



Programma Energie Groningen

Factsheets



CE Delft

Committed to the Environment

Inhoud

Opwek

- Zon-pv
- Zon op water
- Wind op land
- Wind op zee
- Kernenergie
- Biomassa
- Groengas
- Restwarmte
- Geothermie
- Niche: getijdenenergie
- Niche: witte waterstof
- Fossiele bronnen

Transport

- Beperken transport
- Lokale netwerken elektriciteit
- Lokale netwerken gas
- Lokale netwerken warmte
- Netcongestie
- Verbouwing elektriciteitsnetwerk
- Hoogspanning
- Stations en kabeltracés
- Interconnecties
- Aardgasnetwerk en waterstofbackbone
- Ammoniak

Conversie

- Elektrolyse naar waterstof
- Vergisting en vergassing
- CO₂-vrije regelbare centrales

Opslag

- CAES
- Achter-de-meterbatterijen
- Systeembatterijen
- Waterstofopslag in ondergrond
- Niche: ijzerpoeder

Gebruik

- Duurzaamheid energiebron
- Prijsinstrumenten
- Vraagsturing
- Conversieverliezen
- Energiebesparing
- CCS

Eigendomsvormen

- Coöperaties
- Provinciaal Warmtebedrijf



Factsheet | Opwek: zonnepanelen (zon-pv)

Opwek

- Zonnepanelen (zon-pv)
- Wind op land
- Wind op zee
- Kernenergie incl. SMR en thorium
- Biomassa
- Groengas
- (Rest)warmte
- Geothermie
- Alternatieve duurzame bronnen (o.a. witte waterstof, ijzerpoeder, energie uit (zee)water)
- Fossiele bronnen



Bron: Beeldbank CE Delft.

Algemeen: wat is het?

Zonnepanelen (ook wel fotovoltaïsche of pv-panelen) zetten zonne-energie om in elektriciteit. Zon-pv wordt toegepast op dak en land. Veel woningen en andere daken hebben al zonnepanelen en dat aandeel groeit. Daarnaast zijn er grote zonneparken op land, solar carports en zon-pv-installaties op grote daken, zoals distributiecentra.

Kenmerken

- Bijdrage aan doelstelling RES: ja.
- Bijdrage aan CO₂-reductie 2050: ja.
- Technische realisatie voor 2030: zeker te realiseren.
- Doorlooptijd projectontwikkeling: 2-3 jaar.
- Productiekosten:
 - zon op dak: € 73-119 per MWh;
 - zon op land: € 62-90 per MWh;
 - zon op water: € 77-99 per MWh.([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#))
- Ruimtelijke impact¹:
 - op dak: 3 m² per MWh;
 - op land: 19 m² per MWh.([Our World in Data, 2022](#))
- Levensduur: 25 jaar.
- SDE++-subsidie: ja.
([Factsheet Elektriciteit NP RES, 2023](#))

Toepassing

Hernieuwbare elektriciteit: zon-pv draagt bij aan de productie van hernieuwbare energie. Voor een betrouwbaar energiesysteem met voldoende opwek zijn verschillende energiebronnen nodig. Zon-pv is daar onderdeel van.

Aansluiting op elektriciteitsnet: is afhankelijk van de grootte van de zon-pv-installatie. Kleine installaties worden op lage netspanning aangesloten, grote zonneparken worden op midden- of hoogspanning aangesloten.

Specifieke punten

Onregelmatige opwek: met zonnepanelen wordt elektriciteit opgewekt als de zon schijnt. Op minder zonnige dagen is de opwek uit zon-pv beperkt en 's nachts is er geen opwek uit zon-pv. Vanwege dit opwekprofiel van zonnepanelen is het matchen tussen vraag en aanbod een aandachtspunt en

Huidige stand van zaken Groningen

1,6 GW in 2023, waarvan:

- 0,4 GW klein vermogen (tot 15 kW);
- 1,2 GW groot vermogen (> 15 kW).

([CBS, 2024](#))

is bovendien efficiënt gebruik van het net een uitdaging. ([Factsheet Elektriciteit NP RES, 2023](#))

Groningen heeft in 2024 het grootste opgestelde vermogen van zonneparken van alle provincies ([Zon op Kaart Dashboard, Monitor Zon-PV 2024](#)). Het huidige uitgangspunt met betrekking tot grote zonneparken in het buitengebied is 'nee, tenzij', wat blijkt uit het [Koersdocument](#). Voor kleinere zonneparken wordt het principe 'ja, mits' gehanteerd. Hiermee wordt gestuurd op passende locaties voor zonne-energie.

In de [Omgevingsverordening](#) van provincie Groningen staat de zonneladder, die de voorkeursvolgorde aangeeft voor nieuwe zon-pv-projecten:

- op daken en gevels;
- op gronden binnen het stedelijk gebied;
- op gronden met een andere primaire functie dan landbouwgrond, zoals voormalige slibdepots, gesloten stortplaatsen als bedoeld in Artikel 8.47 Wet milieubeheer en in werking zijnde zandwinningsplassen;
- op landbouwgronden.

Betaalbaarheid

Productiekosten in €/MWh: dit zijn de kosten voor de productie van 1 MWh elektriciteit over de gehele levensduur van de installatie. Dus totale kosten (€)/totale productie (MWh).

- zon op dak: € 73-119 per MWh;
- zon op land: € 62-90 per MWh;
- zon op water: € 77-99 per MWh.

([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#))

Hoge investeringskosten: de initiële investering bedraagt gemiddeld meer dan 50% van de totale kosten van een zon-pv-project ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)). Daarna zijn de operationele kosten relatief laag, onder andere vanwege weinig onderhoud ([NVDE, 2018](#)).

Kostendaling: de kostprijs van pv-panelen zijn de afgelopen jaren sterk gedaald ([Monitor Zon-PV 2024](#)).

Betrouwbaarheid

Omvormers uitschakelen: als het te druk wordt op het net, kan niet alle stroom goed worden verwerkt. De spanning gaat dan omhoog. Als deze te hoog is (boven 253 volt ([Enenix](#))), schakelt een omvormer van zonnepanelen zichzelf uit. Omvormers zijn zo ingesteld dat ze automatisch uit voorzorg boven een bepaalde spanning uitvallen. Dit is wettelijk geregeld en staat beschreven in de normen over waar een omvormer aan moet voldoen. Zakt de spanning weer naar een normaal niveau? Dan schakelt de omvormer (meestal) vanzelf weer in en leveren de zonnepanelen weer stroom.

Geen bewegende onderdelen: zonnepanelen hebben geen bewegende onderdelen. Hierdoor zijn ze onderhoudsarm en betrouwbaar, mits ze op de juiste manier geïnstalleerd zijn.

Brandrisico: zonnepanelen kunnen brand vatten. De belangrijkste oorzaken zijn: ondeugdelijke verbindingen en installatiefouten ([TNO, 2019](#)). Het is daarom van essentieel belang om een installatie altijd te laten uitvoeren door een professionele installateur.

Bestendigheid

Levensduur: zon-pv-panelen hebben een levensduur van ongeveer 25-30 jaar ([Monitor Zon-PV 2024](#)).

Recycling van zonnepanelen: Nederland heeft als doel om in 2050 een volledig circulaire economie te hebben. Het is mede daarom van belang dat de panelen op een duurzame

Beschikbaarheid

Productie in China: de wereldwijde productie van zon-pv-panelen vindt voornamelijk plaats in China, bijna 85% ([Statista, 2024](#)). China beheerst een groot gedeelte van de keten, van winning van grondstoffen tot assemblage. Er zijn alternatieven in Europa en de rest van de wereld, echter

¹ Landgebruik is gebaseerd op de gehele levenscyclus. Dit houdt in dat het oppervlakte niet alleen meetelt voor de energieproductie, maar ook voor de benodigde mijnen, het brandstofgebruik, de ontmanteling en einde-leven-afvalverwerking. Bij zon-op-dak wordt de dakoppervlakte niet meegeteld, aangezien dit meervoudig ruimtegebruik is.

manier worden geproduceerd, verzameld en verwerkt. Op dit moment wordt al het zon-pv-afval mechanisch versnipperd. Voordat de zonnepanelen versnipperd worden, worden het aluminium frame, de koperen kabels en aansluitdoos handmatig verwijderd. De versnipperde materialen worden gebruikt als onderdeel van een basislaag voor wegen. Andere vormen van verwerking, waarbij meer materialen worden teruggewonnen, zijn nog in de pilotfase ([Monitor Zon-PV 2024](#)).

Kritische en schaarse grondstoffen voor zon-pv:

Er worden verschillende schaarse en zeldzame metalen gebruikt in zonnepanelen. Dit zijn met name zilver, indium en selenium. Deze grondstoffen zijn schaarser en zeldzamer dan bijvoorbeeld ijzer. Vaak worden deze grondstoffen op een beperkt aantal locaties in de wereld gewonnen ([Metabolic, 2025](#)).

Productieketen in China: circa 85% ([Statista, 2024](#)) van de wereldwijde zonnepanelenproductie vindt plaats in China. Na grote investeringen in 2023, zal China deze koppositie naar verwachting de komende jaren behouden ([WoodMackenzie, 2023](#)). Nederland was in 2022 de grootste importeur van Chinese zonnepanelen ter wereld ([CBS, 2023](#)). Hiermee is onze afhankelijkheid van China groot.

blijven Chinese panelen de wereldmarkt beheersen door de combinatie van lage kosten en goede technologie.

Beperking door netcongestie: netcongestie wordt veroorzaakt door zowel toenemende elektriciteitsvraag als meer hernieuwbare opwek, bijvoorbeeld door zon-pv. De exponentiële toename van zon-pv leidt in sommige gebieden tot overbelasting van elektriciteitsstations, waardoor netverzwaringen nodig zijn. Hierdoor kan tijdelijk geen nieuwe zon-pv worden aangesloten.

Grondstoffen: zonnepanelen bestaan uit verschillende materialen. Op massabasis bestaat het grootste gedeelte uit glas en aluminium. Het fotovoltaïsche gedeelte (zonnecellen) wordt gemaakt uit silicium, wat overvloedig aanwezig is in de aardkorst. Daarnaast zijn er nog overige materialen die worden gebruikt in zonnepanelen. In de [Monitor Zon-PV 2024](#) wordt hier verder op ingegaan.

Ruimtelijke effecten

Voorkeurslocaties: in de [Omgevingsverordening](#) van de provincie Groningen staat de zonneladder, die de voorkeursvolgorde aangeeft voor nieuwe zon-pv-projecten:

- op daken en gevels;
- op gronden binnen het stedelijk gebied;
- op gronden met een andere primaire functie dan landbouwgrond, zoals voormalige slibdepots, gesloten stortplaatsen als bedoeld in Artikel 8.47 Wet milieubeheer en in werking zijnde zandwinningsplassen;
- op landbouwgronden.

Overig

Onderdeel van een divers energiesysteem: elektriciteit uit zon-pv is onderdeel van een divers hernieuwbaar energiesysteem. Door verschillende energie-opwektechnieken met opslag en conversie te combineren, ontstaat een robuust en betrouwbaar energiesysteem dat de samenleving op ieder moment van voldoende energie kan voorzien.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-17

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opwek niche: zon op water

Opwek niche

- Zon op water
- Getijdenenergie
- Witte waterstof



Bron: [ZonHub](#).

Algemeen: wat is het?

Hoewel de ontwikkeling van zon-pv op land en op dak al een aantal decennia bezig is, staat de ontwikkeling van zon op water nog in de kinderschoenen. Hoewel in principe dezelfde technologie toegepast kan worden, kent de implementatie van zon-pv op water nieuwe uitdagingen, zoals weerstand tegen (golf)krachten en vuil (zoals zout, algen, vogelpoep en zand), bekabeling en de ecologische impact. Op zee is de uitdaging van het effect van golven vanzelfsprekend een stuk groter dan op binnenlands water. Mogelijke voordelen van zon op water ten opzichte van zon op land, zijn: meer vollasturen door minder schaduw en minder conflicterende belangen voor ruimtegebruik. Specifiek voor zon op zee geldt bovendien dat er vermoedelijk minder bezwaren zijn met oog op landschapsvervuiling ([NEMO Kennislink](#)).

Op dit moment is de ontwikkeling van zon op water in de demonstratiefase: er is een handvol partijen bezig met pilots. Verschillende designs worden getest, zowel rigide als flexibele zonnepanelen en zowel zonnepanelen die direct op het water liggen als die er een paar meter boven uitsteken. TNO is als kennisinstituut nauw betrokken bij de ontwikkelingen van zon op water.

Kenmerken

- **Bijdrage aan doelstelling RES:** nee, geen onderdeel van doelstelling RES.
- **Bijdrage aan CO₂-reductie 2050:** mogelijk.
- **Technische realisatie voor 2030:** beperkt.
- **Doorlooptijd projectontwikkeling:** onzeker.
- **Productiekosten:** € 77-99/MWh ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).
- **Ruimtelijke impact¹:** ([Ritche, 2022](#))
 - 13 m²/MWh. Hier kan echter sprake zijn van meervoudig ruimtegebruik, bijvoorbeeld door zonneparken tussen windturbines op water te plaatsen.
- **Levensduur:** onzeker, maar SDE++ gaat uit van 20 jaar ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).
- **SDE++-subsidie:** ja.

Toepassing

Hernieuwbare opwek: wind op land draagt bij aan de productie hernieuwbare energie. Voor een betrouwbaar energiesysteem zijn verschillende energiebronnen nodig. Zon-pv is daar onderdeel van.

Aansluiting op elektriciteitsnet: is afhankelijk van de grootte van de zon-pv-installatie. Kleine installaties worden op lage netspanning aangesloten, grote zonneparken worden op hogere netniveaus aangesloten. Een voordeel van zonneparken integreren tussen windturbines op zee is dat de opwekprofielen deels complementair zijn en daardoor efficiënter gebruik kan worden gemaakt van bekabeling.

¹ Landgebruik is gebaseerd op gehele levenscyclus. Dit houdt in dat het niet alleen de oppervlakte meetelt voor de energieproductie, maar ook voor de benodigde mijnen, brandstofgebruik, ontmanteling en einde-leven-afvalverwerking. Bij zon op dak wordt de dakoppervlakte niet meegeteld, aangezien dit meervoudig ruimtegebruik is.

Specifieke punten

Onregelmatige opwek: met zonneprojecten wordt vooral in de zomer veel elektriciteit opgewekt. In de overige seizoenen zijn ook andere energiebronnen nodig. Vanwege dit opwekprofiel (alleen wanneer de zon schijnt) van zonnepanelen is het matchen tussen vraag en aanbod een aandachtspunt ([Factsheet Elektriciteit NP RES, 2023](#)).

Betaalbaarheid

Productiekosten in €/MWh: dit zijn de kosten voor de productie van 1 MWh elektriciteit over de gehele levensduur van de pv-panelen. Dus totale kosten (€)/totale productie (MWh).

Productiekosten: € 77-99/MWh ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).

Hoge investeringskosten: de initiële investering is het grootste gedeelte van de kosten. Daarna zijn de operationele kosten relatief laag, onder andere vanwege weinig onderhoud. Wel zijn de operationele kosten hoger dan bij zon-pv op land.

Dalende kosten: de kostprijs van pv-panelen zijn de afgelopen jaren sterk gedaald en dalen naar verwachting nog steeds.

Huidige stand van zaken Groningen

Is Groningen is er een [drijvend zonnepark in Sellingerbeetse](#). Dit zonnepark bestaat uit 76.616 zonnepanelen met een totale geïnstalleerde capaciteit van 41,4 MWp.

Betrouwbaarheid

Omvormers uitschakelen: als het te druk wordt op het net, kan niet alle stroom goed worden verwerkt. De spanning gaat dan omhoog. Als deze te hoog is (boven 253 volt ([Enexis](#))), schakelt een omvormer van zonnepanelen zichzelf uit. Omvormers zijn zo ingesteld dat ze automatisch uit voorzorg boven een bepaalde spanning uitvallen. Dit is wettelijk geregeld en staat beschreven in de normen over waar een omvormer aan moet voldoen. Zakt de spanning weer naar een normaal niveau? Dan schakelt de omvormer (meestal) vanzelf weer in en leveren de zonnepanelen weer stroom.

Geen bewegende onderdelen: zonnepanelen hebben geen bewegende onderdelen. Hierdoor zijn ze onderhoudsarm en betrouwbaar, mits ze op de juiste manier geïnstalleerd zijn.

Brandrisico: zonnepanelen kunnen brand vatten. De belangrijkste oorzaken zijn: ondeugdelijke verbindingen en installatiefouten ([TNO, 2019](#)). Het is daarom van essentieel belang om een installatie altijd te laten uitvoeren door een professionele installateur.

Bestendigheid

Levensduur: zon-pv panelen hebben een lange levensduur van ongeveer 25 tot 30 jaar ([Monitor zon-pv 2024](#)). Bij toepassing op water (en zeker op zee) is er wel de uitdaging van mechanische stress door golven.

Recycling van zonnepanelen: Nederland heeft als doel om in 2050 een volledig circulaire economie te hebben. Het is mede daarom van belang dat de panelen op een duurzame manier worden geproduceerd, verzameld en verwerkt. Op dit moment wordt al het zon-pv-afval mechanisch versnipperd. Voordat de zonnepanelen versnipperd worden, wordt het aluminium frame, de koperen kabels en aansluitdoos handmatig verwijderd. De versnipperde materialen worden gebruikt als onderdeel van een basislaag voor wegen. Andere vormen van verwerking waarbij meer materialen worden teruggewonnen, zijn nog in de pilotfase ([Monitor zon-pv 2024](#)).

Voldoende grondstoffen: er worden verschillende schaarse en zeldzame metalen gebruikt in zonnepanelen. Dit zijn met name zilver, indium en selenium. Deze grondstoffen zijn

Beschikbaarheid

Productie in China: de wereldwijde productie van zon-pv-panelen vindt voornamelijk plaats in China, bijna [85%](#). China beheerst een groot gedeelte van de keten, van winning van grondstoffen tot assemblage. Er zijn alternatieven in Europa en de rest van de wereld, echter blijven Chinese panelen de wereldmarkt beheersen door de combinatie van lage kosten en goede technologie.

Beperking door netcongestie: netcongestie wordt veroorzaakt door zowel toenemende elektriciteitsvraag als ook meer hernieuwbare opwek, bijvoorbeeld door zon-pv. De exponentiële toename van zon-pv leidt in sommige gebieden tot overbelasting van elektriciteitsstations, waardoor netverzwaringen nodig zijn. Hierdoor kan tijdelijk geen nieuwe zon-pv worden aangesloten.

Grondstoffen: zonnepanelen bestaan uit verschillende materialen. Op massabasis bestaat het grootste gedeelte uit glas en aluminium. Het fotonvoltaïsche gedeelte (zonnecellen) wordt gemaakt uit silicium, wat overvloedig aanwezig is in de aardkorst. Daarnaast zijn er nog overige materialen die

schaarser en zeldzamer dan bijvoorbeeld ijzer. Vaak worden deze grondstoffen op een beperkt aantal locaties in de wereld gewonnen ([Metabolic](#)).

Productieketen in China: circa [85%](#) van de wereldwijde zonnepanelen productie vindt plaats in China. Na grote investeringen in 2023, zal China deze koppositie naar verwachting behouden de komende jaren ([WoodMackenzie, 2023](#)). Nederland was in 2022 de grootste importeur van Chinese zonnepanelen ter wereld ([CBS, 2023](#)). Hiermee is onze afhankelijkheid van China groot.

worden gebruik in zonnepanelen. In de [Monitor zon-pv 2024](#) wordt hier verder op ingegaan.

Ruimtelijke effecten

Voorkeurslocaties: op dit moment is de verwachting dat bij zon op zee van minder landschapsvervuiling sprake is dan bij zon op binnenwateren.

Overig

Onderdeel van een divers energiesysteem: elektriciteit uit zon-pv is onderdeel van een divers hernieuwbaar energiesysteem. Door verschillende energie-opwektechnieken met opslag en conversie te combineren, ontstaat een robuust en betrouwbaar energiesysteem die op ieder moment de samenleving van voldoende energie kan voorzien.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-26

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

Bronnen

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opwek: wind op land

Opwek

- Zon-pv
- **Wind op land**
- Wind op zee
- Kernenergie incl. SMR en thorium
- Biomassa
- Groengas
- (Rest)warmte
- Geothermie
- Alternatieve duurzame bronnen
(o.a. witte waterstof, ijzerpoeder, energie uit (zee)water)
- Fossiele bronnen



Bron: Fotobank CE Delft.

Algemeen: wat is het?

Wind op land verwijst naar het opwekken van elektriciteit door windturbines die op land zijn geplaatst. Dit kan gaan om grote windturbines van enkele MW, maar ook om kleinere windturbines in de orde van grootte van kW. Grootschalige windturbines op land wekken veel elektriciteit op en zijn een belangrijk onderdeel van het toekomstige energiesysteem. De opbrengst van windturbines is afhankelijk van de rotordiameter en de hoogte (meer wind). Wanneer de wieken twee keer zo groot worden, verviervoudigt de opbrengst. Dat verklaart de trend dat windturbines steeds groter worden.

Kenmerken

- **Bijdrage aan doelstelling RES:** ja.
- **Bijdrage aan CO₂-reductie 2050:** ja.
- **Technische realisatie voor 2030:** zeker te realiseren.
- **Doorlooptijd projectontwikkeling:** 5 jaar.
- **Productiekosten:** € 55-88 per MWh ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).
- **Ruimtelijke impact:** 450 ha voor 10 grote windturbines, echter kan ruimte tussen turbines worden benut voor andere doeleinden. Voor 1 MWp grote windturbine op land is 8 ha nodig.
- **Levensduur:** 20-30 jaar.
- **SDE++-subsidie:** ja.
- **Vermogen:**
 - grote windturbines op land: 3 MW;
 - kleine windturbines op land: 0,85 MW;
 - zeer kleine windturbines (bij agrarische bedrijven): 15-72 kW.

Bron: [Factsheet Elektriciteit NP RES, 2023](#)

Toepassing

Hernieuwbare elektriciteit: wind op land draagt bij aan de productie van hernieuwbare energie. Voor een betrouwbaar energiesysteem zijn verschillende energiebronnen nodig. Wind op land is daar onderdeel van.

Aansluiting op elektriciteitsnet: grote windparken op land worden op het hoogspanningsnet aangesloten. Individuele windturbines op land worden vaak aangesloten op het middenspanningsnet.

Specifieke punten

Onregelmatige opwek: wind op land heeft een onregelmatige opwek, aangezien deze afhankelijk is van de windsnelheid, die varieert. De meeste energie wordt in de winter opgewekt, de minste in de zomer. Vanwege dit opwekprofiel is het matchen tussen vraag en aanbod een aandachtspunt. Energieopslag, vraagsturing en conversie kunnen hierbij helpen.

Huidige stand van zaken Groningen

In 2023 stonden er 295 grote windturbines op land in Groningen. Gezamenlijk hadden deze een vermogen van 871 MW ([CBS](#), [WindStats](#)).

Grote windturbines: de visie van de provincie Groningen over windturbines op land blijkt uit het [Koersdocument](#). Voor grote windturbines geldt de vuistregel 'nee, tenzij'. De voorkeur gaat uit naar wind op zee. Op land worden alleen windturbines toegestaan binnen de bestaande concentratiegebieden. Dit zijn in de Eemshaven, in Delfzijl en bij de N33 ([Provincie Groningen](#)).

Kleine windturbines: in de [Omgevingsverordening](#) staat dat kleine windturbines van maximaal 15 meter hoog toegestaan zijn als bijbehorend bouwwerk op een bouwperceel behorend bij een woning of een bedrijf. Deze windturbines zijn bij veel boerenerven te zien. Veel gemeenten bieden ruimte aan deze windturbines onder goed afgewogen ruimtelijke randvoorwaarden.

Betaalbaarheid

Productiekosten in €/MWh: dit zijn de kosten voor de productie van 1 MWh elektriciteit over de gehele levensduur van de installatie. Dus totale kosten (€)/totale productie (MWh).

Productiekosten: € 55-88 per MWh ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).

Hoge investeringskosten: de initiële investering is het grootste gedeelte van de kosten. Daarna zijn de operationele kosten relatief laag, onder andere vanwege weinig onderhoud ([NVDE, 2018](#)).

Kostendaling: de kostprijs van wind op land is de afgelopen jaren sterk gedaald ([Rijksoverheid](#)) ([NVDE, 2018](#)).

Betrouwbaarheid

Bewezen technologie: windturbines op land zijn een bewezen en betrouwbare manier van elektriciteitsopwekking. Met windturbines wordt elektriciteit lokaal opgewekt, waardoor de afhankelijkheid van andere landen voor kolen en gas voor elektriciteitsopwekking wordt verminderd.

Ongelukken met windturbines: uit onderzoek van het RIVM ([RIVM, 2022](#)) blijkt dat de kans op ongelukken met windturbines klein is. Op de ongeveer 2.000 windturbines in Nederland op land wordt ongeveer één ongeluk per jaar verwacht. Bijvoorbeeld wanneer een windturbine omvalt of een blad afbreekt. Ook kan er ijs van het blad vallen.

Natuur en ecologie: de bouw en exploitatie van windturbines kunnen gevolgen hebben voor beschermde soorten planten en dieren (flora en fauna), natuurgebieden en Natuurnetwerk Nederland. De regels hiervoor staan in de Omgevingswet ([RVO, 2024](#)). De risico's worden onderzocht in een Milieu Effect Rapportage (MER).

Bestendigheid

Levensduur: windturbines hebben een levensduur van 20-30 jaar. In de SDE++ wordt rekening gehouden met een economische levensduur van 20 jaar, echter is er een trend te zien waarbij onderhoudscontracten worden gesloten tot 30 jaar.

Recycling van windturbines: einde-leven-verwerking van windturbines is een aandachtspunt. Momenteel zijn er nog maar weinig windturbines die hun einde-leven-status hebben bereikt. Dit worden er ieder jaar meer. Er vindt momenteel

Beschikbaarheid

Verschillende belangen: er zijn altijd meerdere partijen betrokken met verschillende belangen. Tijdens het opstellen van de Regionale Energie Strategie (RES) worden verschillende belanghebbende partijen betrokken om samen te bedenken waar en hoeveel windturbines er in de regio komen te staan. Windturbines moeten:

- voldoen aan alle geldende regelgeving;
- onder andere op het gebied van geluid en veiligheid;
- zo min mogelijk overlast veroorzaken;

onderzoek plaats naar de beste verwerking van alle onderdelen van windturbines.

- zo goed mogelijk passen in het landschap;
- rekening houden met natuuraspecten.
([Rijksoverheid](#))

Ruimtelijke effecten

Voorkeurslocaties: de visie van de Provincie Groningen over windturbines op land blijkt uit het [Koersdocument](#). Voor grote windturbines geldt de vuistregel 'nee, tenzij'. De voorkeur gaat uit naar wind op zee. Op land worden alleen windturbines toegestaan binnen de bestaande concentratiegebieden. Dit zijn in de Eemshaven, in Delfzijl en bij de N33 ([Provincie Groningen](#)).

Overig

Onderdeel van een divers energiesysteem:

Elektriciteit uit wind op land is onderdeel van een divers hernieuwbaar energiesysteem. Door verschillende energie-opwektechnieken met opslag en conversie te combineren, ontstaat een robuust en betrouwbaar energiesysteem, dat de samenleving op ieder moment van voldoende energie kan voorzien.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-18

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opwek: wind op zee

Opwek

- Zonnepanelen (zon-pv)
- Wind op land
- **Wind op zee**
- Kernenergie incl. SMR en thorium
- Biomassa
- Groengas
- (Rest)warmte
- Geothermie
- Alternatieve duurzame bronnen
(o.a. witte waterstof, ijzerpoeder, energie uit (zee)water)
- Fossiele bronnen



Algemeen: wat is het?

Wind op zee verwijst naar windturbines die op zee worden geplaatst om hernieuwbare elektriciteit op te wekken. Op zee is er meer wind dan op land, waardoor het rendement op zee hoger is dan op land. Echter zijn de kosten van wind op zee wel hoger, doordat het technisch complexer is om wind op zee te realiseren en te onderhouden. In Nederland hebben we al veel ervaring met wind op zee en in de komende jaren komt er nog veel meer wind op zee bij. Ook in Groningen zal er steeds meer wind-op-zee-elektriciteit aanlanden ([Wind op zee, Rijksoverheid](#)).

Kenmerken

- **Bijdrage aan doelstelling RES:** nee (geen onderdeel van RES).
 - **Bijdrage aan CO₂-reductie 2050:** ja.
 - **Technische realisatie voor 2030:** zeker te realiseren.
 - **Doorlooptijd projectontwikkeling:**
 - voorbereiding en aanleg netaansluiting: 8-10 jaar;
 - bouw (vanaf vergunningverlening): 5 jaar.([Wind op zee, Rijksoverheid](#))
 - **Productiekosten:** € 30-50 per MWh ([CE Delft, 2023](#)).
 - **Ruimtelijke impact:** in 2050 wordt gericht op 70 GW wind op zee ([Nationaal plan energiesysteem, Rijksoverheid](#)). Hiervoor is ruim circa 13,4% van het Nederlandse deel van de Noordzee nodig. Hierbij wordt uitgegaan van 10 MW per km². Als de ruimte tussen de windparken voor andere doeleinden zou kunnen worden benut, is maar 0,3% van de Nederlandse Noordzee nodig. Dit is inclusief de turbines, platforms van het net op zee en veiligheidszones ([Wind op zee, Rijksoverheid](#)).
 - **Levensduur:** vergunning maximaal 40 jaar. ([Wind op zee, Rijksoverheid](#))
 - **SDE++-subsidie:** nee, er is al enkele jaren geen subsidie meer nodig voor wind op zee ([Wind op zee, Rijksoverheid](#)).
- ([Factsheet Elektriciteit NP RES, 2023](#))

Toepassing

Duurzame elektriciteitsopwekking: wind op zee draagt aanzienlijk bij aan de elektriciteitsbehoefte van huishoudens en industrieën. De wind op zee is vaak sterker en constanter dan op land, wat leidt tot een hogere energieopbrengst.

Vermindering CO₂-uitstoot: door gebruik te maken van windenergie in plaats van fossiele brandstoffen, wordt de uitstoot van broeikasgassen verminderd, wat bijdraagt aan de strijd tegen klimaatverandering.

Productie van waterstof: wind-op-zee-elektriciteit zal gedeeltelijk worden omgezet in waterstof met elektrolyzers. Elektrolyzers kunnen bij aanlandingslocaties op land staan, maar ook op platforms op zee. In het Programma Verkenning Aanlanding Wind op Zee 2031-2040 (VAWOZ) ([RVO, 2023](#)) wordt onderzocht hoe dit het beste kan.

Specifieke punten

Elektriciteit of waterstof: met windturbines op zee wordt veel elektriciteit opgewekt. Deze kan op twee manieren aan land worden gebracht. Ofwel kan het via een zware elektriciteitskabel naar land worden getransporteerd, of kan de elektriciteit worden omgezet in waterstof met elektrolyzers. Deze elektrolyzers kunnen zowel op land als op zee staan. In het Programma Verkenning Aanlanding Wind op Zee 2031-2040 (VAWOZ) ([RVO, 2023](#)) wordt onderzocht hoe dit het beste kan.

Betaalbaarheid

Productiekosten in €/MWh: dit zijn de kosten voor de productie van 1 MWh elektriciteit over de gehele levensduur van de installatie. Dus totale kosten (€)/totale productie (MWh).

Productiekosten: € 30-50 per MWh ([CE Delft, 2023](#)).

Kostendaling: wind op zee is momenteel de goedkoopste hernieuwbare energiebron in Nederland. De kosten van windparken op zee zijn de afgelopen jaren enorm gedaald. Betaalde de Rijksoverheid eerder nog subsidie voor de eerste windparken, inmiddels is dat al jaren niet meer nodig. De verwachting is dat de kostprijs voor wind op zee nog verder gaat dalen ([Wind op zee, Rijksoverheid](#)).

Bestendigheid

Levensduur: de levensduur van een windturbine op zee is 25-30 jaar ([Wind op zee, Rijksoverheid](#)).

Onderzoek naar nadelige effecten: momenteel vinden er onderzoeken plaats naar de nadelige effecten van wind op zee. Zo kan het negatieve gevolgen hebben voor vissen, zoogdieren en vogels ([Wind op zee, Rijksoverheid](#)).

Recycling: momenteel wordt het overgrote gedeelte van windturbines al gerecycled (85-90%). Dit zijn de mast, generator, en elektronica. De overige 10-15% bestaat uit de wieken, gemaakt van epoxy. Momenteel worden deze aan het einde van hun leven verbrand, echter zouden deze door innovaties in de toekomst gerecycled kunnen worden ([Wise](#)).

Zeldzame metalen: zeldzame metalen zijn onderdeel van windturbines. Een aantal voorbeelden zijn: neodymium, praseodymium, dysprosium, tellurium en boron ([Metabolic, 2025](#)). Vanwege de toename van windturbines in de wereld, neemt de druk op deze zeldzame metalen toe. Dit is een belangrijk aandachtspunt met betrekking tot toekomstbestendigheid.

Huidige stand van zaken Groningen

In Groningen landt wind-op-zee-elektriciteit van twee windparken aan in de Eemshaven. Slechts een gedeelte hiervan is al operationeel: 600 MW van de 2.700 MW ([Noordzeeloket](#)).

In het Programma Verkenning Aanlanding Wind op Zee 2031-2040 (VAWOZ) ([RVO, 2023](#)) wordt onderzocht hoeveel wind-op-zee-elektriciteit waar gaat aanlanden. Dit is een lopend programma.

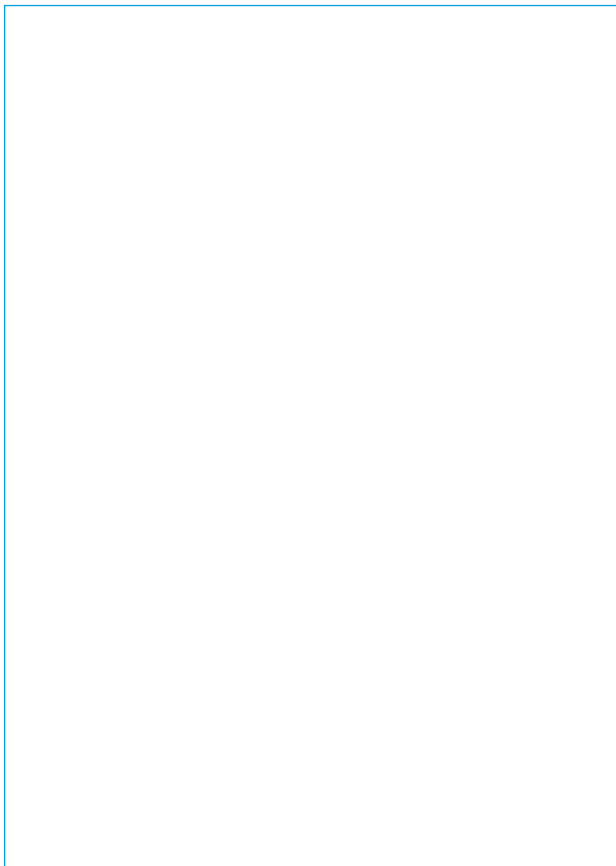
Betrouwbaarheid

Bewezen techniek: wind op zee is een bewezen techniek en wordt al op grote schaal toegepast. De expertise voor maritieme infrastructuur en installatie zit in Nederland.

Effecten op natuur en milieu: windparken hebben gevolgen voor de natuur in het Noordzeegebied. Zo is er risico voor vogels op aanvaringen met de wieken, wat tot sterfte kan leiden. De bouw van windturbines kan voor zoogdieren en vissen overlast veroorzaken ([Wind op zee, Rijksoverheid](#)). Het Wind op zee ecologisch programma ([Wozep, Noordzeeloket](#)) onderzoekt de ecologische effecten en gevolgen van wind op zee.

Beschikbaarheid

Hierna volgt de routekaart voor wind op zee ([Wind op zee, Rijksoverheid](#)). Waar de kavels zijn ingekleurd, staan al windturbines. Zoals is te zien op deze kaart, is er nog veel kaveloppervlakte beschikbaar voor de ontwikkeling van wind op zee.



Ruimtelijke effecten

Afgelegen locaties: windparken op zee kunnen ver van de kust worden gebouwd, waar ze minder hinder veroorzaken voor mensen. Dit betekent ook minder conflicten over grondgebruik, zoals landbouwgrond of bebouwde gebieden. Omdat offshore windparken vaak ver van de kust worden geplaatst, hebben ze een minder storende visuele impact in vergelijking met windparken op land. Ecologische effecten worden onderzocht in het Wind op zee ecologisch programma ([Wozep, Noordzeeloket](#)).

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-19

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

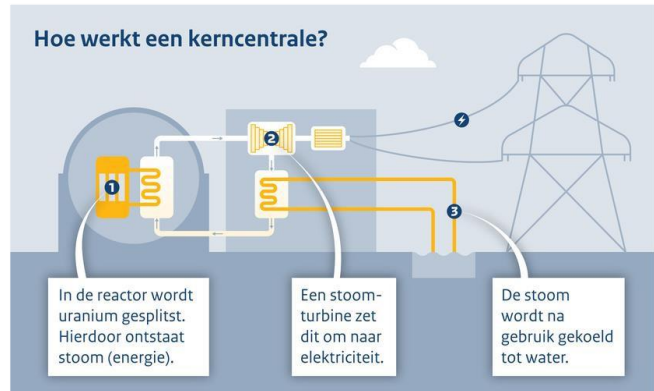
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opwek: kernenergie

Opwek

- Zon-pv
- Wind op land
- Wind op zee
- **Kernenergie incl. SMR en thorium**
- Biomassa
- Groen gas
- (Rest)warmte
- Geothermie
- Alternatieve duurzame bronnen (o.a. witte waterstof, ijzerpoeder, energie uit (zee)water)
- Fossiele bronnen



Bron: [Overkernenergie.nl](https://overkernenergie.nl).

Algemeen: wat is het?

Kernenergie verwijst naar de energie die vrijkomt bij het splitsen van atoomkernen. Met de vrijgekomen energie wordt stoom geproduceerd, waarmee via een stoomturbine elektriciteit wordt opgewekt. Dit proces vindt plaats in een kerncentrale, waarvan we er één hebben in Nederland, in Borssele. Met kernenergie kan elektriciteit worden opgewekt met een lage CO₂-uitstoot vergeleken met fossiele bronnen (de meeste uitstoot komt door winning en verwerking van uraniumerts). Na energieopwekking met kernenergie blijft kernaafval over, wat voor zeer lange tijd (meer dan een miljoen jaar) radioactief is, en daarmee zeer gevaarlijk is ([World Nuclear Association, 2023](#)). Dit langdurig gevaarlijke afval moet permanent worden opgeslagen; dat wordt *eindberging* genoemd. Er is nog geen permanente oplossing voor eindberging van Nederlands kernaafval. Het huidige beleid via 'Het nationale programma voor het beheer van radioactief afval en verbruikte splijtstoffen' ([Rijksoverheid, 2016](#)) is dat er in 2100 een beslissing wordt genomen over permanente eindberging. De huidige staatsecretaris Jansen is voornemens om deze beslissing naar voren te trekken, en heeft via een [kamerbrief](#) laten weten hiermee aan de slag te gaan. Voor 2026 dient Nederland als EU-lidstaat een nieuw nationaal programma te hebben gepubliceerd. Nederland slaat momenteel tijdelijk (periode van ten minste 100 jaar) het kernaafval op bij COVRA, vlak bij de kerncentrale in Borssele.

Naast de traditionele kerncentrale zijn er verschillende innovaties in ontwikkeling, zoals Small Modular Reactors (SMR's), reactoren met thorium als splijtstof, en nog meer geavanceerde reactormodellen, zoals gesmoltenzoutreactoren. Onderzoek naar alternatieve vormen van kernenergie vindt plaats vanwege potentiële voordelen, zoals lagere kosten door standaardisatie en prefab ontwerp, andere splijtstoffen, meer mogelijke locaties en hogere inherente veiligheid. Gezien de fase van ontwikkeling zijn zowel de voor- als nadelen nog onzeker.

Kenmerken

- **Bijdrage aan doelstelling RES:** nee (geen onderdeel van RES bod).
- **Bijdrage aan CO₂-reductie 2050:** ja, landelijk.
- **Totale emissies gehele levensduur:** 13 CO₂-eq./kWh. ([NREL, 2021](#))
- **Technische realisatie voor 2030:** niet voor 2030, inschatting is dat kernenergie op zijn vroegst in 2040 beschikbaar kan zijn.
- **Realisatietijd:** (zie kop 'Specifieke punten' voor toelichting)
 - grote kerncentrale: 10-25 jaar;
 - SMR: 20-25 jaar.([Wim Turkenburg, 2024](#))

Toepassing

Elektriciteitsproductie: kernenergie kan zeer veel elektriciteit produceren, met relatief weinig ruimtelijke impact ([Our World in Data, 2022](#)). Vanuit zowel een kostenperspectief als levensduurperspectief is het voordeliger om een kerncentrale stabiel stroom te laten produceren gedurende het hele jaar. Het op- en afregelen is wel mogelijk met de modernste centrales, echter wordt hierdoor het aantal draaiuren lager, waardoor de kosten (per kWh) hoger worden. Ook leidt het variabel op- en afregelen van een reactor tot meer onderhoud, dus meer kosten.

- **Productiekosten:** € 92-200 per MWh. ([Kalavasta & Berenschot, 2020](#))
- **Ruimtelijke impact:** 0,3 m² per MWh. (minst van alle technieken) ([Our World in Data, 2022](#))
- **Levensduur:** 50-60 jaar.
- **SDE++-subsidie:** nee.

Warmtelevering: kernenergie kan ook worden gebruikt voor warmtelevering. In plaats van de warmte te gebruiken voor elektriciteitsproductie via de stoomcyclus, kan de warmte aan een warmtenet worden afgegeven. Ook kan restwarmte worden benut. In Rusland en Oost-Europa wordt dit al gedaan ([Statista, 2024](#)). Alleen warmtelevering zal er echter toe leiden dat de kernreactor een groot gedeelte van het jaar stilstaat, wat kostentechnisch niet voordeliger is. Een hybride operatie (warmte en elektriciteit) is technisch gezien mogelijk.

Specifieke punten

Realisatietijd: voor de discussie over kernenergie is het belangrijk om te kijken naar de realisatietijd. Hoelang duurt het gehele traject om een kerncentrale/SMR te realiseren? Dit is lastig te zeggen, aangezien grote kerncentrales altijd grote maatwerkprojecten zijn. De ene situatie is moeilijk te vergelijken met de andere situatie. Uit recente Europese ervaring blijkt dat het ten minste 20 jaar duurt van politieke beslissing tot het einde van de bouw van grote kerncentrales ([Turkenburg, 2022](#)). Het vorige kabinet heeft in 2022 het politieke besluit genomen voor twee nieuwe kerncentrales die vanaf 2035 klaar moeten zijn. De realisatietijd van dertien jaar lijkt dus ambitieus ingeschat (zie kenmerken).

SMR's: SMR's zijn een nog ontwikkelende technologie; deze zijn commercieel nog niet beschikbaar. Voor SMR's zijn er circa 100 verschillende ontwerpen, waarvan er slechts twee in aanbouw zijn en drie al opereren in China, India en Rusland ([OECD, 2024](#)). Volgens experts is de verwachting dat het nog 20 jaar duurt voordat een SMR structureel energie kan leveren in Nederland. De voor- en nadelen zijn nog onzeker. We verwijzen naar een recent artikel van prof. Turkenburg, waarin uitgebreid wordt ingegaan op SMR's ([Turkenburg, Milieu Dossier, 2024](#)).

Thorium: thorium is geen splijtstof, maar een vruchtbaar¹ materiaal dat kan worden omgezet in een splijtstof door een kerndeeltje op te nemen in de buurt van splijtstof, zoals uranium of plutonium. Momenteel zijn er geen kernreactoren die thorium gebruiken; het hoort bij de nieuwe generatie IV-reactoren. Volgens experts als Wim Turkenburg en Jan Leen Kloosterman duurt het nog tientallen jaren voordat thorium als brandstof kan worden ingezet, omdat er nog veel onderzoek nodig is ([Wise](#)).

Huidige stand van zaken Groningen

Er is momenteel geen kernenergie in Groningen. Ook zijn er geen concrete plannen voor kernenergie in Groningen. Wel wordt de Eemshaven in het [Besluit kwaliteit leefomgeving](#) als een mogelijke locatie voor een kernenergiecentrale genoemd.

Volgens Artikel 5.13 van de [Omgevingsverordening provincie Groningen](#) is het niet toegestaan om een kerncentrale te bouwen. Dit betekent dat op provinciaal niveau een dergelijke ontwikkeling niet kan plaatsvinden. Echter, de bevoegdheid om kerncentrales te realiseren ligt primair bij de Rijksoverheid. Als de Rijksoverheid besluit een kerncentrale in de Eemshaven te bouwen, kan zij gebruikmaken van haar bevoegdheden om provinciale beperkingen te overstemmen. Dit kan via de omgevingswet door middel van een projectprocedure ([RVO, 2023](#)), waarmee het Rijk de regie overneemt bij projecten van nationaal belang. Begin 2024 is een projectprocedure opgestart voor Nieuwbouw Kerncentrales ([Ministerie van EZK, 2024](#)). Uit een recente [kamerbrief](#) van 11 februari 2025 blijkt dat het kabinet de Eemshaven beleidsmatig zal schrappen als waarborglocatie voor kerncentrales, maar deze locatie niet op voorhand uit zal sluiten van de MER-procedure voor locatieonderzoek naar twee nieuwe kerncentrales.

In het [Besluit kwaliteit leefomgeving](#) wordt Eemshaven nog wel genoemd als een potentiële locatie voor een kernenergiecentrale.

¹ Vruchtbaar nucleair materiaal is nog niet splijtbaar. Alleen met splijtbaar nucleair materiaal kan energie worden opgewekt. Het moet neutronen opnemen om tot splijtstof te worden gemaakt.

Betaalbaarheid

Productiekosten in €/MWh: dit zijn de kosten voor de productie van 1 MWh elektriciteit over de gehele levensduur van de installatie. Dus totale kosten (€)/totale productie (MWh). Dit heet de Levelised Cost of Energy (LCOE).

Productiekosten: € 92-200 (exclusief eindberging).
([Kalavasta & Berenschot, 2020](#))

Verschil tussen laagste en hoogste kosten:

De bandbreedte van de kosten komt voort uit het aantal draaiuren. Hoe meer uren een kerncentrale produceert per jaar, hoe goedkoper die is per geproduceerde MWh. Op- en afschakelen van productie is kostbaar.

Zeer hoge financieringskosten: hoge financieringskosten en lange bouwtijd zijn een drempel om te investeren in kernenergie. Tijdens de lange bouwtijd van een kerncentrale kunnen geen inkomsten worden gegenereerd, waardoor de rente die betaald moet worden over de lening steeds groter wordt (rente op rente). Dus hoe langer de bouw duurt, hoe hoger de financieringskosten. Recente bouwprojecten van kerncentrales kostten veel meer dan verwacht. Uit een analyse van zes recente bouwprojecten ([Profundo, 2024](#)) blijkt dat de gemiddelde kosten driemaal zo veel zijn als oorspronkelijk begroot. Bij de nieuwe kerncentrales in Nederland moet rekening worden gehouden met kosten van bijna € 10.000 per kWe. Dat komt omgerekend neer op circa € 26 miljard voor de nieuwbouw van twee kerncentrales. In een eerder rapport dat in opdracht van de Rijksoverheid werd opgesteld, hield men nog rekening met maximaal aanvaardbare kosten van € 4.600 per kWe.

Kernenergie wordt duurder, andere bronnen goedkoper: de trend is dat kernenergie steeds duurder wordt. Dit heeft een aantal oorzaken, zoals toenemende eisen met betrekking tot veiligere en efficiëntere kernreactoren. Ook worden originele begrotingen voor nieuwe kerncentrales vaak niet gehaald, waardoor de kosten aanzienlijk hoger uitvallen.

Prijsgaranties overheid: om investeringen in kernenergie aantrekkelijker en mogelijk te maken, kan een overheid prijsgaranties afgeven voor kernenergie. De exploitant van de kerncentrale krijgt hiermee zekerheid over de prijs waarvoor hij de geproduceerde elektriciteit kan verkopen om op die manier concurrerend te blijven met andere bronnen. Dit is een subsidie die uit publieke middelen wordt betaald. Een kerncentrale die momenteel in aanbouw is in Engeland, genaamd Hinkley Point C, zal zijn kernenergie naar verwachting kunnen verkopen voor tweemaal de marktprijs als de bouw klaar is ([Renewable-Energy-Industry.com](#)). De afspraak is ook dat de exploitant de overwinst terugbetaalt als de marktprijs hoger is dan de afgesproken prijs. De verwachting is echter dat de marktprijs van elektriciteit zal dalen de komende jaren, aangezien goedkope bronnen zoals zonne- en windenergie een steeds groter aandeel krijgen.

Betrouwbaarheid

Veiligheid en risico: ongelukken bij kerncentrales komen zelden voor. Tsjernobyl en Fukushima zijn de grootste kernrampen die ooit hebben plaatsgevonden. De gevolgen van een kernramp zijn groot, vanwege het radioactief materiaal dat zich ver over de wereld kan verspreiden. Vanwege de risico's (kans maal gevolg) heeft er veel technologische ontwikkeling plaatsgevonden die kerncentrales veiliger heeft gemaakt. De kans is klein, de gevolgen groot ([World Nuclear Association, 2024](#)).

Realisatietijd zeer onzeker: uit recente Europese bouwprojecten van kerncentrales is gebleken dat onverwachte vertraging en tegenvallers op de loer liggen. De bouw van kerncentrales is complex en dat maakt het lastig om een planning te maken.

Weinig expertise in Nederland: Nederland is niet zoals Frankrijk een land met veel ervaring op het gebied van de bouw van nieuwe kerncentrales. Daarom zou Nederland afhankelijk zijn van een buitenlandse partij. Momenteel wordt er met drie partijen gesproken: Westinghouse (VS), EDF (Frankrijk), KHNP (Zuid-Korea).

Hoge rente op kernenergie: publieke en private partijen eisen, vanwege de hoge risico's, relatief hoge rentes op investeringen in kernenergie. Hierbij moet gedacht worden aan zo'n 7% voor kernenergie, ten opzichte van 4,3% voor zonne- en windenergie ([Kalavasta & Berenschot, 2020](#)). De rentekosten zijn een aanzienlijk deel van de kosten.

Toekomstbestendigheid

Lange levensduur: kerncentrales hebben een levensduur van 50 jaar. Soms kunnen ze verlengd worden tot 60 jaar. Dit zijn echter wel uitzonderingen op de regel. De ontmanteling van een kerncentrale duurt zo'n 10 jaar ([EPZ](#)).

Basislast in toekomstig energiesysteem: kernenergie heeft het meeste voordeel bij een stabiele stroomproductie met veel draaiuren (basislast).

Kernafval: kernafval in Nederland wordt tijdelijk bovengronds opgeslagen in [COVRA](#), Zeeland, voor een periode van ten minste 100 jaar. Deze locatie voldoet ruim aan de veiligheidseisen, blijkt uit [stresstest](#) die is uitgevoerd na de ramp van de kerncentrale in Fukushima (Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming, 2020). Na die 100 jaar moet het kernafval op een permanente opslaglocatie worden opgeslagen. Er is nog geen permanente opslaglocatie voor Nederlands kernafval. Momenteel vindt onderzoek plaats naar de eindberging van Nederlands kernafval ([COVRA](#)). Pas in het jaar 2100 wordt volgens het [huidige beleid](#) besloten waar die eindberging zal komen voor Nederlands kernafval. De huidige staatssecretaris Jansen heeft echter via een [kamerbrief](#) aangegeven dit besluit naar voren te willen trekken. Daarmee laat het huidige kabinet het eerdere beleid los. De kosten van eindberging zijn nog niet bekend en maken geen onderdeel uit van de eerdergenoemde kosten van kernenergie.

Zoutkoepels: zoutkoepels worden al decennia in verband gebracht met de opslag van kernafval, waarvan een aantal zich in Groningen bevinden. Echter, uit recente ervaringen met opslag van kernafval in de Duitse zoutkoepel Asse blijkt dat hier zeer grote risico's aan zitten. Vanwege waterlekage blijkt deze opslag niet veilig, en heeft de Duitse overheid daarom besloten het kernafval weer op te graven tegen hoge kosten ([BGE](#)). Ook in andere landen, zoals Denemarken en de VS, zijn zoutkoepels afgekeurd voor opslag van kernafval. Voor meer (historische) context over en huidige relevantie van dit onderwerp voor onder andere Groningen, wordt verwezen naar een [publicatie](#) van Herman Damveld (2024).

Systeemkosten met kernenergie: de kosten van kernenergie kunnen niet zonder meer vergeleken worden met de kosten van bijvoorbeeld zonne-energie of windenergie. Op systeemniveau ontstaan er verschillen door het verschil in productiepatronen. Een systeem met kerncentrales heeft minder regelbare centrales nodig dan een energiesysteem

Beschikbaarheid

Lange bouwtijd: de bouw van een nieuwe kerncentrale kan lang duren, is uit recente ervaring gebleken. De meest recente Finse Olkiluoto-kernreactor kostte bijna 18 jaar om te bouwen. De bouw van de nieuwste Britse kerncentrale, Hinkley Point C, is in 2017 begonnen en is naar verwachting in 2029-2031 af. Europa komt uit een periode waarin maar weinig nieuwe kerncentrales zijn gebouwd; slechts drie kernreactoren zijn actief gegaan in de afgelopen 20 jaar ([Europese Parlement, 2024](#)). Naarmate de ervaring vordert, zal de bouw naar verwachting beter binnen tijd en budget plaatsvinden ([NRG, 2020](#)).

SMR's: er zijn nog geen commerciële SMR's te koop. De meeste ontwerpen zitten nog in de onderzoeksfase. Gezien de vroege ontwikkelingsfase van SMR's, is de verwachting dat het nog 20-25 jaar zal duren voordat SMR's stroom kunnen leveren in Nederland ([Turkenburg, 2024](#)).

Geopolitiek: kernenergie heeft splijtstof nodig om energie te genereren. Dit is meestal een isotoop van het element uranium. Uraniumerts wordt voornamelijk gewonnen in Kazachstan, Australië, Rusland, Canada ([Enerdata, 2021](#)). Ook in China, Afrika, Oekraïne en Zuid-Amerika zijn er uraniummijnen. Naast de mijnen zijn de andere ketenonderdelen ook belangrijk. Een risico is dat Rusland mondiale hoofdleverancier is van splijtstof.

Thorium: een voordeel van thorium ten opzichte van uranium is dat het ruimer aanwezig is dan uranium ([World Nuclear Association, 2024](#)). Reactoren die thorium gebruiken, zijn er nog niet; deze zijn onderdeel van de nieuwste typen kernreactoren generatie IV, die nog in de onderzoeksfase zitten. Thorium zelf is geen directe splijtstof, maar kan wel splijtbaar worden gemaakt in combinatie met een andere splijtstof. Volgens experts als Wim Turkenburg en Jan Leen Kloosterman duurt het nog tientallen jaren voordat thorium als brandstof kan worden ingezet, omdat er nog veel onderzoek nodig is ([Wise](#)).

met alleen zon of wind. Uit systeemstudies blijkt een systeem met kernenergie toch duurder dan een systeem gebaseerd op maximaal zon of wind ([CE Delft & Witteveen+Bos, 2024](#)).

Ruimtelijke effecten

Grote kerncentrale: de kerncentrale in Borssele heeft een vermogen van 485 MW met een oppervlakte van circa 46 ha, oftewel 92 voetbalvelden.

SMR's: deze kleinere reactoren zullen minder ruimte in beslag nemen dan grote kerncentrales. Ze hebben echter ook een aanzienlijk lager vermogen. Aangezien er nauwelijks ervaring is met SMR's, is nog niet te zeggen hoeveel ruimte deze nodig hebben.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-20

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opwek: biomassa

Opwek

- Zon-pv
- Wind op land
- Wind op zee
- Kernenergie incl. SMR en thorium
- **Biomassa**
- Groengas
- (Rest)warmte
- Geothermie
- Alternatieve duurzame bronnen (o.a. witte waterstof, ijzerpoeder, energie uit (zee)water)
- Fossiele bronnen



Algemeen: wat is het?

Biomassa is organisch materiaal dat afkomstig is van planten, bomen, afval of dierlijke restproducten. Het kan worden gebruikt als hernieuwbare energiebron voor het produceren van biobrandstoffen, opwekken van warmte en elektriciteit. Ook kan het als grondstof worden ingezet in de chemische industrie en als (bouw)materiaal. De factsheet gaat voornamelijk over de energetische toepassing. Biomassa bevat opgeslagen zonne-energie, die vrijkomt bij verbranding of andere omzettingsprocessen, zoals vergisting of vergassing. Het is een veelzijdige bron die als alternatief kan dienen voor fossiele brandstoffen.

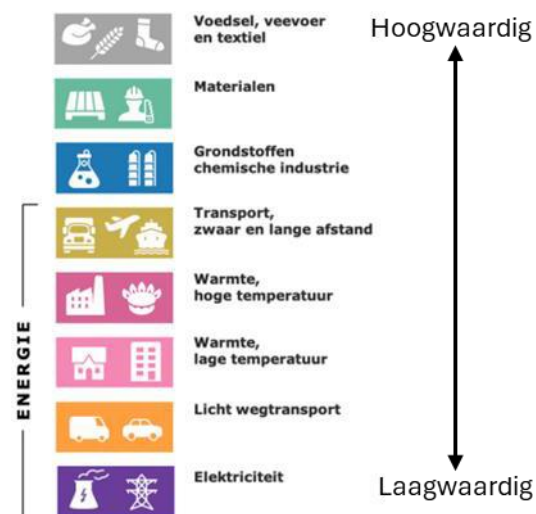
Kenmerken

- **Bijdrage aan doelstelling RES:** nee.
 - **Bijdrage aan CO₂-reductie 2050:** ja.
 - **Technische realisatie voor 2030:** zeker te realiseren.
 - **Doorlooptijd projectontwikkeling:** 2-3 jaar.
 - **Productiekosten:**
 - ketel op vaste biomassa: € 35-71 per MWh (toepassing: hogetemperatuurwarmte);
 - ketel op vloeibare biomassa: € 89-89 per MWh (toepassing: hogetemperatuurwarmte);
 - ketel op houtpellets: € 89-102 per MWh (toepassing: hogetemperatuurwarmte).([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#))
 - **Ruimtelijke impact¹:** voor een biomassacentrale van 900 MW voor elektriciteitsopwekking is 6 hectare nodig. Daarnaast is er veel land nodig om de biomassa te laten groeien en te verwerken tot bruikbare brandstof.
 - **Levensduur:** onbekend.
 - **SDE++-subsidie:** ja.
- (
- [Factsheet Elektriciteit NP RES, 2023](#)
-)

Verschillende vormen: biomassa kan vaste (hout, afval), vloeibare (bio-olie, ethanol) en gasvormige (biogas, syngas) vormen aannemen. De bronnen van biomassa variëren van houtpellets, landbouwafval en mest tot specifieke energiegewassen, zoals koolzaad of suikerriet.

Toepassing

Hoogwaardige vs. laagwaardige toepassingen: biomassa kan voor verschillende doeleinden worden gebruikt: energetische en niet-energetische toepassingen. Elektriciteitsopwekking wordt gezien als laagwaardige toepassing, biomassa als grondstof in de chemische industrie is een hoogwaardige toepassing ([SER, 2020](#)). De volgorde in de onderstaande afbeelding illustreert wat hoog- en laagwaardige toepassingen zijn.



Energetische toepassingen:

- **Biobrandstoffen:** biomassa kan worden omgezet in vloeibare brandstoffen, zoals bio-ethanol of biodiesel, die gebruikt worden in transport.
- **Biogasproductie:** via vergisting van mest, landbouwafval of organisch afval kan biogas worden geproduceerd, dat gebruikt kan worden voor verwarming of elektriciteitsproductie. Dit biogas kan worden opgewaardeerd tot groengas, wat chemisch identiek is aan aardgas. Dit kan direct worden ingevoerd op de huidige gasnetten.
- **Warmteproductie:** biomassa kan worden gebruikt voor hogetemperatuurwarmte in industriële processen, of voor lagetemperatuurdoeleinden, zoals verwarming in huizen, glastuinbouw of stadswarmtenetten.
- **Elektriciteitsopwekking:** biomassa wordt verbrand in energiecentrales voor de productie van elektriciteit. Het kan ook worden bijgemengd met kolen in kolen centrales (co-firing).

Specifieke punten

CO₂-uitstoot: hoewel biomassa theoretisch CO₂-neutraal kan zijn, hangt de werkelijke uitstoot af van de bron en het proces. Ontbossing en transport van biomassa kunnen leiden tot extra uitstoot. De CO₂ die vrijkomt bij het verbranden van biomassa, wordt binnen het Europese Emissiehandelstelsel (EU ETS) gezien als klimaatneutraal en dus hoeven bedrijven niet te betalen voor deze uitstoot ([Emissieautoriteit, 2022](#)).

Biodiversiteit: grote monoteeltplantages kunnen negatieve effecten hebben op biodiversiteit, terwijl goed beheerde bossen of plantages een positief effect kunnen hebben ([WUR, 2022](#)).

Energie vs. grondstof: biomassa wordt momenteel nog veel gebruikt voor energieopwekking. Waar mogelijk is vanuit systeemperspectief een hoogwaardigere toepassing echter wenselijker. Zo kan het worden gebruikt als grondstof in de chemie om bijvoorbeeld bio-plastics te maken. De Sociaal Economische Raad (SER) heeft een duurzaamheidskader opgezet voor de hoogwaardige inzet van biomassa ([SER-rapport, 2020](#)).

Huidige stand van zaken Groningen

De [biomassacentrale](#) van Eneco in Delfzijl is de grootste in Nederland. Hier worden houtpellets verbrand. Bij de [RWE-centrale in de Eemshaven](#) wordt biomassa met steenkool verbrand voor elektriciteitsopwekking.

Betaalbaarheid

Productiekosten in €/MWh: dit zijn de kosten voor de productie per MWh warmte over de gehele levensduur van de installatie. Dus totale kosten (€)/totale productie (MWh).

Betrouwbaarheid

Flexibiliteit: biomassa-installaties voor elektriciteit en/of warmteproductie zijn regelbaar en kunnen gebruikt worden als aanvulling op variabele energiebronnen, zoals wind en zon.

¹ Landgebruik is gebaseerd op de gehele levenscyclus. Dit houdt in dat het oppervlakte voor de energieproductie meetelt, maar ook voor de benodigde mijnen, het brandstofgebruik, de ontmanteling en einde-leven-afvalverwerking. Bij zon-op-dak wordt de dakoppervlakte niet meegeteld, aangezien dit meervoudig ruimtegebruik is.

- ketel op vaste biomassa: € 35-71 per MWh;
 - ketel op vloeibare biomassa: € 89-89 per MWh;
 - ketel op houtpellets: € 89-102 per MWh.
- (SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024)

Alternatief voor fossiele brandstoffen: biomassa kan worden ingezet voor hogetemperatuurwarmte. Hiermee kan het als alternatief dienen voor fossiele brandstoffen in bijvoorbeeld de industrie.

Bestendigheid

Duurzaam potentieel: bij verantwoord beheer en gebruik kan biomassa hernieuwbaar zijn, omdat nieuwe planten en bomen kunnen groeien. Hieraan zijn strikte voorwaarden verbonden, die onder andere door de [Europese Commissie](#) zijn vastgesteld.

Technologische verbeteringen: innovaties in conversietechnologieën, zoals pyrolyse en vergassing, kunnen de efficiëntie van biomassa verhogen. Ook zijn er ontwikkelingen in duurzame biomassa, waarbij reststromen en afval beter worden benut.

Politieke en maatschappelijke steun: de toekomst van biomassa hangt sterk af van beleid en publieke acceptatie. De [Regeling conformiteitsbeoordeling vaste biomassa voor energietoepassingen](#) stelt regels vast voor de beoordeling van de duurzaamheid en conformiteit van vaste biomassa die wordt gebruikt voor energieproductie.

Circulariteit: biomassa zal een rol spelen in de circulaire economie, door het gebruik van biomassa als materiaal voor producten, bouw materiaal, chemische producten, maar ook door het gebruik van afvalstromen en restproducten als energiebron of als hergebruikte grondstof.

Negatieve emissies: bij de verbranding van biomassa kan de CO₂ worden afgevangen en worden opgeslagen onder de grond. Deze CO₂ wordt hiermee uit de koolstofkringloop gehaald, en geldt daarom als negatieve emissie.

Beschikbaarheid

Winning en invoer: in Nederland wordt ongeveer evenveel biomassa gewonnen als ingevoerd uit het buitenland ([CBS, 2022](#)). Uit de [RES 2.0](#) van Groningen blijkt dat er te weinig biomassa is in Groningen om een groot gedeelte van de gebouwde omgeving te verwarmen met een hybride warmtepompsysteem gebaseerd op een aandeel groengas.

Seizoensgebonden: de beschikbaarheid van biomassa kan afhankelijk zijn van seizoensgebonden landbouwproductie, wat opslag en planning noodzakelijk maakt.

Lokale bronnen: afhankelijk van de regio zijn er verschillende vormen van biomassa beschikbaar. In Nederland ligt de focus vaak op houtige biomassa, agrarische reststromen en biogas uit mest.

Ruimtelijke effecten

Ruimtegebruik: de productie van biomassa, vooral voor specifieke energiegewassen, kan grote stukken landbouwgrond in beslag nemen, wat kan concurreren met voedselproductie of natuurgebieden.

Lokale impact: biomassacentrales hebben ruimte nodig en kunnen impact hebben op de lokale omgeving, zoals luchtkwaliteit en transportbewegingen voor aanvoer van biomassa.

Overig

Klimaatneutraal voor emissieregistratie: de CO₂ die vrijkomt bij het verbranden van biomassa, wordt binnen het Europese Emissiehandelsstelsel (EU ETS) gezien als klimaatneutraal en dus hoeven bedrijven niet te betalen voor deze uitstoot ([Emissieautoriteit, 2022](#)).

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-21

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opwek: groengas

Opwek

- Zon-pv
- Wind op land
- Wind op zee
- Kernenergie incl. SMR en thorium
- Biomassa
- **Groengas**
- (Rest)warmte
- Geothermie
- Alternatieve duurzame bronnen (o.a. witte waterstof, ijzerpoeder, zon op water)
- Fossiele bronnen



Bron: Beeldbank CE Delft.

Algemeen: wat is het?

Groengas in de context van energieproductie, verwijst naar gas dat is opgewekt uit hernieuwbare bronnen, zoals organisch afval, mest of landbouwafval, en dat vervolgens is opgewaardeerd tot dezelfde kwaliteit als aardgas. Dit gas kan zonder aanpassingen worden ingevoegd in de bestaande gasinfrastructuur, waardoor het een duurzame vervanging biedt voor fossiel aardgas. Groengas kan worden ingezet als hernieuwbare energiebron voor elektriciteitsopwekking, warmteproductie of als brandstof voor voertuigen.

Kenmerken

- **Bijdrage aan doelstelling RES:** nee, maar wordt wel genoemd in RES 2.0.
 - **Bijdrage aan CO₂-reductie 2050:** ja.
 - **Technische realisatie voor 2030:** zeker te realiseren.
 - **Doorlooptijd projectontwikkeling:** enkele jaren (afhankelijk van schaal, locatie en type vergister).
 - **Productiekosten:** € 10-120 per MWh.
 - **Ruimtelijke impact:** voor een vergister van 10 MW is circa 0,5-2 hectare nodig.
 - **Levensduur:** onbekend.
 - **SDE++-subsidie:** ja ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).
- ([Factsheet Elektriciteit NP RES, 2023](#))

Toepassing

Elektriciteits- of warmteproductie: groengas kan in het huidige aardgasnetwerk worden vermengd. Hier kan het gebruikt worden voor elektriciteitsopwekking of warmteproductie. Met name voor toepassingen die slecht te elektrificeren zijn (zoals oude, slecht geïsoleerde huizen) kan groengas een oplossing bieden.

Brandstof voor voertuigen: aangezien het identiek is aan aardgas, kan groengas als bio-LNG worden gebruikt in voertuigen die rijden op LNG ([Platform Groengas](#)).

Specifieke punten

Identiek aan aardgas: groengas heeft dezelfde chemische samenstelling als aardgas. Hierdoor kan het eenvoudig worden ingevoegd in de bestaande infrastructuur.

Opgewaardeerd biogas: groengas is opgewaardeerd biogas, wat afkomstig is van vergassing of vergisting (zie 'Factsheet Conversie: vergisting en vergassing') ([Platform Groengas](#)).

Stand van zaken in Groningen

Er zijn veel landbouwbedrijven actief in Groningen waar mest en restproducten worden geproduceerd. Deze kunnen in vergisters en vergassers worden omgezet in onder andere groengas. Momenteel wordt er in Groningen ca. 10 miljoen m³ aan groengas geproduceerd uit vergisting en vergassing. Hiermee kunnen er circa 8.500 woningen aardgasvrij worden gemaakt ([CE Delft, 2024](#)).

Betaalbaarheid

Productiekosten in €/MWh: dit zijn de kosten voor de productie van 1 MWh (LHV¹) groengas over de gehele levensduur van de installatie. Dus totale kosten (€)/totale productie (MWh).

Productiekosten: € 10-120 per MWh.
([Factsheet Elektriciteit NP RES, 2023](#))

Bestendigheid

Duurzaamheid: vergisting wordt volgens [Europese Richtlijnen](#) gezien als een duurzame manier van energieproductie. De input van organisch afval en mest zijn namelijk hernieuwbaar.

Afval en mestverwerking: vergisting is een nuttige manier om afval en mest om te zetten in bruikbaar gas. Vergisting draagt hiermee bij aan de circulaire economie.

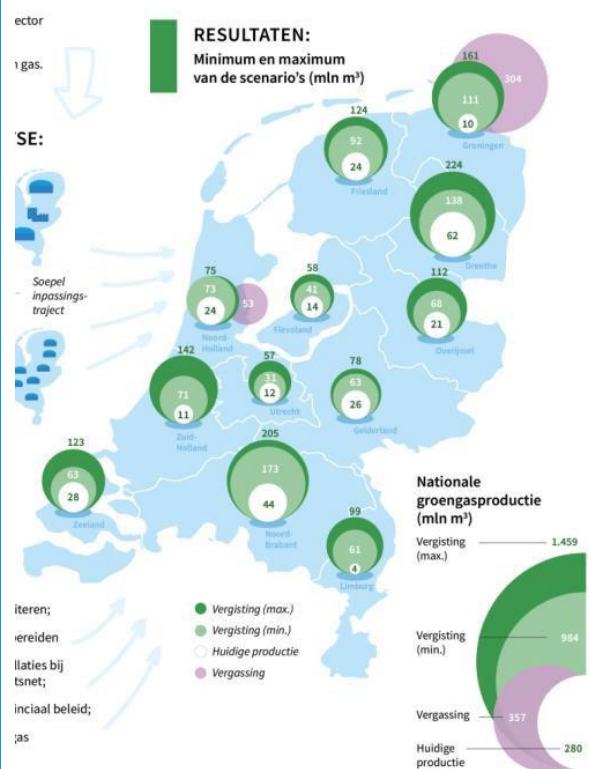
Nog niet winstgevend: de productie van groengas is op dit moment nog niet winstgevend, en de opschaling ervan wordt gedreven door beleidsinstrumenten zoals de SDE++ en de aangekondigde bijmengverplichting ([Ministerie van EZK](#)).

Betrouwbaarheid

Groengascertificaten: net als groene stroom wordt groengas gecertificeerd geleverd. In Nederland geeft [Verticer](#) de groengascertificaten, de GvO's (Garantie van Oorsprong), uit. Verticer controleert of het gas voldoet aan de gestelde eisen voor zo'n certificaat. Dankzij een groengascertificaat weet de afnemer zeker dat het groengas ook echt groen is.

Beschikbaarheid

In Groningen is er voor groengasproductie met name veel potentie voor vergassing, ongeveer tweemaal zo veel als vergisting. Dit is gebaseerd op [een onderzoek](#) op basis van de huidige plannen (CE Delft, 2024). Hierbij is het belangrijk om te vermelden dat er voor vergassing veel import van houtige biomassa nodig is, dat dus niet in Groningen zelf geproduceerd is.² De huidige productie (10 miljoen m³) is zeer gering vergeleken met de potentie voor vergisting en vergassing in 2030.



Bron: [CE Delft, 2024](#).

¹ LHV: lower heating value.

² In de scenario's die zijn opgesteld voor deze studie, gaan we uit van productie alleen binnen Groningen, zonder import.

Ruimtegebruik	Overig
Vergistingsinstallatie: kleine vergisters bij boerenbedrijven zijn cilindervormige silo's met een ronde koepel. Het gas wordt opgeslagen in cilindervormige tanks. Grote regionale vergisters bestaan vaak uit meerdere installaties en structuren. De omvang van het aantal vergisters in Groningen is niet bekend. Invoeden gasnet: groengas kan, nadat het op de juiste druk is gebracht, direct worden getransporteerd in het huidige aardgasnetwerk, aangezien groengas chemisch dezelfde samenstelling heeft als aardgas. Een aansluiting op het gasnet is daarvoor vereist.	N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-22

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

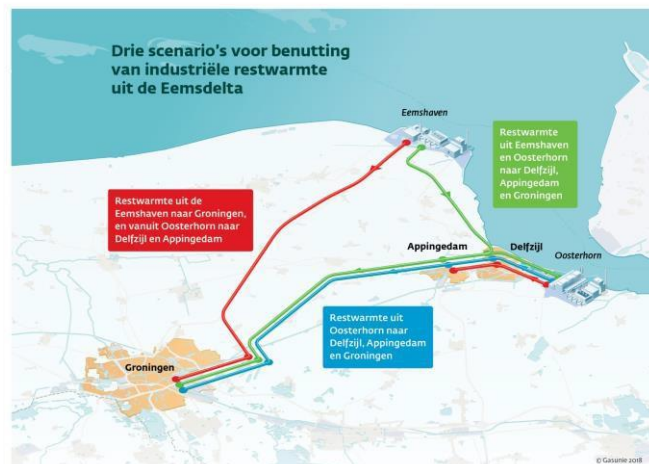
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opwek: restwarmte

Opwek

- Zon-pv
- Wind op land
- Wind op zee
- Kernenergie incl. SMR en thorium
- Biomassa
- Groen gas
- **Restwarmte**
- Geothermie
- Alternatieve duurzame bronnen (o.a. witte waterstof, ijzerpoeder, energie uit (zee)water)
- Fossiele bronnen



Bron: [GasUnie](#).

Algemeen: wat is het?

Restwarmte is onvermijdelijke thermische energie die als bijproduct in industriële of bedrijfsmatige processen wordt opgewekt en die zonder verbinding met een warmtenet of direct lokaal gebruik, ongebruikt terecht zou komen in lucht of water. Via een warmtewisselaar kan restwarmte worden overdragen op een warmtenet.

Kenmerken

- **Bijdrage aan doelstelling RES:** ja, (in [Werkblad Regionale Structuur Warmte](#)).
 - **Bijdrage aan CO₂-reductie 2050:** ja.
 - **Technische realisatie voor 2030:** zeker te realiseren.
 - **Realisatietijd:** 5-15 jaar (zonder aanleg warmtenet), is altijd maatwerk.
 - **Productiekosten:** € 10-37/MWh ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).
 - **Ruimtelijke impact:** n.v.t.
 - **Levensduur:** afhankelijk van restwarmtebron.
 - **SDE++-subsidie:** ja.
- ([NP RES Factsheet Warmte, 2023](#))

Toepassing

Warmtenetten: bij warmtebronnen zoals industrie, datacenters en koelhuizen komt restwarmte vrij. Deze gebouwen en installaties moeten gekoeld worden, oftewel: warmte moet worden onttrokken. Vaak wordt deze warmte geloosd aan de omgeving via koeltorens, luchtkoelers of ventilatie, maar de restwarmte kan ook nuttig worden gebruikt voor een warmtenet. In de industrie gaat het vaak over hogere temperaturen dan bij datacenters.

Specifieke punten

De gemeente is vaak de trekker om partijen bij elkaar te krijgen. De gemeente of de regio kan de bronnen van restwarmte lokaliseren en in de regionale energiestrategie opnemen. Daarnaast is de gemeente in het voortraject vaak de partij die onderzoeken financiert om projecten te helpen realiseren ([NPLW](#)).

Huidige stand van zaken Groningen

Restwarmte uit datacenters wordt benut in het warmtenet van WarmteStad in Groningen. Er wordt momenteel restwarmte uit twee datacenters benut voor warmtelevering aan de gebouwde omgeving ([WarmteStad](#)). Ook worden er voorbereidingen getroffen voor een project voor warmtetransport van de industrie en datacenters in Eemshaven en Delfzijl, naar de gebouwde omgeving in Delfzijl, Appingedam en Groningen ([Nationaal Programma Groningen](#) en [CES 3.0 Noord-Nederland](#)).

Betaalbaarheid

Productiekosten in €/MWh: dit zijn de kosten voor de productie van 1 MWh elektriciteit over de gehele levensduur van de installatie. Dus totale kosten (€)/totale productie (MWh).

Productiekosten: € 10-37/MWh ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).

Aansluitkosten: voor een warmtenetaansluiting betaalt de woningeigenaar meestal een eenmalige bijdrage aansluitkosten (BAK) aan de warmteleverancier. De eigenaar/bewoner gaat een leveringscontract aan met de warmteleverancier. Dit valt in de regel onder de warmtewet. De leveringstarieven voor warmte uit warmtenetten verschillen per warmtenet en leverancier.

Vorbereidende kosten: voor een aansluiting op het warmtenet zijn er in de woningen soms aanpassingen nodig, zoals extra isolatie of leidingen.

Gekoppeld aan de gasprijs: de kosten voor warmtelevering uit een warmtenet zijn nu gekoppeld aan de gasprijs, zodat de kosten voor de bewoner ongeveer gelijk zijn aan de kosten van warmte uit een cv-ketel. In het voorstel voor aanpassing van de Warmtewet wordt deze koppeling aan de gasprijs gefaseerd losgelaten ([NPLW](#)).

Betrouwbaarheid

De benutting van restwarmte is technisch vaak niet ingewikkeld; het is vooral een organisatorisch vraagstuk. De belangstelling voor restwarmtelevering aan warmtenetten gericht op de gebouwde omgeving en glastuinbouw neemt toe en inmiddels zijn verschillende projecten gerealiseerd ([NPLW](#)).

Bestendigheid

Klimaatbeleid: vanuit het klimaatbeleid is restwarmte een belangrijke technologie. De verwachting is dat de benutting van restwarmte sterk zal groeien. De groei komt vooral vanuit de grote industriële clusters, maar ook bij de meer solitaire industrieën zijn kansen, zeker als er dichtbij al een warmtenet ligt. De overheid zal in het kader van de Warmtewet 2 beleid uitwerken voor de benutting van restwarmte.

Restwarmte uit nieuwe industrieën: restwarmte kan gewonnen worden uit processen waar warmte vrijkomt, die normaliter zou worden geloosd aan de omgeving. Nieuwe industrieën, zoals elektrolyzers voor waterstofproductie, zullen naar verwachting op grote schaal worden geplaatst in Nederland, vooral bij aanlandlocaties van wind op zee. De Eemshaven is één van deze locaties waar veel elektrolyzers zullen komen te staan. Bij de productie van waterstof komt restwarmte vrij, die kan worden benut via warmtenetten.

Restwarmte uit fossiele industrieën: fossiele industrieën zullen na verloop van tijd waarschijnlijk verdwijnen. Het is niet te voorspellen in hoeverre deze vervangen zullen worden door nieuwe industrie. Door restwarmte uit huidige fossiele industrie uit te koppelen, loopt een warmteproject het risico deze warmtebron op termijn te verliezen.

Beschikbaarheid

Elektrificatie: de verdere verduurzaming en elektrificatie van de industrie kan betekenen dat de beschikbaarheid van restwarmte afneemt. Bij elektrificatie van industriële processen zal naar verwachting minder restwarmte vrijkomen dan bij fossiele industrie.

Innovaties: technische innovaties zie je vooral op het gebied van het beter beschikbaar maken van restwarmte uit industriële processen. Bijvoorbeeld door een hoger rendement of geschiktheid voor warmtewinning uit corrosieve gasstromen. Warmteopslag kan ook een rol spelen, zeker als restwarmtebronnen niet continu leveren. Andere innovaties zitten vooral aan de organisatorische kant: de wijze waarop je de risico's kunt beperken en het financieringsvraagstuk is op te lossen ([NPLW](#)).

Hiervoor zal dan een alternatief in de plaats moeten komen, anders kan het warmtenet niet genoeg warmte leveren. Dit is een belangrijk aandachtspunt bij het realiseren van een warmtenet ([NPLW](#)).

Ruimtelijke effecten

Om restwarmte uit te koppelen en te leveren via een warmtenet, zijn er warmtewisselaars en uitkoppelingsinstallaties nodig bij de industrie of datacenters, die de warmte afgeven aan het water in het warmtenet. Dit vereist ruimte bij de warmtebron. Daarnaast moet er ruimte gemaakt worden om het warmtenet aan te leggen.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-23

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

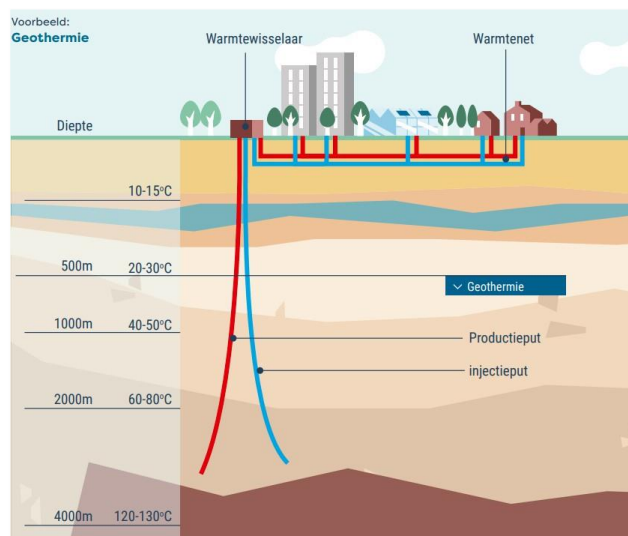
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opwek: geothermie

Opwek

- Zon-pv
- Wind op land
- Wind op zee
- Kernenergie incl. SMR en thorium
- Biomassa
- Groengas
- (Rest)warmte
- **Geothermie**
- Alternatieve duurzame bronnen (o.a. witte waterstof, ijzerpoeder, zon op water)
- Fossiele bronnen



Bron: [NP RES Factsheet Warmte, 2023](#).

Algemeen: wat is het?

Geothermie is het gebruik van aardwarmte uit de diepe ondergrond (vanaf 500 meter diepte). Het benutten van warmte (en koude) uit de ondiepe ondergrond (tot 500 meter diepte) wordt *bodemenergie* genoemd, en valt niet onder geothermie.

Om de warmte uit de diepe ondergrond te benutten, moeten twee putten, een zogenaamd doublet, worden geboord: de productieput en de injectieput. De productieput pompt het warme water omhoog. Vervolgens wordt de warmte via een warmtewisselaar afgegeven aan een warmtenet.¹ Het afgekoelde water wordt via de injectieput terug naar dezelfde aardlaag gepompt. Hoe dieper de boring, hoe hoger de temperatuur van het water, en hoe hoger de kosten van de boring. Geothermie is alleen mogelijk op locaties waar voldoende potentie is in de ondergrond ([NP RES Factsheet Warmte, 2023](#)).

Kenmerken

- **Bijdrage aan doelstelling RES:** ja, via de [Regionale Structuur Warmte \(RSW\)](#) wordt in kaart gebracht welke warmtebronnen beschikbaar zijn voor gemeenten. Dit is onderdeel van de [RES 2.0](#).
 - **Bijdrage aan CO₂-reductie 2050:** ja.
 - **Technische realisatie voor 2030:** realiseerbaar, maar praktijkervaring op zeer grote schaal ontbreekt nog.
 - **Doorlooptijd projectontwikkeling:** 3,5-9,5 jaar.
 - **Productiekosten:** € 47-60/MWh ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).
 - **Ruimtelijke impact:** boorlocatie 0,6-1 hectare, als installatie gereed is 0,3 hectare.
 - **Levensduur:** minimaal 30 jaar ([Platform Geothermie](#)).
 - **SDE++-subsidie:** ja.
- ([NP RES Factsheet Warmte](#))

Toepassing

Warmtelevering: met geothermie wordt warmtelevering gerealiseerd door heet water op te pompen uit diepe onderlagen. Afhankelijk van de diepte en de geologie van de ondergrond kunnen er verschillende temperaturen worden gewonnen. Op zeer grote diepten (-4.000 m) kunnen er temperaturen van 120-130 °C worden gewonnen, op middelgrote diepten (-2.000 m) kan er water van 60-80 °C worden gewonnen ([NP RES Factsheet Warmte](#)).

¹ Het water van de geothermiebron en het warmtenet komen fysiek niet in aanraking met elkaar.

Specifieke punten

Potentie warmtelevering gebouwde omgeving:

hoeveel woningen verwarmd kunnen worden, hangt af van de potentie van de ondergrond en de diepte van de boring. Een gemiddelde put (15 MW) kan ongeveer 7.500 huizen verwarmen ([NP RES Factsheet Warmte](#)).

Warmtegradiënt in Nederlandse ondergrond: met elke kilometer neemt de warmte van het water in de ondergrond ongeveer 30 °C toe. In Nederland wordt aardwarmte doorgaans gewonnen tussen de 2-3 km diepte in de ondergrond ([Geothermie.nl](#)).

Huidige stand van zaken Groningen

Momenteel zijn er geen grote geothermieprojecten bekend in Groningen. Op de kaart van [WarmteAtlas](#) is te zien dat er in verschillende delen in Groningen potentie is voor geothermie.

Geothermie (aardwarmte) ligt gevoelig in de provincie, vanwege de gaswinning. De gaswinning heeft namelijk tot aardbevingen geleid in Groningen en er bestaat een risico dat geothermie tot dezelfde gevolgen kan leiden ([Staats-toezicht op de Mijnen](#)). Uit een [recent onderzoek](#) van Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) blijkt dat het risico op aardbevingen door geothermiewinning van veel factoren afhangt. De aanbeveling is daarom om voor elk geothermieproject een seismische risicoanalyse uit te voeren, speciaal voor die locatie.

Betaalbaarheid

Productiekosten in €/MWh: dit zijn de kosten voor de productie van 1 MWh warmte over de gehele levensduur van de installatie (30 jaar) ([Stichting Platform Geothermie, 2012](#)). Dus totale kosten (€)/totale productie (MWh).

- **Productiekosten:** € 47-132/MWh ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).

Betrouwbaarheid

Zeer weinig risico aardbevingen: geothermie wordt wereldwijd al decennia toegepast en in Nederland sinds 2007. Sindsdien is er nog nooit een voelbare aardbeving waargenomen. Het risico hierop is dus zeer klein en schade hierdoor is nog kleiner ([Geothermie Nederland](#)). Het KNMI meet seismische data van geothermieprojecten, en kan de geothermie-exploitant op de hoogte stellen van seismische activiteit, waar dan adequaat op gereageerd kan worden.

Huidige ervaring met geothermie: in Nederland zijn er 27 aardwarmtewinningslocaties ([Alles over aardwarmte.nl](#)). In potentie zou geothermie meer dan 20% van de warmtevraag in Nederland kunnen dekken, maar het gebruik is tot nu toe nog relatief beperkt. Dit komt onder andere doordat de investeringskosten van de aanleg van een aardwarmte-installatie en warmtenet hoog zijn. Ook zijn het vaak complexe projecten, waar veel partijen bij aangesloten zijn. Bovendien is er altijd een risico dat de aardwarmte niet wordt aangetroffen; pas na een (kostbare) proefboring is duidelijk hoeveel warmte de bron precies kan leveren. Dit levert aanzienlijk investeringsrisico op.

Strikte regels en vergunningen: het winnen van aardwarmte is aan strenge regels gebonden. Aardwarmte-bedrijven hebben diverse vergunningen nodig, zoals een mijnbouwvergunning van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Alleen bedrijven die aan alle regels voldoen en kunnen laten zien dat hun project veilig is, krijgen een vergunning om aardwarmte te winnen ([Geothermie Nederland](#)).

Bestendigheid

Stabiele en duurzame warmtelevering: geothermie kan stabiel warmte leveren en is bovendien hernieuwbaar ([Geothermie Nederland](#)). De warmte wordt ondergronds steeds weer van nature aangevuld.

Ontwikkeling afgelopen jaren: warmtelevering uit geothermie is de afgelopen jaren sterk gegroeid in Nederland ([CBS](#)). De verwachting is dat deze groei doorzet, aangezien het een van de duurzame bronnen is die een belangrijke bijdrage kan leveren aan de warmtevoorziening.

Ruimtelijke effecten

Boorlocatie 0,6-1 hectare, als installatie gereed is 0,3 hectare ([NP RES Factsheet Warmte, 2023](#)).

Beschikbaarheid

De beschikbaarheid van geothermie in Groningen kan worden ingeschat op basis van openbare bronnen zoals [ThermoGIS](#) en [WarmteAtlas](#). Hier is onderzocht waar er technische en/of economische potentie is voor geothermie. Op basis van deze kaarten is te zien dat er in verschillende delen van Groningen potentie is voor geothermie, zowel technisch als economisch. De provincie Groningen streeft naar verdere ontwikkeling van geothermie. Voor toepassing geothermie baseert de provincie zich op de adviezen van SodM ([Provincie Groningen, geconsolideerde Omgevingsvisie, 2023](#)).

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-24

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

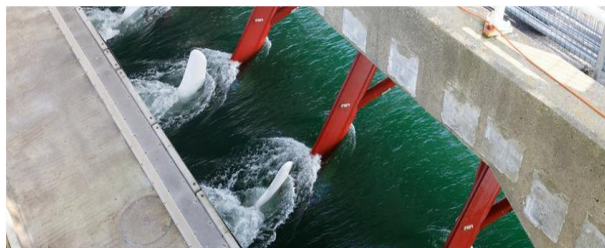
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opwek niche: getijdenenergie

Opwek niche

- Zon op water
- **Getijdenenergie**
- Witte waterstof



Bron: [Zelf Energie Produceren](#).

Algemeen: wat is het?

Getijdenenergie is een vorm van energie die is opgewekt uit de getijden. Door de afwisseling van eb en vloed ontstaan stromingen in het water die energie bevatten, die door turbines opgevangen kan worden. Getijdenenergie kan gewonnen worden ofwel op basis van verval, ofwel door stromingen die onder water ontstaan door de afwisseling van eb en vloed. Op sommige plekken op de aarde wordt getijdenstroom al langere tijd toegepast, meestal op basis van verval bij waterkeringen. De potentie van getijdenenergie is beperkt door het aantal geschikte locaties.

Hoewel er in Nederland wel wat geëxperimenteerd wordt met getijdenenergie, is de enige commerciële toepassing op dit moment een project van 1,2 MW bij de Oosterscheldekering ([Witteveen+Bos & CE Delft, 2021](#)). De potentie van getijdenenergie in Nederland is in theorie hoog (~200 PJ), echter berust deze potentie voornamelijk op de toepassing van een relatief nieuwe techniek: Dynamic Tidal Power. Hierbij wordt een dam (met een lengte van 30-50 km) in zee gebouwd, waarin turbines geplaatst worden voor energie-opwek. Dit is een techniek die zich nog in de verkennende fase (TRL 3) bevindt, en bovendien door de grote schaal hoge investeringskosten kent.

Kenmerken

- **Bijdrage aan doelstelling RES:** nee.
- **Bijdrage aan CO₂-reductie 2050:** klein.
- **Technische realisatie voor 2030:** beperkt.
- **Productiekosten:** € 0,17-0,24/kWh ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).
- **Ruimtelijke impact:** afhankelijk van locatie.
- **SDE++-subsidie:** ja.

Toepassing

Bron van elektriciteit: getijdenenergie kan een bron vormen van elektriciteit, met een fluctuerend, maar voorspelbaar opwekpatroon. Deze wordt namelijk bepaald door de getijden, die een bepaalde regelmaat hebben.

Specifieke punten

Ecologische aspecten: bij implementatie van getijdenenergie heeft men bijna altijd te maken met ecologische aspecten. Een uitdaging bij het design van de turbines zelf, is het effect dat deze hebben op (migratie van) vissen. Daarnaast zijn er veel gebieden die een beschermde status hebben (bijvoorbeeld Natura 2000-gebieden), waardoor plaatsing van nieuwe installaties niet mogelijk is.

Stand van zaken in Groningen

In Groningen wordt getijdenenergie niet commercieel gewonnen. Wel is er recentelijk onderzoek gedaan naar de potentie van onder andere getijdenenergie in het Waddengebied ([TNO, 2024](#)). In totaal is er voldoende potentieel om de Waddeneilanden van elektriciteit te voorzien en een substantieel deel (maximaal 8% in 2030) van het elektriciteitsverbruik van huishoudens in de kop van Noord-Holland, Friesland en Groningen.

Betaalbaarheid

Getijdenenergie is grofweg twee keer zo duur als gebruik van zon- of windenergie voor elektriciteit ([Witteveen+Bos & CE Delft, 2021](#)).

Betrouwbaarheid

Opwekpatroon is voorspelbaar: de getijden eb en vloed hangen sterk samen met de cyclus die de maan om de aarde heen maakt. Daarmee is het opwekprofiel van turbines die getijdenenergie gebruiken erg voorspelbaar.

Techniek is doorontwikkeld: hoewel er ook innovatieve concepten bestaan, is de meest voor de hand liggende techniek die gebruik maakt van turbines ver doorontwikkeld. Daardoor is er een hoge betrouwbaarheid van de werking van deze techniek.

Bestendigheid

Levensduur: installaties voor getijdenenergie kunnen een lange levensduur hebben. Zo draait in Frankrijk de La Rance-installatie al sinds 1966, met slechts één grote renovatie (vervanging) van de 24 turbines ([Power Engineering International, 1996](#)).

Beschikbaarheid

Potentie beperkt: de potentie van getijdenenergie wordt beperkt door met name ruimtelijke (waar kán je het winnen) en ecologische factoren. Wel is op de plekken waar je getijdenenergie kan winnen, de beschikbare hoeveelheid energie goed voorspelbaar.

Ruimtegebruik

Wanneer getijdenenergie gewonnen wordt bij een al bestaande waterkering, is het ruimtegebruik beperkt. Echter, wanneer een nieuwe installatie wordt gemaakt, is het ruimtegebruik groter. In termen van MW/km² is toepassing van Dynamic Tidal Power wel efficiënter dan toepassing van wind op zee ([Witteveen+Bos & CE Delft, 2021](#)).

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-27

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opwek niche: witte waterstof

Opwek niche

- Zon op water
- Getijdenenergie
- **Witte waterstof**



Bron: [ResearchGate](#).

Algemeen: wat is het?

Witte waterstof is waterstof die natuurlijk in de ondergrond aanwezig is. De waterstof ontstaat hier onder andere door een reactie tussen water en ferromagnetische mineralen (in een proces genaamd *serpentinisatie*). Interessant voor winning zijn vooral gebieden waar waterstof in grote concentraties aanwezig is. Potentieel kan, afhankelijk van de locatie, witte waterstof relatief goedkoop geproduceerd worden (in de orde van ~ € 1 per kg waterstof). Echter is het onzeker op welke plekken op aarde daadwerkelijk witte waterstof in bruikbare concentraties aanwezig is en gewonnen kan worden. Op verschillende plekken op de wereld doen bedrijven en onderzoeksinstanties onderzoek naar de mogelijkheden van het winnen en gebruiken van deze waterstof. In Nederland doet TNO onderzoek naar de potentie van witte waterstof ([Energeia, 2024](#)). In een [antwoord op Kamervragen](#), heeft minister Jetten aangegeven te verwachten dat de potentie van witte waterstof in Nederland beperkt is doordat de geologische omstandigheden waarbij natuurlijke waterstof verwacht wordt, in Nederland nauwelijks voorkomen.

Kenmerken

- **Bijdrage aan doelstelling RES:** nee.
- **Bijdrage aan CO₂-reductie 2050:** waarschijnlijk niet.
- **Technische realisatie voor 2030:** nee.
- **Doorlooptijd projectontwikkeling:** onzeker.
- **Productiekosten:** ~ € 1 per kg.
- **Ruimtelijke impact:** onzeker.
- **SDE++-subsidie:** nee.

Toepassing

Als energiedrager: waterstof kan worden gebruikt als energiedrager voor verschillende toepassingen: als brandstof in de mobiliteit, voor (hogetemperatuur)warmte in de industrie en als warmtebron in de gebouwde omgeving.

Als grondstof: waterstof wordt gebruikt als grondstof voor de productie van onder andere ammoniak en methanol, en zou in de toekomst ook gebruikt kunnen worden voor productie van e-fuels en andere producten.

Specifieke punten

N.v.t.

Stand van zaken in Groningen

Er is op dit moment geen winning van witte waterstof in Groningen. In een [antwoord op Kamervragen](#), heeft minister Jetten aangegeven te verwachten dat de potentie van witte waterstof in Nederland (en dus Groningen) beperkt is, doordat de geologische omstandigheden waarbij natuurlijke waterstof verwacht wordt, in Nederland nauwelijks voorkomen.

Betaalbaarheid

Er zijn plekken op de aarde geïdentificeerd waar witte waterstof voor een relatief lage prijs gewonnen kan worden. Echter, in Nederland is dit (nog) niet het geval ([RystadEnergy](#)).

Bestendigheid

Duurzaamheid: in theorie kan witte waterstof op een duurzame manier geproduceerd worden. Dit is met name afhankelijk van de concentratie methaan in het gewonnen mengsel ([RystadEnergy](#)).

Mogelijke risico's: er is nog veel onbekend over veiligheidsrisico's, zoals risico op aardbevingen en lekken/ explosies, gepaard gaande met waterstofextractie.

Voorraad: onzeker, maar één schatting die gedaan wordt, is 23 miljoen ton per jaar op wereldschaal ([USGS & Colorado School of Mines](#)).

Ruimtegebruik

Het benodigde ruimtegebruik voor winning van waterstof is onzeker, gezien de lage technologische ontwikkeling.

Betrouwbaarheid

Nog veel onzekerheid: er is nog veel onduidelijk over witte waterstof. Er is meer onderzoek nodig om de potentie van witte waterstof te kunnen inschatten en mogelijke risico's in kaart te brengen.

Beschikbaarheid

Waarschijnlijk niet in Nederland: TNO doet momenteel onderzoek naar witte waterstof in Nederland, maar de verwachting is dat de potentie beperkt is ([Tweede Kamer](#)).

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-28

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opwek: fossiele bronnen

Opwek

- Zonnepanelen (zon-pv)
- Wind op land
- Wind op zee
- Kernenergie incl. SMR en thorium
- Biomassa
- Groengas
- (Rest-)warmte
- Geothermie
- Alternatieve duurzame bronnen (o.a. witte waterstof, ijzerpoeder, energie uit (zee)water)
- **Fossiele bronnen**



Bron: Fotobank CE Delft.

Algemeen: wat is het?

Fossiele bronnen zijn gas, olie en kolen. Gas en (steen)kolen worden voor energieopwekking gebruikt in Nederland. Olie wordt gebruikt voor brandstof van voertuigen en als grondstof voor veel producten. Bij de verbranding van deze bronnen komt veel energie vrij. Deze energie wordt gebruikt voor elektriciteitsproductie, industriële warmte, ruimteverwarming, koken, brandstof voor voertuigen en meer.

Elektriciteitsproductie gebeurt in energiecentrales. De warmte die vrijkomt bij de verbranding van fossiele bronnen (gas of kolen) wordt overgedragen aan water. Dit water verdampt tot stoom, die wordt gebruikt om een turbine aan te drijven, die verbonden is met een generator om elektriciteit op te wekken. In Nederland wordt olie zeer beperkt gebruikt voor elektriciteitsopwekking, soms (tijdelijk) via dieselgeneratoren.

In industriële processen wordt de verbrandingswarmte van fossiele bronnen ook vaak omgezet in stoom, maar kan ook als directe warmte met een (gas)fornuis worden benut. In de glastuinbouw worden warmtekrachtkoppelingen (wkk's) gebruikt voor zowel warmte als elektriciteitsproductie.

Brandstoffen voor voer- en vaartuigen worden grotendeels gemaakt uit olie. Uit olie wordt onder andere benzine en diesel gemaakt.

Kenmerken

- **Bijdrage aan doelstelling RES:** nee.
- **Bijdrage aan CO₂-reductie 2050:** nee.
- **Technische realisatie voor 2030:** zeker te realiseren.
- **Doorlooptijd projectontwikkeling:** kolencentrales zullen vanwege [Wet verbod op kolen bij elektriciteitsproductie](#) niet meer worden gebouwd in Nederland. Een nieuwbouw of ombouw van een gascentrale duurt circa 2 tot 2,5 jaar ([CE Delft, 2022](#)).
- **Productiekosten (€/MWh):**
 - elektriciteit uit kolen: [65](#) €/MWh;
 - elektriciteit uit gas (pieklust): [110-228](#) €/MWh;
 - elektriciteit uit gas (basislast): [42](#) €/MWh;
 - gas huishoudens: [136](#) €/MWh;
 - benzine: [242](#) €/MWh (aan de pomp);
 - diesel: [187](#) €/MWh (aan de pomp).

Toepassing

Elektriciteitsproductie: fossiele bronnen worden gebruikt voor elektriciteitsproductie in centrales of wkk's. De warmte die vrijkomt, wordt omgezet in elektriciteit via een stoomturbine en generator.

Warmteproductie: bij verbranding van fossiele bronnen komt veel warmte vrij. Deze warmte kan worden benut voor industriële processen, glastuinbouw, ruimteverwarming, koken.

Brandstof voor transportsector: olie- en gasproducten worden gebruikt als brandstof voor de transportsector.

- **Ruimtelijke impact¹** ([Ritchie, 2022](#)):
 - kolencentrale: 15 m²/MWh;
 - kolencentrale met CCS: 21 m²/MWh;
 - gascentrale: 1,3 m²/MWh.
- **Levensduur:** 30 jaar ([Wise](#)).
- **SDE++-subsidie:** nee.

Specifieke punten

Basislast vs. pieklast: elektriciteitsproductie uit fossiele bronnen hebben verschillende profielen. Kolen- en kern-centrales draaien voor een groot gedeelte van het jaar op maximaal vermogen of volle last. Dat betekent dat het aantal vollasturen hoog is ([CE Delft, 2022](#)). Dit soort centrales voorzien 'basislast'-electriciteit. Bij 'pieklast'-centrales ligt het aantal vollasturen lager. Vaak zijn dit aardgascentrales, omdat het op- en afregelen van elektriciteitsproductie hier technisch eenvoudiger is dan bij basislast centrales. De pieklastcentrales schakelen aan als er een piekvraag is voor elektriciteit.

Betaalbaarheid

Productiekosten in €/MWh: dit zijn de kosten voor de productie van 1 MWh elektriciteit over de gehele levensduur van de pv-panelen. Dus totale kosten (€)/totale productie (MWh).

Productiekosten (€/MWh) ([Lazard LCOE, 2024](#)):

- elektriciteit uit kolen: 65-158 €/MWh;
- elektriciteit uit gas (pieklast): 104-215 €/MWh;
- elektriciteit uit gas (basislast): 42-102 €/MWh;
- gas huishoudens: 136 €/MWh ([CBS](#)).

CO₂-emissierechten: in de Europese Unie bestaat een CO₂-emissiehandelsstelsel, het EU ETS. Alle grote industrie en in de toekomst nog meer sectoren zijn wettelijk verplicht om mee te doen aan dit emissiehandelsstelsel. In het kort houdt het in dat uitstoters moeten betalen voor hun emissies. Zie 'Factsheet Gebruik: prijsinstrumenten' voor meer informatie.

Bestendigheid

CO₂-uitstoot: bij de verbranding van kolen en gas komt veel CO₂-uitstoot vrij. Via de verschillende klimaatakkoorden is afgesproken dat deze uitstoot omlaag moet. Hierdoor kan de samenleving op termijn geen fossiele brandstoffen meer gebruiken. Een uitzondering zijn processen waarbij de uitstoot kan worden afgevangen met CCS.

Huidige stand van zaken Groningen

De [Femshaven-centrale](#) van RWE draait op steenkolen en biomassa. De [Magnumcentrale](#) ook van RWE draait op aardgas.

In 2022 verwarmde het overgrote deel van de huishoudens in Groningen nog met aardgas, circa 85% ([CBS, 2024](#)).

Betrouwbaarheid

Bewezen technologie: kolen en gas hebben voor lange tijd energie geleverd aan onze samenleving. Dit heeft een zeer betrouwbaar energiesysteem opgeleverd.

Uitfasering fossiele brandstoffen: fossiele brandstoffen worden steeds minder gebruikt. Bepaald beleid vanuit de overheid stuurt hierop. Voorbeelden hiervan zijn de '[Wet verbod op kolen bij elektriciteitsproductie](#)' en het '[EU-verbod op verkoop nieuwe benzine- en dieselauto's vanaf 2035](#)'.

Beschikbaarheid

Reserves: momenteel is er nog circa 139 jaar aan kolen, 56 jaar aan olie, en 49 jaar aan gas over in de wereld. Dit is berekend op basis van de huidige bekende reserves en het huidige verbruik. Het aantal resterende jaren kan dus veranderen, afhankelijk van de inschatting van de reserves en het huidige verbruik ([Our World in Data](#)).

¹ Landgebruik is gebaseerd op de gehele levenscyclus. Dit houdt in dat niet alleen het oppervlakte voor de energieproductie meetelt, maar ook voor de benodigde mijnen, brandstofgebruik, ontmanteling en einde-leven-afvalverwerking.

Luchtvervuiling: de uitstoot van fossiele bronnen veroorzaakt luchtvervuiling ([RIVM](#)). Luchtverontreiniging is slecht voor onze gezondheid. Er zijn twee groepen van luchtverontreiniging, namelijk deeltjesvormig en gasvormig. Deeltjesvormige verontreiniging zijn grof stof, fijnstof en roet. Gasvormige verontreiniging zijn moleculen, zoals NO_x (stikstofoxiden), CO (koolmonoxide) en SO₂ (zwaveldioxide) ([RIVM](#)). Koolstofdioxide (CO₂) is een broeikasgas en valt niet onder de definitie van luchtverontreinigende stoffen. Met verschillende technieken voor rookgasreiniging kunnen luchtvervuilende stoffen (gedeeltelijk) uit het rookgas worden gehaald.

Ruimtelijke effecten

Ruimtelijke impact²: ([Ritche, 2022](#))

- kolencentrale: 15 m²/MWh;
- kolencentrale met CCS: 21 m²/MWh;
- gascentrale: 1,3 m²/MWh.

Overig

N.v.t.

² Landgebruik is gebaseerd op gehele levenscyclus. Dit houdt in dat niet alleen het oppervlakte voor de energieproductie meetelt, maar ook voor de benodigde mijnen, brandstofgebruik, ontmanteling en einde-leven-afvalverwerking.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-25

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

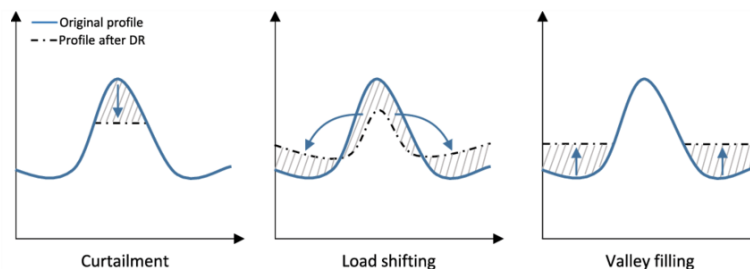
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Transport: beperken transport

Transport

- **Beperken transport**
- Lokale netwerken warmte
- Lokale netwerken gas
- Lokale netwerken elektriciteit
- Netcongestie
- Verbouwing elektriciteitsnetwerk
- Hoogspanning
- Stations en kabeltracés
- Interconnectie
- Aardgasnetwerk en waterstofbackbone
- Ammoniak



Bron: [ResearchGate](#).

Algemeen: wat is het?

Het beperken van elektriciteitstransport betekent het verminderen van de hoeveelheid elektriciteit die over lange afstanden door hoogspanningsnetten getransporteerd moet worden. Dit kan worden bereikt door elektriciteit lokaal op te wekken en te gebruiken, verbruikers dicht bij de productiebronnen te vestigen, of door vraagbeheer en energieopslag te implementeren. Dit helpt congestie op het elektriciteitsnet te verminderen, netuitbreidingen te beperken en energieverlies te reduceren.

Kenmerken

Decentrale opwekking: door meer lokale productie (bijvoorbeeld zonneparken en windenergie) wordt de belasting en het transport van het landelijke elektriciteitsnet verminderd. Gelijktijdigheid is een aandachtspunt bij lokale productie en gebruik.

Energieopslag: opslagsystemen (zoals batterijen) kunnen helpen pieken in de vraag en productie op te vangen, waardoor minder elektriciteit getransporteerd hoeft te worden. Ideaal gezien zou energieopslag dicht bij grote opwek staan, zodat transport over lange afstanden niet noodzakelijk is.

Slimme netwerken: het gebruik van slimme technologieën en vraagrespons kan de efficiëntie van elektriciteitsdistributie verbeteren en het transport beperken.

Vraagbeheer: vraagbeheer, bijvoorbeeld via het sturen van verbruikspatronen, kan zorgen voor minder piekbelasting en dus minder transport. Voorbeelden hiervan zijn geïllustreerd in de afbeeldingen in deze factsheet.

Toepassing

Alternatieve contractvormen: netbeheerders bieden sinds kort alternatieve contractvormen aan ([ACM](#)), die als doel hebben om de piekbelasting te verminderen. Dit zijn het *tijdsduurgebonden* en *tijdsblokgebonden* transportrecht. Het tijdsduurgebonden contract geeft de aangeslotene op een beperkt aantal uren toegang tot het elektriciteitsnet. Het tijdsblokgebonden transportrecht geeft de aangeslotene recht op transport binnen met de netbeheerder afgesproken tijdsblokken. De ACM heeft in de zomer van 2024 een tijdsduurgebonden contractvorm (de ATR85) goedgekeurd die de aangeslotene recht geeft op transport gedurende minimaal 85% van de uren op jaarbasis, waarbij beperking binnen 15% van de tijd opgelegd kan worden (ACM, 2024).

Curtailment: verwijst naar het aftoppen van hernieuwbare opwek. De grote pieken van hernieuwbare opwek kunnen de piekbelasting onnodig verhogen als er geen vraag tegenover staat. Door de pieken af te toppen (wind- of zonnepark tijdelijk uitschakelen), wordt de pieknetbelasting vermindert.

Vraagsturing: in een energiesysteem met veel zonne- en windenergie is het nuttig om energie te gebruiken op het moment dat het opgewekt wordt. Dat wil zeggen als de zon schijnt en als de wind waait, en juist niet als er weinig opwek is. Dit vereist aanpassingen van verbruik van huishoudens, bedrijven en industrie. Netbeheerder TenneT past congestiemanagement ([TenneT](#)) toe om afnemers of

--

opwekkers tegen een vergoeding tijdelijk te beperken in transport van elektriciteit.

Specifieke punten
N.v.t.

Stand van zaken in Groningen
In de provincie Groningen is er een sterke opkomst van duurzame energiebronnen, zoals windparken en zonneparken. Dit leidt tot uitdagingen met betrekking tot netcapaciteit, aangezien het elektriciteitsnet vaak niet voldoende capaciteit heeft om alle opgewekte elektriciteit te transporteren binnen de provincie naar andere delen van Nederland. Netbeheerders zoals TenneT en Enexis zijn bezig met netversterking, maar dit kost tijd. Lokale opslag, decentrale opwekking, alternatieve transportrechten, vraagsturing en curtailment zijn allemaal mogelijke oplossingen om het elektriciteitstransport op korte termijn te beperken en congestie te verminderen.

Betaalbaarheid
Kosten en baten: het beperken van transport kan kosten opleveren, maar ook baten. Kosten in de zin van dat er geen elektriciteit verbruikt kan worden, waardoor een machine bijvoorbeeld niet kan produceren. Het kan ook baten opleveren, door goedkopere nettarieven en vergoeding via netcongestiemanagement.

Betrouwbaarheid
Stabiliteit van het net: overbelasting kan netinstabiliteit veroorzaken. Minder transport betekent ook minder belasting op de netten, wat de stabiliteit en betrouwbaarheid van de elektriciteitsvoorziening bevordert.

Bestendigheid
Innovaties: nieuwe technologieën, zoals energieopslag, smart grids, en vraagresponssystemen maken het mogelijk om transport verder te beperken en energie efficiënter te gebruiken.
Flexibel netgebruik: vanwege het groeiende aanbod van zon en wind wordt het steeds belangrijker om het net flexibel te gebruiken. Dit betekent ook dat op bepaalde moment het transport beperkt zou moeten worden. Technologie kan hierbij helpen, zoals inzicht in verbruiksprofielen en automatische aansturing van apparaten. Ook kunnen alternatieve contractvormen helpen bij flexibeler netgebruik.

Beschikbaarheid
Technologie: de technologie voor lokale opwekking en opslag is beschikbaar, maar er is verdere opschaling nodig om de volledige potentie te benutten.
Netcapaciteit: in regio's zoals Groningen, waar veel duurzame energie wordt opgewekt, is het cruciaal om slimme oplossingen in te zetten om de beperkte netcapaciteit beter te benutten. Pieken in vraag en aanbod moeten zoveel mogelijk worden beperkt en/of verschoven om de netcapaciteit zo goed mogelijk te benutten.

Ruimtegebruik
Beperking van transport kan resulteren in vermindering van benodigde infrastructuur.

Overig
N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-29

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

ACM. (2024). *Voorstel codewijziging alternatieve transportrechten*. <https://www.acm.nl/nl/publicaties/voorstel-codewijziging-alternatieve-transportrechten>

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Transport: lokale netwerken - elektriciteit

Transport

- Beperken transport
- Lokale netwerken warmtenetten
- Lokale netwerken gas
- **Lokale netwerken elektriciteit**
- Netcongestie
- Verbouwing elektriciteitsnetwerk
- Hoogspanning
- Stations en kabeltracés
- Interconnecties
- Aardgasnetwerk en waterstofbackbone
- Ammoniak



Bron: [Enexis](#).

Algemeen: wat is het?

Lokale netwerken voor elektriciteit voorzien de samenleving van elektrische energie. De lokale elektriciteitsnetten worden ook wel *distributienetten* genoemd. Deze fijnmazige netten verdelen energie vanuit de grote landelijke transportnetten over alle afnemers. Ook kunnen producenten van energie (zonnepaneleigenaren, windmolens) energie invoeden op deze lokale netwerken. De komende jaren zullen lokale elektriciteitsnetten worden verzwaaard. In Groningen is netbeheerder Enexis hiervoor verantwoordelijk.

Kenmerken

Geografisch fijnmazig, met laagspanning (400/230 V) en middenspanningsnetten (3 t/m 23 kV); mogelijkheid om tweerichtingsverkeer te faciliteren voor teruglevering van opgewekte energie (bijvoorbeeld zonnepanelen).

Toepassing

Wijdverspreid in alle stedelijke en landelijke gebieden, voor verlichting, verwarming, koeling, en elektrische apparaten. Met de energietransitie neemt het elektriciteitsgebruik toe en zullen ook meer lokale netten nodig zijn. In Groningen is netbeheerder Enexis hiervoor verantwoordelijk.

Specifieke punten

Verzwaarde netwerken zijn nodig om de groeiende vraag (elektrische auto's, warmtepompen) en lokale opwek (zonnepanelen en windmolens op land) aan te kunnen.

Stand van zaken in Groningen

Netcapaciteit is een uitdaging, vooral met de groeiende vraag naar duurzame energieprojecten. Op veel plekken in Groningen voorziet de capaciteit van het net niet meer in de maximale vraag of aanbod van stroom. Op de [capaciteitskaart](#) van Netbeheer Nederland is voor verschillende regio's in Groningen weergegeven hoe de netcongestiesituatie eruit ziet. Netverzwaringen zijn noodzakelijk om overbelasting te voorkomen.

Betaalbaarheid

Elektriciteitsnetten zullen komende jaren worden verzaamd en uitgebreid. Dit wordt betaald via nettarieven, die de komende jaren zullen blijven stijgen. Enexis heeft in 2023 circa € 800 miljoen in de elektriciteitsnetten geïnvesteerd ([Jaarverslag Enexis 2023](#)).

Betrouwbaarheid

De afgelopen jaren lag de betrouwbaarheid van de lokale elektriciteitsnetten in Groningen rond de 99,99%. In heel 2023 konden aangesloten klanten in Groningen gemiddeld 25,2 minuten geen stroom krijgen. Echter zijn nieuwe (grootverbruikers)aansluitingen niet mogelijk in veel regio's in Groningen, vanwege de netcongestiesituatie ([Jaarverslag Enexis 2023](#)).

Bestendigheid

De toekomstige vraag van elektriciteit gaat groeien vanwege warmtepompen en elektrische auto's. Hiervoor moeten de lokale netwerken van elektriciteit tijdig worden verzaamd, zodat de netwerken niet overbelast worden. De mate van verzwaring is verschillend per type buurt/bedrijventerrein.

Beschikbaarheid

Het huidige elektriciteitsnet is beschikbaar voor iedereen. Nieuwe aansluitingen voor grote bedrijven worden in veel gebieden echter niet meer aangesloten vanwege netcongestie. Netverzwaringen, uitbreidingen en structurele aanpassingen zijn nodig om de toekomstige vraag en aanbod te faciliteren.

Ruimtegebruik

Lokale netwerken voor elektriciteit liggen grotendeels ondergronds. Verzwaringen aan de lokale elektriciteitsnetten zullen tijdelijk bovengrondse ruimte in beslag nemen tijdens de bouw en structureel via bovengrondse verdeelstations (nieuwe trafohuisjes). Enexis heeft aangegeven meer dan 15.000 nieuwe trafohuisjes te bouwen in de komende jaren in hun gehele voorzieningsgebied (Groningen, Drenthe, Overijssel, Noord-Brabant en Limburg). We hebben niet kunnen achterhalen hoeveel trafohuisjes er in Groningen bij komen.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-32

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Transport: lokale netwerken - gas

Transport

- Beperken transport
- Lokale netwerken warmtenetten
- **Lokale netwerken gas**
- Lokale netwerken elektriciteit
- Netcongestie
- Verbouwing elektriciteitsnetwerk
- Hoogspanning
- Stations en kabeltracés
- Interconnecties
- Welke drager waar beschikbaar
- Aardgasnetwerk en waterstofbackbone



Bron: Beeldbank CE Delft.

Algemeen: wat is het?

Lokale gasnetwerken voorzien de samenleving van energie voor ruimteverwarming en warm water. Lokale gasnetwerken worden ook wel *distributienetten* genoemd. Deze fijnmazige netten verdelen energie vanuit de grote landelijke gastransportnetten over alle afnemers. Ook kunnen kleine producenten van gas (groengasproducenten) energie invoeden op deze lokale netwerken. De komende jaren zal de (aard)gasinfrastructuur worden hergebruikt voor transport van waterstof en groengas. Netbeheerder Enexis is verantwoordelijk voor de lokale gasnetten in Groningen.

Kenmerken

Vertakt netwerk voor distributie van gas. Momenteel voornamelijk gebruikt voor aardgas, maar kan ook gebruikt worden voor groengas en in de toekomst voor waterstof (die laatste na aanpassingen).

Toepassing

Wordt nog breed toegepast in Nederland voor verwarming en industriële toepassingen, maar toekomstig gebruik hangt af van de energietransitie richting duurzame alternatieven, zoals groengas of waterstof. Naar verwachting zal er in de toekomst minder gasinfrastructuur nodig zijn dan nu. In Groningen is netbeheerder Enexis hier verantwoordelijk voor.

Specifieke punten

Aardgas wordt uitgefaseerd in Nederland; transitie naar groengas en waterstof is belangrijk voor de toekomst van het gasnet.

Stand van zaken in Groningen

Door de uitfasering van de gaswinning in Groningen ligt de focus op alternatieven voor aardgas, zoals groengas en waterstofprojecten. Er is echter nog veel gebruik van het bestaande gasnet. Circa 95% van de woningen in Groningen verwarmde met gas in 2022 ([CBS, 2024](#)).

Betaalbaarheid

Aardgas wordt uitgefaseerd in Nederland; transitie naar groengas en waterstof is belangrijk voor de toekomst van het gasnet. In totaal heeft Enexis in 2023 circa € 206 miljoen in de gasnetten geïnvesteerd ([Jaarverslag Enexis 2023](#)).

Betrouwbaarheid

In heel 2023 konden gebruikers van gas in Groningen gemiddeld 72 seconden geen gas krijgen. Op een heel jaar gezien is dit zeer laag. Gaslevering kan dus zeer betrouwbaar worden genoemd ([Jaarverslag Enexis 2023](#)).

Dit is ongeveer een vierde van de totale investeringen in de regionale elektriciteitsnetten in Groningen.

Bestendigheid

Aardgas zal worden vervangen door andere duurzame gas-
sen, waterstof en groengas. Groengas is chemisch identiek
aan aardgas en kan direct worden ingevoerd op het huidige
(aard)gasnetwerk. Het huidige aardgasnetwerk kan ook
worden hergebruikt voor waterstoftransport ([GasUnie](#)).

Ruimtegebruik

Lokale gasnetwerken liggen grotendeels ondergronds. Aan-
passingen in het gasnet zullen tijdelijk bovengrondse ruimte
in beslag nemen tijdens de bouw, en structureel via boven-
grondse verdeelstations (gasverdeelstations).

Beschikbaarheid

Het huidige aardgasnetwerk is wijdverspreid en beschikbaar
voor de gehele samenleving. Aardgas wordt op den duur
vervangen door groengas en waterstof.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-31

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Transport: lokale netwerken - warmtenetten

Transport

- Beperken transport
- **Lokale netwerken - warmtenetten**
- Lokale netwerken - gas
- Lokale netwerken - elektriciteit
- Netcongestie
- Verbouwing elektriciteitsnetwerk
- Hoogspanning
- Stations en kabeltracés
- Interconnecties
- Welke drager waar beschikbaar
- Aardgasnetwerk en waterstofbackbone



Bron: Beeldbank CE Delft.

Algemeen: wat is het?

Lokale netwerken voor warmte voorzien de samenleving van warmte, via warmwaterleidingen. Dit worden ook wel *warmtenetten* genoemd. Deze warmtenetten verdelen warmte vanuit warmtebronnen, zoals afvalenergiecentrales, geothermische putten, industrie en datacenters, naar afnemers. Warmtebedrijven zijn verantwoordelijk voor het netbeheer van de warmtenetten.

Kenmerken

Warmtenetten zijn een gesloten systeem. Dat wil zeggen dat de warmte die wordt geleverd aan afnemers via (warm) water, na afgifte van de warmte, terugstroomt naar de warmtebron waar er weer warmte wordt toegevoegd aan het water. Dit is een circulair systeem. In de industrie kunnen warmtenetten ook stoom bevatten in plaats van warm water.

Warmtenetten worden vaak toegepast in stedelijk of industrieel gebied, waar er hoge warmtevraag per oppervlakte is.

Toepassing

Toepasbaar in dichtbebouwde stedelijke gebieden met hoge warmtevraag per oppervlakte en waar restwarmtebronnen beschikbaar zijn, zoals industriële installaties of energiecentrales. Warmtebedrijven zijn de netbeheerders van deze warmtenetten. In 2023 waren er meer dan 400.000 aansluitingen op een warmtenet ([RVO, 2024](#)).

Specifieke punten

Beschikbaarheid warmtebronnen is een belangrijk aspect. Bijvoorbeeld restwarmtebronnen, zoals industriële processen, of winning van duurzame warmte (zoals geothermie). Uitdagingen zijn lekverlies en hoge aanlegkosten.

Stand van zaken in Groningen

Groningen onderzoekt de mogelijkheden voor warmtenetten als alternatief voor aardgas, vooral vanwege de gaswinningsproblematiek. Diverse projecten voor restwarmte zijn in ontwikkeling of al in gebruik. Een voorbeeld is [WarmteStad](#) in Groningen (stad), dat gebruik maakt van zonne- en restwarmte.

Betaalbaarheid

Warmtenetten worden betaald door de aangeslotenen op dit net. De kosten bestaan uit vaste en variabele tarieven. In 2022 verwarmde slechts 1,4% van de woningen in Groningen met een warmtenet ([CBS, 2024](#)). De totale kosten zijn onbekend.

Betrouwbaarheid

Warmtenetten kunnen betrouwbaar warmte leveren aan huishoudens en bedrijven. Hiervoor is het belangrijk dat er voldoende back-upcapaciteit is, voor het geval dat de primaire warmtebron tijdelijk niet kan leveren. Dit zijn voornamelijk vaak aardgasinstallaties. In de toekomst kan worden gedacht aan waterstof en groengas. Het transport en de distributie van warmte is een niet-gereguleerde markt, zoals dat wel is bij gas en elektriciteit ([NBNL, 2021](#)).

Bestendigheid

Warmtenetten zijn onderdeel van een duurzaam energiesysteem. Het gebruikt bronnen zoals restwarmte en geothermie, die in de toekomst beschikbaar blijven. De huidige back-upbronnen werken momenteel nog vaak op aardgas, echter kan in de toekomst worden gedacht aan waterstof, groengas-e-boiler of warmtepomp.

Beschikbaarheid

De ontwikkeling van warmtenetten gaat moeizaam. Het tempo van de bouw van warmtenetten gaat traag, klanten betalen in sommige gevallen een hoge rekening, het vertrouwen in warmtenetten is laag ([EenVandaag, 2024](#)). Warmtenetten zijn onderdeel van een duurzaam energiesysteem, echter werken de huidige belemmeringen als rem op de ontwikkeling. Belemmeringen zijn onder andere onzekerheid in financiering, hoge investeringskosten, jarenlange voorbereiding, onzekerheid in aantal aansluitingen.

Ruimtegebruik

Lokale warmtenetten liggen grotendeels ondergronds. Aanleg van warmtenetten zal tijdelijk bovengrondse ruimte in beslag nemen tijdens de bouw, en structureel via bovengrondse warmtewisselaarinstallaties, waar de warmte van de bron wordt afgegeven aan het warmtenet.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-30

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

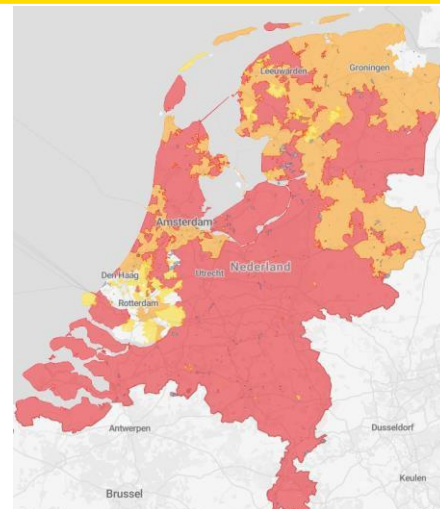
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Transport: netcongestie

Transport

- Beperken transport
- Lokale netwerken warmtenetten
- Lokale netwerken gas
- Lokale netwerken elektriciteit
- **Netcongestie**
- Verzwaring energienetwerk
- Hoogspanning
- Stations en kabeltracés
- Interconnectie
- Aardgasnetwerk en waterstofbackbone
- Ammoniak



Bron: [Netbeheer Nederland](#) (26-11-2024)

Rood: Tekort aan transportcapaciteit met wachtrij

Oranje: Gebied is in onderzoek met wachtrij

Geel: Transportcapaciteit beperkt beschikbaar zonder wachtrij

Algemeen: wat is het?

Netcongestie is de situatie in het elektriciteitsnet waarbij de capaciteit van de infrastructuur (zoals kabels, transformatoren of verbindingen) onvoldoende is om het aanbod en/of de vraag naar elektriciteit in een bepaald gebied te verwerken. Dit gebeurt alleen op piekmomenten. De totaal verwachte piekvraag of -aanbod dreigt dan groter te worden dan de capaciteit die het elektriciteitsnet aankan. Uitbreiding en verzwaring van het elektriciteitsnet is een structurele oplossing om meer stroom te kunnen transporteren, echter kan het tot tien jaar duren om dit te realiseren. Hierdoor ontstaan er wachtlijsten van aanvragen voor aansluitingen op het net.

Om het net stabiel te houden en de maximale capaciteit van het elektriciteitsnet niet te overschrijden op piekmomenten, nemen netbeheerders de maatregel om tijdelijk geen nieuwe aansluitingen te realiseren. Momenteel worden in congestiegebieden alleen nog geen nieuwe grootverbruikers of opwekkers aangesloten, kleinverbruikersaansluitingen nog wel. Netcongestie kan optreden op verschillende netvlakken (hoogspanning/middenspanning/laagspanning: HS/MS/LS).

In 2022 is het Landelijk Actieprogramma Netcongestie ([LAN](#)) opgezet, met als focus de maatregelen die nodig zijn om het net sneller uit te breiden en productie, verbruik en netcapaciteit zo goed mogelijk op elkaar te laten aansluiten.

Kenmerken

Geen nieuwe (grootverbruikers)aansluitingen mogelijk:

Door netcongestie kunnen tijdelijk geen nieuwe net-aansluitingen worden aangesloten. Momenteel geldt dit alleen voor grootverbruikers, kleinverbruikers kunnen in de meeste congestiegebieden nog steeds worden aangesloten.

Wachtlijst en prioriteringskader: aanvragers komen op een wachtlijst te staan. De wachtlijst wordt op chronologische volgorde afgewerkt, echter komen bedrijven/instellingen

Tijdelijkheid netcongestie

Netuitbreidingen noodzakelijk: door netcongestie kunnen er geen nieuwe afnemers en opwekkers van elektriciteit aansluiten op het elektriciteitsnet. Met tijdelijke maatregelen kan enige ruimte worden gecreëerd, echter zal dit geen structurele oplossing bieden. Uitbreiding of verzwaring van het net is noodzakelijk om meer ruimte te creëren voor nieuwe aansluitingen. Dit is specifiek per regio. Door de netuitbreidingen/verzwaringen zal de netcongestie-problematiek verholpen worden.

met een hoog algemeen belang volgens het recent ingevoerde [prioriteringskader](#) hoger op de wachtlijst (Netbeheer Nederland, 2024).

Huishoudens: ook hebben huishoudens steeds vaker te maken met spanningsklachten. Dit kan variëren van zonnepanelen die niet kunnen terugleveren aan het net tot knipperende verlichting in huis en in het meest extreme geval de uitval van stroom. Echter is het meestal nog wel mogelijk voor huishoudens om hun elektriciteitsaansluiting te verzwaren, bijvoorbeeld om een laadpaal of warmtepomp te kunnen faciliteren.

Specifieke punten

Terugleveringsnetcongestie: in dit geval overtreft de piek van de totale invoeding/opwek van stroom de transportcapaciteit van het netwerk. Om te voorkomen dat het net instabiel wordt (stroomuitval), staan netbeheerders geen nieuwe aansluitingen voor opwek toe. De maatschappelijke kosten die hierdoor ontstaan, liggen lager dan bij afname-netcongestie ([Ecorys](#)).

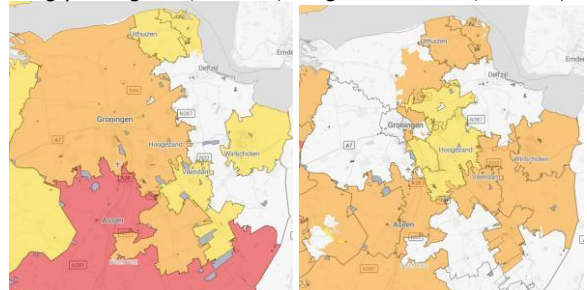
Afnamenetcongestie: de piek van het elektriciteitsverbruik in een gebied is groter dan de transportcapaciteit van het net. Om te voorkomen dat het net instabiel wordt (stroomuitval), staan netbeheerders geen nieuwe aansluitingen voor afname toe. De maatschappelijke kosten die hierdoor ontstaan, liggen hoger dan bij terugleveringsnetcongestie ([Ecorys](#)).

Tijdelijke maatregelen: naast structurele netverzwaringen en uitbreidingen, kunnen andere maatregelen worden genomen om op korte termijn enige oplossing te bieden. Dit kan bijvoorbeeld vraagrespons zijn, waarbij de vraag meer wordt afgestemd op het aanbod van hernieuwbare elektriciteit uit zon en wind. Een andere maatregel is slimme aansluit- en transportovereenkomsten, om een prikkel te creëren voor efficiënt netgebruik.

Stand van zaken in Groningen

Het hoogspanningsnet zit in een deel van Groningen aan de maximale capaciteit, maar voor grote delen ook niet. In de capaciteitskaarten ([Netbeheer Nederland](#)) hieronder is de netcongestiesituatie te zien voor het hoogspanningsnet en de regionale netten. Dit zijn momentopnamen (zie datum boven de kaarten); voor actuele kaarten verwijzen we naar de capaciteitskaartenwebsite van [Netbeheer Nederland](#). De capaciteitskaarten zijn ingedeeld per deelgebied. Voor hoogspanning en regionale netten is te zien wat de congestiesituatie is en welke uitbreidingen staan gepland. Naast de uitbreidingen van het net zijn de netbeheerders bezig met een congestie-onderzoek om te kijken naar kortetermijnmogelijkheden om netcongestie te verhelpen ([TenneT](#), [Enexis](#)).

Hoogspanningsnet (27-11-24) Regionale netten (27-11-24)



Legenda

-  Transportcapaciteit beschikbaar zonder wachtrij
-  Transportcapaciteit beperkt beschikbaar zonder wachtrij
-  Gebied is in onderzoek met wachtrij
-  Tekort aan transportcapaciteit met wachtrij
-  Kleur wordt later toegevoegd

pMIEK: het Provinciaal Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat (pMIEK) van Groningen richt zich op het verbeteren van de regionale energie-infrastructuur om knelpunten aan te pakken en toekomstige ontwikkelingen te ondersteunen. Het programma stemt ruimtelijke en energiekeuzes op elkaar af en wordt elke twee jaar geactualiseerd om de energietransitie te faciliteren.

Betaalbaarheid

Nettarieven: het onderhoud en de uitbreiding van het elektriciteitsnet wordt betaald via nettarieven. Iedere afnemer van elektriciteit betaalt deze en de hoogte is afhankelijk van de grootte van de aansluiting. Vanwege de investeringen die nodig zijn voor de uitbreiding van het net, zijn de nettarieven de afgelopen jaren sterk gestegen en zullen naar verwachting ook blijven stijgen. De nettarieven voor huishoudens in Groningen stijgen in 2025 naar verwachting met 15%. Dit moet nog definitief worden vastgesteld door ACM. ([Tarievenvoorstel Enexis 2025](#)).

Hoge maatschappelijke kosten: netcongestie remt de verduurzaming en economische activiteit. Het zorgt ervoor dat er maar beperkt nieuwe bedrijven kunnen starten en huidige bedrijven niet meer kunnen uitbreiden. Een recent onderzoek van BCG schat de gemiste economische baten voor Nederland in op € 10 tot 40 miljard per jaar ([BCG, 2024](#)). Ten opzichte van de begrotingen voor netuitbreidingen, -verzwaringen en het beter benutten van het net, jaarlijks circa € 6 tot 9 miljard, zijn de potentiële economische baten dus veel groter.

Betrouwbaarheid

Leveringszekerheid: de taak van de netbeheerder is het betrouwbaar houden van het net. Netcongestie leidt ertoe dat de netbeheerders maatregelen nemen om het net betrouwbaar te houden. Door geen nieuwe aanvragers voor transportcapaciteit aan te sluiten of geen grotere aansluitingen te realiseren, blijft het net betrouwbaar voor degenen die wel al transportcapaciteit hebben gereserveerd. Om ook nieuwe afnemers en opwekkers aan te kunnen sluiten, zijn netuitbreidingen noodzakelijk ([LAN](#)).

Bestendigheid

Netverzwaring en -uitbreiding als structurele oplossing: Elektrificatie van processen en sectoren, en opwek uit hernieuwbare elektriciteit zal toenemen in de komende jaren. Het elektriciteitsnet moet daarvoor uitgebreid, verzwakt en anders worden ingedeeld. Momenteel lopen we tegen de grenzen van het net aan. Netcongestie remt de verduurzaming van vraag en aanbod van elektriciteit. Op korte termijn kunnen tijdelijke maatregelen enige ruimte bieden. Echter zijn netuitbreidingen en verzwaringen noodzakelijk als structurele oplossing.

Nieuwe vraag: naast de huidige sectoren en vraagprocessen in onze samenleving, kunnen nieuwe sectoren en vraagprocessen ontstaan of groeien. Denk bijvoorbeeld aan kunstmatige intelligentie, cryptogeld, airconditioning, Direct Air Capture (DAC-CO₂). Het net van de toekomst moet ook aan deze toekomstige (nieuwe) vraag kunnen voldoen. Het is aan de netbeheerders om ook deze nieuwe vraag in de toekomst te kunnen waarborgen.

Beschikbaarheid

Voor netuitbreidingen is veel personeel van de netbeheerders nodig. Vanwege de grote vraag naar netuitbreidingen en verzwaringen, ligt de druk op netbeheerders hoog. Op de websites van de netbeheerder worden updates geplaatst over projecten die te maken hebben met de uitbreiding van het net ([Enexis](#), [TenneT](#)).

Ruimtegebruik

Netcongestie vereist zelf geen ruimte. Netuitbreidingen zullen wel ruimte vragen, in de vorm van hoogspanningsmasten en nieuwe elektriciteitsstations (op alle spanningsniveaus). Enexis heeft aangegeven meer dan 15.000 nieuwe trafohuisjes te bouwen in de komende jaren in hun gehele voorzieningsgebied (Groningen, Drenthe, Overijssel, Noord-Brabant en Limburg). We hebben niet kunnen achterhalen hoeveel verdeelstations er in Groningen bij komen.

Laagspanningskabels worden altijd ondergronds gelegd, hoogspanning ook steeds vaker. [TenneT](#) is in negen provincies bezig om bovengrondse hoogspanningstrajecten (110- en 150-kV) te vervangen door ondergrondse kabels, ook wel *verkabeling* genoemd. Het extrahoogspanning (380/220 kV) wordt nog bovengronds aangelegd ([TenneT](#)).

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-33

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Transport - Verbouwing elektriciteitsnetwerk

Transport

- Beperken transport
- Lokale netwerken warmte
- Lokale netwerken gas
- Lokale netwerken elektriciteit
- Netcongestie
- **Verbouwing elektriciteitsnetwerk**
- Hoogspanning
- Stations en kabeltracés
- Interconnectie
- Aardgasnetwerk en waterstofbackbone



Bron: [TenneT](#).

Algemeen: wat is het?

Vanwege toenemende vraag en aanbod van elektriciteit is verbouwing van het elektriciteitsnet noodzakelijk. In steeds meer gebieden treedt netcongestie op, waardoor verdere verduurzaming wordt verhinderd. De huidige stations en elektriciteitskabels kunnen de toenemende vraag naar transport niet meer aan, waardoor netverzwaring noodzakelijk is. Naast netverzwaringen zijn netbeheerders ook bezig om de structuur van het net anders in te richten. Netbeheerders maken via investeringsplannen bekend wat, waar en hoeveel wordt geïnvesteerd in het elektriciteitsnet. Via het Landelijke Actieprogramma Netcongestie ([LAN](#)) worden maatregelen in kaart gebracht om netcongestie zo snel mogelijk te verhelpen en met structurele oplossingen te komen. Het uitbreiden van het elektriciteitsnet is een van de belangrijkste maatregelen uit het LAN.

Kenmerken

Laagspanningsnet: het laagspanningsnet zal de komende jaren flink verbouwd worden. Vanwege zonnepanelen, warmtepompen en elektrische auto's zijn zwaardere kabels nodig die de elektriciteitsvraag kunnen transporteren.

Hoogspanningsnet: het hoogspanningsnet kan de gevraagde stroom op veel plekken niet meer aan. Ook in Groningen is dit het geval ([Netcapaciteitskaart TenneT](#) en [Netcapaciteitskaart Enexis](#)).

Pocketvorming: het elektriciteitsnet wordt in meer dan 50 deelgebieden opgeknipt. Iedere pocket heeft een eigen aansluiting op het 220- en 380 kV-hoogspanningsnet. Hierdoor kan elektriciteit beter aan- en afgevoerd worden en wordt de capaciteit verdubbeld tot verdrievoudigd ([TenneT](#)).

Toepassingen

Faciliteert energietransitie: het netwerk ondersteunt hernieuwbare opwekking, zoals wind- en zonne-energie, en maakt uitbreiding van elektrische mobiliteit en warmtepompen en overige (industriële) elektrificatie mogelijk.

Specifieke punten

Het elektriciteitsnetwerk is complex, waarin stromen heen en weer gaan (opwek en afname). Daarnaast is de opwek en afname in toenemende mate variabel en grilliger, de pieken zijn hoger. Ook is het locatiespecifiek: op sommige plekken is de afname dominant dan opwek en andersom, en dit kan na verloop van tijd veranderen, afhankelijk van de ontwikkeling in de regio. Door de energietransitie volgen ontwikkelingen elkaar in hoog tempo op. De opgave voor netbeheerders is om het elektriciteitsnet stabiel en betrouwbaar te houden, en tegelijkertijd in de groeiende transportvraag te voorzien.

Stand van zaken in Groningen

In Groningen wordt het hoogspanningsnet op verschillende plekken verzaamd en uitgebreid. Op de [projectpagina van TenneT](#) staan de verschillende projecten vermeld.

De regionale netbeheerder Enexis is ook op verschillende plekken in Groningen bezig met de verbouwing van het elektriciteitsnet. Op de [projectpagina van Enexis](#) staan voor verschillende stations de wachtlijsten en uitbreidingen vermeld.

Betaalbaarheid

Nettarieven: het onderhoud en de uitbreiding van het hoogspanningsnetwerk wordt betaald via nettarieven. Iedere afnemer van elektriciteit betaalt deze en de hoogte is afhankelijk van de grootte van de aansluiting. Vanwege de investeringen die nodig zijn voor de uitbreiding van het net, zijn de nettarieven de afgelopen jaren sterk gestegen en zullen naar verwachting ook nog blijven stijgen. De nettarieven voor huishoudens in Groningen stijgen in 2025 naar verwachting met 15%, die in 2024 gemiddeld circa € 400 per jaar bedroeg. Dit moet nog definitief worden vastgesteld door ACM ([Tarievenvoorstel Enexis 2025](#)).

Zie hieronder een overzicht van de netinvesteringen in het hoogspanningsnet voor de komende jaren.



Bron: [Investeringsplan Net op land 2024 - 2033, TenneT](#)

Betrouwbaarheid

Het vernieuwde netwerk moet een hoge betrouwbaarheid bieden, ondanks de toegenomen vraag en fluctuaties van hernieuwbare energie. Slimme technologieën en energie-opslag spelen een cruciale rol om het net stabiel te houden en zo efficiënt mogelijk te benutten.

99,99% betrouwbaarheid: het hoogspanningsnet van TenneT in Nederland heeft vooralsnog een betrouwbaarheid van 99,99%. Daarmee is het een van de betrouwbaarste hoogspanningsnetten ter wereld. Dit is te danken aan een goede technische infrastructuur en zorgvuldige balanshandhaving ([TenneT](#)).

Redundantie en reservecapaciteit: het hoogspanningsnet is vaak redundant uitgevoerd, wat betekent dat er meerdere routes zijn voor het transport van elektriciteit. Als een deel van het net uitvalt, kan elektriciteit via andere lijnen worden geleid, waardoor uitval wordt geminimaliseerd. Deze redundantie zorgt voor een hoge beschikbaarheid, zelfs bij onverwachte storingen. Vanwege netcongestie is het op sommige plekken toegestaan om de redundante kabels te benutten voor transport als de reguliere kabels het niet meer aankunnen ([ACM, 2023](#)).

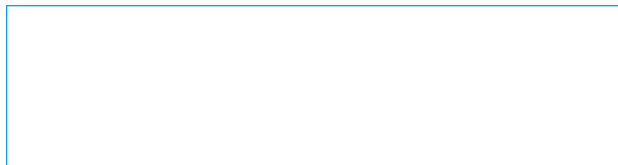
Bestendigheid

Rekening houden met de toekomst: het netwerk wordt ontworpen met toekomstbestendigheid in gedachten, met aandacht voor flexibiliteit en schaalbaarheid om toekomstige technologieën en energievraag op te kunnen vangen.

Beschikbaarheid

Verbouwing is noodzakelijk: netbeheerders streven naar een netwerk met hoge beschikbaarheid, maar sommige regio's ondervinden nu al wachttijden voor nieuwe aansluitingen door capaciteitsproblemen. Verzwaring van het elektriciteitsnet is daarom noodzakelijk om het elektriciteitsnet beschikbaar te houden voor iedereen. Gezien de huidige wachtlijsten en geplande uitbreidingen kan het jaren duren voordat een deel van het elektriciteitsnet is verzaamd.

Personeelstekorten netbeheerders: de verbouwing van het elektriciteitsnet is een enorme opgave. Dit kost tijd en vereist veel personeel. Netbeheerders kampen met



personeelstekorten ([ACM, 2022](#)), waardoor sommige projecten vertraging oplopen. De verbouwing van het elektriciteitsnet is noodzakelijk om de energietransitie te faciliteren, echter hebben netbeheerders moeite met het bijhouden van deze transitie.

Ruimtegebruik

De aanleg van nieuwe transformatiestations en kabeltracés vereist ruimte en kan een uitdaging vormen in dichtbevolkte gebieden. Concreet betekent dit voor woonwijken dat straten openliggen en transformatorhuisjes worden verzwaard, of dat er nieuwe worden geplaatst. Enexis heeft aangegeven meer dan 15.000 nieuwe trafohuisjes te bouwen in de komende jaren in hun gehele voorzieningsgebied (Groningen, Drenthe, Overijssel, Noord-Brabant en Limburg). We hebben niet kunnen achterhalen hoeveel trafohuisjes er in Groningen bij komen. Ook moeten er nieuwe onderstations worden gebouwd om de hogere spanningsniveaus te transformeren.

Het hoogspanningsnet zal boven- en ondergronds worden aangelegd. Het 380 kV-hoogspanningsnet is en zal grotendeels bovengronds aangelegd worden, vanwege lagere kosten en vanuit het leveringszekerheidsoogpunt ([CommissieMER](#)). De aanleg van nieuwe 150 kV-verbindingen is tegenwoordig meestal ondergronds ([Hoogspanningsnet](#)).

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-34

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Transport: hoogspanning

Transport

- Beperken transport
- Lokale netwerken warmtenetten
- Lokale netwerken gas
- Lokale netwerken elektriciteit
- Netcongestie
- Verbouwing elektriciteitsnetwerk
- **Hoogspanning**
- Stations en kabeltracés
- Interconnecties
- Aardgasnetwerk en waterstofbackbone
- Ammoniak



Bron: Beeldbank CE Delft.

Algemeen: wat is het?

Het hoogspanningsnetwerk transporteert elektriciteit over grote afstanden. Door elektriciteit te transporteren op hoogspanning, treden er minder weerstandsverliezen op. Hoogspanningskabels kunnen zowel bovengronds als ondergronds worden aangelegd. Het hoogspanningsnet moet de komende jaren op veel plekken verzwakt worden en er komen ook nieuwe verbindingen bij. Het huidige hoogspanningsnet kan het toekomstige transport namelijk niet meer aan, waardoor de wachtlijsten voor transportcapaciteit oplopen. Dit heet *netcongestie*. TenneT is de netbeheerder van het hoogspanningsnetwerk in Nederland. Het beheer van netten is een geregleerde activiteit en valt dus onder strikte wettelijke regels en toezicht.

Kenmerken

Elektriciteitstransport: over grote afstanden, zowel boven- als ondergronds.

Spanningsniveaus: in Nederland betreft het hoogspanningsnet 110, 150, 220 en 380 kV.

TenneT: de netbeheerder van het hoogspanningsnet.

Toepassing

Grote afnemers en opwekkers: op het hoogspanningsnet zijn grote afnemers en opwekkers aangesloten.

Verdeling van hoogspanning naar lagere netvlakken: het hoogspanningsnet is aangesloten op lagere spanningsniveaus, die de stroom distribueert richting (kleinere) eindgebruikers. Eventuele netcongestie op het hoogspanningsnet heeft daarmee ook invloed op netten met een lager spanningsniveau (zie Factsheet Transport: netcongestie).

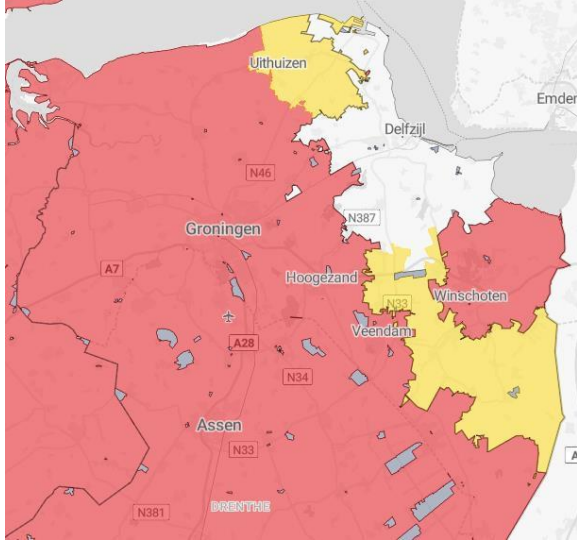
Interconnecties: het hoogspanningsnet (380 kV) heeft interconnecties met het buitenland. In Groningen loopt vanaf Meeden een hoogspanningsverbinding naar Diele, Duitsland. En er loopt vanaf de Eemshaven een DC-interconnectie¹ richting Denemarken en Noorwegen.

¹ DC-interconnectie: Direct Current, in het Nederlands gelijkstroom.

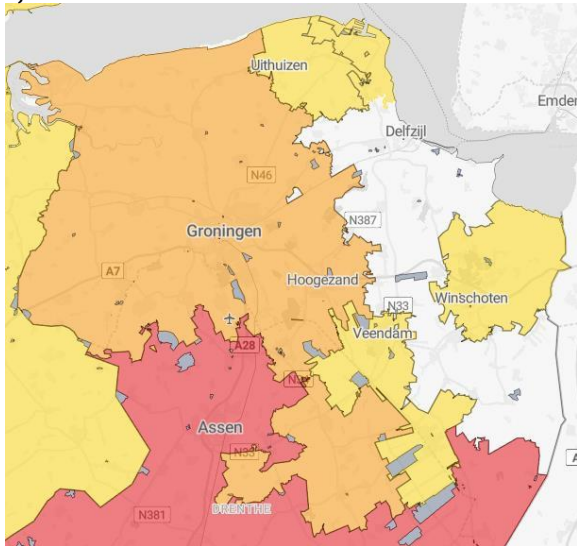
Specifieke punten

Netcongestiekaart hoogspanning Groningen (20-11-2024):

Teruglevering:



Afname:



Legenda

- Transportcapaciteit beschikbaar zonder wachtrij
- Transportcapaciteit beperkt beschikbaar zonder wachtrij
- Gebied is in onderzoek met wachtrij
- Tekort aan transportcapaciteit met wachtrij
- Kleur wordt later toegevoegd

Stand van zaken in Groningen

Het hoogspanningsnet zit in een deel van Groningen aan de maximale capaciteit door het hoge tempo waarin ondernemers en consumenten extra transportcapaciteit vragen. Op 10 juli 2024 was er 21 GW aan afnamecapaciteit in aanvraag, en 16 GW aan invoedingscapaciteit. TenneT is bezig met uitbreiding en verzwaring aan het hoogspanningsnet. Volgens huidige planningen zijn de meeste geplande netuitbreidingen rond 2030/2031 gereed. Andere zijn pas richting 2033-2035 klaar. TenneT is daarnaast bezig met een congestieonderzoek in verschillende delen van Groningen om te kijken naar kortetermijnmogelijkheden om netcongestie te verhelpen ([TenneT](https://www.tennet.nl)).

In de onderstaande afbeelding is te zien welke hoogspanningsstations er worden uitgebreid en welke nieuwbouw er komt in Groningen:



Bron: [Enexis Investeringsplan 2024](https://www.enexis.nl/investeringsplan-2024).

Betaalbaarheid

Nettarieven: het onderhoud en de uitbreiding van het hoogspanningsnetwerk wordt betaald via nettarieven. Iedere afnemer van elektriciteit betaalt deze en de hoogte is afhankelijk van de grootte van de aansluiting. Vanwege de investeringen die nodig zijn voor de uitbreiding van het net, zijn de nettarieven de afgelopen jaren sterk gestegen en zullen naar verwachting ook blijven stijgen. TenneT verwacht na een lichte daling in 2025 en 2026 dat de hoogspanningsnettarieven van 2027 tot 2035 jaarlijks 4,7% (HS) en 4,3% (EHS) stijgen ([TenneT](#)).

Netkosten huishoudens: huishoudens betaalden circa € 400 per jaar aan netkosten in 2024. Hoewel huishoudens en kleine bedrijven zelf geen directe aansluiting hebben op het hoogspanningsnet, worden ze indirect bediend door dit net. Daarom betalen zij via hun nettarieven ook mee aan de kosten van het hoogspanningsnet. Circa 52% van het nettarief van huishoudens dekt de kosten voor het hoogspanningsnet ([CE Delft, 2024](#)).

Stijging investeringen in hoogspanningsnet:



Bron: [Investeringsplan Net op land 2024 - 2033, TenneT](#)

Betrouwbaarheid

99,99% betrouwbaarheid: het hoogspanningsnet van TenneT in Nederland heeft een betrouwbaarheid van 99,99%. Daarmee is het één van de betrouwbaarste hoogspanningsnetten ter wereld. Dit is te danken aan een goede technische infrastructuur en zorgvuldige balanshandhaving ([TenneT](#)).

Redundantie en reservecapaciteit: het hoogspanningsnet is altijd redundant uitgevoerd, wat betekent dat er meerdere routes zijn voor het transport van elektriciteit. Als een deel van het net uitvalt, kan elektriciteit via andere lijnen worden geleid, waardoor directe uitval wordt voorkomen. Deze redundantie zorgt voor een hoge beschikbaarheid, zelfs bij onverwachte storingen.

Capaciteitstekort TenneT: aanpassing aan het net kost veel tijd en TenneT heeft momenteel een groot tekort aan technici. Het duurt vaak wel tien jaar vanaf begin tot eind voor het aanleggen van een nieuwe hoogspanningsverbinding. Hierdoor moeten keuzes worden gemaakt, waardoor sommige projecten vertragen of worden uitgesteld. Dit is een risico voor het tempo van verduurzaming van de samenleving ([TenneT](#)).

Bestendigheid

Lange levensduur: goed onderhouden hoogspanningsnetten gaan 70 tot 100 jaar mee. Dit geldt voor zowel ondergrondse kabels als voor luchttijnen ([HoogspanningsNet](#)).

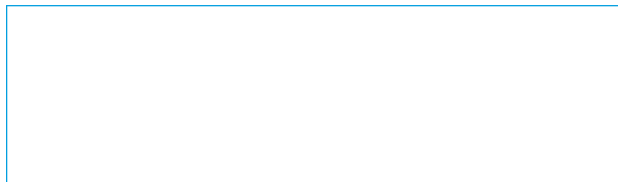
Faciliteert meer verduurzaming: een sterker hoogspanningsnet faciliteert verduurzaming van zowel vraag als aanbod.

Pocketvorming: het hoogspanningsnet wordt ten behoeve van netcongestie anders ingedeeld. Het net wordt als het ware in meer dan 50 deelgebieden opgeknipt. Iedere pocket heeft een eigen aansluiting op het 220- en 380 kV-hoogspanningsnet. Hierdoor kan elektriciteit beter aan- en afgevoerd worden en wordt de capaciteit verdubbeld tot verdrievoudigd ([TenneT](#)).

Beschikbaarheid

Uitgebreid hoogspanningsnet: Nederland heeft een uitgebreid hoogspanningsnet. Hierdoor vindt veel transport van elektriciteit plaats. Ook zijn er interconnecties met het buitenland. In Groningen loopt vanaf Meeden een 380 kV-hoogspanningskabel naar Diele, Duitsland. Met interconnecties kan stroom uitgewisseld worden tussen landen.

Uitbreidingen kosten tijd: de bouw van hoogspanningsinfrastructuur kost tijd. Dit duurt vaak vele jaren vanaf het moment dat het besluit wordt genomen. Volgens de huidige planning zijn de meeste netverzwaringen/uitbreidingen in Groningen rond 2030/2031 gereed, maar is het geheel pas rond 2033/2035 klaar. Ontwerp, vergunningen, bouw en inbedrijfstelling zijn fases die allemaal doorlopen moeten worden ([TenneT](#)).



Menskracht: het uitbreiden en verzwaren van het hoogspanningsnet vereist veel personeel. Door het hoge tempo waarop het hoogspanningsnet moet uitbreiden, is er een tekort aan technici bij [TenneT](#). Hierdoor kunnen projecten vertraging oplopen.

Ruimtegebruik

Bovengronds vs. ondergronds: het grootste gedeelte van de hoogspanningsinfrastructuur staat bovengronds (hoogspanningsmasten en -stations). Vanwege kosten en technische redenen was dit van oudsher het meest gunstig. De hedendaagse praktijk is echter anders. Steeds meer hoogspanningsverbindingen (tot 150 kV) worden ondergronds aangelegd, mede dankzij allerlei innovaties. Ondergrondse 380 kV-verbindingen worden nog niet vaak toegepast, vanwege lastige bedrijfsvoering door meer storingen en hoge kosten. Vanwege leveringszekerheid vindt TenneT het nog niet verantwoord om ondergrondse 380 kV op grote schaal toe te passen ([TenneT Position Paper](#)).

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-35

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Transport: stations en kabeltracés

Transport

- Beperken transport
- Lokale netwerken warmtenetten
- Lokale netwerken gas
- Lokale netwerken elektriciteit
- Netcongestie
- Verzwaring energienetwerk
- Hoogspanning
- **Stations en kabeltracés**
- Interconnectie
- Aardgasnetwerk en waterstofbackbone



Bron: [TenneT](#).

Algemeen: wat is het?

Het elektriciteitsnetwerk bestaat uit stations en kabeltraces. Opgewekte elektriciteit gaat via kabelverbindingen (tracés) naar stations die de elektriciteit op de juiste spanning (eenheid: volt) brengen en vanaf daar verder distribueren. Het op de juiste spanning brengen van de stroom heet *transformeren*, wat gebeurt via transformatoren. Daarnaast kan een station ook op- of afschakelen in het geval van storing of onderhoud. Er zijn verschillende soorten stations en kabeltracés, die zijn uitgelegd op het vereiste spanningsniveau.

Kenmerken

Stations: stations, ook wel laag-, hoog- of schakelstations genoemd, zijn knooppunten binnen het elektriciteitsnetwerk. Ze brengen de spanning van de getransporteerde stroom op het juiste niveau, en verdelen de inkomende over de uitgaande stromen. Een onderstation wordt gevoed uit het hoogspanning- of tussenspanningsnet en voedt een middenspanningstransport- of distributienet. Een schakelstation wordt gevoed vanuit het middenspanningstransportnet en voedt een middenspanningsdistributienet. Een netstation wordt gevoed vanuit het middenspanningsdistributienet en voedt een laagspanningsnet ([PhasetoPhase](#)).

Kabeltracés: kabeltracés transporteren stroom vanaf de opwekker naar de afnemer. Deze kunnen ondergronds en bovengronds worden aangelegd. Tegenwoordig is ondergronds de standaard voor de aanleg van bijna alle spanningsniveaus. Laagspanning wordt altijd ondergronds aangelegd, terwijl hoogspanning traditioneel vaak bovengronds is aangelegd vanwege kosten en technische redenen. Maatschappelijk gezien heeft ondergrondse hoogspanning de voorkeur, en wordt dit daarom steeds vaker toegepast. Maar dit is niet altijd mogelijk.

Toepassing

Stations: transformeren, schakelen en verdelen van de ingaande en uitgaande stroom.

Kabeltracés: transport van stroom tussen opwekkers en afnemers.

Specifieke punten

N.v.t.

Stand van zaken in Groningen

In Groningen bevinden zich verschillende stations en kabeltracés, die in verbinding staan met het landelijke en Europese hoogspanningsnet. Bij de Eemshaven landt elektriciteit uit wind op zee aan. Deze elektriciteit verdeelt zich via het hoogspanningsnet door Groningen en de rest van Nederland. Ook kan stroom via interconnecties van en naar het buitenland stromen.

In de komende jaren zal het elektriciteitsnetwerk in Groningen flink worden uitgebreid. Zie hiervoor 'Factsheet Transport: verbouwing elektriciteitsnetwerk'.

Zie hieronder een kaart van de hoogspanningsstations in Groningen:



Bron: [TenneT](#).

Let op: het oranje gearceerde gebied is niet up-to-date.

Betaalbaarheid

De stations en kabeltracés worden betaald via nettarieven door afnemers van elektriciteit.

Jaarlijkse kosten nettarieven huishoudens:

- gemiddeld circa € 400 ([Enexis](#));
- verwachte stijging in 2025: 15% ([Tarievenvoorstel Enexis 2025](#)).

Betrouwbaarheid

Onderhoud: stations en kabeltracés hebben regelmatig onderhoud nodig. Door te schakelen, kunnen delen van het station en kabeltracé worden uitgeschakeld, zodat onderhoud veilig kan plaatsvinden.

Redundantie: de delen van stations en kabeltracés die regelmatig onderhoud vereisen of gevoelig zijn voor storingen, zijn redundant uitgelegd. Hierdoor blijft het systeem functioneren terwijl er storing of onderhoud is. Redundantie betekent dat er een back-up-onderdeel wordt geplaatst naast de operationele.

Bestendigheid

Netverzwaringen en uitbreidingen: momenteel vinden er veel verbouwingen plaats aan het elektriciteitsnetwerk, door toename van elektriciteitsvraag en meer opwek uit hernieuwbare bronnen. Stations en kabeltracés kunnen worden verzwared, waardoor er meer transport kan plaatsvinden. Ook wordt op sommige plekken het net uitgebreid door nieuwe stations en kabeltracés te bouwen. Hiermee wordt het elektriciteitsnetwerk toekomstbestendig gemaakt. Het Provinciaal Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie

Beschikbaarheid

Personeelstekorten netbeheerders: de verbouwing van het elektriciteitsnet is een enorme opgave. Dit kost tijd en vereist veel personeel. Netbeheerders kampen met personeelstekorten ([ACM, 2022](#)), waardoor sommige projecten vertraging oplopen. De verbouwing van het elektriciteitsnet is noodzakelijk om de energietransitie te faciliteren, echter hebben netbeheerders moeite met het bijhouden van deze transitie.

en Klimaat ([pMIEK, 2023](#)) van Groningen richt zich op het verbeteren van de regionale energie-infrastructuur om knelpunten aan te pakken en toekomstige ontwikkelingen te ondersteunen. Het programma stemt ruimtelijke en energiekeuzes op elkaar af en wordt elke twee jaar geactualiseerd om de energietransitie te faciliteren.

Leveringszekerheid: het hoogspanningsnet van TenneT scoort hoog op het gebied van leveringszekerheid, namelijk 99,99% ([TenneT](#)).

Ruimtegebruik

Stations vereisen ruimte, zoals te zien is in de afbeelding in deze factsheet. Grote stations kunnen enkele voetbalvelden groot zijn. Ook kabeltracés, ondergronds of bovengronds, vereisen ruimte. Vaak is meervoudig ruimtegebruik mogelijk met kabeltracés, zoals een combinatie met landbouw of veehouderij.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-36

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Transport: interconnecties

Transport

- Beperken transport
- Lokale netwerken warmtenetten
- Lokale netwerken gas
- Lokale netwerken elektriciteit
- Netcongestie
- Verzwaring energienetwerk
- Hoogspanning
- Stations en kabeltracés
- **Interconnecties**
- Aardgasnetwerk en waterstofbackbone



Bron: Beeldbank CE Delft.

Algemeen: wat is het?

Interconnecties zijn hoogspanningsverbindingen tussen landsgrenzen. Het hoogspanningsnetwerk transporteert elektriciteit over grote afstanden en met interconnecties kunnen overschotten en tekorten tussen landen worden uitgewisseld. Door elektriciteit te transporteren op hoogspanning, treden er minder weerstandsverliezen op. Interconnecties kunnen zowel bovengronds als ondergronds zijn. Nederland heeft verschillende interconnecties met Duitsland, België, Noorwegen, Denemarken en Groot-Brittannië. De interconnecties tussen Noorwegen, Denemarken, Groot-Brittannië en Nederland zijn onderzeese kabels.

Kenmerken

Elektriciteitstransport: over grote afstanden tussen landen, zowel bovengronds als ondergronds.

Gelijk- en wisselspanning: sommige interconnecties transporteren stroom over gelijkspanning, andere via wisselspanning. Het landelijke hoogspanningsnet is wisselspanning, net zoals in het buitenland. Wisselspanningsverbindingen zijn vaak hoogspanningsmasten die over landsgrenzen heen gaan. Gelijkspanningsinterconnecties kunnen ondergronds of onder de zeebodem worden aangelegd, en worden gebruikt wanneer stroom over zeer grote afstanden getransporteerd moet worden. Vanaf een bepaalde (grote) afstand is gelijkspanning kostentechnisch voordeliger ([Grant, 2017](#)). Bovendien kunnen wisselspanningsverbindingen niet onderzees worden aangelegd ([HoogspanningsNet](#)).

Spanningsniveaus: interconnecties hebben hoge voltages, zodat de stroom met minimale verliezen over grote afstanden kan worden getransporteerd. De NorNed-kabel heeft een spanning van 450 kV, de COBRACable 320 kV, Meeden-Diele 380 kV.

Toepassing

Lagere energiekosten: de interconnecties tussen landen maken het mogelijk om tekorten en overschotten van elektriciteit te delen tussen landen. Hierdoor kan meer goedkope hernieuwbare stroom¹ worden benut en levert dit CO₂-reductie op, aangezien duurdere² piekcentrales op gas minder ingezet hoeven te worden. Ook zal gemiddeld gezien de elektriciteitsprijs hierdoor dalen. Bovendien wordt de leveringszekerheid en samenwerking tussen landen versterkt ([CE Delft, 4iTRACTION, 2023](#)).

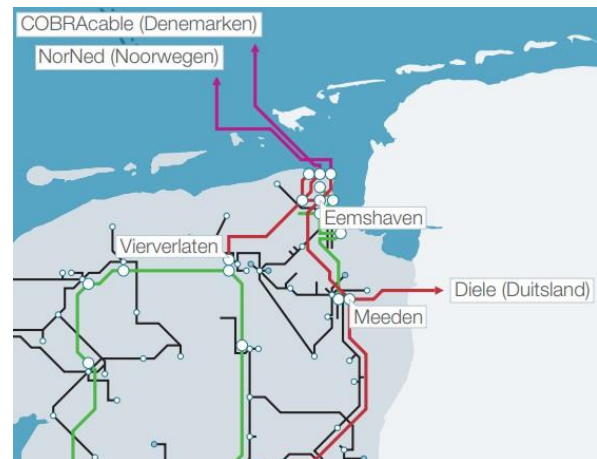
Specifieke punten

N.v.t.

Stand van zaken in Groningen

Tussen Groningen en het buitenland lopen er drie interconnecties:

1. COBRACable, gelijkspanning (Denemarken).
2. NorNed, gelijkspanning (Noorwegen).
3. Meeden-Diele 380 kV, wisselspanning (Duitsland).



Betaalbaarheid

Interconnecties worden betaald door beide aangesloten landen. Voor het Nederlandse gedeelte wordt dit uit de nettarieven gefinancierd, die door alle afnemers van elektriciteit worden betaald.

Lagere energiekosten: door interconnecties worden elektriciteitsmarkten met elkaar gekoppeld. Binnen deze elektriciteitsmarkten kan er door de interconnecties meer goedkope hernieuwbare energie worden gedeeld en benut, waardoor er minder curtailment van goedkope hernieuwbaar opgewekte stroom noodzakelijk is. Op de uren dat er goedkope stroom via interconnecties wordt geleverd, zullen duurdere gascentrales minder worden ingezet. Gemiddeld gezien zal de elektriciteitsprijs hierdoor dalen ([CE Delft](#), [4iTRACTION](#), 2023).

Lagere behoefte voor flexibiliteitsbronnen: doordat stroom via interconnecties kan worden uitgewisseld, kan er worden bespaard op flexibiliteitsbronnen, zoals batterijen en waterstofconversie ([CE Delft](#), [4iTRACTION](#), 2023).

Betrouwbaarheid

Interconnecties dragen bij aan de betrouwbaarheid van het net. Door stroom uit te wisselen met andere landen, wordt het aanbod geleverd door een diversiteit aan energiebronnen en kunnen overschotten worden benut door een grotere groep afnemers.

¹ Goedkope hernieuwbare stroom verwijst naar de biedprijs waarvoor zon-pv- en windexploitanten hun stroom aanbieden op de day-aheadmarkt. Producenten bieden hun stroom aan voor de marginale prijs, die voor zon-pv en wind 0 euro/MWh is ([Next Kraftwerke](#)).

² Duurdere piekcentrales (op gas) verwijst naar gascentrales die hun stroom voor marginale kosten aanbieden op de day-aheadmarkt. De marginale kosten van gascentrales liggen hoger dan van zon-pv en windenergie.

Bestendigheid

Lange levensduur: goed onderhouden interconnecties gaan 70 tot 100 jaar mee. Dit geldt voor zowel bovengrondse als ondergrondse interconnecties ([HoogspanningsNet](#)).

Faciliteert meer verduurzaming: een sterker hoogspanningsnet faciliteert verduurzaming van zowel vraag als aanbod. Het hoogspanningsnet is daarmee onmisbaar voor een landelijk, duurzaam en betaalbaar elektriciteitsnet.

Beschikbaarheid

Door interconnecties wordt de leveringszekerheid en beschikbaarheid van elektriciteit versterkt. De Europese interconnectiedoelstelling is om ten minste 15% van totale binnenlands geproduceerde elektriciteit te kunnen transporteren naar het buitenland in 2030 ([CLO, 2024](#)).

Versterken leveringszekerheid en netstabiliteit: Interconnecties versterken de leveringszekerheid en netstabiliteit. Door verbonden te zijn met andere Europese landen komt het aanbod vanuit verschillende bronnen. Een divers aanbod van energiebronnen op verschillende locaties verlaagt de afhankelijkheid van enkele energiebronnen ([CE Delft, 4iTRACTION, 2023](#)).

Ruimtegebruik

Bovengronds vs. ondergronds: interconnecties kunnen boven- of ondergronds worden aangelegd. Onderzeese kabels zijn altijd gelijkspanning en liggen ondergronds. Voor wisselstroominterconnecties geldt dat ze meestal bovengronds worden aangelegd.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-37

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Transport: aardgasnetwerk en waterstofbackbone

Transport

- Beperken transport
- Lokale netwerken warmtenetten
- Lokale netwerken gas
- Lokale netwerken elektriciteit
- Netcongestie
- Verzwaring energienetwerk
- Hoogspanning
- Stations en kabeltracés
- Interconnectie
- Aardgasnetwerk en waterstofbackbone



Bron: [GasUnie](https://www.gasunie.nl).

Algemeen: wat is het?

In Nederland ligt een landelijk netwerk van gastransportleidingen. Dit is momenteel alleen voor aardgas en groengas, die door dezelfde transportleidingen worden getransporteerd. Er ligt momenteel nog geen grootschalig publiek waterstofnetwerk. Volgens de huidige plannen zal een deel van het landelijke aardgasnetwerk worden omgebouwd tot het Waterstofnetwerk Nederland. Deze zal dus dezelfde tracés volgen als delen van het landelijke aardgasnetwerk ([GasUnie](https://www.gasunie.nl)). Ook zullen er nieuwe leidingen worden aangelegd ten behoeve van het waterstofnetwerk.

Kenmerken

Ondergronds: het aardgas- en toekomstige waterstofnetwerk ligt bijna volledig ondergronds.

Landelijke dekking: vanuit de grote landelijke transportleidingen wordt gas getransporteerd naar de afnemers via fijnmazigere lokale netwerken.

Europese gasmarkt: het inkopen van gas is een Europese kwestie. Er is namelijk maar één Europese gasmarkt. Noorwegen en de VS zijn de landen van waaruit Nederland het meeste gas invoert. Importen komen onder andere aan in de Eemshaven ([Gaslicht.com](https://www.gaslicht.com)).

Waterstofbackbone: het waterstofnetwerk moet in de toekomst vijf Nederlandse industriële clusters, buitenlandse industriële clusters en plekken voor import en opslag met elkaar verbinden ([GasUnie](https://www.gasunie.nl)). Hynetwork, een dochteronderneming van GasUnie, legt deze waterstofbackbone aan.

Toepassing

Gas wordt getransporteerd door het aardgasnetwerk, via grote en kleine transportleidingen. Dit gas wordt gebruikt voor verschillende toepassingen:

- **Verwarming:** gas wordt gebruikt voor verwarming van huizen, gebouwen en glastuinbouwkassen.
- **Industriële processen:** gas wordt gebruikt voor industriële processen als grondstof en in processen waar hoge temperaturen vereist zijn.
- **Elektriciteitsopwekking:** gascentrales kunnen flexibel elektriciteit opwekken. Dit is een belangrijke functie binnen het energiesysteem, aangezien vraag en in toenemende mate aanbod (door zon en wind) wisselt.
- **Transportsector:** gas wordt gebruikt in de transportsector. Meestal is dit voor zwaar vervoer.

Waterstof wordt (in de toekomst) getransporteerd door transportleidingen. Dit kunnen omgebouwde aardgasleidingen zijn. Momenteel is dit waterstofnetwerk nog niet gereed.

Waterstoftoepassingen zijn:

- **Grondstof industrie:** waterstof wordt in verschillende industrieën gebruikt als grondstof. Bijvoorbeeld in raffinage, chemie en metallurgie sectoren. In de toekomst zal waterstof ook veel gebruikt worden voor de productie van hernieuwbare brandstoffen.
- **Elektriciteitsproductie:** waterstof zal in de toekomst worden gebruikt voor elektriciteitsopwekking (zie Factsheet Conversie: CO₂-vrije regelbare centrales). Overschotten van duurzame energie uit zon en wind, kunnen worden omgezet in waterstof, die op een moment van tekorten kan worden ingezet voor elektriciteitsproductie.
- **Verwarming:** waterstof kan worden gebruikt voor verwarming van gebouwen (lage temperatuur), echter wordt dit gezien als laagwaardige toepassing. Gezien de kosten en schaarste van waterstof, zal het voornamelijk worden gebruikt in processen waar elektrificatie lastig is en minder voor de verwarming van gebouwen. Ook kan waterstof worden ingezet als brandstof voor hogetemperatuurprocessen in de industrie.
- **Transportsector:** waterstof kan worden gebruikt als brandstof voor voertuigen. Echter is de omvang hiervan beperkt. Voor personenauto's zullen elektrische modellen het grootste marktaandeel hebben. Waterstof kan relatief een grotere rol spelen in zwaar vervoer, luchtvaart en scheepvaart, omdat deze lastiger te elektrificeren zijn.

Specifieke punten

N.v.t.

Stand van zaken in Groningen

Eemshaven is een belangrijke importlocatie van aardgas. Tijdens de gascrisis is geïnvesteerd in een grote LNG-terminal in Groningen. Hier wordt vloeibaar aardgas dat per schip naar de Eemshaven komt, omgezet naar gasvormig aardgas. Ook zijn er bij Grijskerk en Norg in Groningen grote gasbergingen waar het aardgas wordt opgeslagen.

Waterstofnetwerk Groningen verbindt de industrie in de Eemshaven met de industrie in Delfzijl en maakt gebruik van de opslagfaciliteit in Zuidwending (zie Factsheet Opslag: waterstofopslag in ondergrond). Goed om te weten: de waterstofopslag in Zuidwending en de leiding van en naar Zuidwending zijn geen onderdeel van het project Waterstofnetwerk Groningen.



Vanwege de aanlanding van wind op zee zal er in de toekomst ook veel elektrolysecapaciteit in Groningen worden geplaatst om overschotten van wind op zee om te zetten in waterstof ([Rijksoverheid](#)).

Ook de regionale industrieën in Groningen, zoals die in de regio Veendam en het midden van Groningen, worden aangesloten. Het is de bedoeling dat het Waterstofnetwerk Groningen in 2027 gereed is, zodat de eerste productie vanuit de Eemshaven aan afnemers in Delfzijl kan worden geleverd. De verwachting is dat er in de toekomst ongeveer 9 tot 12 gigawatt (GW) aan waterstof getransporteerd zal worden vanuit de Eemshaven. Daarvan zal vervolgens ongeveer 2 GW aan de industrie Delfzijl geleverd worden.

Betaalbaarheid

Het gasnetwerk wordt betaald en onderhouden vanuit net-tarieven voor gas. De netwerkkosten van gas voor consumenten zijn afhankelijk van het verbruik. Hoe meer gasverbruik, hoe hoger de netwerkkosten.

In de onderstaande tabel is weergegeven voor consumenten van [Enexis](#) met een gasverbruik van 40 m³/uur of minder wat de jaarlijkse netwerkkosten zijn. De grootte van de aansluiting wordt aangeduid met een letter 'G'. Deze netwerkkosten zijn opgebouwd uit verschillende onderdelen, die kunnen worden onderverdeeld in een vastrecht en capaciteitsafhankelijke component. De capaciteitsafhankelijke tarieven zullen in 2025 met 14,53% stijgen, het vastrecht zal gelijk blijven ([ACM, 2024](#)).

Aansluitwaarde	Netwerkkosten 2024 (€/jaar)
R/m G6, < 500 m ³ (onbemeten aansluiting)	135
t/m G6, < 500 m ³	161
t/m G6, 500 tot 4.000 m ³	223
t/m G6, > 4.000 m ³	349
G10	593
G16	843
G25	1.400
G25 met EVHI	2.323

Bron: [Enexis](#)

Betrouwbaarheid

Het gasnetwerk is zeer betrouwbaar. In 2023 hadden consumenten gemiddeld 97 seconden geen gas door storingen. Hiermee is de betrouwbaarheid meer dan 99,99% ([NBNL](#)).

Een aandachtspunt bij de ombouw van gasleidingen is dat waterstof een veel lichter molecuul is dan methaan en er daardoor makkelijker lekkages kunnen optreden. Waterstof is een zeer ontvlambare stof, dus in het ontwerp van de leidingen moet hier rekening mee gehouden worden.

Bestendigheid

Het aardgasnetwerk kan grotendeels worden hergebruikt voor waterstoftransport. Doordat het huidige aardgasnetwerk kan worden hergebruikt, scheelt dit veel kosten. Een aandachtspunt bij de ombouw van gasleidingen is dat waterstof een veel lichter molecuul is dan methaan en er daardoor makkelijker lekkages kunnen optreden.

Beschikbaarheid

Gasnetwerk: het gasnetwerk blijft in delen van Nederland beschikbaar. In de transitievisies warmte wordt per wijk onderzocht wat de meest geschikte verwarmingsoplossing is. Elektrische verwarming met warmtepompen en warmtenetten zullen een groot deel van Nederland bedienen. In wijken waar elektrificatie lastig is of warmtenetten niet haalbaar zijn, blijft gas een optie voor verwarming. Het gebruik van het gasnetwerk zal dus per buurt verschillen. Naarmate de transitie vordert, zal een groter

Ook zal het huidige aardgasnetwerk in gebruik blijven voor aardgas, en in toenemende mate groengas. Groengas is opgewaardeerd biogas, dat wordt geproduceerd via vergisting en vergassing. Groengas is chemisch identiek aan aardgas, en kan dus direct worden ingevoerd in het aardgasnetwerk.

aandeel groengas worden bijgemengd met aardgas. Groengas en aardgas zijn chemisch identiek; het verschil ligt in de productiemethode.

Waterstofnetwerk: waterstof zal afhankelijk van de toepassing in bepaalde regio's beschikbaar zijn. In eerste instantie wordt waterstof via het landelijke netwerk geleverd aan de industrie. Naarmate de productie en import toenemen, zal waterstof breder beschikbaar worden voor andere sectoren, zoals de gebouwde omgeving en de transportsector. Op lokaal niveau kan waterstof in beperkte mate worden geproduceerd, maar dit gaat vaak gepaard met hoge kosten. Waterstof kan ook via tanktransport worden geleverd, bijvoorbeeld bij tankstations.

Ruimtegebruik

Gasleidingen liggen grotendeels ondergronds. Via verdeelstations worden deze gedistribueerd over verschillende transportbuizen. Er is dus zeer beperkt ruimtegebruik door gastransportleidingen.

Overig

Import: de meeste aardgas wordt geïmporteerd. Aardgas wordt geïmporteerd vanuit de omliggende landen, met name Noorwegen. Ook wordt er veel LNG geïmporteerd uit vooral de Verenigde Staten.

Opslag: aardgas en waterstof moeten worden opgeslagen, zodat we in periodes van hoge warmtevraag (in de winter) niet alleen afhankelijk zijn van import. Gasopslag fungeert als buffer, zodat tekorten kunnen worden opgevangen.

Aardgaswinning: er wordt in Nederland ook nog aardgas gewonnen, zowel op land als op zee, echter niet meer in het Groningse veld. Deze aardgaswinning is sinds 1 oktober 2024 definitief gestopt. Zie voor recente cijfers: [CBS](#).

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-38

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

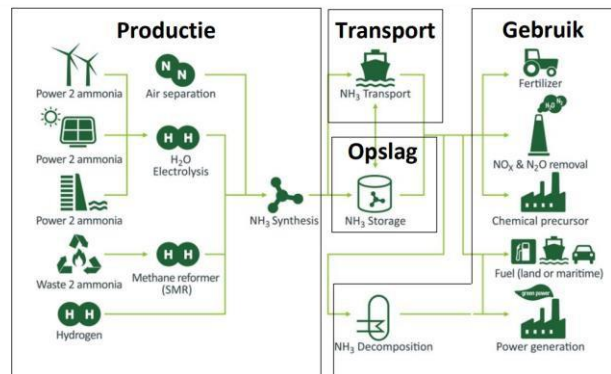
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Transport: ammoniak

Transport

- Beperken transport
- Lokale netwerken warmtenetten
- Lokale netwerken gas
- Lokale netwerken elektriciteit
- Netcongestie
- Verbouwing elektriciteitsnetwerk
- Hoogspanning
- Stations en kabeltracés
- Interconnecties
- Aardgasnetwerk en waterstofbackbone
- **Ammoniak**



Bron: [Proton Ventures](#).

Algemeen: wat is het?

Ammoniak is een energiedrager waar veel energie in kan worden opgeslagen. Op dit moment wordt ammoniak voornamelijk geproduceerd door een combinatie van SMR (Steam Methane Reforming, om waterstof te maken) en het Haber-Bosch-proces. Bij SMR wordt aardgas gebruikt, maar het kan ook op een duurzame manier geproduceerd worden. Hernieuwbare overschotten van elektriciteit uit zon en wind kunnen worden gebruikt om groene waterstof te produceren, dat weer kan worden gecombineerd met stikstof om ammoniak te produceren via het Haber-Bosch-proces. Het voordeel van ammoniak ten opzichte van waterstof is dat het relatief makkelijk is om te transporteren, omdat het veel minder volume inneemt.

Kenmerken

Voordelen:

- **Hoge energiedichtheid:** een groot voordeel van (vloeibaar) ammoniak is dat het een hogere energiedichtheid heeft dan (vloeibaar) waterstof. Hierdoor is minder volume nodig om grote hoeveelheden energie te transporteren.
- **Vloeibaar:** ammoniak kan vloeibaar worden gemaakt door het te koelen tot 33 °C.
- **Transport:** er is veel ervaring met het transport van ammoniak in de chemie en landbouwsector. Dit maakt het makkelijker om te integreren als energiedrager in bestaande systemen.

Nadelen en risico's:

- **Toxiciteit:** ammoniak is giftig, zowel bij inademing als bij contact met de huid of ogen. Het kan gezondheidsrisico's met zich meebrengen voor mensen en dieren. Het veilig hanteren, transporteren en opslaan van ammoniak vereist daarom speciale voorzorgsmaatregelen en technologieën.
- **Brandbaar:** ammoniak kan brandbaar zijn wanneer het wordt gemengd met lucht en ontstoken. Hoewel het geen klassieke brandstof is, zijn er veiligheidsrisico's

Toepassingen

Als energiedrager van hernieuwbare energie:

Ammoniak kan worden geproduceerd als energiedrager van hernieuwbare elektriciteit uit zon en wind. Via water-elektrolyse wordt waterstof geproduceerd, waarvan de waterstof wordt omgezet in ammoniak. Ammoniak kan worden gebruikt om weer elektriciteit op te wekken. Ammoniak kan ook via reconversie naar waterstof worden omgezet, dat via een turbine of brandstofcel elektriciteit kan opwekken. Ook kan ammoniak potentieel direct worden gebruikt als brandstof voor elektriciteitsopwekking. Dit wordt momenteel nog niet op grote schaal toegepast.

Brandstof: ammoniak kan worden gebruikt als brandstof voor de transportsector. De meest veelbelovende toepassing is in de scheepvaart. Voor wegverkeer is ammoniak minder interessant, aangezien batterijen hier verder ontwikkeld zijn ([EMSA, 2022](#)).

Niet-energiegerelateerde toepassingen:

Kunstmestproductie, basischemie.

verbonden aan het gebruik ervan, met name in situaties waar het kan vrijkomen.

- **Corrosief:** ook is ammoniak corrosief, en zijn er speciale condities vereist voor transport en opslag.

Specifieke punten

N.v.t.

Betaalbaarheid

Momenteel wordt ammoniak nog niet als grootschalige energiedrager ingezet. Het is dus nog onduidelijk wat de kosten hiervan zijn. In de toekomst kan ammoniak als energiedrager op momenten worden ingezet zodra er te weinig opwek is uit hernieuwbare bronnen.

Bestendigheid

Toekomstbeelden: ammoniak kan een belangrijke rol vervullen in het toekomstige energiesysteem. Naast productie van ammoniak met stikstof en groene waterstof, kan het ook op andere manieren worden geproduceerd. Zo kan ook blauwe ammoniak met blauwe waterstof¹ worden geproduceerd. Daarnaast kan het binnenlands, maar ook in het buitenland worden geproduceerd. Er wordt gedacht aan ammoniakproductie in woestijnen waar veel zonne-energie is. De goedkope zonne-energie kan in waterstof en vervolgens ammoniak worden opgeslagen om naar Nederland getransporteerd te worden ([VNCI](#)).

Ruimtegebruik

Voor ammoniakproductie is een installatie nodig die waterstof omzet in ammoniak. Het ammoniak wordt in vloeibare vorm opgeslagen in tanks, die via schip of een ander transportmiddel kan worden vervoerd.

Stand van zaken in Groningen

Ammoniak wordt niet toegepast als energiedrager in Groningen. Ook zijn er geen grootschalige plannen voor ammoniak als energiedrager bekend.

Betrouwbaarheid

Veel ervaring met ammoniak: ammoniak wordt veel gebruikt in de chemie- en landbouwsector. Er is veel ervaring met de productie en het transport van ammoniak. Echter wordt het momenteel niet toegepast als grootschalige energiedrager van hernieuwbare energie, maar als grondstof voor kunstmest en verschillende chemische producten.

Toxiciteit: ammoniak is een toxische/giftige stof. Deze stof is dus gevaarlijk voor de gezondheid van organismen. Het transport is daarom een zeer belangrijk aandachtspunt.

Beschikbaarheid

Van ammoniak naar elektriciteit: gasturbines op ammonia zijn nog in ontwikkeling ([Pashchenko, 2024](#)). Voordat deze op grote schaal verkrijgbaar zijn, is er nog veel onderzoek en ontwikkeling nodig. Momenteel is het dus nog niet mogelijk om ammoniak in een gascentrale om te zetten in elektriciteit. In Denemarken loopt een [demonstratieproject](#) voor deze technologie.

Ammoniaproductie: de productie van ammonia gebeurt al op grote schaal. Indien ammonia gebruikt zal worden als energiedrager, zal deze sector aanzienlijk groeien. Om ammonia te gebruiken als energiedrager, is groene waterstof nodig. Momenteel wordt groene waterstof niet op grote schaal geproduceerd. Deze ketens hangen met elkaar samen.

Overig

N.v.t.

¹ Blauwe waterstof is waterstof geproduceerd met aardgas, waarbij de CO₂-uitstoot bij productie wordt afgevangen en opgeslagen onder de grond.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-39

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Conversie: elektrolyse naar waterstof

Conversie

- Elektrolyse naar waterstof
- Vergisting en vergassing
- CO₂-vrije regelbare centrales



Bron: [DeKoersen.nl](https://dekoersen.nl).

Algemeen: wat is het?

Elektrolyse is een technologie die met elektriciteit water (H₂O) splitst in waterstof (H₂) en zuurstof (O₂). Indien de waterstof is geproduceerd met hernieuwbare elektriciteit, wordt het 'groene waterstof' genoemd. Elektrolyse vindt plaats in een elektrolyser die zowel op land als op zee (offshore-platform) kan staan. Meerdere elektrolyzers vormen samen een waterstoffabriek.

Elektrolyse vereist een aansluiting op het elektriciteitsnet en de geproduceerde waterstof zal afgevoerd worden via pijpleidingen (bij grote hoeveelheden) of via tanktransport met vrachtwagens of schepen (kleinere hoeveelheden). Er is momenteel nog geen landelijk waterstofnetwerk, echter worden hiervoor wel al voorbereidingen getroffen. Het huidige gasnet kan gedeeltelijk worden omgebouwd voor waterstoftransport (zie factsheet 'Transport: aardgasnetwerk en waterstofbackbone'). Ook zal aanzienlijke opslagcapaciteit nodig zijn voor buffering van de waterstof (zie factsheet 'Opslag: waterstofopslag in ondergrond').

Kenmerken

Vermogen: vermogen varieert tussen een paar en enkele honderden MW. Na 2030 zou elektrolysecapaciteit naar GW-schaal kunnen gaan per locatie.

EU-wetgeving: in Europese wetgeving zijn de voorwaarden vastgelegd wanneer waterstof groen is. Eén van de voorwaarden is dat de elektrolyser uitsluitend gebruik maakt van hernieuwbaar opgewekte elektriciteit. Ook is vanuit de EU een afnameverplichting voor de industrie vastgelegd voor groene waterstof ([EU, 2023](#)). De afnameverplichting voor groene waterstof vanuit EU-wetgeving vereist dat industrieën en transportsectoren een minimumpercentage hernieuwbare waterstof gebruiken om de CO₂-uitstoot te verminderen en de energietransitie te versnellen.

Waterstofwinning: waterstof kan op verschillende manieren geproduceerd of gewonnen worden, via elektrolyse (groene waterstof), via aardgas met CO₂-afvang (blauwe waterstof), of uit natuurlijke bronnen (witte waterstof) ([TNO](#)).

Toepassing

Waterstofproductie: elektrolyzers produceren groene waterstof als de elektriciteit hiervoor duurzaam is opgewekt. Deze groene waterstof kan worden gebruikt voor elektriciteitsproductie (dan heeft de waterstof dus een opslagfunctie), brandstof of als grondstof in de industrie.

Netbalancing: elektrolyzers kunnen mogelijk de netbelasting op het elektriciteitsnet verminderen, mits ze op een geschikte locatie op het elektriciteitsnet worden geplaatst. Doordat elektrolyzers de opgewekte stroom verbruiken, hoeft deze stroom namelijk niet meer door het elektriciteitsnet getransporteerd te worden. In Groningen is met name de Eemshaven geschikt voor grootschalige elektrolyse, aangezien hier veel elektriciteit van wind op zee aanlandt.

Specifieke punten

Energieverliezen: bij productie en conversie van groene waterstof naar elektriciteit vinden energieverliezen plaats. De elektrolysertechnologie, compressie en opslagmethode, en conversie naar elektriciteit hebben invloed op de totale efficiëntie van het proces. Ter indicatie is per stap weergegeven wat de energieverliezen zijn:

- energieverlies productie: 30% ([CE Delft, 2023](#));
- energieverlies compressie en opslag: 10% ([TNO](#));
- energieverlies conversie naar elektriciteit: 40% ([Renewable Energy, 2024](#));
- Round Trip Efficiency¹: circa 40% (60% energieverlies).

Een deel van de energie gaat verloren in warmte. Deze (rest-)warmte kan gedeeltelijk worden teruggewonnen en via een warmtenet aan de gebouwde omgeving worden geleverd, als er een warmtenet in de buurt ligt. Hiermee kan de totale efficiëntie van de waterstofproductie worden verhoogd.

Stand van zaken in Groningen

Hydrohub MegaWatt Testcentrum: dit is een state-of-the-art onderzoeksfaciliteit in Groningen, waar onderzoekers en marktpartijen elektrolyzers kunnen testen en ontwikkelen. **NorthH₂:** is een consortium van Eneco, Equinor, RWE en Shell Nederland. Gezamenlijk onderzoeken ze de haalbaarheid van grootschalige productie, opslag en transport van groene waterstof. Ze hebben de ambitie om tussen 2030 en 2035 een groenewaterstoffabriek op gigawattschaal te realiseren.

Plannen uit de CES 2022: in de [CES Noord-Nederland](#) is de projectie opgenomen voor 4.700 MW elektrolyse in de Eemshaven voor 2030, en bijna 400 MW in Delfzijl. Voor 2040 is geprojecteerd dat er 10.130 MW in de Eemshaven staat en ook ongeveer 400 MW in Delfzijl.

Waterstofopslag in Zuidwending: GasUnie onderzoekt de mogelijkheden om grootschalige ondergrondse waterstofopslag te realiseren in zoutlagen.

Betaalbaarheid

Productiekosten in €/MWh: dit zijn de kosten voor de productie van 1 kg waterstof over de gehele levensduur van de installatie. Dus totale kosten (€)/totale productie (kg).

Productiekosten groene waterstof 2030:

- € 6,50-12 per kg;
- € 165-305 per MWh (waterstof omzetten in gascentrale).

Sterk afhankelijk van aantal draaiuren: hoe meer uren een elektrolyser kan draaien, hoe goedkoper (per kg) deze is. Elektrolyzers kunnen groene waterstof maken als er een overschot aan hernieuwbare elektriciteit beschikbaar is. Momenteel zijn de uren met overschotten aan hernieuwbare elektriciteit nog beperkt, echter zal dit in de toekomst toenemen met meer zon- en windenergie.

Betrouwbaarheid

Volwassen technologie: elektrolyse is een volwassen technologie en hier is al tientallen jaren ervaring mee. De schaal waarop waterstof in de toekomst gaat worden geproduceerd, is echter nog niet eerder toegepast.

Verskillende technologieën: er zijn verschillende elektrolysertechnologieën. Alkaline elektrolyse is het meest ontwikkeld ([Energy.nl, 2018](#)) en is commercieel verkrijgbaar, gevolgd door Proton Exchange Membrane ([PEM, 2019](#)). Solid Oxide Elektrolyser (SOE) of Anion Exchange Membrane (AEM) bevinden zich nog in de onderzoeksfase.

Hergebruik van aardgasnetten: waterstof kan veilig en betrouwbaar worden getransporteerd door het (aangepaste) aardgasnetwerk ([GasUnie](#)). Hiermee kunnen aanzienlijke kosten worden bespaard op transportkosten van waterstof, ten opzichte van de bouw van een geheel nieuw netwerk.

Bestendigheid

Onzekere waterstofvraag in de toekomst: waterstof heeft alle waarschijnlijkheid om een rol te spelen in het toekomstige energiesysteem. Het is echter nog niet duidelijk hoe groot die rol van waterstof gaat zijn in de toekomst; dit is afhankelijk van de uiteindelijke vraag naar waterstof. Daarnaast is er ook nog onzekerheid in welke mate er binnen- en buitenlandse productie van waterstof gaat plaatsvinden.

Beschikbaarheid

Hernieuwbare elektriciteit vereist: om via elektrolyse groene waterstof te maken, is (overschot) hernieuwbare elektriciteit nodig. In Nederland kan dit uit zon of wind komen. In Nederland zal wind op zee de grootste rol spelen in de productie van waterstof, aangezien dit de grootste energiebron is. Overschotten van elektriciteit kunnen worden omgezet in waterstof. Daardoor hoeven de wind- en zonneparken niet uitgeschakeld te worden als er te veel hernieuwbare opwek is.

¹ Round Trip Efficiency betekent: de totale efficiëntie van elektriciteit naar waterstof, en weer terug. Voor het berekenen van de Round Trip Efficiency dienen de afzonderlijke efficiënties met elkaar vermenigvuldigd te worden, dus: 0,7*0,9*0,6.

Groenewaterstofmarkt zit in opstartfase: zowel de productie- als de afnamekant van de markt zijn nog maar beperkt in omvang. Vanwege onzekerheid in zowel vraagontwikkeling als aanbod van groene waterstof, zijn zowel afnemers als producenten huiverig om te investeren. Met subsidies en andere beleidsinstrumenten kan de overheid de markt helpen op te starten.

Import: groene waterstof kan ook worden geïmporteerd uit landen waar veel goedkope hernieuwbare elektriciteit kan worden opgewekt. De Rijksoverheid is in gesprek met andere landen voor toekomstige productie en levering van waterstof ([RVO, 2024](#)).

Ruimtegebruik

Ruimtereserving bij aanlanding wind op zee: om grootschalige elektrolyzers te realiseren, moet er ruimte worden gereserveerd, en bij voorkeur op locaties van aanlanding van wind op zee. Hierdoor is minder kostbare hoogspanningsinfrastructuur nodig landinwaarts. De Eemshaven en Delfzijl zijn door het Rijk als voorkeurslocatie aangewezen voor grootschalige elektrolyse ([Programma Energiehoofdstructuur, Rijksoverheid](#)).

Grootte elektrolyser en waterstoffabriek: een elektrolyserunit is ongeveer zo groot een zeecontainer. Meerdere elektrolyzers aan elkaar geschakeld vormen gezamenlijk een waterstoffabriek. Ter illustratie: de waterstoffabriek van Shell, genaamd [Holland Hydrogen 1](#), zal een vermogen krijgen van 200 MW op een landoppervlakte van 4 hectare, oftewel acht voetbalvelden.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-1

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Conversie: vergisting en vergassing

Conversie

- Elektrolyse naar waterstof (op land, op zee)
- **Vergisting en vergassing**
- CO₂-vrije regelbare centrales



Bron: Fotobank CE Delft.

Algemeen: wat is het?

Vergisting in de context van energieproductie verwijst naar het proces waarbij organisch materiaal, zoals landbouwafval, voedselresten of mest, door micro-organismen wordt afgebroken in afwezigheid van zuurstof (anaerobe vergisting). Dit proces produceert biogas, een mengsel van voornamelijk methaan (CH₄) en kooldioxide (CO₂). Biogas kan vervolgens worden opgewaardeerd tot groengas, wat identiek is aan aardgas. Hierdoor kan de huidige gasinfrastructuur worden hergebruikt. Biogas of groengas kan als hernieuwbare energiebron worden gebruikt voor elektriciteitsopwekking, warmteproductie of als brandstof in voertuigen.

Vergassing is het chemische proces waarbij biomateriaal bij hoge temperatuur wordt verwerkt. Dit proces wordt steeds verbeterd. Bij vergassing wordt biomassa onder hoge temperatuur chemisch omgezet in syngas, een mengsel van met name methaan, waterstof, CO en CO₂. Vergassing kan daarmee dienen als productiemethode van methaan en/of waterstof. Syngas is ook direct te gebruiken als grondstof voor de industrie. Er zijn twee voornaamste manieren van vergassing, beide kennen een hogere efficiëntie dan vergisting: thermische vergassing (hierbij wordt droge biomassa gebruikt) en superkritische vergassing (hierbij wordt natte biomassa gebruikt).

Bijmengverplichting groengas: de bijmengverplichting is het instrument om invulling te geven aan de ambitie om in 2030 2 miljard m³ groen gas te produceren. De bijmengverplichting is een ambitieuze doelstelling, waarmee in 2030 een richte-hoeveelheid van 1,6 miljard m³ groengas aan de gebouwde omgeving geleverd wordt. Door een bijmengverplichting ontstaat er vraag naar groengas bij energieleveranciers, waar producenten op zullen handelen. De status van de bijmengverplichting is te lezen in een recente [kamerbrief](#).

Bron: [RVO](#)

Kenmerken

Producten:

- **Biogas:** biogas is het product van vergisting. Dit is een mengsel van methaan, koolstofdioxide en andere moleculen.
- **Syngas:** syngas is het product van vergassing. Dit is een mengsel van met name methaan, waterstof, CO en CO₂.
- **Groengas:** door biogas te zuiveren en te drogen, wordt het op dezelfde kwaliteit als aardgas gebracht. Na deze bewerkingen mag het groengas heten. Groengas is chemisch hetzelfde als aardgas.

Toepassing

Vergisting: het product van vergisting, biogas, kan worden gebruikt voor warmte- of elektriciteitsproductie. Ook kan het opgewaardeerd worden tot groengas. Groengas kan in het huidige aardgasnetwerk worden vermengd.

Vergassing: het product van vergassing, syngas, kan worden gebruikt als grondstof voor de industrie of voor de productie van groengas.

- **Digestaat:** dit is de vaste stof die overblijft na vergisting.

Hernieuwbare energie: biogas is een hernieuwbare-energie-bron, omdat het afkomstig is van biologische materialen die kunnen worden vernieuwd, zoals landbouwafval en mest.

Verschillende varianten: er zijn vergisters van verschillende grootten. Je hebt boerderijvergisters, buurtvergisters waarin mest van meerdere boeren wordt vergist, en grootschalige regiovergisters.

([Platform Groen Gas](#))

Digestaat: het restproduct uit vergisting, digestaat, is rijk aan voedingsstoffen en kan worden gebruikt als natuurlijke meststof in de landbouw.

Afvalverwerking: biogeen afval kan in vergisters worden verwerkt tot hernieuwbaar gas. Hierdoor wordt afval nuttig gebruikt en duurzaam verwerkt.

Specifieke punten

Monovergisters: dit type vergister verwerkt één product, vaak dierlijke mest. Het voordeel hiervan is dat er weinig digestaat overblijft.

Co-vergisters: co-vergisting is de vergisting van minimaal 50% dierlijke mest, aangevuld met erkende co-stromen. Voorbeelden van deze co-stromen zijn: gras, maïs, perspulp en weipermeaat.

Allesvergister: kan een mix van verschillende inputs vergisten. Waar co-vergisters een specifieke (verhouding van) input vereisen, kunnen allesvergisters een mix van inputs verwerken.

Slibvergisters: dit type vergisters verwerkt slib dat overblijft na het zuiveren van afvalwater.

Stand van zaken in Groningen

Er zijn veel landbouwbedrijven actief in Groningen, waar mest en restproducten worden geproduceerd. Deze kunnen in vergisters en vergassers worden omgezet in nuttige gassen. Momenteel wordt er in Groningen circa **10 miljoen m³** aan groengas geproduceerd uit vergisting en vergassing ([CE Delft, 2024](#)).

Betaalbaarheid

Productiekosten: € 0,10-0,30 per kWh ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).

Betrouwbaarheid

Groengascertificaten: om te garanderen dat groengas ook echt groengas is, worden certificaten gebruikt bij de groengashandel. Verticer controleert of het gas voldoet aan de gestelde eisen voor groengas.

Bestendigheid

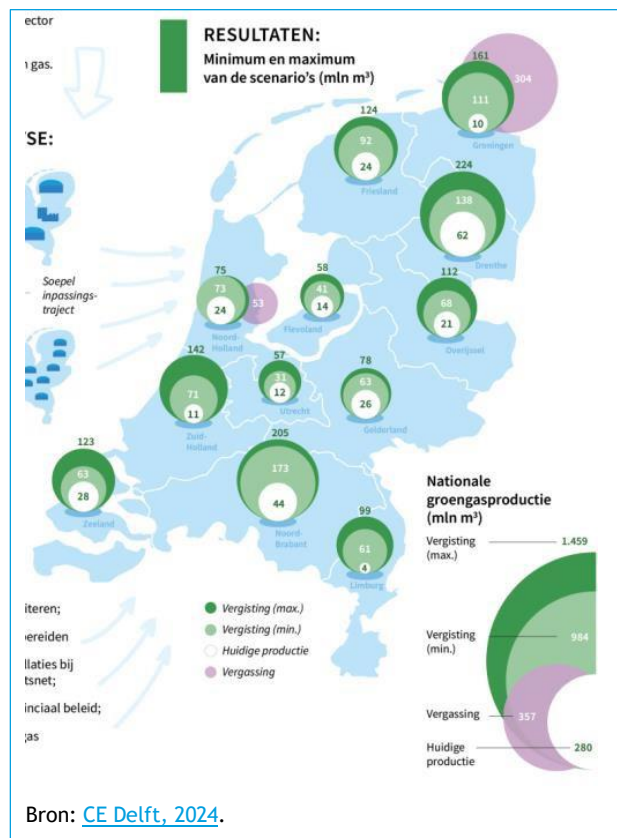
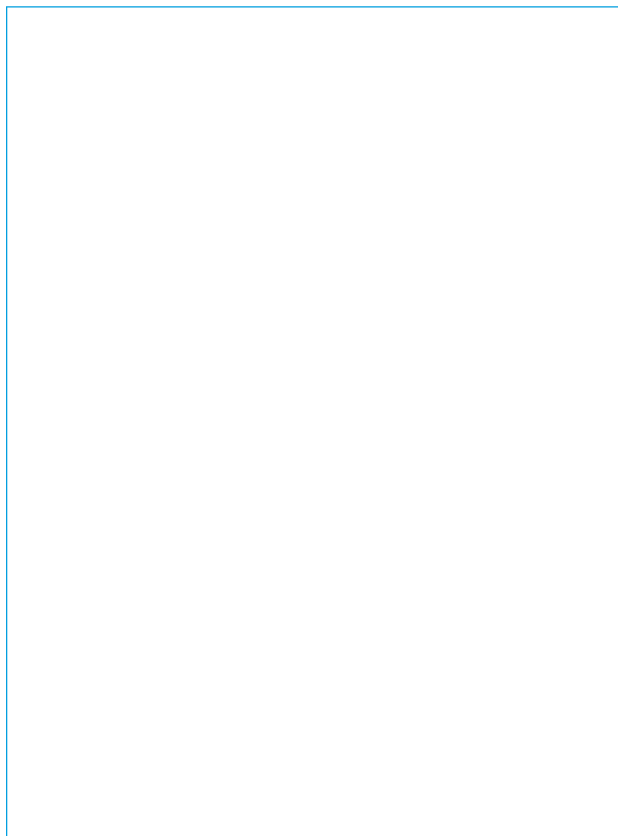
Duurzaamheid: vergisting wordt gezien als een duurzame manier van energieproductie. De input van organisch afval en mest zijn namelijk hernieuwbaar.

Afval- en mestverwerking: vergisting is een nuttige manier om afval en mest om te zetten in bruikbaar gas. Ook in de toekomst blijven we deze afvalstromen produceren, waardoor vergisting ook nodig blijft in de toekomst. Vergisting draagt bij aan de circulaire economie.

Beschikbaarheid

In Groningen is er voor groengasproductie met name veel potentie voor vergassing, ongeveer tweemaal zoveel als voor vergisting. Dit is gebaseerd op een onderzoek van CE Delft ([CE Delft, 2024](#)) op basis van de huidige plannen. Hierbij is het belangrijk om te vermelden dat er voor vergassing veel import van houtige biomassa nodig is, dat dus niet in Groningen zelf geproduceerd is.¹ De huidige productie (10 miljoen m³) is zeer gering vergeleken met de potentie voor vergisting en vergassing in 2030.

¹ In de scenario's die zijn opgesteld voor deze studie, gaan we uit van productie alleen binnen Groningen, zonder import.



Ruimtegebruik

Vergistingsinstallatie: kleine vergisters bij boerenbedrijven zijn cilindervormige silo's met een ronde koepel. Het gas wordt opgeslagen cilindervormige tanks. Grote regionale vergisters bestaan vaak uit meerdere installaties en structuren.

Invoeden gasnet: groengas kan direct worden getransporteerd in het huidige aardgasnetwerk, aangezien groengas chemisch dezelfde samenstelling heeft als aardgas. Een aansluiting op het gasnet is daarvoor vereist.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-2

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Conversie: CO₂-vrije regelbare centrales

Conversie

- Elektrolyse naar waterstof (op land, op zee)
- Vergisting en vergassing
- CO₂-vrije regelbare centrales



Bron: [RWE](#).

Algemeen: wat is het?

CO₂-vrije regelbare centrale zijn centrales die op elk gewenst moment elektriciteit kunnen opwekken. De gewenste momenten om door een dergelijke centrale elektriciteit op te wekken in het toekomstige energiesysteem zijn wanneer zon- en windopwek laag is en de vraag hoog. De CO₂-vrije regelbare centrale vult dus de momenten aan dat er een tekort aan opwek is vanuit zon- en windenergie.

De randvoorwaarde is dat de opwek geen (fossiele) CO₂-emissies veroorzaakt, wat op verschillende manieren bereikt kan worden. De centrales kunnen bijvoorbeeld draaien op waterstof (zie factsheet 'Conversie: elektrolyse naar waterstof'), groengas (zie factsheet 'Opwek: groengas'), biomassa (zie factsheet 'Opwek: biomassa'), of aardgas met CCS¹ (zie factsheet 'Opwek: fossiele bronnen'). Ook kunnen kerncentrales CO₂-vrij elektriciteit produceren op momenten van lage opwek (zie factsheet 'Opwek: kernenergie'). Regelbare centrales kunnen grootschalig (> 500 MW), maar ook kleinschalig zijn (100 MW) ([CE Delft, 2023](#)).

Kenmerken

Gascentrales: regelbare centrales kunnen gascentrales zijn. Groengas en waterstof zijn CO₂-vrije² gasen, die als brandstof kunnen worden gebruikt. Deze gascentrales kunnen snel veel vermogen leveren. Hiervoor is voldoende koelwater nodig en een aansluiting op het hoogspanningsnet. Er zijn grofweg twee soorten:

- CCGT-centrales: hoge efficiëntie, echter minder flexibel. Hierdoor heeft dit type meer draaiuren per jaar.
- OCGT-centrales: lagere efficiëntie, maar zeer flexibel. Hierdoor wordt dit type ingezet bij momenten van forse tekorten en heeft minder draaiuren per jaar.

Kerncentrales: kerncentrales zijn regelbare centrales, echter zijn ze zeer inflexibel. Als een kerncentrale draait, is het zowel kostbaar en technisch ingewikkeld om deze af te schakelen. Het opstarten van een kerncentrale is om dezelfde redenen ingewikkeld. Daarom worden kerncentrales meestal ingezet als basislast, wat betekent dat ze continu draaien.

Toepassing

Elektriciteitsmarktbalancerings: regelbare centrales zijn nodig in het toekomstige, klimaatneutrale elektriciteitsstelsel om de leveringszekerheid te garanderen op korte en lange termijn. Hiermee dragen ze voornamelijk bij aan de elektriciteitsmarktbalancing. Deze centrales moeten elektriciteit leveren op momenten dat er te weinig productie is van windturbines en zonnepanelen.

Aansluiting op landelijke hoogspanningsnet: een CO₂-vrije regelbare centrale is in de meeste gevallen aangesloten op het landelijke hoogspanningsnet. Vanaf het hoogspanningsnet worden de midden- en laagspanningsnetten gevoed. De regelbare centrale kan staan in de buurt waar de vraag naar elektriciteit is (dit veroorzaakt de minste belasting van het net), maar kan ook buiten de grenzen van de provincie in de vraag van Groningers voorzien. Andersom kan de regelbare centrale binnen de provincie ook de vraag invullen van buiten de provincie. Via het elektriciteitsnet is het met elkaar verbonden.

Vermogen: regelbare centrales kunnen grootschalig (> 500 MW), maar ook kleinschalig zijn (100 MW).

Brandstofcellen: in de toekomst zouden brandstofcellen die waterstof gebruiken als brandstof, als CO₂-vrije regelbare centrale ingezet kunnen worden. Momenteel is dit nog een (te) dure techniek voor elektriciteitslevering.

Specifieke punten

Weinig draaiuren: een CO₂-vrije regelbare centrale is alleen actief als er tekorten zijn. Tekorten vinden vaak plaats op momenten van hoge vraag, bijvoorbeeld op zeer koude dagen. Op deze momenten is de gelijktijdige vraag van warmtepompen hoog. Met een CO₂-vrije regelbare centrale wordt het tekort opgevuld, zodat vraag en aanbod weer in balans zijn. Deze momenten komen echter beperkt voor in het jaar, waardoor een CO₂-vrije regelbare centrale vaak op- en af moet schakelen en het totaal aantal draaiuren beperkt is.

Stand van zaken in Groningen

In Groningen zijn er twee Barro-locaties (Besluit algemene regels ruimtelijke ordening) aangewezen voor grootschalige elektriciteitscentrales, namelijk de Eemshaven en Delfzijl. Het is dus de verwachting dat er in de toekomst waterstofcentrales zullen komen in de Eemshaven en Delfzijl. De Eemshaven heeft nu ongeveer 3.300 MW aan gas- en kolencentrales. Richting 2050 zou het vermogen aan waterstofcentrales op die locatie nog fors hoger kunnen zijn, gezien het sterke hoogspanningsnet op die locatie en de forse elektriciteitsvraag. Ook bij Delfzijl, waar nu een gascentrale staat van ruim 500 MW, is een toename van het regelbare vermogen mogelijk ([Pondera Consult & CE Delft, 2023](#)). Dit is bij beide locaties echter in grote mate afhankelijk van het totale vermogen aan waterstofcentrales dat noodzakelijk is.

Betaalbaarheid

Investeringskosten voor nieuwe waterstofcentrales: € 600-750 per kW. Dus een centrale van 500 MW kost € 300-375 miljoen.

Levelised Cost of Energy (LCoE): de productiekosten per eenheid elektriciteit. Voor waterstofcentrales liggen deze rond de € 150-200 per MWh. Ter referentie kost wind op zee € 30-50 per MWh, maar deze kunnen niet direct met elkaar worden vergeleken, omdat ze andere karakteristieken hebben. Wind op zee is niet regelbaar, een CO₂-vrije regelbare centrale wel. Beiden zijn nodig voor een hernieuwbaar energiesysteem, echter hebben ze verschillende functies.

Betrouwbaarheid

De techniek van CO₂-vrije regelbare centrales zijn zeer betrouwbaar, aangezien hier al veel ervaring mee is (gas- en kolencentrales). In de toekomst zal de brandstof veranderen, van aardgas en kolen naar waterstof en groengas, maar het proces blijft hetzelfde. Om deze omschakeling te maken, zullen aanpassingen nodig zijn aan de centrales. De functie ervan blijft echter behouden en het blijft daarmee een betrouwbare techniek om tijdelijke elektriciteits tekorten (van zon en wind) op te vullen.

Bestendigheid

Noodzaak CO₂-vrije regelbare centrale: in het toekomstige energiesysteem is een CO₂-vrije regelbare centrale noodzakelijk, aangezien er lange tekorten kunnen optreden van lage opwek uit zon en wind. Kortstondige tekorten zullen naar verwachting kunnen worden aangevuld met energie-

Beschikbaarheid

Ombouw huidige gascentrales: bestaande gascentrales op aardgas kunnen worden omgebouwd, zodat ze in de toekomst op waterstof kunnen draaien. Een voorbeeld is de [Magnumcentrale](#) in de Eemshaven.

¹ CCS verwijst naar Carbon Capture en Storage. Bij verbrandingsprocessen wordt de CO₂ die vrijkomt afgevangen en opgeslagen in lege gasvelden op de Noordzee. Hierdoor kunnen fossiele verbrandingsprocessen hun CO₂-uitstoot verminderen.

² De uitstoot van CO₂ door de verbranding van groengas heeft een biogene oorsprong. 'CO₂-vrij' duidt op het niet uitstoten van fossiele CO₂.

opslag in batterijen, of vraagsturing. Voor langere tekorten moeten centrales bijschakelen om de tekorten op te vullen.

NO_x-eisen: de verbranding van waterstof verloopt op hogere temperaturen dan aardgas. Doordat gas wordt verbrand in het bijzijn van lucht (78% stikstof N₂, 21% zuurstof O₂), vormen er op deze hogere temperaturen meer stikstofverbindingen, ook wel NO_x genoemd. De huidige waterstofgasturbines blijven nog niet binnen de gestelde eisen voor NO_x-emissies. Fabrikanten verwachten tussen 2025 en 2030 waterstofturbines aan te kunnen bieden die binnen de stikstofnormen opereren ([CE Delft, 2023](#)).

Ruimtegebruik

Het ruimtebeslag van waterstofcentrales is 213 MW/ha ([Pondera Consult & CE Delft, 2023](#)). Dit betekent dat een grote waterstofcentrale van 500 MW ongeveer 2,5 hectare aan omvang heeft.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-3

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

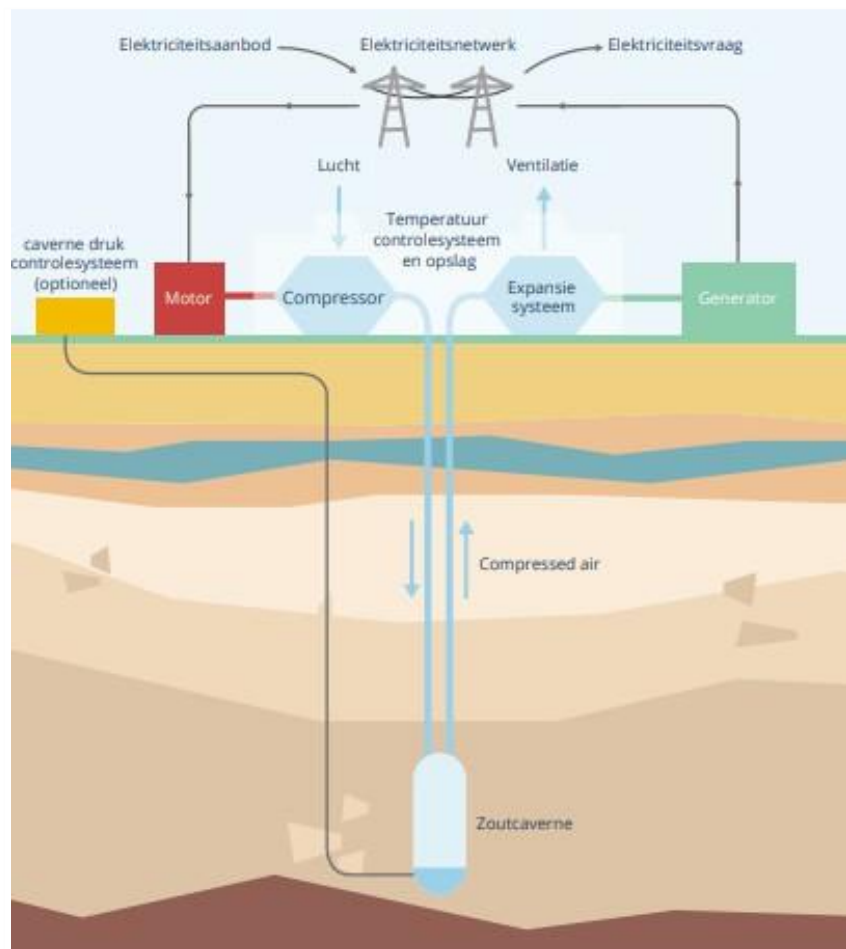
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opslag: CAES

Opslag

- Achter-de-meterbatterijen
- CAES
- Systeembatterijen
- Waterstofopslag in gasvelden
- Ijzerpoeder



Bron: [NP RES & CE Delft, 2022](#).

Algemeen: wat is het?

Bij Compressed Air Energy Storage (CAES, in het Nederlands 'persluchtopslag') wordt lucht met een elektrisch aangedreven compressor gecomprimeerd en gekoeld en onder hoge druk in grote ondergrondse ruimtes gepompt. Hiervoor kunnen zout-cavernes en lege gasvelden worden gebruikt. Bij vraag naar elektriciteit kan deze worden opgewekt door de lucht uit het reservoir te laten lopen en op te warmen, waardoor deze uitzet. Vervolgens wordt de lucht door een turbine geleid, die een generator aandrijft, waarmee elektriciteit geproduceerd wordt.

Kenmerken

- **Vermogen:** 100-300 MW.
- **Capaciteit per installatie:** 400-4.000 MWh.
- **Tijdsduur ontladen op vol vermogen:** 6-12 uur.
- **Toepasbaarheid op schaalniveau:** hoogspanningsnet.
- **Technische realisatie** voor 2030: zeker te realiseren.
- **Investeringskosten:** € 150 per kWh.
- **Efficiëntie:**
 - D-CAES: 60%;
 - AA-CAES: 70%.

Toepassing

Middellangetermijnopslag: CAES kan op middellange termijn (uren tot een week) worden toegepast. CAES concurreert in die zin met flowbatterijen. Ze kunnen beiden een strategisch belang hebben bij periodes van langdurige lage hernieuwbare opwek.

Hoogspanningsnet: CAES zal vanwege de grootte en functie van de installatie worden aangesloten op het hoogspanningsnet.

- **Realisatietijd:**
 - 2-5 jaar bij bestaande caverne;
 - > 5 jaar als nieuwe caverne nodig is.
 - **Ruimtelijke impact:** 11 m² per MWh.
 - **Veiligheidsaspecten:** kans op verzakking van de bodem en seismische activiteiten.
- (NP RES & CE Delft, 2022)

Specifieke punten

Er zijn twee kansrijke technologieën, namelijk Diabatic-CAES (D-CAES) en Advanced Adiabatic-CAES (AA-CAES). D-CAES is technologisch verder ontwikkeld dan AA-CAES. Het verschil tussen D-CAES en AA-CAES ligt in de manier waarop warmte wordt beheerd tijdens het comprimeren en opslaan van lucht. De efficiëntie van D-CAES is 60% en van AA-CAES 70% (NP RES & CE Delft, 2022).

Huidige stand van zaken Groningen

In Groningen zijn er plannen voor een D-CAES-installatie in een zoutcaverne (320 MW/3-4 GWh), waarbij de lucht wordt verwarmd door verbranding van groene waterstof (Corre Energy). Het project bevindt zich momenteel in een exploratiestadium. De verwachting is dat dit project eind 2026 is afgerond (SolarMagazine, 2023).

Betaalbaarheid

Investeringskosten: dit zijn de kosten (in euro's) die nodig zijn om 1 kWh aan opslagcapaciteit te realiseren. Operationele kosten worden niet meegenomen.

Investeringskosten: € 150 per kWh.
(NP RES & CE Delft, 2022)

Betrouwbaarheid

Bewezen technologie, echter nog weinig toegepast: Er zijn verschillende CAES-systemen over de hele wereld en de technologie is bewezen. Echter zijn dit een beperkt aantal projecten en van beperkte omvang. Bekende voorbeelden zijn een installatie in Huntorf, Duitsland (sinds 1978 in gebruik) en McIntosh, VS (sinds 1991 in gebruik). Met het juiste onderhoud kunnen deze installaties zeer lang in gebruik blijven, blijkt uit de (weliswaar beperkte) praktijkervaring (EASE, 2016).

Geen afhankelijkheid van kritische grondstoffen: CAES vereist veelgebruikte grondstoffen, zoals staal en beton (TNO, 2020). Deze materialen zijn over het algemeen minder schaars en goedkoper dan de zeldzame en dure metalen die nodig zijn voor batterijopslag, zoals lithium, kobalt, en nikkel. Staal, beton, aluminium en koper zijn overvloedig aanwezig en zijn dus geen kritische materialen.

Bodemrisico's: er is weinig bekend over bodemrisico's door CAES (TNO, 2020). Het is dus niet duidelijk wat het risico is op verzakking van de bodem en seismische activiteiten. Meer onderzoek en praktijkervaring is hiervoor van belang.

Toekomstbestendigheid

Strategische energieopslag: in een energiesysteem met het overgrote deel hernieuwbare opwek uit zon en wind, loop je het risico tijdens periodes van zowel weinig zon als weinig wind, te weinig opwek te kunnen realiseren. CAES kan als opslagcapaciteit bijdragen aan leveringszekerheid tijdens deze lage opwekperiodes, genaamd Dunkelflaute. Diverse energieopslagbronnen dragen bij aan een robuuste strategische opslagcapaciteit.

Beschikbaarheid

Mogelijke locaties: grootschalige CAES kan worden toegepast bij zoutcavernes. Hierdoor is de potentie van mogelijke locaties beperkt. Mogelijk zouden ook lege gasvelden kunnen worden benut voor CAES, echter is daar minder ervaring mee en het potentieel dus onzekerder.

Concurreert met waterstof voor opslagreservoirs: CAES concurreert met waterstofopslag wat betreft ruimtegebruik in zoutcavernes en lege gasvelden.

Concurreert met flowbatterijen: CAES concurreert qua (middellangetermijn)toepassing met flowbatterijen en waterstofcentrales. Kosten, beschikbaarheid, betrouwbaarheid en andere kenmerken bepalen welke technologie de het meest geschikt is.

Ruimtelijke effecten

Ondergrondse opslag: de bovengrondse ruimtelijke impact van CAES is relatief laag, aangezien het ondergrondse opslag betreft. De ruimtelijke impact bovengronds is 11 m² per MWh aan opslagcapaciteit.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-13

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opslag: achter-de-meterbatterijen

Opslag

- Achter-de-meterbatterijen
- CAES
- Systeembatterijen
- Waterstofopslag in gasvelden
- Niche: ijzerpoeder



Bron: [Installatie.nl](https://installatie.nl).

Algemeen: wat is het?

Achter-de-meterbatterijen zijn een vorm van energieopslag bij huishoudens (hier ook wel 'thuisbatterijen' genoemd), bedrijven en zonne- of windparken. Kortetermijnoverschotten van hernieuwbare elektriciteit worden in batterijen opgeslagen via omkeerbare reacties in chemische verbindingen. De batterij levert de energie terug op het moment dat de vraag weer hoger is. Dit soort batterijen balanceert vraag en aanbod op korte tijdschaal, van minuten tot enkele uren. Achter-de-meterbatterijen worden aangesloten op bestaande aansluitingen, vandaar 'achter-de-meter'. De focus in deze factsheet ligt op Li-iontechnologie, aangezien deze het meest ontwikkeld en toegepast is.

Kenmerken

- **Vermogen:**
 - thuisbatterijen: 2-10 kW;
 - bij bedrijven of energieparken: 300-10.000 kW.
- **Energieopslagcapaciteit:**
 - thuisbatterijen: 2-40 kWh;
 - bij bedrijven of energieparken: 300-40.000 kWh.
- **Tijdsduur ontladen op vol vermogen:** 1-4 uur.
- **Toepasbaarheid op schaalniveau:** woningniveau en bedrijven/parken.
- **Technische realisatie voor 2030:** zeker te realiseren.
- **Investeringskosten (per kWh opslagcapaciteit):**
 - thuisbatterijen: ca. € 700-1.200 per kWh;
 - bij bedrijven of energieparken: € 500-700 per kWh.
- **Efficiëntie:** circa 90%.
- **Realisatietijd:**
 - thuisbatterijen: < 1 jaar;
 - bij bedrijven of energieparken: 1-2 jaar.
- **Ruimtelijke impact:**
 - thuisbatterijen: < 1 m², past meestal in meterkast;
 - bij bedrijven of energieparken: 30-80 m² per MWh.

Toepassing

Hernieuwbare energie opslaan en spreiden: achter-de-meterbatterijen kunnen worden geplaatst om zonne-energie-opwek (of wind-opwek) over de dag heen te spreiden.

Handelen op energiemarkten: deze batterijen kunnen op momenten van lage stroomprijzen energie opslaan en tijdens hoge stroomprijzen de energie weer ontladen. Dit kan een verdienmodel zijn van de eigenaar van de thuisbatterij.

Piekbelasting verlagen: door de batterij op de juiste momenten aan of uit te zetten, kan de piekbelasting op het distributienet worden verlaagd. Bijvoorbeeld als er veel afname van elektriciteit in de buurt is, wat de afnamebelasting op een onderstation verhoogt, kan de batterij uitgezet worden. En andersom, als er veel invoeding is door zonne-energie, kan de batterij stroom van het net afnemen, waardoor de invoedingsbelasting op het onderstation wordt verlaagd.

- **Veiligheidsaspecten:** brandgevaar bij oudere types lithium-ion (NMC). De nieuwere lithium-ijzer-fosfaat-batterijen (LFP-batterijen) zijn veiliger, maar kennen nog steeds dezelfde veiligheidsrisico's als NMC.
(NP RES, 2023)

Specifieke punten

Risico op extra netbelasting: uit recente onderzoeken is gebleken dat energiehandel met achter-de-meterbatterijen de piekbelasting op het net kan vergroten. Hierdoor zou meer verzwaring van het net nodig zijn, waardoor transport-rechten van elektriciteit voor consumenten hoger zou worden. Het congestieneutraal aansturen van een achter-de-meterbatterij is wenselijk met betrekking tot impact op de netbelasting. Achter-de-meterbatterijen kunnen, mits ze congestieneutraal worden ingezet, een positieve bijdrage leveren aan de verduurzaming van de gebouwde omgeving (CE Delft & Witteveen+Bos, 2023).

Winstwaarschuwing terugverdiëntijden: achter-de-meterbatterijen zijn momenteel lastig terug te verdienen, vanwege hoge investeringskosten en lage inkomsten (CE Delft, 2023). Terugverdiëntijden zijn zeer onzeker en dus lastig te voorspellen. Dat terwijl leveranciers vaak adverteren met korte terugverdiëntijden van minder dan vijf jaar.

Betaalbaarheid

Investeringskosten: dit zijn de kosten (in euro's) die nodig zijn om één kWh aan opslagcapaciteit te realiseren. Operationele kosten worden niet meegenomen.

Thuisbatterijen: € 700-1.200 per kWh;

Grote batterij: € 500-700 per kWh.

(NP RES, 2023)

Hoge investering voor huishoudens: een typische thuisbatterij (10 kWh) kost al gauw € 10.000 inclusief installatiekosten. De meeste huishoudens kunnen dit niet betalen. Echter nemen de kosten van batterijopslag snel af door onder andere schaalvergroting van productie.

Businesscase is momenteel nog lastig: vanwege beperkte verschillen tussen energieprijzen op uurbasis van dag/nacht, zijn de mogelijke inkomsten van batterijen nog beperkt. Hierdoor zijn terugverdiëntijden vaak lang.

Bestendigheid

Leveringszekerheid: batterijen leveren flexibiliteit tijdens pieken en dalen van opwek. Hiermee dragen ze bij aan de leveringszekerheid.

Huidige stand van zaken Groningen

Batterijopslag is in de lift in Groningen. Zowel grote als kleine systemen worden steeds vaker geplaatst bij bedrijven als huishoudens, echter is de omvang nog beperkt. Batterijen kunnen een belangrijke rol spelen om vraag en aanbod op korte termijn te matchen. Belangrijk is wel dat ze congestieneutraal worden aangesloten, om extra netbelasting te voorkomen en juist bijdragen aan de oplossing tegen netcongestie. Momenteel ontbreken de juiste beleidskaders om reductie van piekbelasting te stimuleren en zullen deze batterijen significant bijdragen aan hogere pieken op het laagspanningsnet. De netbeheerders zijn de partij om hiervoor prikkels te ontwikkelen.

Betrouwbaarheid

Commercieel verkrijgbaar: Li-ion batterijen zijn commercieel verkrijgbaar, maar zijn ook nog volop in ontwikkeling.

Grote vraag in verschillende sectoren: Li-iontechnologie wordt toegepast voor stationaire batterijopslag, elektrische voertuigen, consumentenelektronica en meer. De vraag naar Li-ionbatterijen neemt toe in deze verschillende sectoren.

Beschikbaarheid

Steeds meer marktpartijen: achter-de-meterbatterijen worden steeds meer geplaatst bij huishoudens, bedrijven en hernieuwbare energieparken. Het aantal leveranciers en installatiebedrijven groeit hierdoor mee.

Verskillende batterijmaterialen: er zijn verschillende soorten chemische samenstellingen van Li-ionbatterijen, waarvoor verschillende soorten materialen worden gebruikt. Lithiummetaal is altijd nodig. Andere metalen, zoals kobalt, mangaan, nikkel en grafiet zijn in sommige Li-ionbatterijen ook nodig. Met name kobalt wordt gezien als een schaarse grondstof. De wereldmarkt van vraag en aanbod van de grondstoffen kan tot grote prijsfluctuaties leiden.

Levensduur: Li-ionbatterijen hebben een levensduur van vijftien jaar. Tijdens de levensduur neemt de capaciteit af; dit heet degradatie. De levensduur van vijftien jaar is hier onder andere van afhankelijk.

Sterke technologische ontwikkelingen: batterijen voor energieopslag in een duurzaam energiesysteem zijn relatief nieuw. De technologie is nog volop in ontwikkeling, waardoor zowel de technische kenmerken als de financiële eigenschappen in verandering zijn. Huidige ontwikkelings-trends zijn onder hogere energiedichtheid, minder gebruik van kritische grondstoffen, daling in kosten.

Recycling: recycling van Li-ionbatterijen is cruciaal, vanwege de toenemende vraag naar lithium-ionbatterijen voor elektrische voertuigen, elektronica, en energieopslag. Li-ionbatterijen bevatten waardevolle materialen, zoals lithium, kobalt, nikkel en mangaan. Deze grondstoffen zijn schaars en de mijnbouw ervan heeft een aanzienlijke impact op het milieu, waardoor recycling een duurzame oplossing biedt.

Combinatie met hernieuwbare opwek: bij bedrijven en zonne- en windparken worden grote batterijen ook steeds vaker toegepast. Deze achter-de-meterbatterijen kunnen onder andere netcongestieproblematiek bij bedrijven verhelpen. Bij zonne- en windparken kunnen batterijen de businesscase verbeteren, door meer hernieuwbare energie aan te kunnen bieden aan de markt.

Ruimtelijke effecten

Bij huishoudens hebben deze batterijen een grootte van een koelkast, bij bedrijven kan dit oplopen tot de grootte van een zeecontainer.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-12

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opslag: systeembatterijen

Opslag

- Achter-de-meterbatterijen
- CAES
- **Systeembatterijen**
- Waterstofopslag in gasvelden
- Ijzerpoeder



Bron: Beeldbank CE Delft.

Algemeen: wat is het?

Systeembatterijen zijn grootschalige batterijen die vraag en aanbod op het hoogspanningsnet in balans brengen. De fluctuerende elektriciteitsproductie van wind- en zonne-energie en toegenomen elektriciteitsvraag door elektrificatie, kan door het gebruik van een systeembatterij worden geïntegreerd in het Nederlandse energiesysteem. De meest ontwikkelde technologie van systeembatterijen zijn Li-ion. Deze batterijen bestaan uit tientallen batterijeenheden, vaak ter grootte van een zeecontainer, die samen één grote batterij vormen. De batterijeenheden hebben een vermogen van enkele MW en de systeembatterij als geheel kan een vermogen hebben van meer dan 1.000 MW. Flowbatterijen zijn een andere technologie van systeembatterijen, die gedurende langere tijd (tot enkele dagen) energie kunnen opslaan. Hoogspanningsnetbeheerder TenneT heeft in de meest recente [Monitor Leveringszekerheid 2024](#) aangegeven zo'n 4,9 GW aan systeembatterijen nodig te hebben in 2030 voor waarborging van stabiliteit op het hoogspanningsnet. Dit vermogen zal richting 2050 aanzienlijk toenemen.

Kenmerken

- **Vermogen:** 5-1.000+ MW.
- **Capaciteit:** 0,6-1.000+ MWh.
- **Tijdsduur ontladen op vol vermogen:** 2-4 uur.
- **Toepasbaarheid op schaalniveau:** middenspanningsnet/hoogspanningsnet.
- **Technische realisatie:** voor 2030 zeker te realiseren.
- **Investeringskosten:** € 380 per kWh (Li-ion), € 500 per kWh (flowbatterij).
- **Efficiëntie:** ~85% (Li-ion), ~70% (flowbatterij).
- **Realisatietijd:** 1-2 jaar.
- **Ruimtelijke impact:** 25 m² per MWh (Li-ion), 10 m² per MWh (flowbatterij).
- **Veiligheidsaspecten:** brandveiligheid is het voornaamste aandachtspunt bij Li-ion. Toxiciteit van vloeistoffen is bij flowbatterijen een aandachtspunt.

(NP RES)

Toepassing

Hoogspanningsnet: systeembatterijen worden toegepast op het landelijke hoogspanningsnet van TenneT om vraag en aanbod in balans te brengen.

Elektriciteitsmarkten: systeembatterijen kunnen zeer snel op- en afschakelen, waardoor ze uitermate geschikt zijn voor kortetermijnbalanceren (seconden tot minuten) van het net. Ook kunnen Li-ionsysteembatterijen op een tijdschaal van enkele uren worden ingezet en flowbatterijen zelfs tot enkele dagen. Markten zoals day-ahead, intraday, onbalans, FCR en aFRR zijn interessante markten voor Li-ion-systeembatterijen.

Specifieke punten

N.v.t.

Huidige stand van zaken Groningen

Momenteel worden er verschillende grote systeembatterijen ontwikkeld in Groningen. Recent is een vergunning verleend voor een 500 MW/2.000 MWh-batterij in Groningen ([SolarMagazine, 2024](#)), de grootste in Nederland tot nu toe. ([Provincie Groningen & Gemeente Groningen, 2023](#))

Betaalbaarheid

Investeringskosten: dit zijn de kosten (in euro's) die nodig zijn om één kWh aan opslagcapaciteit te realiseren. Operationele kosten worden niet meegenomen.

Li-ion: € 380 per kWh.

Redox flowbatterijen: € 500 per kWh.
([NP RES, 2023](#))

Betrouwbaarheid

Li-iontechnologie: deze technologie is commercieel verkrijgbaar, maar is ook nog volop in ontwikkeling. Li-ion-technologie wordt toegepast voor stationaire batterijopslag, elektrische voertuigen, consumentenelektronica en meer. De vraag naar Li-ionbatterijen neemt toe in deze verschillende sectoren.

Minder netuitbreidingen: systeembatterijen kunnen ervoor zorgen dat er minder netuitbreidingen nodig zijn. Ze kunnen de grote invoedingspieken van wind- en zonne-energie opslaan, om deze op een later moment terug te leveren. Hierdoor is minder transportcapaciteit en dus minder net-verzwarend nodig om de grote pieken van wind- en zonne-energie te transporteren. Hierdoor wordt het elektriciteits-net betrouwbaarder.

Toekomstbestendigheid

Leveringszekerheid: in het energiesysteem van zonne- en windenergie neemt de behoefte van flexibiliteit toe om leveringszekerheid te garanderen. Systeembatterijen kunnen een belangrijke rol vervullen om deze flexibiliteit te leveren.

Levensduur: Li-ion batterijen hebben een levensduur van vijftien jaar. Tijdens de levensduur neemt de capaciteit af; dit heet degradatie. De levensduur van vijftien jaar is hier onder andere van afhankelijk.

Diversiteit in metaalgebruik voor Li-ion: er zijn verschillende soorten chemische samenstellingen van Li-ion batterijen in ontwikkeling. Lithiummetaal is altijd nodig. Andere metalen zoals kobalt, mangaan, nikkel en grafiet zijn in sommige Li-ionbatterijen ook nodig. Met name kobalt wordt gezien als een schaarse grondstof. De vraag en het aanbod van de grondstoffen kan tot grote prijsfluctuaties leiden. Door de variatie in materialen die worden gebruikt voor deze batterijen, zal de afhankelijkheid van een paar kritische metalen afnemen.

Recycling: recycling van Li-ionbatterijen is cruciaal, vanwege de toenemende vraag naar lithium-ionbatterijen voor elektrische voertuigen, elektronica, en energieopslag. Li-ion batterijen bevatten waardevolle materialen zoals lithium, kobalt, nikkel en mangaan. Deze grondstoffen zijn

Beschikbaarheid

Genoeg marktpartijen: momenteel staat er een veelvoud aan aanvragen (meer dan 75 GW ([SolagMagazine, 2024](#))) voor zowel afname als invoeding voor systeembatterijen in de wachtlijst bij TenneT ten opzichte van wat er in 2030 nodig zou zijn volgens TenneT. Vanwege netcongestie kunnen deze batterijen nog niet aangesloten worden.

Benodigde capaciteit nog onduidelijk: het is nog onduidelijk hoeveel batterijcapaciteit er wanneer nodig is voor het toekomstige energiesysteem. In de [Monitor Leveringszekerheid 2024](#) van TenneT is aangegeven dat er circa 4,9 GW aan batterijen nodig is in 2030, ten opzichte van de eerder aangegeven 10,3 GW van de monitoring in 2022. Dit is dus een voortdurende ontwikkeling. Programma Energiehoofdstructuur ([PEH, Rijksoverheid, 2024](#)) houdt zich hier onder andere mee bezig.

schaars en de mijnbouw ervan heeft een aanzienlijke impact op het milieu, waardoor recycling een duurzame oplossing biedt.

Ruimtelijke effecten

Ruimtereservering: Eemshaven/Oostpolder, Meeden en Groningen/Vierverlaten zijn drie strategische knooppunten op hoogspanningsstations in Groningen waar grootschalige batterijopslag volgens TenneT een belangrijke rol kan gaan spelen.

Overig

Aanzienlijke capaciteit in Groningen: TenneT verwacht dat bijna een kwart van de landelijke systeembatterijcapaciteit in 2030 in Groningen benodigd zal zijn ([TenneT](#)). Groningen is een gunstige locatie voor een systeembatterij, vanwege de aanzienlijke aanlanding van wind op zee in de Eemshaven. Dit zijn nog geen concrete plannen, maar meer verwachtingen voor de toekomst.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-14

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

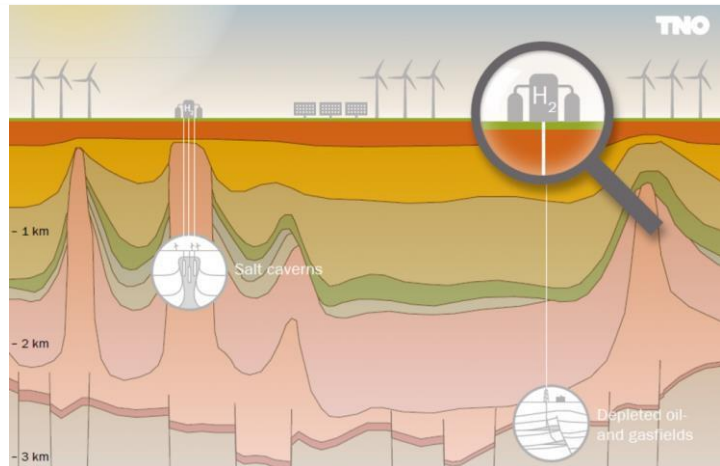
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opslag: waterstofopslag in de ondergrond

Opslag

- Achter-de-meterbatterijen
- CAES
- Systeembatterijen
- **Waterstofopslag in de ondergrond**
- Ijzerpoeder



Bron: [Geologische Dienst Nederland](#).

Algemeen: wat is het?

Waterstofopslag in de ondergrond biedt een oplossing voor grootschalige langetermijn-energieopslag. Waterstof kan worden opgeslagen in ondergrondse reservoirs, zoals zoutcavernes, lege gasvelden of gasbergingen. De waterstof kan op verschillende manieren geproduceerd of gewonnen worden. Groene waterstof wordt geproduceerd uit overtollige elektriciteit van hernieuwbare bronnen, zon en wind. Blauwe of grijze waterstof vanuit aardgas, en witte waterstof wordt als natuurlijke bron uit de ondergrond gewonnen. Bovengrondse waterstofopslag is niet realistisch, vanwege het grote volume dat hiervoor nodig is. Wanneer er vraag is naar energie, wordt de opgeslagen waterstof naar waterstofcentrales getransporteerd, waar het wordt omgezet in elektriciteit via verbranding of brandstofcellen. Dit opslagtype biedt een seizoensgebonden buffer voor schommelingen in hernieuwbare energieopwekking en draagt bij aan een stabiele energievoorziening zonder CO₂-uitstoot ([Geologische Dienst Nederland, 2024](#)).

Kenmerken

- **Vermogen opslag:** 1-10 GW.¹
- **Capaciteit per zoutcaverne:** 0,125-0,25 TWh.
- **Tijdsduur ontladen op vol vermogen:** enkele dagen tot enkele maanden.
- **Toepasbaarheid op schaalniveau:** hogedruk gasnet.
- **Technische realisatie:**
 - zoutcavernes: al mogelijk;
 - lege gasvelden of gasbergingen: moet nog worden aangetoond.
- **Investeringskosten:** zie criterium 'Betaalbaarheid'.
- **Efficiëntie:** ketenrendement elektriciteit naar (groene) waterstof naar elektriciteit: ~40%.
- **Realisatietijd ondergrondse opslag:** 2-5 jaar bij bestaande caverne, > 5 jaar als nieuwe caverne nodig is.
- **Ruimtelijke impact:** 7 m² per MWh.
- **Veiligheidsaspecten:** mogelijk risico op bodemdaling, seismiteit of lekkage van waterstof ondergronds met bijbehorend brand- en explosierisico.

(NP RES, 2022)

Toepassing

Seizoensgebonden energieopslag: hernieuwbaar opgewekte elektriciteit kan langdurig worden opgeslagen via groene waterstof. In de ondergrond opgeslagen waterstof kan later, bijvoorbeeld in de winter (hoge vraag) of bij weinig opwekking door hernieuwbare bronnen, worden gebruikt om elektriciteit op te wekken. Ook kunnen andere soorten waterstof, zoals blauwe en witte, worden opgeslagen in de bodem.

Industriële toepassingen: waterstof kan naast elektriciteitsopwekking ook worden gebruikt als brandstof of grondstof voor industriële processen, zoals staalproductie, chemische processen en (bio)raffinage. Door gebruik te maken van groene waterstof kan de CO₂-uitstoot van deze sectoren drastisch worden verminderd.

Specifieke punten

Opslag in zoutcavernes of lege gasvelden: waterstof kan zeker worden opgeslagen in zoutcavernes, echter is de technische haalbaarheid voor gasopslag in lege gasvelden en gasbergingen nog niet bewezen. De potentie voor waterstofopslag in zoutcavernes, en geen aanvullende opslag, is alleen haalbaar als de vraag naar waterstof klein is. De potentiële opslagcapaciteit in zoutcavernes is namelijk beperkt. Als de toekomstige waterstofvraag voor lange-termijnopslag groot blijkt, zal waterstofopslag in lege gasvelden onderzocht moeten worden. In theorie zouden lege gasvelden vele malen grotere volumes kunnen bergen dan zoutcavernes. Daarnaast ligt de gasinfrastructuur bij lege gasvelden en gasbergingen er al, wat een groot voordeel is ([Pondera & CE Delft, 2023](#)).

Huidige stand van zaken Groningen

Waterstofopslag wordt nog niet toegepast in Groningen. GasUnie onderzoekt grootschalige waterstofopslag in zoutcavernes in Groningen bij Zuidwending.

Betaalbaarheid

Investeringskosten: dit zijn de kosten (in euro) die nodig zijn om één kWh aan opslagcapaciteit te realiseren. Operationele kosten worden niet meegenomen.

Investeringskosten: tot € 1 per kWh ([Common Futures](#)). Deze opslagkosten zijn niet direct te vergelijken met batterijopslag, aangezien er veel energie verloren gaat bij de omzetting van elektriciteit in waterstof en weer terug.

Betrouwbaarheid

Nog niet toegepast op grote schaal: het is via verschillende projecten aangetoond dat waterstof stabiel kan worden opgeslagen in zoutcavernes. Echter ontbreekt de schaal-grootte nog, waarmee het in de toekomst zou moeten worden opgeslagen. Opslag in lege gasvelden moet nog worden aangetoond ([GasUnie](#)).

Bodemrisico's: waterstofopslag in de ondergrond kan bepaalde risico's met zich meenemen. Het is bekend dat aardgaswinning tot seismische activiteit kan leiden, zoals in Groningen. De vraag heerst of waterstofopslag in de ondergrond een vergelijkbaar effect kan hebben. Daarnaast kan de doorlaatbaarheid van waterstof door bepaalde materialen en gesteenten risico's met zich meebrengen, zoals lekkages. Meer praktijkervaring en onderzoek zal moeten uitwijzen wat de risico's hiervan zijn.

Toekomstbestendigheid

Seizoensopslag: waterstofopslag kan voor lange periodes duurzame energie opslaan, waarvoor in Nederland weinig alternatieven zijn. Batterijopslag zal namelijk voornamelijk worden ingezet voor kortere termijn, vanwege technische en financiële redenen. Hiermee kan waterstofopslag een strategische rol vervullen binnen het toekomstige energiesysteem.

Zeldzame metalen elektrolyzers: groene waterstof wordt geproduceerd met elektrolyzers, waar zeldzame metalen voor nodig zijn, zoals platina en iridium. Deze materialen zijn schaars, maar het is niet te voorspellen hoe de beschikbaarheid van deze grondstoffen zich zal ontwikkelen. Onderzoek richt zich op het beperken van gebruik van deze schaarse metalen.

Beschikbaarheid

Waterstofcentrales: voor de inzet van waterstof als langdurig opslagmedium van elektriciteit zullen waterstofcentrales nodig zijn om de waterstof weer om te zetten in elektriciteit.

Beperkte productie van groene waterstof: momenteel wordt groene waterstof nog niet op grote schaal geproduceerd in Nederland. Er zijn verschillende grootschalige elektrolyseprojecten in ontwikkeling. De waterstofmarkt is nog in een opbouwende fase.

¹ Vermogenopslag geeft de snelheid aan waarmee waterstof kan worden opgeslagen in of onttrokken uit de ondergrond.

Ruimtelijke effecten

Weinig bovengronds ruimtegebruik: waterstofopslag vindt plaats onder de grond, waardoor het ruimtegebruik bovengronds zeer beperkt is. Naast opslag in ondergrondse reservoirs, zal een uitgebreid netwerk van ondergrondse gasleidingen nodig zijn om de waterstof te transporteren.

Ruimtelijke inpassing: waterstofopslag is mogelijk bij zoutcavernes en in de toekomst mogelijk ook in lege gasvelden. Ook is een aansluiting op het landelijke waterstofnetwerk van belang. Waterstof kan volgens GasUnie worden getransporteerd door het bestaande aardgasnetwerk, mits deze wordt aangepast. Bij lege gasvelden of gasbergingen ligt de infrastructuur er vaak al, bij zoutcavernes nog niet. Er worden momenteel plannen uitgewerkt voor waterstofopslag in vier zoutcavernes ([GasUnie](#)).

Overig

Alternatieve waterstoftoepassingen: waterstof kan naast de energieopslagtoepassing ook als grondstof voor de industrie worden gebruikt voor de productie van brandstoffen, kunstmest, basischemicaliën en in de toekomst ook staal.

Alternatieve energieopslagtechnieken: naast grootschalige waterstofopslag in de bodem kunnen andere opslagtechnieken worden toegepast. Duurzame elektriciteit kan ook worden omgezet in ammoniak of methanol.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-15

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Opslag niche: ijzerpoeder

Opslag

- Achter-de-meterbatterijen
- CAES
- Systeembatterijen
- Waterstofopslag in ondergrond
- Niche: ijzerpoeder



Bron: [New Atlas](#).

Algemeen: wat is het?

Ijzerpoeder bevat veel energie. Door het te verbranden, kan het daarmee als warmtebron of als opslagmedium voor het energiesysteem van de toekomst gebruikt worden.

- **Warmtebron:** door ijzerpoeder te verbranden, kan het dienen als warmtebron voor industriële processen, elektriciteitsproductie of als stadsverwarming. Tegenwoordig gaat de productie van ijzer nog samen met uitstoot van broeikasgassen. Als ijzer op een duurzame manier wordt geproduceerd, kan dit bijdragen aan duurzame energieproductie.
- **Opslagmedium:** bij het gebruik van ijzerpoeder als opslagmedium, wordt de energie uit waterstof in ijzer opgeslagen. Het ijzerpoeder wordt geproduceerd door reactie van ijzeroxide (roest) met waterstof, waarbij water en ijzer ontstaan. Bij de tegenovergestelde reactie reageert water met ijzer en ontstaat waterstof en ijzeroxide.

Bij momenten van overschotten van wind- en zonne-energie kan energie op deze manier opgeslagen worden voor gebruik op momenten van schaarste. Een voordeel van opslag van waterstof in ijzerpoeder is dat het volume sterk verkleind wordt en ijzerpoeder eenvoudig te vervoeren is.

Kenmerken

- **Kosten:** onzeker, o.b.v. [Roland Berger, 2024](#):
 - opslagmedium:
€ 39 per MWh voor productie van ijzerpoeder;
€ 12 per MWh voor productie van ijzeroxide.
 - warmtebron voor proceswarmte: € 144 per MWh.
- **Efficiëntie:** o.b.v. [Roland Berger, 2024](#):
 - opslagmedium ~75%;
 - warmtebron ~55%.
- **Ruimtelijke impact:** nog onzeker.

Toepassing

Warmte: de warmte die vrijkomt bij de verbranding van ijzer kan gebruikt worden als proceswarmte in de industrie. Ook kan de warmte gebruikt worden om in een stoommachine elektriciteit te produceren of voor stadsverwarming.

Waterstof: waterstof kan worden gebruikt als energiedrager voor verschillende toepassingen in de mobiliteit, industrie en gebouwde omgeving. Daarnaast wordt het momenteel al als grondstof voor de productie van onder andere ammoniak en methanol gebruikt, en zou het in de toekomst ook gebruikt kunnen worden voor productie van e-fuels en andere producten.

Specifieke punten

N.v.t.

Huidige stand van zaken Groningen

Ijzerpoeder als energiebron of als opslagmedium is op dit moment nog niet of nauwelijks op de markt verkrijgbaar.

Betaalbaarheid

Kosten: onzeker, o.b.v. [Roland Berger, 2024](#):

- opslagmedium:
 - € 39 per MWh voor productie van ijzerpoeder;
 - € 12 per MWh voor productie van ijzeroxide;
- warmtebron voor proceswarmte: € 144 per MWh.

Betrouwbaarheid

Nog in ontwikkelingsfase: ijzerpoeder als energiebron en als opslagmedium is nog niet beschikbaar op de markt, maar de techniek bevindt zich in de onderzoeks- en ontwikkelingsfase. Daarmee zijn veel (technische en financiële) aspecten nog onzeker. Het is dan ook onduidelijk of ijzerpoeder een rol kan en gaat spelen in de energiemix.

Toekomstbestendigheid

Leveringszekerheid: in het energiesysteem van zonne- en windenergie neemt de behoefte van flexibiliteit toe om leveringszekerheid te garanderen.

Minder netuitbreidingen: opslag van energie in ijzerpoeder kan ervoor zorgen dat er minder netuitbreidingen nodig zijn. Ze kunnen de grote invoedingspieken van wind- en zonne-energie opslaan, om deze op een later moment terug te leveren. Hierdoor is minder transportcapaciteit en dus minder netverzwaring nodig om de grote pieken van wind- en zonne-energie te transporteren.

Beschikbaarheid

Hoewel de aarde veel ijzererts bevat en ook de techniek voor de productie van ijzer ver doorontwikkeld is, komt bij deze productie CO₂ vrij. Om ijzerpoeder duurzaam in te zetten, dient het duurzaam geproduceerd te zijn, en deze techniek (DRI) staat nog in de kinderschoenen. Echter is er voor energieopslag in ijzerpoeder een bepaalde hoeveelheid ijzer nodig, dat onbeperkt kan worden hergebruikt. Ook bij niet duurzame wijze van ijzerproductie kan deze vorm van energieopslag een zeer lage CO₂-uitstoot hebben. De CO₂-uitstoot komt dan vrij bij de productie van het ijzer zelf.

Ook de beschikbaarheid van groene waterstof is op dit moment nog schaars. Hoewel Nederland inzet op opschaling van de productie van groene waterstof, zijn de kosten hiervan hoog, wat de ontwikkeling vertraagt.

Ruimtelijke effecten

De ruimtelijke effecten van het gebruik van ijzerpoeder zijn nog onzeker. Hier is geen betrouwbare data voor gevonden.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-16

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Gebruik: duurzaamheid energiebron

Gebruik

- Duurzaamheid energiebron
- Prijsinstrumenten
- Vraagsturing
- Conversieverliezen
- Energiebesparing bij bewoners en bedrijven
- CCS



Bron: AI-gegenereerd (DALL E).

Algemeen: wat is het?

Een duurzame energiebron is een bron die geen netto CO₂-uitstoot veroorzaakt, het milieu niet schaadt en lang meegaat. Geen netto CO₂-uitstoot betekent dat er geen extra CO₂ wordt toegevoegd aan de korte koolstofkringloop. Voorbeelden zijn zonne-energie en windenergie, die energie leveren zonder extra uitstoot.

Hernieuwbare energiebronnen zijn bronnen die voortdurend worden aangevuld door natuurlijke processen, zoals zonlicht, wind en waterstromen. Deze bronnen zijn er in overvloed en zijn overal om ons heen beschikbaar ([Verenigde Naties, 2024](#)). Hoewel de meeste hernieuwbare energiebronnen ook duurzaam zijn, is dit niet altijd het geval. Zo kan biomassa bijvoorbeeld hernieuwbaar zijn, maar niet altijd duurzaam, afhankelijk van hoe het wordt geproduceerd en verbruikt.

Fossiele bronnen zijn noch hernieuwbaar, noch duurzaam. Ze worden veel langzamer aangevuld dan ze worden gebruikt en veroorzaken bovendien netto CO₂-uitstoot. Hierdoor dragen fossiele brandstoffen bij aan klimaatverandering en vervuiling, waardoor ze ongeschikt zijn als duurzame energiebronnen.

Kenmerken

CO₂-neutraal: dit betekent dat er geen extra CO₂ wordt toegevoegd aan de korte koolstofkringloop. Voorbeelden zijn zonne-energie en windenergie, die energie leveren zonder extra uitstoot.

Niet schadelijk voor het milieu: duurzame energiebronnen doen geen schade toe aan het milieu.

Hernieuwbaar: duurzame energiebronnen zijn hernieuwbaar. Dit betekent dat ze voortdurend worden aangevuld door natuurlijke processen, zoals zonlicht, wind en waterstromen.

Toepassing

Elektriciteitsproductie: zon, wind, geothermie, waterkracht en bio-energie kunnen worden gebruikt voor elektriciteitsproductie.

Warmteproductie: geothermie en bio-energie kunnen gebruikt worden voor warmteproductie. Indirect kunnen ook de bronnen voor elektriciteitsproductie worden gebruikt voor warmteproductie via elektrische warmtepompen, e-boilers en andere geëlektrificeerde warmte.

Specifieke punten

- **Zon:** zonlicht is in overvloed aanwezig op de aarde en veroorzaakt geen CO₂-uitstoot. Zonlicht kan worden omgezet in elektriciteit (pv-panelen) of warmte (zonnecollectoren).
- **Wind:** wind is in overvloed aanwezig op de aarde. Windturbines zetten de windenergie om in elektrische energie.
- **Geothermie:** aardwarmte zal nog voor miljarden jaren beschikbaar zijn ([National Geographic](#)). Geothermische putten zetten de geothermische warmte om in elektriciteit of warmte (warmtenetten of stoom). De geothermische putten zelf kunnen wel uitgeput raken indien de snelheid van de warmteonttrekking uit de put hoger is dan de snelheid waarmee warmte wordt toegevoegd door natuurlijke processen in de aarde.
- **Waterkracht:** waterkracht is beschikbaar bij stromende rivieren. Waterkrachtcentrales zetten de energie van het stromende water om in elektriciteit.
- **Biomassa:** biomassa kan vaste (hout, afval), vloeibare (bio-olie, ethanol) en gasvormige (biogas, syngas) vormen aannemen. De bronnen van biomassa variëren van houtpellets, landbouwafval en mest tot specifieke energiegewassen, zoals koolzaad of suikerriet. In Nederland gelden strenge eisen met betrekking tot de duurzaamheid van biomassa ([Emissieautoriteit, 2022](#)).
- **Fossiel:** olie, gas en kolen zijn geen duurzame vorm van energie. De huidige centrales en processen die gebaseerd zijn op fossiele bronnen, zullen vervangen moeten worden om een duurzaam energiesysteem en duurzame samenleving te creëren.

Huidige stand van zaken

In Groningen worden vooral zonne- en windenergie benut voor de opwekking van elektriciteit. In Groningen landt veel wind op zee aan, wat op de Noordzee wordt opgewekt met windparken.

Betaalbaarheid

Kostprijs daalt: de technieken om duurzame energiebronnen te benutten voor elektriciteits- en warmteproductie worden steeds goedkoper, vanwege schaalvergroting en innovaties. In steeds meer gevallen zijn zonne- en windenergie bijvoorbeeld goedkoper per kWh dan fossiele bronnen.

Grote investeringen: de energietransitie van fossiele naar duurzame bronnen zal grote initiële investeringen vereisen. Deze investeringen zijn noodzakelijk om opwarming van de aarde tegen te gaan. De betaalbaarheid en verdeling van de kosten zijn een belangrijk politiek aandachtspunt.

Betrouwbaarheid

Duurzame energiebronnen zijn afhankelijk van de omstandigheden. Zonne-energie kan alleen worden opgewekt als de zon schijnt, windenergie alleen als de wind waait. Daarom is een divers energiesysteem met meerdere bronnen belangrijk om te zorgen voor een betrouwbare energieproductie.

Bestendigheid

Duurzame energiebronnen zijn noodzakelijk om het energiesysteem toekomstbestendig te maken. Het biedt namelijk oplossingen voor de problemen van het huidige fossiele energiesysteem zoals opwarming van de aarde, beperkte beschikbaarheid, milieuvervuiling, toenemende kosten.

Beschikbaarheid

Duurzame bronnen zijn natuurlijke bronnen die sneller worden aangevuld dan ze worden verbruikt. Fossiele bronnen daarentegen zijn eindig ([Provincie Groningen](#)).

Ruimtelijke effecten

Er is ruimte benodigd voor de benutting van duurzame energiebronnen voor energieproductie. Voorbeelden zijn windparken, zonne-weides en energiecentrales. Bij zon op dak is geen extra ruimte nodig.

Overig

Verschil tussen energiebron en -techniek voor omzetting: energiebronnen zijn zonlicht, wind, biomassa, geothermie, etc. Met zonnepanelen, windturbines en energiecentrales worden deze energiebronnen omgezet in nuttige energie, elektriciteit en warmte.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-6

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Gebruik: prijsinstrumenten

Gebruik

- Duurzaamheid energiebron
- **Prijsinstrumenten**
- Vraagsturing
- Conversieverliezen
- Energiebesparing bij bewoners en bedrijven
- CCS



Bron: Beeldbank CE Delft.

Algemeen: wat is het?

Een prijsinstrument is beleid vanuit de overheid om iets te beprijsen of te subsidiëren. Hier volgen een aantal belangrijke prijsinstrumenten:

- **SDE++-subsidie:** via Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++) subsidieert de overheid energie-technieken die bijdragen aan de energietransitie. De subsidie is het verschil tussen de kostprijs en de marktwaarde van het product dat geproduceerd wordt met de techniek. Dit verschil heet de 'onrendabele top'. Voorbeeld: een zon-pv-ontwikkelaar heeft SDE++-subsidie toegekend gekregen voor een zonnepark. De overheid subsidieert de onrendabele top, oftewel het verschil tussen de kosten van het zonnepark en de opbrengsten via elektriciteitsverkoop. Als de kosten hoger zijn dan de opbrengsten, wordt er subsidie uitgekeerd. Als de kosten lager zijn dan de opbrengsten, wordt er geen subsidie uitgekeerd. Voor meer informatie verwijzen we de lezer naar de [website van RVO](#).
- **Energiebelasting:** afnemers en leveranciers van aardgas en elektriciteit betalen energiebelasting over de verbruikte energie ([Belastingdienst](#)).
- **Energie-investeringsaftrek (EIA):** via de EIA-regeling mogen ondernemers investeringen in bedrijfsmiddelen die zorgen voor minder CO₂-uitstoot of investeringen in duurzame energie, aftrekken van de winst. Hierdoor wordt de fiscale winst lager, waardoor er minder belasting hoeft te worden afgedragen. De regeling levert gemiddeld 10% voordeel op ([RVO, 2025](#)).
- **HER++-subsidie:** de subsidieregeling Hernieuwbare Energietransitie (HER++) subsidieert innovatieve projecten voor hernieuwbare energieproductie ([RVO, 2024](#)).
- **EU ETS** is het Europese emissiehandelssysteem voor de handel in CO₂-rechten. Het systeem is in 2005 opgezet om de uitstoot van broeikasgassen in Europa te verminderen door bedrijven te verplichten emissierechten te kopen voor elke ton CO₂ die ze uitstoten. Bedrijven ontvangen of kopen deze emissierechten en kunnen ze verhandelen als ze minder uitstoten dan hun toewijzing. Het systeem werkt volgens een 'cap and trade'-principe, waarbij er een jaarlijks dalend plafond is voor de totale hoeveelheid emissies, wat zorgt voor schaarste en dus een hogere prijs per emissierecht, wat bedrijven stimuleert om te verduurzamen ([Europese Commissie](#)).
- **CO₂-heffing:** een nationale belasting bovenop het EU ETS, ingevoerd in Nederland in 2021. Deze heffing is specifiek gericht op bedrijven die niet genoeg CO₂-reductie realiseren binnen de doelstellingen en fungeert als een extra prikkel om verduurzaming te versnellen. Bedrijven betalen per ton CO₂-uitstoot boven hun vastgestelde reductiedoelstelling. Het doel is om ervoor te zorgen dat bedrijven die langzaam verduurzamen, meer betalen en dat er een gelijk speelveld ontstaat voor alle industriële sectoren ([Rijksoverheid](#)).
- **ISDE:** de Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing (ISDE) is er voor woningeigenaren en zakelijke gebruikers. Via de ISDE krijgen woningeigenaren en zakelijke gebruikers subsidie voor energiebesparende en duurzame maatregelen.

Kenmerken

Beprijzen: beprijzing is een beleidsinstrument dat de overheid kan gebruiken om een techniek of product duurder te maken via belasting. Voorbeelden zijn energiebelasting en emissierechten.

Subsidiëring: een subsidieregeling is een beleidsinstrument dat de overheid kan gebruiken om hernieuwbare-energie-technieken of andere technologieën te stimuleren. Voorbeelden zijn SDE++, HER+, ISDE, SEPP.

Fiscale aftrekregeling: een fiscale aftrekregeling biedt financieel voordeel aan ondernemers die investeren gewenste technieken. Voorbeeld is EIA.

Toepassing

Stimuleren of ontmoedigen: de verschillende prijs-instrumenten kunnen bepaalde technieken stimuleren of ontmoedigen. Vanwege de energietransitie worden fossiele technieken in meer of mindere mate ontmoedigd via prijs-instrumenten. Duurzame energietechnieken worden juist gestimuleerd, via subsidies en fiscale aftrekregelingen.

Specifieke punten

N.v.t.

Huidige stand van zaken Groningen

Prijsinstrumenten vanuit de Rijksoverheid zijn van toepassing op Groningen. Ook zijn er provinciale regelingen die alleen voor Groningen gelden, zoals de subsidie voor isolatie van woningen, die is voortgekomen uit het maatregelenpakket van [Nij Begun](#).

Betaalbaarheid

Subsidies: subsidies worden bekostigd vanuit belastingen. Deze subsidies hebben als doel om energietechnieken/producten te stimuleren. Bij de SDE++-regeling wordt de onrendabele top vergoed via subsidie, zodat de kosten en opbrengsten gelijk worden getrokken.

Beprijzing: via beprijzing worden fossiele technieken/producten ontmoedigd, doordat consumenten hiervoor meer betalen. Dit kan in sommige gevallen problemen opleveren voor de betaalbaarheid. De overheid kan dan besluiten om te compenseren voor de beprijzing. Een voorbeeld is de vermindering op energiebelasting, vanwege de hoge energieprijzen. Door de hoge energieprijzen liepen huishoudens het risico om zeer hoge energierekeningen te moeten betalen. Via de vermindering op energiebelasting werd een vast bedrag in mindering gebracht op de energierekening.

Betrouwbaarheid

Prijsinstrumenten zoals subsidiëring en beprijzing zijn bekende instrumenten die al vele jaren worden toegepast. Instrumenten zoals de SDE++-subsidie hebben geleid tot veel investeringen in duurzame energie.

Bestendigheid

Onrendabele top overbruggen: prijsinstrumenten zijn een belangrijk element in de energietransitie. Technieken die momenteel meer kosten dan dat ze opleveren, en dus een onrendabele top hebben, kunnen door verschillende prijsinstrumenten worden gestimuleerd. Hierdoor investeren marktpartijen in duurzame energietechnieken die op zichzelf nog niet rendabel zijn. Meer investeringen resulteert in een leercurve, waardoor de kostprijs daalt. Een voorbeeld hiervan is wind op zee; de eerste parken

Beschikbaarheid

Afhankelijk van overheidsbeleid: prijsinstrumenten zijn onderdeel van beleid om bepaalde technieken of producten te stimuleren en anderen te ontmoedigen. De overheid bepaalt deze prijsinstrumenten. Daarmee heeft de overheid invloed op de ontwikkeling van deze technieken.

vereisten subsidie, echter is dit sinds een aantal jaar niet meer nodig. Door de grote investeringen in windparken, is de kostprijs gedaald en zijn windparken zonder subsidie ook rendabel geworden.

Ruimtelijke effecten

N.v.t.

Overig

N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-7

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

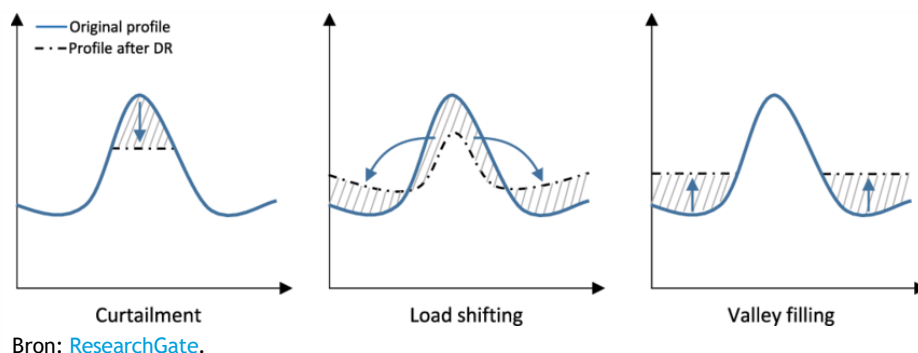
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Gebruik: vraagsturing

Gebruik

- Duurzaamheid energiebron
- Prijsinstrumenten
- **Vraagsturing**
- Conversieverliezen
- Energiebesparing
- CCS



Algemeen: wat is het?

Vraagsturing van elektriciteit is een concept waarbij de vraag naar elektriciteit door eindgebruikers (zoals huishoudens, bedrijven, en industrieën) actief wordt beheerd en aangepast om het evenwicht in het elektriciteitsnet te verbeteren. In plaats van alleen te reageren op het aanbod van elektriciteit, wordt in vraagsturing geprobeerd de vraag naar stroom flexibel te maken, zodat deze beter kan aansluiten op de beschikbare productiecapaciteit en netcondities. Dit concept speelt een belangrijke rol in moderne energiesystemen, vooral vanwege de groei van hernieuwbare energiebronnen die vaak variabele en moeilijk voorspelbare productieniveaus hebben, zoals zonne- en windenergie. Vraagsturing kan zowel bij huishoudens als bij de industrie worden toegepast.

Kenmerken

Vermijden van piekbelasting: door vraag te verplaatsen van piekuren naar daluren, kan de belasting op het elektriciteitsnet tijdens drukke momenten worden verminderd. Dit voorkomt overbelasting van het net en kan investeringen in extra infrastructuur uitstellen.

Integratie van hernieuwbare energie: omdat de productie van hernieuwbare energiebronnen variabel is, kan vraagsturing helpen om de vraag aan te passen aan de momenten waarop veel duurzame elektriciteit beschikbaar is, zoals wanneer de zon schijnt of de wind waait.

Kostenreductie: door elektriciteit te gebruiken wanneer deze overvloedig en goedkoper is, kunnen eindgebruikers hun elektriciteitskosten verlagen. Dit wordt vaak bereikt door dynamische tarieven, waarbij de prijs van elektriciteit fluctueert, afhankelijk van de beschikbaarheid en vraag op het net.

Verhoging van efficiëntie en stabiliteit: vraagsturing kan bijdragen aan de stabiliteit van het elektriciteitsnet door snelle aanpassingen in de vraag mogelijk te maken wanneer de productie fluctueert of wanneer er onverwachte storingen zijn. Dit helpt ook om frequentiestabiliteit en spanningsniveaus op het net te behouden.

Toepassing

Congestiemanagement: op veel plekken en momenten loopt het stroomnet in ons land tegen de grenzen aan. Om de belasting op het net in tijd te spreiden, wordt congestie-management toegepast. Een grote verbruiker kan zich als Congestie Service Provider (CSP) aanmelden bij de netbeheerder en zijn flexibele vraag (of aanbod) aanbieden om lokaal congestie te verhelpen. Tot nu toe is er onvoldoende vrijwillig aanbod van bedrijven om hun aansluiting tijdens piekmomenten minder te gebruiken. Dat betekent dat netbeheerders in sommige situaties of regio's moeten overgaan naar een volgende fase in congestiemanagement: verplichte deelname aan congestiemanagement ([Netbeheer Nederland, 2024](#)).

Vrijwillige vraagsturing huishoudens en bedrijven: dit betreft manieren die niet worden gecontroleerd door netbeheerders of leveranciers. In moderne huishoudens en bedrijven kunnen slimme apparaten, zoals wasmachines, elektrische voertuigen en warmtepompen, automatisch worden aangestuurd om hun elektriciteitsverbruik aan te passen aan het aanbod van elektriciteit en de lokale netcongestiesituatie. Hiermee kunnen huishoudens en bedrijven een bijdrage leveren aan het oplossen van netcongestie ([Energy.nl, 2023](#)).

Indirecte vraagsturing: deze vraagsturing wordt gestimuleerd door bepaalde prikkels. Dit kunnen bijvoorbeeld dynamische of tijdsafhankelijke elektriciteits- en transporttarieven zijn ([ACM, 2024](#)). Met slimme meters kan inzicht worden verkregen in het real-time verbruik, waardoor consumenten zich kunnen aanpassen aan de prijsprikkels.

Vraagsturing flexibiliteit: batterijen kunnen overschotten van (hernieuwbare) energie opslaan tijdens periodes van lage vraag of hoge productie en die later weer terugleveren. Warmtepompen kunnen worden ingezet om op momenten van lage elektriciteitsvraag warmte/koude op te slaan in een warmte- en koudeopslag (wko) om deze op een later moment terug te kunnen leveren.

Specifieke punten

Een aantal concrete voorbeelden staan hieronder vermeld. Dit is geen complete lijst.

Huishoudens

- **Flexibel EV opladen:** Elektrisch voertuig (EV) laden op momenten met veel hernieuwbare opwek of weinig vraag, en beperken op momenten van hoge elektriciteitsvraag of weinig hernieuwbare opwek. Hiervoor is een gespecialiseerde laadpaal nodig, die automatisch stuurt op prijsprikkels met een dynamisch energiecontract ([Energy.nl, 2023](#)).
- **Slimme apparaten:** slimme apparaten, zoals slimme thermostaten, slimme wasmachines en slimme ovens, kunnen communiceren met het elektriciteitsnetwerk en automatisch inschakelen op basis van de beschikbaarheid van energie en de tariefstructuur ([Energy.nl, 2023](#)).

Industrie

- **Industriële hybride boiler:** een hybride boiler kan zowel met gas als elektriciteit warmte leveren. Op momenten van veel hernieuwbare opwek of weinig vraag kan warmte worden geproduceerd met elektriciteit, met hoge vraag of weinig opwek kan de boiler overschakelen op gas. Hiermee wordt het effect op de netbelasting flexibel gestuurd ([TNO, 2022](#)).
- **Elektrische ketel of warmtepomp:** bedrijven met een aanzienlijke warmtevraag kunnen overwegen om te investeren in een elektrische ketel of warmtepomp, om vervolgens op momenten met veel hernieuwbare opwek de installatie warmte te laten produceren en deze op te slaan in een buffer, en op momenten met hoge elektriciteitsvraag de ketel of warmtepomp uit te schakelen en de gebufferde warmte te gebruiken ([TNO, 2022](#)).

Huidige stand van zaken Groningen

Huishoudens en bedrijven: het is onduidelijk in hoeverre vraagsturing al wordt toegepast bij huishoudens en bedrijven in Groningen. Onder andere dynamische energietarieven, alternatieve nettarieven, slimme meters, warmtebuffers en koudeopslag kunnen een belangrijke rol spelen voor vraagsturing. Vraagsturing in welke vorm dan ook, zal belangrijk blijven om vraag en (flexibel) aanbod uit zon en wind meer op elkaar af te stemmen.

Industrie: het potentieel voor vraagsturing in de industrie is groot, maar het ontsluiten hiervan is lastig. Uit onderzoek blijkt dat er in Nederland op dit moment potentie is voor 3,4 GW vraagsturing in de industrie, maar er wordt momenteel slechts 700 MW vraagsturing in de industrie toegepast ([Strategy& & TenneT, 2021](#)). Een van de grootste industriële bedrijven waarbij nu vraagsturing wordt toegepast, is ESD-SIC in Delfzijl. ESD-SIC hoort bij de grootste elektriciteitsgebruikers van Nederland ([CE Delft, 2023](#)).

Betaalbaarheid

Vraagsturing vraagt vaak een initiële investering, bijvoorbeeld een slimme meter, slimme apparatuur en eventueel software, om vraagsturing te integreren in processen. Dit is specifiek per vraagsturingsmechanisme, waarvoor geen generiek bedrag kan worden genoemd.

Uit onderzoek met industriepartijen blijkt dat onzekerheid over financiële consequenties een belemmering is voor het toepassen van vraagsturing ([Strategy& & Tennet, 2021](#)).

Betrouwbaarheid

Vraagsturing kan bijdragen aan de betrouwbaarheid van het elektriciteitsnet. Door gelijktijdige piekvraag te voorkomen met vraagsturing, kan de netbelasting op piekmomenten worden verlaagd.

Congestie management: op veel plekken en momenten loopt het stroomnet in ons land tegen de grenzen aan. Om de belasting op het net in tijd te spreiden, wordt congestie management toegepast. Hiermee wordt de betrouwbaarheid van het net versterkt. Een grote gebruiker kan zich als Congestie Service Provider (CSP) aanmelden bij de net-beheerder en zijn flexibele vraag (of aanbod) aanbieden om lokaal congestie te verhelpen. Tot nu toe is er onvoldoende vrijwillig aanbod van bedrijven om hun aansluiting tijdens piekmomenten minder te gebruiken. Dat betekent dat net-beheerders in sommige situaties of regio's moeten overgaan naar een volgende fase in congestie management: verplichte deelname aan congestie management ([Netbeheer Nederland, 2024](#)).

Bestendigheid

Met vraagsturing kan vraag meer in balans worden gebracht met aanbod. In het toekomstige energiesysteem, met onregelmatige opwek, wordt dit steeds belangrijker. Het vereist een omslag in technologie, gedrag en contractvormen, die vraagsturing kan stimuleren en mogelijk maken.

Beschikbaarheid

Vraagsturing is technisch gezien al mogelijk. Met slimme meters en installaties kan vraag flexibel worden gemaakt. Met verschillende contractvormen kan er verder worden gestuurd op vraagsturing. Volgens verschillende studies is er nog veel vraagsturingspotentieel, met name in de industrie. Ook bij huishoudens is vraagsturing beschikbaar. Door het afschaffen van de salderingsregeling in 2027 ([Rijksoverheid](#)), zullen zonnepaneelbezitters naar andere manieren gaan zoeken om de zonne-energie direct te benutten of op te slaan. Ook dit is een vorm van vraagsturing.

Ruimtelijke effecten

Vraagsturing is vaak een virtuele aanpassing. Echter is er soms energieopslag of extra apparatuur nodig om dit mogelijk te maken. De ruimtelijke effecten van vraagsturing zijn beperkt.

Overig

Vraagsturing is zeer belangrijk om het aanbod van energie te benutten, en het, waar nodig, op te slaan voor een later moment. Ook in het geval van weinig aanbod van energie kan vraagsturing bijdragen aan het tijdelijk verminderen van de vraag, waardoor de druk op het elektriciteitsnet en de prijzen afneemt.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-8

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Gebruik: conversieverliezen

Gebruik

- Duurzaamheid energiebron
- Prijsinstrumenten
- Vraagsturing
- **Conversieverliezen**
- Energiebesparing
- CCS

Algemeen: wat is het?

Conversieverliezen treden op bij elke omzetting van energie van de ene vorm naar de andere. Deze verliezen variëren sterk, afhankelijk van de technologie en het proces. Conversieverliezen komen vaak vrij in de vorm van warmte. Traditioneel gezien werd warmte altijd als restproduct gezien, dat met koeltorens of waterkoeling aan de omgeving werd afgegeven. Tegenwoordig worden conversieverliezen in de vorm van warmte steeds vaker benut, in bijvoorbeeld warmtenetten.

Kenmerken

Thermische energiecentrales

(chemische energie --> elektriciteit/warmte)

- Technologie: kolen- en gascentrales (stoomcyclus).
- Conversieverliezen (warmte):
 - kolencentrales [60-70%](#);
 - gascentrales (aardgas of waterstof):
CCGT (stoom en gasturbine): [40%](#);
OCGT (gasturbine): [60%](#).

Windenergie (kinetische energie --> elektriciteit)

- Technologie: windturbines.
- Conversieverliezen (niet benutte windenergie): [50-80%](#).
Het theoretische minimum is [40%](#).

Zonne-energie (stralingsenergie --> elektriciteit)

- Technologie: fotonvoltaïsche (pv) systemen (zon-pv).
- Conversieverliezen (niet omgezette zonne-energie): [75-85%](#).
- Er zijn verschillende soorten zon-pv technologieën in ontwikkeling, die de conversieverliezen kunnen verlagen ([TNO](#)).

Kernenergie (nucleaire energie --> elektriciteit/warmte)

- Technologie: kerncentrale (stoomcyclus).
- Conversieverliezen (warmte): [60-70%](#).

Waterkracht (kinetische energie --> elektriciteit)

- Technologie: waterkrachtcentrale.
- Conversieverliezen (warmte): [10%](#).

Duiding

Conversieverliezen treden op bij de omzetting van de ene energievorm naar de andere. De vergelijking tussen conversieverliezen tussen verschillende energietechnieken, bijvoorbeeld zon-pv (~75 tot 85%) en gascentrales (~50%), is geen eerlijke vergelijking. De energiebronnen zijn immers anders, namelijk stralingsenergie bij zon-pv en aardgas, of waterstof bij gascentrales. De energiebronnen zijn inherent verschillend, waardoor de vergelijking tussen deze twee niet zinvol is. Conversieverliezen bepalen op zichzelf niet de duurzaamheid van een energiebron.

Bij de omschakeling van fossiele naar hernieuwbare energie spelen conversieverliezen een belangrijke rol. Conversieverliesvergelijkingen tussen nieuwe technologieën zijn met name belangrijke bij energieopslag. Duurzame elektriciteit wordt op momenten van overschotten opgeslagen in energieopslag, bijvoorbeeld in batterijen of waterstof.

Ook voor mobiliteit zijn de conversieverliezen van verschillende technologieën een belangrijke maatstaf. Elektrische auto's zetten zeer efficiënt chemische energie (in de batterij) om in kinetische energie (beweging), met slechts 10 tot 15% energieverlies. Waterstofauto's verliezen tot wel 60% van de energieomzetting van waterstof naar beweging. Daarnaast moet hernieuwbare waterstof (groene waterstof) worden geproduceerd uit hernieuwbare elektriciteit, waar ook aanzienlijke verliezen optreden.

In de gebouwde omgeving zijn warmtepompen de meest efficiënte techniek voor de warmtevoorziening.

Auto's (chemische energie --> kinetische energie)

- Conversieverliezen:
 - elektrische auto's: [10-15%](#);
 - brandstofauto's: [75-85%](#);
 - waterstofauto's: [50%](#).

Van elektriciteit naar warmte (elektrische energie --> warmte)

- Technologieën: warmtepomp, elektrische kachel.
- Conversieverliezen: [0%](#):
 - Bij elektrische verwarming met een kachel wordt 100% van de elektrische energie omgezet in warmte, dus 1 kWh elektriciteit wordt 1 kWh warmte. Een warmtepomp heeft een hogere efficiëntie, 1 kWh kan in 4 tot 5 kWh aan warmte worden omgezet ([Milieu Centraal](#)).

Warmtepompen onttrekken warmte aan de buitenlucht, en doen dat met een efficiëntie van 400 tot 500%. Dit betekent dat 1 kWh elektriciteit wordt omgezet in 4 tot 5 kWh warmte-energie. Bij een elektrische kachel is dit 100%, oftewel 1 kWh elektriciteit wordt 1 kWh warmte.

Specifieke punten

N.v.t.

Huidige stand van zaken Groningen

Conversieverliezen treden op bij alle energieopwekking. Ook bij de gascentrales, windturbines, en zonnepanelen.

Betaalbaarheid

Conversieverliezen dienen zoveel mogelijk voorkomen te worden, zodat energie maximaal kan worden benut. Hierdoor is minder opwek/primaire energie nodig en wordt het energiesysteem in zijn geheel betaalbaarder.

Betrouwbaarheid

N.v.t.

Bestendigheid

N.v.t.

Beschikbaarheid

N.v.t.

Ruimtelijke effecten

N.v.t.

Overig

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Marieke Nautas

Joeri Vendrik

Publicatienummer: 25.240321.003-9

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Gebruik: energiebesparing

Gebruik

- Duurzaamheid energiebron
- Prijsinstrumenten
- Vraagsturing
- Conversieverliezen
- **Energiebesparing**
- CCS



Algemeen: wat is het?

Energiebesparing duidt op lager energieverbruik in woningen en gebouwen door energiebesparende maatregelen. Dit kan het aanbrengen van isolatie zijn, vervangen van apparaten door energiezuinigere alternatieven, overstappen van gasverwarming naar een warmtepomp, maar ook gedragsverandering, zoals het lager zetten van temperatuur.

Energiebesparing is onderdeel van verschillende soorten wetgeving:

- **Europees:** energie-efficiëntierichtlijnen, energieprestatie van gebouwen, Ecodesign-verordeningen.
- **Nationaal:** energiebelasting, energiebesparingsplicht, BENG-eisen, ISDE-subsidie.

Kenmerken

Lager energieverbruik: door energiebesparing wordt minder energie verbruikt. Zolang productie van energie nog gepaard gaat met uitstoot van broeikasgassen, helpt energiebesparing om klimaatverandering te beperken.

Energielabels: het energieverbruik van woningen en gebouwen wordt aangeduid met energielabels. Deze schaal loopt van A+++ tot G. Hoe lager, hoe beter.

Toepassing

Energiebesparing kan worden toegepast bij woningen en gebouwen. Voorbeelden zijn isolatie, vervanging van apparaten met hoog energieverbruik door energiezuinigere alternatieven, slimme thermostaat, temperatuur lager zetten, korter douchen, etc.

Specifieke punten

N.v.t.

Huidige stand van zaken Groningen

Energiebesparing wordt op verschillende manieren toegepast en uitgevoerd in Groningen. Voor bedrijven(terreinen) is er een loket: [Groningen Werkt Slim](#). Via adviseurs en aanjagers worden bedrijven(terreinen) op weg geholpen met energiebesparing. Dit wordt medegefinancierd door het Rijk via [Ontzorgingsprogramma Bedrijfsmatig Vastgoed](#).

Maatschappelijk vastgoed: bij maatschappelijk vastgoed helpen coaches en adviseurs vastgoedbeheerders met betrekking tot energiebesparing. Dit wordt medegefinancierd door het Rijk via [Ontzorgingsprogramma Bedrijfsmatig Vastgoed](#).

Bij woningen loopt er een isolatieagenda via het maatregelenpakket van [Nij Begun](#).

Betaalbaarheid

Energiebesparing zorgt voor een lager energieverbruik en dus een lagere energierekening. Hiervoor is vaak een investering nodig, zoals vervangen van lampen of het aanbrengen van isolatie.

Soms gaat het over gedragsveranderingen, zoals het lager zetten van de thermostaat. Dit vereist geen investering en kan toch leiden tot aanzienlijke energiebesparing.

Betrouwbaarheid

Energiebesparende maatregelen zijn betrouwbaar en worden al veel toegepast om het energieverbruik te verminderen.

Bestendigheid

Door energie te besparen, is minder productie van energie en infrastructuur nodig. Hiermee verlaag je je afhankelijkheid van energie en bereik je sneller een toekomstbestendig energiesysteem.

Beschikbaarheid

Energiebesparing is in principe overal toepasbaar. Soms zijn er investeringen nodig, zoals het vervangen van een cv-ketel, of energiezuinige verlichting installeren. Deze technologieën zijn breed beschikbaar en worden gestimuleerd door verschillende subsidies, zoals de [ISDE](#).

Voor andere maatregelen zijn geen financiële investeringen nodig, zoals gedragsveranderingen. Deze zijn direct beschikbaar.

Ruimtelijke effecten

Energiebesparing heeft geen betrekking op ruimtegebruik over het algemeen. Uitzonderingen zijn het plaatsen van isolatie, als spouwmuurisolatie niet mogelijk is.

Overig

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-10

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

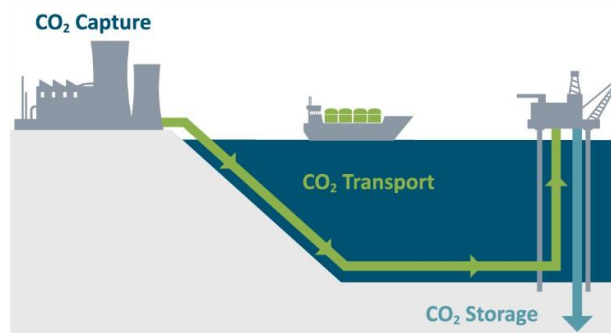
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Gebruik: CCS

Gebruik

- Duurzaamheid energiebron
- Prijsinstrumenten
- Vraagsturing
- Conversieverliezen
- Energiebesparing bij bewoners en bedrijven
- CCS



Bron: [SolartronISA](#).

Algemeen: wat is het?

Carbon Capture and Storage (CCS) is het afvangen en opslaan van CO₂ die vrijkomt bij puntbronnen. Vooral nog wordt dit alleen toegepast in de industrie, aangezien daar gasmengsels vrijkomen met een relatief hoge concentratie en hoeveelheid CO₂. Bovendien moet de industrie betalen voor zijn uitstoot, via het EU-ETS en het Nederlandse CO₂-heffingsysteem. Door CO₂ af te vangen en op te slaan, hoeft niet meer betaald te worden voor de uitstoot.

Bij CO₂-afvang worden de CO₂-moleculen in het gasmengsel via een chemisch proces gescheiden van de andere gasmoleculen. Na het afvangen van het CO₂ wordt het via buisleidingen of per schip naar een offshore-platform getransporteerd, en daar via een compressor diep onder de grond opgeslagen in lege gasvelden of andere onderlagen. Hiermee wordt voorkomen dat CO₂ in de atmosfeer terechtkomt, waar het bijdraagt aan het broeikasgaseffect.

Kenmerken

Toegepast in de industrie: CCS wordt toegepast bij puntbronnen in de industrie waar veel CO₂ vrijkomt en in hoge concentraties.

SDE++-subsidie: CCS is een techniek die op zichzelf niet rendabel is, maar daarentegen wel belangrijk is om de energietransitie te doorlopen. Daarom vergoedt de Nederlandse overheid de onrendabele top: het verschil tussen de kosten en de opbrengst.

Afvangen (capture) proces: CCS is een chemisch proces waarbij zogenoemde amines worden gebruikt, die de eigenschap hebben om CO₂ af te kunnen vangen in mengsels met andere gassen. Hoe hoger de concentratie van CO₂ in het gasmengsel, des te makkelijker en goedkoper het afvangen is.

Transport CO₂: CO₂ kan worden getransporteerd door buisleidingen of per tankopslag op een schip of vrachtwagen. Bij zeer grote hoeveelheden heeft buistransport de voorkeur, vanwege kosten en efficiëntie.

Relatief nieuw: CCS werd voor het eerst in 1996 commercieel toegepast in Noorwegen.

Toepassing

CO₂-reductie: het afvangen en opslaan van CO₂ voorkomt emissies. CCS is hiermee een belangrijke techniek om van een fossiele naar een volledig hernieuwbare industrie te gaan.

Negatieve emissies: het afvangen en opslaan van biogene (van organisch materiaal afkomstig) CO₂ levert negatieve emissies op. Het idee hierachter is dat biogene CO₂ (door verbranding van biomassa) uit de koolstofkringloop op aarde wordt gehaald en onder de grond wordt gestopt, waar het niet meer meedoet aan de koolstofkringloop. De koolstofkringloop omvat alle CO₂ in de atmosfeer, vegetatie en oceanen. Bij CCS met fossiele CO₂-emissies worden netto nul emissies bereikt; je haalt immers eerst fossiele brandstof uit de grond om het er daarna weer in te stoppen. Het voegt dus netto niks toe aan de koolstofkringloop, maar het onttrekt ook geen netto CO₂ aan de koolstofkringloop, zoals wel het geval is bij negatieve emissies met biogene CO₂.

Specifieke punten

CO₂-toepassing in enhanced oil recovery: CO₂ wordt al langere tijd gebruikt voor enhanced oil recovery. Hierbij wordt CO₂ onder hoge druk in een olieveld gepompt, waardoor het makkelijker wordt om de olie uit de grond te winnen. Hiermee worden meer fossiele brandstoffen gewonnen, waardoor het niet bijdraagt aan een hernieuwbaar energiesysteem. Echter heeft het wel veel kennis en ervaring opgeleverd voor de toepassing van CCS in lege gasvelden of andere onderlagen.

Huidige stand van zaken in Groningen

In de [CES 3.0 van Noord-Nederland](#) uit 2024 staat dat er verschillende plannen zijn van bedrijven die CCS als voorname optie zien om de CO₂-emissie te reduceren. Deze projecten hebben een gepland implementatiejaar tussen 2027 en 2030. Hiervoor is het belangrijk dat er CO₂-infrastructuur komt tussen de industrieclusters van Delfzijl en de Eemshaven en infrastructuur voor export naar opslaglocaties voor CO₂. Het uitgangspunt is dat CO₂-opslag in de Noordzee zal plaatsvinden. Er loopt hiervoor een project genaamd CO₂nstance, bestaande uit Vopak, Gasunie, Equinor en RWE, die voornemens zijn om uiterlijk in 2030 een operationele CO₂-transportleiding te hebben.

Betaalbaarheid

Productiekosten: € 200-300 per ton CO₂ ([SDE++ Eindadvies basisbedragen 2024](#)).

Onrendabele-topvergoeding via SDE++: het afvangen en opslaan van CCS kost meer geld dan het oplevert. De kosten minus de opbrengsten (niet hoeven te betalen van CO₂-emissierechten), ook wel de 'onrendabele top' genoemd, wordt gesubsidieerd via de SDE++-regeling. Dit maakt het voor bedrijven aantrekkelijker om te investeren in CCS.

CO₂-emissierechten: in de Europese Unie bestaat een CO₂-emissiehandelsstelsel, het EU-ETS. Alle grote industrie, en in de toekomst nog meer sectoren, zijn wettelijk verplicht om mee te doen aan dit emissiehandelsstelsel. In het kort houdt het in dat uitstoters moeten betalen voor hun emissies. Het is een handelssysteem, omdat emissierechten verhandelbaar zijn: een partij die te veel emissierechten heeft gekocht, kan deze weer verkopen aan een andere partij die er te weinig heeft. Een partij mag wettelijk gezien maximaal de hoeveelheid CO₂ uitstoten als het aantal emissierechten dat zij bezit. Doordat dit een markt is van vraag en aanbod, ontstaat er een dynamische marktprijs voor een emissierecht. Daarnaast neemt het totale aantal verleende emissierechten, en daarmee de totale uitstoot, ieder jaar af, waardoor er steeds meer schaarste ontstaat en daardoor een hogere prijs. Doordat de prijs van CO₂-uitstoot omhooggaat, ontstaat een prikkel om minder uit te stoten.

Betrouwbaarheid

CCS is een bewezen techniek en wordt al op verschillende plekken wereldwijd toegepast. Het betreft relatief nieuwe projecten (de oudste is in Noorwegen uit 1996). Ieder CCS-project heeft specifieke uitdagingen en mogelijke risico's, onder andere omdat iedere ondergrond verschillend is. Ook blijft de monitoring van de opslag belangrijk, omdat hiermee vroegtijdig risico's kunnen worden ontdekt en gevolgen hiervan worden voorkomen. Lekkage van CO₂ uit de ondergrond naar zee is een mogelijk risico, wat tot verzuring van het zeewater zou kunnen leiden. Experts zeggen echter dat het risico hiervan klein is. Op termijn bindt het CO₂ zich aan het gesteente, waardoor het een vaste vorm krijgt en (gas-) lekkages niet mogelijk zijn. Het eigenaarschap op de lange termijn van deze CO₂-opslaglocaties is een belangrijk aandachtspunt ([Global CCS Institute, 2023](#)).

Bestendigheid

Draagt bij aan het halen van de klimaatdoelen: CCS kan worden toegepast op fossiele en biogene emissies, waarmee respectievelijk emissiereductie als negatieve emissie worden gerealiseerd. Dit zijn belangrijke doelstellingen die zijn vastgelegd in de verschillende klimaatakkoorden, nationale en Europese wetgeving.

Beschikbaarheid

Transportleidingen vereist: momenteel kan CO₂ alleen met tanktransport (vrachtwagens en schepen) worden getransporteerd. Voor zeer grote hoeveelheden is dit geen economische en duurzame optie. Daarom zijn transportleidingen nodig, die CO₂ van de industrie naar de Noordzee transporteren. Momenteel is er nog geen transportleiding voor CO₂ in Groningen.

Energieonafhankelijkheid: naast de CO₂-emissiereductiedoelen speelt ook energieonafhankelijkheid een rol in de energietransitie. Alhoewel CCS ervoor kan zorgen dat processen op aardgas, olie of kolen geen emissies meer uitstoten, blijven we hierdoor afhankelijk van fossiele energie uit andere landen voor onze energievoorziening. De gascrisis in 2021/2022 heeft laten zien wat voor gevolgen dit kan hebben op de energieprijzen in Nederland.

Fossiele lock-in: door toepassing van CCS bestaat het risico dat we fossiele brandstoffen nodig blijven hebben in de toekomst. Dit is geen onderdeel van een duurzame samenleving, aangezien de voorraad van fossiele brandstoffen eindig is.

Ruimtelijke effecten

Voor CCS is zowel ruimte bij de industrie als ruimte op zee nodig. Bij de industrie moet een CO₂-afvanginstallatie worden geïnstalleerd, waar veel ruimte voor nodig is. De transportleidingen zullen ondergronds zijn. Bij de injectieput zal een grote compressorinstallatie benodigd zijn, die het CO₂-gas onder de grond pompt.

Injectieputten op de Noordzee: om het CO₂ onder de grond op te slaan, zijn grote compressoren nodig, die via injectieputten de CO₂ in de grond injecteren. Hiervoor kunnen oude boorplatformen voor olie of gas worden gebruikt.

Geologie van ondergrond van belang: de geologie van de ondergrond is van groot belang voor de potentie van CO₂-opslag. Niet iedere locatie is hiervoor geschikt. Uit locatie-specifieke onderzoeken moet blijken welke locaties wel en niet geschikt zijn.

Overig

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-11

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Eigendom: coöperaties

Eigendom

- Coöperaties
- Provinciaal Warmtebedrijf



Bron: [Westmill Solar Cooperative](#).

Algemeen: wat is het?

Een energiecoöperatie is een organisatie waarin burgers, bedrijven of lokale overheden samenwerken en samen investeren, om gezamenlijk duurzame energieprojecten op te zetten, zoals het opwekken van zonne- of windenergie. Ook warmteprojecten worden momenteel verkend. Deze coöperaties zijn vaak lokaal georganiseerd en stellen de deelnemers in staat om invloed uit te oefenen op de energievoorziening in hun omgeving en mee te profiteren van de opbrengsten van de energieproductie. Ze zijn gebaseerd op principes van samenwerking, gedeeld eigendom en het streven naar een duurzamer energiesysteem.

Kenmerken

Gemeenschappelijk eigendom: leden van een energiecoöperatie investeren gezamenlijk in duurzame energiebronnen, zoals zonnepanelen, windmolens, warmtesystemen of biogasinstallaties. Ze zijn mede-eigenaar van deze projecten en delen in de opbrengsten.

Lokaal initiatief: energiecoöperaties zijn vaak lokaal georganiseerd, met het doel de energietransitie in de eigen regio te versnellen en de gemeenschap te betrekken bij de productie van duurzame energie.

Toepassing

Duurzame energieopwekking: het belangrijkste doel van de meeste energiecoöperaties is het bevorderen van de opwekking van hernieuwbare energie, zoals zonne-energie, windenergie, waterkracht of biogas. Hierdoor dragen ze bij aan de vermindering van CO₂-uitstoot en de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen.

Lokale economische groei: door lokaal energieprojecten op te zetten, houden coöperaties de inkomsten binnen de regio. Dit kan leiden tot economische voordelen voor de lokale gemeenschap. Daarnaast laten veel energiecoöperaties werkzaamheden door lokale installateurs uitvoeren, zodat het ook in beperkte mate tot werkgelegenheid kan leiden.

Specifieke punten

Oprichting en verantwoordelijkheden energiecoöperatie: Een energiecoöperatie heeft een gekozen bestuur om haar taken te organiseren en de leden te informeren over ontwikkelingen. Dit is een actief proces. Daarnaast is een bankrekening nodig, waarop alle leden hun bijdrage storten. Ook moet alles worden vastgelegd in statuten en is inschrijving bij de Kamer van Koophandel noodzakelijk.

Stand van zaken in Groningen

In de provincie Groningen zijn al meer dan 40 energiecoöperaties actief. Deze coöperaties hebben samen al veel opwekprojecten gerealiseerd, waarmee Groninger huishoudens zijn voorzien van lokaal opgewekte, groene stroom. Daarnaast zijn er al een paar coöperaties hard aan het werk om te onderzoeken of er ook groen gas kan worden gerealiseerd. Hieronder vind je een overzicht van de bestaande coöperaties met een link naar hun eigen website ([GrEK](#)).

Betaalbaarheid

Ledenvoordeel: leden van een energiecoöperatie profiteren van lagere energiekosten of delen in de winst die wordt gegenereerd door de verkoop van duurzaam opgewekte energie. Dit kan gebeuren via kortingen op de energierekening of een dividend uit de opbrengsten van de coöperatie. De leden van de coöperaties dragen ook de risico's bij eventuele tegenvallers. Dit is afhankelijk van het soort project en eventuele subsidies.

Bestendigheid

Energiecoöperaties zorgen voor lokale welvaart, en hernieuwbare elektriciteit. Hoewel er veel lokale initiatieven worden ontplooid, is dit onvoldoende om de energietransitie volledig vorm te geven. De overheid zal daarom een sturende rol moeten blijven innemen om duurzame energie voor iedereen beschikbaar te maken.

Ruimtegebruik

Een energiecoöperatie bezit energieprojecten, zoals windmolens en zonneparken. Soms heeft een energiecoöperatie een kantoor voor administratie en organisatie.

Betrouwbaarheid

Eigenaarschap en onderhoud: eigenaarschap bij een energiecoöperatie ligt bij de leden, en daarmee ook de verantwoordelijkheid voor onderhoud.

Beschikbaarheid

Er zijn meer dan 40 energiecoöperaties actief in Groningen. Elke burger kan in principe deelnemen via een jaarlijkse (of maandelijkse) vergoeding. Van de bijdragen worden duurzame energieprojecten bekostigd.

Overig

In Denemarken zijn veel warmteprojecten via coöperaties tot stand gekomen. In Nederland beperkt zich dat tot nu toe tot een enkel project (onder andere Culemborg en Heeg).

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-4

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

Bronnen

CE Delft

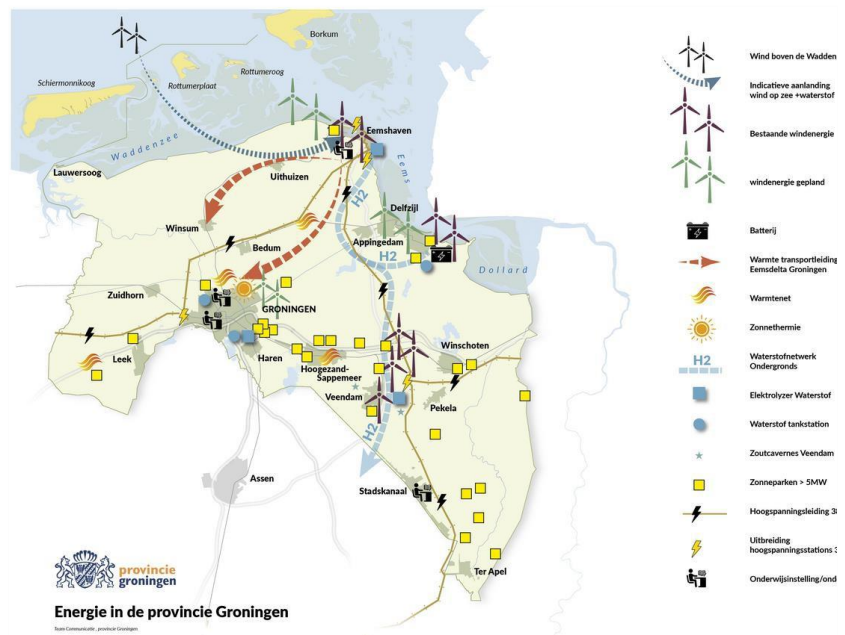
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Factsheet | Eigendom: provinciaal warmtebedrijf

Eigendom

- Coöperaties
- Provinciaal warmtebedrijf



Algemeen: wat is het?

Een provinciaal warmtebedrijf kent verschillende vormen van eigendom. Het kan volledig in handen zijn van de provincie, of deels in handen van provincie en gemeenten. De diensten van een provinciaal warmtebedrijf zijn aanvullend op de diensten van energieleveranciers en netwerkbedrijven. Een provinciaal warmtebedrijf kan zich richten op de ontwikkeling van warmtebronnen, het transport van warmte en/of levering van warmte aan huishoudens en bedrijven.

Kenmerken

Gemeenten hebben met de Wet collectieve warmte (Wcw) een cruciale rol in het tot stand komen van warmteleveringsprojecten. Ze wijzen de gebieden aan waar een warmtebedrijf zorgt voor levering van warmte voor verwarming en koeling. De feitelijke uitvoering van de warmtelevering (van bron tot aan de warmtemeter) kan door verschillende partijen worden uitgevoerd, waarbij projecten met meer dan 1.500 aansluitingen publiek eigendom moeten worden. Dit kan een provinciaal warmtebedrijf zijn. Een provinciaal warmtebedrijf is aandeelhouder van provinciale infrastructuur van warmteleidingen en -netten. Dit soort infrastructuur vergt grote investeringen, waarvoor er middelen en expertise moeten zijn binnen dat provinciale warmtebedrijf, om zowel aan te leggen als te exploiteren. Eventueel zijn naast de provincie ook gemeenten, netwerkbeheer en/of bedrijven aandeelhouder van een provinciaal warmtebedrijf.

Toepassing

Warmtenetten: een provinciaal warmtebedrijf zorgt voor de aanleg en het beheer van de warmteleidingen en/of warmtenetten en voor de administratieve en financiële afhandeling van het leveren van warmte.

Warmtebronnen: ook de ontsluiting van restwarmte (zekerheid, contractueel, technisch) kan een dienst zijn van het provinciale warmtebedrijf.

Specifieke punten

Steun van gemeenten noodzakelijk: in het Klimaatakkoord is bepaald dat gemeenten de regie over de warmtetransitie hebben. Deze rol wordt geformaliseerd in de Wet collectieve warmte. Bij het opzetten van een provinciaal warmtebedrijf zal de provincie daarom de steun moeten hebben van gemeenten. Dit kan door de gemeente een warmtekavel aan te laten wijzen aan het Provinciaal Warmtebedrijf en ook in de vorm van mede-aandeelhouderschap.

Daarnaast speelt dat er momenteel grote landelijke, publieke warmtebedrijven worden gevormd met het Rijk en de netbeheerders als aandeelhouder. Warmteleveringsprojecten waarbij de huidige grote, private warmtebedrijven de warmte leveren, zijn met de Wcw niet meer mogelijk. De minister zal bij de behandeling van de Wcw in de Kamer besluiten over de rol van het Rijk in die grote publieke warmtebedrijven.

Stand van zaken in Groningen

Er is momenteel geen provinciaal warmtebedrijf in Groningen.

Een provinciaal warmtebedrijf kan zorgen voor warmtelevering en zo de warmtetransitie ondersteunen. Momenteel hebben Groningse gemeenten, met uitzondering van de gemeente Groningen, vaak niet voldoende kennis, capaciteit of financiële middelen in huis om vorm te geven aan de warmtetransitie. Een provinciaal warmtebedrijf kan hier een oplossing voor bieden.

De industrie en datacenters in de Eemshaven en Delfzijl produceren nu veel restwarmte. De beschikbare restwarmte kan mogelijk in de toekomst toenemen door de restwarmte die vrijkomt bij de productie van waterstof. Het lijkt daarmee aantrekkelijk om een warmtetransportleiding aan te leggen vanaf de Eemshaven en Delfzijl naar de stad Groningen. Het onderzoek naar de haalbaarheid van deze warmtetransportleiding is onderdeel van de verkenning binnen de provincie Groningen naar de oprichting van een provinciaal energiebedrijf.

Betaalbaarheid

Maatschappelijke lage kosten warmtenetten:

Warmtenetten kunnen een belangrijke bijdrage leveren aan de warmtevoorziening en zijn vaak maatschappelijk gezien de goedkoopste oplossing om klimaatneutraal te verwarmen ([Berenschot, 2024](#)). Warmtenetten worden daarnaast goedkoper als er meer afnemers zijn. Door een provinciaal warmtenet kan dit schaalvoordeel worden benut.

Publieke investering: een provinciaal warmtebedrijf investeert met publieke middelen in warmtenetten. Dit kan eigen geld of geleend geld zijn. Uit het onderzoek in 2025 ([Provincie Groningen](#)) zal moeten blijken hoe haalbaar dit is.

Betrouwbaarheid

Nadat een provinciaal warmtebedrijf is opgericht met voldoende financiële middelen en expertise, kunnen nieuwe warmteprojecten worden uitgevoerd. Doordat het provinciale warmtebedrijf geen winstoogmerk heeft en de eigenaren publieke partijen zijn, kan met grote betrouwbaarheid warmte worden getransporteerd en/of geleverd.

Bestendigheid

Een provinciaal warmtebedrijf kan ervoor zorgen dat er grote stappen worden gemaakt in de warmtevoorziening. Door een warmtenet met publieke middelen op te zetten, wordt het risico weggenomen dat private partijen niet investeren. Dit kan een aanzienlijke bijdrage leveren aan het landelijke doel van 500.000 aansluitingen op een warmtenet in 2030 ([Rijksoverheid](#)).

De toegevoegde waarde van een provinciaal warmtebedrijf zal afgewogen moeten worden tegen de inzet van één van de grote landelijke warmtebedrijven en/of vorming van gemeentelijke warmtebedrijven.

Beschikbaarheid

Externe partijen blijven nodig: bij een provinciaal warmtebedrijf zullen gespecialiseerde bedrijven de warmteinfrastructuur aanleggen en onderhouden. Ook kan het nodig zijn om andere experts in te huren, bijvoorbeeld voor de financiering, administratie, etc., als deze kennis niet bij de provincie zit.

Warmtenet: de financiële aantrekkelijkheid van warmtenetten is gebaat bij een zo hoog mogelijk deelnamepercentage. Als warmtenetten niet tijdig worden gerealiseerd, zal het aandeel van warmtepompen toenemen. Daardoor bestaat het risico dat het maatschappelijke voordeel (lagere kosten) van warmtenetten vervalst.

Ruimtegebruik	Overig
De ruimte voor een warmteleiding en distributienet is vooral ondergronds, met op een aantal plaatsen hulpwarmteketels. Deze noodzakelijke ruimte staat los van de eigendomsstructuur. Het ruimtegebruik van alleen een provinciaal warmtebedrijf is heel beperkt: een kantoor, een werkplaats, afhankelijk van de diensten die het warmtebedrijf levert.	N.v.t.

Colofon

Delft, CE Delft, juni 2025

Deze publicatie is geschreven door:

Charley Bakker

Frans Rooijers

Joeri Vendrik

Marieke Nauta

Publicatienummer: 25.240321.003-5

Opdrachtgever: Provincie Groningen

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

© copyright, CE Delft, Delft

Bronnen

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.