

Achtergronddocument

Energieprogramma Fryslân 2022-2025



Inhoud

1. Overzicht opwektechnieken duurzame elektriciteit.....	3
2. Overzicht duurzame warmte-oplossingen.....	5
3. Overzicht duurzame gassen	8

1. Overzicht opwektechnieken duurzame elektriciteit

Windenergie

Windenergie speelt al een lange tijd een belangrijke rol in Nederland. Vroeger werd de energie van de wind gebruikt voor zagen, malen en het drooghouden van polders. De afgelopen jaren zijn de windmolens veranderd, zowel in vorm als in functie. Moderne windturbines worden gebruikt om elektriciteit mee op te wekken uit de energie van de wind. Een windmolen werkt doordat de kinetische energie van de wind (deels) wordt overgedragen aan de wieken van de windmolen. Hierdoor gaan de wieken draaien. Dit wordt vervolgens door een generator die in de kop van de windmolen zit omgezet in elektriciteit. Via kabels wordt de elektriciteit verder getransporteerd.

Windmolens worden zowel op land als op zee geplaatst. Hoe groter de windmolen, hoe groter het vermogen en des te meer elektriciteit er wordt opgewekt. De locatie van een windmolen is bepalend voor de hoeveelheid op te wekken elektriciteit. Zo wekt een windmolen op zee of langs de kust meer elektriciteit op dan een windmolen op land.

Tabel B1.1: Soorten windmolens naar vermogen, vollasturen en elektriciteitsjaarproductie.

Soorten windmolens	Vermogen (in MW)	Vollasturen	Elektriciteitsjaarproductie
15 meter molen	0,015	2400	36.000 kWh
IJsselmeermolen (180 meter)	4,3	3500	15.050 MWh
Windmolen op zee	8	5000	40.000 MWh

Zonne-energie

Zonne-energie maakt gebruik van het licht en de warmte afkomstig van de zon. Het licht functioneert als energiebron voor de opwekking van elektriciteit. Met de hulp van een zonnepaneel, een zogenoemd fotonvoltaïsch paneel (PV), wordt het licht omgezet in elektriciteit. Deze techniek maakt gebruik van zonnecellen. De zonnecellen functioneren als schakels die ervoor zorgen dat er geladen deeltjes (elektronen) bewegen als er licht op het paneel valt. Waardoor er stroom gaat lopen tussen de bovenkant en onderkant van het zonnepaneel, met als resultaat dat er elektriciteit wordt geproduceerd. De elektriciteit kan worden opgewekt in grote velden die zijn aangesloten op het elektriciteitsnet of de panelen kunnen worden geplaatst op het dak van een woning om in de eigen elektriciteitsbehoefte te voorzien.

Vollasturen zon versus wind

Het aantal vollasturen (eenheid voor effectieve energieopbrengst van een bron met fluctuerend vermogen) voor zonne-energie ligt in Nederland rond de 850 uur. In vergelijking met de vollasturen van wind (zie tabel B1.1) is dit getal aanzienlijk lager. Dit verschil

betekent onder andere dat om tot eenzelfde opwekvermogen te komen, je meer zonnepanelen nodig hebt dan windmolens.

Onderwatervlieger

De onderwatervlieger is een grote vlieger die onder water is geplaatst. De vlieger is zo geplaatst dat hij dwars op de stroming staat. Vervolgens wordt hij van links naar rechts bewogen. Door deze opstelling en beweging ontstaat er trekkracht. Dit principe is vergelijkbaar met een vlieger die op het land wordt gebruikt. Deze kracht kan vervolgens worden omgezet in elektrische energie. Door elektriciteitskabels wordt de opgewekte energie getransporteerd naar land. Deze technologie kan goed worden geplaatst bij de windparken op zee.

Op Ameland wordt de technologie getest en de toepassing verkend. Hierbij worden ook de effecten op de ecologie gemonitord.

Blue energy

Blue energy verwijst naar energie uit zoet- en zoutwater. Zout bestaat uit geladen deeltjes genaamd ionen. Een zoute oplossing bevat zowel negatieve als positieve ionen. Blue energy maakt gebruik van het verschil in de zout concentratie, en dus het verschil in hoeveelheid geladen deeltjes. Met behulp van een membraan tussen zoet en zout water, worden de ionen gescheiden en wordt er spanning opgebouwd. Deze spanning zorgt uiteindelijk voor elektriciteitsproductie.

Op de afsluitdijk vindt op dit moment een pilot plaats waar deze technologie wordt toegepast. Hier wordt water uit de Waddenzee en het IJsselmeer voor gebruikt.

Golfenergie (golfslagenergie)

Golven op de zee zorgen voor een (snel) wisselende waterhoogte. Als iets (bijvoorbeeld een bal of in dit geval de golf) hoogte heeft, bevat het energie. Deze energie kan worden omgezet in elektriciteit. Er bestaan verschillende methodes en technieken om de energie van de golf om te zetten. Deze techniek is op dit moment nog in ontwikkeling en duur waardoor de techniek nog niet breed wat toegepast.

Getijdenenergie

Deze techniek maakt gebruik van de hoogteverschillen die ontstaan door eb en vloed en is toepasbaar daar waar deze hoogteverschillen groot genoeg zijn. Door middel van een dam wordt water opgeslagen tijdens vloed. Dit creëert een hoogteverschil zodra het eb wordt. Wanneer het hoogteverschil maximaal is, gaan de deuren van de dam open en stroomt het water door turbines en drijft het water deze aan. Hierdoor wordt elektriciteit geproduceerd. Een andere methode is om de stroming die door de eb- en vloedbeweging ontstaat te gebruiken voor elektriciteitsopwekking. Dit principe is vergelijkbaar met een windmolen.

Kernenergie

Kernenergie komt vrij bij het splijten van Uranium atoomkernen. Het splijten van Uranium zorgt ervoor dat er veel energie, in de vorm van warmte, vrijkomt. Deze warmte zorgt voor een kettingreactie, waar stoom van kan worden gemaakt. Deze stoom wordt gebruikt om een turbine aan te drijven die elektriciteit opwekt. Het opwekken van de energie zelf resulteert niet in extra CO₂-emissies, maar de bouw van de centrale en de winning en het transport van Uranium wel. Hierdoor kan het gezien worden als een duurzamere vorm van energie. Het is echter (nog) niet hernieuwbaar vanwege het gebruik van Uranium als grondstof.

Rondom kernenergie wordt veel onderzoek gedaan. Zo wordt er gewerkt aan nieuwe generaties reactoren (bijvoorbeeld gen4 reactoren) en wordt er onderzoek gedaan naar thorium en kernfusie centrales. De vierde generatie reactoren en thorium centrales geven minder afval en zijn veiliger. Wanneer kernfusie wordt gerealiseerd, wordt het duurzame karakter vergroot en is het een hernieuwbare energiebron. Echter, deze technieken worden naar verwachting niet voor 2050 op grote schaal toegepast. Kernfusie zal nog langer op zich laten wachten.

2. Overzicht duurzame warmte-oplossingen

Er zijn diverse alternatieve warmte-oplossingen die als alternatief voor aardgas dienen. Deze technologieën kunnen zowel **individueel** (waarbij de warmte wordt opgewekt in het gebouw) of **collectief** (waarbij de warmte wordt opgewekt op een centrale locatie en vervolgens met een warmtenet naar het gebouw wordt gebracht) worden toegepast. De belangrijkste technologieën worden hieronder kort omschreven.

Zonneboiler

Een van de manieren om de warmte van de zon te gebruiken is door middel van een zonneboiler. Bij een zonneboiler wordt de warmte van de zon opgevangen in zogenoemde collectoren. Na het opvangen, wordt de warmte getransporteerd naar een warmtewisselaar en wordt de warmte aan water afgegeven. Het warme water kan vervolgens worden gebruikt voor het verwarmen van een gebouw of als warm tapwater.

Warmtepomp

Er zijn twee soorten warmtepompen: all-electric en hybride. Een all-electric warmtepomp gebruikt elektriciteit om warmte van bijvoorbeeld oppervlaktewater, de bodem of de lucht naar de gewenste temperatuur te brengen. Nadat de warmte is opgewaardeerd kan het worden gebruikt om huizen en gebouwen te verwarmen of voor het leveren van warm tapwater.

De hybride warmtepomp wordt aangedreven door elektriciteit of door een (duurzaam) gas. Dit laatste type warmtepomp werkt nauw samen met een cv-ketel. Als de buitentemperatuur zodanig daalt dat de warmtepomp niet meer de juiste temperatuur warmte kan leveren, springt de cv-ketel aan. Het wordt vooral gebruikt in systemen waarbij warmte uit de lucht wordt gehaald. De werking is verder hetzelfde als de all-electric warmtepomp.

Warmtewisselaar

Een warmtewisselaar wordt gebruikt om warmte van het ene medium (gas of vloeistof) over te brengen naar een ander medium (gas of vloeistof) en zorgt dus voor de uitwisseling van warmte tussen twee stromen. De twee stromen gaan in tegengestelde richting in de warmtewisselaar voor optimale uitwisseling en komen niet direct met elkaar in aanraking. Warmtewisselaars zijn vaak onderdeel van een warmtepomp of cv-ketel.

Warmtekrachtkoppeling

Deze technologie is in staat om zowel warmte als elektriciteit te produceren. Er wordt gebruikgemaakt van een verbrandingsmotor. Door het verbranden van een brandstof, bijvoorbeeld biomassa, wordt warmte geproduceerd. Deze warmte wordt gebruikt voor

verwarming of voor de productie van elektriciteit. Door de combinatie van warmte- en elektriciteitsproductie binnen dezelfde opstelling, gaat er geen warmte verloren.

Aquathermie

Aquathermie is een nieuwe techniek die nu alleen nog in proeftuinen wordt toegepast. Fryslân werkt hard aan de ontwikkeling van deze technologie en streeft ernaar om het centrum of expertise te worden op het gebied van aquathermie. Fryslân is een waterrijke provincie met veel oppervlaktewater dat geschikt blijkt voor aquathermie, hierdoor is dit een geschikte technologie voor de toekomstige energiemix.

Aquathermie maakt gebruik van de warmte en koude dat zit opgeslagen in oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) of drinkwater (TED). De warmte of koude die uit het water wordt gehaald, kan worden gebruikt voor het verwarmen of koelen van gebouwen. Aquathermie maakt gebruik van een warmtewisselaar bij de bron en een warmtepomp bij het gebouw. Deze technologie kan worden gebruikt als bron voor warmtenetten.

Wanneer TEO wordt toegepast, wordt in de zomer warmte uit het oppervlaktewater gehaald met behulp van een warmtewisselaar. De warmte wordt vervolgens opgeslagen in een warmte-koudeopslagsysteem (WKO), zodat het in de winter kan worden gebruikt. Met behulp van een warmtepomp wordt warmte van de gewenste temperatuur verkregen en wordt het gebruikt voor het verwarmen van gebouwen of tapwater. Het omgekeerde kan ook: in de winter koude uit het oppervlakte water halen om in de zomer gebouwen te koelen. Voor TEA en TED is opslag in de bodem niet altijd nodig.

Als meerdere gebouwen aangesloten zijn, wordt er een warmtenet gebruikt. Er kan daarbij gekozen worden om het water naar de benodigde temperatuur te verwarmen door middel van een collectieve warmtepomp of door middel van een individuele warmtepompen. Aquathermie is het meest geschikt voor lagetemperatuurwarmtenet, omdat dan het rendement het hoogst is.

De volgende dorpen en steden komen in aanmerking voor aquathermie: die dicht bij TEO, TEA en TED bronnen liggen, waar warmteopslag mogelijk is, de bebouwingsdichtheid voldoende is en de warmtevraag overeenkomt met de potentie van de bron.

Geothermie

Geothermie maakt gebruik van warmte uit de diepe ondergrond vanaf 500 meter en dieper. Hoe dieper de warmte wordt gewonnen, hoe hoger de temperatuur. De opgehaalde warmte kan worden gebruikt in een warmtenet voor het verwarmen van huizen, gebouwen, kassen en de lichte industrie.

Bij de winning van geothermie, wordt er gebruik gemaakt van minimaal twee putten: een productieput (deze haalt warm water naar boven) en een injectieput (via deze put gaat het afgekoelde water terug in de grond), beide putten samen noemen we een doublet. Via een warmtewisselaar wordt de warmte ingevoerd in het warmtenet.

Geothermie is als warmtebron vooral geschikt als basislast van een warmtenet, oftewel de minimale hoeveelheid warmte die een groot deel van het jaar nodig is. Zo kan de bron continu aan blijven staan en vrij constant warmte leveren. Door de geothermiebron te ontwerpen voor deze basislast, blijven de kosten beperkt. Om geothermie mogelijk te maken moet er een watervoerende laag in de ondergrond aanwezig zijn met een voldoende hoge temperatuur, die voldoende dik en waterdoorlatend is om water uit op te pompen. De gemiddelde leeftijd van een geothermische put is 30-40 jaar.

Geothermie is een relatief nieuwe techniek dat nog niet lang en veel in gebruik is. Wel krijgt het steeds meer aandacht en zijn er op dit moment 25 geothermie projecten actief in Nederland.

Restwarmte

Restwarmte komt vrij bij een industrieel productieproces. Deze warmte wordt nu veelal geloosd, maar kan ook worden gebruikt in een warmtenet. Vooral de grote industrie beschikt vaak over grote hoeveelheden restwarmte. De warmte kan worden gebruikt voor het verwarmen van kassen, gebouwen en tapwater. Voor de restwarmte kan worden gebruikt in een warmtenet, moet de betreffende industrie wel een aantal aanpassingen doen. Deze warmtebron zal niet een heel warmtenet kunnen voorzien. Voor Fryslân ligt er vooral een mogelijkheid op het gebied van restwarmte in Bolsward.

Biomassa

Biomassa is de grondstof voor bio-energie. Deze vorm van energie kan worden gebruikt voor verwarming. Door het verbranden van vaste of gasvormige biomassa komt warmte vrij dat wordt gebruikt om water te verwarmen. Deze warmte kan gebouwen verwarmen en warm tapwater leveren. De biomassa kan verschillende vormen hebben: houtsnippers, houtpellets gemaakt van tak- en tophout, schoon afvalhout en biogas uit gft-afval- of mestvergisting. Omdat de temperatuur van de vrijgekomen warmte gelijk is aan die van een cv-ketel, zorgt het gebruik van biomassa warmte niet voor aanpassingen van de radiatoren in de gebouwen.

Bio-energie kan worden ingevoerd in een warmtenet of kan een bestaande blokverwarmingsketel vervangen. Ook kan het worden gebruikt om hoge temperatuur warmte te produceren. De bio-ketels waarin de warmte wordt geproduceerd moeten aan strenge eisen voor uitstoot van fijnstof en stikstof voldoen, maar hier kunnen heldere afspraken over gemaakt worden en ook over de duurzaamheid van de te gebruiken

biomassa. Er zijn verschillende mogelijkheden voor het kiezen van een type ketel, voor meer informatie hierover zie expertisecentrum warmte (Bio-energie voor collectieve verwarming - Expertise Centrum Warmte).

Ondanks dat warmte van bio-energie (bio-warmte) een duurzame warmteoplossing is, is het een flexibele bron onafhankelijk van de seizoenen. De productie kan makkelijk op- en afgeschaald worden en kan zich dus goed aanpassen naar de vraag. Verder is de gebruikte ketel of technologie vaak in staat om meerdere soorten biomassa te verwerken, zonder hiervoor omgebouwd te moeten worden.

De NEC heeft in 2021 een onderzoek gedaan naar de potentie van groen gas in Fryslân. Uit dit rapport kwam naar voor dat groengas door mestvergisting een goede optie blijkt te zijn.

Bodemwarmte

Net als geothermie maakt bodemwarmte gebruik van de energie die is opgeslagen in de bodem. Met bodemenergie is de maximale diepte 500 meter. De bodem wordt gebruikt om warmte of koude te winnen. Deze technologie geeft ook de optie om energie op te slaan. Bodemenergie is de toevoer voor een warmtepomp. In de winter wordt de warmte gebruikt voor de verwarming van een gebouw en in de zomer kan de koude worden gebruikt voor koeling van het gebouw. Met bodemenergie vindt er energie recycling plaats: zomerwarmte en winterkoude kunnen voor een seizoen worden opgeslagen in de bodem.

De toepassingen van bodemenergie zijn vooral een gesloten bodemwarmtewisselaar (bodemlus) en een open systeem van WKO. Bij een bodemlus wordt o.a. water door een slang de bodem in- en uitgepompt. Het water wordt verwarmd tot de temperatuur van de bodem en gaat dan naar de warmtepomp. De warmtepomp verhoogt de temperatuur en nu kan de warmte gebruikt worden voor het verwarmen van een woning of gebouw. Een WKO-systeem maakt gebruik van zowel een warmte- als een koudebron (doublet). Warm water wordt uit een watervoerende laag gepompt waarna de warmte met een tussenwarmtewisselaar naar een warmtepomp wordt gevoerd. Zo blijft het grondwater gescheiden van de gebouwinstallatie. Het warme water wordt gebruikt voor verwarming waardoor er koud water het gebouw weer verlaat. Dit water wordt vervolgens geïnjecteerd terug de grond in. Het koude water kan dan in de zomer worden gebruikt om het gebouw te koelen en dit levert warmte op voor in de winter.

Bodemwarmte is een reeds bewezen techniek waar al enkele tientallen jaren gebruik van wordt gemaakt.

Warmte uit lucht

Uit de lucht kan energie worden gehaald. Deze techniek onttrekt warmte uit de buitenlucht. De onttrokken warmte kan vervolgens worden overgedragen met behulp van een warmtewisselaar. Het warme water wordt dan door een warmtepomp geleid om warmte

van de gewenste temperatuur te verkrijgen. Het warme water kan gebruikt worden om een gebouw of woning mee te verwarmen. Dit systeem kan ook gebruikt worden voor verkoeling. In plaats van warmte, wordt er dan koude onttrokken aan de buitenlucht.

Het voordeel van deze techniek is dat het betaalbaar en gemakkelijk te installeren is. Het grootste nadeel is dat de buitenlucht geen constante temperatuur heeft en er in de winter weinig warmte in de buitenlucht is. Mede hierom is het vooral geschikt voor het verwarmen van een enkele ruimte of een enkel element (zoals zwembadwater of vloerverwarming).

Tabel B2.1: Soorten windmolens naar vermogen, vollasturen en elektriciteitsjaarproductie.

	Collectief (warmtenet)	Individueel (per gebouw)	Elektriciteit nodig: ja	Elektriciteit nodig: nee
Biomassa	x			x
Restwarmte	x			x
Geothermie	x		x	
Aquathermie	x	x	x	
Bodemwarmte	x	x	x	
Warmte uit lucht		x	x	
Groen gas en waterstof	x			x
All-electric		x	x	

3. Overzicht duurzame gassen

Biogas

Biogas is een brandbaar gas dat bestaat uit methaan (methaan gehalte schommelt tussen de 50% en 65%), CO₂, water en verontreinigingen zoals zwavelverbindingen.

Het is het product van de vergisting van bio-grondstoffen. Vergisting houdt in dat bacteriën organische stoffen (zoals mest, gft-afval, stro, etc.) omzetten in gas, doormiddel van een vergistingsreactie. Vergisting is een natuurlijk proces maar kan ook plaatsvinden in een gecontroleerde omgeving: een vergister. Als de bio-grondstoffen worden omgezet in een vergister, kan het geproduceerde biogas worden gebruikt voor de productie van energie. Biogas kan gebruikt worden in WKK's voor de productie van stroom en warmte of in stookketels voor warmteproductie alleen. Daarnaast kan biogas worden opgewaardeerd naar groengas, bio-CNG en bio-LNG (zie figuur B3.1).

Groen gas

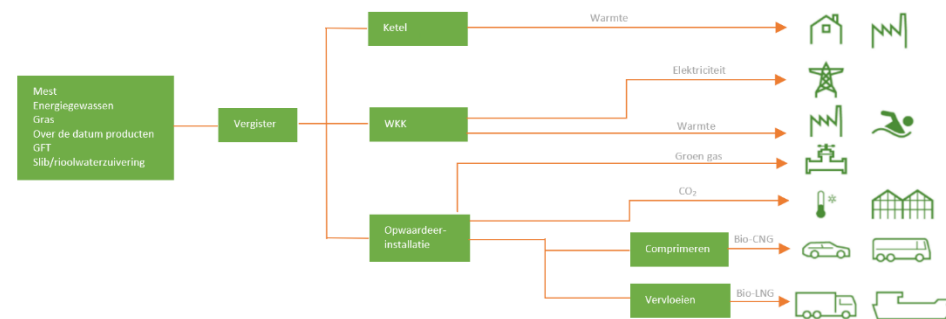
Zoals benoemd kan biogas worden opgewaardeerd tot groen gas. Groengas is een duurzaam gas dat is geproduceerd uit bio-grondstoffen (zie figuur B3.1). Door dat het bestaat uit organische stoffen die kort cyclische zijn, wordt de CO₂ die vrijkomt bij het gebruik van groengas in korte tijd weer opgenomen door de nieuw groeiende grondstof (bomen, planten, gewassen, etc.). Mede hierdoor vormt het een duurzaam alternatief voor aardgas. Groen gas is namelijk van eenzelfde kwaliteit als aardgas. Hiermee heeft groengas de mogelijkheid om aardgas te vervangen en kan het 80-90% CO₂-reductie opleveren. Het kan bijvoorbeeld worden ingevoerd in het gasnet voor de verwarming van woningen, gebruikt worden als bron voor hoge temperatuur warmte voor de industrie of in de vorm van bio-CNG of bio-LNG worden gebruikt in de transportsector. In 2020 werd er 15,7 m3 in het gasnet ingevoerd voor Fryslân. Naast het huidige gebruik, wordt de verdere toepassing van groen gas in Fryslân verkend. Zo is er bijvoorbeeld de proeftuin Wijnjewoude welke als doel heeft om aardgasvrij ready te worden met behulp van groen gas en hybride warmtepompen.

Vanuit het stikstofprogramma komt naar voren dat biomassa t.a.v. stikstof een knelpunt kan zijn: wat betreft stikstofemissies is dit een vervuilendere warmtebron dan aardgas. Echter, met behulp van speciale maatregelen (zoals stikstof strippers) kan de uitstoot van stikstof door groen gas gebruik beperkt blijven of zelfs tot een reductie leiden.

In 2021 is er door de New Energy Coalition (NEC) een onderzoek gedaan naar de potentie van groen gas in Fryslân. Door de grote hoeveelheid vee dieren (met name koeien) in Fryslân bestaat er een grote mestproductie. Wanneer de in Fryslân geproduceerde mest wordt verwerkt tot groengas, levert dit 4.284 TJ aan energie op. Wanneer ook andere bio-grondstoffen dan mest gebruikt worden, stijgt de potentie naar 4.747 TJ. Dit, samen met de

scenario studie geeft een mogelijke potentie van minimaal 4.284 TJ en maximaal 7.595 TJ aan groengas voor Fryslân.

Om bij te kunnen dragen aan de regionale warmtetransitie moet het geproduceerde groene gas ook lokaal worden ingezet. Garanties van Oorsprong (GvO's) zijn uitermate geschikt om het duurzame karakter van (lokaal) geproduceerd groen gas te verbinden aan door de huishoudens afgenomen groen gas, al dan niet in de nabije omgeving van de productie-installatie van groen gas. Ook zijn GvO's geschikt om deze verbinding inzichtelijk te maken. Wel is voor deze mate van verbinding geen wettelijke verplichting binnen de huidige regeling. Levering aan huishoudens gaat via leveranciers die (verplicht) voor hun klanten GvO's moeten afboeken en daarmee ook het groene karakter van het door hen geleverde groen gas te waarborgen. Deze GvO's kunnen overal vandaan komen, ook van buiten Nederland en hoeven ook niet per se met de productie van groen gas te zijn uitgegeven.



Figuur B3.1: Stroomschema biomassa vergisting.

Waterstof

Waterstof is een veelgebruikt molecuul. Op dit moment wordt het met name binnen de (chemische) industriële sector als grondstof toegepast. Zo wordt het bijvoorbeeld al op grote schaal gebruikt voor de productie van ammoniak, kunststoffen en bij raffinage. Deze waterstof wordt nu nog geproduceerd uit aardgas, en is daarom niet duurzaam. Wanneer de productie van groene waterstof op gang komt, kan de industrie ook groene waterstof als grondstof gebruiken. Voor Fryslân is dit minder aan de orde. De Friese industrie kent, in tegenstelling tot die van Groningen en Drenthe, nauwelijks processen waar waterstof als grondstof wordt gebruikt. Daarom focussen we in dit stuk vooral op de energetische

toepassingen van waterstof en is de waterstofladder ook voor alleen de energiekant gemaakt.

Waterstof is een gas dat als brandstof kan worden ingezet. Het kan op verschillende manieren worden geproduceerd, maar het is alleen duurzaam als het wordt geproduceerd uit groene elektriciteit. Als duurzame elektriciteit gebruikt wordt voor het splitsen van water in waterstof (H₂) en zuurstof (O₂), een chemische reactie genaamd elektrolyse, wordt groene waterstof geproduceerd. Dit proces vindt plaats in een electrolyser. Waterstof kan worden gebruikt als een opslagmedium voor (duurzame) elektriciteit. Als er een overschot aan elektriciteit wordt opgewekt (bijv. op zonnige of winderige dagen), kan het teveel aan elektriciteit worden gebruikt in de electrolyser. Als er een tekort aan energie is (bijv. als er weinig zon of wind is) kan de geproduceerde waterstof weer worden omgezet in water waar elektriciteit bij vrijkomt. De elektrolyse reactie wordt daarmee dus omgedraaid. Naast opslag, kan waterstof ook worden toegepast in de industrie, mobiliteit en gebouwde omgeving. Echter, verwacht wordt dat de komende decennia er nog geen rol voor waterstof in de gebouwde omgeving is.

Fryslân is bezig met het opstellen van een waterstofagenda. Uit deze agenda moet blijken welke rol waterstof kan spelen in het toekomstige energiesysteem van Fryslân. Daarnaast heeft Fryslân onlangs een waterstofladder laten maken. Deze is als volgt: In de Waterstofladder, zie figuur B3.2, zijn de toepassingen van groene waterstof gerangschikt op basis van de volgende uitgangspunten: kansrijkheid, relevantie voor Fryslân en prioritering tussen focusgebieden. Aan de hand van deze prioriteringen zijn de stappen van de ladder als volgt:

1. Waterstof als bron voor hoge temperatuur industriële proceswarmte
Voor het verduurzamen van de zeer hoge temperatuur industrie (>600°C) in Fryslân is het noodzakelijk om te verduurzamen met behulp van groene waterstof, omdat er geen realistische alternatieven voor zijn. Op korte termijn biedt ook het bijmengen van groene waterstof bij aardgas kansen om CO₂-reductie te realiseren in de industrie.
2. Netbalancing, mobiele energievoorziening bouwlocaties en hoge temperatuur verwarming niches gebouwde omgeving.
Op verschillende plaatsen in Fryslân is er op bepaalde momenten een overschot aan duurzame elektriciteit. Om ervoor te zorgen dat deze geproduceerde elektriciteit niet (compleet) verloren gaat kan een electrolyser worden gekoppeld aan een wind- of zonnepark om het te veel om te zetten naar waterstof. Deze waterstof kan vervolgens direct gebruikt worden als brandstof voor andere toepassingen of het kan weer worden opgeslagen om in tijden van lage elektriciteitsproductie te worden ingezet.

Op afgelegen (bouw)locaties is er soms niet genoeg stroom aanwezig om alle processen uit te voeren. Om toch in de stroomvoorziening te kunnen voorzien wordt er meestal gebruik gemaakt van mobiele stroomgeneratoren op diesel. Het gebruiken van stroomgeneratoren op waterstof biedt kansen om de uitstoot van CO₂ en stikstof te verlagen. Ook is er veel landelijk gebied waar de warmtedichtheid te laag is voor een rendabel warmtenet. In gebouwen waar het niet mogelijk of rendabel is om all-electric te verwarmen kan in sommige gevallen waterstof een oplossing bieden.

3. Scheepvaart en zwaar wegtransport

Voor sommige vormen van mobiliteit kan het wenselijk zijn om fossiele brandstoffen te vervangen door groene waterstof. Over het algemeen geldt dat elektrificatie van vervoersmiddelen de voorkeur verdient. Echter is het elektrificeren van zwaar transport over lange afstanden lastig doordat de energiedichtheid van accu's relatief laag is. Groene waterstof als brandstof kan in zulke gevallen wenselijker zijn, ondanks de energieverliezen.

4. Overige toepassingen

Groene waterstof kan in veel situaties worden toegepast, maar door de energieverliezen die optreden bij het produceren van waterstof uit elektriciteit is het in veel gevallen duurzamer om processen te elektrificeren, dit geldt bijvoorbeeld voor nationaal en regionaal vervoer of het realiseren van lage temperatuur industriële proceswarmte. Voor de gebouwde omgeving zijn er ook andere vormen van energie te benutten. Zo is het voor verwarming van de gebouwde omgeving veelal duurzamer en goedkoper om, naast elektrische warmtepompen, gebruik te maken van een warmtenet op bijvoorbeeld restwarmte of geothermie

Figuur B3.2: De Friese waterstofladder.

