

## Kenmerken

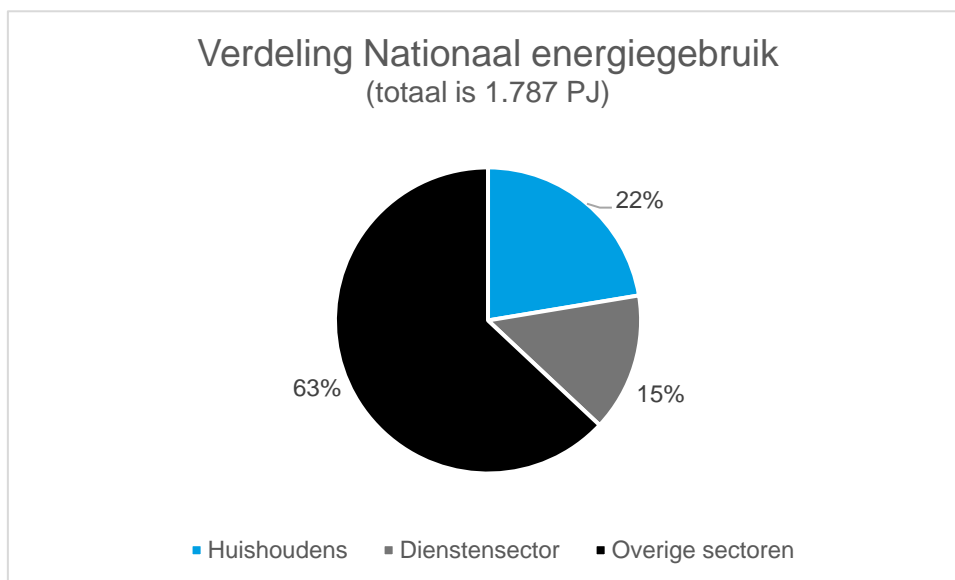
<b>Project</b>	20197 Werkconferenties	<b>Datum</b>	7 juli 2022
<b>Auteur</b>	ir. D.A. van 't Slot	<b>Co-lezer</b>	ing. H. Jansma
<b>Onderwerp</b>	White paper Waterstof in de gebouwde omgeving	<b>Status</b>	
		<b>Kenmerk</b>	20197-155825

# White paper Waterstof in de gebouwde omgeving

Is waterstof de sleutel voor de energietransitie? Gezien het belang van de energietransitie verdient elke techniek die hierin significant een bijdrage levert om serieus genomen te worden. Daarom deze white paper over de rol die waterstof in de toekomst kan spelen binnen de energievoorziening van de gebouwde omgeving.

## 1 Energiebehoefte gebouwde omgeving<sup>1</sup>

Het finaal energiegebruik van Nederland bedroeg in 2020 1.787 PJ. Hiervan wordt circa 37% (661 PJ) gebruikt door de gebouwde omgeving, waarbij huishoudens met 400 PJ verantwoordelijk zijn voor circa 60% hiervan en de dienstensector voor de rest.



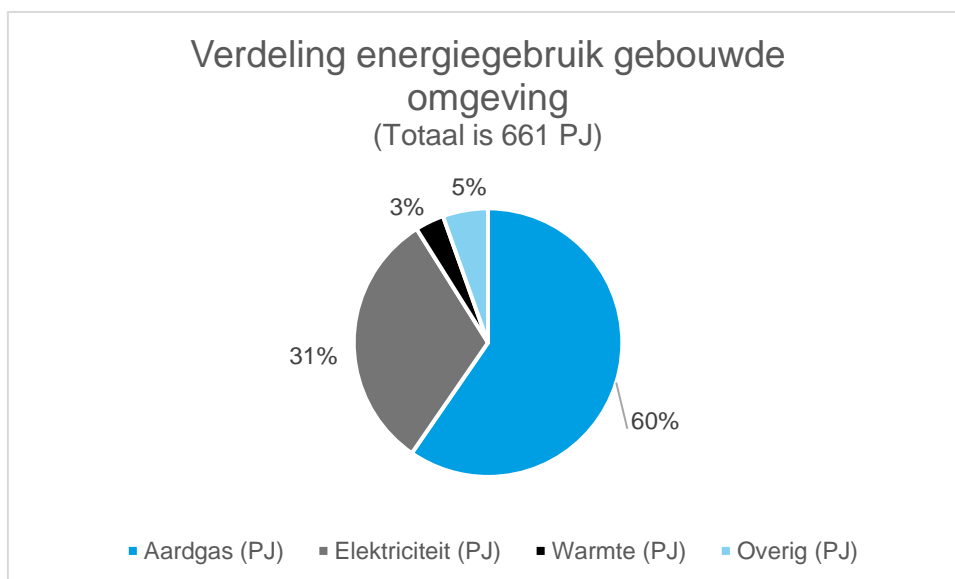
### 1.1 Verdeling energiegebruik

Het energiegebruik van de gebouwde omgeving betreft voor het grootste gedeelte aardgas. Zie onderstaande tabel.

<sup>1</sup> Cijfers uit deze paragraaf zijn ontleend aan de monitor energiebesparing Gebouwde Omgeving, 2021.

Tabel 1.1 Verdeling energiegebruik gebouwde omgeving

	Huishoudens	Diensten	Gebouwde omgeving	Aandeel
Aardgas (PJ)	275	119	394	60%
Elektriciteit (PJ)	88	120	208	31%
Warmte (PJ)	12	11	23	3%
Overig (PJ)	25	11	36	5%
Totaal (PJ)	400	261	661	100%



Zoals te zien is in de tabel en grafiek betreft circa 60% van al het energiegebruik in de gebouwde omgeving het gebruik van aardgas. In de woningbouw ligt dit percentage op bijna 70%. Het aandeel elektriciteit bedraagt iets meer dan 30%.

Omgerekend naar absolute hoeveelheden gaat het voor de gebouwde omgeving om ruim 57 miljard kWh aan elektriciteit en ruim 11 miljard m<sup>3</sup> aardgas.

## 2 Opwekpotentieel duurzame energie

De doelstelling van Nederland is om uiterlijk 2050 de energievoorziening van de gebouwde omgeving CO<sub>2</sub>-vrij te hebben. Dit betekent concreet dat het gebruik van aardgas moet worden vermeden en de gebruikte energiebronnen duurzaam opgewekt moeten worden.

Duurzame opwekking gebeurt in Nederland vooral vanuit zonne-energie, windenergie en biomassa.

## 2.1 In Nederland<sup>2</sup>

Het potentieel voor de opwekking van duurzame energie in Nederland is al met al fors. In de volgende tabel is aangegeven wat het potentieel is van de belangrijkste technieken.

Tabel 2.1 Potentiële opwekking duurzame energie in Nederland

Opwek (PJ/jaar)	2.020	2030	Potentieel laag	Potentieel hoog
Zon-PV	29	82	252	720
Wind op land (geen uitbreiding verondersteld)	35	35	35	35
Wind op zee	20	547	612	1.170
Biomassa	86	203	203	359
Totaal	170	867	1.102	2.284

Hieruit blijken een aantal belangrijke zaken:

- Het potentieel voor opwekking van duurzame energie in Nederland moet voor een substantieel deel uit wind op zee komen.
- De totale potentiële opwekking is ruim voldoende voor de gebouwde omgeving, maar niet voor de totale energievraag van Nederland. Import van duurzame energie uit het buitenland (of substantiële energiebesparing) is dan ook noodzakelijk voor een 100% duurzame energievoorziening.
- Ook bij een daling van het finaal energiegebruik met 28% in 2050<sup>3</sup> verandert dit beeld niet wezenlijk.

## 2.2 Buiten Nederland

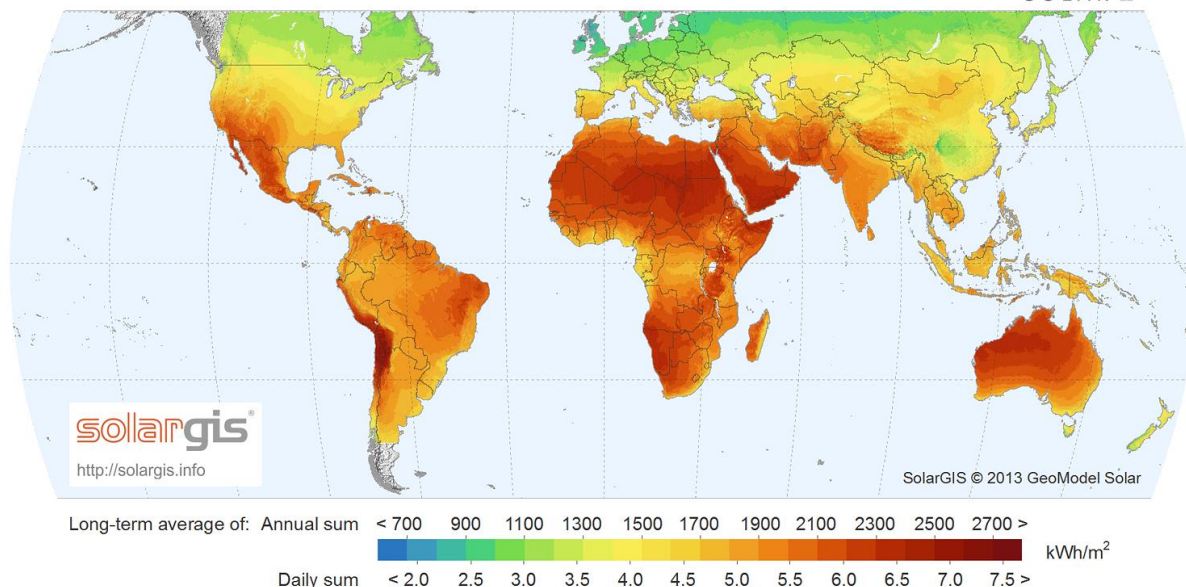
Duurzame energie kan naast in eigen land te worden opgewekt, ook worden betrokken uit het buitenland. Hierbij is het van belang te realiseren dat de omliggende landen in Europa zelf ook kampen met vergelijkbare verduurzamingsdoelstellingen en naar verwachting geen grote overschotten zullen hebben. Een directe koppeling met buurlanden is dan ook vanuit oogpunt van stabiliteit et cetera gewenst, maar niet direct een structurele oplossing voor invulling van de tekorten van eigen opwek.

Regio's op de aarde waarde die wel veel meer opwekpotentie hebben, zijn gebieden die relatief dun bevolkt zijn en een groot aanbod hebben van zon of wind. Dit is aangegeven in de volgende figuren.

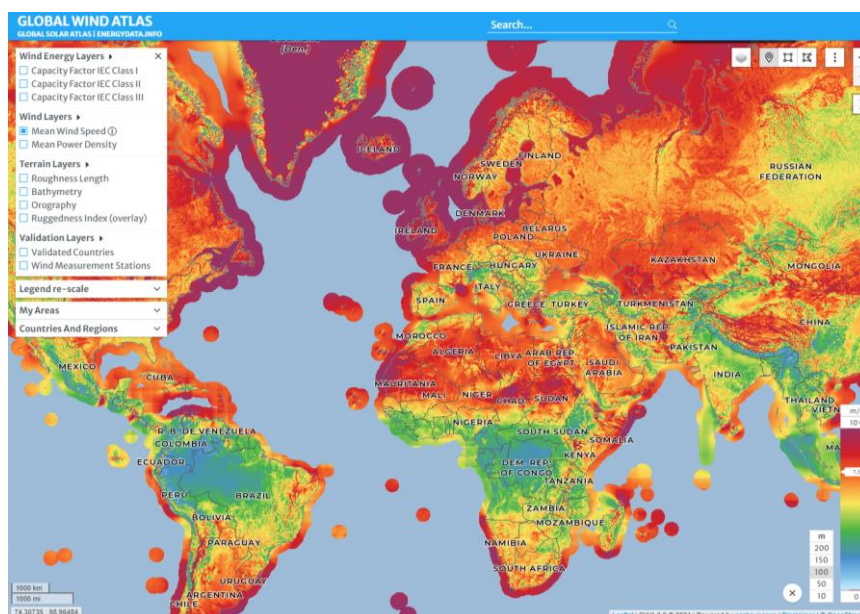
<sup>2</sup> Cijfers in deze paragraaf zijn ontleend aan TKI Urban Energy, Ruimtelijk potentieel van zonnestroom in Nederland, 2021; Centraal Bureau voor de statistiek, windopzee.nl en platform duurzame biobrandstoffen.

<sup>3</sup> Gasunie, Verkenning 2050, 2018

## WORLD MAP OF GLOBAL HORIZONTAL IRRADIATION

GeoModel  
SOLAR

Figuur 2.1 Instraling zonne-energie



Figuur 2.2 Gemiddelde windsnelheid op land en in kustgebieden

In zowel het geval van zonne-energie (focus op Noord-Afrika) als bij windenergie liggen de gebieden met een hoog potentieel vrij ver van Nederland af. Transport van duurzaam opgewekte energie (in welke vorm dan ook) naar Nederland vormt dan ook een belangrijk issue. Dit geldt eveneens voor distributie van de duurzaam opgewekte energie.

### 3 Kansen waterstof

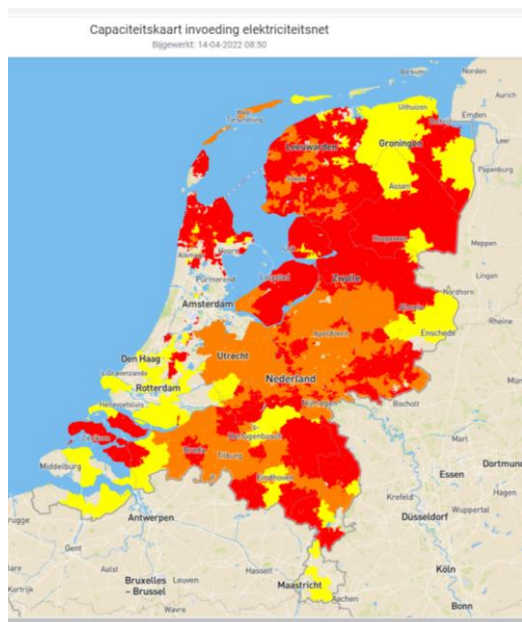
De opwekking van waterstofgas met behulp van opgewekte duurzame energie, is een conversiestap die een aantal kritische punten voor de verduurzaming van de energievoorziening (gedeeltelijk) oplost. De belangrijkste kansen zijn in dit hoofdstuk beschreven.

#### 3.1 Gebruik bestaande transport- en distributieinfrastructuur

Een belangrijk voordeel van het gebruik van waterstof ligt in de geschiktheid om het te transporteren door het aardgasdistributienet. De capaciteit van het aardgasnet is veel groter dan die van het elektriciteitsnet. Daarbij

komt dat het bestaande aardgasnet grotendeels geschikt (te maken) is voor het transport van waterstofgas. Wel is het zo dat de energie-inhoud van waterstofgas bij gelijke dichtheid ongeveer een factor 3 lager is dan van aardgas (10,8 MJ/m<sup>3</sup> voor waterstof tegenover 31,65 MJ/m<sup>3</sup> voor aardgas). Bij gelijk gebruik is het dus niet vanzelfsprekend dat de capaciteit van het gasnet voldoende is.

Tegelijk is het probleem dat speelt bij het transport van elektriciteit op dit moment in het grootste deel van Nederland al veel groter. In onderstaande figuur is de netcongestiekaart opgenomen. Hieruit blijkt dat invoeding van duurzame elektriciteit in het grootste deel van Nederland al problematisch is.



Figuur 3.1 Netcongestiekaart Nederland (bron: netbeheer Nederland)

Het verzwaren van het elektriciteitsnet is sowieso al aan de orde in verband met onder andere de toename van elektrisch vervoer, uitbreiding van het aantal aansluitingen, toename kleinschalige duurzame opwekking, toename all-electric woningen (nieuwbouw) et cetera.

### 3.2 Minimale aanpassing opwekking

Een tweede belangrijk voordeel voor de inzet van waterstof als energiedrager is dat de bestaande apparatuur die op aardgas werkt eenvoudig kan worden omgebouwd naar waterstofverbranding. Wanneer waterstofgas ruim beschikbaar zou zijn, wordt hiermee de mogelijkheid gecreëerd voor een snelle transitie. Bij de overstap op bijvoorbeeld warmtepompen zijn vaak forse aanpassingen nodig. Deze aanpassingen vragen naast een investering, ook menskracht van aannemers en installateurs. Deze is slechts beperkt beschikbaar. De ombouw van huidige apparatuur is een veel eenvoudiger stap. Bovendien kan gekozen worden voor de toepassing van bi-fuel producten, die zonder aanpassing zowel op aardgas als waterstofgas kunnen functioneren. Dan is de overstap is dan helemaal eenvoudig geworden.

### 3.3 Gebruik bestaande afgiftesystemen

Wanneer waterstof als vervanger van aardgas wordt ingezet, kunnen de opwekinstallaties (o.a. ketels) dezelfde temperaturen produceren als met aardgas. Dit maakt dat de huidige afgiftesystemen zonder aanpassingen gebruikt kunnen blijven worden. Dit levert twee belangrijke voordelen:

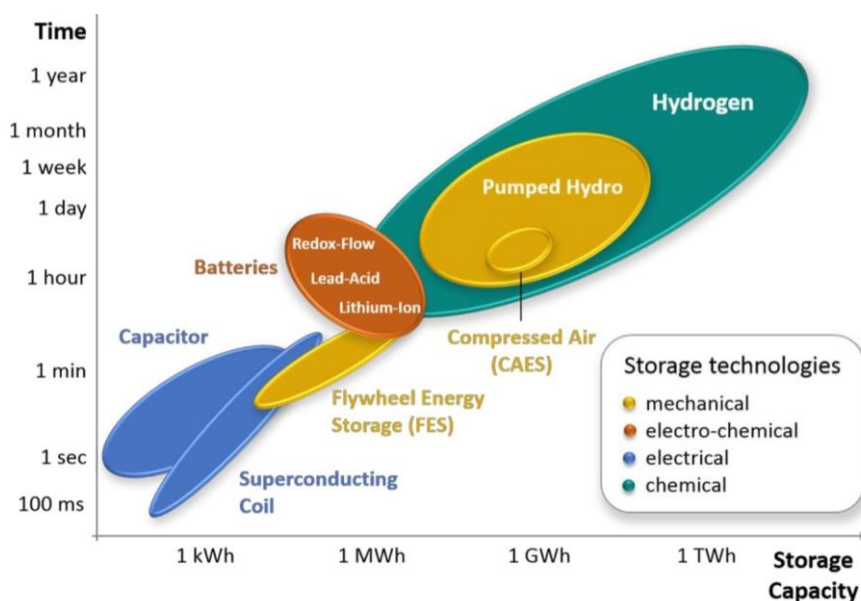
- Het maakt een forse versnelling van de energietransitie mogelijk. Voor de toepassing van warmtepompen zijn aanpassingen aan het afgiftesysteem naar laag temperatuur noodzakelijk (en in elk geval wenselijk). Om deze aanpassing mogelijk te maken, zijn vaak ook extra isolatiemaatregelen nodig. Dit leidt tot investeringen en benodigde mankracht. Doordat aanpassingen aan de woning bij toepassing van waterstof niet meer noodzakelijk zijn om voorafgaand aan de energietransitie door te voeren, wordt een versnelling mogelijk.

- In diverse gebouwen, met name monumenten, is de aanpassing van het afgiftesysteem naar laag temperatuurverwarming niet mogelijk. Voor deze gebouwen is het handhaven van een hoog temperatuur opwekking voorlopig nog noodzakelijk. Het ontkoppelen van het aardgasnet is in gebieden met zulke panden voorlopig dus niet mogelijk. De overstap naar waterstofgas als energiedrager daarentegen is wel mogelijk, omdat hiermee geen belemmeringen worden gesteld aan het afgiftesysteem.
- Het levert een vermeden extra CO<sub>2</sub>-emissie die gepaard gaat met de vervanging van het afgiftesysteem.

Tegelijk leidt dit voordeel ook tot een risico. Doordat de gebouwaanpassingen niet meer noodzakelijkerwijs bij alle gebouwen voorafgaand aan de overstap uitgevoerd hoeven te zijn, kan het beeld ontstaan dat dit voor geen enkel gebouw meer nodig is. Zoals hiervoor genoemd, leidt dit tot onvoldoende transportcapaciteit in het gasnet, omdat waterstofgas bij gelijke druk en temperatuur een factor 3 lagere energie-inhoud heeft dan aardgas. Ook vanuit oogpunt van beschikbaarheid, prijs en materiaalgebruik (zie risico's) is het wenselijk om daar waar mogelijk, wel over te gaan op besparende maatregelen.

### 3.4 Opslag

Een ander belangrijk voordeel van het gebruik van waterstof betreft de mogelijkheid tot opslag. In een duurzame energievoorziening zal het grootste deel van de opwekking uit wind- en zonne-energie komen. Deze bronnen zijn redelijk goed voorspelbaar, maar slechts eenzijdig regelbaar (alleen reduceren van de opwekking is een mogelijkheid). Dit leidt er toe dat opslag van energie een belangrijk item zal worden in een duurzame energievoorziening. Voor korte termijn opslag (etmaal) kunnen accupakketten vanuit elektrische voertuigen daar een belangrijke rol in vervullen. Voor de opslag van energie voor langere perioden en grotere volumes, is opslag in accu's echter minder geschikt. Uit onderstaande figuur blijkt dat de opslag in waterstof juist dan een geschikte vorm is.



Figuur 3.2: Potentie van technieken voor opslag van (elektrische) energie

Waterstof kan relatief eenvoudig worden opgeslagen in zoutcavernes en/of lege gasvelden. Om de opslagdichtheid verder te vergroten, kan waterstof met behulp van CO<sub>2</sub> worden opgeslagen in de vorm van methaan. Risico's van deze opslag liggen op gebied van lekkage en seismische activiteit.

## 4 Zwaktes

Naast de genoemde belangrijke voordelen, heeft de toepassing van waterstof als energiedrager ook een aantal belangrijke zwaktes. De belangrijkste zijn hieronder benoemd.



#### 4.1 Ketenefficiency, materiaalgebruik en ruimtebeslag

De eerste zwakte voor het gebruik van waterstof is het relatief lage ketenrendement. Voor de productie van waterstof met behulp van elektrolyse is elektriciteit nodig. Wanneer we de keten vergelijken van elektriciteit naar warmte via het spoor waterstof en via het spoor warmtepomp, dan zien we het volgende beeld:

- Spoor waterstof. De elektriciteit die wordt opgewekt met zon of wind kan zonder veel transformatiestappen worden gebruikt voor elektrolyse. Hoewel op dit moment nog niet haalbaar, is het mogelijk om het elektrolyseproces met een rendement van 80% te realiseren. Wanneer er geen energie wordt gebruikt voor transport en opslag van waterstof, en de ketel een rendement heeft van 95%, bedraagt het ketenrendement dus 76%
- Spoor warmtepomp. De opgewekte elektriciteit uit zon- en windenergie moet als eerste worden getransformeerd naar hoogspanning om te kunnen worden getransporteerd naar het elektriciteitsnet. Dit proces heeft een rendement van rond de 90%. De transportverliezen in het net bedragen circa 5%. Daarmee komt ruim 85% van de opgewekte energie aan in het gebouw. Met een gemiddelde COP van een warmtepomp van 4, levert dit een ketenrendement van 340%. Dit scheelt een factor 4,5 met het spoor via waterstof.

Een lager ketenrendement vormt geen probleem wanneer duurzame energie uit zon en wind overvloedig beschikbaar is. Vooralsnog is dit echter niet het geval. Er zijn ook een aantal punten die dit belemmeren.

- Voor de productie van de huidige generaties zonnepanelen en windmolens wordt gebruikgemaakt van bijzondere metalen. Deze grondstoffen zijn slechts beperkt beschikbaar en/of komen uit gebieden die kwetsbaar zijn voor corruptie, mensenrechtenschending en/of politiek instabiliteit. Het reduceren van het gebruik van deze grondstoffen is dus een relevant thema, wat conflicteert met het lage ketenrendement voor waterstof;
- Een lager ketenrendement vraagt om meer opwekking van duurzame energie. Hiervoor is ook meer ruimte benodigd. De ruimte die in Nederland beschikbaar is voor de opwekking van duurzame energie is beperkt en relatief duur. Gebieden waar veel ruimte beschikbaar is, en het aanbod van duurzame energie (zon) hoog, liggen voor een groot deel in Noord-Afrika. Dit zijn vrijwel zonder uitzondering gebieden met een beperkte politiek stabiliteit. Afhankelijk van deze regio's voor de energievoorziening is dan ook niet direct wenselijk.

#### 4.2 Prijs

Een ander nadeel van het gebruik van waterstof betreft de prijs. Deze heeft indirect ook te maken met het lagere ketenrendement. Voor een ruwe benadering van de prijs van waterstof geldt (bij een opwekkendement van 70%):

$$\text{Prijs per kg waterstof in €} = \text{€ 1} + \text{elektriciteitsprijs (in ct)/2,1}$$

Bij een elektriciteitsprijs van € 0,05/kWh, komt de productieprijs van waterstof uit op € 3,38 per kg. Omgerekend naar tarief per MJ komt dat neer op 2,8 respectievelijk 1,4 cent per MJ voor waterstof respectievelijk elektriciteit. Bij toepassing van een warmtepomp daalt de energieprij per MJ warmte nog een met een factor 4 (COP van de warmtepomp). Dit leidt er toe dat de energieprij voor warmte bij toepassing van waterstof al snel een factor 8 hoger ligt dan bij toepassing van warmtepompen (uitgaande van een gelijke elektriciteitsprijs).

Toepassing van waterstof is financieel gezien dus pas concurrerend als de kostprijs voor elektriciteit in de gebieden waar waterstof wordt geproduceerd meer dan een factor 8 lager liggen dan de kosten voor elektriciteit op de locatie van de warmtevraag.

De genoemde prijzen zijn de kale productiekosten, exclusief transport en belastingen. In beide gevallen (elektriciteit en waterstof) zijn er wel kosten voor transport. Deze zullen bij gebruik van pijpleidingen in het voordeel liggen van waterstof.

Een prijs van € 3,5/kg waterstof komt overeen met ruwweg € 1 per m<sup>3</sup> aardgas. Dit lijkt bij de huidige prijzen dus concurrerend te kunnen zijn. Hierbij geldt echter wel dat aardgas momenteel belast wordt met energiebelasting, en opslag duurzame energie. Wanneer gekeken wordt naar de kale productiekosten van aardgas, liggen deze substantieel lager.

Een ander prijsopdrijvend effect voor waterstof betreft het feit dat de prijs niet alleen bepaald wordt door de productiekosten, maar (zeker op korte termijn) ook door de markt van vraag en aanbod. Zoals hierna toegelicht is,

de komende jaren is de vraag naar duurzame waterstof vooralsnog veel groter dan het aanbod, waardoor de marktprijs waarschijnlijk hoger zal liggen dan de productiekosten.

#### 4.3 Beschikbaarheid

De beschikbaarheid van duurzame waterstof is momenteel nog laag. Op dit moment worden er in Nederland installaties geplaatst op MW-schaal. De ambitie van de EU is om in 2030 40 GW aan capaciteit in Europa te hebben gerealiseerd. Dit komt bij 2.500 vollasturen per jaar neer op een Europese productiecapaciteit van 360 PJ aan waterstofproductie per jaar. Dit is nog niet eens het gebruik van de gebouwde omgeving in alleen Nederland.

Op korte termijn (10-15 jaar) is de beschikbaarheid van groene waterstof nog beperkt. Verduurzaming voor het komende decennium kan dus niet drijven op de inzet van waterstof.

##### Waterstofladder

Zoals toegelicht is de beschikbaarheid van waterstofgas het komend decennium beperkt. De vraag is dan voor welke sectoren waterstofgas van de meeste toegevoegde waarde is. Dit zijn de sectoren waar het minste alternatieven zijn voor het gebruik van waterstofgas. Als deze sectoren ook moeten verduurzamen, zullen zij de hoogste prijs kunnen/moeten betalen (omdat er geen of weinig alternatieven zijn) en dus het eerst in aanmerking komen.

Wanneer we kijken naar welke sectoren de minste alternatieven hebben dan volgt de volgende 'ladder':

- Chemische industrie. Deze gebruiken waterstof als grondstof en hebben daarvoor geen alternatief. De huidige vraag naar waterstof als grondstof bedraagt 163 PJ<sup>4</sup>.
- De volgende stap is het gebruik van waterstof voor processen waarbij zeer hoge temperaturen nodig zijn. De energievraag die met waterstof ingevuld zou kunnen worden bedraagt in 2030 tussen de 20 en 80 PJ per jaar;
- Waterstof als balanceerfunctie voor de mismatch tussen vraag en aanbod van duurzame elektriciteit. Zeker voor de seizoensopslag van elektriciteit, is waterstof een heel geschikt medium;
- Transportsector. Vanwege de hoge energiedichtheid in MJ/kg is waterstof geschikt als transportbrandstof. Zeker voor het zwaar transport zijn er minder alternatieven beschikbaar dan voor personenvervoer. De verwachte waterstofvraag voor zwaar wegvervoer bedraagt ruim 40 PJ per jaar (2050).
- Waterstof voor laag temperatuur verwarming. Voor het leveren van lage temperatuur warmte zijn de meeste alternatieven beschikbaar. De kans is daarom groot dat waterstof hier pas het laatst op grotere schaal zal worden toegepast. De gebouwde omgeving valt hier onder.

Grootschalige inzet van waterstof in de gebouwde omgeving lijkt dus minder voor de hand te liggen.

#### 4.4 Risico's

Het gebruik van waterstof kent een aantal risico's in vergelijking met het gebruik van aardgas en zeker in vergelijking met het gebruik van elektriciteit.

- Risico op lekkage. Het waterstofmolecuul is kleiner dan een methaanmolecuul. Hierdoor is het risico op lekkage wat groter. Dit risico is echter bij gebruik van de juiste materialen en montage sterk te reduceren.
- Waterstof is (overigens net als methaan) een kleurloos en geurloos gas. Lekkage zal dus niet direct worden opgemerkt. Overigens zijn hiervoor goede detectiesystemen beschikbaar, die lekkage in een vroeg stadium detecteren.
- Risico op ontploffingen. Hoewel de zelfontbrandingstemperatuur van methaan en waterstofgas vergelijkbaar zijn, is het risico op ontploffingen bij waterstof groter. Dit komt doordat de grenzen waarbinnen het gas ontvlambaar is, veel groter zijn voor waterstof en de benodigde ontstekingsenergie een factor 15 lager. Dit leidt er toe dat er sneller sprake is van een ontplofbaar mengsel, en dat er voor ontsteking veel minder nodig is.

Hoewel de risico's voor het gebruik van waterstofgas serieus genomen moeten worden, zijn er voldoende technische maatregelen en hulpmiddelen te treffen om dit risico acceptabel te houden.

---

<sup>4</sup> Getallen in deze paragraaf zijn ontleend aan: Gasunie, waterstof vraag en aanbod nu- 2030, november 2019



## 5 Conclusies

Op basis van deze white paper kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Gezien de beperkte capaciteit voor transport van elektriciteit, en de beschikbare capaciteit voor transport van gas, is de inzet van waterstofgas mogelijk de enige optie om op korte termijn voldoende duurzame energie te kunnen transporteren;
- Gezien de benodigde aanpassingen aan gebouwen bij overstap naar all-electric oplossingen en de beperkte capaciteit (in menskracht, financiële middelen en productiecapaciteit) is waterstof noodzakelijk voor een snelle energietransitie;
- Waterstof voorkomt niet de noodzaak van de inzet op energiebesparing en vraagreductie, maar koppelt wel de verplichte volgordelijkheid tussen besparen en overstap op duurzame bronnen los;
- Voor elektriciteit die op de juiste momenten beschikbaar is, en waarvoor transportcapaciteit beschikbaar is, verdient de directe inzet in de vorm van elektriciteit de voorkeur boven de conversie naar waterstof. Een volledige transitie van aardgas naar waterstofgas leidt namelijk tot een grotere behoefte aan duurzame elektriciteit met daaraan gekoppeld een groter gebruik aan schaarse materialen, groter gebruik van beschikbaar landoppervlak en een grotere geopolitieke afhankelijkheid van politiek minder stabiele landen dan bij elektrificatie.
- Voor de gebouwde omgeving geldt het onderscheid tussen:
  - Wijken met nieuwe, goed geïsoleerde gebouwen, die tegen lage kosten de overstap naar een all-electric oplossing kunnen maken;
  - Wijken waarbij de aanleg van een warmtenet gezien de beschikbaarheid van een warmtebron en voldoende afname dichtheid opportuun is;
  - Wijken/gebieden waar de overstap naar all-electric forse kosten met zich meebrengt (voor ofwel gebouwaanpassingen dan wel netverzwaring) en de aanleg van een warmtenet niet opportuun is. Voor deze gebieden/wijken is waterstof een kosteneffectieve oplossing om de verduurzaming te realiseren.