

VERKENNING NAAR WATERSTOF VOOR HET SCHILDERSKWARTIER, WOERDEN

Gemeente Woerden

Rapport nr.: OGNL.180411

Datum: 28 augustus 2020



Projectnaam: Verkenning naar waterstof voor het Schilderskwartier, Woerden DNV GL Netherlands B.V.
Oil & Gas
Rapport titel: Verkenning naar de inpassing van waterstof voor 9704 CA GRONINGEN
het Schilderskwartier +31 (0)50 7009700
Klant: Gemeente Woerden
Contactpersoon: Yvonne Feuerhahn
Datum: 28 augustus 2020
Project nr.: 10161923
Rapport nr.: OGNL.180411

Geschreven door:



Beoordeeld door:



Goedgekeurd door:



T. Wingerden – Project Manager

Albert van den Noort

Albert van den Noort

Versie	Datum	Reden voor uitgave	Auteur	Beoordeeld	Goedgekeurd
1	28 augustus 2020	Definitieve versie	T. Wingerden	A. van den Noort	A. van den Noort

DNV GL Netherlands B.V.

Inhoud

SAMENVATTING.....	2
Anleiding en totstandkoming van dit onderzoek	5
1 INLEIDING.....	6
2 UITGANGSPUNTEN EN BASISGEGEVENS.....	9
2.1 Energieverbruik van een gemiddelde woning in het Schilderskwartier	9
2.1.1 Woningbestand	9
2.1.2 Woningkenmerken	11
2.1.3 Resultaten voor verschillende isolatiemaatregelen	12
2.2 Plaats van de ketel en veiligheid	14
2.3 Waterstofopslag	15
2.4 Scenario's	15
2.4.1 Conventioneel aardgas en elektriciteit (scenario 1)	16
2.4.2 Conventioneel met groene stroom (scenario 2)	16
2.4.3 All Electric met groene stroom (scenario 3)	17
2.4.4 Waterstof in plaats van aardgas (scenario 4)	17
2.4.5 Hybride warmtepomp met waterstof (scenario 5)	18
2.5 Toekomstige ontwikkelingen	18
3 RESULTATEN.....	20
3.1 Methode van berekening van de kosten	20
3.2 Resultaten voor een rijtjeshuis uit de periode '65- '85	20
3.2.1 Isolatie	23
3.2.2 Energierekening en investeringen	23
3.2.3 Kosten en CO ₂ -uitstoot van andere vormen van waterstof	27
3.3 Totale energievraag van het Schilderskwartier per scenario	28
4 BEANTWOORDING VRAGEN GEMEENTE	29
BIJLAGE A.....	33
Waterstof voor verwarming	33
BIJLAGE B.....	37
Overweging van de veiligheidsregio Utrecht	37
BIJLAGE C.....	38
Uitgangspunten, gegevens en bronnen	38
BIJLAGE D	46
Prijs van waterstof	46
BIJLAGE E.....	48
Prijs en prestatie van een elektrische warmtepomp	48

SAMENVATTING

De gemeente Woerden heeft DNV GL gevraagd een verkenning uit te voeren naar de energie-voorziening voor de wijk Het Schilderskwartier met waterstof als een belangrijke energiedrager. De aspecten van deze verkenning betreffen de technische, juridische en economische haalbaarheid van de inzet van waterstof. Om de resultaten van de verkenning vergelijkbaar te maken, is de inzet van waterstof vergeleken met de huidige situatie en met de mogelijke ombouw naar een all electric alternatief.

De uitkomsten zijn weergegeven als maatschappelijke kosten over een periode van dertig jaar. Er is voor maatschappelijke kosten gekozen omdat nog onbekend is welke regelingen, hoe zullen veranderen. Hierbij valt te denken aan subsidies, het verhogen of verlagen van belasting op energie of regulatorische maatregelen die de netbeheerder betreffen. Om de herkenbaarheid te vergroten is echter wel een schatting gemaakt van de toekomstige energierekening voor het meest voorkomende woningtype in de wijk voor 2030. De investeringen die door bewoners gedaan kunnen worden voor isolatie en nieuwe apparaten zoals zonnepanelen, warmtepomp, kooktoestel en/of ketel zijn ook geschat. Naast een financiële analyse zijn voor de verschillende scenario's ook het energieverbruik, de CO₂-uitstoot en de benodigde hectaren zonneweide of aantal windmolens berekend die nodig zijn om de benodigde energie duurzaam op te wekken.

Er is een aantal malen gesproken met de gemeente en er is driemaal overleg geweest met een aantal geïnteresseerde bewoners. Ook is gesproken met de veiligheidsregio Utrecht over de veiligheidsaspecten van de inzet van waterstof en met Stedin over de vergelijking met all-electric.

De aannames en uitgangspunten als ook de scenario's die in deze verkenning zijn gebruikt zijn gezamenlijk door een aantal betrokken buurtbewoners, de gemeente en DNV-GL bepaald.

Om de economische haalbaarheid te berekenen is een rekenmodel opgezet. Dit model is gebruikt om voor de verschillende woningtypen in de wijk een optimalisatie te bepalen tussen enerzijds meer isolatie en anderzijds de inzet van waterstof of elektriciteit voor verwarming. Het model is ook gebruikt om voor de gehele wijk (zowel de woningen en de voorzieningen (winkels, school, sportcentrum)) de energievraag te berekenen en de impact om dit lokaal op te wekken.

Uitgangspunt voor de verkenning is het huidige woningbestand. Voor de energetische kenmerken, zoals het huidige energieverbruik en isolatiegraad, is input geleverd door de bewoners en er is gebruik gemaakt van een uitgebreide landelijke studie naar de energievraag van woningen door RVO. Andere gegevens die gebruikt zijn in de studie, zijn zoveel mogelijk gebaseerd op recente en betrouwbare bronnen.

Er zijn in deze studie vijf scenario's beschreven:

Scenario 1. Huidige situatie met conventioneel aardgas en elektriciteit waarbij er geen aanpassingen zijn voor de netwerken.

Scenario 2. Huidige situatie met conventioneel aardgas maar met groene stroom. Ook hier blijven de netwerken onveranderd.

Scenario 3. All electric, met groene stroom. Hiervoor moet het elektriciteitsnetwerk worden verzaamd en het gasnet worden verwijderd.

Scenario 4. Waterstof (in plaats van aardgas) en groene stroom. De netwerken blijven hierbij onveranderd.

Scenario 5. Hybride warmtepomp met waterstof gestookt en groene stroom. Hier moet het elektriciteitsnetwerk worden verzaamd.

Hoewel de uitkomsten van de verkenning niet direct van toepassing zijn op de individuele woningen in het Schilderskwartier, zijn er voor de wijk op basis van de gegevens uit de genoemde RVO-studie de volgende uitkomsten berekend:

1. De optimale situatie tussen meer isolatie of de inzet van meer waterstof of elektriciteit voor verwarming varieert tussen de verschillende woningtypen. Het optimum is ook afhankelijk van de energiedrager.
2. Voor het meest voorkomende woningtype (een rijtjeswoning uit de periode '65-'85) zijn de energieverbruiken, maatschappelijke kosten, de CO2-uitstoot, de hoogte van de energierekening en de totale investering voor de vijf scenario's weergegeven in onderstaande tabel:

		Scenario's				
		1	2	3	4	5
		Huidige situatie (geen groene stroom)	Huidige situatie (groene stroom)	All electric	Groene waterstof ipv aardgas en stroom 2030	Hybride warmtepomp met waterstof
Omschrijving	Eenheid	2019	2019	2030	2030	2030
Elektriciteits-verbruik	(kWh/jaar)	3.400	3.400	5.211	1.230	2.842
Gas-verbruik	(kWh/jaar)	21.535	21.535			
	(Nm ³ /jaar)	2.204	2.204			
Waterstof-verbruik ¹	(kWh/jaar)				14.411	4.738
	(Nm ³ /jaar)				4.071	1.338
Maatschappelijke kosten	(€/30 jaar)	36.600	37.700	37.350	54.550	52.750
CO2-uitstoot	(Ton/jaar/woning)	3,6	2,9	0	0	0
Inschatting totaal van energie-rekening (incl. belasting)	€/jaar	2.467	Niet bepaald	979	3.215	1.704
Totaal investeringen voor eigenaar. (excl. BTW)	€	-	3.825	13.625	7.525	14.025

¹ De energie-inhoud van een Nm³ waterstof is ongeveer een-derde van een Nm³ aardgas



In de discussie met de Veiligheidsregio Utrecht is voorgesteld om ook rekening te houden met de mogelijkheid om de waterstofketel buiten de woning te plaatsen om veiligheidsredenen. Dit wordt pas duidelijk als er voldoende onderzoek is gedaan naar de consequenties van waterstof in de woning. De additionele kosten worden op € 100, - tot € 125, - per jaar per woning voor afschrijving en onderhoud geschat.

De waterstof kan worden geproduceerd uit groene stroom. Voor scenario's 4 en 5 is daarom uitgegaan van een zonneweide of windturbine(s) op afstand van het Schilderskwartier, waar ook een elektrolyser wordt geplaatst om de waterstof te maken uit water. Opslag van waterstof is niet meegenomen in deze verkenning. Naast deze "groene" waterstof is ook gerekend met waterstof uit fossiele bronnen, eventueel met CO₂-opslag (zogenaamde "grijze" en "blauwe" waterstof). Dit geeft rond 15% respectievelijk 10% lagere kosten (scenario 4) maar een aanzienlijke verhoging van de CO₂-uitstoot.

Om de elektriciteit voor het gehele Schilderskwartier op te wekken is er in dit onderzoek van uitgegaan iedere woning te voorzien van 10 zonnepanelen. Voor scenario 2 is daarnaast aanvullend 1 hectare zonneweide nodig, voor scenario 4 is dat 15 hectare. In plaats hiervan kan bij scenario 4 ook gekozen worden voor 1 windturbine van 3,9MW plus 7 hectare zonneweide.

Aanleiding en totstandkoming van dit onderzoek

Aanleiding van dit onderzoek naar waterstof als alternatief voor aardgas was de toezegging van de gemeente op de wijkinformatiebijeenkomst 30 oktober 2018 n.a.v. de terugkerende vraag van wijkbewoners of waterstof niet het beste alternatief voor aardgas is voor het Schilderskwartier. De twee redenen voor bewoners om dit te vermoeden waren:

- Uit eerdere onderzoeken bleek dat alternatieve warmte-oplossingen in de bodem afvallen vanwege de funderingsproblematiek. Het enige beschikbare alternatief op dat moment, een all-electric oplossing, vraagt aanzienlijke investeringen en aanpassingen in de woning.
- Op 15 okt. 2018 verzorgde Chris Hellinga (TU Delft) een presentatie over waterstof aan de klankbordgroep in het Schilderskwartier, geïnteresseerde wijkbewoners en een aantal leden van de gemeenteraad.

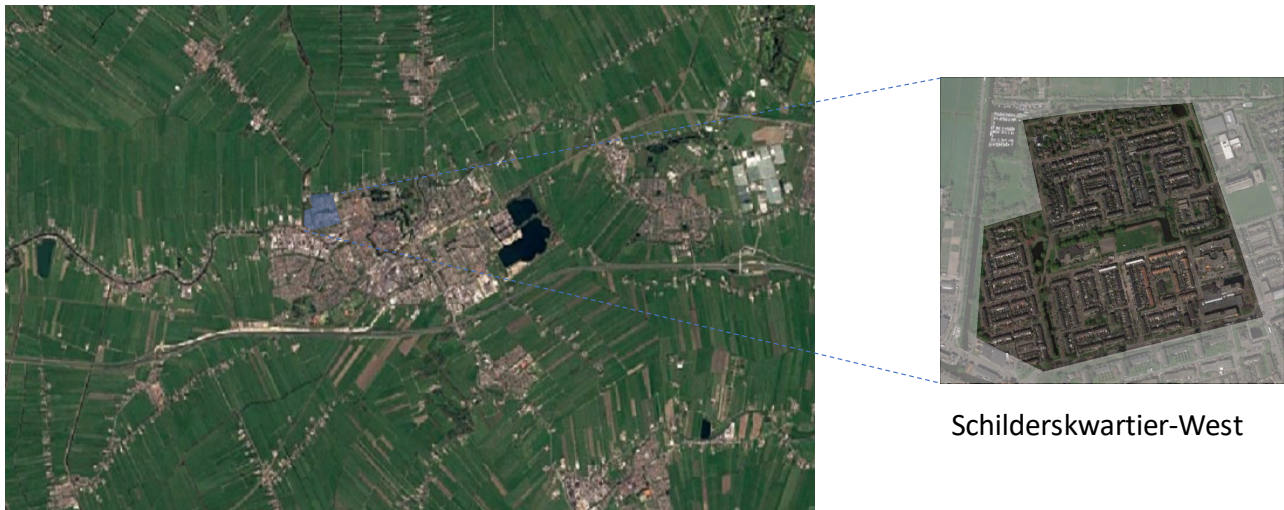
Dit onderzoek is tot stand gekomen met inbreng en advies van de volgende partijen: Wijkbewoners, netwerkbeheerder Stedin, Veiligheidsregio Utrecht (VRU), woningbouwcorporatie Groen West en de gemeente Woerden. Het onderzoek is uitgevoerd door onderzoeksbureau DNV-GL.

Hieronder in het kort het participatieproces van de verschillende stakeholders tijdens het tot stand komen van deze verkenning:

1. Onderzoeksvragen en mogelijke onderzoeksbureaus zijn verzameld in samenwerking met de klankbordgroep Schilderskwartier (bestaande uit ca. 20 betrokken wijkbewoners). Een viertal betrokken bewoners uit de klankbordgroep Schilderskwartier hebben het onderzoek verder mede begeleid.
2. Met dit bewonersgroepje, Groen West en Stedin is de keuze gemaakt voor bureau DNV-GL. (De offerte uitvraag met de onderzoeksvragen is naar drie onderzoeksbureaus gestuurd – twee bureaus hebben uiteindelijk een aanbieding gedaan.)
3. Veiligheidsregio Utrecht (VRU) is benaderd over dit onderzoek en gevraagd naar hun standpunt en aandachtspunten.
4. Tijdens vier overleggen met DNV-GL, bewoners en gemeente bepaalden wij samen de uitgangspunten, aannames en scenario's.
5. Stedin, de VRU, Groen West en het bewonersgroepje hebben hun inbreng geleverd op het concept-rapport.

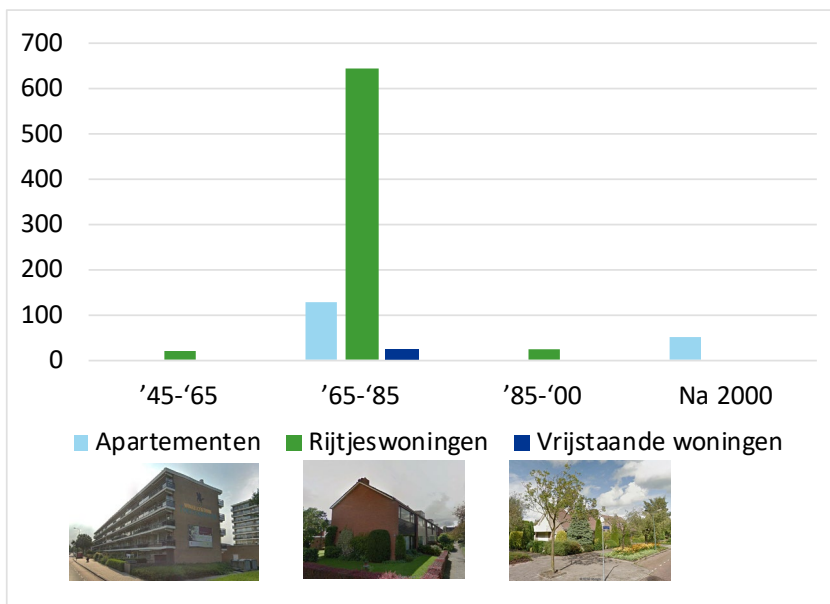
1 INLEIDING

Het westelijk deel van het Schilderskwartier is een woonwijk in de gemeente Woerden, in de provincie Utrecht. Een overzicht van de wijk is te zien in Figuur 1.



Figuur 1. Luchtfoto van Woerden en het Schilderskwartier (Bron: Google Earth Pro)

Er zijn 912 woningen; het grootste deel rijwoningen, enige gestapelde bouw en enkele vrijstaande woningen in zowel koop als sociale huursector. Een overzicht van het type woning en de bouwperiodes is gegeven in Figuur 2².



Figuur 2. Bouwjaarperiodes van de drie hoofdtype woningen in het Schilderskwartier

Daarnaast zijn er twee scholen, een winkelcentrum, een sporthal en er staat een kantoorgebouw.

In het gebied staat voor 2030 een vervanging van het aardgasnetwerk gepland. Daarom wordt er door de gemeente al sinds 2017 gecommuniceerd met de bewoners, zowel met huurders en eigenaar-bewoners, om te komen tot een aanpak voor een duurzaam alternatief voor aardgas.

² Aanvraag proeftuin aardgasvrije wijken Schilderskwartier, Woerden, Juni 2018.

Een voorwaarde bij het zoeken naar een passend alternatief voor aardgas is dat er rekening wordt gehouden met de funderings- en grondwaterproblematiek in het westelijk deel van het Schilderskwartier. De woningen in de wijk staan op houten palen. De houten palen staan nu droog en door de kleilaag komt er ook geen zuurstof bij, waardoor de palen goed blijven en niet rotten.

Graafwerkzaamheden kunnen deze fragiele situatie in de bodem verstoren. Het is dus wenselijk dat het aanleggen van een alternatieve energievoorziening zo min mogelijk grondwerkzaamheden met zich mee gaat brengen zodat de functie van de kleilaag behouden blijft.

In verschillende studies is onderzocht wat de implicaties zijn voor een duurzaam alternatief. Technisch kansrijk bleek een all-electric oplossing waarbij de woningen worden voorzien van een lucht-water-warmtepomp. Ook is gekeken naar warmte-koude-opslag in de bodem³, als een CO2-vrije oplossing voor de koude en warmtevraag van het winkelcentrum.

Uit deze studies is gebleken dat een all-electric oplossing aanzienlijk duurder is dan de huidige energielevering⁴.

Omdat Woerden ernaartoe werkt om een klimaatneutrale gemeente te worden is voor deze verkenning in overleg met de klankbordgroep besloten om uit te gaan van lokaal en duurzaam opgewekte waterstof, zogenaamde 'groene' waterstof (zie ook bijlage A).

Bewoners vroegen zich vervolgens af of waterstof een goede oplossing voor het westelijk deel van het Schilderskwartier zou zijn. Waterstof bevat geen koolstof en kan dus bij verbranding niet bijdragen aan het broeikas effect. Het is ook bekend dat het aardgasnet geschikt⁵ is om waterstof te transporteren en het net heeft een vrijwel gelijke capaciteit⁶.

Daarom is gemeente Woerden op initiatief van bewoners deze verkenning naar de mogelijkheden van waterstof als alternatief voor aardgas in het westelijk deel van het Schilderskwartier gestart.

De bewoners zijn erg betrokken bij hun wijk. Een aantal buurtbewoners hebben dan ook meegewerkt aan dit onderzoek: De aannames en uitgangspunten als ook de scenario's zijn samen door een aantal betrokken buurtbewoners, de gemeente en DNV-GL bepaald.

De gemeente Woerden heeft DNV GL gevraagd de mogelijke inzet van waterstof te bestuderen. De onderzoeksvragen waren de volgende:

Is het technisch, juridisch en economisch haalbaar om de wijk Schilderskwartier-West te verwarmen met lokaal geproduceerde groene waterstof, waarbij het gasnet wordt gebruikt voor levering aan de woningen? Zo ja

a. Wat is daarvoor nodig: Hoe wordt de groene waterstof geproduceerd?

b. Wat is daarvoor nodig: wat is de ruimtelijke impact in de omgeving en in de woning zelf, bij de inzet van waterstof?

c. Wat zijn de integrale kosten bij de inzet van waterstof, en hoe zijn deze kosten verdeeld over de verschillende actoren, bewoners, netbeheerder, woningcorporatie en gemeente?

d. Schaal: Is de overstap naar waterstof kostentechnisch haalbaar voor het Schilderskwartier? Is de wijk te klein? Vanaf hoeveel woningen is het rendabel?

³ Rapportage onderzoek aardgasvrije woningen VVE Tournoyveld, DWA, 17 oktober 2018; Rapportage onderzoek aardgasvrije en frisse Brede school Woerden, DWA, 17 oktober 2018; Rapportage onderzoek aardgasvrij winkelcentrum Tournoyveld, DWA, 15 augustus 2018.

⁴ Aanvraag proeftuin aardgasvrije wijken, Gemeente Woerden

⁵ Toekomstbestendige gasnetten, KIWA, 5 juli 2018 (https://www.netbeheernederland.nl/_upload/RadFiles/New/Documents/Kiwa%20-Toekomstbestendige%20gasdistributienetten%20-%20GT170272%20-%202018-07-05%20-D...pdf)

⁶ In het westelijk deel van het Schilderskwartier bestaat het net (voor een groot deel) uit asbestcement leidingen. Stedin en de andere netwerkbedrijven hebben een beleid ingevoerd waarbij dit materiaal en andere brosse materialen, zoals hard PVC en gietijzer, voor 2030 vervangen zullen moeten worden

- 
- e. *Wat is de onrendabele top⁷ bij de overstap naar waterstof? Wat zijn de onzekerheden hierin en hoe beïnvloeden die de onrendabele top?*
- f. *Wat betekent de overstap naar waterstof voor de energierekening van bewoners, vergeleken met de huidige situatie (doorgaan met aardgas)?*
- g. *Welke maatregelen moeten bewoners nemen om tot kostenoptimalisatie te komen (welke mate van isolatie, hybride warmtepomp?) Welke maatregelen zijn daarbij 'no regret' en zijn ook nodig voor de route all electric?*
- h. *Welke eventuele risico's zijn er bij het toepassen van waterstof? Zijn er gezondheidsrisico's, veiligheidsrisico's, geluidsoverlast, ...?*
- i. *Wat is de betekenis van de lokaal op te wekken duurzame energie voor het produceren van waterstof in vergelijking met all-electric?*
- j. *Tijd: Hoe ziet de planning van de juridische en technische realisatie tot uiterlijk 2030 in grote lijnen uit? Is de omschakeling naar waterstof haalbaar vóór 2030? Zo niet, wanneer is het dan waarschijnlijk wel haalbaar?*
- k. *Veiligheid: Welke veiligheidsaspecten spelen er bij de inzet van waterstof?*

In dit rapport worden deze vragen geadresseerd en zo goed mogelijk beantwoord. Soms is een definitief antwoord niet beschikbaar omdat er nog allerlei ontwikkelingen gaande zijn, zoals technische verbeteringen en nog te nemen besluiten over subsidies en dergelijke. Om wel een berekening te maken zijn een aantal aannames gedaan en uitgangspunten gekozen. Deze zijn te vinden in hoofdstuk 2 en in de bijlagen.

Het rapport is als volgt ingedeeld:

1. In hoofdstuk 2 worden de uitgangspunten en de basisgegevens van de economische berekeningen uiteengezet en welke waarden zijn gekozen en waarom. Ook worden hier de scenario's beschreven die een vergelijk mogelijk maken.
2. Daarna worden de resultaten gepresenteerd en besproken (hoofdstuk 3).
3. In hoofdstuk 4 worden de uitkomsten samengevat door de hierboven genoemde onderzoeksvragen (kort) te beantwoorden.

In bijlage A wordt in algemene termen uitgelegd wat het betekent om waterstof in te zetten voor de verwarming van woningen. De gebruikte gegevens en de bronnen voor deze gegevens staan in Bijlage C. In Bijlage D en Bijlage E worden de prijs van groene waterstof, respectievelijk de prijs van een warmtepomp (afhankelijk van de capaciteit) besproken.

Om de economische haalbaarheid en de kosten te bepalen is een berekeningsmodel opgezet. Om een zo juist mogelijke uitkomst te bepalen zijn met name de gebruikte invoergegevens erg belangrijk. Er is over de aanpak van het onderzoek en deze invoergegevens dan ook intensief overleg geweest met een aantal bewoners en de gemeente Woerden. Ook is er afstemming geweest met de Veiligheidsregio Utrecht.

⁷ Dit is hier geïnterpreteerd als het verschil in het totaal van de kosten en wat er nu voor energie wordt betaald.

2 UITGANGSPUNTEN EN BASISGEGEVENS

2.1 Energieverbruik van een gemiddelde woning in het Schilderskwartier

Een huishouden verbruikt energie. In het Schilderskwartier wordt, zoals in het overgrote deel (94%) van Nederland, gas gebruikt om het huis te verwarmen, warmwater te maken en te koken. Elektriciteit is nodig voor huishoudelijke elektrische apparaten. Het verbruik van gas voor verwarming is afhankelijk van het type huis (vrijstaand, twee-onder-één-kap, rijtjeshuis of appartement), de mate van isolatie (vaak samenhangend met het bouwjaar omdat de voorschriften voor isolatie strenger zijn geworden), de samenstelling van het huishouden en van het gedrag van de bewoners (thermostaatinstelling). Het verbruik van gas voor warmtapwater en voor koken is ook sterk afhankelijk van het aantal bewoners en hun gedrag en dat geldt ook voor het elektriciteitsverbruik.

De belangrijkste energievraag is nodig voor de verwarming van het huis⁸. Deze vraag kan verlaagd worden door het huis te isoleren. Om de kosten voor isolatie af te kunnen wegen tegen de uitgaven voor het vergroenen van de energievraag wordt een schatting gemaakt van het effect en de kosten van het toepassen van verschillende vormen van isolatie.

Hoewel de cijfers die in deze verkenning gepresenteerd worden nauwkeurig lijken, zijn deze slechts de uitkomsten van berekeningen waarbij vaak ook naar verschillen tussen opties wordt gekeken. Aangezien met name ook verschillen ertussen van belang zijn is er voor gekozen ze wel zo te laten zien. De absolute waarde is niet zo nauwkeurig.

Het hier berekende gasverbruik is een gemiddelde welke door RVO⁹ is uitgezocht voor de verschillende woningtypen voor een bepaalde bouwperiode. De besparing wordt berekend ten opzichte van een gemiddeld geïsoleerde woning. Deze getallen zullen dus afwijken van de individuele woningen in het Schilderskwartier. Dat is naast de kwaliteit van de isolatie mede afhankelijk van de efficiëntie van de installatie, de ingestelde binnentemperatuur, het aantal bewoners en andere individuele omstandigheden.

2.1.1 Woningbestand

Een huis verliest warmte door de vloer, de gevel, het dak en de ramen. Het warmteverlies is groter als het oppervlak groter is, de isolatie minder en het temperatuurverschil groter. De typen huizen in het Schilderskwartier verschillen in de oppervlakken (vloer, dak, gevels, ramen) en in mate van reeds aanwezige isolatie. Dat laatste wordt vooral bepaald door het bouwjaar. In hoeverre de bewoners al energiebesparende maatregelen hebben genomen is niet bekend. Er is daarom gebruik gemaakt van een grootschalige landelijke inventarisatie die rond 2011 heeft plaats gevonden¹⁰.

Huur- en koopwoningen worden in deze verkenning gelijk behandeld ondanks het feit dat er verschillen zullen bestaan voor bijvoorbeeld de gebruiksduur en afschrijvingstermijn.

⁸ Voor de meest voorkomende woning in het Schilderskwartier (rijtjeshuis gebouwd in de periode 1965 – 1985) bestaat 86% van de energievraag uit aardgas (2200 m³/jaar = 21500 kWh/jaar) en 14% (3400 kWh/jaar) uit elektriciteit.

⁹ RVO, "Voorbeeldwoningen 2011, Bestaande bouw"

¹⁰ <https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/4.%20Brochure%20Voorbeeldwoningen%202011%20bestaande%20bouw.pdf>

Het huizenbestand van het Schilderskwartier is als volgt gesegmenteerd¹¹:

Categorie	Type huis	Bouwperiode	Aantal
1	Rijteswoning	'45-'65	22
2	Vrijstaande woning	'65-'85	26
3	Rijteswoning ¹²	'65-'85	646
4	Appartement	'65-'85	129
5	Rijteswoning	'85-'00	26
6	Appartement	Na 2000	51
Totaal			900

Tabel A. Typering en aantallen van de woningen in het Schilderskwartier

¹¹ Bron: Figuur 3 uit "Aanvraag proeftuin aardgasvrije wijken Schilderskwartier Woerden 26 juni 2018". Dit aantal komt niet overeen met de 912 die ook in dit document wordt genoemd maar het verschil is klein (900 t.o.v. 912).

¹² Voor dit type woning zijn de verdere berekeningen uitgevoerd, omdat dit het meest voorkomende type is.

2.1.2 Woningkenmerken

Volgens de "Voorbeeldwoningen 2011, Bestaande bouw" van RVO worden voor deze zes categorieën, de kentallen gehanteerd¹³ zoals beschreven in Tabel B. De waarden voor "Gevels" en "Ramen" voor de categorie rijtjeswoning van '65 – '85 zijn, in overleg met bewoners aangepast aan de situatie in het Schilderskwartier, en gebaseerd op 9 m² hout, 11 m² spouwmuur en 33 m² ramen.

Categorie	Type huis	Bouw-periode	Vloer		Dak		Gevels		Ramen	
			Opp.	U-waarde ¹⁴	Opp.	U-waarde	Opp.	U-waarde	Opp.	U-waarde
			(m ²)	(W/m ² K)	(m ²)	(W/m ² K)	(m ²)	(W/m ² K)	(m ²)	(W/m ² K)
1	Rijtjeswoning ¹⁵	'45-'65	47	1,72	57,3	1,54	42,3	1,61	21,4	3,6
2	Vrijstaande woning ¹⁶	'65-'85	101	2,33	120,7	0,89	164,7	1,45	35,3	3,3
3	Rijtjeswoning ¹⁷	'65-'85	52	2,33	65,5	0,89	20	1,07	33	3,3
4	Appartement ¹⁸	'65-'85	-	-	-	-	21,2	1,45	21,3	3,65
5	Rijtjeswoning ¹⁹	'85-'00	56	0,36	56,1	0,36	49,9	0,36	21,8	2,15
6	Appartement ²⁰	Na 2000	-	-	-	-	24,7	0,36	15,8	2,13

Tabel B. Gehanteerde kenmerken van de type woningen in het Schilderskwartier.

Met deze gegevens kan worden berekend wat het gasverbruik voor verwarming is²¹. Zie Tabel D.

Daarnaast zijn er de verbruiken voor warmtapwater en koken. In deze studie wordt uitgegaan van de volgende Nederlandse gemiddelden:

Nr.	Verbruik	Hoeveelheid
1	Elektriciteit	3400 kWh/jaar
2	Warmtapwater	375 Nm ³ /jaar ²² (aardgas)
3	Koken	65 Nm ³ /jaar (aardgas)

Tabel C. Gehanteerde gemiddelden voor elektriciteitsverbruik en gas voor koken en warmtapwater.

De resultaten voor de vier woningtypen zijn samengevat in Tabel D.

¹³ Dit is een inventarisatie van het woningenbestand, inclusief gedeeltelijk genomen maatregelen.

¹⁴ De U-waarde is een maat voor de doorlaatbaarheid van de warmte. Bij isolatie wordt deze kleiner.

¹⁵ RVO publicatie "Voorbeeldwoningen 2011, Bestaande bouw": Tussenwoning, blz 39,

¹⁶ RVO publicatie "Voorbeeldwoningen 2011, Bestaande bouw": Blz 17

¹⁷ RVO publicatie "Voorbeeldwoningen 2011, Bestaande bouw": Tussenwoning, blz 41

¹⁸ RVO publicatie "Voorbeeldwoningen 2011, Bestaande bouw": Tussenwoning op middenlaag, blz 61

¹⁹ RVO publicatie "Voorbeeldwoningen 2011, Bestaande bouw": Tussenwoning, blz 45

²⁰ RVO publicatie "Voorbeeldwoningen 2011, Bestaande bouw": Tussenwoning op middenlaag, blz 65

²¹ Er wordt daarbij rekening gehouden met de gemiddelde temperatuur binnen en buiten, de duur van het stookseizoen, het omlaag zetten van de thermostaat gedurende de nacht, het rendement van de ketel en de energie-inhoud van het aardgas. Zie Bijlage A

²² Nm³ staat voor Normaal kubieke meter. Dit is de hoeveelheid gas die in een kubieke meter past bij 1 bar druk en 0 graden Celcius. Heel vaak wordt echter de N weggelaten en wordt gesproken over m³.

Categorie	Type huis	Bouw-periode	Gasverbruik voor verwarming [Nm ³ /jaar]	Gasverbruik voor koken en warmtapwater [Nm ³ /jaar]	Totaal [Nm ³ /jaar]
1	Rijteswoning ¹³	'45-'65	1.790	440	2.230
2	Vrijstaande woning ¹⁴	'65-'85	3.977	440	4.417
3	Rijteswoning ¹⁵	'65-'85	1.764	440	2.204
4	Appartement ¹⁶	'65-'85	618	440	1.058
5	Rijteswoning ¹⁷	'85-'00	599	440	1.039
6	Appartement ¹⁸	Na 2000	242	440	682

Tabel D. Gasverbruik van de 6 categorieën woningen.

De Vereniging Eigen Huis²³ hanteert de volgende kentallen voor isolatie-maatregelen:

Onderdeel	U-waarde ²	Rc-waarde	Prijs [€/m ²]	Prijs (excl. BTW) [€/m ²]
Dakisolatie	0,36	2,53	60,-	49,59
Spouwmuurisolatie	0,36	2,53	19,-	15,70
Vloerisolatie	0,36	2,53	32,50	26,86
HR-glas	1,80		165,-	136,36

Tabel E. Kentallen voor isolatie

2.1.3 Resultaten voor verschillende isolatiemaatregelen

Voor elk woningtype kan gekozen worden voor het isoleren van vloer, gevels, dak en/of ramen. De investeringen volgen uit het oppervlak (Tabel B) en de kosten per m² (Tabel E). De besparing kan berekend worden uit het verschil in warmteverliezen, met en zonder extra isolatie. De resultaten staan in de tabel²⁴ hieronder.

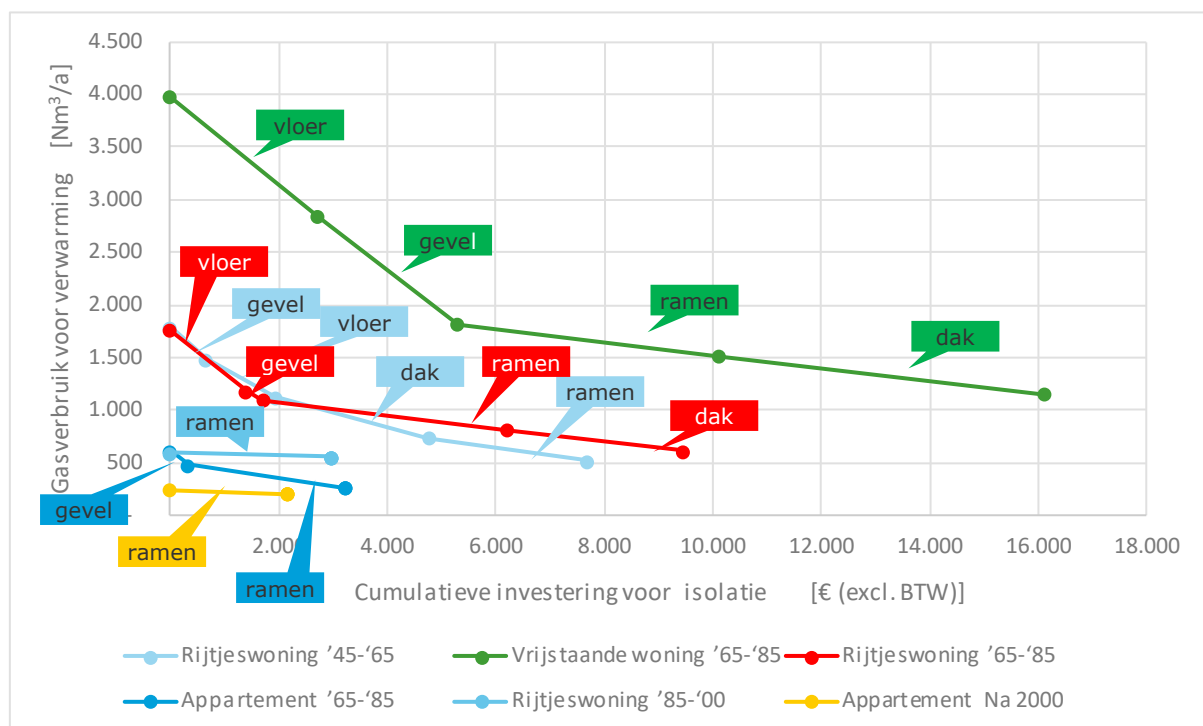
Categorie	Type huis	Bouw-periode	Vloer		Dak		Gevels		Ramen	
			Investering	Besparing	Investering	Besparing	Investering	Besparing	Investering	Besparing
			(€)	(Nm ³ /jaar)	(€)	(Nm ³ /jaar)	(€)	(Nm ³ /jaar)	(€)	(Nm ³ /jaar)
1	Rijteswoning	'45-'65	1.262	364	2.842	385	664	301	2.918	219
2	Vrijstaande woning	'65-'85	2.713	1.133	5.986	364	2.586	1.023	4.814	302
3	Rijteswoning	'65-'85	1.397	584	3.248	198	314	81	4.500	282
4	Appartement	'65-'85	-	-	-	-	333	132	2.904	224
5	Rijteswoning	'85-'00	-	-	-	-	-	-	2.973	43
6	Appartement	Na 2000	-	-	-	-	-	-	2.154	30

Tabel F. Kosten en besparingen in gasverbruik van isolatie van vloer, dak, gevels en ramen.

²³ <https://www.eigenhuis.nl/onderhoud/prijzenindicator/isolatie>

²⁴ De investeringen zijn exclusief BTW

In Figuur 3 zijn deze resultaten voor ieder van de zes categorieën, geordend naar efficiency van de maatregel (zoals berekend in deze verkenning) weergegeven²⁵.



Figuur 3. Kosten en vermindering van het gasverbruik voor verwarming (excl. gasverbruik voor warm tapwater en koken) door isolatiemaatregelen.

De ketel of warmtepomp moet groot genoeg zijn om ook bij een strenge winter het huis warm te krijgen. Deze kan worden berekend door uit te gaan van de laagste mogelijke buitentemperatuur. Er is gerekend met -20°C²⁶.

De benodigde berekende capaciteiten van de ketel voor verwarming²⁷ staan in Tabel G. Hierin zijn voor ieder van de zes type woningen en bouwperiode de isolatiemaatregelen in volgorde van effectiviteit neergezet. Er is dan een kleinere warmtepomp (of een ketel²⁸) nodig.

Voorbeeld:

Voor de rijtjeswoningen gebouwd in de periode van '65 tot '85 is nu een warmtepomp met een capaciteit van 13,6 kW nodig. Na het aanbrengen van vloerisolatie is dat nog 9,1 kW, na ook gevelisolatie nog 8,5 kW, na ook HR-glas geplaatst te hebben nog 6,3 kW en na tenslotte ook het dak geïsoleerd te hebben is nog slechts 4,8 kW nodig.

²⁵ Uit Tabel F is bijvoorbeeld voor de rijtjeshuizen '65-'85 (de rode lijn) af te leiden dat vloerisolatie het meest effectief is, gevolgd door gevelisolatie, toepassen van HR-glas en tenslotte dakisolatie.

²⁶ Sinds 1-1-2000 is de laagste gemeten temperatuur in De Bilt -18,8 °C.

²⁷ Daarnaast is er nog het warmwaterdeel en afhankelijk van het type ketel is er een warmwaterboiler aan toegevoegd en/of meer capaciteit en/of een geiser.

²⁸ Er zijn echter geen ketels met kleine capaciteit beschikbaar. De capaciteit wordt vaak uitgelegd voor het maken van warmwater terwijl voor verwarming de ketel op- en af kan regelen (modulaire ketel). Een warmtepomp heeft daarom een buffervat voor warmwater.

Rijteswoning '45-'65		Vrijstaande woning '65-'85		Rijteswoning '65-'85		Appartement '65-'85		Rijteswoning '85-'00		Appartement Na 2000	
Isolatie- maatregel	Benodigde capaciteit	Isolatie- maatregel	Benodigde capaciteit	Isolatie- maatregel	Benodigde capaciteit	Isolatie- maatregel	Benodigde capaciteit	Isolatie- maatregel	Benodigde capaciteit	Isolatie- maatregel	Benodigde capaciteit
	kW		kW		kW		kW		kW		kW
Geen	13,8	Geen	30,6	Geen	13,6	Geen	4,8	Geen	4,6	Geen	1,9
Gevel	11,4	Vloer	21,9	Vloer	9,1	Gevel	3,7	Ramen	4,3	Ramen	1,6
+ vloer	8,6	+ gevel	14,0	+ gevel	8,5	+ ramen	2,0				
+ dak	5,7	+ ramen	11,7	+ ramen	6,3						
+ ramen	4,0	+ dak	8,9	+ dak	4,8						

Tabel G. Berekende capaciteiten voor de ketel of warmtepomp voor ieder van de zes typen woningen, als de meest effectieve isolatie-maatregelen achtereenvolgens genomen worden.

2.2 Plaats van de ketel en veiligheid

In de discussie met de Veiligheidsregio Utrecht is voorgesteld (zie Bijlage B) om de waterstofketel buiten de woning te plaatsen.

Er wordt intensief onderzoek gedaan naar de veiligheidsaspecten van de inzet van waterstof in woningen, maar aangezien de uitkomsten en aanbevelingen daaruit nog niet beschikbaar zijn is met de Veiligheidsregio Utrecht afgesproken om de mogelijkheid om de ketel buiten de woning te plaatsen mee te nemen in het onderzoek. Een dergelijke oplossing wordt ook gekozen indien er in (oudere) woningen geen ruimte is voor een cv-ketel. Dit is bijvoorbeeld het geval in oude flats. In Figuur 4 is een voorbeeld van een dergelijke kast te zien. Met de gegevens van Renoparts worden de additionele kosten op € 100, - tot € 125, - per jaar per woning geschat.

Het standpunt van de VRU luidt²⁹:

De Veiligheidsregio Utrecht heeft een positieve grondhouding ten opzichte van de alternatieve energiedragers in het kader van de energietransitie. Specifiek voor waterstof als energiedrager deelt de VRU het standpunt van het Kiwa dat nader veiligheidsonderzoek noodzakelijk is. In het kader van uw onderzoek adviseer ik u de veiligheidsrisico's van het gebruik van waterstof zowel binnen als buiten de woning mee te nemen en af te wegen ten opzichte van een all-electric alternatief voor het Schilderskwartier.

²⁹ Dit is verwoord in een email van de VRU aan de gemeente, dd.23-7-2019. Zie ook Bijlage B



Figuur 4. CV-kast op het balkon (bron: Renoparts)

2.3 Waterstofopslag

Opslag van waterstof wordt niet meegenomen in deze verkenning.

2.4 Scenario's

Er worden voor de wijk vier toekomstsituaties beschreven. Deze worden vergeleken met de huidige situatie. In totaal worden dus vijf scenario's beschreven:

Scenario 1. Conventioneel aardgas en elektriciteit. De netwerken blijven dezelfde⁵.

Scenario 2. Conventioneel aardgas maar met groene stroom. De netwerken blijven dezelfde⁵.

Scenario 3. All electric, met groene stroom. Hier moet het elektriciteitsnetwerk worden verzwakt en het gasnet worden verwijderd.

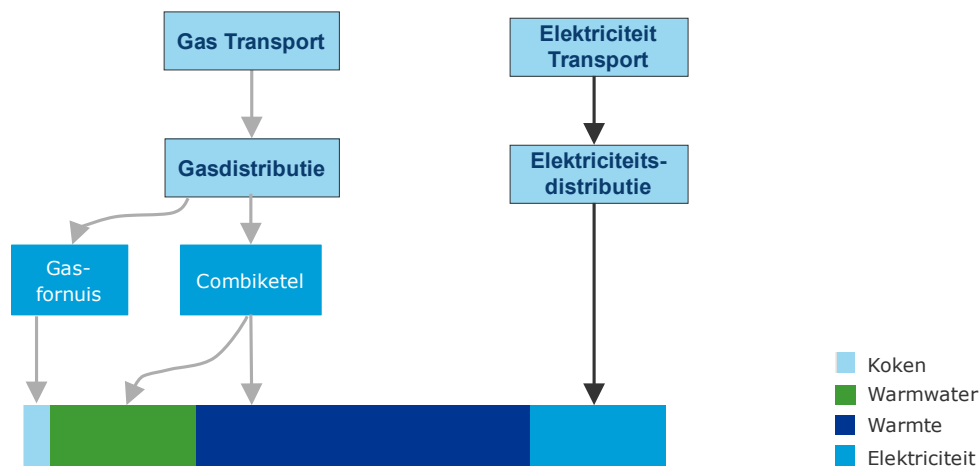
Scenario 4. Waterstof (in plaats van aardgas) en groene stroom. De netwerken blijven dezelfde⁵.

Scenario 5. Hybride warmtepomp met waterstof gestookt en groene stroom. Hier moet het elektriciteitsnetwerk worden verzwakt.

In alle vier toekomstscenario's wordt ervan uitgegaan dat er op elk dak van elke woning 10 zonnepanelen zijn aangebracht. De groene stroom die hiermee wordt geproduceerd vermindert de elektriciteit die moet worden ingekocht³⁰. Als er meer wordt geproduceerd dan verbruikt dan wordt aangenomen dat er minder grijze stroom geproduceerd wordt. Deze vermindering wordt toegerekend aan de maatregelen in het Schilderskwartier.

³⁰ Dit kan zowel van de landelijke elektriciteitsproductie als van lokaal opgewekt door in eigen beheer genomen windturbines of zonneparken.

2.4.1 Conventioneel aardgas en elektriciteit (scenario 1)



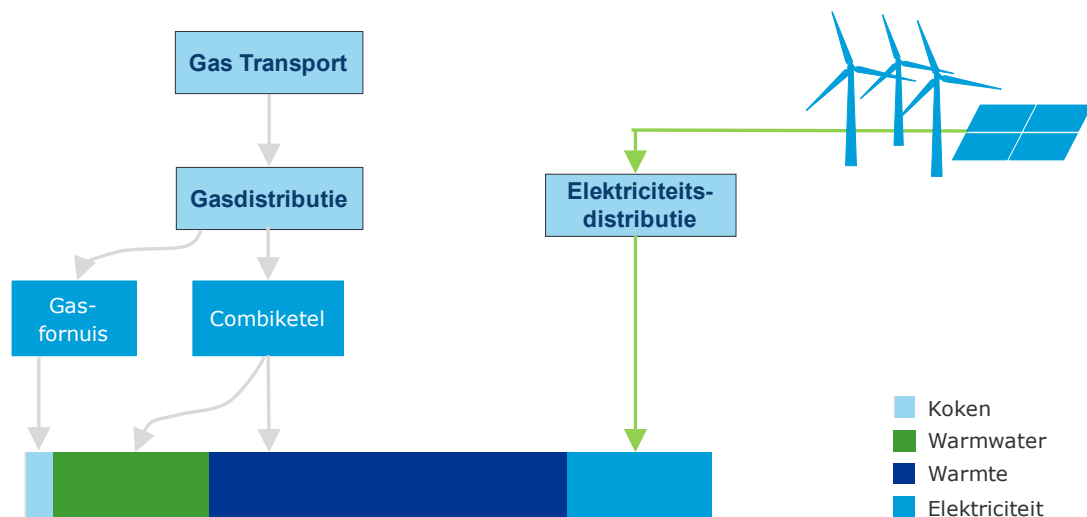
Figuur 5. Energievoorziening voor de huidige situatie.

In Figuur 5 wordt de huidige situatie gegeven. De elektriciteitsvraag wordt gedekt met elektriciteit dat door het hoogspanningsnet van Tennet en het distributienet van Stedin wordt aangevoerd en is opgewekt in kolen- en gascentrales en voor een beperkt gedeelte door wind en zon. Warmwater en verwarming worden gevoed uit een combiketel waarin aardgas wordt verbrand dat door het hogedruknet van Gasunie en het gasdistributienet van Stedin wordt aangevoerd. Er wordt op aardgas gekookt.

2.4.2 Conventioneel met groene stroom (scenario 2)

Als variatie in de huidige situatie wordt geen grijze stroom ingezet maar lokaal opgewekte groene stroom.

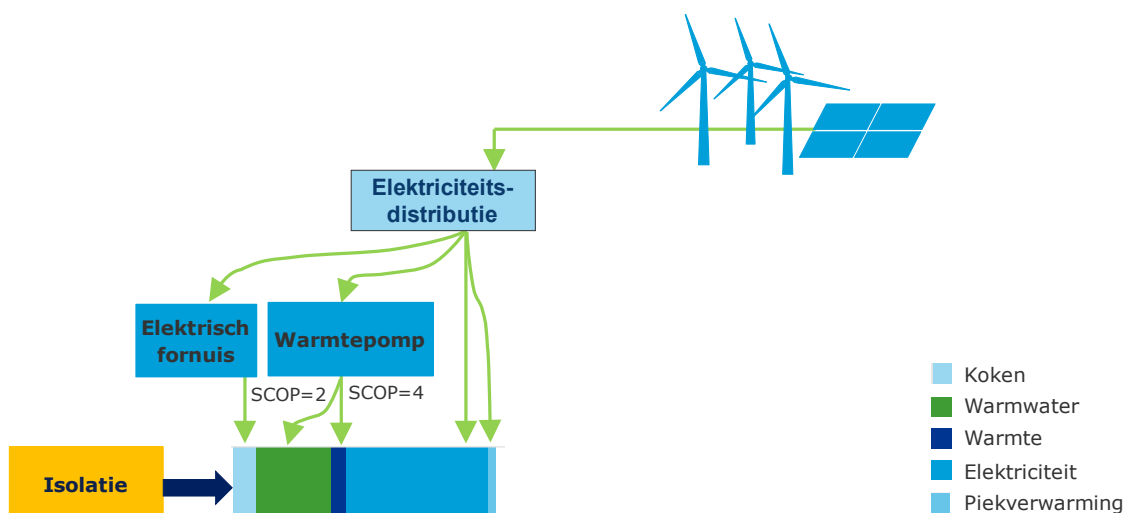
Dit is weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6. Conventionele situatie maar met lokaal opgewekte groene stroom.

2.4.3 All Electric met groene stroom (scenario 3)

In Figuur 7 is weergegeven hoe de situatie is als verwarming en warmwater door een elektrische warmtepomp worden verzorgd. Er wordt een isolatie toegepast (zie Tabel F) om de elektriciteitsvraag en de warmtepomp klein te houden. Het elektriciteitsnet wordt verzwakt en het gasnet verwijderd.



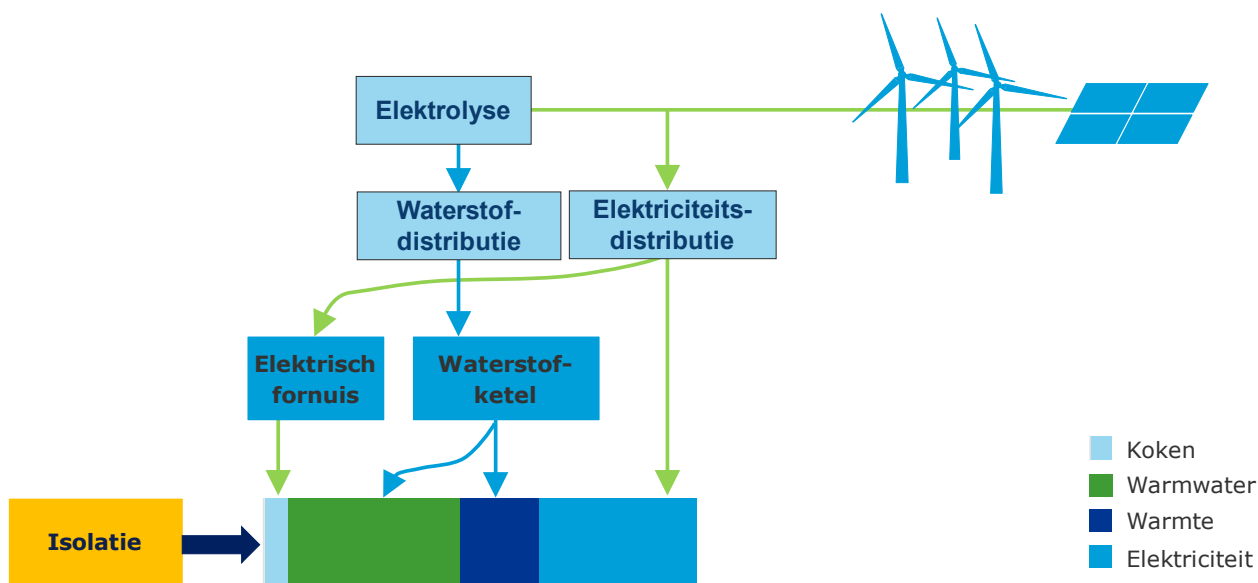
Figuur 7. All electric situatie met lokaal opgewekte groene stroom (zie Bijlage E).

2.4.4 Waterstof in plaats van aardgas (scenario 4)

In dit scenario wordt de cv-ketel vervangen door een ketel die waterstof verbruikt. Deze ketels zijn al beschikbaar maar nog niet op de markt. De keus is nog beperkt.

Zoals aangegeven in Bijlage A is de vlam onzichtbaar en er wordt in dit scenario daarom verondersteld dat er elektrisch wordt gekookt. De volledige configuratie is weergegeven in Figuur 8.

Het elektriciteits- en gasnet blijven gelijk⁵.



Figuur 8. Situatie waarin de CV-ketel door waterstof wordt gevoed.

Naast de mogelijkheid om te investeren in lokaal geproduceerde groene waterstof, bestaat ook de mogelijkheid om grijze of blauwe waterstof in te kopen. Dat resulteert in lagere kosten maar hogere

CO₂-uitstoot (zie Tabel H).

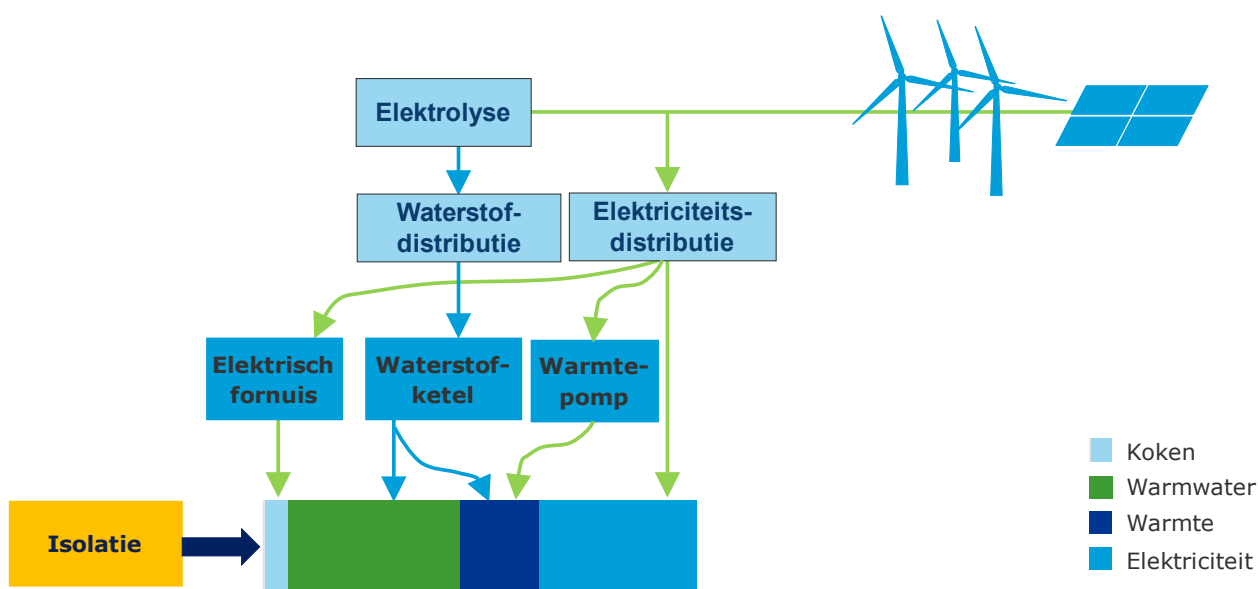
Dit geeft drie subscenario's: 4 groen, 4 blauw en 4 grijs.

2.4.5 Hybride warmtepomp met waterstof (scenario 5)

In deze situatie wordt de basislast van de warmtevraag gedekt door een kleine elektrische warmtepomp en het warmwater en de piekverwarming verzorgd door een waterstof cv-ketel. Er wordt elektrisch gekookt. Deze situatie is weergegeven in Figuur 9.

Het elektriciteitsnet wordt verzaamd en het gasnet blijft gelijk⁵.

Ook hier zijn 3 subscenario's: 5 groen, 5 blauw en 5 grijs.



Figuur 9. Situatie met een hybride warmtepomp.

2.5 Toekomstige ontwikkelingen

Er worden voor het invullen van de energietransitie nieuwe technologieën en apparaten ontwikkeld. Verwacht mag worden dat deze in de loop van de tijd goedkoper zullen worden. Dit is het effect van verdere innovaties en grootschalige productie.

In deze verkenning wordt gerekend met de volgende ontwikkelingen in 2030³¹:

1. De elektrolyser verbetert sterk:
 - a. De prijs daalt van € 1000,-/kW naar € 350,-/kW (Dit wordt ook zo benoemd in het Energie-akkoord)
 - b. De efficiency verbetert van 65% naar 75%
 - c. De levensduur van elektrolyse-stack (het hart van het apparaat) stijgt van 40.000 naar 80.000 uur.

³¹ Voor de bronnen zie Bijlage C.

- 
2. Verlaging van de prijs van de warmtepomp: 30% minder in 2030
 3. Verhoging van de SCOP³² van de lucht-waterwarmtepomp van 4 naar 5
 4. Verhoging van de SCOP van de hybride warmtepomp van 5 naar 6
 5. Verlaging van de prijs van de waterstofketel: 30% minder in 2030
 6. Verlaging van de prijs van groene stroom van 5 ct/kWh naar 3,5 ct/kWh
 7. Verlaging van de prijs van zonnepanelen met 15%

De aangekondigde stijging van de aardgasprijs is hier niet meegenomen omdat dat een belastingmaatregel is (en dus buiten de maatschappelijke kosten valt). In de schatting van de energierekening (zie Tabel I) is dit echter wel meegenomen.

³² Zie Bijlage E

3 RESULTATEN

De berekeningen zijn uitgevoerd met een groot aantal invoergegevens. Een groot aantal zijn al in dit rapport opgenomen, met name in tabellen. In bijlage B zijn ze samengevoegd. De prijs van waterstof en van een elektrische warmtepomp (afhankelijk van de capaciteit) worden nader besproken in Bijlage D en Bijlage E.

3.1 Methode van berekening van de kosten

Voor de verduurzaming van de energievoorziening zijn aanzienlijke investeringen nodig. Het is op dit moment niet te voorzien hoe de transitie bekostigd zal gaan worden, welke belastingen verlaagd of verhoogd zullen worden en welke subsidies beschikbaar komen. De vergelijking die in dit hoofdstuk wordt gemaakt is gebaseerd op maatschappelijke kosten. Hoe deze in de toekomst over de verschillende partijen verdeeld gaan worden is nu nog niet bekend.

De maatschappelijke kosten bestaan uit vier posten:

1. Energiekosten. Dit zijn de kosten van een Nm³ aardgas, een kWh elektriciteit of een kg waterstof³³.
2. Onderhouds- en bedrijfsvoeringkosten van de netwerken^{34 35} en de apparatuur.
3. Afschrijvingen. Deze worden bepaald door de aanschafprijs van een toestel, netwerkcomponent, isolatiemaatregel etc., en de levensduur (afschrijvingstermijn).
4. Vergoeding voor de inzet van kapitaal. De toezichthouder ACM heeft deze voor de netwerkbedrijven voor de komende jaren (gemiddeld) vastgesteld op 3,48%. Voor privé-investeringen van de bewoner wordt gerekend met 2%³⁶.

3.2 Resultaten voor een rijtjeshuis uit de periode '65- '85

Zoals in Figuur 2 te zien is zijn, rijtjeshuizen gebouwd in de periode tussen 1965 en 1985, de grootste groep woningen in het Schilderskwartier. Een dergelijke woning verbruikt nu ongeveer 2.200 Nm³/jaar aardgas en 3400 kWh elektriciteit (zie Tabel C en Tabel D). De berekeningen zijn uitgevoerd voor de verwachte situatie in 2030.

Zoals beschreven in 2.4.1 t/m 2.4.5 zijn er 5 scenario's berekend:

Scenario 1. Conventioneel aardgas en elektriciteit.

Scenario 2. Conventioneel aardgas maar met groene stroom.

Scenario 3. All electric, met groene stroom.

Scenario 4. Waterstof in plaats van aardgas en groene stroom.

Scenario 5. Hybride warmtepomp met waterstof gestookt en groene stroom.

Daarnaast zijn de volgende variabelen mogelijk:

³³ In feite zijn deze kosten ook opgebouwd uit investeringen, onderhouds- en bedrijfsvoeringkosten etc.

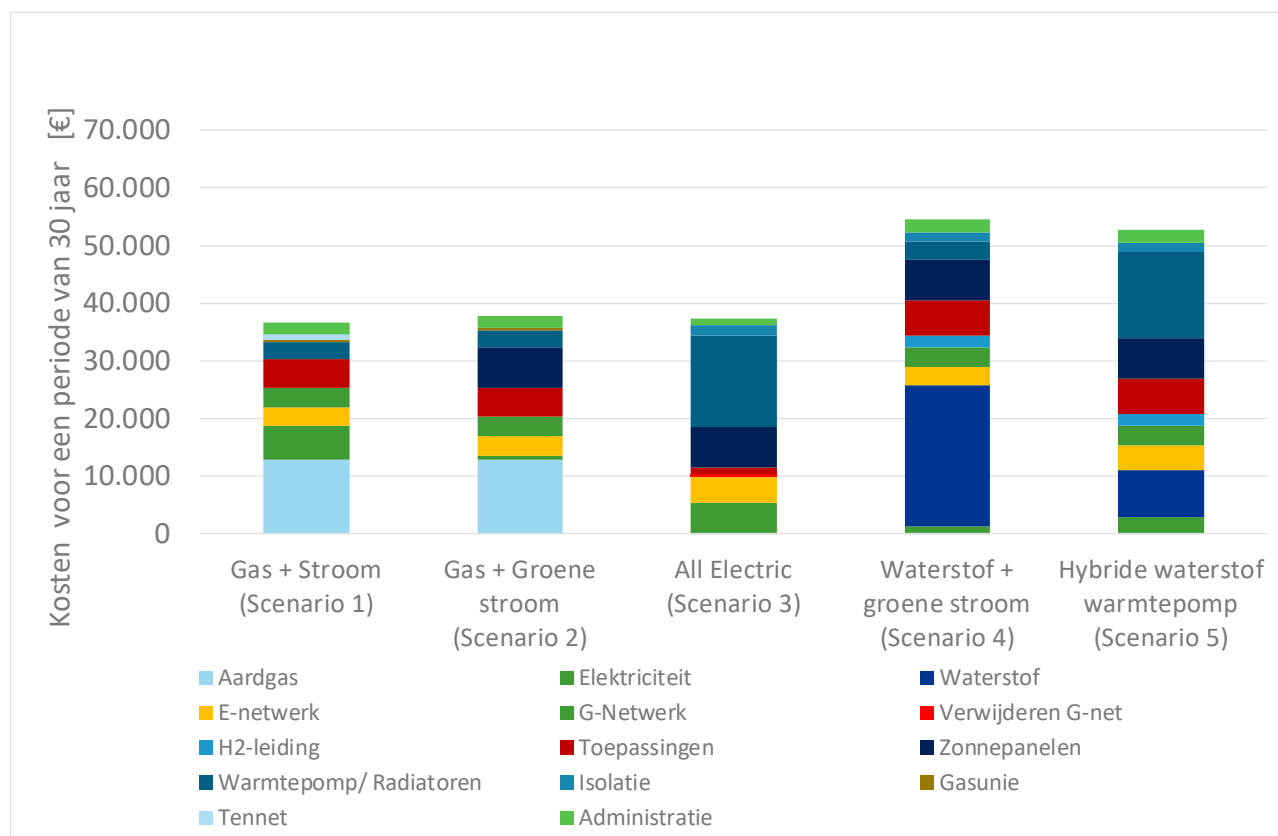
³⁴ De netwerkkosten zijn in Nederland gereguleerd. Deze regulering wordt uitgevoerd door de toezichthouder ACM. Op grond daarvan betaalt iedere op het netwerk aangeslotene een vergelijkbaar tarief, dat onafhankelijk is van de plaats in, de leeftijd van of de grootte van het netwerk. Een (eventuele) plaatselijke vervanging heeft dus geen financiële gevolgen.

³⁵ Voor de all-electric optie zijn de kosten inclusief de verwijderingskosten van het gasnet.

³⁶ Dit is gebaseerd op de rentes van de Energiebespaarleningen. De rentepercentages zijn afhankelijk van de grootte van het bedrag en variëren van 1,4 tot 2,1% Vaak zijn ze ook fiscaal aftrekbaar.

1. Welke isolatiemaatregelen zijn genomen: vloer, gevels, dak en/of ramen.
2. De productiemethode van waterstof: groen, blauw of grijs
3. De plaats van de waterstofketel: buiten in een kast of binnen

In Figuur 10 zijn de uitkomsten gepresenteerd voor de uitgangspunten in 2030 (zie 2.5), waarbij er vloerisolatie en gevelisolatie is toegepast. De waterstof wordt gemaakt uit duurzame elektriciteit (groene waterstof). De waterstofketel is binnen opgehangen op de plaats van de oude aardgasketel.



Figuur 10. Totale maatschappelijke kosten van de 5 scenario's voor een rijtjeshuis ('65-'85) over een periode van 30 jaar.

Voor **scenario 1** zijn de totale kosten € 34.400, - voor de periode van 30 jaar. De belangrijkste posten daarin zijn het aardgas, de elektriciteit en de netwerkkosten voor beide energiedragers. Daarnaast zijn er de kosten voor de toepassingen (cv-ketel en gasfornuis), isolatie en de overige netwerkkosten (Tennet, Gasunie en administratie).

De uitstoot van CO₂ is 3,6 ton per jaar/woning.

Voor **scenario 2** wordt groene stroom ingezet in plaats van grijze stroom en aardgas. Er zijn 10 zonnepanelen op het dak gelegd. De elektriciteit is nu een kleinere kostenpost omdat de zonnepanelen groene stroom produceren. Er wordt vanuit gegaan dat Woerden alle groene stroom zelf levert en er zijn dus geen kosten voor Tennet³⁷. De totale kosten zijn € 35.500, - voor de periode van 30 jaar.

De uitstoot van CO₂ is 2,9 ton per jaar.

³⁷ Omdat er geen opslag in de verkenning is meegenomen is het probleem van de energie voorziening in windloze nachten niet zeker.

De all electric situatie (**scenario 3**) draagt geen kosten meer voor aardgas of het aardgasnetwerk, m.u.v. de verwijderingskosten van het aardgasnetwerk. Een belangrijke nieuwe post zijn de kosten van de warmtepomp en de lage temperatuur radiatoren. Het totaal is € 37.300, -. Er is geen CO₂-uitstoot.

De inzet van groene waterstof in plaats van aardgas (**scenario 4**) geeft een aanzienlijke kostenstijging ten opzichte van all electric. Per kWh is waterstof dan ook bijna 60% duurder. Hoewel de elektrische warmtepomp een aanzienlijke investering vereist, moet er voor de inzet van waterstof nog wel een distributienet gebruikt worden en moet een waterstof-ketel worden aangeschaft. Het totaal is € 54.600, -. Er is geen CO₂-uitstoot. Het vervangen van het aardgasnet zorgt niet voor extra kosten omdat deze nu ook al in de netwerkkosten zijn opgenomen.

De combinatie van een kleine elektrische warmtepomp voor de basislast voor verwarming en stoken op waterstof in een ketel voor warmwater en de piekvraag in de winter (**scenario 5**), geeft iets lagere kosten. Hoewel er extra apparatuur nodig is (een ketel en een warmtepomp) weegt de reductie van waterstof daar tegenop. Het totaal is € 52.800, - voor de periode van 30 jaar. Er is geen CO₂-uitstoot.

In Tabel H zijn de CO₂-emissies voor de 5 scenario's weergegeven

Scenario	Omschrijving	Elektriciteits- verbruik (kWh/jaar)	Gas- verbruik (kWh/jaar)	Waterstof- verbruik (kWh/jaar)	Kosten (€/30 jaar)	CO ₂ -uitstoot Ton/jaar/woning
1	Scenario 1 (geen groene stroom)	3400	21.535		36.600	3,6
2	Scenario 2 (groene stroom)	3400	21.535		37.700	2,9
3	All electric	5211			37.350	0
4	Groene waterstof ipv aardgas en stroom	1230		14.411	54.550	0
5	Hybride warmtepomp met waterstof	2842		4.738	52.750	0

Tabel H. Overzicht van de CO₂-uitstoot voor de 5 scenario's.

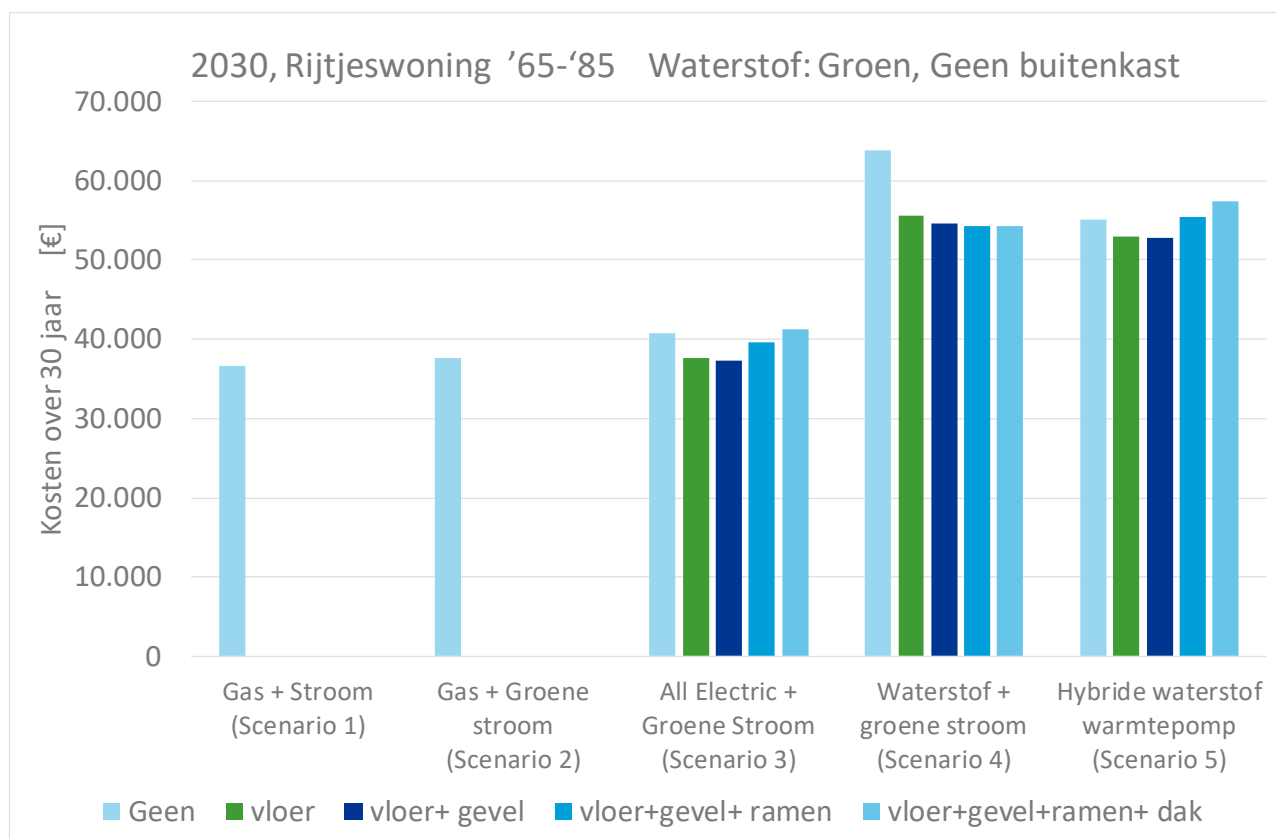
3.2.1 Isolatie

Als er meer isolatie wordt toegepast dan verlaagt dat het verbruik van gas, stroom of waterstof. Het is echter de vraag in hoeverre dat opweegt tegen de extra kosten. Voor de rijtjeshuizen uit '65 – '85 is in Figuur 11 uitgewerkt wat de invloed is van verdere maatregelen. Daarin is voor ieder van de 5 scenario's de invloed van meer isolatie op de totale kosten berekend.

Voor de eerste twee scenario's wordt geen isolatie toegepast. In scenario 3 (all electric) blijkt dat het toepassen van vloer en gevelisolatie de optimale keuze is.

Zoals te verwachten was, omdat de inzet van groene waterstof duur is, heeft het in het vierde scenario zin om ook de ramen en het dak verder te isoleren, maar het verschil is klein.

Voor de hybride oplossing leidt verdere isolatie tot hogere kosten. Dat komt omdat er zowel een ketel als een warmtepomp nodig zijn en dat bij het kleiner worden van ketels en warmtepompen de aanschafkosten niet sterk dalen.



Figuur 11. De invloed op de totale kosten door verdere isolatie voor 2030.

3.2.2 Energierekening en investeringen

De huidige energierekening die een bewoner moet betalen bestaat uit veel verschillende posten, welke op veel verschillende manieren zijn opgebouwd.

Er moet betaald worden voor:

1. De kubieke meters gas en het aantal kWh's voor elektriciteit. Dit is momenteel rond 40% van de rekening. Deze zijn gedeeltelijk "vast" en gedeeltelijk "variabel". Op de rekening vallen deze onder het kopje "Leveringskosten".

- 
2. De kosten van de netwerken. Dat zijn er vier:
 - a. Hoogspanningsnet van Tennet
 - b. Distributienet voor elektriciteit van Stedin
 - c. Hogedruk gasnet van Gasunie
 - d. Gasdistributienet van Stedin

Op de rekening vallen deze onder het kopje "Netbeheerkosten".

3. Energiebelasting, deze wordt verlaagd door de post "Vermindering energiebelasting".
4. Bijdrage voor duurzame energie. Deze vallen onder het kopje "ODE" of "Opslag Duurzame Energie".
5. BTW (21%)

Op de volgende bladzijde (Tabel I) is een inschatting gemaakt van de huidige (scenario 1) en de toekomstige energierekening van een rijtjeshuis uit de periode '65-'85³⁸. Natuurlijk is dit niet exact te bepalen omdat het beleid, mogelijke subsidies en de methode van doorrekening van kosten nog onbekend zijn. De scenario's 3, 4 en 5 zijn gebaseerd op een isolatie van de vloer en de gevel zoals is aangegeven in 3.2.1.

³⁸ Zonder inflatie correctie



	Huidige situatie (geen extra isolatie) (Scenario 1) 2019			All electric (optimaal geïsoleerd+ 10 zonnepanelen) (Scenario 3) 2030			Waterstof (optimaal geïsoleerd + 10 zonnepanelen) (Scenario 4) 2030			Hybride warmtepomp (optimaal geïsoleerd+ 10 zonnepanlen) (Scenario 5) 2030		
Energierekening												
Elektriciteit	Verbruik kWh	Tarief €/kWh	Bedrag €	Verbruik kWh	Tarief €/kWh	Bedrag €	Verbruik kWh	Tarief €/kWh	Bedrag €	Verbruik kWh	Tarief €/kWh	Bedrag €
Leveringskosten	3400	0,17753	604	5211	0,084	439	1230	0,084	104	2842	0,084	240
Waarvan prijs elektriciteit		0,06	204		0,035	182		0,035	43		0,035	99
Waarvan Energiebelasting		0,099	335		0,049	257		0,049	61		0,049	140
Waarvan ODE		0,019	64									
Vastrecht levering			60			60			60			60
Netwerkkosten			207			310			207			310
Belastingvermindering			-258									
Totaal Elektriciteit			612			809			370			506
Gas/Waterstof	Verbruik Nm³/jaar	Tarief €/Nm³	Bedrag €				Verbruik Nm³/jaar	Tarief €/Nm³	Bedrag €	Verbruik Nm³/jaar	Tarief €/Nm³	Bedrag €
Leveringskosten	2.204	0,55	1202				4066	0,25	1031	1337	0,25	339
Waarvan prijs gas		0,20						0,20	815		0,20	268
Waarvan Energiebelasting		0,29						0,05	216		0,05	71
Waarvan ODE		0,05										
Vastrecht levering			60						60			60
Netwerkkosten			165						165			165
Totaal Gas			1427						2287			903
BTW	21%		428						558			317
Totaal per jaar			2467	979			3215			1829		
Totaal per maand			206	82			268			152		

Tabel I. Schatting van de huidige en toekomstige energierekening voor een rijtjeswoning uit '65 – '85. Voor uitgangspunten zie Tabel J

1	De energiebelasting per energie-eenheid is in 2030 gehalveerd (voor duurzame energie)
2	De opslag duurzame energie (ODE) is verdwenen
3	Voor een zwaarder net voor all electric en de hybride warmtepomp worden de netwerkkosten 50% meer
4	De belastingvermindering bestaat niet meer in 2030
5	Het vastrecht voor levering blijft gelijk
6	Er wordt vanuit gegaan dat de verwijderingskosten van het gasnetwerk niet op de energierekening terechtkomen
7	De BTW blijft 21%

Tabel J. Uitgangspunten voor de schatting van de huidige en toekomstige energierekening. Zie Tabel I.

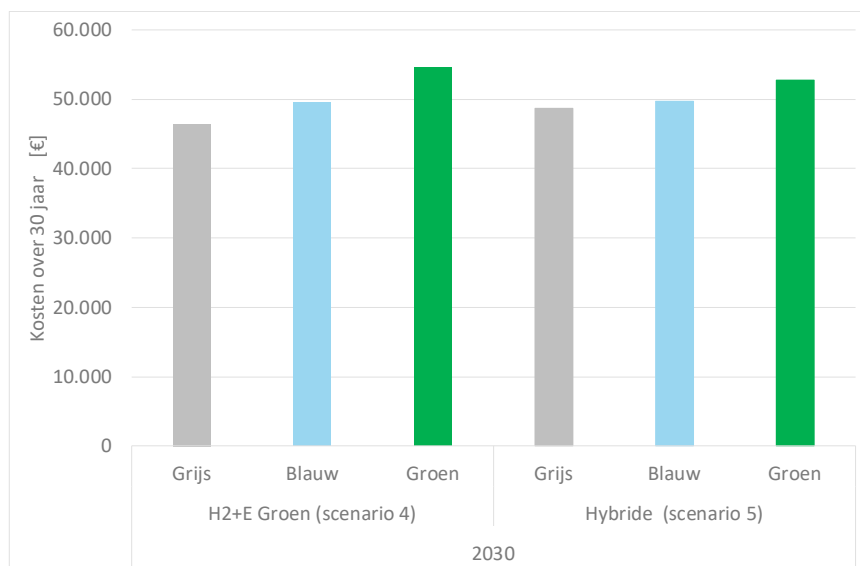
Daarnaast maakt een huiseigenaar kosten die direct aan de woning gekoppeld zijn zoals een cv-ketel, een fornuis (elektrisch of gas), aanpassingen in de meterkast, isolatiemaatregelen of zonnepanelen. Een overzicht hiervan is gegeven in Tabel K

	Gas + Stroom (Scenario 1) €	Gas + Groene stroom (Scenario 2) €	All Electric (Scenario 3) €	Waterstof + groene stroom (Scenario 4) €	Hybride waterstof warmtepomp (Scenario 5) €
Elektrisch koken	-	-	700	700	700
CV ketel op waterstof	-	-	-	1.300	1.300
Warmtepomp	-	-	4.350		3.400
LT-radiatoren	-	-	3.100		3.100
Isolatie (vloer + gevel)	-	-	1.700	1.700	1.700
10 zonnepanelen	-	3.825	3.825	3.825	3.825
Totaal	-	3.825	13.625	7.525	14.025
Eventueel: CV-kast	-	-		2.530	2.530

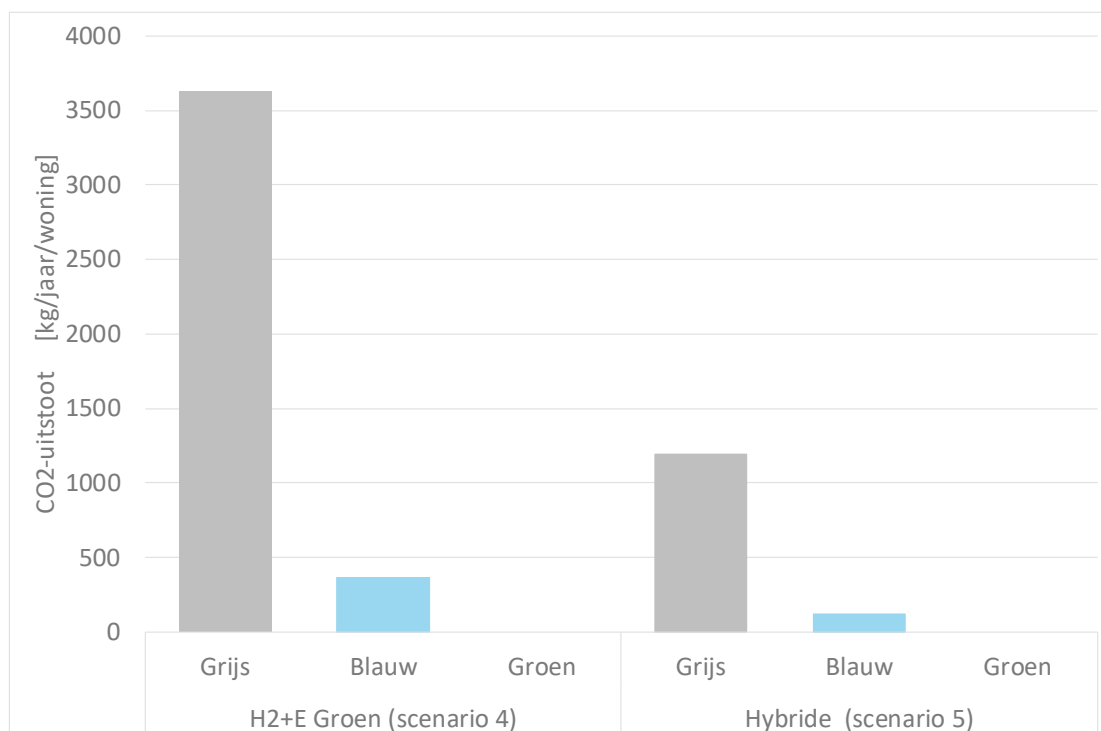
Tabel K. Overzicht van investeringen voor ieder van de scenario's.

3.2.3 Kosten en CO₂-uitstoot van andere vormen van waterstof

In plaats van groene waterstof kan ook grijze of blauwe worden ingezet. In Figuur 12 zijn de totale kosten voor waterstof in plaats van aardgas en de hybride oplossing weergegeven, en de bijbehorende CO₂-uitstoot. Voor groene waterstof is de CO₂-uitstoot nihil.



Figuur 12. De totale kosten per woning over 30 jaar voor de inzet van waterstof in plaats van aardgas (scenario 4) en voor de hybride oplossing in 2030 (scenario 5)



Figuur 13. De CO₂-uitstoot van de alternatieven met grijze, blauwe en groene waterstof

3.3 Totale energievraag van het Schilderskwartier per scenario

De hoeveelheid duurzame energie die nodig is om het gehele Schilderskwartier van duurzame energie te voorzien kan worden berekend door de vraag van alle woningen bij elkaar op te tellen. De vraag vanuit de scholen, het winkelcentrum, de sporthal en het kantoor zijn slechts gedeeltelijk bekend. Geschat wordt dat dit in totaal 20% extra betekent. Er wordt gerekend met de situatie dat de woningen optimaal, d.w.z. er zijn twee isolatiemaatregelen uitgevoerd.

De resultaten staan in Tabel L.

Scenario	Beschrijving	Vraag			Zonnepanelen op woningen	Nog in te vullen
		Huizen (900)	Utiliteiten	Totaal		
		GWh/jaar	GWh/jaar	GWh/jaar	GWh/jaar	GWh/jaar
2	Groene stroom	3,1	0,6	3,7	2,4	1,2
3	All electric	6,8	1,4	8,2	2,4	5,8
4	Waterstof ipv aardgas	18,9	3,8	22,7	2,4	20,2
5	Hybride warmtepomp	10,3	2,1	12,3	2,4	9,9

Tabel L. Totalen van het Schilderskwartier. Onder de utiliteiten worden het winkelcentrum, het kantoor, de sporthal en de school bedoeld.

De hoeveelheid energie die nog ontbreekt na het plaatsen van zonnepanelen op de woningen, kan zowel met een zonneweide als met windturbines worden ingevuld. Als rekenvoorbeeld van een windturbine is een type N131 van Nordex genomen. Deze heeft een vermogen van 3,9 MW. Dit is het type dat onlangs gekozen is voor een windpark in Drenthe³⁹. Uitgangspunt is een capaciteitsfactor van 0,3, d.w.z. dat de turbine 2600 vollasturen levert.

Uit Tabel M is af te lezen hoeveel hectare zonneweide nog nodig is bij de installatie van geen, 1 of 2 windturbines, en hoeveel energie er over blijft om extern te verkopen.

Scenario		Nog in te vullen	Geen windturbine		1 windturbine		2 windturbines	
			Zonne-weide	Extern te verkopen	Zonne-weide	Extern te verkopen	Zonne-weide	Extern te verkopen
		GWh/jaar	ha	GWh/jaar	ha	GWh/jaar	ha	GWh/jaar
2	Groene stroom	1,2	0,9	0,0	0,0	9,0	0,0	19,3
3	All electric	5,8	4,2	0,0	0,0	4,5	0,0	14,7
4	Waterstof ipv aardgas	20,2	14,8	0,0	7,3	0,0	0,0	0,2
5	Hybride warmtepomp	9,9	7,2	0,0	0,0	0,4	0,0	10,6

Tabel M. Invulling van de behoefte aan groene energie door windturbines en zonnepanelen.

³⁹ <https://www.drentsemondenoostermoer.nl/stille-nordex-is-voorkeursturbine/>

4 BEANTWOORDING VRAGEN GEMEENTE EN KLANKBORDGROEP

Er is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden en de economie van de inzet van waterstof als koolstofvrije energiedrager voor het Schilderskwartier in Woerden.

Concluderend kunnen de vragen die door de gemeente zijn opgesteld als volgt worden beantwoord:

V Is het technisch, juridisch en economisch haalbaar om de wijk Schilderskwartier-West te verwarmen met lokaal geproduceerde groene waterstof, waarbij het gasnet wordt gebruikt voor levering aan de woningen?

A De inzet van waterstof is technisch haalbaar. Het gasnet is geschikt omdat het niet door waterstof wordt aangetast en de capaciteit is voldoende. Dit laatste is zeker het geval als de vraag wordt beperkt door het toepassen van isolatie.

Wel is het zo dat er vooral in het Westelijk deel van het Schilderskwartier een vervanging voor 2030 moet plaatsvinden. Dit leidt echter niet tot hogere kosten omdat ook nu al voor het gebruik betaald moet worden.

Juridisch is er geen belemmering maar regulatorisch en normatief moeten er nog zaken worden geregeld. De toezichthouder ACM stelt zich op het standpunt dat een afnemer van gas of elektriciteit zelf een keuze mag maken voor een elektrische warmtepomp of een waterstofketel. Dit zou echter kunnen betekenen dat het elektriciteitsnet verzwakt moet worden en een eventueel waterstofnet onderbelast wordt. Ook is nu de situatie dat de kosten van het net worden gedragen door de aanwezige klanten van de netwerkbedrijven. Als dit niet wordt gewijzigd dan betekent dat de overgebleven gebruikers van het gasnet alle, nog niet afgeschreven kosten moeten dragen.

Deze problematiek is echter nog nieuw en zal zeker in de sector besproken worden. Normatief moet er nog veel geregeld worden. Zo mag er nu slechts 0,5% waterstof in het aardgas zitten. Er is echter bij NEN (het Nederlands normalisatie-instituut) een platform ingesteld voor de industrie en de gebouwde omgeving die alle normen op dit gebied tegen het licht houden.

Waterstof is op basis van de maatschappelijke kosten die in deze studie onderzocht zijn economisch nog niet haalbaar, zelfs niet in 2030.

De economische haalbaarheid zal echter sterk worden bepaald door landelijke en internationale ontwikkelingen. Daarbij valt te denken aan technologische ontwikkelingen, het gebruik van subsidies en (verhogen of verlagen van) belastingen. Ook zal de noodzaak om duurzame energie op te slaan en in de toekomst over grotere afstanden te verplaatsen waterstof een voordeel bieden.

V a. Wat is daarvoor nodig: Hoe wordt de groene waterstof geproduceerd?

A Er zijn drie vormen van waterstof:

- groen, opgewekt uit groene stroom,
- grijs, gemaakt uit aardgas zonder CO₂-afvang, en

- blauw, gemaakt uit aardgas maar met CO₂-afvang.

Bij grijze waterstof ontstaat veel CO₂ (meer dan de inzet van aardgas) die echter grotendeels afgevangen kan worden waarmee de footprint sterk gereduceerd wordt (blauwe waterstof). De omzetting van groene stroom uit zon en wind in waterstof is het zogenaamde elektrolyse-proces. Wereldwijd wordt er sterk ingezet om deze technologie te verbeteren. Momenteel zijn er installaties die één of enkele megawatt kunnen produceren. Er zijn plannen voor 50 tot 100 MW en studies naar 1 tot honderden gigawatt.

- V b. Wat is daarvoor nodig: wat is de ruimtelijke impact in de omgeving en in de woning zelf, bij de inzet van waterstof?

- A Indien gekozen wordt voor de inzet van groene waterstof in plaats van aardgas dan is voor het Schilderskwartier ongeveer 23 GWh/jaar nodig (zie Tabel L). Dit kan gedeeltelijk worden ingevuld door op de woningen zonnepanelen te plaatsen (indien op elke woning 10 panelen worden gelegd dan levert dat 2,4 GWh/jaar op. Het overige kan worden ingevuld met zonnepanelen op een zonneweide. Dit is ongeveer 15 ha. Het kan ook worden ingevuld met een combinatie van windturbines (die vrijwel geen ruimtebeslag hebben) en zonnepanelen of alleen turbines. Indien gekozen wordt voor een stand-alone opwekking van duurzame energie dan zal waterstof moeten worden opgeslagen⁴⁰. In de berekeningen is uitgegaan van een locatie voor de windturbines en/of de zonneweide die drie kilometer van het Schilderskwartier af ligt. De electrolyzer past in een zeecontainer.

In de woningen kan de aardgas cv-ketel één-op-één worden vervangen door een waterstof cv-ketel zodra deze commercieel beschikbaar zijn. Vooralsnog is uitgegaan van elektrisch koken in plaats van een gasfornuis. Op verzoek van de veiligheidsregio Utrecht is een buitenkast voor de waterstofketel meegenomen. Of dit noodzakelijk is, is nog afhankelijk van de uitkomsten van onderzoek dat in binnen en buitenland wordt gedaan.

- V c. Wat zijn de integrale kosten bij de inzet van waterstof, en hoe zijn deze kosten verdeeld over de verschillende actoren, bewoners, netbeheerder, woningcorporatie en gemeente?

- A In deze studie zijn de maatschappelijke kosten berekend. Welke partij welke kosten zal dragen is nog niet duidelijk en is afhankelijk van regulering, subsidies, belastingen etc.

Deze kosten bedragen voor de meest voorkomende woning in het Schilderskwartier € 54.550,- over een periode van 30 jaar voor scenario 4 en € 52.750,- voor scenario 5.. Dat is omgerekend minder dan de huidige jaarrekening maar die bestaat voor een groot deel uit belastingen. Bovendien zitten er in dit bedrag de kosten die de bewoner zelf moet maken voor de apparatuur. Zie Tabel H.

Een overzicht van de verwachte kosten en investeringen staan in Tabel I en Tabel K

- V d. Schaal: Is de overstap naar waterstof kostentechnisch haalbaar voor het Schilderskwartier? Is de wijk te klein? Vanaf hoeveel woningen is het rendabel?

- A Deze vraag is op dit moment nog niet te beantwoorden. Het is sterk afhankelijk van het nog te bepalen landelijk beleid. Belangrijke factoren zijn opslag (centrale opslag is vele

⁴⁰ In verband met leveringszekerheid is een aansluiting met Tennet (via Stedin) echter sterk aan te raden.

malen goedkoper dan lokale opslag), leveringszekerheid (welke onderdelen van de waterstofproductie moeten dubbel uitgevoerd worden of kan de waterstof van elders worden aangevoerd?) en de kostenreductie door massaproductie.

Een beslissing over het gebruik van waterstof kan het beste nog een aantal jaren worden uitgesteld. In die tijd wordt duidelijk welke regulatorische en andere regels, zoals normalisatie, aangepast zullen worden, welke veiligheidseisen gesteld worden, hoe de kostenontwikkelingen zijn en welke financiële instrumenten door de overheid worden gehanteerd.

De keuze voor waterstof kan niet individueel worden bepaald. De hele wijk moet worden omgezet. Dat zal goed voorbereid moeten worden en in samenspraak met Stedin. De netbeheerders zetten op dit moment pilots op om ervaring op te doen met de levering van waterstof. Investeren in isolatie heeft in alle gevallen een gunstig effect. Door daarmee te starten kunnen de investeringen worden gespreid.

- V e. Wat is de onrendabele top bij de overstap naar waterstof? Wat zijn de onzekerheden hierin en hoe beïnvloeden die de onrendabele top?
- A Ten opzichte van de huidige situatie (aardgas en elektriciteit) zijn alle duurzame alternatieven maar met name die met waterstof (scenario's 4 en 5) duurder. De extra maatschappelijke kosten voor een bewoner zijn over een periode van 30 jaar € 16.000, - tot € 18.000, - duurder t.o.v. de huidige situatie, en € 15.000, - tot € 17.000,- ten opzichte van zowel het groene stroom scenario (2) als de all electric optie (scenario 3).
- Er zijn echter nog vele onzekerheden, zoals de mogelijkheden van subsidie, belastingmaatregelen en de noodzaak en kosten van opslag. Daarnaast is onduidelijk of de verwachte kostenreducties voor de nieuwe technologieën gehaald zullen worden.
- V f. Wat betekent de overstap naar waterstof voor de energierekening van bewoners, vergeleken met de huidige situatie (doorgaan met aardgas)?
- A Zie hiervoor Tabel I waarin een inschatting is gemaakt van de huidige en toekomstige energierekening. Onder het voorbehoud dat er een aantal aannames met betrekking tot de toekomstige doorrekeningen worden gebruikt, die nog onbekend zijn, wordt geschat dat de "all electric" variant (scenario 3) € 979,-/jaar, de "waterstof in plaats van aardgas" variant (scenario 4) € 3215,-/jaar en de "hybride waterstof" variant (scenario 5) € 1704,-/jaar gaat kosten. De huidige energierekening wordt berekend op € 2467,-
- Er staan echter voor de toekomstige scenario's wel investeringen die de eigenaar moet doen:
- "all electric" variant (scenario 3) ` € 13.625,-
 - "waterstof in plaats van aardgas" variant (scenario 4): € 7525,-
 - "hybride waterstof" variant (scenario 5): € 14.025,-
- V g. Welke maatregelen moeten bewoners nemen om tot kostenoptimalisatie te komen (welke mate van isolatie, hybride warmtepomp?) Welke maatregelen zijn daarbij 'no regret' en zijn ook nodig voor de route all electric?

A Isolatie van met name de vloer en de gevels voor de rijtjeshuizen van '65 – '85 is altijd een verbetering. Zie hiervoor Figuur 11. Als een nieuw kooktoestel gekozen moet worden dan is elektrisch koken een zekerder keuze dan koken op gas.

V h. Welke eventuele risico's zijn er bij het toepassen van waterstof? Zijn er gezondheidsrisico's, veiligheidsrisico's, geluidsoverlast, ...?

A Waterstof is een brandbaar gas en kan net als aardgas brand en explosies veroorzaken. Waterstof is niet giftig en ook in een chemische reactie met andere stoffen is geen gezondheidsrisico bekend. Wel is het zo dat het, anders dan aardgas, geen giftig koolmonoxide kan vormen bij slecht onderhoud.

De veiligheidsrisico's van waterstof worden intensief bestudeerd en geëvalueerd. Dit gebeurt bijvoorbeeld voor het grootschalige project in het Noorden van Engeland maar ook in Nederland door de netwerkbedrijven en de onderzoeksinstituten (KIWA, TNO/ECN en DNV GL). De geluidsproductie van een electrolyzer is beperkt en deze staat ook naar verwachting buiten de wijk. Zie ook vraag k en de beschouwing van de Veiligheidsregio Utrecht (Bijlage B).

V i. Wat is de betekenis van de lokaal op te wekken duurzame energie voor het produceren van waterstof in vergelijking met all-electric?

A Voor de inzet van groene waterstof is voor de hele wijk (naast de inzet van de zonnepanelen op de woningen) 20,2 GWh/jaar nodig en voor all electric 5,8 GWh/jaar (zie Tabel L)

V j. Tijd: Hoe ziet de planning van de juridische en technische realisatie tot uiterlijk 2030 in grote lijnen uit? Is de omschakeling naar waterstof haalbaar vóór 2030? Zo niet, wanneer is het dan waarschijnlijk wel haalbaar?

A Er wordt naar gestreefd om een aantal pilots uit te voeren voordat waterstof grootschalig wordt ingezet. De belangrijkste stappen voor een pilot zijn het beschikbaar maken van waterstof (eigen productie of aanvoer met een tube trailer), het aanpassen en testen van het gasnet en het segment voor segment omzetten van de huizen op waterstof: vervangen van de cv-ketel, afpersen van de binnenleidingen en het aansluiten op waterstof.

V k. Veiligheid: Welke veiligheidsaspecten spelen er bij de inzet van waterstof?

A Net als bij aardgas moet vrije uitstroom van waterstof worden voorkomen en afzien van koken op waterstof is daarbij een pré.

Ook aan waterstof zal een geurstof (odorant) worden toegevoegd om het te kunnen herkennen als er toch ergens een lek is. Bij omzetten van aardgas naar waterstof is voorgeschreven dat de binnen-installatie op lektheid wordt gecontroleerd.

Zie ook de overweging bij de beantwoording op vraag h en de overweging van de VRU (Bijlage B).

Daarnaast heeft waterstof een aantal voordelen. Het diffundeert snel weg en is gemakkelijk te detecteren en de mogelijkheid van sensoren wordt daarom kansrijk geacht. Zie ook 2.4.4

BIJLAGE A

Waterstof voor verwarming

Hoewel Nederland geheel gewend is aan aardgas en het al sinds het begin van de jaren zestig wordt gedistribueerd is het niet de eerste gassoort dat naar de woningen werd gedistribueerd. Voor de introductie van aardgas werd in zo'n 75% van de huizen al gekookt op stadsgas⁴¹ wat voor 60% uit waterstof bestond. Op de kaart in Figuur 14 is al te zien dat een deel van Nederland al aardgas gebruikte, maar grote delen waren nog afhankelijk van stadsgas. Dit werd gemaakt in zogenaamde gasfabrieken waarbij steenkool werd verhit om de gasvormige bestanddelen vluchtig te maken.

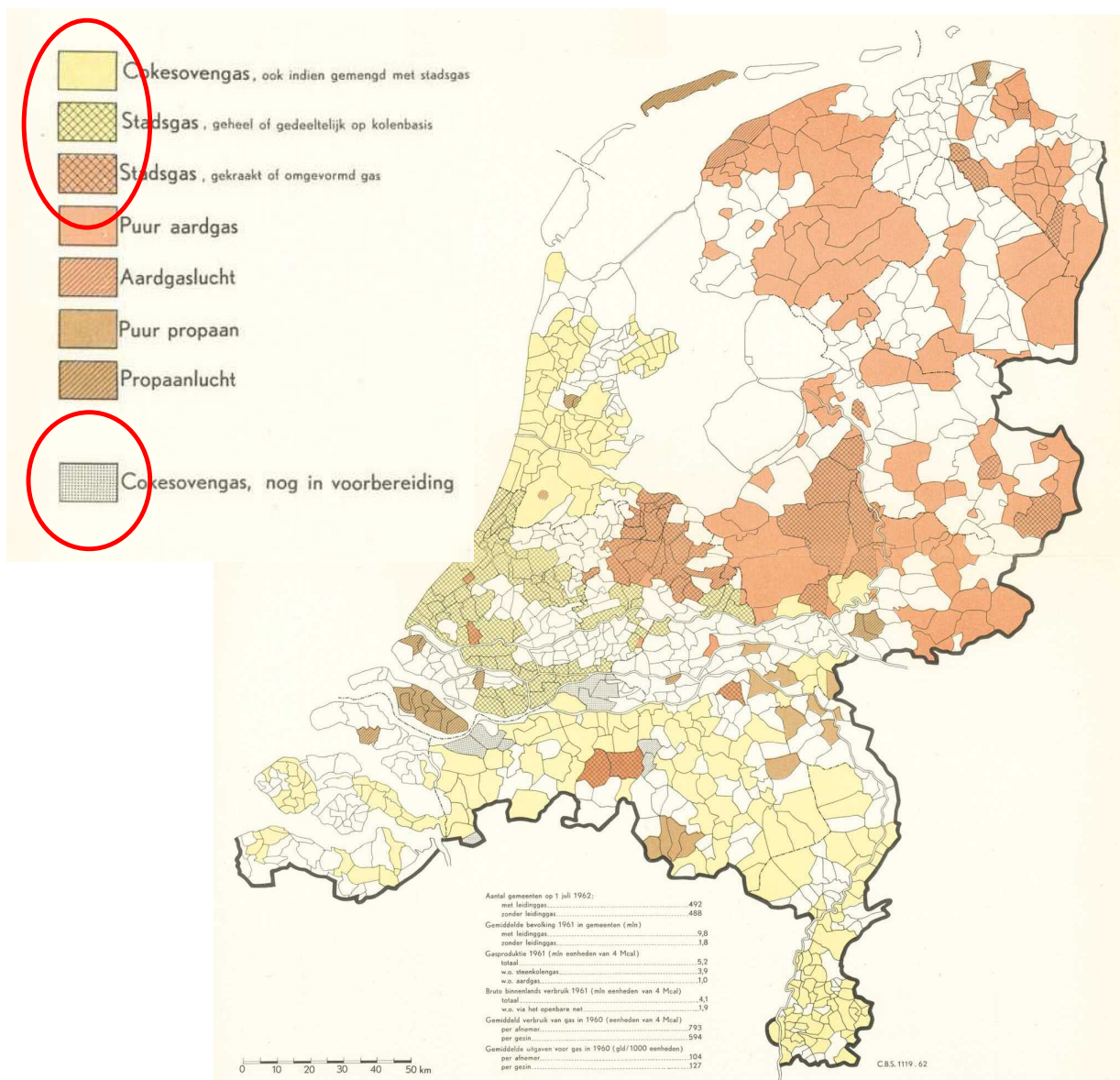
De (her)introductie van waterstof is echter niet vanzelfsprekend. Hoewel er al waterstofketels bestaan, wordt door fabrikanten nog hard gewerkt om deze compacter en goedkoper te maken. Ook voor koken op waterstof moeten nog toestellen worden ontwikkeld.

Waterstof is veel lichter dan aardgas, ontbrandt sneller en verspreidt zich gemakkelijker. Een waterstofvlam is niet (erg goed) zichtbaar (zie Figuur 15) en dat maakt koken op waterstof gevaarlijker en lastiger⁴². Net als aardgas is waterstof van nature reukloos en er zal dus ook aan waterstof een geurstof (odorant) moeten worden toegevoegd.

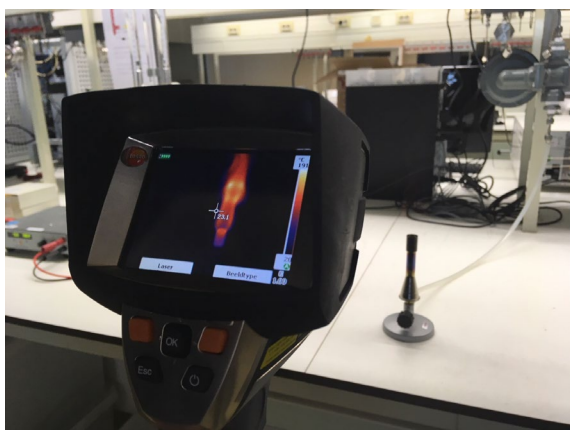
Woerden is niet de eerste gemeente die denkt aan de inzet van waterstof in de gebouwde omgeving. In Nederland worden ook in andere woonwijken initiatieven ontwikkeld waarbij het verwarmen met waterstof in de praktijk wordt getest. De bekendste zijn Hoogeveen en Stad aan het Haringvliet (daar is nu één woning van waterstof voorzien) terwijl in Rozenburg al een aantal appartementen op waterstof zijn aangesloten.

⁴¹ De verwarming werd vooral gedaan door kolen te stoken.

⁴² Er wordt getracht een illuminant (kleurstof) aan waterstof toe te voegen of de brander te laten gloeien.



Figuur 14. Kaart van gasdistributie in 1962. De rood omcirkelde gastypen bevatten 60% waterstof (Bron: Het Gas. Orgaan van de Vereniging van Gasfabrikanten in Nederland).



Figuur 15. Laboratoriumopstelling van een waterstofvlam. De vlam is niet te zien op de foto (het lijkt of de brander uit staat) maar op de warmtedetector is deze duidelijk te zien.

Ook in het buitenland worden plannen gemaakt. Het meest aansprekend is het gebied in het Noorden van Engeland waar 3,7 miljoen huizen en 40.000 bedrijven van aardgas op waterstof omgezet zullen worden voor 2035⁴³ (zie Figuur 16).



Figuur 16. Schema van de introductie van waterstof⁴⁴ in het Noorden van Engeland.

Drie kleuren waterstof

Grijs

Er wordt door de industrie al veel waterstof gebruikt. Wereldwijd gaat dat om 115 miljoen ton per jaar en in Nederland om 0,8 miljoen ton. Het wordt vooral gebruikt in raffinaderijen en om kunstmest te maken. Het proces om deze waterstof te produceren gebruikt aardgas of kolen als grondstof (in combinatie met stoom) en er komt dan ook veel koolstofdioxide vrij⁴⁵. Deze waterstof wordt vanwege de emissies als "grijs" bestempeld. Vrijwel de gehele waterstofproductie is "grijs".

De huidige Nederlandse productie is vooral bestemd voor

1. raffinaderijen om zware olie om te zetten naar lichtere brandstoffen zoals benzine
2. ammoniak productie voor de kunstmest industrie.

Om deze hoeveelheid uit offshore wind te maken is 10 tot 12 gigawatt aan windparken nodig⁴⁶.

⁴³ Zie de website: <https://www.h21.green/>

⁴⁴ Vooralsnog betreft dit "blauwe" waterstof.

⁴⁵ Per kg waterstof komt ongeveer 10 kg CO₂ vrij.

⁴⁶ Nu is het vermogen van windturbines in het Nederlandse deel 1 GW. In het klimaatakkoord wordt aangegeven dat in 2030 11 GW aan offshore wind beschikbaar is.

Blauw

Het koolstofdioxide die met de waterstof in het hiervoor genoemde proces wordt geproduceerd kan vrij gemakkelijk worden afgevangen. Als deze CO₂ ondergronds wordt opgeslagen (Carbon Capture and Storage: CCS) dan vermindert de uitstoot met 85%⁴⁷ Deze waterstof wordt daarom “blauw” genoemd.

Groen

Waterstof kan ook geproduceerd worden uit elektriciteit. Bij dit elektrolyse-proces wordt gelijkstroom door water geleid en splitsen de moleculen in zuurstof en waterstof. Als de elektriciteit die voor de elektrolyse wordt ingezet, groen wordt geproduceerd (uit wind en zon) dan komt er geheel geen CO₂ vrij. Deze waterstof is “groen”.



Figuur 17. Voorbeeld van een elektrolyser (bron: Hydrogenics)

⁴⁷ Dit is het rendement in zowel het primaire proces vermindert met de uitstoot voor de bouw en bedrijfsvoering van de afvang en opslag.

BIJLAGE B

Overweging van de veiligheidsregio Utrecht

Bij elke alternatieve energiedrager die ingezet kan worden voor een toekomstige warmtevoorziening van een bebouwde omgeving spelen in meer of mindere mate veiligheidsvraagstukken. Voor waterstof mag gesteld worden dat er inmiddels ruime ervaring is opgedaan met het industrieel gebruik hiervan, maar dat er tot op heden nog geen grootschalige ervaring is opgedaan met de productie, distributie en het gebruik t.b.v. de warmtevoorziening van woningen. Wel worden er steeds meer initiatieven genomen om meer inzicht te krijgen in deze toepassing. In Rotterdam en Amsterdam zijn pilots gestart waarbij waterstof ingezet wordt voor de warmtevoorziening bij twee appartement-gebouwen.

Vorig jaar heeft Kiwa in opdracht van de netbeheerders het onderzoek "Toekomstbestendige gasdistributienetten" uitgevoerd. In het onderzoek is o.a. nader ingegaan op de specifieke veiligheidsaspecten die spelen bij de distributie en het gebruik (binnenhuis) van waterstof. Naast de algemene veiligheidsrisico's die standaard behoren bij de brandbare gassen, speelt er bij waterstof nog een aantal extra gevaarsaspecten t.o.v. aardgas:

- Waterstof heeft een lagere ontstekingsenergie (15 x lager als aardgas);
- Waterstof heeft een ruimere explosiegrens (4 volume% tot 74 volume%);
- Waterstof permeëert 5x gemakkelijker door een kunststofleiding;
- Waterstoflekage uit verbindingen in leidingsystemen is groter;
- Waterstof is (net als aardgas) reukloos zonder geurtoevoeging.

M.b.t. de veiligheidsaspecten concludeert het Kiwa dat nader onderzoek noodzakelijk is.

Standpunt VRU:

De Veiligheidsregio Utrecht heeft een positieve grondhouding ten opzichte van de alternatieve energiedragers in het kader van de energietransitie. Specifiek voor waterstof als energiedrager deelt de VRU het standpunt van het Kiwa dat nader veiligheidsonderzoek noodzakelijk is. In het kader van uw onderzoek adviseer ik u de veiligheidsrisico's van het gebruik van waterstof zowel binnen als buiten de woning mee te nemen en af te wegen ten opzichte van een all-electric alternatief voor het Schilderskwartier.

BIJLAGE C

Uitgangspunten, gegevens en bronnen

Onderwerp	Onderdeel	Omschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
Woningen	Aantallen	Rijtjeswoningen '45 - '65	22	-	[1]
		Vrijstaande woningen '65 - '85	26	-	[1]
		Rijtjeswoningen '65 - '85	646	-	[1]
		Appartementen '65 - '85	129	-	[1]
		Rijtjeswoningen '85 - '00	26	-	[1]
		Appartementen na 2000	51	-	[1]
		Rijtjeswoningen '45 - '65	47	m ²	[2]
		Vrijstaande woningen '65 - '85	101	m ²	[2]
		Rijtjeswoningen '65 - '85	52	m ²	[2]
		Appartementen '65 - '85	0	m ²	[2]
Warmteverliezen	Vloeroppervlak	Rijtjeswoningen '85 - '00	56	m ²	[2]
		Appartementen na 2000	0	m ²	[2]
		Rijtjeswoningen '45 - '65	57,3	m ²	[2]
		Vrijstaande woningen '65 - '85	120,7	m ²	[2]
		Rijtjeswoningen '65 - '85	65,5	m ²	[2]
		Appartementen '65 - '85	0	m ²	[2]
		Rijtjeswoningen '85 - '00	56,1	m ²	[2]
		Appartementen na 2000	0	m ²	[2]
		Rijtjeswoningen '45 - '65	42,3	m ²	[2]
		Vrijstaande woningen '65 - '85	164,7	m ²	[2]
	Dakoppervlak	Rijtjeswoningen '65 - '85 (muur)	11	m ²	[3]
	Geveloppervlak				

Onderwerp	Onderdeel	Omschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
		Rijteswoningen '65 - '86 (hout)	9	m ³	[3]
		Appartementen '65 - '85	21,2	m ²	[2]
		Rijteswoningen '85 - '00	49,9	m ²	[2]
		Appartementen na 2000	24,7	m ²	[2]
	Raamoppervlak	Rijteswoningen '45 - '65	21,4	m ²	[2]
		Vrijstaande woningen '65 - '85	35,3	m ²	[3]
		Rijteswoningen '65 - '85	33	m ²	[3]
		Appartementen '65 - '85	21,3	m ²	[2]
		Rijteswoningen '85 - '00	21,8	m ²	[2]
		Appartementen na 2000	15,8	m ²	[2]
	U-waarde vloer	Rijteswoningen '45 - '65	1,72	W/m ² K	[2]
		Vrijstaande woningen '65 - '85	2,33	W/m ² K	[2]
		Rijteswoningen '65 - '85	2,33	W/m ² K	[2]
		Appartementen '65 - '85	0	W/m ² K	[2]
		Rijteswoningen '85 - '00	0,36	W/m ² K	[2]
		Appartementen na 2000	0	W/m ² K	[2]
	U-waarde dak	Rijteswoningen '45 - '65	57,3	W/m ² K	[2]
		Vrijstaande woningen '65 - '85	120,7	W/m ² K	[2]
		Rijteswoningen '65 - '85	65,5	W/m ² K	[2]
		Appartementen '65 - '85	0	W/m ² K	[2]
		Rijteswoningen '85 - '00	56,1	W/m ² K	[2]
		Appartementen na 2000	0	W/m ² K	[2]
	U-waarde gevel	Rijteswoningen '45 - '65	1,61	W/m ² K	[2]
		Vrijstaande woningen '65 - '85	1,45	W/m ² K	[2]
		Rijteswoningen '65 - '85 (muur)	1,45	W/m ² K	[3]

Onderwerp	Onderdeel	Omschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
Isolatie	U-waarde ramen	Rijtjeswoningen '65 - '86 (hout)	0,6	W/m ² K	[3]
		Appartementen '65 - '85	1,45	W/m ² K	[2]
		Rijtjeswoningen '85 - '00	0,36	W/m ² K	[2]
		Appartementen na 2000	0,36	W/m ² K	[2]
		Rijtjeswoningen '45 - '65	3,6	W/m ² K	[2]
		Vrijstaande woningen '65 - '85	3,3	W/m ² K	[2]
		Rijtjeswoningen '65 - '85	3,3	W/m ² K	[2]
		Appartementen '65 - '85	3,65	W/m ² K	[2]
		Rijtjeswoningen '85 - '00	2,15	W/m ² K	[2]
		Appartementen na 2000	2,13	W/m ² K	[2]
	U-waarde	Dakisolatie	0,36	W/m ² K	[4]
		Spouwmuurisolatie	0,36	W/m ² K	[4]
		Vloerisolatie	0,36	W/m ² K	[4]
		HR-glas	1,8	W/m ² K	[4]
	Prijs	Dakisolatie	60,-	€/m ²	[4]
		Spouwmuurisolatie	19,-	€/m ³	[4]
		Vloerisolatie	32,50	€/m ⁴	[4]
		HR-glas	165,-	€/m ⁵	[4]
Warmteverliezen	Overig	Graaduren	7443	h/jaar	[5]
		Binnentemperatuur	16,5	°C	[2]
		Buitentemperatuur	9	°C	[2]
		Rendement HR-ketel	107	%	[2]
		Correctie nachtverlaging	96	%	[6]
		Calorische onderwaarde aardgas	31,65	MJ/Nm ³	[7]
Overig verbruik	Elektriciteit	Overig verbruik	3400	kWh/jaar	[3]
	Koken	Aardgas	65	Nm ³ /jaar	[8]

Onderwerp	Onderdeel	Omschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
Capaciteit Kosten	Warmtapwater	Elektriciteit	530	kWh/jaar	[9]
		Aardgas	375	Nm3/jaar	[8]
		Elektriciteit	3664	kWh/jaar	[8]
	Verwarming	Laagste buitentemperatuur	-20	°C	[5]
	Aardgas		2	ct/kWh	[12]
	Waterstof	Grijs	1,28	€/kg	[10]
		Opslag CO ₂	0,235 tot 0,57	€/kg	[10]
	Elektriciteit	Transport tube trailers	0,25 tot 0,30	€/kg	[11]
		Gemiddeld	4	ct/kWh	[12]
		Groen wind op land 2019	5	ct/kWh	[13]
		Groen wind op land 2030	3,5	ct/kWh	[13]
		Electrolyser			
	Electrolyser	Investering 2019	1000	€/kW	[12]
		Investering 2030	350	€/kW	[14]
		Efficiency 2019	65	%	[15]
		Efficiency 2030	75	%	[15]
		Levensduur stack 2019	40000	uur	[15]
	Waterstofleiding	Levensduur stack 2030	80000	uur	[15]
		Vollasturen (40%)	3504	uur	[12]
		Jaarlijkse kosten	1	%	[15]
		Lengte	3	km	[12]
		Prijs	500	€/m	[12]
	Warmtepomp	Levensduur	50	jaar	[12]
		Jaarlijkse kosten	0,25	%	[12]
		Prijs 2019 (Zie Figuur 20)	Capaciteit afhankelijk	€	[16], [17]
		Prijsverlaging 2030	30	%	[12]
		Levensduur	25	jaar	[12]
	Warmtepomp	Jaarlijkse kosten	3	%	[12]
		Installatie	1500	€	[12]
		SCOP warmte 2019	4	-	[12]

Onderwerp	Onderdeel	Omschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
Elektriciteitsnet	Waterstofketel	SCOP warmte 2030	5	-	[12]
		SCOP warmwater	2	-	[12]
		Prijs 2019	1500	€	[15]
		Prijs 2030	1100	€	[12]
		Levensduur	15	jaar	[12]
		Jaarlijkse kosten	5	%	[12]
		Installatie 2019	300	€	[15]
		Installatie 2030	200	€	[15]
		Prijs 10 panelen 2019	4500	€	[12]
		Prijs 10 panelen 2030	3825	€	[12]
	Zonnepanelen	Levensduur	25	jaar	[12]
		Jaarlijkse kosten	1	%	[12]
		Opbrengst	270	kWh/jaar/#	[12]
		Prijs	225	€/kW	[12],[22]
		Installatie	80	€/#	[12]
	LT radiatoren	Prijs	700	€	[12]
		Levensduur	25	jaar	[12]
		Jaarlijkse kosten	0,1	%	[12]
	Elektrisch fornuis	Prijs	500	€	[12]
		Levensduur	25	jaar	[12]
		Jaarlijkse kosten	0,1	%	[12]
	Gasfornuis	Prijs	1100	€	[12]
		Levensduur	15	jaar	[12]
		Jaarlijkse kosten	5	%	[12]
	Gas CV ketel	Prijs	1530	€	[21]
		Installatie	1000	€	[21]
		Levensduur	30	jaar	[21]
	Buitenkast	Jaarlijkse kosten	0,5	%	[21]
		Prijs	9	m	[12]
		Installatie			
	Middenspanning	Levensduur			
		Jaarlijkse kosten			

Onderwerp	Onderdeel	Omschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
Gasnet	Laagspanning	Prijs conventioneel	100	€/#	[12]
		Prijs all electric	140	€/#	[12]
		Levensduur	50	jaar	[12]
		jaarlijkse kosten	0,1	%	[12]
		Lengte per woning	12	m	[12]
		Prijs conventioneel	50	€/#	[12]
		Prijs all electric	70	€/#	[12]
		Levensduur	50	jaar	[12]
		jaarlijkse kosten	0,1	%	[12]
	Transformator	Woningen per stuk	200	-	[12]
		Prijs conventioneel	7500	€/#	[12]
		Prijs all electric	10000	€/#	[12]
		Levensduur	30	jaar	[12]
		jaarlijkse kosten	1	%	[12]
	Aansluiting	Prijs conventioneel	750	€/#	[12]
		Prijs all electric	1000	€/#	[12]
		Levensduur	50	jaar	[12]
		Jaarlijkse kosten	0,2	%	[12]
	Meter	Prijs	120	€/#	[12]
		Levensduur	30	jaar	[12]
		Jaarlijkse kosten	0,15	%	[12]
	Middendruk	Lengte per woning	2	m	[12]
		Prijs	150	€/#	[12]
		Levensduur	50	jaar	[12]
		jaarlijkse kosten	0,25	%	[12]
	Lagedruk	Lengte per woning	8	m	[12]
		Prijs	80	€/#	[12]
		Levensduur	50	jaar	[12]
		jaarlijkse kosten	0,25	%	[12]

Onderwerp	Onderdeel	Omschrijving	Waarde	Eenheid	Bron
CO ₂	Regelstation	Woningen per stuk	200	-	[12]
		Prijs	17500	€/#	[12]
		Levensduur	30	jaar	[12]
		jaarlijkse kosten	1,5	%	[12]
	Aansluiting	Prijs	1000	€/#	[12]
		Levensduur	30	jaar	[12]
		Jaarlijkse kosten	0,25	%	[12]
	Meter	Prijs	120	€/#	[12]
		Levensduur	30	jaar	[12]
		Jaarlijkse kosten	0,3	%	[12]
	Elektriciteit 2019		0,413	kg/kWh	[18]
			0,2	kg/kWh	[14],[18]
			10	kg CO ₂ /kg H ₂	[12]
	Blauwe waterstof		1	kg CO ₂ /kg H ₂	[12]
Overig	Verwijderen gasnet		500	€/woning	[19]
		WACC	3,48	%	[20]
		Rentekosten	2	%	[3]
		Gasunie net	15	€/jaar	[12]
		Tennet net	30	€/jaar	[12]
		Administratie gas	25	€/jaar	[12]
		Administratie Elektriciteit	40	€/jaar	[12]



Bronnen

- [1] Aanvraag proeftuin aardgasvrije wijken Schilderskwartier, Woerden, Juni 2018
- [2] <https://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/4.%20Brochure%20Voorbeeldwoningen%202011%20bestaande%20bouw.pdf>
- [3] Vastgesteld in overleg met gemeente en bewoners-delegatie
- [4] <https://www.eigenhuis.nl/onderhoud/prijzenindicator/isolatie>
- [5] KNMI gegevens 2011-2018
- [6] Verwarmingsconcepten PZE-woning, Koene, F., e.a. ECN, 2001.
- [7] <https://www.gasterra.nl/uploads/bestanden/c8b9b14b-b316-41c4-be1f-9b3fc188c8dc>
- [8] Kentallen warmtevraag woningen, SenterNovem, 2009
- [9] Inventarisatie energievraagpatronen in huishoudens, van Gerwen, R., KEMA, 2003.
- [10] Techno-economic evaluation of SMR based standalone (Merchant) hydrogen plant with CCS, IEAGHG technical report February 2017
- [11] Persoonlijke communicatie met tube-trailer firma
- [12] Database DNV GL
- [13] 2017 Cost of Wind Energy Review, NREL
- [14] <https://www.klimaatakkoord.nl/binaries/klimaatakkoord/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord/klimaatakkoord.pdf>
- [15] Persoonlijke communicatie met firma's
- [16] <https://www.warmteservice.nl/Duurzaam/Warmtepompen/Lucht-water-warmtepomp/Remeha-Eria-Tower-All-electric-lucht-water-warmtepomp/p/03602700>
- [17] <https://www.cvtotaal.nl/catalogsearch/result/?q=arotherm>
- [18] <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren/>
- [19] Stedin
- [20] ACM
- [21] Renoparts
- [22] ISSO-publicatie 66: 'Vermogen van radiatoren en convectoren in praktijksituaties'

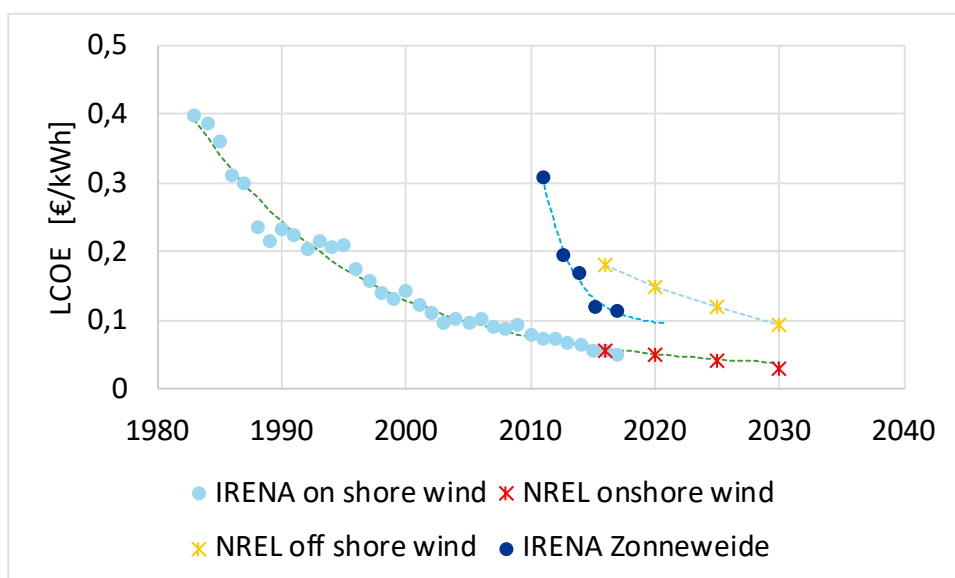
BIJLAGE D

Prijs van waterstof

De prijs van grijze waterstof wordt door de IEA geschat op € 1,28 per kg⁴⁸. Als de CO₂ wordt afgevangen en opgeslagen komt daar 0,235 tot 0,57 €/kg bij voor blauwe waterstof. Voor de aanvoer van waterstof over de weg met tube trailers wordt de prijs nog verhoogd met 0,25 tot 0,30 €/kg.

Groene waterstof wordt gemaakt uit duurzame (lokaal opgewekte) elektriciteit.

De prijzen van elektriciteit uit zon en wind dalen gestaag. Dit is te zien in Figuur 18.



Figuur 18. Daling van de kosten voor onshore en offshore wind en zonneweides. LCOE= Levelized Cost of Energy

De kosten van elektrolyzers dalen ook⁴⁹. In het energieakkoord wordt zelfs gesproken van een daling met 65% in 2030 en daarnaast nemen de efficiency (van 65% naar 75%) en de levensduur (van 40.000 naar 80.000 uur) toe⁵⁰.

Op basis hiervan kan berekend worden dat de kostprijs van groene waterstof nu € 5,10 per kg zal zijn en in 2030 € 2,24 per kg⁵¹. Een belangrijk deel hierin is ook de ontwikkeling van de kostprijs van elektriciteit. Verwacht wordt (zie Figuur 18) dat deze zal dalen van 5 naar 3,5 €/kWh.

⁴⁸ Techno-economic evaluation of SMR based standalone (Merchant) hydrogen plant with CCS, IEAGHG technical report February 2017

⁴⁹ Dit geldt met name voor de PEM technologie.

⁵⁰ Bron: Hydrogenics

⁵¹ De elektrolyser volgt hierbij het aanbod van elektriciteit uit wind en zon (d.w.z. 40% vollasturen).

Samenvattend geeft dit de volgende resultaten voor de verschillende vormen (kleuren) van waterstof:

Omschrijving	Kostprijs €/kg	Kostprijs €ct/kWh	CO ₂ -bijdrage Kg CO ₂ /Kg H ₂	CO ₂ -bijdrage gr CO ₂ /kWh
Grijze waterstof	1,56	3,9	10	250
Blauwe waterstof	1,96	4,9	1	25
Groene waterstof ⁵² (2019)	5,10	12,9	0	0
Groene waterstof ⁵³ (2030)	2,24	5,6	0	0
Aardgas		2,0		190

Tabel N. Waterstofprijzen en CO₂-emissies

⁵² Gebaseerd op een prijs voor groene stroom van 5 €ct/kWh. Dit is in lijn met de verwachting van onshore wind.

⁵³ Gebaseerd op een prijs voor groene stroom van 3,5 €ct/kWh.

BIJLAGE E

Prijs en prestatie van een elektrische warmtepomp

Een warmtepomp zet de warmte van de grond of de buitenlucht op een energiezuinige manier om in warm water voor sanitair of centrale verwarming. Dit werkt efficiënter naarmate de grond- of luchttemperatuur hoger is en het warme water koeler. Een lucht-water-warmtepomp werkt daarom minder goed in de winter, en er wordt gebruik voor gemaakt van lage temperatuur-verwarming in de woning.

De werking van de warmtepomp wordt uitgedrukt in de verhouding tussen nuttige warmte (die uit de buitenlucht, of de grond is onttrokken) en de energie (elektriciteit) die nodig is om de warmtepomp te laten werken. Deze verhouding wordt de Coefficient of Performance (COP) genoemd. Om een eerlijke vergelijking te kunnen maken wordt met een gemiddelde COP over het jaar gerekend. Dit is de zogenaamde Seasonal Coefficient of Performance (SCOP).

Er zijn ruwweg drie soorten warmtepompen beschikbaar:

1. De lucht/water-warmtepomp. Deze bestaat uit een binnen- en een buitengedeelte (zie Figuur 19). Het buitengedeelte kan aan de muur bevestigd worden of vrijstaand op de grond worden geplaatst. In de berekeningen wordt de SCOP voor verwarming op 4 gesteld en voor warmtapwater op 2⁵⁴. Deze wordt gebruikt in scenario 3.



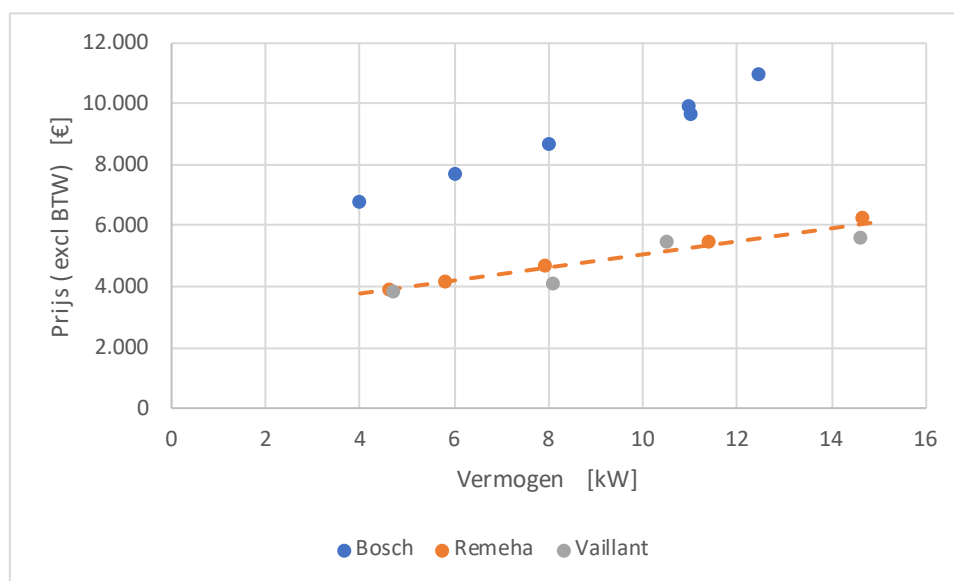
Figuur 19. Voorbeeld van een lucht-water warmtepomp met binnen- en buitengedeelte: de Vaillant AroTHERM

2. De grondwarmtepomp. Deze onttrekt de warmte aan de bodem en er moet dus een warmtewisselaar (veelal een verticale of horizontale buis) die moet worden ingegraven of geboord. Het plaatsen van deze bron maakt dit type warmtepomp duurder. De SCOP is hoger (ongeveer 1 punt). Dit type wordt niet verder gebruikt in deze verkenning in verband met een verhoogde kans op paalrot als er met bodemplussen door de kleilaag wordt geboord.
3. De hybride warmtepomp. Dit is een combinatie van een kleine (lucht-)warmtepomp met een cv-ketel. De warmtepomp verzorgt de basislast van verwarming. De ketel verzorgt de productie van warmtapwater en de piekvraag aan verwarming op extra koude dagen. De SCOP voor verwarming is 5. Deze wordt gebruikt in scenario 5.

⁵⁴ DE SCOP van warmtapwater is lager omdat de temperatuur daarvan hoger moet zijn (60°C in plaats van 35 tot 45°C voor verwarming)

De benodigde kosten van een luchtwarmtepomp zijn afhankelijk van de capaciteit. Als er meer isolatie wordt toegepast kan volstaan worden met een kleinere warmtepomp. In Figuur 20 zijn de gegevens van prijzen en capaciteiten weergegeven voor drie verschillende fabrikanten. De serie van de firma Bosch zijn duidelijk hoger in prijs. In de berekeningen wordt gebruik gemaakt van het verband dat is weergegeven door de stippellijn. De benodigde capaciteit wordt bepaald in samenhang met Tabel G.

De resultaten staan in Tabel O. Daarin zijn voor oplopende effectiviteit van de isolatie-maatregelen (die per woningtype kunnen verschillen) de berekende capaciteit van de warmtepomp voor verwarming en de lage temperatuur radiatoren weergegeven, en de bijbehorende prijzen (voor de warmtepompen is onderscheid gemaakt tussen 2019 en de verwachting voor 2030).



Figuur 20. Verband tussen prijs en capaciteit voor 3 verschillende merken

Rijteswoning					Vrijstaande woning				
'45-'65					'65-'85				
Isolatie- maatregel	Benodigde capaciteit	Prijs 2019	Prijs 2030	Prijs LT radiatoren	Isolatie- maatregel	Benodigde capaciteit	Prijs 2019	Prijs 2030	Prijs LT radiatoren
	kW	€	€	€		kW	€	€	€
Geen	13,8	10550	7350	4300	Geen	30,6	15700	11000	8300
gevel	11,4	9800	6850	3800	vloer	21,9	13050	9100	6350
+ vloer	8,6	8950	6250	3150	+ gevel	14,0	10600	7400	4600
+ dak	5,7	8050	5650	2500	+ ramen	11,7	9900	6900	4050
+ ramen	4,0	7500	5250	2100	+ dak	8,9	9000	6300	3450
Rijteswoning					Appartement				
'65-'85					'65-'85				
Isolatie- maatregel	Benodigde capaciteit	Prijs 2019	Prijs 2030	Prijs LT radiatoren	Isolatie- maatregel	Benodigde capaciteit	Prijs 2019	Prijs 2030	Prijs LT radiatoren
	kW	€	€	€		kW	€	€	€
Geen	13,6	10450	7350	4250	Geen	4,8	7750	5450	2250
vloer	9,1	9100	6350	3250	gevel	3,7	7450	5200	2050
+ gevel	8,5	8900	6250	3100	+ ramen	2,0	6900	4850	1650
+ ramen	6,3	8250	5750	2600	-				
+ dak	4,8	7750	5450	2250	-				
Rijteswoning					Appartement				
'85-'00					Na 2000				
Isolatie- maatregel	Benodigde capaciteit	Prijs 2019	Prijs 2030	Prijs LT radiatoren	Isolatie- maatregel	Benodigde capaciteit	Prijs 2019	Prijs 2030	Prijs LT radiatoren
	kW	€	€	€		kW	€	€	€
Geen	4,6	7700	5400	2250	Geen	1,9	6850	4800	1600
ramen	4,3	7600	5300	2150	ramen	1,6	6800	4750	1550

Tabel O. Resultaten voor de berekeningen van de capaciteit en de prijs van een warmtepomp (voor 2019 en 2030) en lage temperatuur radiatoren voor verschillende opeenvolgende isolatie-maatregelen. De prijzen zijn inclusief installatie. De prijzen zijn op € 50,- afgerond.



ABOUT DNV GL

Driven by our purpose of safeguarding life, property and the environment, DNV GL enables organizations to advance the safety and sustainability of their business. We provide classification and technical assurance along with software and independent expert advisory services to the maritime, oil and gas, and energy industries. We also provide certification services to customers across a wide range of industries. Operating in more than 100 countries, our 16,000 professionals are dedicated to helping our customers make the world safer, smarter and greener.