

Verduurzaming van het Crematieproces bij Crematoria Twente

Een Pre-Engineering Studie
naar Waterstof



CREMATORIA TWENTE

van betekenis zijn



Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport van een belangrijke eerste stap die Crematoria Twente heeft gezet op weg naar een toekomst waarin cremieren op waterstof realiteit kan worden. In januari 2021 hadden wij een verkennend gesprek met de H2Hub Twente die toen bezig was met partijen te zoeken voor het onderzoekscluster **hoge verbrandingstemperaturen**. Dit eerste verkennende onderzoek onder de vlag van de H2hub Twente was aanleiding om zelfstandig -onder de bezielende begeleiding van Marco Derksen van Mateq Process- verder te gaan met het pre-engineering onderzoek waarvan de resultaten in dit rapport staan. Dit rapport presenteert de resultaten en beantwoordt de cruciale vraag: kunnen we op onze locatie in Enschede de overstap maken van aardgas naar lokaal geproduceerde groene waterstof, en is dit zowel haalbaar als betaalbaar?

GEDURENDE HET TRAJECT is het onderzoek verbreed naar een vergelijk met andere opties voor het crematieproces (o.a. elektrisch cremieren). Waarbij de insteek steeds is hoe houden we onze aarde leefbaar waarbij de kwaliteit en duurzaamheid van onze energiebronnen cruciaal zijn, misschien zelfs meer dan de hoeveelheid energie die we verbruiken. Met als belangrijke nuance dat door zuiniger te zijn met energie, de overstap naar waterstof haalbaarder wordt.

Het rapport is specifiek voor onze organisatie en onze locatie in Enschede. Toch is dit rapport te vertalen naar andere crematoria omdat de kengetallen te gebruiken zijn. En het geeft hopelijk input voor een denkproces bij collega-crematoria welke mogelijkheden erbij hen zijn om te verduurzamen en of het gebruik van waterstof tot de mogelijkheden behoort.

Wij bedanken de Provincie Overijssel voor de financiële steun en inhoudelijke feedback -uitgevoerd door Energy-Watch- op dit rapport. Veel dank aan Marco Derksen van Mateq Process die ons op koers bracht en steeds weer op koers hield en de eerste versie van dit rapport schreef.

Tot slot dank aan Edwin Tazelaar en Dirk Breteler van HyMatters voor de inhoudelijke bijdrage, alle berekeningen, grafieken, tabellen etc. En voor het meeschrijven aan dit rapport en genomen tijd om ook de discussie aan te gaan met 'tegendenkers'.

Bijzonder aan dit hele traject is dat we zoveel mensen hebben ontmoet met verschillende achtergronden maar met allen dezelfde passie: verduurzaming. Wat ons betreft gaan wij vanuit Crematoria Twente vervolgstappen zetten om uiteindelijk te komen tot een aardgasloze crematie.

Harriët Tomassen
Directeur/Bestuurder Crematoria Twente

September 2024

Enschede, 3 september 2024
© Crematoria Twente

Dit rapport is mede tot stand gekomen met hulp van:



	Management samenvatting	5
1	Inleiding	7
2	Doelstellingen	9
2.1	Scenario's	9
3	Methode	10
3.1	Uitgangspunten	11
4	Het crematieproces	13
4.1	Crematoria Twente, locatie Enschede	13
4.2	Relevante aspecten van het crematieproces.	13
4.3	Elektrische crematie versus aardgascrematie	14
4.4	Waterstofcrematie versus aardgascrematie	15
4.4.1	Basisschema energievoorziening crematieproces	16
4.4.2	Elektriciteit of waterstof?	16
5	Resultaten scenario's	18
5.1	Cremeren op waterstof.	18
5.1.1	Zelfvoorzienend (sub-scenario 1) en nul-op-de-meter (sub-scenario 2).	18
5.1.2	Het net als basis (sub-scenario 3)	19
5.2	Elektrisch cremeren	20
5.3	Hybride oven – elektrisch en waterstof	21
5.4	Dual fuel ovens – aardgas en waterstof	22
5.5	Waterstof voor de omgeving	23
5.6	Inzichten	24
6	Financiële analyse	25
6.1	Leveringskosten aardgas	26
6.2	Financiële vergelijking	26
7	Samenvatting en overwegingen	29
7.1	Toekomstperspectief.	29
7.1.1	Lokaal verduurzamen?	29
7.2	Verschillende aspecten samengevat	30
7.2.1	Technische aspecten	30
7.2.2	Financiële aspecten	31
7.2.3	Ontwerp aspecten	31
7.3	Tot slot en hoe verder	31
	<i>Bijlage I Opslag waterstof</i>	33
	<i>Bijlage II Zonvolgende zonnepanelen</i>	34
	<i>Bijlage III CO2 emissie per scenario, inclusief parameters</i>	35

Naar aanleiding van een positief uitvallende verkennende studie naar de mogelijkheden van verduurzamen van het crematieproces voor de locatie Enschede van Crematoria Twente, is een vervolgstudie uitgevoerd. Dit betreft een pre-engineering studie naar meer duurzaam cremeren.

HIERBIJ IS GEKEKEN naar een aantal mogelijkheden om het crematieproces te verduurzamen:

- Bedrijfsvoering van de crematieovens op groene waterstof
- Elektrisch cremeren
- Hybride bedrijfsvoering van de crematieovens, op zowel elektriciteit als aardgas
- “Dual fuel” bedrijfsvoering van de crematieovens; op zowel groene waterstof als aardgas

Binnen deze varianten is gekeken naar zowel het lokaal opwekken van groene stroom, het lokaal genereren van groene waterstof, als het inkopen van groene stroom in de energievoorziening. Er is gewerkt met de huidige contractuele beperkingen van het elektriciteitsnetwerk voor deze locatie, en met de mogelijkheden en beperkingen ten aanzien van het plaatsen van zonnepanelen en een electrolyser plus waterstofopslag. Hiervan is een technische en een financiële analyse gemaakt. In de studie is geen detailuitwerking meegenomen, van civiele-, mechanische- of andere implementatieaspecten.

Het is technisch mogelijk om over te gaan op cremeren op groene waterstof. Met de -tijdens het project- vergrootte contractcapaciteit voor elektriciteitslevering, is het tevens technisch mogelijk om over te gaan op elektrisch cremeren. Ook hybride oplossingen zijn technisch mogelijk, evenals een getrapte aanpak.

De keuze voor elektrisch cremeren heeft niet de voorkeur, omdat goede en recent gerenoveerde ovens en installaties moeten worden afgebroken c.q. aangepast. Dit lijkt nu geen duurzame oplossing. Zonder gebruik van een energieopslagsysteem

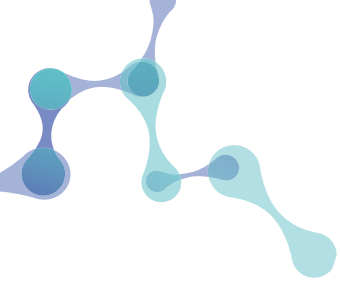
(accu of batterij) is elektrisch cremeren een ‘eindstation’. Het laat zich zonder opslagsysteem niet combineren met lokale opslag van groene stroom, waardoor de onbalans tussen vraag en aanbod altijd via het nationale elektriciteitsnet moet worden opgelost. Een lokaal energieopslagsysteem voor elektrisch cremeren is in dit onderzoek niet verder onderzocht.

Alle alternatieven kennen een aanzienlijk kleinere CO2 emissie dan de huidige operatie op aardgas. Indien elektriciteit als groen wordt ingekocht en als zodanig mag worden gewaardeerd, reduceert voor de meeste varianten de toe te rekenen CO2 emissie tot nul. Door lokaal duurzame (zonne)energie te oogsten en te gebruiken wordt tevens een beslag op elektrische infrastructuur elders vermeden en kunnen we spreken van lokale verduurzaming. Energie opslag in de vorm van waterstof vergroot de potentie om deze verduurzaming lokaal vorm te geven aanzienlijk. De emissies ten gevolge van de crematie zelf blijven uiteraard aanwezig.

De keuze voor bedrijfsvoering van de crematieovens op groene waterstof, en een bijbehorend lokaal buffer/opslagsysteem van 200 – 300 kg ontkoppelt de dimensioneringskeuzes voor electrolyser, zonnepanelen en netaansluiting. Dit is een zeer goed bruikbare eigenschap voor fasering in de realisatie.

Het huidige terugleververmogen is de eerste grens die beperkend (maar niet blokkerend) werkt op de verdere verduurzaming.

Het verduurzamen via zelf geproduceerde waterstof, uit (deels) zelf geproduceerde zonnestroom, en een bedrijfsvoering van de crematieovens op deze groene waterstof leidt tot een kostprijsverhoging van de leveringskosten voor energie per crematie van een factor 2.6 vergeleken met de huidige situatie. De leveringskosten voor energie (lees aardgas) voor de locatie Enschede zijn op dit moment ongeveer 3% tot 6% van de operationele kosten van Crematoria Twente. Verder moet worden meegenomen 1) de flexibiliteit die waterstof biedt in het moment van inkoop van elektriciteit en bijbehorende tarieven, en 2) de robuustheid die opslag van waterstof biedt door



ook bij beperkte beschikbaarheid van publieke elektrische infrastructuur door te kunnen met de eigen operatie. Dit zijn belangrijke operationele aspecten van de bedrijfsvoering in de keuze voor het vergroenen van de bedrijfsprocessen.

De benodigde investeringen en de operationele kosten kunnen worden verlaagd door gebruik te maken van subsidieregelingen. Deze mogelijkheden

zijn bekend maar niet in deze studie meegenomen. Een van de aspecten ter overweging is de grootte van de electrolyser. Uit de businesscase zonder subsidie komt een optimale electrolyser grootte naar voren van 300kW. Echter, binnen de landelijk subsidieregeling “Opschaling volledig hernieuwbare waterstofproductie via elektrolyse” (OWE) is subsidie pas beschikbaar als de electrolyser minimaal 500kW is.

1 Inleiding

Binnen de Nederlandse crematoria is verduurzaming toenemend een punt van aandacht. In 2023 werd in Nederland 68,4% van de overledenen gecremeerd¹. De meeste crematies vinden plaats met behulp van een aardgasoven. Verduurzaming gebeurt o.a. door elektrificatie van het crematieproces. Bij elektrische crematieovens wordt de warmte geleverd door elektrische weerstanden in plaats van gasbranders. Deze ovens gebruiken elektriciteit om de benodigde warmte te genereren voor het cremeren van het lichaam. Crematoria met een elektrische oven gebruiken – naast groene stroom die ze mogelijk zelf opwekken – in veel gevallen ook vergroende stroom².

IN DE UITVAARTSECTOR is naar verwachting een forse duurzaamheidsslag te maken door cremeren op basis van groene waterstof te introduceren. Ook Crematoria Twente – eigenaar van vier crematoria in Twente – streeft naar het verduurzamen van haar aardgasverbruik en ziet het gebruik van waterstof afkomstig uit duurzame bronnen als wind en zon daarvoor als mogelijke route. De bestaande ovens zijn hiervoor te gebruiken; dit in tegenstelling tot de overstap naar elektrisch cremeren wat om een andere oven vraagt. Crematoria Twente wil graag concrete stappen zetten in het realiseren van deze innovatieve vorm van verduurzaming. Op haar locatie in Enschede beschikt zij over twee gasovens. Het toekomstbeeld is om binnen afzienbare tijd minimaal één oven naar een crematieproces op groene waterstof om te zetten. Het operationele proces van de gevoelige en met emoties omgeven bedrijfsvoering komt daarmee niet in het gevaar. Het crematorium in Enschede kan derhalve als een voorbeeld voor veel andere

crematoria fungeren, zodat de transitie van fossiel aardgas naar groene waterstof ook voor collega's in het land dichterbij komt.

Voor zover bekend zijn er met betrekking tot hogetemperatuur processen in Nederland nog geen plannen voor de overstap naar groene waterstof die zo concreet zijn als die van Crematoria Twente³. Het CO₂ besparingspotentieel van dit voornemen is bovendien omvangrijk, aangezien er op deze manier alleen al voor de locatie in Enschede circa 44.000 m³ aardgas per jaar zal worden bespaard als in eerste instantie één oven op groene waterstof gaat cremeren. Het directe herhaalpotentieel is eveneens groot. Er zijn circa 115 crematoria in Nederland, waarvan de meerderheid tot op heden gebruik maakt van aardgasovens⁴.

In een eerdere verkennende studie – uitgevoerd door Mateq Process via de waterstofHub Twente – zijn (globaal) de mogelijkheden verkend als het gaat om de transitie naar waterstof voor de hoge-

1. Bron: Landelijke Vereniging van Crematoria (www.lvc-online.nl)
2. Vergroende stroom is elektriciteit opgewekt uit duurzame energiebronnen, zoals zonne-energie, windenergie, waterkracht of biomassa, en vervolgens wordt verhandeld met garanties van oorsprong (GvO's). Deze GvO's bewijzen dat een bepaalde hoeveelheid stroom daadwerkelijk uit hernieuwbare bronnen komt. Door conventionele stroom te “vergroenen” met deze certificaten, kunnen energieleveranciers elektriciteit aanbieden die als groen wordt bestempeld, ook al komt de fysieke elektriciteit mogelijk nog steeds uit fossiele bronnen.
3. In het Verenigd Koninkrijk heeft een crematorium in Worthing in 2024 een maand lang gecremeerd op waterstof om met name de emissie-uitstoot te meten als onderdeel van een project van de universiteit van Brighton (bron:DFWEurope)
4. Er zijn 19 elektrische crematieovens in Nederland in gebruik. In 2025 worden dit er 28 (bron:DFWEurope).

2 Doelstellingen

temperatuur crematieprocessen van Crematoria Twente. Uit deze studie kwam naar voren dat een overgang naar waterstof als brandstof voor de ovens technisch mogelijk zou moeten zijn, maar wel een aantal uitdagingen kent die nader uitgewerkt dienen te worden alvorens een investeringsbesluit kan worden genomen. De uitdagingen bevinden zich onder meer op het vlak van de verbrandingstechniek, regeling & beveiliging, benodigde vergunningen, infrastructuur alsmede productie en opslag van waterstof.

De vervolgstap op de verkennende studie is een pre-engineering studie geweest naar een circulair crematieproces voor één en uiteindelijk twee crematieovens in Enschede. Dit is opgesplitst in een technische en logistieke uitwerking van het proces op locatie enerzijds en een kosten-baten analyse anderzijds. Eveneens wordt in dit rapport een vergelijking gemaakt met elektrisch cremeren als mogelijk circulair alternatief.

Deze pre-engineering studie is uitgevoerd door Mateq Process voor Crematoria Twente, in samenwerking met HyMatters. HyMatters heeft zich gefocust op de waterstof- en elektra infrastructuur, waar Mateq Process de verbrandingsaspecten heeft uitgewerkt, en het projectmanagement heeft uitgevoerd. Twee ovenbouwers van crematieovens hebben gefaciliteerd in het aanleveren van technische en financiële gegevens. Het project is financieel ondersteund door de Provincie Overijssel.

Dit rapport is als volgt opgezet. Hoofdstuk twee behandelt de doelstellingen en de onderzochte scenario's. Vervolgens wordt in hoofdstuk drie de toegepaste methode en de gehanteerde uitgangspunten toegelicht. In hoofdstuk vier wordt het crematieproces op aardgas beschreven en vergeleken met elektrisch cremeren. De resultaten van de scenario's staan in hoofdstuk vijf, de financiële analyse in hoofdstuk zes. Hoofdstuk zeven bevat de samenvatting en overwegingen voor de toekomst.

Doel van de studie is het leveren van een blauwdruk van een toekomstige waterstofverbrandingsinstallatie voor een crematieoven in Enschede door het inzichtelijk maken van relevante technische en economische aspecten van cremeren met behulp van duurzaam geproduceerde waterstof alsmede door dit te vergelijken met elektrisch cremeren als alternatieve circulaire methode.

DE GEVONDEN INZICHTEN stellen Crematoria Twente vervolgens in staat praktische en concrete keuzes te maken met betrekking tot de realisatie van haar duurzaamheidsdoelstelling.

De noodzaak tot het uitvoeren van de studie is evident. Er is nog te weinig bekend over de toepassing en realisatie van groene waterstof in een hoge-temperatuur crematieproces om tot een 'go/no go'-investeringsbesluit te komen. De uitkomst moet laten zien wanneer en onder welke voorwaarden het gebruik van een crematieoven op groene waterstof succesvol kan zijn, inclusief investeringen en kosten/baten. De kennis opgedaan in deze studie is nodig om vervolgstappen te kunnen zetten en zo tot realisatie van het duurzaamheidsstreven te komen.

Het is de intentie dat een positief investeringsbesluit zal leiden tot de opzet en uitvoering van een demonstratieproject in het kader van bijvoorbeeld de regeling Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+) van RVO dan wel het EFRO-programma voor Oost-Nederland waarin onder meer wordt ingezet op het versterken van het regionale innovatievermogen door het stimuleren van een groenere, koolstofarme en circulaire economie. De uitkomsten van deze studie kunnen derhalve in de aanloop richting een beoogde DEI+ of soortgelijke subsidieaanvraag worden gebruikt.

2.1 Scenario's

In deze studie worden een aantal scenario's doorgerekend en met elkaar vergeleken. De focus

is op het crematieproces en de hoge-temperatuur energie die daarvoor benodigd is, die nu door het gebruik van aardgas wordt verkregen.

De volgende scenario's zijn uitgewerkt.

- A. *Cremeren op waterstof:*
 - Zelfvoorzienend: alle extra elektriciteit voor vervanging van aardgas wordt op eigen terrein opgewekt en opgeslagen
 - Nul- op-de-meter: alle extra elektriciteit voor vervanging van aardgas wordt op eigen terrein opgewekt
 - Het-net-als-basis: alle elektriciteit wordt (ver)groen(d) ingekocht, zonder en met aanvulling uit 500 kWp zonnepanelen op eigen terrein
- B. *Elektrisch cremeren: overgaan op elektrische crematieovens in plaats van de huidige aardgas-ovens.*
- C. *Hybride oven: crematie oven dat gebruik maakt van elektriciteit en waterstof.*
- D. *Dual fuel: aardgas en waterstof: transitie scenario waarbij één oven op aardgas en één oven op waterstof op de eigen locatie geproduceerd uit zonne-energie.*
- E. *Waterstof voor de omgeving: overproductie van waterstof bij beperkte teruglevercapaciteit en wanneer er geen groene stroom wordt teruggeleverd.*

3 Methode

In deze studie is eerst een verkenning gemaakt van de uitgangspositie voor Crematoria Twente. Welke relevante infrastructuur is aanwezig, welke mogelijkheden zijn er en welke potentiële belemmeringen? Vervolgens worden op basis van die uitgangspunten de scenario's doorgerekend en geanalyseerd voor een meer circulair crematieproces.

HYMATTERS⁵ heeft een doorrekening gemaakt van diverse scenario's voor de energietransitie. Hierbij is in eerste instantie uitgegaan van de technisch beschikbare capaciteit op het elektriciteitsnet, van 630 kW voor zowel afname als teruglevering. Het contractuele afnamevermogen is tijdens het project verhoogd van 205 kW tot de technische beschikbare capaciteit van 630 kW. Het terugleververmogen is echter vooralsnog contractueel beperkt tot 115 kW. HyMatters heeft daarop een aantal extra varianten doorgerekend die van deze nieuwe waarden uitgaan.

De energievraag is door HyMatters gedetailleerd uitgewerkt, tot uur- en dagniveau, en tot de aardgasbehoefte per crematie door de week. Hieruit komt naar voren dat de energiebehoefte op maandag en in de ochtend het grootst is, als de ovens moeten worden opgewarmd (op maandag is dit iets meer omdat Crematoria Twente op zondag gesloten is).

Basis voor de verkenning is een zonnenveld met een electrolyzersysteem plus waterstofopslag op locatie Enschede. Daarbij zijn de volgende zaken gevarieerd:

- Soort zonnenveld: statische versus zonvolgende panelen
- Electrolyser grootte
- Waterstof opslagcapaciteit
- Filosofie t.a.v. gebruik van het stroomnet: geen afname versus 'netto nul op de meter'

In Figuur 1 zijn de uitgangspunten voor de scenario's visueel weergegeven. Met dit schema is het mogelijk

om scenario's uit te werken en een crematieoven op aardgas, een hybride crematieoven op aardgas of waterstof en elektriciteit, een volledig elektrische crematieoven en crematieovens op uitsluitend waterstof onderling te vergelijken.

Voor de huidige situatie, scenario A (met drie varianten) en scenario D is een CO₂ emissie berekening gemaakt (zie bijlage III).

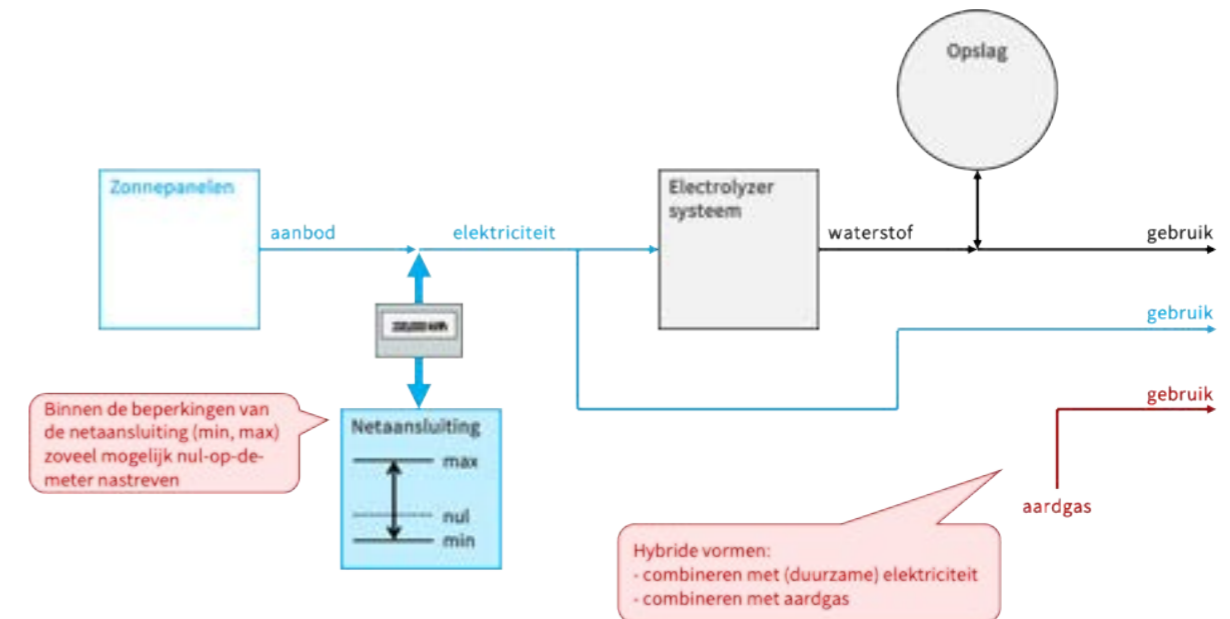
De aspecten die in deze studie zijn meegenomen zijn de volgende:

Technisch

- Wat omvatten de technische installaties per scenario (deelsystemen)?
- Hoe zit het procesontwerp van de installatie er per scenario uit?
- Wat is het te verwachten waterstofgebruikspatroon?
- Wat is de inpasbaarheid van de technische installaties per scenario op de locatie (dimensionering)?
- Wat zijn de benodigdheden voor ombouw en/of nieuwbouw van een crematieoven?
- Wat zijn technisch de grootste risico's (waaronder kritische componenten) en hoe deze te mitigeren?

Logistiek

- Welke opties zijn er om waterstof op locatie te produceren en op te slaan?



Figuur 1. Uitgangspunt voor de aanvullende scenario's.

Financieel

- Wat zijn de benodigde kapitaalsinvesteringen per scenario (CAPEX)?
- Wat zijn de jaarlijkse kosten voor bedrijfsvoering per scenario (OPEX)?
- Wat zijn financieel de grootste risico's en hoe zijn deze te mitigeren?

In deze studie is **geen** aandacht besteed aan de volgende onderwerpen:

- Detailontwerp van (delen van) de installatie
- Mechanische, logistieke en civiele ontwerpaspecten
- Uitwerken van mogelijke consortia / samenwerkingsverbanden voor de realisatie
- Veiligheidstechnische⁶- en vergunningsaspecten, uitgezonderd vooraf blokkerende aspecten
- Wat zijn in logistiek opzicht de grootste risico's en hoe zijn deze te mitigeren?
- Beoordeling van de lokale waterstof infrastructuur.
- Vergelijking tussen lokaal geproduceerde vs toegeleverde waterstof.

3.1 Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd om te komen tot berekeningen en vergelijkingen

- Het aardgasverbruik 2022 is de basis voor het vergelijk met alternatieven.
- Twee ovens gaan cremeren op waterstof
- De waterstofoven in ontwikkeling heeft in joules evenveel waterstof nodig als aardgas.
- Bij een gas/elektrisch hybride oven wordt elektriciteit 50% effectiever verondersteld in het overbrengen van energie dan gas (aardgas of waterstof).
- De electrolyser wordt bedreven tussen 5% en 100% van zijn capaciteit.
- De zonnepanelen staan in een vaste opstelling, dus niet zonvolgend.
- De huidige zonnepanelen (400) op het dak zijn meegenomen in de berekeningen.
- Onder het begrip "duurzaam" wordt ook "netto inkoop groene elektriciteit" verstaan.
- De energiebehoefte van de overige processen, gebouwverwarming en stroomvoorziening van de technische voorzieningen (o.a. de filterinstallatie) worden

5. HyMatters heeft alle bevindingen tussentijds gepresenteerd. Deze presentaties zijn samengevoegd in het document: *Presentaties HyMatters 23-24 versie totaal*. Dit document is niet als bijlage toegevoegd vanwege bedrijfsgevoelige informatie en kan op aanvraag gedeeld worden.

6. Zie: <https://nipv.nl/onderwerp/waterstof/#toolbox-waterstof> voor meer informatie op het gebied van (brand)veiligheid.

4 Het crematieproces

in kaart gebracht en meegenomen in de energiebalans, maar niet direct meegenomen in deze verduurzamingsstudie.

- In de berekeningen wordt uitgegaan van het *contractueel beschikbare* netcapaciteit van 630 kW afname en 115 kW teruglevering.

- Er is uitgegaan van een zonneveld tot maximaal 2,5 hectare, het maximum wat op de locatie haalbaar is binnen het beschikbare oppervlak voor het plaatsen van zonnepanelen op de locatie⁷.

Voor de studie is het belangrijk te begrijpen wat specifieke aandachtspunten zijn van het crematieproces. Eerst wordt ingegaan op het crematieproces zelf, waarna cremeren met aardgas als brandstof en elektrisch cremeren met elkaar vergeleken worden.

4.1 Crematoria Twente, locatie Enschede

CREMATORIA TWENTE BESCHIKT over vier locaties, waarvan Enschede de grootste is. Locatie Enschede beschikt over een bestaande elektrische infrastructuur met een afnamevermogen van 630 kW en een teruglevercapaciteit van 115 kW gecontracteerd met de elektriciteitsleverancier. Daarnaast beschikt Crematoria Twente op deze locatie over 400 zonnepanelen van 305 Wp die in totaal 122 kWp capaciteit hebben met een verwachte jaaropbrengst van 116.000 kWh. Op de locatie is er een additionele oppervlakte van ongeveer 2,5 hectare beschikbaar voor de plaatsing van extra zonnepanelen.

De locatie verbruikt op jaarbasis ongeveer 100.000 m³ aardgas, waarvan het grootste deel voor rekening komt van de crematieovens. Daarnaast is er een opslag voor diesel van 1.500 liter voor eigen gebruik in voertuigen en apparatuur op de locatie.

De locatie beschikt over een tweetal crematieovens. Dit waren er bij aanvang van de studie drie, maar er is in 2023 een verbouwing geweest van de crematieovens. Hierbij zijn onder anderen de rookgaskanalen en de rookgasbehandeling gerenoveerd, waarbij het aantal ovens is teruggebracht van drie naar twee. De resterende twee ovens hebben een moderniseringsupgrade gehad, waardoor deze ongeveer 20% energiezuiniger zijn geworden.

Er worden jaarlijks ongeveer 2.200 crematies verricht op deze locatie. Crematies worden typisch verricht op maandag tot en met zaterdag, tussen ongeveer 10:00 uur en 18:00 uur.

4.2 Relevante aspecten van het crematieproces

In een crematie wordt een lichaam en de kist waarin deze zich bevindt verbrand tot as waarbij andere niet brandbare delen (zoals eventuele implantaten van (edel)metalen) overblijven. De crematieoven wordt verwarmd tot een bepaalde temperatuur (> 800 graden Celsius), waarna de kist wordt ingevoerd. Door deze hoge temperatuur komt het geheel tot zelfontbranding. Het lichaam en de kist samen zijn een bron van energie in dit proces, naast de energie die van buiten wordt toegevoerd door het verbranden van (aard)gas of via elektrische hittespiralen.

Bij de crematie kunnen ook gassen vrijkomen die schadelijk zijn voor het milieu. Daarom is elke crematieoven voorzien van een uitgebreid rookgasreinigingssysteem. Dit begint met een naverbrandingskamer, waar de rookgassen van het crematieproces een van te voren bepaalde minimum verblijftijd hebben onder een van te voren bepaalde minimum temperatuur. Dit zorgt ervoor dat restgassen en giftige stoffen volledig verbranden en geneutraliseerd worden. Deze naverbrandingskamer dient dus ook te worden opgestookt, hetzij met elektriciteit, hetzij door het verbranden van (aard) gas.

Na deze stap worden de rookgassen afgekoeld en via een uitgebreid filtersysteem verder behandeld, waarna ze – schoon – via de schoorsteen worden afgevoerd.

Voorafgaand aan een crematie moeten oven en naverbrandingskamer op bedrijfstemperatuur zijn. Dit betekent dat de oven na een rustdag uit koude(re) toestand, bijvoorbeeld op maandag, moet worden opgestookt. Ook tussen crematies door dient de oven op temperatuur te worden gehouden. Beiden zijn belangrijke bedrijfsaspecten

7. Er is sprake van veranderende regelgeving van de Provincie Overijssel ten aanzien van zonnevelden op landbouwgrond. Er een uitzondering te worden gemaakt voor 'kleine zonnevelden' waar hier sprake van is.

die de kosten voor het crematieproces bepalen. Bijvoorbeeld een langere duur tussen crematies betekent meer verbruik van energie om de oven op temperatuur te houden zonder een daadwerkelijk crematieproces. Een hogere bezettingsgraad van de ovens betekent dat de energieverliezen per crematie lager zullen zijn.

Energieverliezen bij crematieovens worden vooral veroorzaakt door de energie in de rookgassen die de schoorsteen verlaten. Dit noemt men rookgasverliezen. Rookgassen worden veroorzaakt door het verbrandingsproces van kist plus lichaam, plus het (bij)stoken met brandstof van de ovens. Ovens zijn dusdanig geïsoleerd dat de energieverliezen via de isolatie te verwaarlozen zijn.

Omdat bij de verbranding van een lichaam plus kist energie vrijkomt, is het nuttig om deze warmte op te slaan in de oven zelf. Daartoe is de oven uitgerust met keramische elementen, die een hoge energie-inhoud hebben. Over het algemeen hebben moderne ovens meer keramische elementen dan oudere ovens. Dit heeft zijn oorzaak in de bedrijfsvoering. Vanwege de hoge energiedichtheid van keramiek kost het meer energie de oven op te warmen vanuit koude toestand, en bij een bepaald vermogen dus meer tijd. Een oven met minder keramiek is dus sneller en met minder gas (of elektra, maar deze maatregel stamt uit de tijd van de gasgestookte crematieovens) opgestookt tot bedrijfstemperatuur, en is ook sneller afgekoeld voor bijvoorbeeld inspectie of onderhoud. Deze ovens zijn dus geoptimaliseerd voor gebruiksgemak en flexibiliteit in de gebruiksvoering, en in mindere mate voor absolute energiezuinigheid. Nu de prijs van gas en elektriciteit en de emissiereductie van CO₂ belangrijk(ere) aspecten zijn geworden, verschuift deze balans naar energiezuinigheid en gaat dit ten koste van de snellere opstart en flexibiliteit in de bedrijfsvoering van de oven. Dit verschuift ook de balans naar het optimaliseren van de bedrijfsvoering, het storingsvrij kunnen bedrijfsvoeren en het goed plannen van onderhoud, omdat het opwarmen van de oven nu meer energie kost en het afkoelen (veel) meer tijd.

4.3 Elektrische crematie versus aardgascrematie

In principe zijn er geen verschillen tussen elektrisch en gasgestookt cremieren. Beide processen werken met hitte als belangrijkste middel om het crematieproces te starten en volledig en veilig uit te voeren. Het meest wezenlijke verschil is het beschikbare vermogen van de energiebron. Een moderne crematieoven op aardgas heeft een vermogen van 550 kW, waarbij een elektrische oven een vermogen heeft van maximaal 60 kW. Met een voor huidige begrippen beperkte gasinfrastructuur is het eenvoudig om bijvoorbeeld meer dan 1 MW aan thermische energie beschikbaar te hebben in de vorm van aardgas; dit is voor een elektrische aansluiting een significant vermogen dat niet eenvoudig beschikbaar is, en met de huidige netcongestie ook niet eenvoudig te verkrijgen is.

Een ander wezenlijk verschil is de piektemperatuur die beide processen kunnen realiseren. Een aardgasvlam heeft een piektemperatuur van boven de 2.000 graden Celsius, waarbij een elektrische spiraal typisch minder dan 1.000 graden Celsius aan warmte kan toevoegen. Dit betekent dat de opwarming van een elektrische oven veel meer afhankelijk is van het opsluiten van warmte, waar een gasvlam daar minder van afhankelijk is. Dit is onafhankelijk van het energetisch rendement: bij een gelijke isolatiegraad zal een elektrische oven altijd meer tijd nodig hebben om op te warmen dan een gasgestookte oven.

Vanwege de lagere piektemperatuur moeten elektrische ovens beter geïsoleerd zijn en warmte opsluiten om tot goede verbranding te komen. Dat is het hoofddoel. Een elektrische oven veroorzaakt in het proces zelf geen extra rookgassen en zal dus minder rookgasverliezen hebben in vergelijking met een gasoven. Elektrische ovens zijn voorzien van meer keramische isolatie/warmtebuffers. Dit gaat ten koste van de flexibiliteit in tijd: opstoken en afkoelen duurt langer met een elektrische dan met een gasgestookte oven.

Onder de streep lijkt een elektrische crematieoven tot 5 maal energiezuiniger te kunnen zijn dan een

gasgestookte oven, wat een groot verschil is. Dit komt dan wel met name door de keuze voor isolatie en energiebuffering in de ontwerpen voor elektrische ovens; met dezelfde energie isolatie en -buffering is ook een gasgestookte oven veel energiezuiniger te maken. Moderne gasgestookte crematieovens worden dan ook energiezuiniger ontworpen. Zo is de bij de ombouw van de huidige gasgestookte ovens van Crematoria Twente ook de keramische binnenwand van de crematieovens vervangen, wat tot een energiebesparing van ongeveer 20% heeft geleid⁸. Het is dus vooral goed te beseffen dat de mate van isolatie/warmtebuffering⁹ een belangrijke invloed heeft op de mogelijke bedrijfsvoering, naast de energiezuinigheid die dat oplevert.

De opbouw van een elektrische crematieoven is substantieel verschillend aan die van een gasgestookte variant. Een crematieoven op bijvoorbeeld aardgas of propaan is om te bouwen naar bedrijfsvoering op groene waterstof; echter voor de overgang naar elektrisch cremieren is een volledige vervanging van de crematieoven nodig en een aanpassing van het besturingssysteem van de koel- en filterinstallatie achter de daadwerkelijke ovens. Hiermee wordt de investeringsbeslissing naar elektrisch cremieren mede afhankelijk van de restlevensduur van bestaande gasgestookte crematieoven(s) inclusief aanpassing van het besturingssysteem van de koel- en filterinstallatie, naast de lokale beschikbaarheid van voldoende elektrisch aansluitvermogen.

4.4 Waterstofcrematie versus aardgascrematie

De overgang naar het gebruik van waterstof als energiebron is relatief nieuw voor het crematieproces. Diverse alternatieve brandstoffen, ook groene zoals bio-olie of biogas, zijn onderzocht voor toepasbaarheid en specifieke gevolgen voor het crematieproces, maar naar waterstof is

nog beperkt onderzoek gedaan. De toepassing van waterstof als energiebron wordt nu actief onderzocht en uitgewerkt, de vooruitzichten zijn dat deze technologie in 2024 of 2025 commercieel beschikbaar komt.

Een belangrijk verschil tussen het gebruik van waterstof en van aardgas is de gevolgen voor de stralingswarmte. Een aardgasvlam geeft meer van de geproduceerde energie vrij in de vorm van staling dan een waterstofvlam. Het is nog niet bekend, en moet worden onderzocht, in hoeverre een waterstofvlam net zo efficiënt is in het opwarmen van een oven als een aardgasvlam. En, indien dit niet het geval is, welke maatregelen getroffen kunnen worden om dit wel het geval te laten zijn. Deze verschillen kunnen gevolgen hebben voor de totale hoeveelheid gas die nodig is om een oven uit bijvoorbeeld koude(re) toestand (weer) op te warmen. Als de lagere stralingseffectiviteit van waterstof er toe leidt dat er meer gas nodig is dan de energie-equivalente hoeveelheid aardgas, vergroot dit de operationele kosten van een waterstofgestookte crematieoven ten opzichte van een aardgasgestookte oven. Dit is onderwerp van onderzoek bij de crematieovenbouwer Facultatieve Technologies (FT) die dit onderzoek heeft gefaciliteerd, maar hier zijn op het moment van schrijven van dit rapport nog geen gegevens van bekend.

Waterstof als brandstof gedraagt zich op veel punten anders dan aardgas. Het heeft bijvoorbeeld een veel lagere dichtheid, een veel hogere verbrandingssnelheid, een hogere vlamtemperatuur, en ook de zuurstofbehoefte is anders dan bij aardgas. Hier is onder andere in het voortraject van deze studie over gerapporteerd, zie bijvoorbeeld de presentatie beschikbaar op het netwerk van **Nieuwe Energie Overijssel**. Het inzicht hieruit is dat een brander ontworpen voor aardgas niet zonder aanpassingen overgezet kan worden naar waterstof. De technische verschillen zijn zeker

8. Interne informatie Crematoria Twente

9. In de huidige constructie van de ovens is hier geen winst meer te behalen.

overbrugbaar, maar moeten wel worden uitgevoerd door specialisten in het vakgebied, in dit geval de fabrikant van de oven. Ook de effecten van waterstof als brandstof op de bemetseling van de oven en de achterliggende installaties is nog niet bekend.

Crematoria Twente kiest ervoor om het onderhoud en de garantiestelling van de ovens uit te besteden bij de ovenbouwer. Dit betekent dat zij niet zomaar zelf de branders in de ovens kan vervangen, hiervoor is zij aangewezen op de ovenbouwer. Hoe dan ook, zal een overgang naar waterstof- of hybride stoken in een crematieoven een aanpassing van de oven betekenen, welke moet worden ontwikkeld. De aanpassingen aan de oven omvatten in hoofdlijnen:

- Brandstofregeling
- Branders
- Regeling en beveiliging van de oven
- Waterstof specifieke veiligheidsmaatregelen om de oven

In het geval van Crematoria Twente is met de ovenbouwer afgesproken dat zij zal zorgen dat de ovens omgebouwd kunnen worden naar het stoken van waterstof, en dat ze specificaties zal geven voor te nemen waterstof specifieke veiligheidsmaatregelen om de oven.

4.4.1 Basisschema energievoorziening crematieproces

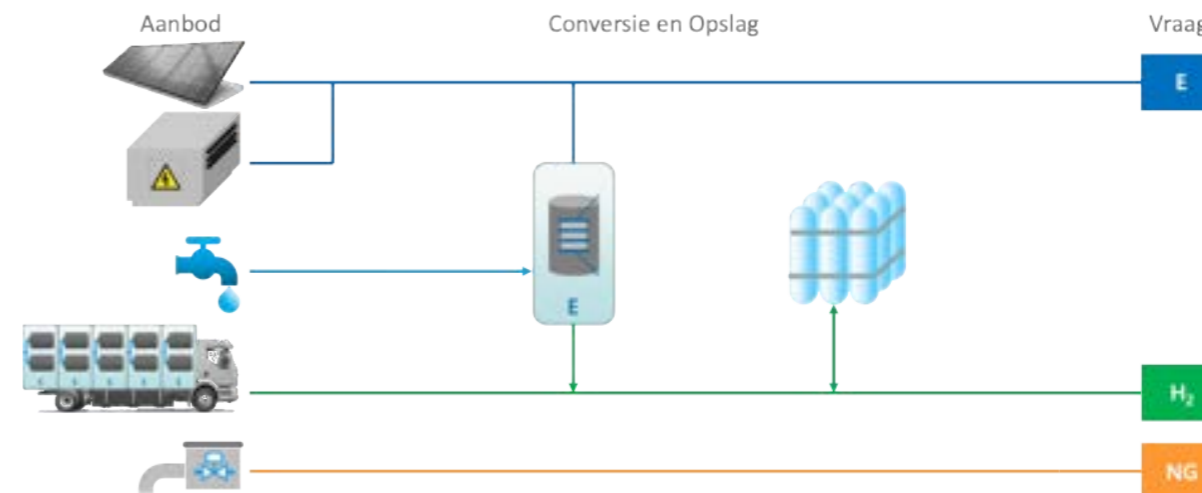
Om het crematieproces van energie te voorzien zijn er verschillende energiebronnen beschikbaar. Dit kan zijn elektriciteit, aardgas, en/of waterstof. Waterstof kan worden gemaakt via een electrolyser die op locatie is geïnstalleerd, en worden aangevoerd via tubetrailers. Waterstof wordt lokaal opgeslagen in (buffer)vaten, om zo vraag en aanbod van waterstof op elkaar af te stemmen. De voor

het elektrolyseproces benodigde elektriciteit kan weer worden verkregen uit het net, of uit een op de locatie geïnstalleerd zonnepaneel. Voor elektrolyse is ook (gezuiverd) water¹⁰ nodig. Dit is schetsmatig weergegeven in Figuur 2.

4.4.2 Elektriciteit of waterstof?

Het rendement van de omzetting van elektriciteit naar waterstof is circa 80%. Dat dit rendement geen 100% is wordt met enige regelmaat als tegenargument gebruikt bij de discussie over waterstof. Men gaat daar onbewust uit dat elektriciteit een bron is. Wat daarmee uit het oog wordt verloren is dat elektriciteit net als waterstof slechts een energiedrager is, waarbij de conversie van een (duurzame) bron naar deze energiedrager altijd met conversieverliezen gepaard gaat. Om een goed vergelijk te maken op het gebied van duurzaamheid moet de hele keten worden vergeleken en niet alleen 1 onderdeel wat in geval van de productie van waterstof – de electrolyser – vaak gebeurt.

Dit zien we ook terug in een duurzaamheids-waarderingssystematiek als BREEAM of de energielabels voor gebouwen (NTA 8800): ook al wordt er 100% groene elektriciteit ingekocht, er wordt per 100 eenheden ingekochte (groene) elektriciteit gerekend met 150 eenheden fossiele energie om deze elektriciteit te produceren. Op het specifieke tijdstip dat de elektriciteit wordt ingekocht, wordt deze gemiddeld geproduceerd door de mix van elektriciteitsproductiemiddelen (zon, wind, kolen, aardgas, kernenergie), en dus waren er ook fossiele energie nodig voor de productie. De inkoop van groene elektriciteit betekent simpelweg dat de leverancier zijn best doet om ervoor te zorgen dat er boekhoudkundig gemiddeld over het jaar evenveel duurzame elektriciteit wordt opgewekt als door de klant wordt gevraagd.



Figuur 2. Basisschema energievoorziening crematieproces.

De enige manier om het beter te doen dan met certificaten voor garantie van oorsprong (GVO) voor vergroende energie is dan ook door duurzame energie op te slaan op het moment van productie en uit deze opslag te halen op het moment van de vraag. Dit is een eenduidige manier om te garanderen dat de gebruikte energie een duurzame herkomst heeft. Waterstof biedt de mogelijkheid om duurzame energie op een duurzame manier op te slaan. Elektriciteit biedt die mogelijkheid via accu's waarbij de afgelopen jaren de ontwikkelingen op het gebied van opslagcapaciteit, efficiëntie, levensduur en kostenreductie positieve resultaten laat zien. Echter, accutechniek is (vanwege de zelfontlading en de terugverdientijd van de milieubelasting veroorzaakt door de productie) niet bedoeld of geschikt voor seizoensopslag van elektriciteit. Daarom is dit onderdeel in deze studie niet meegenomen.

Het is een utopie op ieder willekeurig moment elektriciteit af te kunnen nemen dat 100% duurzaam is. De Nederlandse technische afspraak NTA 8800 die gebruikt wordt om gebouwen van een energielabel te voorzien is daar duidelijk over: wanneer je elektriciteit groen inkoop mag je slechts 41% daarvan als CO₂-emissievrij beschouwen. De rest wordt geacht door een

moderne gascentrale te zijn gemaakt. Er is echter een uitzondering voor afnemers die elektriciteit afnemen op dat moment dat de elektriciteit ook duurzaam wordt opgewekt. En dat is het geval bij crematorium Enschede.

Daarom mag groen ingekochte elektriciteit als CO₂-emissie-vrij worden gezien, wat dan ook voor alle ingekochte elektriciteit het uitgangspunt is bij de geëvalueerde scenario's.

10. Vuistregel is dat er 15 liter kraanwater nodig is voor 1 kilo waterstof.

5 Resultaten scenario's

5.1 Cremeren op waterstof

In dit scenario is gekeken naar het produceren van waterstof met behulp van een electrolyser op de locatie Enschede via drie sub-scenario's:

1. *Zelfvoorzienend: alle extra duurzame energie ter vervanging van aardgas wordt als elektriciteit met zonnepanelen op eigen terrein opgewekt en in de vorm van waterstof opgeslagen*
2. *Nul-op-de-meter: alle extra duurzame energie ter vervanging van aardgas wordt als elektriciteit met zonnepanelen op eigen terrein opgewekt en alleen wanneer noodzakelijk in de vorm van waterstof opgeslagen*
3. *Het net als basis: alle extra duurzame energie ter vervanging van aardgas wordt als vergroene elektriciteit ingekocht, zonder en met aanvulling uit 500 kWp zonnepanelen op eigen terrein*

Eerst is een verkennende studie uitgevoerd voor wat de kleinst mogelijke electrolyser kan zijn om in de behoefte te voorzien (die dan een grote waterstofopslag tot gevolg heeft als noodzakelijke buffer) en wat de kleinst mogelijke benodigde waterstof-opslagcapaciteit is (met dus een grote electrolyser). Ook is verkend wat de gevolgen zijn van een scenario waarin de locatie geheel zelfvoorzienend is voor de waterstofproductie; dus waarin er geen stroom wordt afgenomen van het net. Ook is een scenario verkend van 'netto nul op de meter', ofwel waarbij de installatie dusdanig gedimensioneerd wordt dat er netto geen stroom wordt afgenomen of teruggeleverd, maar waarbij het net wel wordt ingezet om tijdelijke stroomtekorten of -overschotten te verdisconteren.

5.1.1 Zelfvoorzienend (sub-scenario 1) en nul-op-de-meter (sub-scenario 2)

De energiebehoefte van locatie Enschede splitst zich uit in 100 kW continu en 1.1 MW piekvraag. De aardgasvraag van crematoria Twente komt overeen met een equivalente waterstofbehoefte van 26.585 kg per jaar¹¹. De uurwaarden in de aardgasbehoefte zijn vertaald naar energetisch equivalente uurwaarden in de waterstofbehoefte. Hier moet de kanttekening worden geplaatst dat de waterstofbehoefte in de praktijk kan afwijken van de energetisch vergelijkbare aardgasbehoefte. In deze analyse wordt dit mogelijke verschil genegeerd omdat er geen kwantitatieve gegevens over bekend zijn. Het is de verwachting dat dit de conclusies niet wezenlijk zal beïnvloeden.

In deze scenario's is de limitering van de technische netcapaciteit gebruikt, ofwel 630 kW capaciteit voor afname en 630 kW voor teruglevering en niet de gecontracteerde capaciteit van 115 kW.

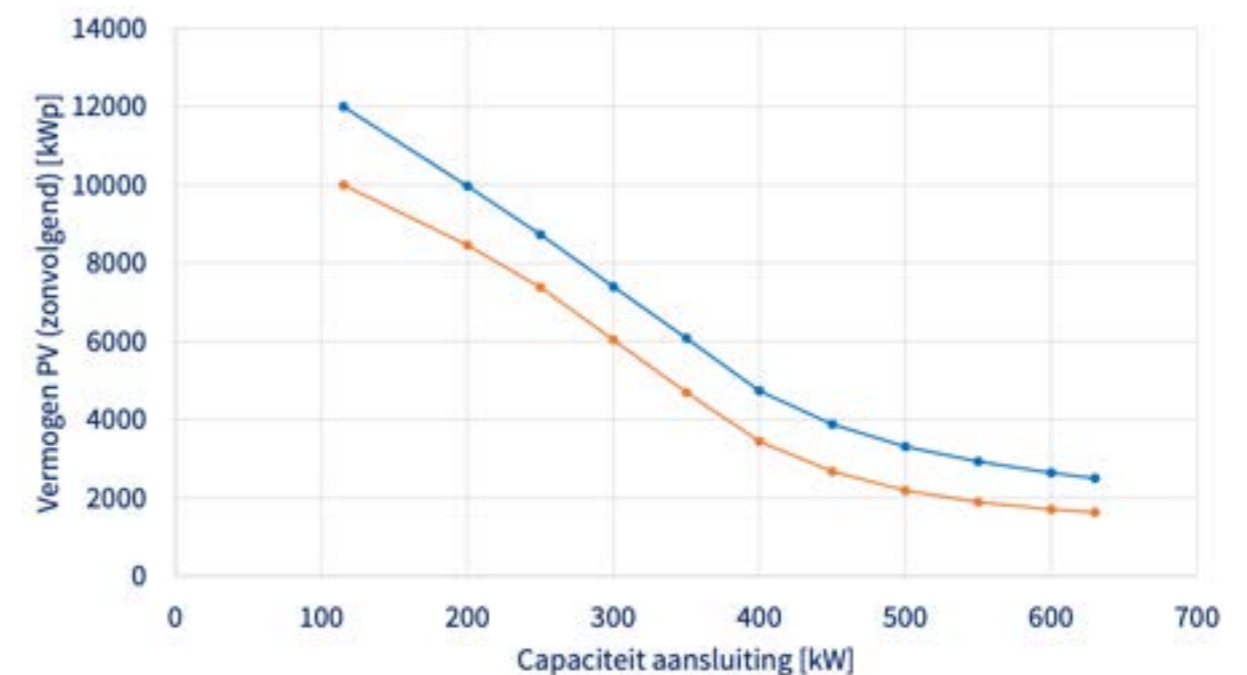
De belangrijkste resultaten van deze studie staan in tabel 1:

Scenario	Electro-lyser capaciteit	Opslag capaciteit	Zonnepanelen ¹²⁾
Zelfvoorzienend	1.000 kW	7.000 kg	2.200 kWp
Netto nul op de meter	300 kW	200 kg	2.500 kWp

Tabel 1: Resultaten scenario's Zelfvoorzienend en nul-op-de-meter

Een belangrijke conclusie die hieruit kan worden getrokken is dat de benodigde hoeveelheid zonnepanelen redelijk onafhankelijk is van het gekozen scenario. Verder is het technisch mogelijk

VERMOGEN OPGESTELD PV BIJ BESCHIKBARE CAPACITEIT AANSLUITING (300 kW ELECTROLYSER)



Figuur 3. Benodigd opgesteld zonnepanelen vermogen bij verschillende capaciteiten netaansluiting, 300 kW electrolyser. Blauw: vast opgesteld zonnepanelen. Oranje: Zonvolgend zonnepanelen.

om geheel zelfvoorzienend te zijn, maar dit vraagt een 3 keer grotere electrolyser en een 35 keer grotere opslag dan in het 'nul op de meter' scenario. Hierdoor zal dit zelfvoorzienende scenario financieel gezien minder aantrekkelijk zijn. Waterstof onder hoge druk opslaan kost veel energie en dure compressors. Waterstof opslaan in 40 bar tanks is ideaal. Daarmee is 200 kg nog wel praktisch op te slaan, maar 7.000 kg niet, omdat dat teveel ruimte in beslag neemt. Zie bijlage 1 voor een indruk van het benodigde opslagvolume in waterstoftanks.

In het zelfvoorzienende scenario is jaarlijks 70.000 kWh beschikbaar voor teruglevering aan het net. Deze hoeveelheid is beperkt door de beschikbare teruglevercapaciteit van 115 kW, en leidt dus tot een mindere benutting van het opgestelde zonnepanelen als de netwerkcapaciteit limiterend wordt.

In alle scenario's helpt een zo groot mogelijke netaansluiting om meer energieneutraal te kunnen zijn. Een kleinere netaansluiting kan worden gecompenseerd met meer opgestelde zonnepanelen, zie Figuur 3. Dit sluit echter snel op praktische grenzen vanwege de vereiste opvang.

In Figuur 3 is ook te zien dat een zonvolgend zonnenveld (oranje grafiek) effectiever is dan vast opgestelde zonnepanelen (blauwe grafiek), met minder geïnstalleerde zonnepanelen is meer energie te winnen en komt het opwekpatroon beter overeen met het vraagpatroon. Dit is niet verder in detail uitgewerkt. In het vervolg is gerekend met een vast opgesteld zonnenveld voor de uitwerking van de verdere (business) cases.

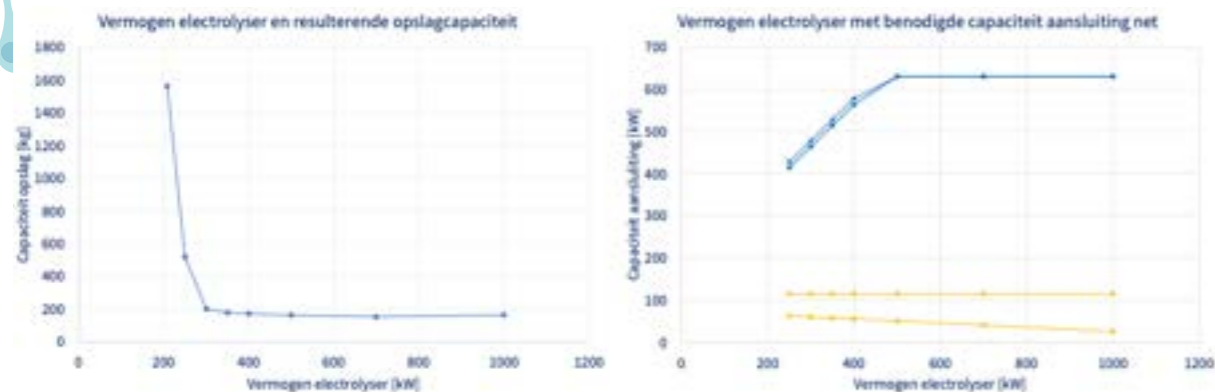
5.1.2 Het net als basis (sub-scenario 3)

In dit scenario worden beide crematieovens bedreven met groene waterstof die lokaal wordt geproduceerd middels een electrolyser en een waterstofopslag waarbij alle elektriciteit groen wordt ingekocht, zonder en met aanvulling uit 500 kWp zonnepanelen op eigen terrein.

De optimale electrolyser capaciteit is 300 kW, in combinatie met een waterstofopslagcapaciteit van 200 kg. Dit wordt verduidelijkt in Figuur 4. Duidelijk is te zien dat de benodigde opslagcapaciteit zeer snel daalt bij het vergroten van het electrolyser vermogen van 200 tot 300 kW. Daarna is de benodigde opslag vrijwel onafhankelijk van de

11. Zie: Presentaties HyMatters 23-24 versie totaal

12. Mogelijke capaciteit binnen beschikbare theoretische netcapaciteit van 630kW afname en teruglevering



Figuur 4. Benodigde opslagcapaciteit en netaansluiting als functie van electrolyser vermogen. Scenario 'het net als basis'. In de rechterfiguur zijn de blauwe lijnen benodigde capaciteit afname; oranje benodigde capaciteit terugleveren van elektriciteit.

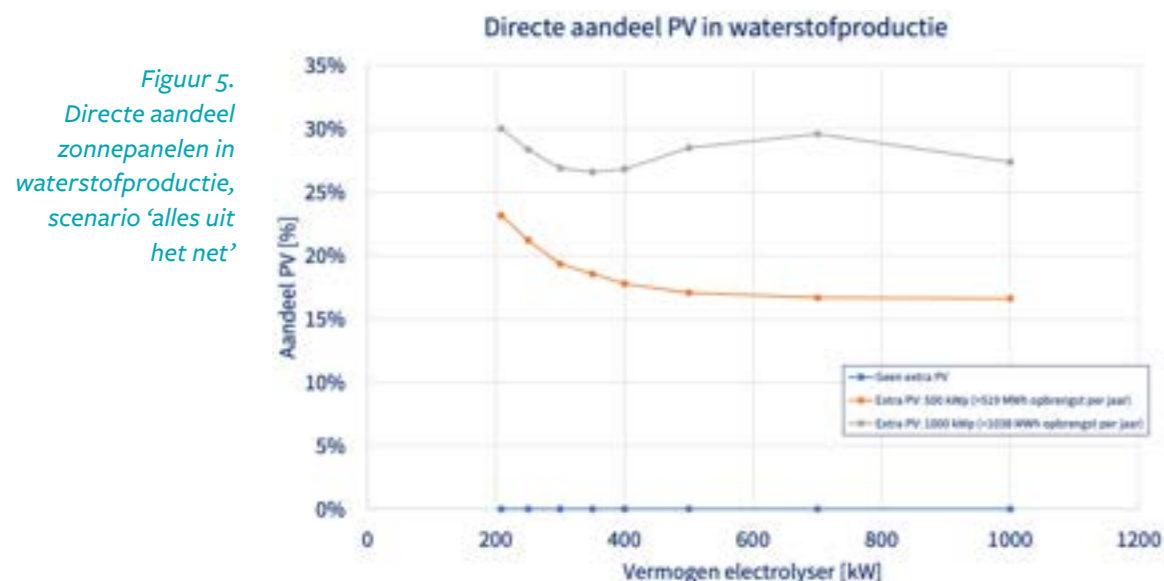
electrolyser capaciteit en stabiliseert rond de 200 kg. In de rechter figuur is te zien dat wanneer de electrolyser capaciteit boven de 500 kW komt, de capaciteit van het net de beperkende factor gaat worden en niet de electrolyser capaciteit. Dit betekent dat een electrolyser van meer dan 500 kW energetisch gezien geen toegevoegd nut heeft. Dit komt vooral door de beperking in het beschikbare terugleververmogen; zonnepanelen moeten worden afgeschakeld indien ze meer opleveren dan benodigd is voor de electrolyser, de locatie en de teruglevercapaciteit.

In Figuur 5 is uitgewerkt wat de meerwaarde is van het plaatsen van zonnepanelen op locatie in dit scenario. In dat geval komt dus niet alle stroom uit het net, maar wordt deze ondersteund door zonne-

energie binnen de contractuele grenzen van de elektriciteitsaansluiting. Wat opvalt is de grootte van de electrolyser weinig invloed heeft op het aandeel zonnepanelen. Dit is dus onafhankelijk te kiezen op basis van de business case en de technische mogelijkheden. Dit is een prettige eigenschap bij de fasering van de realisatie. In deze scenario's loopt een deel van de duurzame energie via de virtuele opslagfunctie van het elektriciteitsnet, zoals eerder besproken is (via het benutten van de teruglever- en afnamecapaciteit).

5.2 Elektrisch cremen

Op basis van informatie van een elektrische ovenbouwer is een scenario uitgewerkt van conversie van de twee bestaande ovens naar



Figuur 5. Directe aandeel zonnepanelen in waterstofproductie, scenario 'alles uit het net'

Parameter	Scenario 'groene stroom uit het net'	Scenario 'netto nul op de meter' met zonnepanelen	
Zonnepanelen (vast)	0	1075	kWp
E-verbruik ovens per jaar	721	721	MWh
Netaansluiting afnamevermogen	378	364	kW
Netaansluiting terugleververmogen	54	970	kW
Totale jaarafname	1119	683	MWh
Totale teruglevering per jaar	3	683	MWh
Netto jaarafname	1116	0	MWh

Tabel 2: Resultaten scenario's Zelfvoorzienend en nul-op-de-meter

volledig elektrische operatie¹³. Een tweetal sub-scenario's zijn hier bekeken:

- alle stroom uit het net
- lokaal compensatie met zonnepanelen op het eigen terrein

Er is uitgegaan van een elektriciteitsvraag van 100 kW piek per elektrische oven, en een minimum elektriciteitsverbruik van 11 kW.

Elektrisch cremen met volledig inkoop van groene elektriciteit is dus technisch mogelijk.

Er is duidelijk te zien dat lokale ondersteuning van de elektriciteitsbehoefte door zonnepanelen **niet** mogelijk is in dit geval, vanwege de beperking in de beschikbare teruglevercapaciteit, zowel contractueel (115 kW) als technisch (630 kW). Dit heeft te maken met het feit dat onbalans (momentaan meer elektriciteitsproductie door zonnepanelen dan de vraag) door het net moet worden opgelost. Ofwel door teruglevering van overtollig geproduceerde stroom. Met de beschikbare netcapaciteit is het mogelijk 100 kWp aan extra zonnepanelen aan te leggen op de locatie, wat slechts een beperkte extra verduurzaming oplevert en deze netcongestie niet oplost.

Een tweede aandachtspunt van elektrisch cremen op deze locatie is dat er geen flexibiliteit is in het moment van inkoop van elektriciteit, en het moment waarop het benodigd is. Dat komt doordat in dit scenario er geen energieopslagsysteem is meegenomen.

De conclusie is dat het technisch mogelijk is om elektrisch te cremen op de locatie Enschede van Crematoria Twente. Dit staat los van het gegeven dat elektrisch cremen gemiddeld 110 minuten¹⁴ duurt t.o.v. gemiddeld 90 minuten bij een aardgasoven. Dit heeft in de bedrijfsvoering consequenties.

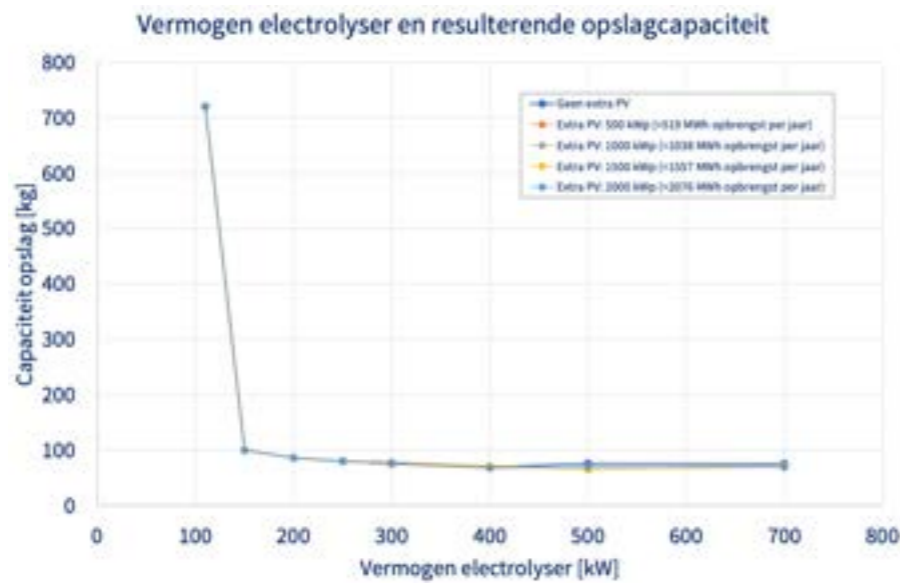
5.3 Hybride oven – elektrisch en waterstof

In dit scenario worden de crematieovens deels op elektriciteit en deels op groene waterstof bedreven die op locatie wordt geproduceerd. Hierbij is aangenomen dat de ovens voor 50% van de energiebehoefte via elektriciteit worden voorzien en 50% uit groene waterstof. Verder is een ervaringsaannname gedaan (nader te toetsen is als gegevens hiervoor vrijkomen) dat elektrische heaters in een hybride oven twee keer zo effectief zijn in de energie-overdracht als gasbranders.

13. De berekeningen zijn gemaakt op basis van data beschikbaar ten tijde van het onderzoek.

14. Bron: DFWEurope

Figuur 6.
Vermogen electrolyser en resulterende opslagcapaciteit.
Scenario hybride ovens E/waterstof.



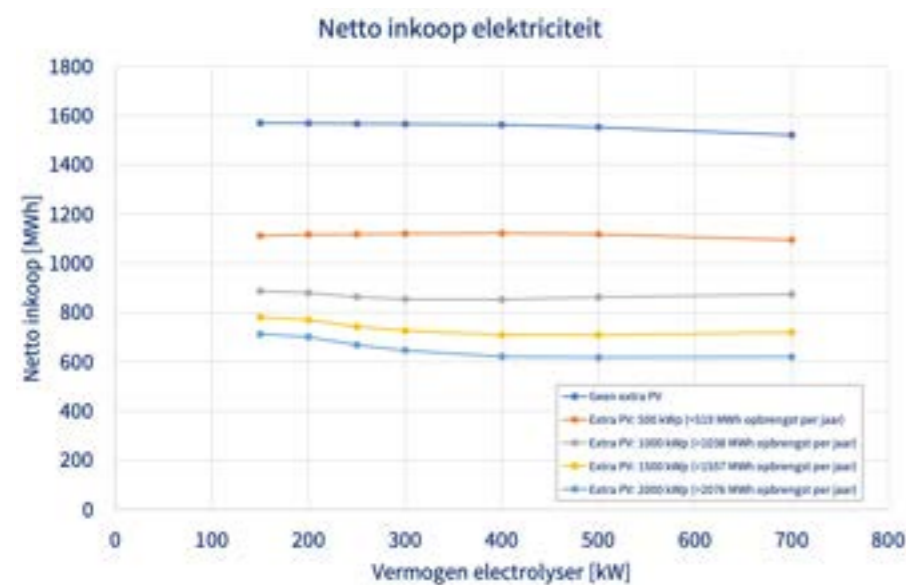
In Figuur 6 is de benodigde opslagcapaciteit weergegeven als functie van het vermogen van de electrolyser, bij verschillende vermogens aan opgestelde zonnepalen. Duidelijk is te zien dat ook hier de hoeveelheid zonnepanelen niet gekoppeld is aan de optimale keuze voor electrolyser of opslagcapaciteit.

De hoeveelheid opgestelde zonnepanelen heeft wel gevolgen voor de benodigde hoeveelheid ingekochte stroom, zie daarvoor Figuur 7. Die kan meer dan worden gehalveerd bij het opstellen van 2MWp aan zonnepanelen. Wel is te zien dat de marginale winst van meer zonnepanelen wel kleiner wordt boven de 500-1000 kWp geïnstalleerd

panelen. De effectiviteit van meer opgestelde zonnepanelen neemt dus snel af bij meer opgesteld vermogen.

5.4 Dual fuel ovens – aardgas en waterstof

In dit scenario worden de ovens bedreven op zowel aardgas als waterstof, aangenomen is 50-50 verdeling. Dit kan een mengsel zijn, of een tweetal toegewijde branders, elk geoptimaliseerd voor prestaties en emissies voor één van de twee brandstoffen. Aangenomen is dat waterstofbranders energetisch even effectief zijn als aardgasbranders, wat een onderwerp is



Figuur 7.
Netto inkoop elektriciteit als functie van opgesteld zonnepanelen, scenario hybride ovens E/waterstof.

van nader onderzoek maar vooralsnog hier is aangenomen.

Ook hier vallen dezelfde zaken op als in de hierboven beschreven scenario's:

- De hoeveelheid zonnepanelen is ontkoppeld van de optimale grootte van waterstofopslag en electrolyser vermogen.
- Inkoop van elektriciteit kan sterk worden gereduceerd door de plaatsing van zonnepanelen op de locatie, maar de effectiviteit van meer zonnepanelen neemt snel af bij een grotere hoeveelheid opgesteld vermogen.
- Het contractueel beschikbare terugleververmogen beperkt de benutting van meer zonnepanelen, niet de grootte van de electrolyser .

5.5 Waterstof voor de omgeving

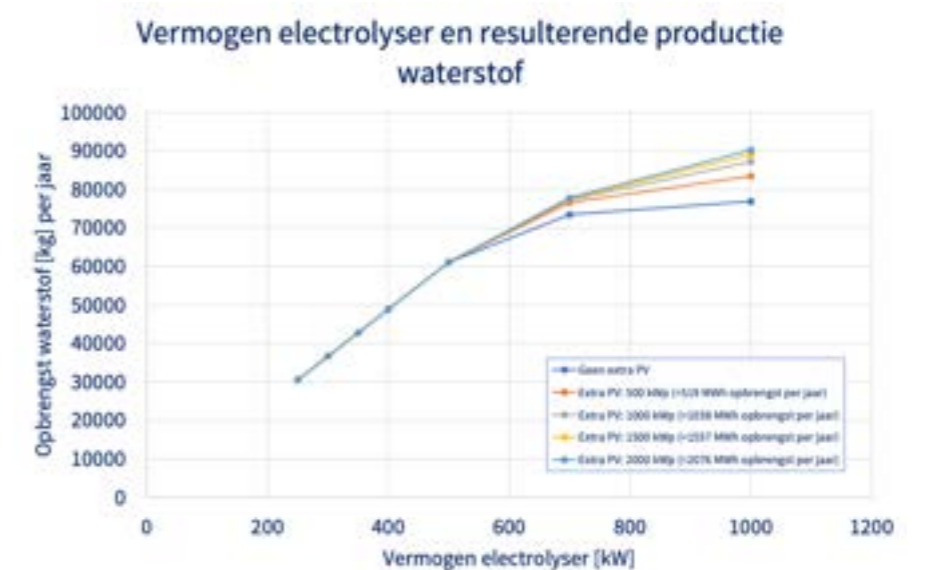
In dit scenario wordt niet gekeken naar de waterstofbehoefte van locatie Enschede van Crematoria Twente, maar wordt gekeken welke hoeveelheid waterstof maximaal kan worden geproduceerd gegeven het opgestelde zonnepanelen en de beschikbare netaansluiting. De redenatie is dat overtollig geproduceerd waterstof

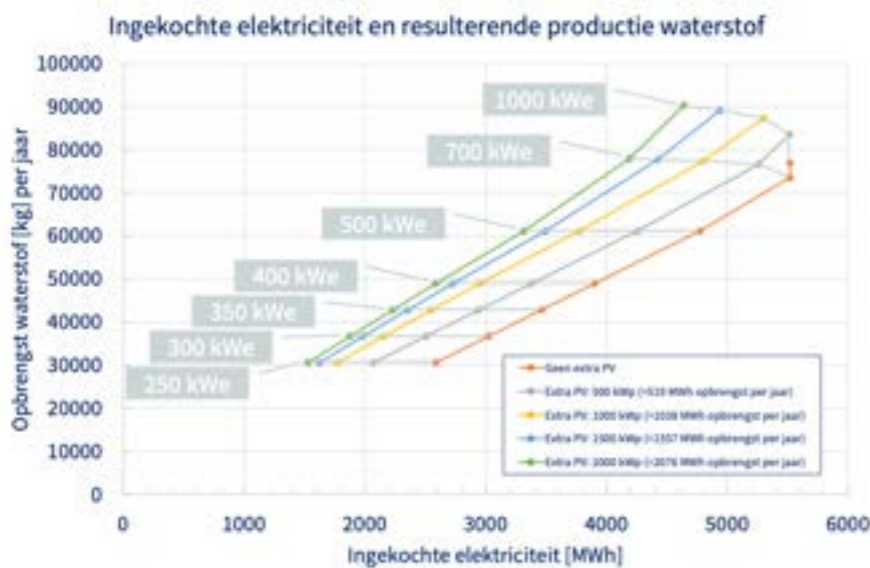
nuttig kan worden ingezet voor de omgeving. Dat kan zijn in de vorm van leveren van groene waterstof aan de overige locaties van Crematoria Twente (nader te ontwikkelen en niet verder meegenomen in deze studie) en/of in het leveren van waterstof aan andere gebruikers in de omgeving om die in staat te stellen te vergroenen. De locatie Enschede heeft een geprojecteerde waterstofbehoefte van 26.585 kg per jaar, meer geproduceerde waterstof is dus beschikbaar voor de omgeving.

In Figuur 8 is de jaarlijkse waterstofopbrengst weergegeven als functie van vermogen van de electrolyser, en bij variërende hoeveelheden opgestelde zonnepanelen. Ook hier is de keuze voor de electrolyser en de waterstof opbrengst onafhankelijk van het opgestelde zonnepanelen, tot een electrolyser vermogen van 630 kW. Daarboven kan extra opgestelde panelen de jaaropbrengst waterstof nog vergroten, omdat deze dan de beschikbare netcapaciteit aanvult.

De hoeveelheid opgestelde zonnepanelen heeft grote invloed op de hoeveelheid waterstof die met lokaal opgewekte duurzame energie kan worden geproduceerd. Een grotere electrolyser produceert meer waterstof en benut meer zonnepanelen, maar dan wel in combinatie met een meer dan proportioneel grotere inkoop van elektriciteit, en

Figuur 8.
Vermogen electrolyser en resulterende productie waterstof bij verschillende zonnepanelen vermogens, scenario waterstof voor de omgeving.





Figuur 9. Ingekochte elektriciteit en resulterende waterstof productie, als functie van opgesteld zonnepanelen, scenario waterstof voor de omgeving.

dus een grotere afhankelijkheid van de beschikbare groene stroom uit het net. Dat is weergegeven in Figuur 9.

5.6 Inzichten

De belangrijkste inzichten uit de evaluatie van de verschillende scenario's zijn:

- Energieopslag in een waterstofsysteem ontkoppelt de dimensionering van electrolyser, zonnepanelen en netaansluiting. Dit is een zeer bruikbare eigenschap voor fasering in de realisatie.
- Elektrisch cremeren is mogelijk, dankzij de grote beschikbare afnamecapaciteit.
- Een elektrische oven verbruikt tijdens de piek een factor 5 minder energie dan een vergelijkbare oven op aardgas of waterstof. De crematie-tijd neemt daarbij toe van 90 minuten naar 110 minuten wat in de bedrijfsvoering consequenties heeft. Ook de opwarmtijd neemt toe.
- Iedere energiebesparing in de oven betaalt zich uit in zowel CAPEX als OPEX als betere benutting van de beperkte netaansluiting.
- Het huidige terugleververmogen is de eerste grens die beperkend (maar niet blokkerend) werkt op de verdere verduurzaming.

6 Financiële analyse

De diverse hierboven beschreven scenario's zijn ook financieel doorgerekend. Daarbij zijn een aantal uitgangspunten gehanteerd.

Meegenomen kostenposten

- Investeringskosten: zonopwek, waterstofvoorziening, energie-infrastructuur en aanschaf/ombouw oven
- Operationele kosten: elektriciteit, netbeheerkosten, energiebelasting elektriciteit, financieringslasten en onderhoud waterstofvoorziening
- Waarbij onderdelen waterstofvoorziening: opwek zon, electrolyser, opslag, systeemintegratie, project management, engineering en leidingwerk

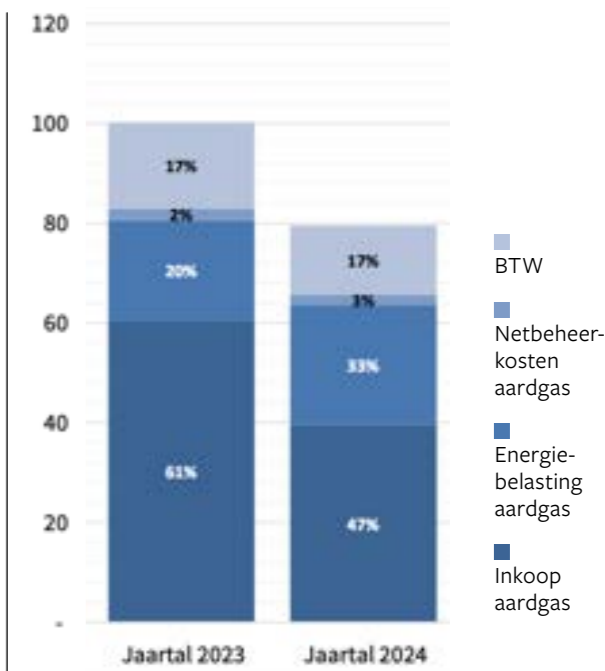
NIET meegenomen kostenposten

- Grondpositie en bouwwerkzaamheden
- Installatiewerkzaamheden in het gebouw
- Vrijstelling voor de energiebelasting voor inkoop elektriciteit uit net voor electrolyser

Basiswaarden

- Inkoopprijs aardgas 2024: 0,96 euro/m³¹⁵
- Inkoopprijs elektriciteit: 0,10 euro/kWh (=huidige marktprijs kaal tarief)
- Verkoopprijs elektriciteit: 0,05 euro/kWh (aannahme dat verkoopprijs 50% lager is dan inkoopprijs)
- Bedragen *inclusief* BTW¹⁶
- Afschrijvingstermijn: 15 jaar
- Investeringskosten op basis van marktprijzen
- 10% onvoorzien op CAPEX

Om tot een goede onderlinge vergelijking te komen van de kosten van de diverse alternatieven in de energievoorziening van het crematieproces zijn de scenario's met elkaar vergeleken op basis van de



Figuur 10. Geïndexeerde leveringskosten aardgas en uitsplitsing in diverse kostenposten per plechtigheid met als referentie aardgas = 100.¹⁷

kosten per crematie. Het betreft dus uitsluitend het aandeel van de energiekosten in de crematie zoals hierboven gespecificeerd. Ook worden de totale investeringskosten (CAPEX) en operationele kosten (OPEX) in kaart gebracht.

Deze analyse is niet bedoeld voor besluitvorming op basis van een kostenvergelijking ten opzichte van het gebruik van aardgas. Uit deze en vele andere studies komt naar voren dat als enkel wordt uitgegaan van een kale financiële vergelijking van de kosten van groene initiatieven ten opzichte van fossiele brandstoffen, groene initiatieven momenteel vrijwel altijd financieel in het nadeel zijn. De aanbeveling is om de kosten te beoordelen op het draagvlak. Een vergelijking ten opzichte van de kosten voor aardgas, wat in feite de huidige bedrijfsvoering is,

15. Deze kosten zijn inmiddels hoger, door de volatiliteit van de gasprijs. Voor dit onderzoek is met deze waarde gerekend, de verschillen hebben geen invloed op de aard van de bevindingen of conclusies.

16. Crematoria Twente komt vanwege de aard van de bedrijfsvoering niet of nauwelijks in aanmerking voor btw verrekening. Het zou een vertekend beeld geven als die niet wordt meegenomen.

17. Waarden in Euro's intern bekend, maar worden gezien als vertrouwelijke informatie.

helpt daarin om dat draagvlak inzichtelijk te maken en te kwantificeren.

6.1 Leveringskosten aardgas

In de huidige situatie wordt gecremeerd op aardgas op de locatie Enschede van Crematoria Twente. Gezien de enorme en tijdelijke stijging van de prijs van aardgas in 2023 worden de leveringskosten voor aardgas van 2023 niet als representatief geacht. Daarom is een basisscenario uitgewerkt voor 2024 op basis van marktverwachtingen en huidige prijsniveau. Dit is verwerkt in Figuur 10.

Te zien in de figuur is de trend dat de energiebelasting trapsgewijs verschuift van elektriciteit naar aardgas. Dit heeft geleid tot een verhoging van de energiebelasting voor aardgas van 19% in 2024 ten opzichte van 2023.

De leveringskosten van energie uit aardgas per crematie over 2024 wordt als uitgangspunt genomen.

6.2 Financiële vergelijking

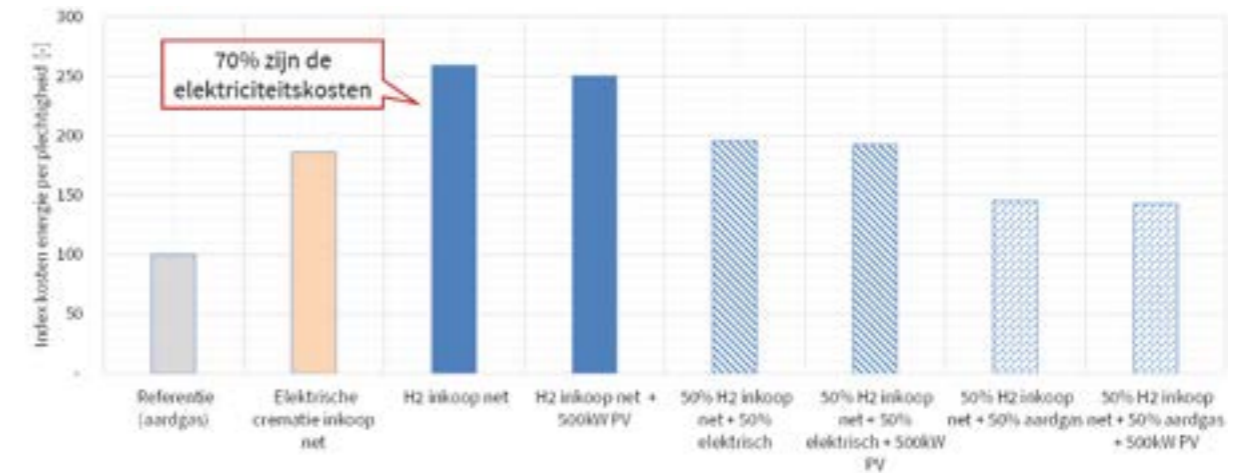
Op basis van de gekozen aannames en de uitgangspunten voor Crematoria Twente is een financiële vergelijking gemaakt van de verschillende geanalyseerde scenario's. Dit is weergegeven in Tabel 3. Afschrijving is over 15 jaar, wat als uitgangspunt voor de levensduur van de installatie is genomen. Een onderscheid is gemaakt in uitgaven (CAPEX) in jaar 0 en in jaar 7. De uitgaven in jaar 0 betreffen de aanschaf van de installatie. In jaar 7 zal naar verwachting de electrolyser stack moeten worden vervangen, wat is meegenomen in het investeringsoverzicht om een volledig beeld te creëren.

De scenario's met 'inkoop net' refereren aan de inkoop van groene elektriciteit. Deze scenario's weerspiegelen de optima van de beschikbare netcapaciteit voor afname en teruglevering van stroom, in combinatie met waterstofgeneratie en opslag op het eigen terrein, middels binnen de mogelijkheden optimaal eigen opgestelde zonnepanelen. De volgende scenario's worden

	Referentie (=aardgas)	Elektrische crematie	H2 inkoop net	H2 inkoop net +500kW PV	50% H2 inkoop net + 50% elektrisch	50% H2 inkoop net + 50% elektrisch +500kW PV	50% H2 inkoop net + 50% aardgas	50% H2 inkoop net + 50% aardgas +500kW PV
CAPEX in jaar 0	-	€1.800.000	€1.420.000	€1.831.000	€1.738.000	€2.150.000	€838.500	€1.251.000
CAPEX in jaar 7	-	-	€472.500	€472.500	€262.500	€262.500	€262.500	€262.500
CAPEX per jaar	-	€120.000	€122.000	€150.000	€131.000	€159.000	€71.000	€99.000
OPEX per jaar	€161.000	€180.000	€294.000	€252.000	€183.000	€151.000	€162.000	€130.000
Totale kosten per jaar (excl. BTW)	€161.000	€300.000	€416.000	€402.000	€314.000	€310.000	€233.000	€229.000
Totale kosten per jaar (incl. BTW)	€195.000	€363.000	€503.000	€487.000	€380.000	€375.000	€282.000	€277.000

Tabel 3: Investeringskosten en jaarlijkse kosten voor levering energie, diverse scenario's¹⁸.

18. Hier is als CAPEX de kosten voor de aan te schaffen elektrische crematieoven inclusief filterinstallatie meegenomen.



Figuur 11. Geïndexeerde leveringskosten energie per crematie, verschillende scenario's, referentie aardgas = 100.

onderscheiden in Tabel 3, al dan niet met extra opgestelde zonnepanelen of alle benodigde elektriciteit uit het net:

- “waterstof”: Crematieproces op groene waterstof
- “50% waterstof – 50% elektrisch”: hybride oven op waterstof en elektriciteit
- “50% waterstof – 50% aardgas”: hybride oven op waterstof en aardgas

Uit dit overzicht (Tabel 3) komt naar voren dat een volledig elektrische crematie lagere totale jaarlijkse kosten heeft dan een crematie op waterstof. Dit heeft vooral zijn oorzaak in het feit dat de beoogde elektrische oven op basis van de huidige beschikbare specificaties veel energiezuiniger is.

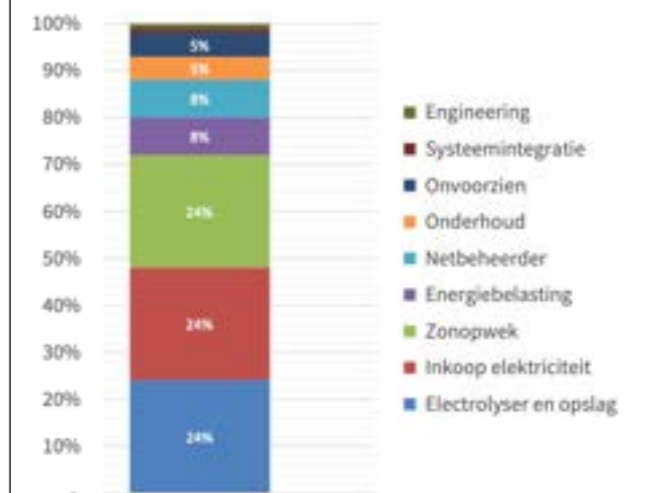
Verder valt op dat de jaarlijkse leveringskosten voor energie voor cremieren op waterstof het duurst van de doorgerekende scenario's zijn. Het bijplaatsen van 500 kW zonnepanelen heeft daarbij beperkte invloed op de totale jaarlijkse kosten. Dit verandert zodra de inkoopprijs voor elektriciteit uit de markt hoger wordt omdat daarmee het verschil tussen marktprijs elektriciteit en eigen opwek uit zon groter wordt. Omdat aardgas relatief zo goedkoop is per gebruikte MW is een hybride oplossing met aardgas ook minder duur.

De overige doorgerekende scenario's op waterstof zijn allen rond de 40-50% duurder per jaar dan de referentie op aardgas, maar ontlopen elkaar weinig wat betreft totale jaarlijkse leveringskosten. Dit geeft ruimte voor flexibiliteit in de invulling van de energietransitie voor Crematoria Twente op het moment dat die keuze wordt gemaakt.

De onderlinge vergelijking van de scenario's op basis van de energiekosten per crematie is weergegeven in Figuur 11. Die laat hetzelfde relatieve beeld zien tussen de verschillende scenario's, en geeft tevens meer inzicht in de gevolgen voor de leveringskosten van energie per crematie tussen de diverse alternatieven. Dit zijn de kosten zonder eventuele subsidies.

In Figuur 12 is een *cost breakdown* gemaakt van een typisch scenario. Hierin valt op dat rond 50% van de kosten worden bepaald door elektriciteitsgerelateerde kosten. Zoals aangegeven in Figuur 11 is dat zelfs 70% voor het scenario “waterstof inkoop net”.

COST BREAKDOWN JAARLIJKSE CAPEX + OPEX

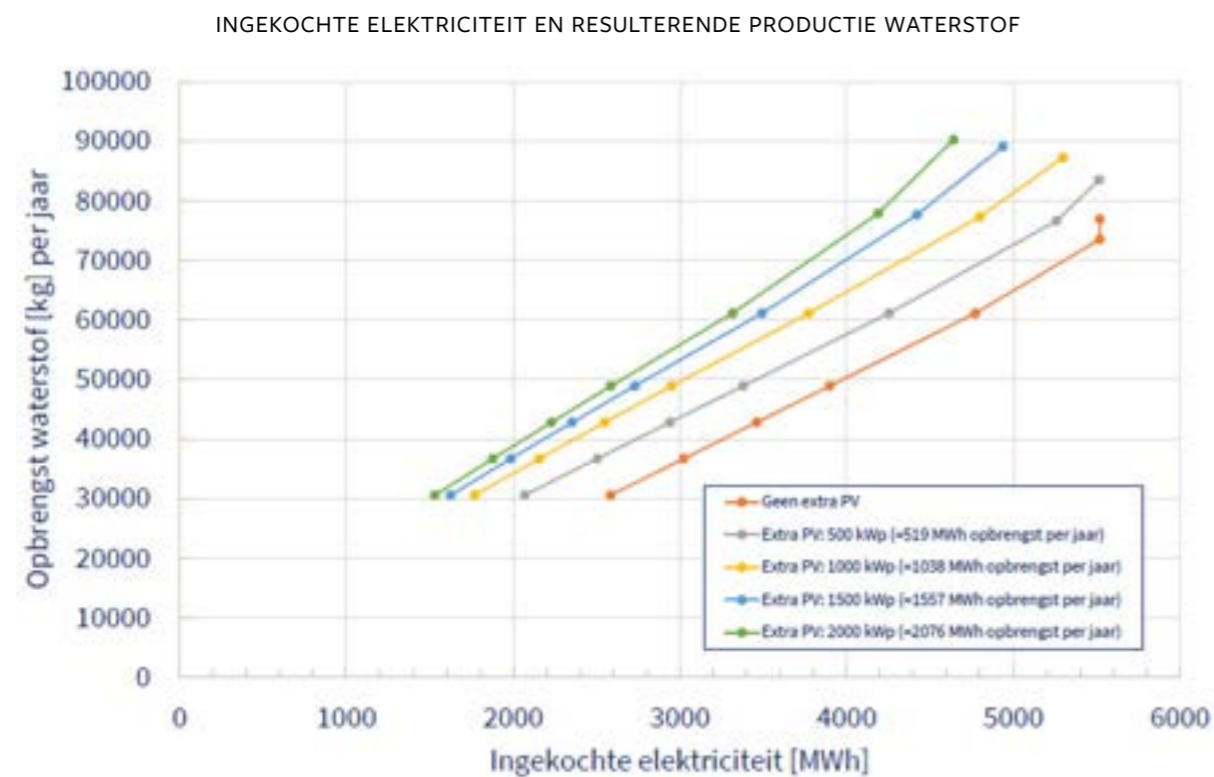


Figuur 12. Typische kostenopbouw CAPEX plus OPEX, scenario 'nul op de meter', met vast opgesteld zonnepanelen.

7 Samenvatting en overwegingen

Het scenario “waterstof voor de omgeving” vergt een investering van ongeveer 1.500.000 euro. Hiervoor komt dan een productiecapaciteit beschikbaar van ongeveer 30.000 kg/jaar, waar met aftrek van de eigen behoefte van Crematoria Twente, locatie Enschede dan 3.500 kg/jaar overblijft voor de omgeving. Dit scenario levert een waterstofprijs op van iets meer dan 12 Euro per kg, wat iets onder de huidige marktprijs ligt van 15 – 20 Euro/kg. Dit is nog wel exclusief opslag en transport van waterstof. De bijbehorende electrolyser capaciteit is 500 kW.

In Figuur 13 is een gecombineerde weergave gemaakt van de jaarlijkse waterstofopbrengst, als functie van ingekochte elektriciteit bij verschillende hoeveelheden opgesteld vermogen, en als functie van electrolyser capaciteit. De randvoorwaarden hierbij zijn de beschikbare netcapaciteit voor afname (630 kW) en teruglevering (115 kW). Een conclusie die hieruit kan worden getrokken is, dat een grotere electrolyser meer waterstof produceert en meer energie uit de zonnepanelen benut, maar wel in combinatie met een meer dan proportioneel grotere inkoop van elektriciteit.



Figuur 13. Matrix van oplossingen voor waterstofproductie, als functie van ingekochte elektriciteit, zonnepanelen oppervlak en electrolyser grootte.

7.1 Toekomstperspectief

Het is op de locatie Enschede van Crematoria Twente technisch mogelijk om het crematieproces significant te verduurzamen. Dit kan door middel van elektrisch cremen, cremen op groene waterstof en door een hybride operatie van de crematieovens op zowel groene elektriciteit als groene waterstof. De benodigde waterstof kan geheel op de eigen locatie worden gerealiseerd middels de huidige beschikbare netaansluiting. Verdere verduurzaming is ook mogelijk door het installeren van zonnepanelen, waarvoor 2,5 hectare beschikbaar is. Het is in theorie zelfs mogelijk zoveel waterstof te produceren dat deze ook beschikbaar komt voor derden in de omgeving, om daar processen te verduurzamen¹⁹. Bijlage III toont aan dat in ieder scenario dat geen gebruik maakt van aardgas leidt tot een substantiële daling van CO₂ emissie²⁰.

Het belangrijkste knelpunt in het verduurzamen, maar niet blokkerend, is de contractueel beschikbare capaciteit voor het terugleveren van overtollig geproduceerde groene stroom uit lokaal opgestelde zonnepanelen. Hierdoor kan elektrisch cremen jaarrond alleen energieneutraal worden gemaakt middels een energieopslagsysteem (batterij). Voor een energie neutrale crematie op waterstof is het plaatsen van een relatief grote en kostbare installatie nodig. Crematie op waterstof geeft echter de mogelijkheid gefaseerd toe te groeien naar deze lokale volledig duurzame situatie.

De leveringskosten voor energie voor de locatie Enschede zijn ongeveer 3% tot 6% van de operationele kosten van Crematoria Twente. Het verduurzamen leidt tot een kostprijsverhoging van de energiekosten per crematie. Dit kan oplopen tot een factor 2,6 hogere leveringskosten per crematie vergeleken met de huidige situatie. Hybride

oplossingen hebben een lagere meerprijs, maar gaan ten koste van de CO₂ reductie.

Verder valt op dat de elektriciteitsprijs dominant is in de kosten voor de totale energievoorziening. Hier kan een afweging worden gemaakt tussen een lokale energievoorziening (middels zonnepanelen) en/of gebruik maken van een energievoorziening via het publieke elektriciteitsnet. Een lokale energievoorziening plus een conversie naar waterstof levert een energiebuffer op, en ontkoppelt daarmee aanbod van en vraag naar duurzame energie. Dit levert flexibiliteit op in de bedrijfsvoering, die bijvoorbeeld kan worden benut om stroom in te kopen in daluren, en om minder afhankelijkheid te zijn van de beschikbaarheid van groene stroom uit het net. De waarde van deze flexibiliteit en robuustheid in de energiebeschikbaarheid zijn niet meegenomen in de financiële analyse.

7.1.1 Lokaal verduurzamen?

Op basis van de beschikbare specificaties zijn elektrische ovens 5 keer energiezuiniger dan de op aardgas gestookte ovens in Enschede, zij het met een 22% langere crematie-tijd en een aanzienlijk langere opwarmtijd. De investering voor de aanschaf van elektrische ovens, de aanpassing van de achterliggende installaties en het versneld afschrijven van de huidige ovens lijkt financieel nu niet de meest duurzame keuze maar vraagt verder onderzoek. De huidige ovens zijn rond 2030 toe aan vervanging.

Wat betreft elektriciteit als energiedrager heeft hoofdnetbeheerder TenneT aangegeven dat het niet uitgesloten is dat in de toekomst er niet aan de energievraag in Nederland kan worden voldaan. De storingskans neemt toe en bedrijven worden verplicht tegen een vergoeding hun netaansluiting te verkleinen. Energiezekerheid en daarmee

19. Dit blijft een theoretische mogelijkheid. Gezien de complexiteit van het geheel, blijft de focus alleen op locatie Enschede.

20. Het exact berekenen van CO₂ emissies was geen doel van het onderzoek. Dit onderzoek begon vanuit de wens om in de toekomst aardgasloos te worden, aangezien dit als duurzamer wordt beschouwd.

bedrijfscontinuïteit is daardoor meer en meer gebaat bij een eigen opslag van energie.

De keuze voor een elektrische oven leidt op korte termijn tot een eerste verduurzaming, zeker omdat grootschalig energieopslag in accu's over seizoenen heen nog geen *proven technology* is. Bij deze keuze wordt de verdere verduurzamingsgroei daardoor bij de netbeheerder neergelegd, die kampt met een groot gebrek aan ruimte het elektriciteitsnet, en bij de energieleverancier die op het juiste moment gegarandeerd groene elektriciteit moet leveren. Een eigen zonnepark die de benodigde elektriciteit jaarrond kan compenseren past niet binnen de netaansluiting.

Een waterstofoven biedt de mogelijkheid door te groeien met lokale verduurzaming. Productie, opslag en gebruik van energie valt met waterstof lokaal in te richten en realisatie en investeringen kunnen gefaseerd plaatsvinden. Zo kan eerst waterstof worden geproduceerd uit groene stroom ingekocht op een voor het net geschikt moment, om door te groeien naar productie van groene waterstof uit elektriciteit van eigen zonnepanelen. De huidige afnamecapaciteit van elektriciteit is dusdanig groot dat er meer waterstof kan worden geproduceerd dan nodig voor de aantallen crematies op locatie Enschede. In het bijzonder op zonnige dagen als het elektriciteitsnet wordt overbelast (omdat er teveel wordt terug geleverd) zou er extra waterstof kunnen worden geproduceerd en opgeslagen.

Een teveel aan geproduceerde waterstof kan worden ingezet op de andere drie locaties van Crematoria Twente of in een ideaal situatie zelfs worden gebruikt door bedrijven en organisaties in onze keten die mogelijk ook een wens tot verduurzaming hebben (bijv. toeleverende bakkers).

Aan het aspect lokaal verduurzamen liggen principiële vraagstukken ten grondslag. De eerste is of Crematoria Twente met productie van waterstof voor externen niet teveel afdwaaft van haar bestaansrecht. De tweede is de vraag of de netbeheerder alleen verantwoordelijkheid is voor het oplossen van de netcongestie in relatie tot de

opdracht aan de industrie in Nederland om zonder CO₂ te gaan produceren.

Het gaat niet alleen om het transport van groene energie, maar om productie, transport en gebruik op hetzelfde moment, wat momenteel lokaal beter lukt dan nationaal. Bijvoorbeeld gemeenten streven ernaar dat woonwijken 80% van hun energiebehoefte lokaal oplossen, met slechts 20% afhankelijkheid van externe infrastructuur. De energiewet stelt dat netbeheerders verantwoordelijk zijn voor het transport van elektriciteit en gas. We zien echter dat het maatschappelijke verantwoordelijkheid om duurzame energie te oogsten, te transporteren en te balanceren met de vraag niet uitsluitend bij de netbeheerders kan worden gelegd. Ook de politiek, inclusief provincies als aandeelhouders van netbeheerders, erkennen daarom het toenemende belang van lokale energie oplossingen.

Afhankelijk van de keuzes die als gevolg van dit onderzoek gemaakt worden, zal deze principediscussie verder aan bod komen.

7.2 Verschillende aspecten samengevat

7.2.1 Technische aspecten

- Het is technisch mogelijk voor Crematoria Twente om het crematieproces te verduurzamen op de locatie Enschede.
- Door ruimte voor een zonnenveld op het eigen terrein, in combinatie met een voldoende netcapaciteit voor zowel afname als teruglevering, zijn diverse scenario's mogelijk waarin Crematoria Twente kan verduurzamen.
- Het is voor Crematoria Twente mogelijk de locatie Enschede verder te verduurzamen door middel van bedrijfsvoering op groene waterstof van de crematieovens, die lokaal wordt geproduceerd met eigen opgewekte groene stroom uit een zonnenveld, in combinatie met deels het gebruik van het elektriciteitsnet als buffer. De lokaal geproduceerde groene waterstof wordt lokaal opgeslagen, wat een energiebuffer oplevert.
 - De hoeveelheid zonnepanelen is ontkoppeld van de optimale grootte van

- waterstofopslag en electrolyser vermogen.
- Inkoop van elektriciteit kan sterk worden gereduceerd door de plaatsing van zonnepanelen op de locatie, maar de effectiviteit van meer zonnepanelen neemt af bij een grotere hoeveelheid opgesteld vermogen.
- Het contractueel beschikbare terugleververmogen beperkt de benutting van meer zonnepanelen, niet de grootte van de electrolyser.
- De opslag van energie in een waterstofsysteem ontkoppelt de dimensionering van electrolyser, zonnepanelen en netaansluiting. Dit is een zeer bruikbare eigenschap voor fasering in de realisatie.

- Elektrisch cremieren is mogelijk, dankzij de gerealiseerde vergroting van de afnamecapaciteit.
 - De keuze voor elektrisch cremieren zonder energieopslagsysteem remt de verdere doorontwikkeling van lokale verduurzaming.
- Het huidige terugleververmogen is de eerste grens die beperkend (maar dankzij waterstof niet blokkerend) werkt op de verdere lokale verduurzaming.

7.2.2 Financiële aspecten

- In de situatie van bedrijfsvoering op zelf geproduceerde groene waterstof in combinatie met een zonnenveld van 500 kW, zijn de leveringskosten voor energie een factor 2,6 hoger dan een de huidige situatie van cremieren op aardgas.
- Bij elektrisch cremieren zijn de leveringskosten per crematie 86% hoger dan de vergelijkbare situatie met aardgas.
- Hybride oplossingen, van groene elektriciteit en aardgas, als dual fuel oplossingen van groene waterstof en aardgas, hebben lagere leveringskosten voor de energie dan het scenario op 100% groene waterstof.
 - Bij het gebruik van aardgas gaat dit ten koste van de milieubesparing in vermeden

CO₂-emissies.

- Bij het gebruik van elektriciteit verplaatst de 'last' van het verduurzamen naar de netbeheerder en de elektriciteitsleverancier.

7.2.3 Ontwerp aspecten

- Elektrische ovens zijn over het algemeen zeer goed geïsoleerd. Dit toont mede aan dat het (verder) isoleren van crematie-ovens, en iedere verdere energiebesparing in de ovens zich uitbetaalt in zowel CAPEX als OPEX, als beperkingen vanuit de beschikbare energie infrastructuur.
- Bij het bedrijven van crematie-ovens op waterstof zijn er technische aandachtspunten in het gebruik ervan, gerelateerd aan de stralingseigenschappen en stofeigenschappen van waterstof ten opzichte van aardgas. In de situatie van Crematoria Twente, waar de techniek wordt ingekocht bij de ovenleverancier, worden deze aspecten door die ovenleverancier uitgewerkt. De ovenleverancier geeft aan een oven aan te kunnen bieden, zodra de ontwikkeling daarvan is afgerond, met een gegarandeerde en veilige werking op waterstof, inclusief richtlijnen voor de installatie en bedrijfsvoering van zulke ovens. Deze aspecten van het gebruik van waterstof worden in dit geval dus door de ovenbouwer opgepakt en uitgewerkt.

7.3 Tot slot en hoe verder

- Verduurzaming kost geld, en de extra kosten voor waterstof zijn niet één op één door te belasten aan de klant. De grote meerderheid van nabestaanden kiezen als het gaat om uitvaarten niet per se meteen voor duurzaamheid. Deze klanten kiezen voor crematie maar hoe (met welke brandstof) het gebeurt is voor nabestaanden over het algemeen van ondergeschikt belang. Nabestaanden kiezen in het algemeen voor het dichtstbijzijnde crematorium. Verduurzaming is duurder, zo wijst deze studie nadrukkelijk uit, maar Crematoria Twente ziet het echt als haar maatschappelijk taak om hier aan bij te

Bijlage I Opslag waterstof

dragen. Dit vanuit het maatschappelijke belang en niet om nabestaanden met extra kosten te belasten. Subsidie om de kostprijs te drukken is dus noodzakelijk.

- Kiezen voor waterstof geeft mogelijkheid om de verduurzaming in fases te laten verlopen. Eerst met het elektriciteitsnet en 1 oven, daarna met zonnepanelen en/of een tweede oven.
- Uit de businesscase zonder subsidie kwam bij Crematoria Twente een optimale electrolyser grootte naar voren van 300 kW. Echter, OWE subsidie is beschikbaar als de electrolyser minstens 500 kW is. Dit kan de business case veranderen indien subsidie wordt meegenomen in de overwegingen en het is goed om ook aan die dimensie aandacht te besteden.
- Facultatieve Technologies heeft aangegeven te willen samenwerken in het opzetten van een langdurige test met cremeren op waterstof. Om het effect van waterstof op de oven en de achterliggende installatie te meten is een testperiode van een jaar wenselijk. Of dit realiseerbaar is, is afhankelijk van de

betaalbaarheid van (liefst groene) waterstof en of het project subsidiabel is.

- Daarnaast is de volgende stap het uitvoeren van een detail engineering waarbij in detail wordt uitgewerkt wat er allemaal technisch nodig is indien in Enschede wordt overgestapt op waterstof. Dit rapport geeft kaders en een globale financiële vertaling. Dit gaat als input dienen voor een gedetailleerd plan waarin specificaties en tekeningen worden ontwikkeld om een project tot uitvoering te brengen. Onderdeel van dit plan is ook een investerings- en kostenraming en veiligheids- en milieuriichtlijnen. Aan de hand van deze detail engineering kan een business case worden opgesteld met de effecten op de exploitatie. Dit om stapsgewijs de risico's en kansen steeds gedetailleerder in kaart te brengen, en met goede risicobeheersing verstandige voortgang te blijven boeken naar het uiteindelijke doel: het verduurzamen van Crematoria Twente. Dit passend bij haar visie van meerwaarde voor de lokale omgeving en het staan voor maatschappelijke betrokkenheid.



Voorbeeld van 40bar waterstof opslagtank voor ca. 100kg waterstof. (foto HyMatters)



Voorbeeld van waterstof opgeslagen in 200 bar en 300 bar cilinders met een opslagcapaciteit van circa 1 kg waterstof per cilinder.

Bijlage II Zonvolgende zonnepanelen



Voorbeeld van een zonvolgend zonneveld.
Bron: <https://ecoplant.solar>



Voorbeeld van een zonvolgend zonneveld.
Bron: <https://nl.europeanenergy.com>

Bijlage III CO2 emissie per scenario, inclusief parameters

Uitgangspunten

Voor de CO2 emissieberekeningen worden de emissiefactoren van tabel III.1 aangehouden. Daarvoor gebruikte referenties:

- ‘Well To Wheel’ factoren, <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren/>, april 2024
- ‘Rendementen en CO2-emissie van elektriciteitsproductie in Nederland’, update 2022, CBS, <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2023/51/rendementen-en-co2-emissie-van-energieproductie-in-nederland-update-2022>, april 2024).

Alle dieselapplicaties worden omgebouwd of vervangen naar batterij elektrisch en/of waterstof. Scenario's met elektrische ovens vallen af op haalbaarheid. Genoemde totalen zijn per referentiejaar.

TABEL III.1 GEBRUIKTE EMISSIEFACTOREN

Energiedrager	Emissie 'WTW' CO ₂ eq.		
Aardgas	2,134	[kg/Nm ³]	= 0,067 [kg/MJ]
Elektriciteit, inkoop mix	0,27*	[kg/kWh]	= 0,075 [kg/MJ]
Elektriciteit, inkoop groen	0,00**	[kg/kWh]	= 0,000 [kg/MJ]
Diesel	3,256	[kg/l]	= 0,090 [kg/MJ]

* Dit emissiegetal is relatief laag gekozen, vanuit de verwachting dat de komende jaren de CO₂ uitstoot van de gemiddelde elektriciteitsproductie in Nederland daalt.

** De accenten in de momenten van inkoop van elektriciteit zullen, door de aanwezigheid van eigen zonnepanelen op de gebouwen, op CO₂-technisch minder gunstige momenten vallen: als er elektriciteit ingekocht wordt op momenten dat de zon niet schijnt en de wind niet waait of de transportcapaciteit naar de locatie niet beschikbaar is, zal de groen ingekochte elektriciteit toch uit bijvoorbeeld een aardgascentrale komen. De waterstofoplossingen hebben de mogelijkheid het moment van inkoop van elektriciteit te verschuiven in tijd. Dat maakt het potentiële CO₂-emissie voordeel van de waterstofoplossingen groter dan de hantering van dit gekozen emissiegetal voor groene elektriciteit laat zien. Dit voordeel is echter afhankelijk van de (variabele) tariefstelling van groene elektriciteit en daarmee de operatie en daardoor lastig te kwantificeren. Daarom is toch gekozen voor dit te rooskleurige emissiegetal, dat lokale opslag van duurzame energie in termen van CO₂-emissies benadeeld.

Bestaande situatie (crematie op aardgas)

TABEL III.2 CO₂ EMISSIE BESTAANDE SITUATIE

Energiedrager	Hoeveelheid		CO ₂ -emissie	
Aardgas	100.798	Nm ³	215.103	[kg]
Elektriciteit, netto inkoop mix	395	[MWh]	106.650	[kg]
Elektriciteit, netto inkoop groen	0	[MWh]	0	[kg]
Diesel	4.600	[l]	14.978	[kg]
Totaal			336.731	[kg]

Scenario zelfvoorzienend

Uitgangspunten:

- Alle ovens op waterstof
- 1.000 kW elektrolyser
- 7.000 kg opslag
- 178 kW afnamecapaciteit elektriciteitsnet
- 115 kW teruglevercapaciteit elektriciteitsnet
- 2.200 kWp vast opgestelde zonnepanelen
- Alle extra elektriciteit voor vervanging van aardgas wordt op eigen terrein opgewekt en opgeslagen

TABEL III.3 CO2 EMISSIE SCENARIO ZELFVOORZIENEND

Energiedrager	Hoeveelheid		CO2-emissie	
Aardgas	o	Nm3	o	[kg]
Elektriciteit, netto inkoop mix	o	[MWh]	o	[kg]
Elektriciteit, netto inkoop groen	273	[MWh]	o	[kg]
Diesel	o	[l]	o	[kg]
Totaal			o	[kg]

Scenario Nul-op-de-meter

Uitgangspunten:

- Alle ovens op waterstof
- 300 kW elektrolyser
- 200 kg opslag
- 464 kW afnamecapaciteit elektriciteitsnet
- 630 kW teruglevercapaciteit elektriciteitsnet (momenteel technisch haalbaar, maar contractueel niet)
- 2.499 kWp vast opgestelde zonnepanelen
- Alle extra elektriciteit voor vervanging van aardgas wordt op eigen terrein opgewekt

TABEL III.4 CO2 EMISSIE SCENARIO NUL-OP-DE-METER

Energiedrager	Hoeveelheid		CO2-emissie	
Aardgas	o	Nm3	o	[kg]
Elektriciteit, netto inkoop mix	o	[MWh]	o	[kg]
Elektriciteit, netto inkoop groen	397	[MWh]	o	[kg]
Diesel	o	[l]	o	[kg]
Totaal			o	[kg]

Scenario Alles uit het net

Uitgangspunten:

- Alle ovens op waterstof
- 300 kW elektrolyser
- 200 kg opslag
- 630 kW afnamecapaciteit elektriciteitsnet
- 115 kW teruglevercapaciteit elektriciteitsnet
- Alle elektriciteit wordt groen ingekocht, zonder en met aanvulling uit 500 kWp PV op eigen terrein

TABEL III.5 CO2 EMISSIE SCENARIO ALLES UIT HET NET

Energiedrager	Hoeveelheid		CO2-emissie	
Aardgas	o	Nm3	o	[kg]
Elektriciteit, netto inkoop mix	o	[MWh]	o	[kg]
Elektriciteit, netto inkoop groen	2.299	[MWh]	o	[kg]
Diesel	o	[l]	o	[kg]
Totaal			o	[kg]

TABEL III.6 CO2 EMISSIE SCENARIO ALLES UIT HET NET + 500 kWp ZONNEPANELEN OP EIGEN TERREIN

Energiedrager	Hoeveelheid		CO2-emissie	
Aardgas	o	Nm3	o	[kg]
Elektriciteit, netto inkoop mix	o	[MWh]	o	[kg]
Elektriciteit, netto inkoop groen	1.832	[MWh]	o	[kg]
Diesel	o	[l]	o	[kg]
Totaal			o	[kg]

Scenario Dual fuel: aardgas + waterstof

Uitgangspunten:

- Hybride ovens op zowel aardgas als waterstof
- 150 kW elektrolyser
- 100 kg opslag
- 630 kW afnamecapaciteit elektriciteitsnet
- 115 kW teruglevercapaciteit elektriciteitsnet
- Geen beperkende capaciteit aardgasaansluiting
- Alle aardgas en elektriciteit ingekocht

TABEL III.7 CO₂ EMISSIE SCENARIO DUAL FUEL: AARDGAS + WATERSTOF

Energiedrager	Hoeveelheid		CO ₂ -emissie	
Aardgas	50.819	Nm ³	108.448	[kg]
Elektriciteit, netto inkoop mix	0	[MWh]	0	[kg]
Elektriciteit, netto inkoop groen	1.346	[MWh]	0	[kg]
Diesel	0	[l]	0	[kg]
Totaal			108.448	[kg]



CREMATORIA TWENTE

van betekenis zijn

LOCATIES IN ENSCHEDE, ALMELO, BORNE EN OLDENZAAL
USSELERRIETWEG 40 • 7546 PE ENSCHEDE • +31 (0)53 475 60 60 • INFO@CREMATORIA TWENTE.NL
WWW.CREMATORIA TWENTE.NL