

# H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Projectverslag (22-03-2022)

**ebmpapst**

 **BEKAERT**  
better together

**TIELUK**  
fuel cell 



# H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

## Project gegevens

<b>Projectnaam</b>	H <sub>2</sub> -ready cv-ketel
<b>Regeling</b>	TKI Urban Energy
<b>Referentienummer</b>	TEUE018046
<b>Begindatum verslagperiode</b>	15.11.2018
<b>Einddatum verslagperiode</b>	22.03.2022
<b>Naam penvoerder</b>	ebm-papst Heating Systems b.v.
<b>Mede aanvragers</b>	Bekaert Combustion Technology b.v. Tieluk b.v.

*Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.*

## Samenvatting

Dit verslag beschrijft hoe drie partners gezamenlijk een bijdrage willen leveren aan de overgang naar een duurzame energievoorziening voor de huidige combiketel zoals die in Nederland in 9 van de 10 woningen gebruikt wordt voor de voorziening van de verwarming van woningen en het leveren van warm tapwater. De focus in dit project lag op een 28kW combiketel waarvan de performance hetzelfde moest blijven zodat de eindklant hetzelfde comfort ervaart.

Gedurende het project hebben de partijen moeten concluderen dat de brander die voor 100% waterstof de perfecte eigenschappen heeft niet gebruikt kan worden voor het verbranden van het in Nederland standaard G20 gas. Vandaar dat het project twee verschillende doelen heeft gekregen.

- 100% H<sub>2</sub> Cv-ketel

De cv-ketel wordt geschikt gemaakt voor toepassing met 100% waterstof. Hier is een nieuwe brander en een nieuw vlamdetectiemechanisme voor ontworpen.

- Aangepaste waterstofgenerator

Tijdens het project gaf de markt aan dat de bijmenging van waterstof die in de komende jaren te verwachten is gelimiteerd is op 20%. De waterstofgenerator is daarvoor aangepast omdat de zowel de hoeveelheid waterstof die door de generator geleverd word alsmede de nauwkeurigheid hiervan belangrijker geworden zijn voor 20% bijmenging bij een 28kW modulerende combiketel.

Door deze twee sub projecten wordt gedemonstreerd dat waterstof een bruikbaar alternatief is voor een duurzame energievoorziening voor de verwarming van woningen en tapwater in de woningen. De mogelijkheid om ook een mengsel van gassen te kunnen gebruiken biedt netwerkbeheerders en energieleveranciers de mogelijkheid om deze overgang in stappen als er nog geen grote hoeveelheden groen waterstof beschikbaar zijn voor de woningverwarming en in een later stadium over te stappen naar 100% waterstof door het wisselen van de air/gas combinatie in het toestel.

## Inhoud

<b>Project gegevens</b> .....	<b>2</b>
<b>Samenvatting</b> .....	<b>3</b>
<b>Inhoud</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>5</b>
1.1    Leeswijzer.....	5
1.2    Samenwerkingspartners binnen het project.....	5
1.3    Coördinatie van het project.....	7
<b>2 Doel van het project</b> .....	<b>9</b>
2.1    Aanleiding.....	9
2.2    Doel van het project.....	9
2.3    Beoogd resultaat.....	9
<b>3 Projectplan</b> .....	<b>10</b>
3.1    Fasering.....	10
3.2    Projectactiviteiten.....	11
3.3    Planning.....	14
3.4    Samenvatting wijziging plan.....	14
<b>4 Resultaten</b> .....	<b>16</b>
4.1    Vlamdetectie voor 100% H <sub>2</sub> verbranding.....	16
4.2    Testen van H <sub>2</sub> brander, venturi, ventilator en gasblok op G25.....	18
4.3    Vlamtemperaturen om de verhouding G25/H <sub>2</sub> te bewaken.....	19
4.4    Implementatie van de vlamdetectie in een sample besturing.....	22
4.5    Installatie van 100% H <sub>2</sub> toestel bij Holthausen.....	24
4.6    Implementatie van de vlamdetectie in een de uiteindelijke besturing.....	26
4.7    Installatie van container met fuel cell (waterstofgenerator).....	27
4.8    Uitwerking van het remote monitoring systeem.....	29
4.9    waterstof generators met een vermogen van 28 kW.....	31
<b>5 Evaluatie</b> .....	<b>38</b>
5.1    Knelpunten.....	38
5.2    Successen.....	38
5.3    Externe ontwikkelingen.....	39
5.4    Vooruitblik.....	39
<b>6 Budget</b> .....	<b>40</b>
6.1    ebm-papst Heating Systems b.v.....	40
6.2    Bekaert Combustion Technology b.v.....	40
6.3    Tieluk b.v.....	41
6.4    Totaal.....	42
<b>7 Publiciteit</b> .....	<b>43</b>
<b>8 Wijzigingen</b> .....	<b>44</b>
8.1    Administratieve wijzigingen.....	44
8.2    Financiële wijzigingen.....	44
8.3    Inhoudelijke wijzigingen (incl. planning).....	45
8.4    Organisatorische wijzigingen.....	48
8.5    Overige wijzigingen.....	48

## 1 Inleiding

Dit verslag beschrijft hoe drie partners gezamenlijk een bijdrage willen leveren aan de overgang naar een duurzame energievoorziening. Hiervoor worden enkele technologieën samengevoegd en doorontwikkeld:

- CV-combiketel voor 100% waterstof

De bestaande combiketel wordt zonder verlies van performance geschikt gemaakt voor werking op 100% waterstof.

- Bijmenging met 20% waterstof voor ongewijzigde cv combiketels

De waterstofgenerator wordt geschikt gemaakt om lokaal, d.w.z. geschikt voor gebruik in woningen, waterstof op te wekken en met de juiste hoeveelheid en precisie het juiste waterstofmengsel af te leveren.

### 1.1 Leeswijzer

Dit rapport is bedoeld voor de projectpartners zelf en voor de subsidiegever. De inhoud is vertrouwelijk. Er zal ook een publiek rapport beschikbaar worden gemaakt aan het eind van het project.

In de volgende paragrafen van deze inleiding zijn de (contact-)gegevens van de projectpartners en de coördinatie van het project beschreven. De overige hoofdstukken beschrijven:

Hoofdstuk	Inhoud
2	Doelstellingen van het project en het beoogde resultaat.
3	Werkwijze, incl. fasering en planning
4	Resultaten, voornamelijk van de verrichte metingen
5	Evaluatie van het project, incl. vervolgvactiteiten en evt. spin-off van het project
6	Budget (uren en kosten)
7	Publiciteit en kennisverspreiding
8	Samenvatting van de voornaamste wijzigingen t.o.v. het oorspronkelijke projectplan

### 1.2 Samenwerkingspartners binnen het project

Binnen het project werken drie partners samen.

#### 1.2.1 *ebm-papst Heating Systems b.v.*

Rol in het project
--------------------

Ontwikkeling van de besturing / regeling van het verbrandingssysteem en vlamdetectie
--

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

<b>Adresgegevens</b>	van Veldekekade 360 5216 KT 's-Hertogenbosch	
<b>Type organisatie</b>	Klein bedrijf	
<b>Korte aanduiding</b>	epHS	
<b>Contactpersonen</b>		
<i>Project coördinatie</i>	Paul Kuipers	Paul.kuipers@ebmpapst-hs.nl
<i>Technische zaken</i>	Frank Helmer	frank.helmer@ebmpapst-hs.nl
<i>Administratieve zaken</i>	Sonny Putters	sonny.putters@ebmpapst-hs.nl
<i>Informereren</i>	Paul Kuipers	paul.kuipers@ebmpapst-hs.nl

### 1.2.2 Bekaert Combustion Technology b.v.

<b>Rol in het project</b>	Ontwikkeling van de brander en wisselaar en testen van de cv-ketel	
<b>Adresgegevens</b>	J.C. van Markenstraat 19 9403 AR Assen	
<b>Type organisatie</b>	Groot bedrijf	
<b>Korte aanduiding</b>	BCT	
<b>Contactpersonen</b>		
<i>Project coördinatie</i>	Joàn Teerling	omkejan.teerling@bekaert.com
<i>Technische zaken</i>	Geert Folkers	geert.folkers@bekaert.com
<i>Administratieve zaken</i>	Joàn Teerling	omkejan.teerling@bekaert.com
<i>Informereren</i>	Geert Folkers	geert.folkers@bekaert.com

### 1.2.3 Tieluk b.v.

<b>Rol in het project</b>	Ontwikkelen van de fuel cell voor een 25kW levering van H <sub>2</sub> en installeren van de veldtesttoestellen en fuel cells in proefwoningen. Onderhouden van de contacten met de woningbouwvereniging die als proeflocaties aangeboden heeft.	
<b>Adresgegevens</b>	Archimedesweg 7 8912 AK Leeuwarden	
<b>Type organisatie</b>	Klein bedrijf	
<b>Korte aanduiding</b>	Tieluk	
<b>Contactpersonen</b>		
<i>Project coördinatie</i>	Frank Turksma	fhturksma@tieluk.nl
<i>Technische zaken</i>	Tienus Lukkes	galukkes@tieluk.nl
<i>Administratieve zaken</i>	Gretha Lukkes	galukkes@tieluk.nl
<i>Informereren</i>	Gretha Lukkes	galukkes@tieluk.nl

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

### 1.3 Coördinatie van het project

Binnen het project wordt gestreefd naar een informele omgang, zodat de drempel om elkaar te benaderen met een hulpvraag zo laag mogelijk is. Daarnaast zijn er enkele formele structuren gemaakt en is een online map aangemaakt waarin zoveel mogelijk de actuele documenten zijn opgeslagen zodat iedereen altijd over dezelfde informatie kan beschikken.

#### 1.3.1 Projectbijeenkomsten

Voor het bewaken van de voortgang van het project zijn er een aantal projectbesprekingen gepland:

Bijeenkomst	Datum	Tijd	Plaats
Projectbijeenkomst en bezoek RvO.nl	18.09.2019	10:00 – 15:00	Tieluk, Leeuwarden
Projectbijeenkomst	09.10.2019	10:00 – 11:30	epHS, 's-Hertogenbosch
Projectbijeenkomst	04.12.2019	10:00 – 11:30	BCT, Assen
Projectbijeenkomst	12.02.2020	10:00 – 11:30	Tieluk, Leeuwarden
Projectbijeenkomst	08.04.2020	10:00 – 11:30	BCT, Assen
Projectbijeenkomst	11.05.2021	10.00 – 14.00	Eco Heating Groningen
Projectbijeenkomst	10.06.2021	10.00 - 14.00	Afregelen toestel op 100% waterstof
Projectbijeenkomst	24.06.2021	10.00-17.00	Witness test Kiwa voor 100% H <sub>2</sub> toestel
Projectbijeenkomst	01.07.2021	10.00-14.00	Tieluk, Leeuwarden bespreken installatie 20% H <sub>2</sub> toestellen.
Projectbijeenkomst	11.08.2021	10.00-14.00	Tieluk, Leeuwarden nalopen gewijzigde fuel cell en bespreken container met installatie van 20% H <sub>2</sub> toestellen.

#### 1.3.2 Projectmanagement

Voor het projectmanagement is overeengekomen dat Thieu Avontuur en later Paul Kuipers van epHS de centrale rol van projectcoördinator op zich neemt. Voor de interne uitvoering van werkzaamheden zijn en blijven alle partners zelf verantwoordelijk.

De contacten met RvO.nl verlopen via Sjef Leijs; hij is door epHS ingehuurd voor het verwerven en begeleiden van subsidies.

Voor de financiële afhandeling leveren alle partners maandelijks een overzicht aan dat door epHS wordt overgenomen in het totaaloverzicht. Zodoende is er altijd een redelijk actueel beeld van de status en het resterende budget beschikbaar.

### 1.3.3 Portal

Op de portal van epHS is een map aangemaakt waar alle partners toegang toe hebben. Deze map bestaat uit een aantal onderdelen:

- Financieel overzicht

*Hierin worden alle overzichten en facturen opgenomen per partner. Hier is ook het totaaloverzicht opgenomen.*

- Informatie

*Hierin is alle informatie opgenomen die in het project is gebruikt en waarvoor geen andere plek beschikbaar is.*

- Meetresultaten

*Tijdens het project worden een aantal metingen gedaan. Deze worden hier verzameld.*

- Organisatie

*Alle informatie m.b.t. projectorganisatie (o.a. de planning, gespreksverslagen en de correspondentie met RvO.nl) wordt hier verzameld.*

Om informatie naar de portal te kunnen uploaden is voor alle partners een speciale map aangemaakt. Hierin kunnen bestanden worden geplaatst die via e-mail niet of moeilijk kunnen worden verstuurd. Het is wenselijk om als er informatie wordt geüpload naar de portal dat er ook een bericht wordt gestuurd naar epHS. Er wordt geen automatisch signaal gegeven als een nieuw bestand op de portal wordt gezet.

Anderzijds, als de informatie is verwerkt of naar de centrale map is verplaatst, zal epHS ook altijd de partners bericht geven zodat wij weten dat er nieuwe informatie beschikbaar is.

Aangezien het project afgerond is, is deze portal gesloten.



## 2 Doel van het project

### 2.1 Aanleiding

De aanleiding is de huidige situatie van de kip en het ei. Netwerkbeheerders nemen tot nu toe een afwachtende houding als het gaat om het geschikt maken c.q. aanleggen van een distributienetwerk welk geschikt is voor de doorvoer van waterstof. Dit omdat er nog geen bewezen cv-ketel beschikbaar is die zowel 100% aardgas als 100% waterstof en elke mix tussen deze beiden kan verbranden.

### 2.2 Doel van het project

Doel van het project is een cv-ketel te ontwikkelen, in de praktijk te testen, welke gereed zal zijn voor de inzet van waterstof als energiebron, maar tevens ook (tijdelijk nog) geschikt is om aardgas als energiebron kunnen gebruiken. Om daarmee netwerkbeheerders te bewegen netwerken geschikt te maken voor de doorvoer van waterstof en aardgas.

### 2.3 Beoogd resultaat

Het project zal leiden tot een definitieve versie van een veilige H<sub>2</sub>-ready cv-ketel welke geschikt zal zijn voor aardgas, maar ook voor (100%) waterstof en voor een mix van beide brandstoffen.

Het uiteindelijke resultaat is dat mensen die op korte termijn hun huidige cv-ketel gaan vervangen c.q. een eerste aanschaf moeten doen, de keuzemogelijkheid hebben voor een verwarmingsapparaat dat klaar is voor een 100% aardgas loze situatie. Later kan de energieleverancier dan inregelen dat aardgas vervangen wordt door een mix van aardgas en waterstof of tot zelfs door 100% waterstof.

Gedurende het project bleek dat de brander die geschikt en veilig is voor het verbranden voor waterstof dusdanig anders is dat hij niet bruikbaar is voor het verbranden van standaard G25. Vandaar dat het project in twee verschillende routes opgesplitst is. Een route met als beoogd resultaat een combiketel die met hetzelfde comfortlevel functioneert op 100% waterstof. De tweede route om de waterstofgenerator aan te passen voor het precies leveren van 20% H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> zodat dit ingezet kan worden voor verschillende merken cv ketels die deze bijmenging al kunnen verwerken.

De 100% H<sub>2</sub> ketel heeft als doel om zo opgebouwd te zijn dat door het in het veld vervangen van de brander deur (inclusief brander, vlamdetectie, ventilator en gasblok) het mogelijk is om van 100% G20 of 20%H<sub>2</sub>/G25 in het veld om te bouwen naar 100% H<sub>2</sub>. De besturing hoeft dan alleen via autodetectie van de thermokoppels te zien dat er een andere vlamdetectie nodig is dan de standaard ionisatie detectie.

## 3 Projectplan

### 3.1 Fasering

Om de doelen van het project te behalen is het opgedeeld in vier fasen:

**Fase 1** Uitwerken van alle componenten die nodig zijn voor het cv toestel wat zowel 100% gas als 100% waterstof en alle tussenliggende varianten kan verbranden.

#### *Gewenst resultaat*

De benodigde componenten zijn na deze fase beschikbaar.

#### *Periode*

Begindatum: November 2018

Einddatum: April 2019

#### *Eindresultaat*

De brander die 100% waterstof veilig en met de juiste emissie verbrand kan geen standaard G25 verbranden. Dit maakt het dat het project gewijzigd wordt in 20% bijmenging en ombouw naar 100% waterstof.  
Brander is ontworpen. Mechanische oplossing waterstof vlamdetectie is ontworpen.

**Fase 2** Nalopen wat de wijziging voor de componenten voor het verbranden van 100% H<sub>2</sub> heeft voor het branden van het toestel op 100% G25.

#### *Gewenst resultaat*

Inzicht verkregen in de vereiste wijzigingen m.b.t. de benodigde componenten welke nodig zijn voor 100% H<sub>2</sub> c.q. 100% G25 en een flexibele maar maximale verhouding van 20% H<sub>2</sub>/G25

#### *Periode*

Begindatum: April 2019

Einddatum: Juli 2019

#### *Eindresultaat*

Brander voor 100% waterstof is compleet afgerond. Alle meetresultaten voor de vlamdetectie van 100% waterstof zijn uitgevoerd en basisalgoritme is uitgewerkt en gesimuleerd. Metingen van vlamtemperatuur voor H<sub>2</sub>/G25 mengsels zijn uitgevoerd.

**Fase 3** Bouwen van 9 prototype ketels voor interne duurtesten.

#### *Gewenst resultaat*

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

De eerste negen prototypes zijn gereed t.b.v. de eerste duurtesten.

### *Periode*

Begindatum: Juli 2019  
Einddatum: Augustus 2019 (Duurttest zelf liep tot Q1 -2020)

### *Eindresultaat*

3 toestellen met een bekaert warmtewisselaar zijn gebouwd en als duurttest gestart op 100% waterstof bij Entrance. 1 toestel is als prototype voor verdere labtesten geproduceerd.  
3 toestellen met een sermeta warmtewisselaar zijn gebouwd en als duurttest gestart op 100% waterstof bij entrance. 2 toestellen zijn als prototype voor verdere labtesten geproduceerd.

**Fase 4** Bouwen en plaatsen van 1 veldtest toestel voor 100% H<sub>2</sub> installatie en container met fuel cell (waterstofgenerator) en 5 toestellen voor 20%H<sub>2</sub>/G25.

### *Gewenst resultaat*

Realisatie van een installatie in het veld die gedurende een bepaalde tijd kan worden gemonitord om het concept aan te tonen.

### *Periode*

Begindatum: September 2021  
Einddatum: November 2021 (Veltesten lopen tot Q1 2022)

### *Eindresultaat*

Een toestel op 100% waterstof draait in container opstelling (was nodig voor veiligheidsacceptatie van Kiwa) bij firma Holthausen in Groningen.  
Vijf toestellen op 20% H<sub>2</sub>/G25 in een container inclusief fuel cell (waterstofgenerator) in Leeuwarden op stroom van een groot zonnenveld. Warmte gaat een warmtenet in om indirect woningen van warmte te voorzien.

### 3.2 Projectactiviteiten

Op basis van de fasering is een grof plan opgesteld. Dit is in een detailplanning verder uitgewerkt. Het bevat de volgende activiteiten:

Fase	Omschrijving	Uitvoering
1	<i>Uitwerken van alle componenten die nodig zijn voor het cv toestel wat zowel 100% gas als 100% waterstof en alle tussenliggende varianten kan verbranden.</i>	
1.1	Ontwerpen van de brander die 100% H <sub>2</sub> kan verbranden met een elektronische gas/lucht injectie.	BCT

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Fase	Omschrijving	Uitvoering
1.2	Testen van de brander die 100% H <sub>2</sub> kan verbranden met een elektronische gas/lucht injectie.	BCT
1.3	Ontwerpen van de ventilator, gasblok en venturi voor het verbranden van 100% H <sub>2</sub> met een elektronische gas/lucht injectie. (Hiervoor huur ik resources van ebm-papst landshut in dus dit zijn voor mij out of pocket kosten).	epHS
1.4	Testen van vlamdetectie voor 100% H <sub>2</sub> verbranding middels thermokoppels.	BCT
1.5	Ontwerpen van vlamdetectie middels thermokoppels voor 100% H <sub>2</sub> verbranding.	epHS
1.6	Bepalen van vlamtemperatuur om de verhouding H <sub>2</sub> /O <sub>2</sub> te bewaken over het gehele modulatiebereik van het toestel.	epHS
1.7	Analyse van de wisselaar en pakkingen om de dichtheid van de brander/wisselaar te garanderen voor de kleine H <sub>2</sub> moleculen (deze zijn veel kleiner dan die voor normaal gas).	BCT
1.8	Bespreken met notified body hoe dit aan de eisen voor cv-ketels blijft voldoen zodat op component niveau de keuringsaspecten bekend zijn. Notified body is Kiwa. Dit zijn dus out of pocket kosten voor BCT en epHS. BCT voor de brander en wisselaar, epHS voor de besturing, ventilator, venturi en gasklep.	BCT / epHS
1.9	Bepalen van de emissie en rendementen van de cv-ketel om zeker te stellen dat deze net zo goed zijn of beter dan voor een huidige cv-ketel zodat we zeker weten dat de eindgebruiker geen comfort inlevert. Met name de tapwater comfort testen zijn hier van groot belang omdat hedendaagse tapwater comfort eisen erg hoog zijn en we daar niet op in willen leveren.	epHS
2	<i>Nalopen wat de wijziging voor de componenten voor het verbranden van 100% H<sub>2</sub> heeft voor het branden van het toestel op 100% G25.</i>	
2.1	Testen van H <sub>2</sub> brander, venturi, ventilator en gasblok op G25.	BCT
2.2	Aanpassen pneumatische instellingen van gasblok om correct op G25 te branden.	BCT
2.3	Metten van de vlamtemperaturen om de verhouding G25/O <sub>2</sub> te bewaken over het gehele modulatiebereik van het toestel.	BCT
2.4	Implementeren van de algoritmes om een elektronisch gasblok op basis van vlamtemperatuur aan te sturen zodat G25 en H <sub>2</sub> gebruikt kan worden.	epHS
2.5	Vervangen van de pneumatische gasblok door een elektronisch gasblok en de parameters afregelen zodat elektronisch de gas/O <sub>2</sub> verhouding geregeld kan worden.	BCT / epHS
2.6	Testen van de invloed van humidity, temperatuur, gassoort en hoogte voor de verbrandingswaarden van H <sub>2</sub> , G25.	BCT
2.7	Testen van de invloed van humidity, temperatuur, gassoort en hoogte voor de verbrandingswaarden van alle andere mogelijk gassoorten.	BCT
2.8	Implementeren van de feedback van BCT voor het finetunen van de regelalgoritmes voor de gas onafhankelijke regeling.	epHS
2.9	Bespreken met notified body hoe dit aan de eisen voor cv-ketels blijft voldoen zodat op component niveau de keuringsaspecten bekend zijn. Notified body is Kiwa. Dit zijn dus out of pocket kosten voor BCT en epHS. BCT voor de brander en wisselaar, epHS voor de besturing, ventilator, venturi en gasklep	BCT / epHS

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Fase	Omschrijving	Uitvoering
	en de bewaking op combustion middels de meting van de vlamtemperatuur.	
3	<i>Bouwen van 9 prototype ketels voor interne duurtesten.</i>	
3.1	Leveren 9 sets besturingen, gaskleppen, venturi's en ventilatoren. Out of pocket kosten.	epHS
3.2	Kopen van alle andere onderdelen voor de cv-ketel (combiketel) en deze assembleren en testen.	BCT
3.3	Testen van de 9 prototype cv-ketels met alle gassoorten (inclusief 100% H <sub>2</sub> ) en omgevingsvariabelen.	BCT
3.4	Implementeren van bevindingen op basis van de 9 prototype cv-toestellen in de software van de besturing.	epHS
3.5	Vorbereiden monitor systeem voor 1 cv-ketel en een container met 4 cv ketels en fuel cell (waterstof generator) en uitwerken welke data er vastgelegd gaan worden.	epHS
3.6	Ontwikkelen van de fuel cell voor 4 stuks 25kW 1:5 modulerende ketel voor 20% bijmenging.	Tieluk
3.7	Testen van de fuel cell voor 4 stuks 25kW 1:5 modulerende ketels voor 20% bijmenging.	Tieluk
4a	<i>Bouwen en plaatsen van 1 prototypes voor 100% H<sub>2</sub> in veiligheidscontainer</i>	
4.1	Leveren set besturingen, gaskleppen, venturi's en ventilatoren. Out of pocket kosten.	epHS
4.2	Kopen van alle andere onderdelen voor de cv-ketel (combi-ketel) en deze assembleren en testen. Kopen van 2 sets extra onderdelen afhankelijk van standaard beschikbaarheid.	BCT
4.3	Produceren van combi ketel voor verbranding van 100% H <sub>2</sub> .	BCT
4.4	Testen en uitvoeren Kiwa witness test van de veldtest cv ketel met 100% H <sub>2</sub> .	BCT
4.5	Implementeren van laatste correcties op basis van de productie en testen van de cv-ketel.	epHS
4.6	Risico analyse van container met cv ketel op 100% waterstof als veldtestinstallatie.	epHS
4.7	Nalopen risico analyse met Kiwa voor vrijgave veldtest	epHS
4.9	Installeren van monitorsystemen zodat de toestellen permanent gevolgd kunnen worden en alle operationele data opgeslagen en geanalyseerd wordt.	epHS
4b	<i>Ontwerpen en bouwen van container met fuel cell en 4 cv ketels voor 20% H<sub>2</sub>/G<sub>25</sub> installatie en zorgen voor service onderdelen en installatie in het veld.</i>	
4.1	Ontwerpen installatie van container met fuel cell en 4 cv ketels	Tieluk
4.2	Aanschaffen alle onderdelen voor de container met fuel cell en 4 cv ketels.	Tieluk
4.3	Opbouwen container installatie	Tieluk
4.4	Testen van de container installatie inclusief de marge bepalen per cv ketel voor de maximale mengverhouding.	Tieluk

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Fase	Omschrijving	Uitvoering
4.5	Implementeren van laatste correcties op basis van de productie en testen van de 1 cv-ketels.	epHS
4.6	Leveren en plaatsen van de fuel cell die elektriciteit vraag gestuurd omzet in waterstof voor de woningen.	Tieluk
4.7	Installeren van de juiste aansluitingen, plaatsen van de prefab container aangesloten op het warmtenet.	Tieluk
4.8	Leveren van monitorsysteem zodat de installatie permanent gevolgd kunnen worden en alle operationele data opgeslagen en geanalyseerd wordt.	epHS
4.9	Installeren van monitorsysteem zodat de toestellen permanent gevolgd kunnen worden en alle operationele data opgeslagen en geanalyseerd wordt.	Tieluk

### 3.3 Planning

Op basis van het bovenstaande activiteitenoverzicht is een planning opgesteld. Deze planning is opgesteld op basis van werkweken. De projectpartners dienen deze zelf verder uit te werken in hun resource planningen.

De planning is herzien vanwege opgelopen achterstanden (zie ook paragraaf 8.3). Hier is de status d.d. 18 september 2019 weergegeven. In de tabellen op de volgende pagina's staan de volgende planningen:

- Fasen 1 & 2
- Fasen 3 & 4a & 4b

De planning is in een afzonderlijk bestand gemaakt en beschikbaar, te weten "Overzicht planning H<sub>2</sub>-ready cv-ketel.xlsx". Dit bestand is leidend; de planningen in dit verslag zijn uitsluitend informatief. Deze planning is via de portal (zie ook par. 1.3.3) beschikbaar en geeft de laatste stand van zaken weer.

### 3.4 Samenvatting wijziging plan

In onderstaande tabel is de oorspronkelijke fasering opgenomen, aangevuld met de nieuw overeengekomen einddata.

Fase	Oorspronkelijk plan		Herzien plan	
	Start	Einde	Start	Einde
1	15/11/2018	15/04/2019	15/11/2018	15/04/2019
2	16/04/2019	15/07/2019	16/04/2019	<b>31/01/2020</b>
3	16/07/2019	31/08/2019	<b>14/10/2019</b>	<b>20/07/2021</b>
4a	01/06/2019	15/11/2019	<b>06/01/2020</b>	<b>20/08/2021</b>
4b	01/06/2019	15/11/2019	<b>01/07/2021</b>	<b>31/12/2021</b>

De fase 3 en 4 zijn vanwege Covid en ook het risico voor verbranding van 100% waterstof gewijzigd.

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Daarnaast is er ook een ketelfabrikant gevonden om de 100% waterstofketel te bouwen en de afstemming met Kiwa voor de witness test en containervrijgave te verzorgen. Dit is de firma Eco Heating Systems in Groningen.

Vanwege hun toestel was het wel noodzakelijk om de wisselaar van het toestel te wijzigen van de bekaert warmtewisselaar naar een Sermeta warmtewisselaar. Omdat dit ook een wisselaar is die in de markt veel toegepast is is dit een toevoeging aan de waarde van de ontwikkeling want daarmee tonen we aan dat we de twee meest gebruikte wisselaar types in de cv ketelmarkt van deze technologie kunnen voorzien.

Met dit toestel is fase 3 afgerond. Tieluk heeft in deze fase ook de fuel cell verder aangepast op de lage waterstof behoefte.

Met het Eco Heating systems toestel is een installatie bij de firma Holthausen in Groningen live op 100% waterstof verwezenlijkt. Kiwa heeft het toestel via een zogenaamde witness test beoordeeld en ook een risico analyse gedaan voor een veldinstallatie inclusief safety container. Dit omdat het consortium geen enkel risico wil nemen met het verbranden van 100% waterstof om de markt en de merknamen te beschermen. Dit behelst fase 4a.

Na 1 juli 2021 is ook besloten om de installatie in de woningen vanwege veiligheid om te zetten naar een installatie van een container met fuel cell (waterstofgenerator) en vier toestellen op 20% bijmenging aan te sluiten op een warmtenet om zo alle risico's uit te sluiten.

### 4 Resultaten

#### 4.1 Vlamdetectie voor 100% H<sub>2</sub> verbranding

Om te kunnen beoordelen of vlamdetectie met 100% waterstofverbranding kan worden gerealiseerd met thermokoppels zijn een groot aantal metingen gedaan. Hiervoor is een brander gemaakt met extra thermokoppels; deze is in onderstaande foto getoond.



*Foto aangepaste brander met thermokoppels*

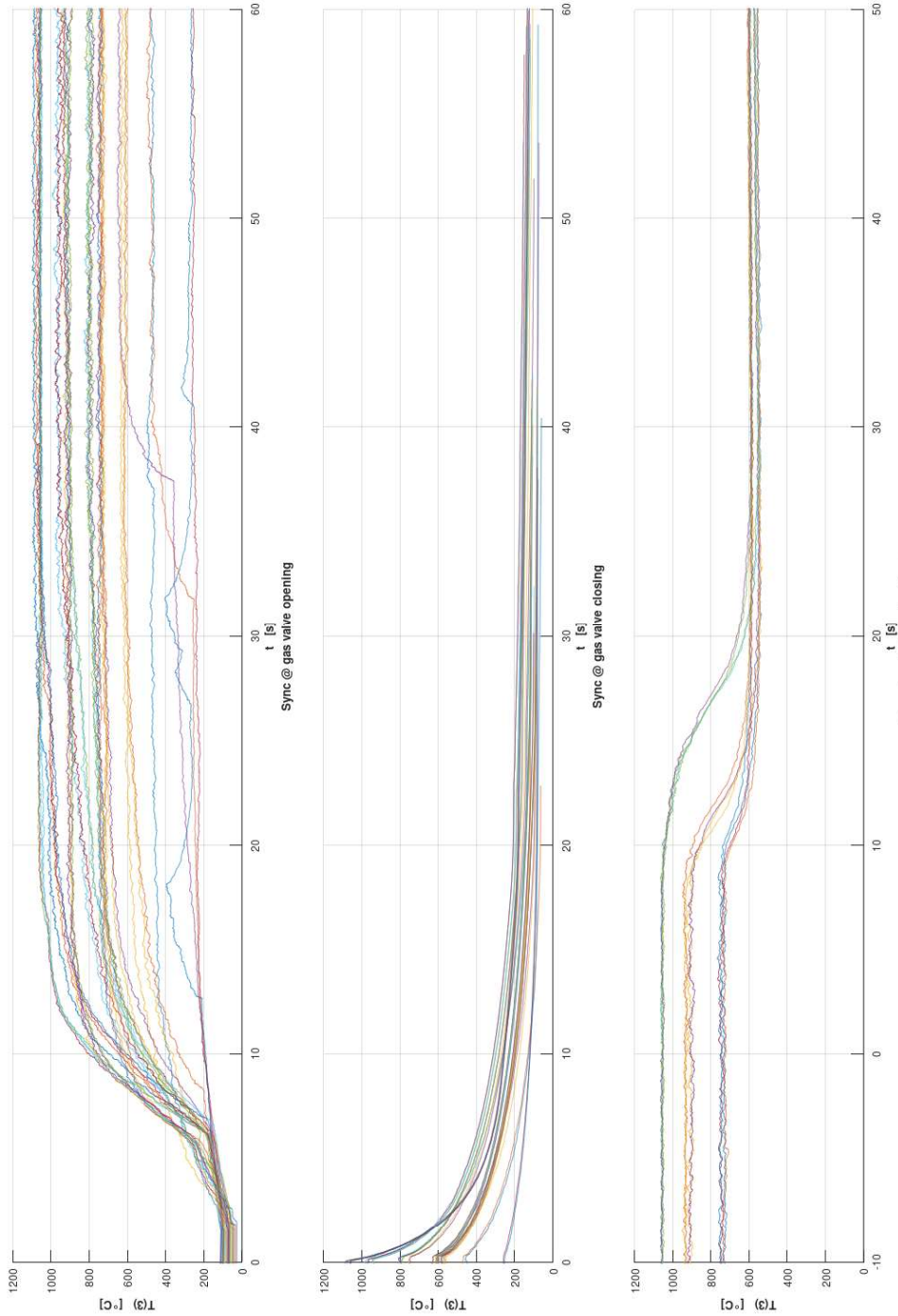
De volgende metingen zijn verricht:

- Koude en warme start met diverse belastingen
- Variabele brandduur
- Stapsgewijze modulatie van de brander

Het resultaat voor thermokoppel 3 is op de volgende pagina weergegeven; de temperatuurbeelden voor de beide andere thermokoppels zijn vergelijkbaar. Hieruit kan de conclusie worden getrokken dat er voldoende indicatie is dat vlamdetectie op basis van thermokoppels kan werken.



# H<sub>2</sub>-ready cv-ketel



- C-13-1 : Koude start 2,5KW L4,5
- C-13-2 : Koude start 2,5KW L4,5
- C-23-1 : Koude start 3,5KW L3,0
- C-23-2 : Koude start 3,5KW L3,0
- C-33-1 : Koude start 6,5KW L1,85
- C-33-2 : Koude start 6,5KW L1,85
- D-13-1 : Warme start 2,5KW L4,5
- D-13-2 : Warme start 2,5KW L4,5
- D-23-1 : Warme start 3,5KW L3,0
- D-23-2 : Warme start 3,5KW L3,0
- D-33-1 : Warme start 6,5KW L1,85
- D-33-2 : Warme start 6,5KW L1,85
- D-43-1 : Warme start 12,5KW L1,35
- D-43-2 : Warme start 12,5KW L1,35
- D-53-1 : Warme start 25KW L1,2
- D-53-2 : Warme start 25KW L1,2
- E-13-1 : Warme start 6,5KW L1,85
- E-13-2 : Warme start 6,5KW L1,85
- E-23-1 : Warme start 12,5KW L1,35
- E-23-2 : Warme start 12,5KW L1,35
- E-33-1 : Warme start 25KW L1,2
- E-33-2 : Warme start 25KW L1,2
- F-33-1 : Koude start 6,5KW terug naar 3,5KW
- F-33-2 : Koude start 6,5KW terug naar 3,5KW
- F-43-1 : Koude start 12,5KW terug naar 3,5KW
- F-43-2 : Koude start 12,5KW terug naar 3,5KW
- F-53-1 : Koude start 25KW terug naar 3,5KW
- F-53-2 : Koude start 25KW terug naar 3,5KW
- G-13-1 : Warme Start 6,5KW terug naar 3,5KW
- G-13-2 : Warme Start 6,5KW terug naar 3,5KW
- G-23-1 : Warme Start 12,5KW terug naar 3,5KW
- G-23-2 : Warme Start 12,5KW terug naar 3,5KW
- G-33-1 : Warme Start 25KW terug naar 3,5KW
- G-33-2 : Warme Start 25KW terug naar 3,5KW

Gemeten temperaturen thermokoppel TC3

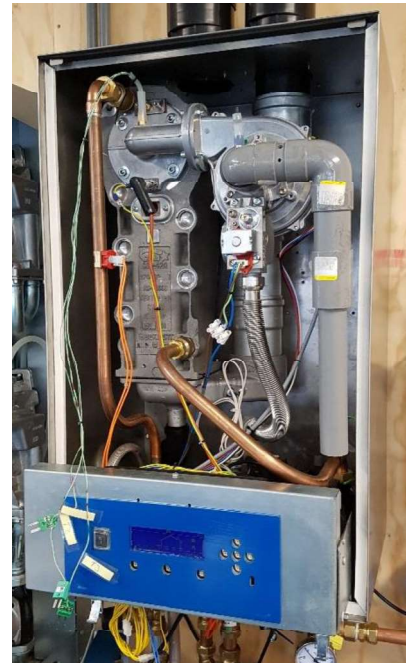
## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

De oorspronkelijke doelstelling van het project om tussen 100% aardgas en 100% waterstof te kunnen variëren is technisch helaas niet haalbaar gebleken. De keuze is gemaakt om de hoeveelheid waterstof tot maximaal 50% te beperken (zie ook par. 8.3, hier wordt dit uitgebreid toegelicht). Vlamdetectie met thermokoppels is daardoor niet langer van toepassing, omdat traditionele ionisatie bruikbaar is als niet meer dan 50% waterstof wordt toegevoegd.

### 4.2 Testen van H<sub>2</sub> brander, venturi, ventilator en gasblok op G25

Voor testen is een specifieke ketel opgebouwd met alle componenten geschikt voor waterstof en een traditioneel pneumatisch gasblok om te kunnen controleren of alles met 100% aardgas werkt en normaal kan worden gebruikt. In de afbeelding rechts is het toestel afgebeeld.

Dit toestel is allereerst afgesteld op een normale belasting, geschikt voor een gemiddelde Nederlandse woning (dit is vergelijkbaar met Gaskeur CW-4 voor warmwater). Vervolgens is de instelling van het gasblok aangepast om verschillende gas- / lucht verhoudingen te testen. Hierbij zijn steeds de temperaturen van de thermokoppels die in de brander zijn gemonteerd gemeten. Deze temperatuurmetingen zijn in continu bedrijf verricht.

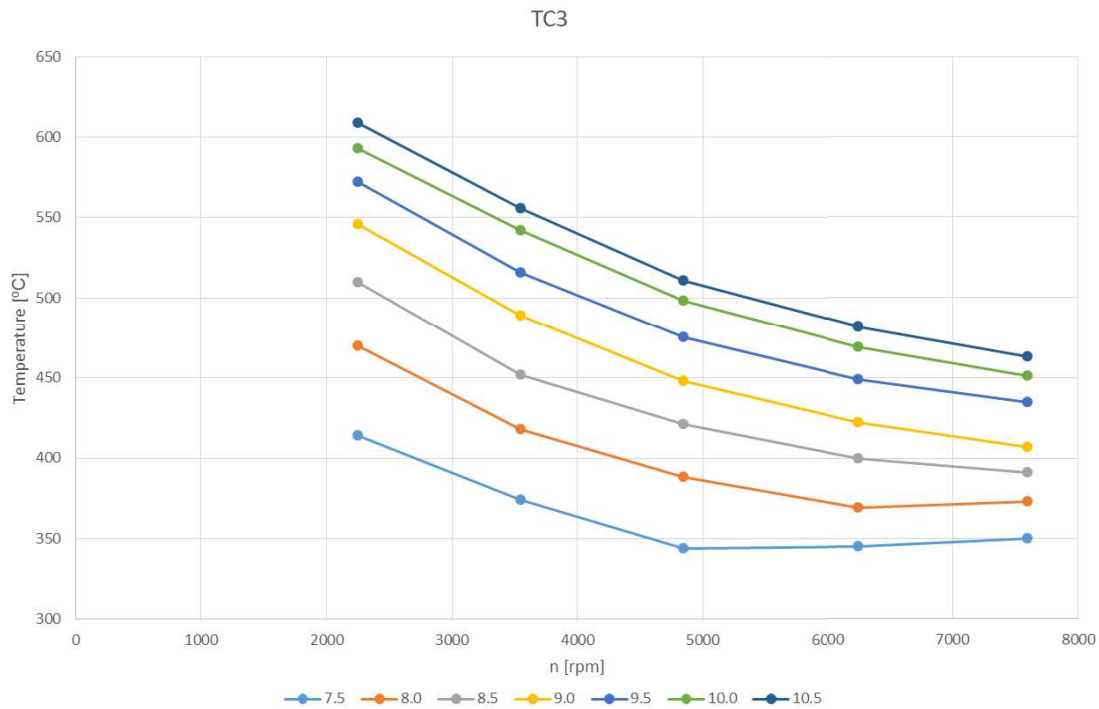


De metingen zijn gedaan bij verschillende CO<sub>2</sub>-concentraties en ventilatortoerentallen:

- 7,5 – 8,0 – 8,5 – 9,0 – 9,5 – 10,0 – 10,5 [%CO<sub>2</sub>]
- Ventilatortoerentallen:
  - ⇒ 7600 [rpm] (overeenkomstig met ca. 25 [kW] bij 9,0 [%CO<sub>2</sub>])
  - ⇒ 6250 [rpm] (overeenkomstig met ca. 20 [kW] bij 9,0 [%CO<sub>2</sub>])
  - ⇒ 4850 [rpm] (overeenkomstig met ca. 15 [kW] bij 9,0 [%CO<sub>2</sub>])
  - ⇒ 3550 [rpm] (overeenkomstig met ca. 10 [kW] bij 9,0 [%CO<sub>2</sub>])
  - ⇒ 2250 [rpm] (overeenkomstig met ca. 5 kW bij 9,0 [%CO<sub>2</sub>])

De resultaten zijn voor thermokoppel 3 weergegeven in onderstaande grafiek.

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel



Gemeten temperaturen thermokoppel TC3

Op basis van deze metingen kan worden geconcludeerd dat het toestel goed en veilig werkt met aardgas. Met dit toestel kunnen de volgende meetsessies worden gedaan. De nominale instelling van het toestel is vastgesteld op 9,0 [%CO<sub>2</sub>].

### 4.3 Vlamtemperaturen om de verhouding G<sub>25</sub>/H<sub>2</sub> te bewaken

In verschillende sessies is gemeten aan het toestel waarbij er met verschillende verhoudingen aardgas en waterstof is gemeten. Hierbij is het de combinatie van ketel met fuel cell getest. Het bijmengen van waterstof en de instelling van het toestel zijn tijdens deze metingen handmatig gebeurd.

In de onderstaande foto's zijn de ketel, fuel cell en totale installatie weergegeven. Deze meetopstelling is in bedrijf aan RvO.nl getoond tijdens het bezoek d.d. 18 september 2019.

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel



*Ketel*



*Fuel cell*



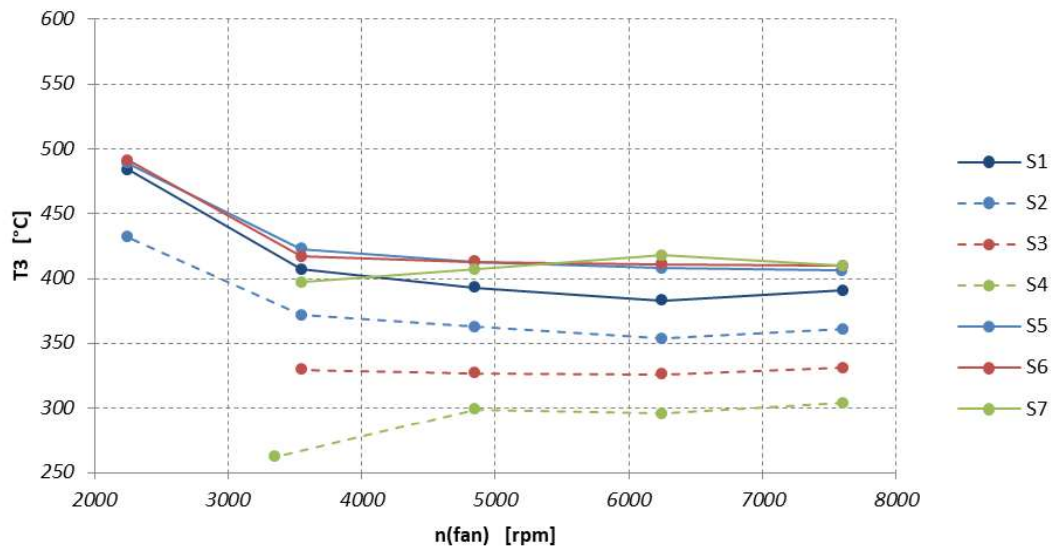
*Testopstelling*

Alle metingen zijn in continu bedrijf gedaan. Hierbij zijn de vlamtemperaturen en de rookgas-samenstelling gemeten, evenals een aantal gegevens uit de regelaar. De volgende metingen zijn verricht:

- Mengverhoudingen aardgas en waterstof:
  - ⇒ 0% waterstof & 100% aardgas
  - ⇒ 15% waterstof & 85% aardgas
  - ⇒ 30% waterstof & 70% aardgas
  - ⇒ 45% waterstof & 55% aardgas
- Afstelling ketel:
  - ⇒ Afstelling voor aardgas ongewijzigd gelaten (meetserie S1 .. S4)
  - ⇒ Afstelling aangepast zodat het toestel de nominale belasting levert (meetserie S5 .. S7)

In de onderstaande figuren zijn de meetresultaten getoond voor thermokoppel TC3.

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel



Gemeten temperaturen thermokoppel TC3

Op basis van deze meetgegevens kunnen een aantal conclusies worden getrokken:

- Aangetoond is dat met een temperatuurmeting in de brander kan worden gemeten of de gasklep verder moet worden geopend of gesloten als de gassenstelling verandert. Daarmee kan worden gesteld dat de componenten in de ketel in principe over voldoende, zij het dat er nog niet met een elektronische gasklep is gemeten (deze is wel nodig om de afstelling aan te passen naar het gasmengsel).
- Het is aangetoond dat met het waterstofmengsel veilig kan worden gewerkt met een normaal goed functionerende rookgasafvoer.
- Ook is aangetoond dat de fuel cell werkt voor de belastingen die een individueel toestel vraagt. Daarmee kan worden gesteld dat de juiste componenten in de fuel cell in principe beschikbaar zijn, zij het dat die nog niet automatisch heeft gewerkt.

Op basis van het bovenstaande zijn een aantal aanvullende metingen gedefinieerd om uiteindelijk tot een definitieve oplossing te komen. Dit zijn:

- Een “blocked flue” test om te controleren of het toestel veilig blijft met een rookgasafvoer die niet goed werkt.
- Integratietesten, waarbij wordt gecontroleerd of de samengestelde oplossing goed werkt met alle geautomatiseerde regelingen.

Deze aanvullende testen vallen allemaal binnen de scope van de in fase 3 genoemde activiteiten.



# H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

## 4.4 Implementatie van de vlamdetectie in een sample besturing

Met het huidige gas is een eenvoudige vlamprobe voldoende om de vlam te detecteren omdat er bij de verbranding van CH<sub>4</sub> elektronen vrijkomen. Door een metalen pin in de vlam aan te brengen en daar spanning op te zetten gaan deze elektronen een stroom verzorgen. Deze stroom wordt door de besturing gebruikt om de vlam te detecteren.

Bij 100% waterstof komen geen elektronen vrij en kan dus niet met dezelfde methode het branden van 100% H<sub>2</sub> gedetecteerd worden.

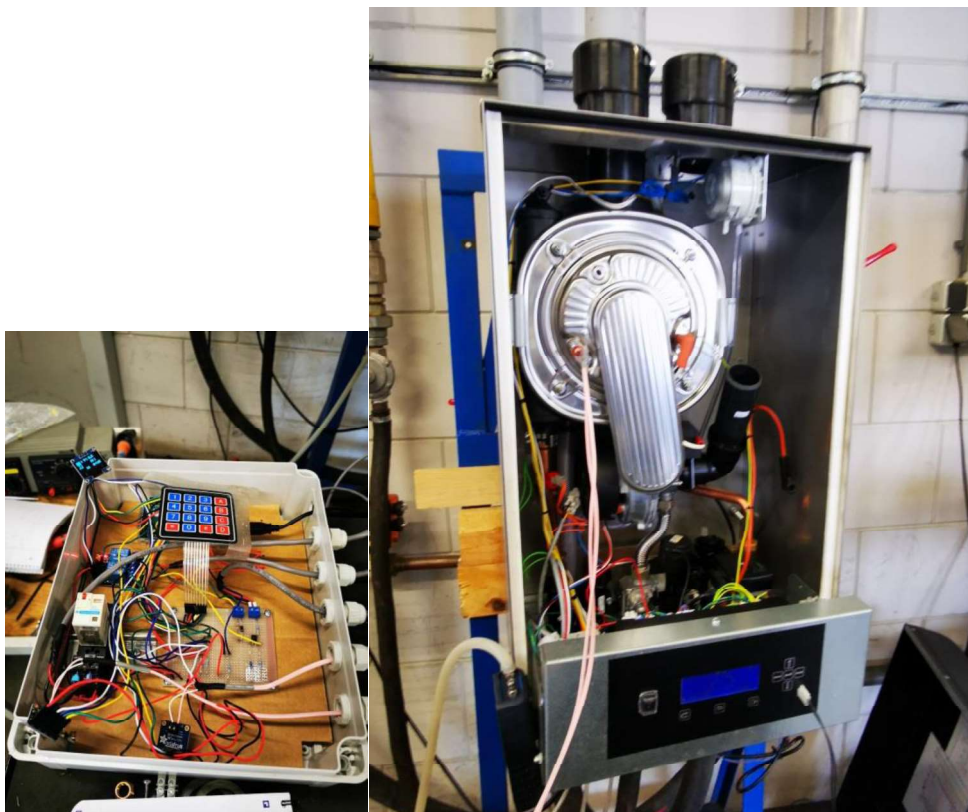
Gedurende het project is er gekeken naar UV meting van de waterstof vlam. Dit bleek duur, groot en het kijken naar de vlam door het kijkglasje (wat schoon moet blijven) bleek niet bruikbaar.

Vandaar dat er gekozen is om de thermokoppels te gebruiken voor de vlamdetectie. Door Bekaert zijn hier een groot aantal metingen gedaan voor verschillende posities van de thermokoppels in de vlam als ook hoe deze temperaturen in deze positie zich gedraagt tijdens modulatie, vlamwegval en het starten van de brander. De resultaten van deze metingen zijn in paragraaf 4.1 weergegeven.

Middels deze metingen is eerst met een simulatieprogramma een uitgedacht vlamdetectie algoritme getest en ook is de juiste positie van de thermokoppels in de brander verder vastgelegd.

Dit is in een separate sampleopstelling geïmplementeerd en getest op een combiketel op standaard gas.

Hieronder is de foto van de testketel weergegeven. De twee roze draden zijn de aansluitingen naar de thermokoppels die de standaard ionisatiepen eenvoudigweg vervangen.



## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Mechanisch is er ook bereikt dat er een standaard ionisatiepen gemodificeerd is naar een vlamtemperatuur meet pen. Het metalen deel zal nog iets korter worden en gebogen worden zodat de draden netjes naar beneden gaan richting de brander automatisch.



Middels een los sample elektronica op basis van een arduino is het uitgewerkte algoritme omgezet in een functionele oplossing.

Deze oplossing is getest op het juiste vlamdetectie mechanisme op een compleet combi toestel op standaard aardgas.

Voor alle standaardtest scenario's voor de combiketel is het toestel zowel qua performance als verbranding technisch volledig getest zoals een toestelfabrikant zijn testen doet alvorens het toestel aan te bieden voor een keuring bij Kiwa.

De belasting op 28kW gaf een vlam temperatuur van 1100 graden en op 3kW een vlamtemperatuur van 620 graden. Het algoritme is in staat om na correct tunen zowel de modulatiesnelheid voor tapbedrijf als cv bedrijf te volgen. Ook het afstuwen van de rookgas wordt door de thermokoppels correct gedetecteerd en het afschakelen van de gastoevoer wordt binnen de noodzakelijke tijd gedetecteerd.

Voor standaard gas kunnen we hiermee concluderen dat het uitgewerkte en gesimuleerde algoritme correct functioneert in een standaard 28kW combiketel zonder aanpassingen van de performance van het toestel.

Kiwa heeft het toestel op 100% waterstof op locatie bij Bekaert positief beoordeelt op emissie en

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

veiligheid (ook PAS444 – extra terugslagnorm). Aangezien er nog geen definitieve keuringseisen zijn voor 100% waterstofketels is de keuring van het toestel niet volledig afgerond.

### 4.5 Installatie van 100% H<sub>2</sub> toestel bij Holthausen

Het toestel is bij Holthausen in een container buiten het pand geïnstalleerd. Het warme water loopt het pand in waar het via een waterzijdige luchtverwarmer het pand van de nodige warmte voorziet. In de container is de tweede helft ingericht als sanitair voorziening om ook het tapwaterdeel in de veldtest te beoordelen. De installatie gebruikt een aanzienlijk aantal flessen waterstof per week.



Toestel in container met rechts de helft van container waar een wasbak gebruikt kan worden voorzien van tapwater uit de waterstofketel.



## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel



Container opstelling buiten. Twee extern opgestelde waterstof flessen.



Verloop van leidingwerk het pand in.



Waterzijdige luchtverwarmer om het pand van de benodigde warmte te voorzien.

### **4.6 Implementatie van de vlamdetectie in een de uiteindelijke besturing**

Parallel aan de ontwikkeling van de sample vlamdetectie heeft epHS ook de implementatie van het vlamdetectie algoritme in de uiteindelijke besturing verwezenlijkt.

Dit is in de volgende stappen al uitgewerkt.

- Samenstelling met 900MN\_6R met software 4n1 als stabiele software basis
- Maken van het software design
- Review van het software design
- Berekenen thermokoppel spanningen gebaseerd op ruwe waarden van de thermokoppels en de referentiemetingen
- Leveren van monster aan Eco Heating Systems
- Test door Eco Heating Systems van het vlam detectie algoritme op G25
- Test door Bekaert van het vlam detectie algoritme op 100% H<sub>2</sub>
- Update Kiwa van de gemaakte wijzigingen
- Upgrade van de besturing bij de veldinstallatie bij Holthausen

### 4.7 Installatie van container met fuel cell (waterstofgenerator)

Specificatie van de containeropstelling.

- Vorstvrije, wind en waterdichte opstellingsruimte gebouw in 2 compartimenten  
1 compartiment t.b.v. waterstof opwek en 1 compartiment t.b.v. opstellingplaats voor de cv-ketels test en meetruimte.
- Complete waterstof generator opgesteld 3x80 ampère met 4 gas meng straten voorzien drieweg mixers CH<sub>4</sub> – H<sub>2</sub>O met flowtransmitters en flame arrestors. Voorzien van alle noodzakelijke beveiligingsonderdelen
- Ketel opstelling gemaakt voor het testen van 5 stuks gaswandketels van verschillende fabrikanten
- **Opgestelde ketels:**  
Remeha Quinta 65 kW  
Atag XL 140  
Atag XL 105  
Liander – Atag Biogas ketel 25 kW  
Osby 50 kW gaswandketel met Bentone ventilatorbrander

Metingen uitgevoerd voor het maximaal mogelijk inmengpercentage

- Ketels getest op maximale inmenging waterstof waarbij de ketel 3600 seconden geen storing of haperingen mocht veroorzaken. Ketels op vollast beproefd.
- **Resultaten:**  
Remeha Quinta 65 kW ketel stabiel tot 28% inmenging van waterstof  
Atag XL 140 ketel stabiel tot 37% inmenging van waterstof  
Atag XL 105 ketel stabiel tot 38% inmenging van waterstof  
Liander – Atag biogas ketel stabiel tot 15% inmenging van waterstof  
Osby 50 Kw met Bentone ventilator brander stabiel tot 61% inmenging van waterstof

Instabiliteit bij de toestellen wordt veroorzaakt door te lage ionisatiemeting. Hoe hoger de bijmenging hoe lager het aantal elektronen in de vlam.

Vanwege lage inmengpercentage van de Atag biogas ketel is het inmengpercentage afgeregeld op 15% H<sub>2</sub>/G<sub>25</sub>.

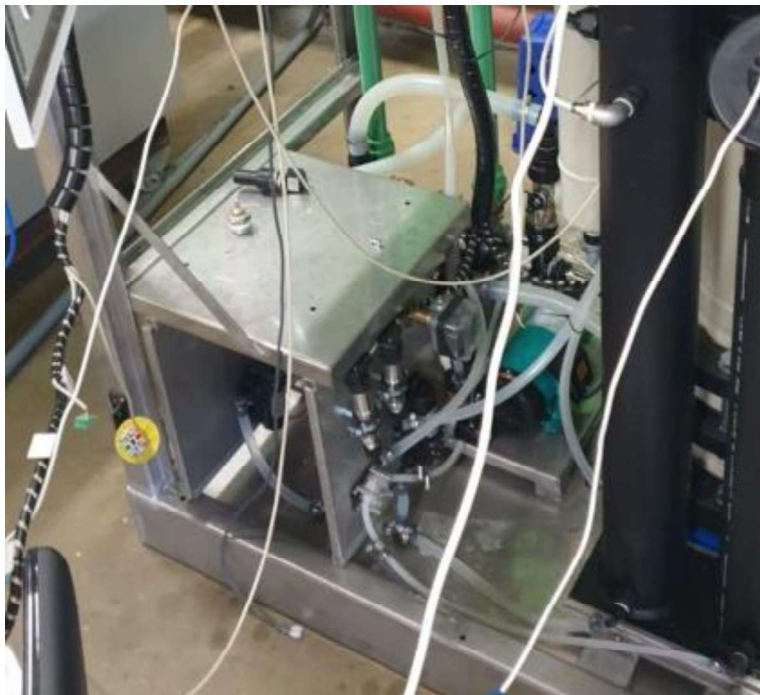
Installatie is opgebouwd met meerdere afsluiters naar het algemene leidingwerk zodat het mogelijk is de toestellen te servicen zonder dat de hele installatie afgeschakeld moet worden.

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Overzichtsfoto's van de container met toestellen en fuel cell



Vijf toestellen in een serieopstelling inclusief al het leidingwerk met detailfoto van twee toestellen.



Fuel Cell (Waterstof Generator)



## 4.8 Uitwerking van het remote monitoring systeem

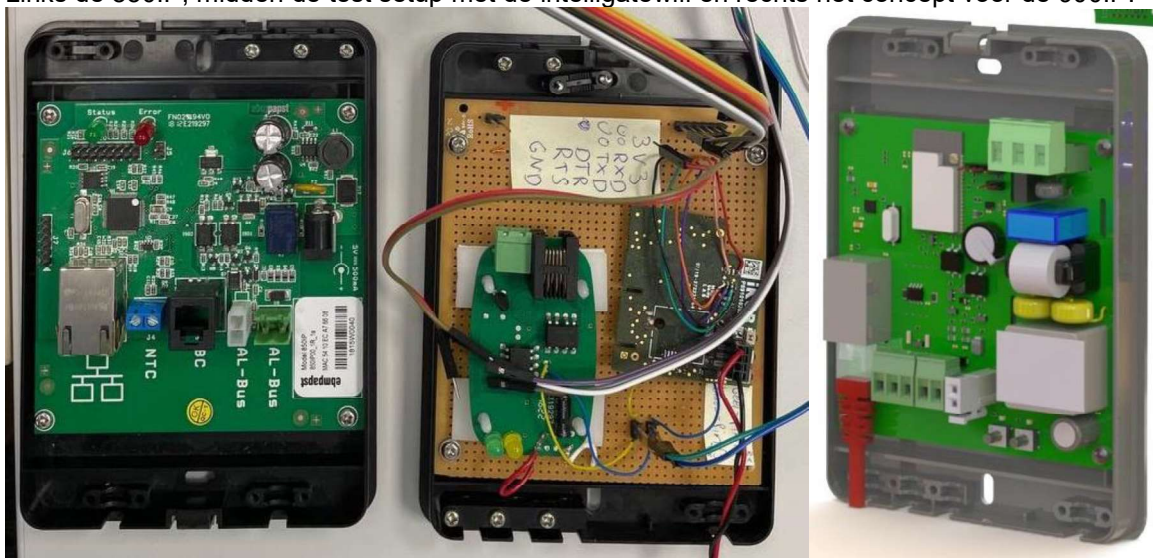
Voor het remote communicatie systeem is gekozen om de intelligatwifit van epNEO te gaan gebruiken. Hiervoor zijn de volgende stappen uitgevoerd.

- Opzetten professionele Cloud omgeving en installatie server bij epHS
- Implementeren modbus – cloud firmware zodat de gegevens van de BCU900 via een standaard ethernet verbinding of wifi router naar de epCloud gestuurd kunnen worden.
- Opzetten API zodat meerdere partijen de installatiegegevens kunnen bekijken en benutten.
- Opzetten monitoring overzichten zodat de installatie goed beoordeeld kunnen worden.

Door gewijzigde IT regelementen binnen de ebm-papst organisatie zijn er 2 stappen in de monitoring ontstaan binnen het project. De eerste fase is binnen epHS opgezet met de server en 900IP module om via internet te monitoren. Voor de uiteindelijke stap naar de epNEO cloud opzet worden vanwege betrouwbaarheid en 24/7 service externe servers gebruikt.

Op basis van de intelligatwifit module die is bedoeld om in een daarvoor voorbereide ventilator besturing te worden geplaatst (wat in dit geval van een brander besturing nog niet zo is) is er een testopzet gemaakt met externe hardware die kan samenwerken met de brander besturing.

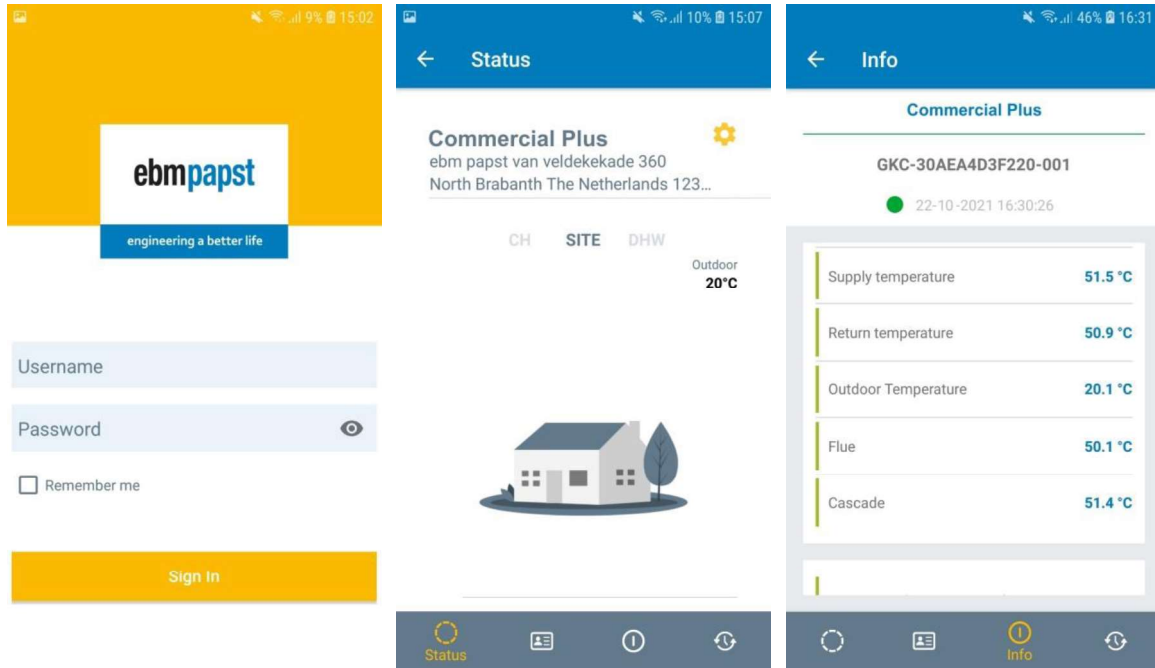
Links de 850IP, midden de test setup met de intelligatwifit en rechts het concept voor de 900IP.



Deze nieuwe setup communiceert de actuele data naar de epNEO cloud door vanuit het display van de besturing de data via modbus op te halen en in de intelligatwifit veilig te coderen. Deze data is op de epNEO server beschikbaar via een API aanroep door een externe applicatie.

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

De eerste applicatie die daar mee overweg kan is de Android app die geschikt is om de brander besturing continu te controleren.



Omdat er voor de volledige logging van de nieuwe vlambewaking gebruik gemaakt diende te worden van meerdere voor de automaat interne testvariabelen is de veiligheid besproken met KIWA. Deze keuringsinstantie KIWA heeft deze variabelen als veiligheidsrelevant aangemerkt.

De volledige monitoring van deze veiligheidsrelevante variabelen is in deze specifieke veldtest toegestaan, maar enkel bij gebruik van lokale logging met LabVision omdat dit de officieel toegestane service tool is voor lab en veldtesten in deze omgeving.

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

### 4.9 waterstof generators met een vermogen van 28 kW

Samen met de verbranding van waterstof is er gewerkt aan de opwekking van de daarvoor noodzakelijke waterstof op locatie.

Noodzakelijk hiervoor is het bouwen van 10 stuks waterstof generators met een vermogen van 28 kW (output), welke aangesloten kunnen worden op een 0 – 100% modulerende gas- H<sub>2</sub> Ready wand combi-ketel. De uitdaging hierin is dat de H<sub>2</sub> generator compact moet zijn. Afmetingen van de totale generator zal ca l x h x d 700x500x400 mm moeten zijn, zodat deze direct naast de H<sub>2</sub> ready ketel geplaatst kan worden op zolder / vliering.

Door deze zeer compacte afmeting is er gekozen om niet een cascadering van kleine elektrolyzers (14 stuks van 2kW) te gaan implementeren maar 1 elektrolyser van 28 kW.



Voorbeeld van kleine elektrolyzers in cascade

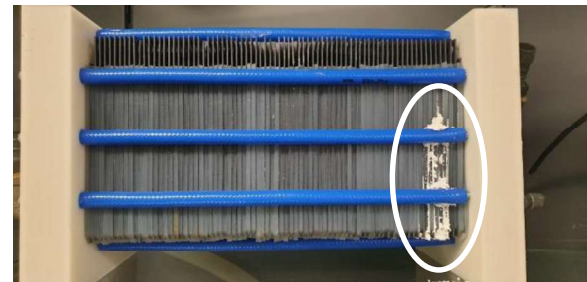
Elektrolyser 28Kw (met evenveel celplaten – anodes en kathodes dan de voorgaande afbeelding)



De opbouw van de elektrolyser: anode – pakking – stackplaat - pakking– membraam – kathode enz.



Na de eerste testen leek dit prima te gaan, echter na verloop van de duurtesten ontstonden er lekkages tussen de pakkingen. Het geen zorgelijk werden bevonden en er nader onderzoek nodig was.



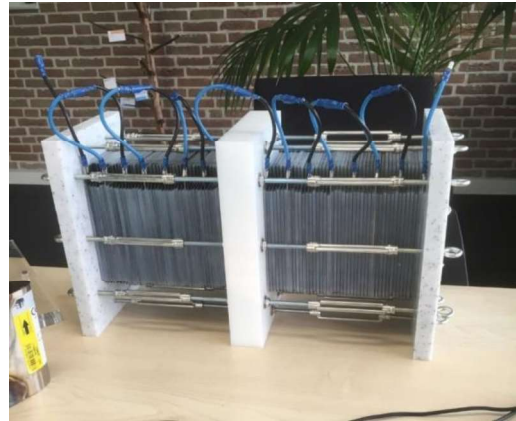
## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

We hebben een extreme lange duurttest gedaan. Uit deze duurttest bleek dat door toenemende druk bij extreme temperatuur verschillen 10°C naar 85°C tussen inschakelen - uitschakelen met langere tijdsintervallen (tijds intervallen van minimaal 48 uur) bleek deze elektrolyser niet bestand te zijn voor deze op ogen zijnde toepassing van het project waar veel starts en stops zullen zijn vooral in het voor en na jaar. Maar zeker in de zomer waar de H<sub>2</sub> ready cv combiketel alleen voor warmtapwater in bedrijf zal zijn met grote tijdsintervallen en extreme temperatuur verschillen. In tegenstelling tot de eerder duurttesten van 72 uur aaneengesloten bij temperatuur verschillen van maximaal 20°C.

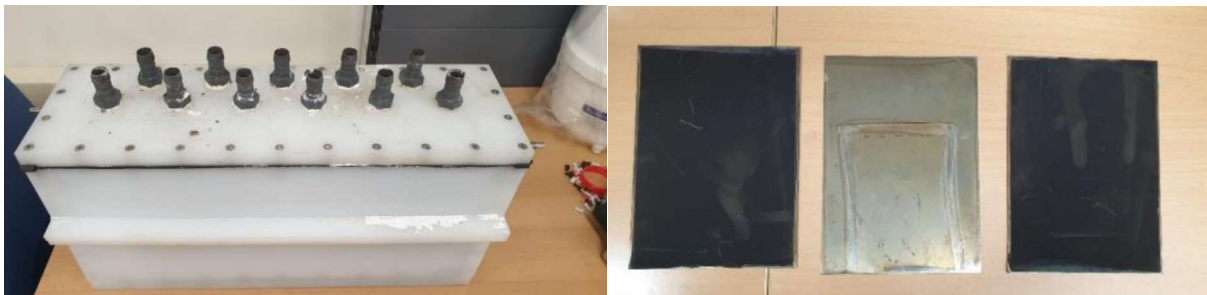
Afbeelding van de ontbrande elektrolyser welke de tests niet heeft doorstaan.



Tussen oplossing door 2 kleinere stacks te maken met trekstangen. Maar ook deze vertoonde na verloop van tijd toch weer lekkages. Door de druktoename – temperatuur verschillen en spanningen.



Vervolgens hebben we een rechthoekige bak ontwikkeld waar de 75 anodes en 75 kathodes spanning vrij t.o.v. elkaar kunnen uitzetten en krimpen door middel van een sleuven systeem.



Bovenstaande afbeelding is de rechthoekige elektrolyser welke gevuld is met 75 anodes en 75 kathodes.



## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

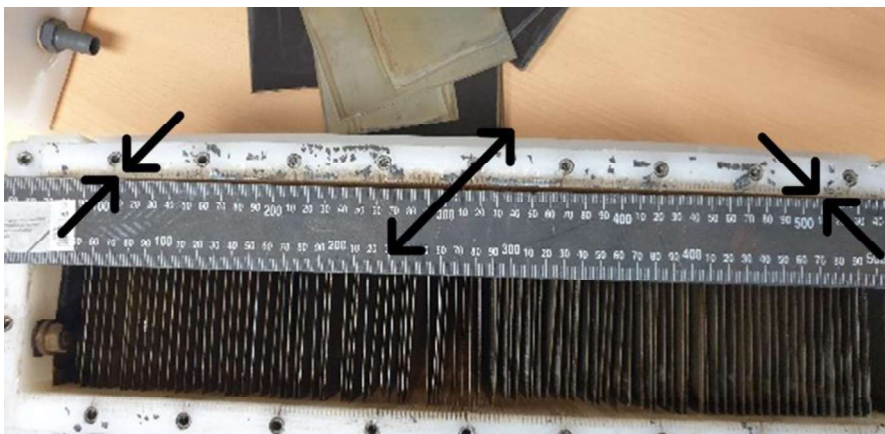
De duurtesten van deze elektrolyser gingen naar verwachten tot na ca 1200 bedrijfsuren de eerste vervormingen aan de kunststoffen mantel ontstonden waardoor er weer vervelende ongewenste lekkages ontstonden. Welke weer ontstonden door de druktoename – temperatuur verschillen en spanningen



Te veel vervorming ondanks extra verstevigingsrand



De ondergrens van de technische levensduur van de elektrolyser moet minimaal 5 jaar zijn voor deze pilot, en daarom is er besloten om de ontwikkeling van vierkante / rechthoekige stacks stop te zetten. Besloten werd om de stack in een ronde vorm te gaan ontwikkelen, waar spanningen beter op gevangen kunnen worden. Evenredig verdeeld worden over de totale oppervlakte.



## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Afbeelding van de eerste test opstelling met de ronde elektrolyser en rvs bubbler



Rvs bubbler

Ronde elektrolyser

Na 2000 bedrijfsuren zijn er geen vervorming in de materialen en geen lekkages waargenomen. De totale optelling voldeed niet meer aan de vooraf gewenste afmetingen (lxhxd 700x500x400) maar was technische onder controle en vertoonde geen lekkages meer.

# H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Om de totale opstelling zo klein mogelijk te bouwen hebben we een elektrolyser en bubbler in 1 deel gebouwd.  
Waarvan hier een foto van het eerste prototype

Na het compleet samenbouwen van alle componenten konden de diverse metingen beginnen.

Metingen aan de elektrische zijde



Metingen Output H<sub>2</sub>



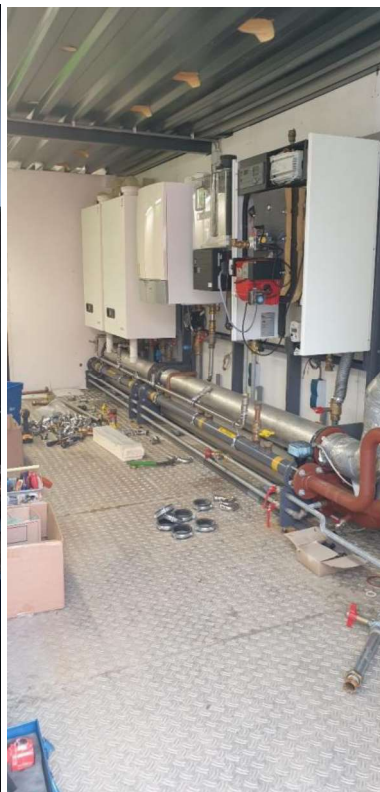
Monitoring van de complete opstelling via VPN





## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Invulling na verandering in het project Ebm – Bekaert  
Bouw van centrale opstelling waar meerdere ketels in getest kunnen worden.



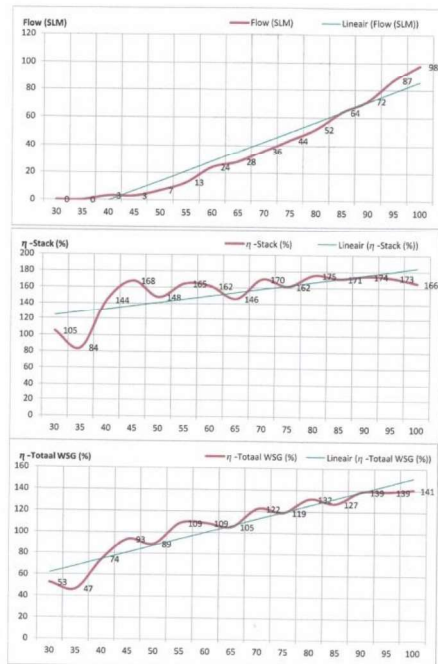
Gecontroleerde inmengklep H<sub>2</sub> – CH<sub>4</sub>

# H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Procentueel in-regelbaar van 0 - 100% H<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub>

Deze ontwikkelde gasmenstraat zet voorzien van 3 punts mengregelaar met flowtransmitters – gaskeerklap en flame arrestor

Samenbouw generator voor in de centrale opstelling in de container voor tests van de ketels



## 5 Evaluatie

### 5.1 Knelpunten

Knelpunt	Gevolg	Oplossing
Planning niet behaald door meerdere omstandigheden (zie ook par. 8.3).	Oorspronkelijke deadline niet gehaald.	Planning is opnieuw gemaakt en uitstel is aangevraagd en verleend.
De oorspronkelijke doelstelling van het project om tussen 100% aardgas en 100% waterstof te kunnen variëren is technisch niet haalbaar.	Maximaal 50% H <sub>2</sub> bijmengen is mogelijk.	De keuze is gemaakt om de hoeveelheid waterstof tot maximaal 20% te beperken omdat dit ook de verwachting van de markt is.

### 5.2 Successen

Succes	Gebied	Succesfactoren
Ontwerpen brander voor 100% waterstof met zeer goede emissies	Verbranding van 100% waterstof	<ul style="list-style-type: none"> <li>Extreem lage Nox wat erg belangrijk is want in de markt circuleert informatie dat waterstofverbranding voor een hoge Nox zorgt.</li> </ul>
Ontwerpen brander voor 100% waterstof met laag risico voor terugslag	Verbranding van 100% waterstof zonder implosiegevaar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Waterstofvlamsnelheid is hoog en bij modulatie is er een verhoogd risico voor implosie. Door het juiste brander design is dit risico geminimaliseerd en geaccepteerd door Kiwa.</li> </ul>
Vlamtemperatuurmeting is een goede indicatie voor de samenstelling van het gasmengsel.	Regelbaarheid van de ketel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Samenwerking tussen fabrikant brander en regeltechniek</li> <li>Juiste positie van de thermokoppels</li> </ul>
Fuel cell regelbaar tussen 1 en 30 [l/min].	Inzetbereik van de fuel cell	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bouwgrootte van de fuel cell</li> <li>Regelbaarheid van de fuel cell</li> </ul>
Implementatie van het vlam detectie algoritme	Inzet bereik 3-28kW	<ul style="list-style-type: none"> <li>Het uitgewerkte algoritme is in staat om de standaard vlamdetectie (ionisatiemeting) over te nemen door de vlamtemperatuurmeting voor zowel G25 als waterstof</li> </ul>
Ontwerp degelijk	Een standaardionisatiepen is	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vlamtemperatuurmeting is</li> </ul>

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Succes	Gebied	Succesfactoren
vlamtemperatuurmeting	gemodificeerd door het verwijderen van de pen en het plaatsen van de thermokoppels.	qua mechanisch component zeer vergelijkbaar met de bekende ionisatiepen.
Opzetten professionele cloud omgeving	Test met API's zodat elke server de informatie van de veldtestlocaties op kan halen.	▪ API connectie is met succes getest.
Implementeren basis modbus – wifi – cloud connectie	Test met eenvoudige data succesvol uitgevoerd	▪ Besturingstemperatuur via wifi naar cloud afgeleverd.

### 5.3 Externe ontwikkelingen

Ontwikkeling, verandering	Oorzaak, verklaring	Gevolgen
De ontwikkeling van normen voor toepassing van waterstof in ketels is nog niet klaar.	De toepassing van waterstof is nog erg nieuw.	Keuring van de ketel en de fuel cell voor een veldtest wordt bemoeilijkt omdat er geen norm is om te toetsen. Dit maakt de kosten en doorlooptijd van een keuring erg hoog.

### 5.4 Vooruitblik

De markt vraagt op dit moment voor toestellen die 20% H<sub>2</sub> bij kunnen mengen. Dit is inmiddels ook te keuren bij Kiwa. Sommige halen 30% maar de verwachting is niet dat de bijmenging in de praktijk dit niveau gaat bereiken omdat er dan meer gecontroleerd moet worden aan de installatie en het netwerk en dat de algemene opinie is dat er dan beter meteen de stap naar 100% waterstof genomen kan worden. Het bijmengen van 20% verlaagt CO<sub>2</sub> met ongeveer 7% en dat zou voor de hele Nederlandse populatie van cv ketels in totaal een grote reductie zijn.

De markt vraagt inmiddels naar H<sub>2</sub> ready cv ketels. Die werken op G25 maar kunnen in het veld omgebouwd worden naar 100% waterstof. De ketel die wij in dit project ontworpen hebben voldoet hieraan maar er moet nog een groot deel van de ketelcomponenten vervangen worden. Het zou een goede doorontwikkeling zijn om dit aantal componenten te verlagen. Met elektronisch geregelde verbranding zou dit mogelijk zijn. Hier is in dit onderzoek de basis voor gelegd maar gezien de projectuitdagingen niet tot het einde uitgewerkt. Dit is zeker nog een goed vervolg project.

Voor grote installaties is waterstof ook een goede oplossing voor CO<sub>2</sub> besparing. De techniek die in dit project ontworpen is is zeker ook bruikbaar voor grotere systemen. Het dient aan te bevelen om als vervolgproject een 320kW toestel voor waterstof te maken zodat ook voor back-up buffers voor warmtenetten waterstof toegepast kan worden.

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

### 6 Budget

Het budget is bijgehouden in het bestand "Financieel overzicht Urban Energy (H2Ready).xlsx". Dit bestand is leidend en is via de portal (zie ook par. 1.3.3) beschikbaar gesteld aan de deelnemers. Het geeft de laatste stand van zaken weer. De portal is inmiddels gesloten omdat het project afgerond is. De uiteindelijk informatie in dit overzicht is gebruikt voor de onderstaande eindbudget verantwoording.

#### 6.1 *ebm-papst Heating Systems b.v.*

In de onderstaande tabellen worden de gebudgetteerde en gerealiseerde uren en kosten gegeven zoals gemaakt door epHS.

Fase	Budget	Realisatie
	[h]	[h]
1	130	315.5
2	130	91
3	2000	378
4	480	2244
<i>Totaal</i>	<i>2740</i>	<i>3029</i>

Post	Budget	Realisatie
	[€]	[€]
Fase 1 - loonkosten	€ 7.800	€ 18.930
Fase 1 - overige kosten	€ 1.110	€ 4.575
Fase 2 - loonkosten	€7.800	€ 5.460
Fase 2 - overige kosten	€ 0	€ 0
Fase 3 - loonkosten	€ 120.000	€ 22.680
Fase 3 - overige kosten	€ 52.100	€ 5.460
Fase 4 - loonkosten	€ 28.800	€ 134.670
Fase 4 - overige kosten	€ 17.500	€ 20.350
<i>Totaal</i>	<i>€ 454.400</i>	<i>€ 206.834</i>

#### 6.2 *Bekaert Combustion Technology b.v.*

In de onderstaande tabellen worden de gebudgetteerde en gerealiseerde uren en kosten gegeven zoals gemaakt door BCT.

Fase	Budget	Realisatie
	[h]	[h]
1	1400	1937



## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

2	700	0
3	720	0
4	0	2561
<i>Totaal</i>	<i>2820</i>	

Post	Budget	Realisatie
	[€]	[€]
Fase 1 - loonkosten	€ 84.000	€ 116.205
Fase 1 - overige kosten	€ 57.500	€ 21.461
Fase 2 - loonkosten	€ 42.000	€ 0
Fase 2 - overige kosten	€ 0	
Fase 3 - loonkosten	€ 43.200	
Fase 3 - overige kosten	€ 0	€ 0
Fase 4 - loonkosten	€ 0	
Fase 4 - overige kosten	€ 0	€ 153.630
<i>Totaal</i>	<i>€ 226.700</i>	<i>€ 203.907</i>

### 6.3 Tieluk b.v.

In de onderstaande tabellen worden de gebudgetteerde en gerealiseerde uren en kosten gegeven zoals gemaakt door Tieluk.

Fase	Budget	Realisatie
	[h]	[h]
1	0	0
2	0	0
3	1500	0
4	445	2200
<i>Totaal</i>	<i>1945</i>	<i>2200</i>

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Post	Budget	Realisatie
	[€]	[€]
Fase 1 - loonkosten	€ 0	€ 0
Fase 1 - overige kosten	€ 0	
Fase 2 - loonkosten	€ 0	€ 0
Fase 2 - overige kosten	€ 0	
Fase 3 - loonkosten	€ 90.000	€ 0
Fase 3 - overige kosten	€ 0	€ 0
Fase 4 - loonkosten	€ 26.700	€ 132.000
Fase 4 - overige kosten	€ 163.150	€ 145.220
<b>Totaal</b>	<b>€ 272.670</b>	<b>€ 277.220</b>

### 6.4 Totaal

In de onderstaande tabellen worden de gebudgetteerde en gerealiseerde uren en kosten gegeven, getotaliseerd voor het gehele project.

Fase	Budget	Realisatie
	[h]	[h]
1	1530	2252
2	830	91
3	4220	378
4	925	7005
<b>Totaal</b>	<b>7505</b>	<b>9726</b>

Post	Budget	Realisatie
	[€]	[€]
Fase 1 - loonkosten	€ 91.800	€ 135.135
Fase 1 - overige kosten	€ 58.610	€ 26.035
Fase 2 - loonkosten	€ 49.800	€ 5.460
Fase 2 - overige kosten	0	0
Fase 3 - loonkosten	€ 253.200	€ 22.860
Fase 3 - overige kosten	€ 52.100	€ 169.50
Fase 4 - loonkosten	€ 55.500	€ 420.300
Fase 4 - overige kosten	€ 180.650	€ 165.570
<b>Totaal</b>	<b>€ 741.660</b>	<b>€ 775.350</b>

### **7 Publiciteit**

We hebben besloten om geen publiciteit aan de ontwikkeling te besteden omdat we verschillende patentaanvragen ingediend hebben. Deze patenten worden naar alle waarschijnlijkheid in Q1 2022 toegekend.

## 8 Wijzigingen

In dit hoofdstuk worden eventuele wijzigingen die voor de subsidieverstrekker van toepassing zijn beschreven en/of samengevat.

### 8.1 Administratieve wijzigingen

Waren er in de verslagperiode wijzigingen in het project, de uitvoering en/of uw organisatie die u nog niet heeft gemeld aan RVO.nl?

-

Zijn er administratieve wijzigingen die u niet eerder aan RVO.nl heeft gemeld

Geef toelichting.

-

### 8.2 Financiële wijzigingen

Waren er in de verslagperiode wijzigingen in het project, de uitvoering en/of uw organisatie die u nog niet heeft gemeld aan RVO.nl?

-

Is de projectbegroting gewijzigd?

Zo ja, zorg dan voor een gewijzigde projectbegroting.

-

Zijn er financiële wijzigingen die u niet eerder aan RVO.nl heeft gemeld?

Benoem de financiële wijzigingen. Als u bijvoorbeeld meer financiële steun krijgt dan u bij de aanvraag heeft aangegeven, vult u gedetailleerd in wie de geldverstrekker is (gemeente, provincie, Rijk, Europese instelling, fonds, stichting of particulier). Indien u overheidssteun ontvangt, vermeld u ook de naam van de subsidieregeling. Maak duidelijk welke gevolgen de wijziging heeft voor de planning, de begroting, de samenwerking met andere partijen, de liquiditeitsbehoefte en/of de commerciële verwachtingen.

<b>Omschrijving</b>	-
<b>Reden van de wijziging</b>	-
<b>Gevolgen voor het project</b>	-

### 8.3 Inhoudelijke wijzigingen (incl. planning)

Waren er in de verslagperiode wijzigingen in het project, de uitvoering en/of uw organisatie die u nog niet heeft gemeld aan RVO.nl?

-

Is het projectplan gewijzigd?

Zo ja zorg dan voor een gewijzigd projectplan.

Het projectplan is gewijzigd vanwege vertragingen in de uitvoering waarvoor ook uitstel is aangevraagd (d.d.17 juni 2019).

Na een goede start van het project zijn er helaas door persoonlijke omstandigheden bij BCT en Tieluk mensen uitgevallen en is het project vertraagd. Door de looptijd van een jaar was het oorspronkelijke plan ambitieus en waren de diverse projectactiviteiten dicht op elkaar gepland.

Bij BCT is er door ziektegevallen bij de test engineers en vacante plekken bij project management een tekort aan capaciteit ontstaan. BCT (dhr. Teerling) heeft het volgende aangegeven:

[1] Test Engineers: normale bezetting van 6 FTE test engineers, 2 ziektegevallen:

- 1 test engineer uit de running vanaf begin april tot en met begin juli
- 1 test engineer herintredend, uitgevallen vanaf oktober 2018 en weer volledig aan het werk per juli 2019

[2] Project Managers: normale bezetting van 4 FTE project managers:

- Van 15 november (start project) tot 30 november 2018  
4 FTE waarvan 2 vacatures
- Per 1 december 2018 2 FTE Project managers in dienst getreden  
4 FTE en 0 vacatures
- Per 15 januari 2019 1 FTE uit dienst getreden & formatie van 4 naar 3 FTE  
3 FTE en 0 vacatures
- Per 1 april 2019 1 FTE uit dienst getreden  
3 FTE waarvan 1 vacature

Om deze situatie het hoofd te bieden is besloten de metingen naar Tieluk te verplaatsen. Dat leek extra gemakkelijk omdat het moeilijker is om een fuel cell te verplaatsen dan een cv-ketel. Helaas is er vervolgens bij Tieluk ook capaciteit weggevallen. Tieluk (dhr. Turksma) heeft het volgende aangegeven:

*Als redenen van vertraging kun je opvoeren het ruim 6 weken afwezig zijn van mijn collega Tienus. Reden van deze uitval was gebroken ribben en een doorboorde long. Dit heeft een zware wissel getrokken op de technische afdeling van ons bedrijf omdat hij de sturende factor is op dat gebied.*

*Verder ben ikzelf bijna een maand afwezig geweest i.v.m. het waken bij mijn moeder en de uiteindelijke crematie. Hierdoor is een stuk van de interne coördinatie komen stil te vallen.*

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

Deze tegenslag in een cruciale fase van het project heeft veroorzaakt dat het project zijn momentum is verloren. Dit komt vooral doordat projectactiviteiten sterk van elkaar afhankelijk zijn. Hierdoor is extra tijd nodig om het project door te starten.

Vanwege de tweede coronagolf zijn er met name bij ebm-papst en Bekaert (grote organisaties met hoofdkantoren in België en Duitsland) zware reis- en bezoek- restricties aan hun werknemers opgelegd die tot een tweede fase van weinig voortgang van testen hebben geresulteerd.

In paragraaf 3.3 is de (gewijzigde) planning opgenomen; paragraaf 3.4 vat de wijziging samen. Gevraagd wordt om het project door te laten lopen tot en met 31 dec 2021.

### *Zijn er inhoudelijke wijzigingen die u niet eerder aan RVO.nl heeft gemeld?*

*Benoem de inhoudelijke wijzigingen. Maak duidelijk welke gevolgen de wijziging heeft voor de planning, de begroting, de samenwerking met andere partijen, de liquiditeitsbehoefte en/of commerciële verwachtingen.*

<b>Omschrijving</b>	Maximaal 50% H <sub>2</sub> bijmengen i.p.v. 100% H <sub>2</sub>
<b>Reden van de wijziging</b>	<p>Ten tijde van het opstellen van het projectplan was de veronderstelling dat een technische oplossing die "geschikt zal zijn voor aardgas, maar ook voor (100%) waterstof en voor een mix van beide brandstoffen" goed te realiseren zou zijn. Echter, in de loop van het project hebben we moeten concluderen dat dit (zeker binnen de korte tijd van het project) technisch niet te realiseren is.</p> <p>De belangrijkste technische componenten in een cv-ketel zijn de volgende:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ <u>Gas-lucht-systeem</u> Het systeem dat ervoor zorgt dat gas en lucht in de juiste verhoudingen en hoeveelheden richting de brander worden gestuurd middels een ventilator-gedreven systeem</li><li>▪ <u>Brander</u> De component dat ervoor zorgt dat het onverbrande gas-lucht-mengsel chemisch wordt omgezet, waarbij warmte vrijkomt, en waarbij de emissie van schadelijke stoffen (NO<sub>x</sub>, CO, en bij waterstof ook CO<sub>2</sub>) binnen de perken blijft; daarnaast is de brander zo geconstrueerd dat er altijd op een veilige manier verbrand wordt</li><li>▪ <u>Vlambewaking</u> Systeem van hard- en software dat ervoor zorgt dat er geen onveilige situatie ontstaat. Als er geen vlam is, moet er ook geen gas-lucht-mengsel naar de brander stromen; traditioneel wordt hiervoor een ionisatiestroommeting gedaan.</li><li>▪ <u>Warmtewisselaar</u> De component die ervoor zorgt dat de warmte van de hete rookgassen die bij het verbrandingsproces vrijkomen wordt</li></ul>

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

overdragen aan water, dat op zijn beurt zorgt voor de woningverwarming middels verwarmingssysteem (bv. radiatoren of vloerverwarming). Het ontwerp van de wisselaar is erop gericht dat de warmte zo veel mogelijk uit de rookgassen wordt gehaald (wat resulteert in een hoog rendement) maar anderzijds de eerder genoemde emissies binnen de perken houdt. Tevens moeten hot spots in de wisselaar worden vermeden, om de levensduur te kunnen blijven garanderen.

Uitgangspunt was dat er zo veel mogelijk geprobeerd gebruik zou worden gemaakt van bestaande, bekende componenten en technologieën. De belangrijkste knelpunten die bij dit onderzoek naar boven zijn gekomen, zijn de volgende:

- Gas-lucht-systeem  
De verhouding van gas-lucht verandert met de hoeveelheid bijmenging. Dit is met een pneumatisch systeem (dat standaard is voor een cv-ketel) niet te realiseren omdat de hoeveelheid lucht:gas van 100% aardgas naar 100% waterstof ongeveer veranderen moet voor een goede verbranding van typisch 10:1 (voor aardgas) naar 3:1.
- Brander  
Tijdens ons onderzoek is gebleken dat dit verreweg het moeilijkste component is om in één ontwerp dit geschikt te maken voor de hele bandbreedte van aardgas-waterstofmengsels. Vanaf een bijmengpercentage van ca. 30% begint de verbranding al duidelijk anders te worden. Bij een percentage van 50% is een normale aardgasbrander al niet meer veilig in operatie omdat de kans op vlaminslag zeer duidelijk toeneemt. Hiervoor is een ander type brander ontwikkeld die tot een percentage van 50% wel veilig kan laten verbranden. Bij 100% waterstof is het beeld weer duidelijk anders: ook met het brander ontwerp dat geschikt is voor 50% waterstof kan niet veilig meer gas worden gebrand. Weer is hier de toegenomen kans op vlaminslag het obstakel. Voor 100% waterstof is hiervoor een brander ontwikkeld die veilig kan branden. Echter, deze geometrie zorgt bij de verbranding van alleen aardgas of aardgasrijke mengsels voor een onstabiel verbrandingsproces; dit betekent dat de vlam zich niet of slecht stabiliseert op het oppervlak; in geval dat de vlam zich wel stabiliseert op de brander leidt dit o.a. tot onacceptabele hoge emissies van koolstofmonoxide. Kortom, een brander die voor alle mengsels van aardgas en waterstof geschikt is, is vooralsnog onmogelijk gebleken en er zijn ook geen aanwijzingen gevonden dat dit wel haalbaar is.
- Vlambewaking  
De gebruikelijke manier van bewaking d.m.v. ionisatiestroommeting is bij hoge percentages waterstof omdat er nog niet of nauwelijks een onderscheidend signaal te meten is.
- Warmtewisselaar

## H<sub>2</sub>-ready cv-ketel

	In de warmtewisselaar zijn met het oog op het doel van dit project geen belangrijke beperkingen gevonden.
<b>Gevolgen voor het project</b>	Met name vanwege het feit dat er tenminste twee verschillende branders zullen moeten worden toegepast over het complete mengselbereik van 0-100% waterstof, is ervoor gekozen om de mengbandbreedte te beperken van 0-50% waterstof.
<b>Omschrijving</b>	-
<b>Reden van de wijziging</b>	-
<b>Gevolgen voor het project</b>	-

### 8.4 Organisatorische wijzigingen

*Waren er in de verslagperiode wijzigingen in het project, de uitvoering en/of uw organisatie die u nog niet heeft gemeld aan RVO.nl?*

-

*Zijn er organisatorische wijzigingen die u niet eerder aan RVO.nl heeft gemeld?*

*Toelichten*

Zoals ook in paragraaf 8.3 is beschreven, zijn de metingen verplaatst van BCT naar Tieluk vanwege het capaciteitsgebrek dat bij BCT is ontstaan op de testafdeling.

*Wijziging van het samenwerkingsverband?*

*Toelichten*

-

### 8.5 Overige wijzigingen

Relevante wijzigingen die niet in een logische paragraaf passen.

*Waren er in de verslagperiode wijzigingen in het project, de uitvoering en/of uw organisatie die u nog niet heeft gemeld aan RVO.nl?*

-