

# Haalbaarheidsonderzoek waterstofsysteem voor eigen gebruik.

19 oktober 2023

# Haalbaarheids- onderzoek waterstofsysteem voor.

Arthur Scheffer en Bram Poppelaars  
19 Oktober 2023

## ***Inhoudsopgave***

<b>1. Doel</b>	<b>3</b>
<b>2. Wet en regelgeving</b>	<b>4</b>
2.1 Veiligheid	5
2.2 Gevaren waterstof	
<b>3. Groene waterstof toegankelijk maken voor iedereen</b>	<b>8</b>
3.1 Over Adsensys	9
<b>4. Wens</b>	<b>10</b>
4.1 Haalbaarheidsonderzoek	
4.2 Omschrijving huidige situatie	11
4.3 Beschrijving van de energiestromen	12
<b>5. Technische informatie</b>	<b>15</b>
<b>6. Haalbaarheidsberekening</b>	<b>19</b>
<b>7. Disclaimer</b>	<b>22</b>
<b>8. Bijlagen</b>	<b>23</b>

## **1. Doel**

Voor u ligt het resultaat van het haalbaarheidsonderzoek voor het produceren en gebruiken van waterstof opgesteld door Adsensys.

*In dit haalbaarheidsonderzoek is op een gestructureerde manier onderzocht en berekend in hoeverre een waterstofstysteem haalbaar en uitvoerbaar is en kan voldoen aan alle wensen en eisen van u, de opdrachtgever. Aan het einde van dit haalbaarheidsonderzoek vindt u het rapport om de bevindingen te presenteren aan de belangrijkste stakeholders. Als de bevindingen acceptabel en akkoord zijn, wordt het rapport aan een projectplan toegevoegd en kan de volgende fase van het project, de projectengineering, beginnen.*

## **2. Wet en Regelgeving**

*Waterstof is op dit moment één van de meest besproken groene energiebronnen. In de gesprekken over waterstofgeneratie moet altijd rekening gehouden worden met het feit dat waterstof valt onder de noemer 'gevaarlijke stoffen'. Voor u een waterstofgeneratie systeem mag neerzetten moeten en eerst gesprekken gevoerd zijn met de gemeente en de milieudienst betreft de omgevingswetgeving en betreft het afgeven van een vergunning. In sommige gevallen is zelf de provincie betrokken. Een groot deel van de regels voor gevaarlijke stoffen staat in nationale wetgeving, al dan niet gebaseerd op Europese richtlijnen, of volgt rechtstreeks uit Europese verordeningen.*

*Op de website van de Rijksoverheid staat de meest actuele versie van de nationale wet- en regelgeving. Op de website van de Europese Unie staat de meest actuele versie van Europese regelgeving.*

### **Extra informatie:**

*Onderstaand een link waarin meer wordt uitgelegd over waterstof als gevaarlijke stof + meer informatie betreft wet- en regelgeving. De publicatie richt zich op het bedrijfsmatig stallen, onderhouden en repareren van motorvoertuigen (en werktuigen) voorzien van een gasvormig waterstof (H<sub>2</sub>)-installatie en/of vloeibaar waterstof (LH<sub>2</sub>)-installatie te beheersen zijn. Echter geeft deze publicatie zeer veel algemene informatie over het werken met waterstof en de daarbij horende risico's en wet- en regelgeving. PGS 26-2 (publicatierEEKSgevaarlijkESTOFFEN.nl)*

*Adsensys probeert ten alle tijden de actuele wetgeving in haar haalbaarheidsonderzoeken te delen. Gezien de snelle ontwikkelingen wil Adsensys de opdrachtgever vragen altijd zelf te wet- en regelgeving betreffende een project nog na te lopen. Adsensys neemt geen verantwoordelijkheid voor afwijkende wet- en regelgeving.*

## **2.1 Veiligheid**

*Waterstof het meest voorkomende element in het universum. Waterstof is een zeer brandbaar maar erg licht gas. Onder hoge druk heeft het echter wel een erg hoge energiedichtheid. Dit maakt dat het opwekken van waterstof niet zonder risico's is.*

## **2.2 Gevaren van Waterstof**

### **Algemeen**

*Het gebruik van waterstof brengt risico's met zich mee. Incidenten met waterstof kunnen een grote omvang hebben. Waterstof dringt vanwege het kleine molecuul bijna overal doorheen, is lichter dan lucht en tevens geurloos. Ook is er weinig energie voor nodig om het gas te doen ontsteken. Afhankelijk van de druk en de uitstroomsnelheid kan waterstof met zeer lage energie worden ontstoken, waardoor een fakkelbrand ontstaat. Daarnaast is bij ophoping van waterstof in de lucht, met de daarin aanwezige zuurstof, een explosie mogelijk.*

### **Hoge diffusiecoëfficiënt**

*Door de kleine omvang van het molecuul kan waterstof in of zelfs door materialen heen diffunderen. Dit verhoogt de kans op lekkage en daarom is een beperkt aantal materialen geschikt om in combinatie met waterstof te worden gebruikt. De hoge diffusiecoëfficiënt in lucht heeft als voordeel dat in een open ruimte het waterstofgas zich snel zal vermengen en daarmee verdunnen met lucht. Het risico op een explosie wordt daarmee verkleind.*

### **Verbrossing**

*Diffusie van waterstof kan in bepaalde materialen leiden tot negatieve veranderingen van de materiaaleigenschappen. Dit fenomeen staat bekend als 'waterstofverbrossing'. Doordat waterstof in de haarscheurtjes van het materiaal opgesloten raakt, verzwakt het materiaal met bros worden tot gevolg.*

### **Lichter dan lucht**

*Waterstofgas is veertien keer lichter dan lucht met een relatieve dampdichtheid van 0,0695 g/l. Wanneer gasvormig waterstof in een gesloten ruimte vrijkomt, dan zal het zich snel verspreiden en verzamelen in het hoogste punt. Het risico bestaat dat een explosie plaatsvindt als gevolg van ophoping bovenin een afgesloten ruimte.*

### **Hoge ontstekingskans**

*Waterstof heeft een hoge ontstekingskans vanwege de lage ontstekingsenergie. Om waterstof te kunnen ontsteken, is slechts een kleine hoeveelheid energie nodig (0,02 mJ). De wrijving van kledingstukken kan al voldoende zijn om deze kleine hoeveelheid energie op te wekken.*

*Bovendien kan een mengsel van waterstof en lucht over een zeer breed gebied worden ontstoken (volumepercentage van 4 % tot 75 %). Om ophoping van statische lading in de constructies te vermijden worden elektrisch goed geleidende materialen toegepast en behoort te worden gezorgd voor potentiaalvereffening. De zelfontbrandingstemperatuur van waterstof is 571 °C.*

*De kans op directe ontsteking is bij vloeibare waterstof iets lager dan bij gasvormige waterstof. Vloeibare waterstof wordt thermisch geïsoleerd bewaard en onder lage druk, zodat de snelheid en bijbehorende energie waarmee waterstof uitstroomt, lager zal zijn en vertraagde ontsteking plaatsvindt. Koude waterstof kan na verdamping alsnog op afstand ontsteken.*

### **Nauwelijks zichtbare vlam**

*Waterstof heeft een kleurloze, nauwelijks zichtbare vlam en heeft vrijwel geen warmtestraling. Door de vrijwel onzichtbare vlam wordt het effectief bestrijden van een waterstofbrand ernstig bemoeilijkt. Een waterstofbrand is niet goed door de mens te signaleren. Met speciale warmtebeeldcamera's of UV-meting is een vlam te detecteren. Hierbij behoort rekening te worden gehouden met externe invloeden op de apparatuur, zoals door zonlicht of lasactiviteiten in de omgeving. Het blussen van een waterstofbrand kan ongewenst zijn, omdat na blussing een explosieve gaswolk kan ontstaan die opnieuw kan ontsteken. Een bluswatergordijn over een waterstofbrand is wel een ideaal middel om de vlam zichtbaar te maken (deze kleurt onder een watergordijn oranje op). Bij een grotere lekkage in een leiding bij een druk van 700 bar kunnen in het geval van brand nagenoeg onzichtbare en krachtige fakkelbranden voorkomen met reikwijdtes van meer dan 1 m.*

### **Waterstof wordt warmer door uitzetting**

*In tegenstelling tot veel andere moleculen wordt waterstof juist warmer als het uitzet. Dit effect wordt ook wel een omgekeerd Joule-Thompson effect genoemd.*

### **Cryogene vloeistof**

*Vloeibare waterstof is een cryogene vloeistof dat bij vrijkomen, ook in gasvormige toestand, in eerste instantie naar de bodem zakt. Na verdamping stijgt het waterstofgas op. Waterstof wordt onder druk gezet en gekoeld tot  $-252,8$  °C (bij 1 013 mbar). Bij blootstelling aan de omgevingslucht kunnen zuurstof en stikstof uit de omgevingslucht condenseren. Vloeibare waterstof kan bij zeer snelle verdamping zorgen voor bevroeringsgevaar.*

### **Adsensys is specialist**

*Adsensys heeft de veiligheid van haar systemen als hoogste prioriteit. Adsensys vindt haar oorsprong in de sensoren, welke een belangrijke rol spelen in de veiligheid van onze waterstof systemen. Adsensys mag zichzelf specialist noemen op dit gebied.*

*Goed om te weten is dat al onze systemen ten alle tijden voorzien zijn van waterstof detectie sensoren die minste lekkage al kunnen opsporen. Zodra de extreem gevoelige sensoren ook maar een klein beetje waterstof buiten het systeem detecteren worden de systemen voor de veiligheid meteen en automatisch uitgeschakeld.*

*Indien van toepassing zorgt Adsensys jaarlijks voor keuring en controle van de geplaatste systemen. Op deze manier borgt Adsensys de kwaliteit en veiligheid van haar systemen.*



# 3. Groene waterstof toegankelijk maken voor iedereen.

*Klimaatverandering tegengaan is een van de grootste uitdagingen waar de wereld op dit moment voor staat. Energietransitie is noodzakelijk om de carbon footprint te verkleinen en de klimaatdoelen van 2030 te halen. Daarom creëren wij een leefbare wereld powered by groene waterstof. Betaalbaar en toegankelijk voor iedereen.*

*We maken impact door kennis te delen over de mogelijkheden en voordelen van groene waterstof en bieden kant en klare oplossingen voor interne logistiek en andere sectoren met een modulaire en schaalbare waterstof-configuratie dat 99,9% schone waterstof produceert en opslaat.*

### **3.1 Over Adsensys**

*Door een modulaire gedachte om waterstof op relatief kleine maar schaalbare manier op te wekken zijn door een partner van Adsensys systemen ontwikkeld die snel én seriematig te produceren zijn. De kernen van deze systemen zijn volledig recyclebaar omdat er geen speciale metalen in gebruikt worden en de systemen zijn gemakkelijk toepasbaar zonder veel aanpassingen in nagenoeg elke applicatie.*

*Bovenstaand geeft de mogelijkheid om waterstof decentraal op te wekken bij verschillende groottes aan zonneparken en windmolens. Overcapaciteit aan zonne- en windenergie die niet op het elektriciteitsnet kan worden gebruikt kan op deze manier direct worden omgezet naar waterstof. Dit geeft de mogelijkheid om door het gehele land relatief kleine waterstof productie faciliteiten weg te zetten die het energie netwerk ontlasten en vanuit groene energie tezamen grote hoeveelheden groene waterstof kunnen produceren om lokaal te worden toegepast.*

*Adsensys levert waterstoftoepassingen voor o.a.:*

- *Interne Logistiek*
- *Tuinbouw*
- *Externe mobiliteit*
- *Gebouwde omgeving*
- *Bouw en grondverzetmachines*
- *Warmte gebruikende productiebedrijven*

## **4. Wens**

Vlakbij de klant staat het op de planning een zonnepark te realiseren van circa 7000 zonnepanelen. De opgewekte energie kan deels ten gunste worden gesteld van het park, daarnaast is het de wens van de klant om waterstof toe te passen als energie drager voor opslag en gebruik. In het ontwerp van het zonne-park is reeds rekening gehouden met de mogelijkheid om op het park waterstof te gaan produceren.

### **4.1 Haalbaarheidsonderzoek**

Om de wens van de klant te realiseren zal het grootste deel van de opgewekte energie dienen te worden omgezet naar waterstof. Hiervoor dient te worden vastgesteld of het noodzakelijk is om de geproduceerde waterstof door middel van een opslag buffer over een langere termijn beschikbaar te stellen aan het park.

In het haalbaarheidsonderzoek zullen de onderstaande aspecten behandeld worden:

1. Adsensys onderzoekt de mogelijkheid voor het produceren van waterstof vanuit het nieuw aan te leggen zonnepark.
2. Adsensys onderzoekt de mogelijkheden om de geproduceerde waterstof op verschillende manieren toe te passen op het strandpark.
3. Adsensys onderzoekt de meest ideale opstelling voor de productie, opslag en het gebruik van de waterstof.
4. Adsensys onderzoekt welke basis componenten benodigd zijn om de eerder onderzochte doelstelling te behalen.

## ***4.2 Omschrijving huidige situatie***

-

Uit de aangeleverde aardgas verbruiksgegevens blijkt dat er een continue aardgas verbruik is op het park in zowel de hefst en winter als ook het voorjaar en de zomer.

Bij de klant zelf zijn op dit moment al een aantal gebouwen voorzien van zonnepanelen en zijn er meerder plaatsen beschikbaar om een elektrische auto te kunnen opladen.

### **4.3 Beschrijving installatie en energiestromen**

Het nieuw aan te leggen zonne-park direct naast het vakantie park zal gaan bestaan uit 7000 zonnepanelen, de panelen staan opgesteld in een zuid-oostelijke richting. Uit de berekeningen blijkt dat het piekvermogen in deze opstelling ( met relatief standaard zonnepanelen ) vanuit het zonnepark circa 2500kW bedraagt. In deze calculatie is rekening gehouden met de locatie als ook de ligging van het zonnepark.

Uit het door ons uitgevoerde onderzoek blijkt dat de toepassing van waterstof enkel als energie opslag niet voldoende is om een sluitende business case te verkrijgen. (hier is geen subsidie mogelijkheid in meegenomen) Daarnaast is de hoeveelheid waterstof die dient te worden opgeslagen te groot om een vergunning te verkrijgen. (dit is vanaf boven de 5000kg waterstof opslag)

Echter, wanneer we de toepasbaarheid van waterstof te vergroten door het gebruiken van de waterstof en warmte ontstaan er meer mogelijkheden. Dit kan bijvoorbeeld door de waterstof te gebruiken voor de verwarming van het hotel en zwembad. Door middel van het gebruik van waterstof in een warmte kracht koppeling kan er naast de opwek van elektriciteit ook worden voorzien in een groot deel van de warmte vraag. Hiervoor zijn er meerdere oplossingen met eigen voor en nadelen.

#### **Optie 1:**

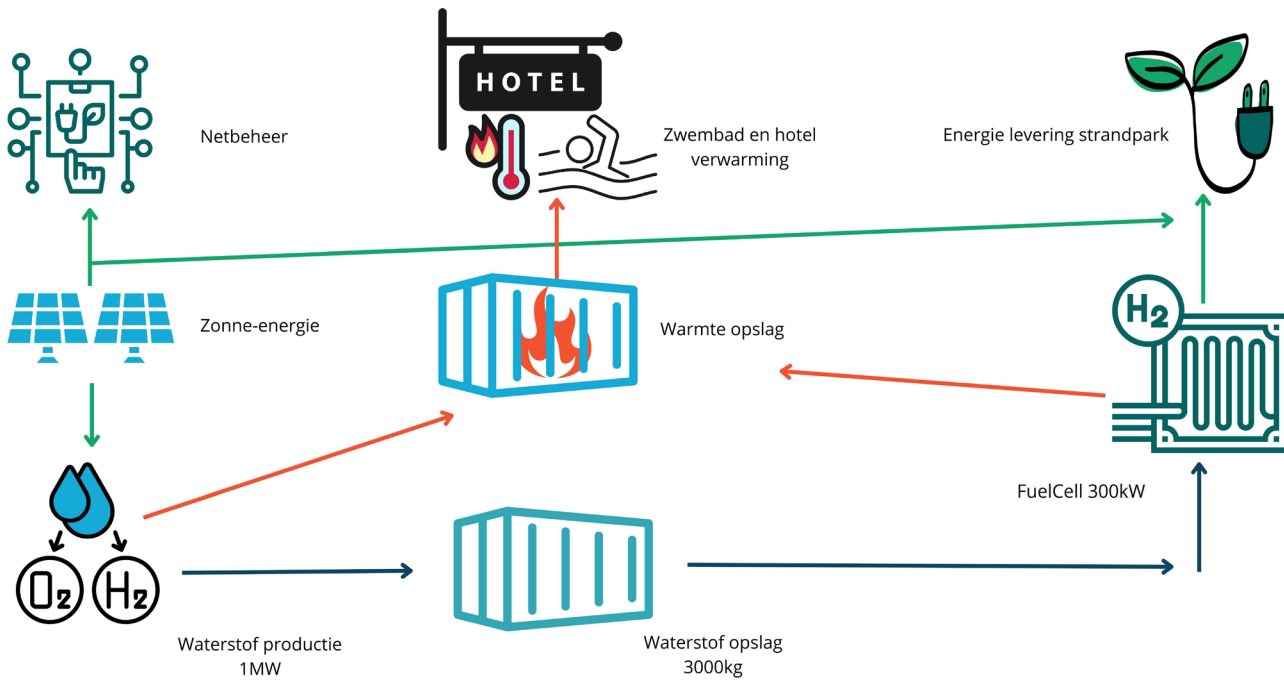
Betreft het volledig verbranden van de waterstof in een motor aangedreven WKK. Deze WKK wekt zowel energie als warmte op. De WKK kan zo worden gekozen dat deze tot maximaal 50% waterstof kan bijmengen in de motor. Mocht er onverhoopt geen waterstof aanwezig zijn in de buffer dan kan de WKK ook nog steeds volledig op aardgas werken. De dimensionering van de WKK zal dan op basis zijn van de benodigde warmte voor het zwembad en het Hotel.

#### **Optie 2:**

Betreft een brandstofcel geplaatst op het park. Deze brandstofcel zal naast de energie ook de warmte aanleveren voor verwarming van het Hotel en het zwembad. Met deze optie is het mogelijk meer energie te halen uit de waterstof. Echter is de hoeveelheid energie voor verwarming lager en heeft een lagere temperatuur. (van circa 50-60C) Doormiddel van het koppelen van de verwarmingssystemen van het zwembad en het hotel aan een circuit vanuit de brandstofcel kan warmte worden overgedragen, dit heeft dan wederom invloed op het gasverbruik voor verwarming.

**Optie 3:**

De brandstofcel wordt geplaatst op het zonnepark zodat direct gebruik kan worden gemaakt van de elektrische infrastructuur om zo energie beschikbaar te stellen aan het park. Zowel warmte die gecreëerd wordt door de brandstofcel als ook de warmte geproduceerd door de waterstof generatoren wordt opgeslagen in een zogenaamde warmtebuffer op het zonnepark. Vanuit de warmtebuffer dient er dan een warmte systeem te worden aangelegd richting het Hotel en zwembad zodat de opgewekte warmte gebruikt kan worden voor de verwarming van het Hotel en het zwembad.



## 5. Technische informatie

Doordat het zonnepark van de klant nog niet is gerealiseerd ontbreken de specifieke data per maand en per uur. Door gebruik te maken van een speciale tool hebben we een aantal basis gegevens kunnen destilleren op basis van de door aannemersbedrijf verstrekte tekeningen.

Het zonnepark gaat bestaan uit 7000 zonnepanelen met een zuid-oostelijke ligging. We gaan er in deze studie van uit dat er gebruik gemaakt zal worden van standaard zonnepanelen en daarmee zal het piekvermogen van het zonnepark uitkomen op circa 2,5MW. Volgens het KNMI is het aantal piek zonne-uren circa 1250 uur. Door gebruik te maken van de AEM multicore techniek om de waterstof op te wekken kan er al vanaf een opgewekt vermogen van circa 50kW vermogen gestart worden met het produceren. Op deze manier kan het vermogen meelopen met het opgewekt vermogen vanuit het zonnepark in stappen van 22kW. Dit betekent dat er nagenoeg het gehele jaar door waterstof kan worden geproduceerd met een totaal hoeveelheid van ruim 45 Ton waterstof bij een elektrolyse vermogen van 1MW.

Gezien de technische implementatie en beste afstemming van alle facetten is ons advies om optie 3 verder uit te werken. Deze optie biedt verschillende voordelen zoals:

1. Het niet hoeven te transporteren van waterstof richting het hotel / zwembad.
2. Er is geen grote technische installatie benodigd bij het Hotel en het zwembad om de warmte te gebruiken.
3. Deze optie levert zowel in investeringen als ook in een vergunningstraject grote voordelen op.

Uit onderzoek blijkt dat met een 1MW waterstof productie voldoende is om nagenoeg alle laag tarief energie te vervangen door energie uit de opwek vanuit waterstof. De negatieve verschillen die ontstaan door de berekeningen in de tabel kunnen worden opgevangen door een waterstof buffer toe te passen van circa 3000kg waterstof. Deze zorgt ervoor dat het overschot aan waterstof tijdens zomer periode kan worden aangewend om in de wintermaanden extra energie en warmte te produceren. De energie die vanuit het zonnepark niet direct wordt gebruikt om waterstof te produceren kan direct worden aangewend voor de energie behoefte van het strandpark waarmee de opgegeven energie hoog tarief voor 100% kan worden afgedicht in de maanden maart tot en met september.



De geproduceerde warmte vanuit de opwek van waterstof en de opwek van energie uit waterstof door middel van de fuelcell bedraagt circa 70% van de totale warmte productie vanuit aardgas voor het gehele park. Aangenomen dat we de warmte enkel gebruiken voor het Hotel en het zwembad zou 70% van het totale aardgas verbruik deze vraag aan energie voor 100% moeten dekken.

Met de huidige opgegeven cijfers levert dit de volgende verbruikscijfers per jaar op:

	Jaarverbruik 2022	Jaarverbruik nieuwe situatie
Aardgas	296.459 Nm <sup>3</sup>	88.938 Nm <sup>3</sup>
Energie hoog tarief	725.921 <del>Kwh</del>	299.552 <del>Kwh</del>
Energie Laag tarief	778.586 <del>Kwh</del>	84.971Kwh

## AEM 1MW multicore

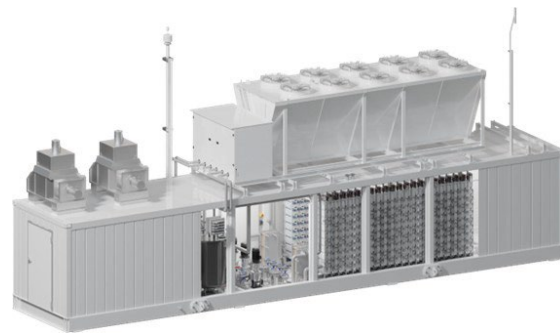
### Waterstof generator systeem

Groote 16000 x 2990 x 5933 mm (L x b x h)

Het systeem wordt opgebouwd uit 210 electrolyser kernen gekoppeld per 10 stuks, hierdoor is het mogelijk reeds waterstof te produceren bij een vermogen vanaf circa 50kW. In de container wordt een droger gemonteerd die er voor zorgt dat de waterstof kwaliteit voldoet aan de automotive vraag van 99,999% zuiver waterstof.

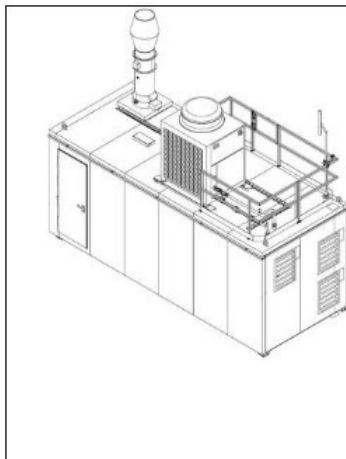
De volledige installatie is te besturen door middel van een dashboard waarbij de electrolyser zal worden aangestuurd op basis van het aanwezige vermogen vanuit zonne energie. Indien MKP Agro op een later tijdstip besluit om meer energie beschikbaar te maken voor de productie van waterstof dan kan de volledige installatie worden aangepast naar 420 electrolyser kernen waardoor de productie van waterstof verdubbelt.

**Prijs electrolyse met toebehoren EUR. € 1.750.000,00**



### Waterstof compressor

De compressor is geïnstalleerd in een 20ft container waarin de waterstof compressie en het hogedruk koelcircuit, alsmede de temperatuur- en hogedruktransmitters van het H<sub>2</sub>-circuit zijn ondergebracht in een ATEX-zone 2 ruimte (gevaarlijke ruimte). De hydraulische en bedieningselementen bevinden zich in het gedeclassificeerde gedeelte (veilige ruimte) van de container. De koel- en ontluuchtingssystemen zijn geïnstalleerd aan de bovenkant van de container.



Max H<sub>2</sub> druk: 500bar (instelbaar van 0–500bar)  
 min. H<sub>2</sub> inlaat druk: 15–20bar  
 Max H<sub>2</sub> flow: 22kg/uur  
 Voedingsspanning: 380VAC, 50Hz, 44kW  
 Omgevingsomstandigheden: -10..+40C  
 Maximale uitgaande H<sub>2</sub> temperatuur: 40C  
 Certificeringen:  
 CE-certificaat volgens de Europese richtlijn 2006/42 / EU betreffende machines  
 Europese richtlijn 2014/34 / EU betreffende apparaten gebruikt in potentieel explosieve atmosferen (ATEX) Norm EN 1012-3: 2013 (Komt overeen met richtlijn 2006/42 / EG)  
 Normen EN ISO 80079-36: 2016 en EN ISO 80079-37:2016 (Komt overeen met richtlijn 2014/34 / EU)

**Hogedruk opslag:**

Waterstof opslag in 40ft container met PED certificatie.  
De Hoge druk waterstof opslag is geïnstalleerd in een 40ft High-Cube container. Het systeem bestaat uit een 18 tal hoge druk Type IV cilinders met een maximale opslag druk van 450bar. De opslag is voorzien van kleppen en overdruk beveiliging.

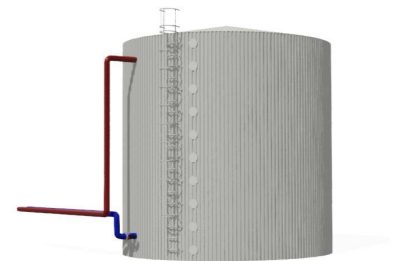
Aantal cilinders: 18 stuks  
Cilinder type: Type IV  
Cilinder volume: 1.666 liter  
Totaal opslag volume: 30.000 liter Capaciteit waterstof opslag:  
877 kilogram Gewicht afgevulde opslag: 41.000 kilogram  
Gebruiksdruk: maximaal 450bar  
Burst druk: 1350 bar  
Gas temperatuur toleranties: -40..+65 Celcius Inspectie  
standaard: EN 12245:2009, A1:2011 / ADR / TPED / PED



**Prijs Compressor en 3x hogedrukopslag EUR. € 1.940.000,00**

**Warmtebuffer:**

**Prijs warmtebuffer EUR. € 350.000,00**

**Fuelcell 300kW:**

**Prijs Fuelcell EUR. € 975.000,00**



## 6 Haalbaarheidsberekening:

Maand	Vermogen in kW	Aardgas verbruik (Nm3)	Verwarming	Productie H2@1MW(KG)	Vollast uren 300kW Fuelcell
Januari	112.347	32.368,8	261.378,1	2107	105,35
Februari	191.636	28.020,6	226.266,3	3595	179,75
Maart	345.462	30.060,9	242.741,8	4650	232,5
April	499.774	28.324,7	228.722,0	4500	225
Mei	600.028	20.984,9	169.453,1	4650	232,5
Juni	602.635	15.583,4	125.836,0	4500	225
Juli	595.747	17.588,1	142.023,9	4650	232,5
Augustus	522.239	17.530,2	141.556,4	4650	232,5
September	378.953	19.433,8	156.927,9	4500	225
Oktober	249.537	25.790,3	208.256,7	4650	232,5
November	119.181	25.803,9	208.366,5	2236	111,8
December	82.805	34.969,6	282.379,5	1553	77,65
	<b>4.300.380</b>	<b>296.459,2</b>	<b>2.393.908,0</b>	<b>46241</b>	<b>2312,05</b>

Maand	Vollast uren per dag	Opgewekt vermogen(kwh)	Verbruikt laag 2022(kwh)	Verschil(kwh)	Warmste opslag(kwh)
Januari	3,40	31.605	57.678	26.073	75.852
Februari	6,42	53.925	57.766	3.841	129.420
Maart	7,50	69.750	60.934	-8.816	167.400
April	7,50	67.500	77.519	10.019	162.000
Mei	7,50	69.750	61.062	-8.688	167.400
Juni	7,50	67.500	59.230	-8.270	162.000
Juli	7,50	69.750	68.691	-1.059	167.400
Augustus	7,50	69.750	66.701	-3.049	167.400
September	7,50	67.500	60.778	-6.722	162.000
Oktober	7,50	69.750	74.069	4.319	167.400
November	3,73	33.540	58.953	25.413	80.496
December	2,50	23.295	72.205	51.910	55.908
		<b>693.615</b>	<b>778.586</b>	<b>84.971</b>	<b>1.664,676</b>

Maand	Verbruik hoog 2022	Vermogen vrij beschikbaar zon	Verschil kwh
Januari	48.716	44	48.672
Februari	50.121	22	50.099
Maart	56.930	97.617	-40.687
April	62.415	259.924	-197.509
Mei	49.366	352.183	-302.817
Juni	48.609	362.785	-314.176
Juli	63.145	347.902	-284.757
Augustus	78.067	274.394	-196.327
September	66.011	139.103	-73.092
Oktober	75.414	1.728	73.686
November	60.860	2	60.858
December	66.267	30	66.237
	<b>725.921</b>	<b>1.835,734</b>	<b>299.552</b>

### Investerings waterstof systeem

Investerings	Aanschaf	Onderhoud/jaar	Verminderde energiekosten	ROI
Electrolyser met toebehoren	€1.750.000,00		Gebaseerd op EUR. 0,30 per kwh en EUR. 1,00 per Nm3 aardgas	
Compressie en Opslag 3000kg waterstof	€ 1.940.000,00			
Fuelcell met power conversie	€ 975.000,00			
Warmtebuffer	€ 350.000,00			
Leidingwerk warmtebuffer	€ 98.000,00			
Installatie materiaal	€ 180.000,00			
<b>Totaal</b>	<b>€ 5.293.000,00</b>	<b>€ 220.000,00</b>	<b>€ 543.516,00</b>	<b>16 jaar</b>

Bovengenoemde ROI is exclusief mogelijke subsidies en de kosten van het zonnepark en eventuele restlevering van energie aan het net en of gebruik van extra batterijen.

*Dit haalbaarheidsonderzoek is speciaal voor uw situatie opgesteld en ik hoop u hiermee voldoende informatie te hebben verschaft om een weloverwogen keuze voor groene watertstof te maken.*

*Mocht u nog vragen hebben naar aanleiding van dit onderzoek dan verneem ik die graag.*

*Met milieuvriendelijke watertstofgroet,*

*Arthur Scheffer*

**Vervolgstappen:**

- *Uitvoeren van de detailengineering*
- *Vergunning aanvraag*
- *Vergunning toegekend? Start opdracht en bestellen componenten*
- *Levering, implementatie en opstart.*

## **7. Disclaimer**

*Dit bericht en de eventuele bijlagen zijn uitsluitend bestemd voor de beoogde ontvanger. Inzage, gebruik en verspreiding van de inhoud ervan is aan hem of haar voorbehouden. Indien u niet de beoogde ontvanger of diens gemachtigde bent, dan is inzage, gebruik en verspreiding derhalve niet toegestaan. In geval van onjuiste adressering wordt u vriendelijk verzocht zo spoedig mogelijk contact op te nemen met de afzender van dit bericht en zorg te dragen voor onmiddellijke verwijdering van dit bericht uit uw systemen. Adsensys BV kan derhalve nooit op enigerlei wijze aansprakelijk worden gesteld inzake inbreuk op de door de AVG gestelde eisen en bijbehorende verantwoordelijke actie van uw kant. Dit bericht is niet beschermd tegen manipulatie door derden. Voor de ontvangen inhoud kunnen wij dan ook geen aansprakelijkheid aanvaarden en evenmin kunt u er rechten aan ontfen.*

# 8. Bijlagen

## ***Datasheets***

AEM Multicore

Compressor



## 1 Lijst van acroniemen en afkortingen

AEM	Anion Exchange Membrane
R&D	Research and Development
AG	Stock listed company (Germany)
S.R.L.	Limited liability company (Italy)
PEM	Proton Exchange Membrane
KOH	Potassium hydroxide
kV	Kilovolt
KVA	Volt amps
kW	Kilowatt
MVA	Megavolt-amperes
MV	Medium Voltage
VAC	Volts AC power
Hz	Hertz
WPS	Water Purification System
ppm	Parts per Million
STP	Standard Temperature and Pressure
BoP	Balance of Plant
SAT	Site Acceptance Test
H <sub>2</sub>	Hydrogen
O <sub>2</sub>	Oxygen
PLC	Programmable Logic Controller
HMI	Human-Machine Interface
EMS	Energy Management System
PSU	Power Supply Units
BOL	Beginning of Life
EOL	End of Life
PED	Pressure Equipment Directive
ATEX	ATmosphere EXplosible
EXW	Ex Works
DDP	Delivered Duty Paid
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
MSDS	Material Safety Data Sheet
LEL	Lower Explosive Limit
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram
FAT	Factory acceptance test
S&C	Start-up and Commissioning
HAZOP	Hazard and Operability
EMSA	Enapter Monitoring Subscription Agreement
OTA	Over-the-Air
CISG	Contracts for the International Sale of Goods

## 2 AEM Technology

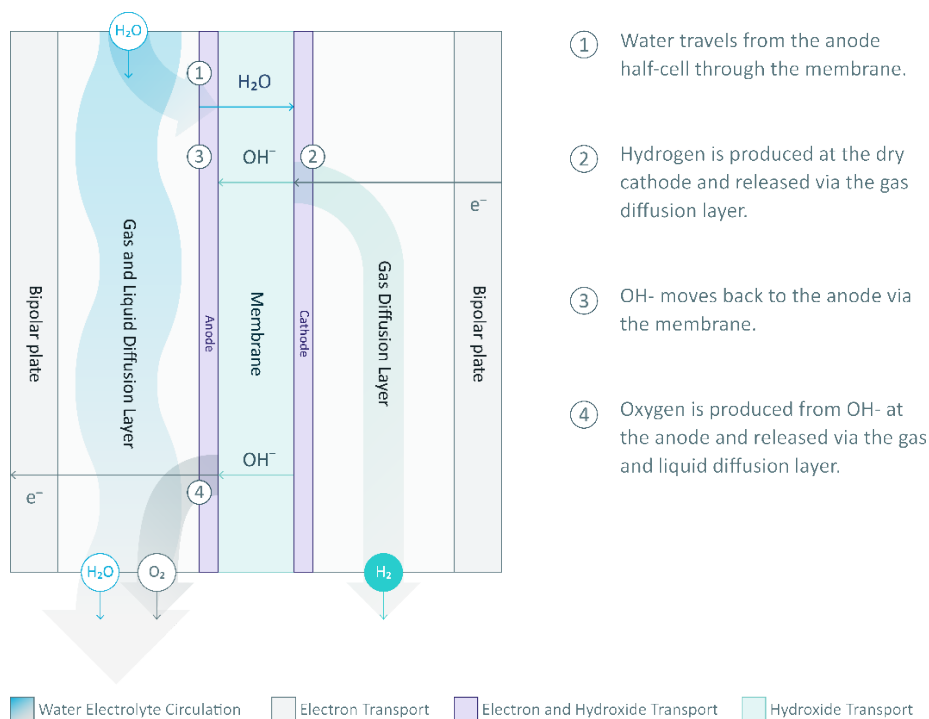
Aan de basis van onze modulaire waterstof productie systemen staan de Enapter elektrolyzers. Deze waterstof elektrolyzers maken gebruik van AEM technologie om water te scheiden in waterstof en zuurstof.

De gepatenteerde Anion Exchange Membrane (AEM) technologie van Enapter maakt gebruik van een polymeer elektrolyt membraan, vergelijkbaar met de meer bekende PEM (Proton Exchange Membrane) technologie. Het AEM-celontwerp heeft een semipermeabel membraan dat negatief geladen OH-ionen transporteert om watermoleculen te splitsen in waterstof en zuurstof.

### PEM 2.0

In tegenstelling tot PEM kent de AEM-technologie geen beperkingen die een aanzienlijke kostenverlaging in de weg staan. PEM-elektrolyzers werken met protonen (H+) die van nature een zeer zure omgeving bij de elektroden creëren, wat leidt tot een groot corrosiepotentieel. Daarom moeten de bipolaire platen worden gemaakt van corrosiebestendig, maar ook zeer duur titanium. Bovendien is het dure en zeldzame edelmetaal iridium nodig als katalysator.

AEM werkt daarentegen met ionen (OH-), wat leidt tot een basisch, of alkalisch milieu, waar corrosiebescherming gemakkelijker kan worden gehanteerd. Titanium is niet nodig; nikkel en ijzer volstaan. Iridium als katalysator wordt volledig geëlimineerd. Hoog rendement, snel reactievermogen, en een compact formaat vergelijkbaar met PEM worden gehandhaafd.



### ***Van nature hoge druk***

De AEM-stack van Enapter functioneert ook als een compressor. De waterige elektrolytoplossing aan de anode wordt gecirculeerd, maar niet onder druk gezet. In plaats daarvan bouwt de aan de kathode geproduceerde waterstof een druk op van 35 bar. Deze elektrochemische compressie is zeer efficiënt omdat er geen warmteverliezen zijn die bij mechanische compressie optreden. Het drukverschil over het membraan zorgt voor extreem lage

hoeveelheden zuurstof in de waterstof kunnen worden opgenomen, wat resulteert in een uitzonderlijk hoge zuiverheid zonder dat een deoxosysteem nodig is.

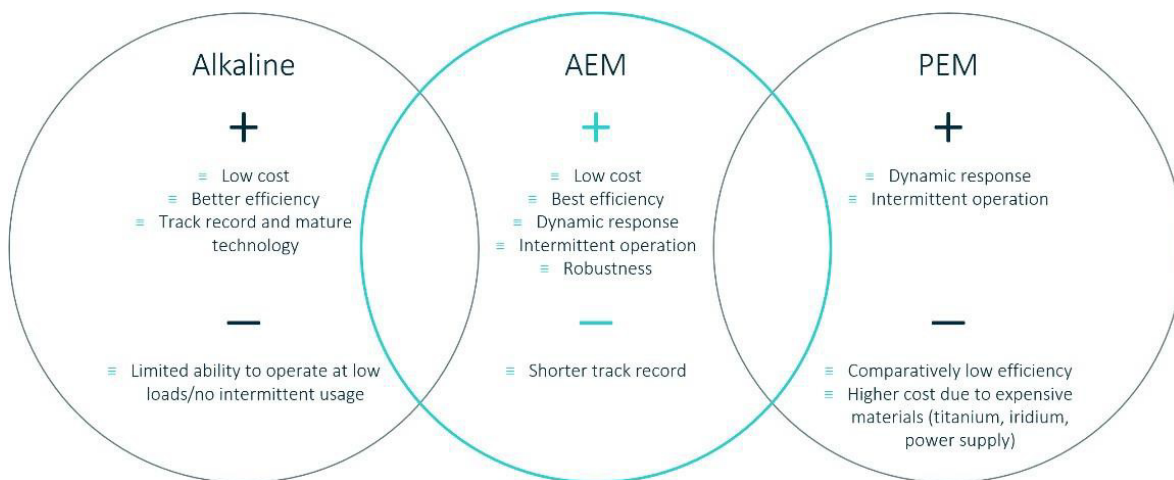
### ***Eenvoudiger ontwerp***

Een ander uniek kenmerk van Enapter's AEM stack is de "droge kathode", onze gepatenteerde technologie. Al het water dat nodig is voor de H<sub>2</sub>-productie wordt door het AEM-membraan getransporteerd. Er hoeft dus geen vloeistof te circuleren op de kathode. Dit vereenvoudigt het systeemontwerp en maakt pompen, leidingen en gasafscheiders in het H<sub>2</sub>-circuit overbodig.

Hoewel dit een belangrijk veiligheidsaspect is - omdat stikstof purgen kan worden vermeden vanwege de minimale volumes van het ingesloten gas - verlaagt het ook de kosten van onze AEM elektrolyzers.

### ***Het beste van twee werelden - belangrijke concurrentievoordelen van Enapter AEM***

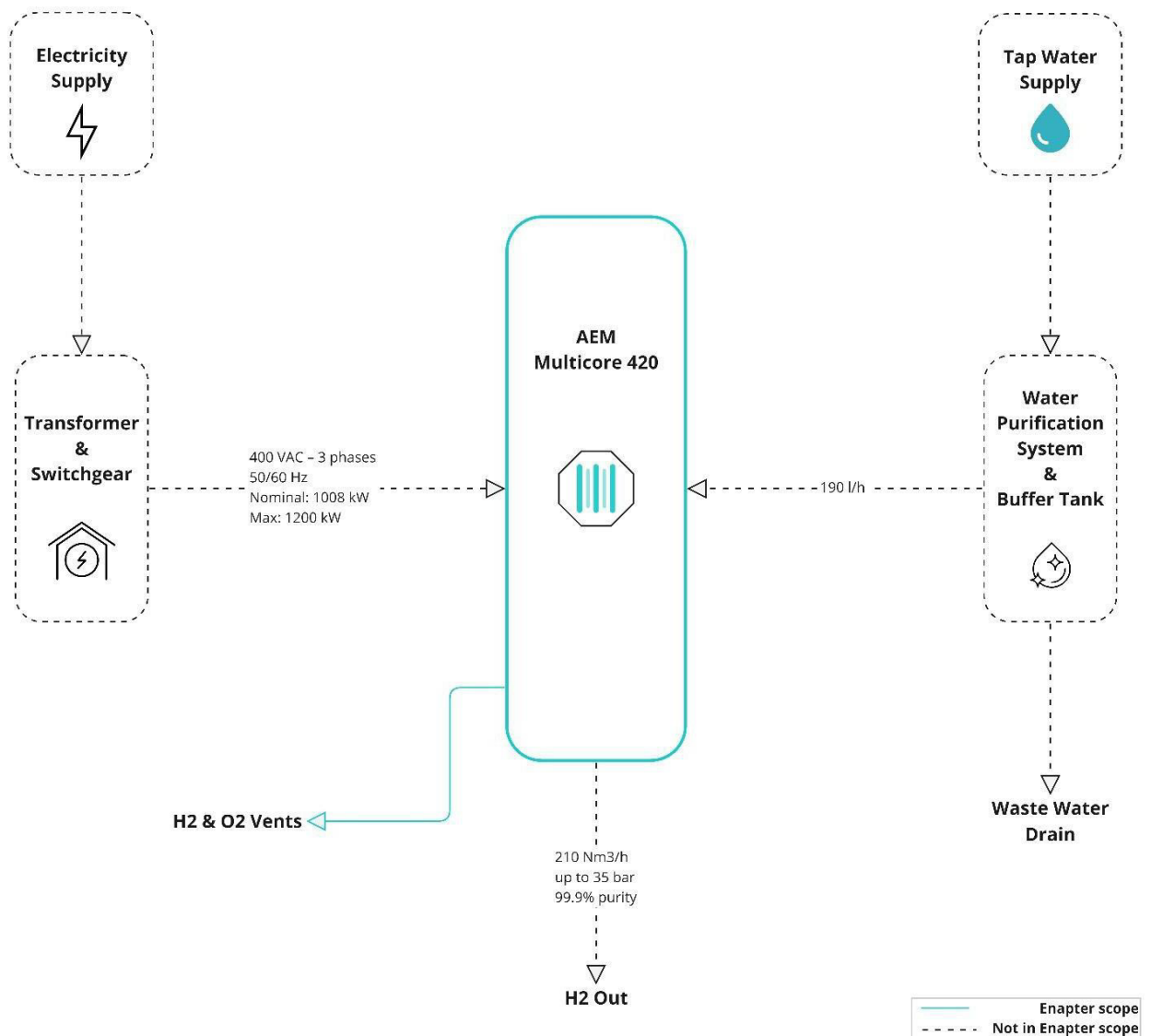
Hoewel AEM veel gemeen heeft met de PEM-technologie, is AEM ook vergelijkbaar met alkaline elektrolyzers. Als elektrolyt wordt een alkalische oplossing gebruikt om het elektrochemische proces te vergemakkelijken. Deze oplossing op waterbasis heeft echter een concentratie van slechts 1% kaliumhydroxide (KOH), waardoor zij veel gemakkelijker te hanteren en te verwijderen is dan de zeer bijtende 30-40% concentratie die gewoonlijk nodig is in traditionele alkaline elektrolyzers.



Bovendien zijn de AEM-producten van Enapter gemakkelijk te bedienen en te onderhouden, wat resulteert in lagere onderhoudskosten dan andere technologieën, waardoor de bijbehorende eigendomskosten dalen.

Dankzij de voordelen op het gebied van materiaalkosten, gecombineerd met indrukwekkende technologische vooruitgang, lage bedrijfskosten, standaardisatie en gemakkelijke massafabricage heeft de AEM-technologie van Enapter het potentieel om de waterstofindustrie te ontwrichten door groene waterstof te leveren tegen de laagst mogelijke kosten. Samengevat combineert AEM het beste van de twee meest gebruikte technologieën: het kostenvoordeel van alkaline elektrolyzers en de prestaties en omvang van PEM elektrolyzers.

### 3 Technische weergave van het project



Zoals blijkt uit het bovenstaande diagram, ontvangt de apparatuur van Enapter gezuiverd water, met een toevoer van 190 l/u, en 1008 kW Begin van de Levensduur (BOL) van de stroombron bij 400 VAC - 3 fasen, 50/60 Hz. De apparatuur van Enapter levert H<sub>2</sub> met een nominaal debiet van 210 Nm<sup>3</sup>/h (18,75 kg/h bij STP) en een zuiverheidsgraad van 99,9 % (onzuiverheden: H<sub>2</sub>O < 1.000 ppm, O<sub>2</sub> < 5 ppm). Kabels en leidingen van de water- en elektriciteitsbron naar de apparatuur van Enapter, alsmede leidingen voor H<sub>2</sub>-verzameling vallen niet onder de levering.

## 4 Productoverzicht

### ***De AEM Multicore 420***

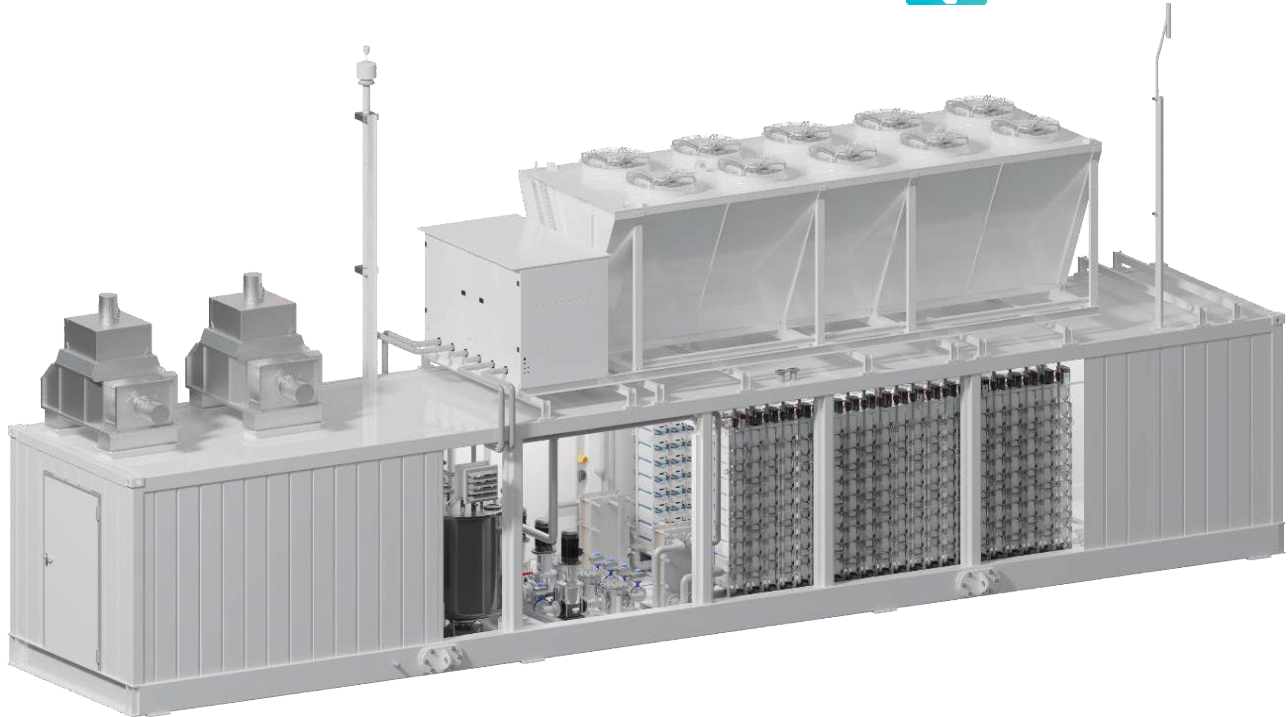
De eerste megawatt elektrolyser van Enapter, de AEM Multicore 420, is een ~1 MW gecontaineriseerde elektrolyser met 420 AEM stack modules (meer over de AEM Stack Module) rond een gemeenschappelijke Balance of Plant (BoP). De belangrijkste kenmerken zijn:

- H2 Output: 210 Nm<sup>3</sup>/h, tot 35 barg, 99,9% zuiverheid (99,999 % met optionele droger)
- Hoge systeemefficiëntie: 62,5%. (Stacks + BoP binnen de elektrolyser, exclusief optionele H2-droger)
- Hoge productieflexibiliteit: 3 % - 105 % van de nominale productiesnelheid
- Kostenefficiëntie
- Snelle reactietijden op variabele hernieuwbare energiebronnen
- Hoge mate van redundantie
- N2 of andere gassen niet nodig voor purgen
- Geen perslucht nodig voor de werking

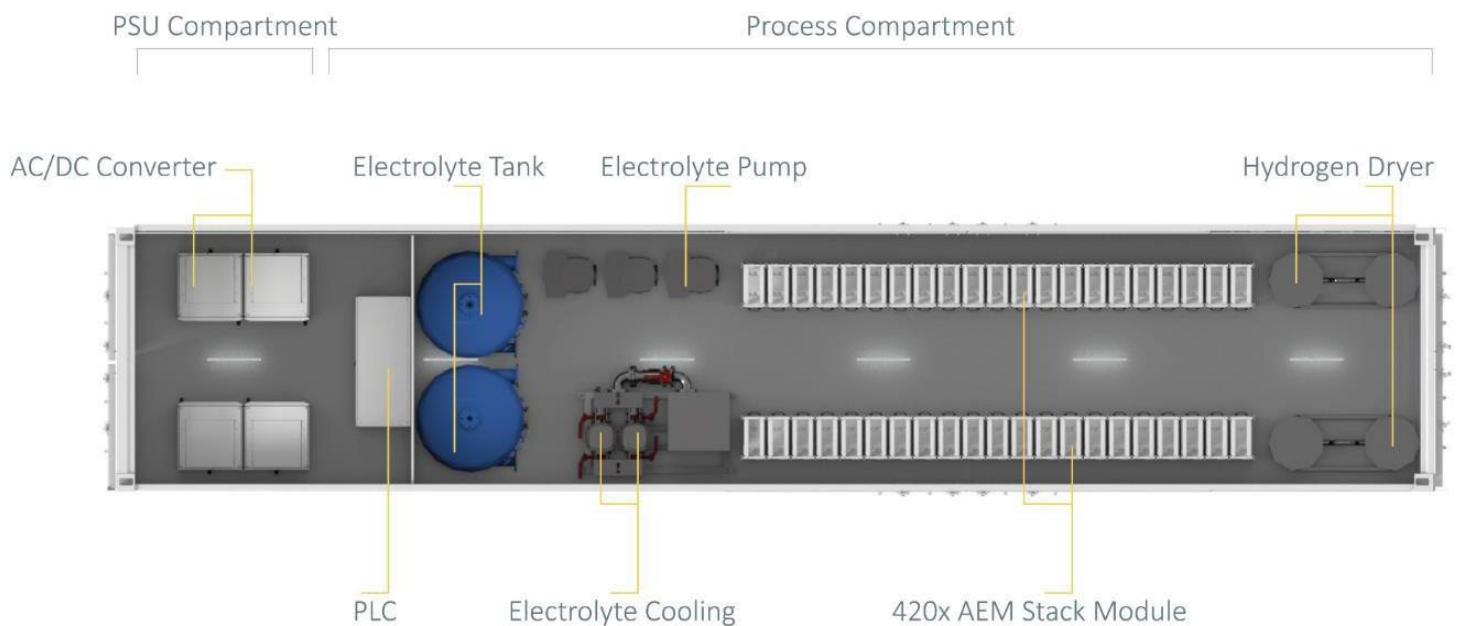
Deze systeemarchitectuur maakt gebruik van de voordelen van massaproductie van gestandaardiseerde en modulaire AEM-stacks. Bovendien kunnen zo beproefde en algemeen beschikbare systeemcomponenten worden gebruikt.

Bovendien resulteert de modulaire aanpak in een betrouwbaarder en robuuster systeem: als bijvoorbeeld één stackmodule uitvalt, wordt slechts een fractie van de productie stilgelegd. Vervolgens kunnen de getroffen stapels gemakkelijk en snel worden vervangen. Daarentegen kan een stackdefect in een traditionele PEM en alkaline elektrolyser leiden tot aanzienlijke stilstand van het hele systeem.

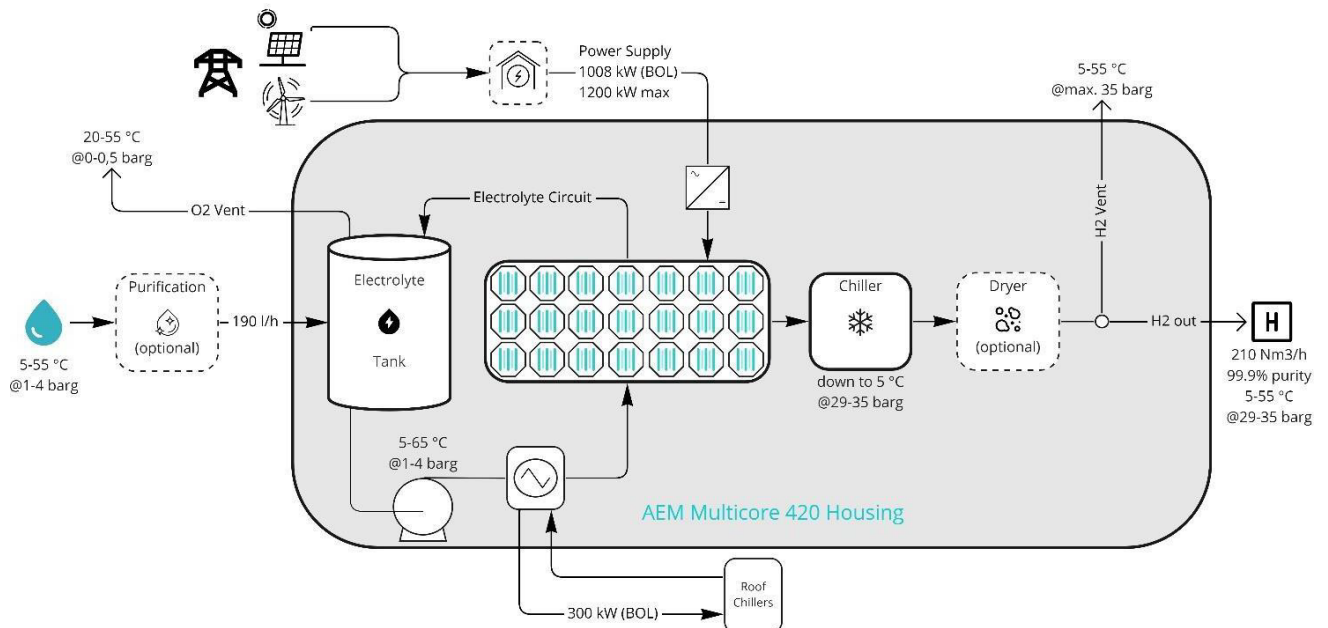
De voordelen van de AEM-technologie in combinatie met deze innovatieve aanpak resulteren in een elektrolyser die qua prijs vergelijkbaar is met alkalische systemen en met proton uitwisselingsmembraansystemen (PEM) wat betreft voetafdruk, waterstofkwaliteit en reactietijd.



*AEM Multicore 420 outside view*



*Lay-out van de AEM Multicore 420*



*AEM Multicore 420 Process flow diagram*

Zoals blijkt uit het figuur hierboven begint het waterstofproductieproces wanneer schoon leidingwater het systeem binnenkomt bij de H<sub>2</sub>O-inlaat. Een waterzuiveringssysteem is nodig om ervoor te zorgen dat aan de specificaties voor de waterkwaliteit wordt voldaan.

De H<sub>2</sub>O-inlaat heeft een directe verbinding met de elektrolyttanks, waarin de elektrolytoplossing (1% KOH) wordt bereid. De elektrolytoplossing circuleert vervolgens, geholpen door een centrifugaalpomp, door de 420 AEM-stapelmodules en terug naar de tanks.

De stapelmodules worden van stroom voorzien en de elektrochemische reactie begint. Daarbij worden H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> en thermische energie geproduceerd.

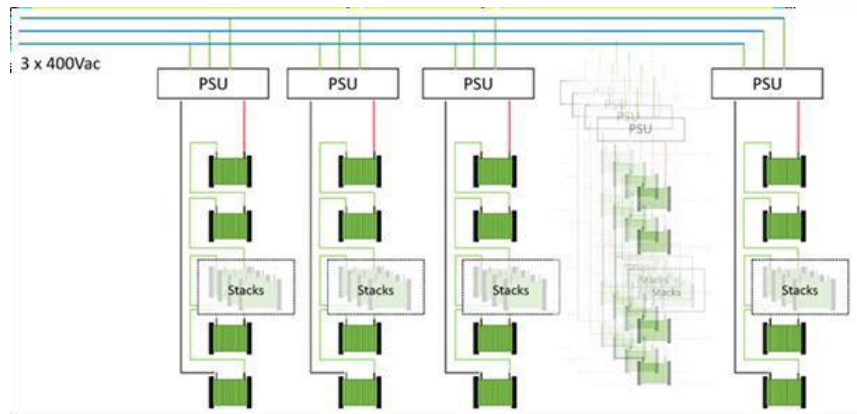
De waterstof wordt afgekoeld, indien nodig gezuiverd en verlaat de H<sub>2</sub>-uitlaat. De zuurstof wordt opgevangen door de elektrolytoplossing, afgescheiden en verlaat het systeem via de O<sub>2</sub>-uitlaat. De thermische energie wordt uit het systeem verwijderd via een koelcircuit en koelers. Als de afvalenergie kan worden gebruikt, kan een optioneel systeem voor de terugwinning van afvalwarmte worden geïnstalleerd.

### **Modulaire systeemarchitectuur**

Het hart van ons molariteit concept wordt gevormd door de AEM Stack Module (meer over De AEM Stack Module). Tien AEM stack modules worden elektrisch in serie geschakeld en gemonteerd in rekken; wij noemen ze strings. Meerdere strings worden vervolgens parallel geschakeld en gevoed door individuele voedingseenheden.

De voedingseenheden (PSU's) zijn standaard, kant-en-klare componenten. Zij maken individuele regeling en aan/uitschakeling voor elke string mogelijk en zorgen voor een optimale werking bij verschillende belasting niveaus die kunnen worden verwacht bij de integratie van hernieuwbare energiebronnen zoals wind- en zonne-energie.





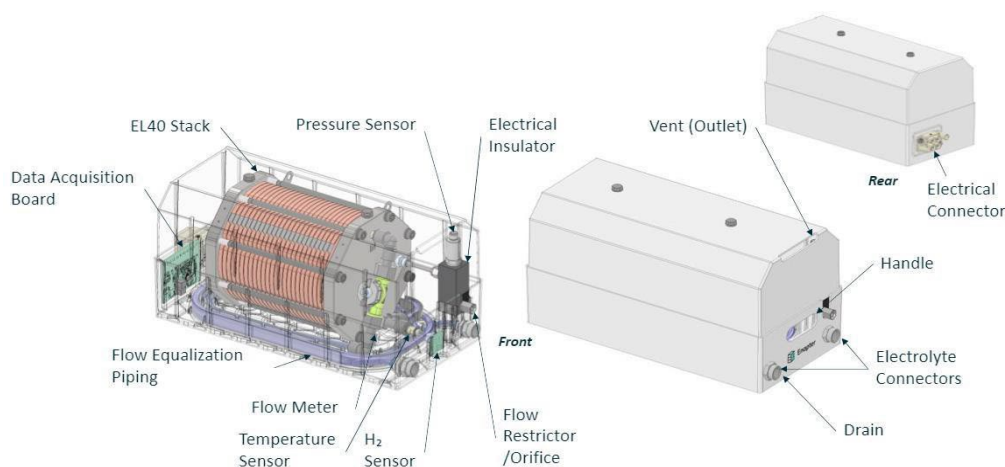
De regeling van de waterstofproductie op basis van de belasting wordt automatisch beheerd door het Enapter-besturingssysteem. Dit biedt exploitanten de mogelijkheid om standaard 3 × 400 VAC driefasige netaansluitingen te gebruiken om de Multicore van stroom te voorzien of om vermogensomzetters toe te voegen voor aansluiting op middenspanningsnetten.

Een BoP wordt gebruikt om elke string van stroom en elektrolyt te voorzien.

Elk van de 42 strings kan werken in het bereik van 60-100% van de nominale productie. Dit betekent dat de Multicore regelbaar is in stappen van 1,4% waarbij altijd minimaal twee strings in bedrijf zijn. De AEM Multicore 420 kan dus een breed belastingsbereik van 3 tot 105% bereiken.

### **De AEM-stapelmodule**

De AEM stack module is een robuuste waterstofproductie-eenheid met een waterstofopbrengst van 0,5 Nm<sup>3</sup>/h - hij bevindt zich in het hart van alle elektrolyzers van Enapter.



*AEM Stack Module*

Het uniforme en gestandaardiseerde ontwerp van de stackmodule van Enapter maakt een platformgebaseerd systeem mogelijk dat een ongeëvenaard niveau van beschikbaarheid, redundantie en productieflexibiliteit kan bereiken, van kilowatt- tot megawattsystemen.



Nominale H <sub>2</sub> -stroom	210 Nm <sup>3</sup> /h 18,75 kg/h bij STP	Netto volumestroom
H <sub>2</sub> Uitlaatdruk	Tot 35 bar	
H <sub>2</sub> Zuiverheid zonder optionele droger	99,9% in molaire fractie, komt overeen met dauwpunt -30°C	Onzuiverheden alleen H <sub>2</sub> en O <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> Zuiverheid met optionele droger	99,999% in molaire fractie, gelijk aan dauwpunt van -65°C	Onzuiverheden alleen H <sub>2</sub> en O <sub>2</sub> extra 5kW vermogen verbruik
Nominale O <sub>2</sub> stroom	105 Nm <sup>3</sup> /h	Netto volumestroom
O <sub>2</sub> uitlaatdruk	Atmosferisch	
Geluidsvermogen niveau	<80 db(A)	Op 1m
Flexibiliteit	3% - 105%	Van het nominale productietempo
Nominale opgenomen elektrisch vermogen	1,008kW 1,200kW	Begin van de levensduur (BOL) Bijna einde van de levensduur (EOL) Exclusief optionele droger
Specifiek energieverbruik (efficiëntie)	4,8 kWh/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> 53,3 kWh/kgH <sub>2</sub> 62,5%	Inclusief alle nutsvoorzieningen binnen de batterijgrenzen van de elektrolyse container (bij het begin van de levensduur) Exclusief optionele droger
Systeem efficiëntie bij verschillende belastingen	60 – 100 %: 4.8 kWh/Nm <sup>3</sup> 30 – 60 %: 5.0 kWh/Nm <sup>3</sup> 3 – 30 %: 5.2 kWh/Nm <sup>3</sup>	Exclusief optionele droger
Omgevingstemperatuur	-15 – 35 °C	Met warm-ambient versie
Nominaal waterverbruik	190 L/h	Gezuiverd water
Waterinlaat geleidbaarheid	< 5 μS/cm	
Temperatuur watertoevoer	5 – 55 °C	
Warme opstarttijd	0 – 100 % in 100 seconden	
Stroomverbruik bij stand-by	Max. 200 kW	De stapels zijn gehydrateerd en de elektrolytoplossing is in omloop bij minimale temperatuur
Koude opstarttijd	0 – 100 % in 30 min	Afhankelijk van de temperatuur
Verbruik in koude stand-by	Max. 30 kW	Alle componenten staan in stand-by en de containerverwarming staat aan.
Stilstandtijd	Van 100 % in 3 min	

Stilleggingsperiode	Max. 12 weken	
Start-Stop cyclus	Max. 5 aan-uit cyclus/dag	Aanbevolen waarde
Spanning	3 x 400 AC	Driefasig net
Frequentie	50/60 Hz	
Afmetingen	L 16 m x W 3 m x H 7.3 m	
Gewicht	<40 tons	
Transport afmetingen	L 16 m x W 3 m x H 3 m	Hoofdcontainer, extra containers voor hulpmiddelen die nodig zijn voor transport.
Levensduur van het systeemontwerp	20 jaar	
Levensduur	> 35,000 bedrijfsuren	
Degradatie	0.2 % over 1,000 uur	na een aanvankelijk iets hoger tempo gedurende ongeveer 1000 uur
Minimale afstand tussen eenheden	2-5 m	

#### **Belangrijke ontwerpnormen**

- EN ISO 12100 "Veiligheid van machines - Algemene ontwerpbeginsselen - Risicobeoordeling en risicobeperking".
- IEC 61508 "Functionele veiligheid van elektrische/elektronische/programmeerbare elektronische veiligheid gerelateerde systemen"
- IEC 62061 "Veiligheid van machines - Functionele veiligheid van veiligheid gerelateerde regelsystemen".
- IEC 60079-1 "Normen voor explosieve atmosferen".
- ISO 22734 "Waterstofgeneratoren door elektrolyse van water - Industriële, commerciële, en huishoudelijke toepassingen"
- ISO/TR 15916 "Basisoverwegingen voor de veiligheid van waterstofsysteem".
- AD2000 "Richtsnoeren om te voldoen aan de essentiële veiligheidseisen van de Richtlijn drukapparatuur"

#### **CE-certificering**

Behandelt de volgende richtlijnen:

- Richtlijn drukapparatuur (PED)
- Laagspanningsrichtlijn van de Raad
- Richtlijn industriële machines
- Elektromagnetische compatibiliteit
- Richtlijn ATEX

#### **AEM Multicore 420 Interfaces en P&ID**

- Input: Waterinlaat, Stroomvoorziening
- Uitgang: H2 Vent, O2 Vent, H2 Out, Heat Out

## Compression Equipment Specifications

<i>Scope of supply H2 Press</i>	
Approximate dimensions of the equipment	6100mm (length) by 2440mm (width) by 4380mm (height)
Compressor container	Included. For outdoor location (-10 to 40°C)
Suction pressure range	20-40 Barg
Maximum H2 gas outlet pressure	Up to 500 Bar. Possibility of setting output at different pressures such as 220 bar or 350 Bar
Number of compressors	1 compressor per 20' container Possibility to include a second compressor
Maximum flow (inlet pressure 30 barg) and delivery pressure 500 bar	22 kg / hour per compressor
Compressor turndown	0-100%
Chiller to keep the gas outlet current (H2) below 40°	Included. Air-water chiller
Control cabinet	Touch screen for automatic and manual operation Control cabinet for operation in a non-classified area Allen Bradley or Siemens technology based safety automat Possibility of connection with the buyer's high-level monitoring and control system
Hydraulic system	Includes pumps, filters, valves, control
H2 filter in suction	Included
Instructions, technical use and maintenance manual in Spanish	Included in English
Tele-service	Communication system through the Internet
Certificates and regulations	CE certificate according to the European Directive 2006/42 / EU relating to machines European Directive 2014/34 / EU on devices used in potentially explosive atmospheres (ATEX) Standard EN 1012-3: 2013 (Corresponds to directive 2006/42 / EC) Standards EN ISO 80079-36: 2016 and EN ISO 80079-37: 2016 (Correspond to directive 2014/34 / EU)
Venting system and complete instrumentation of the compressor passes its complete and safe operation	Included. HAZOP study of the compressor with all the instrumentation required for a complete and safe operation of the system
FAT & SAT	Included
Spare parts kit	Included
Installation, commissioning and training	Included

**Adsensys B.V.**  
Korhoenweg 19  
4791 RM Klundert  
The Netherlands

T. +31 (0)168 - 382 700  
[info@adsensys.nl](mailto:info@adsensys.nl)  
[www.adsensys.nl](http://www.adsensys.nl)

