

Waterstof voor circulaire industriële hoge-temperatuur processen

Kansen en uitdagingen

Marco Derksen

Mateo

PROCESS

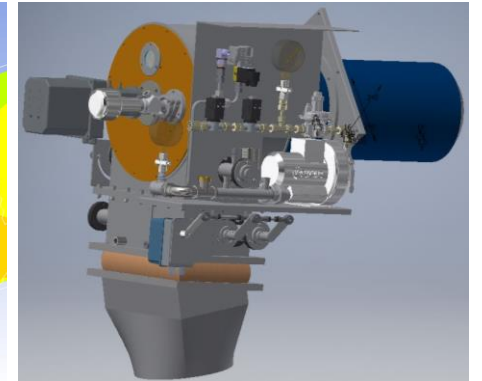
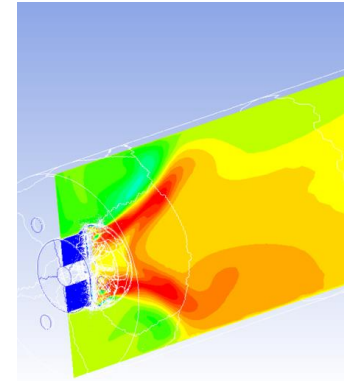
FUELED BY PASSION

Over Mateq Process

Missie: het faciliteren van de energietransitie voor hoge-temperatuur processen

Focus:

- Procesontwerp van circulaire procesapparatuur*
- Ontwikkeling van modellen en tools voor product en procesanalyse*
- Ondersteuning van startups en andere bedrijven in de energietransitie*



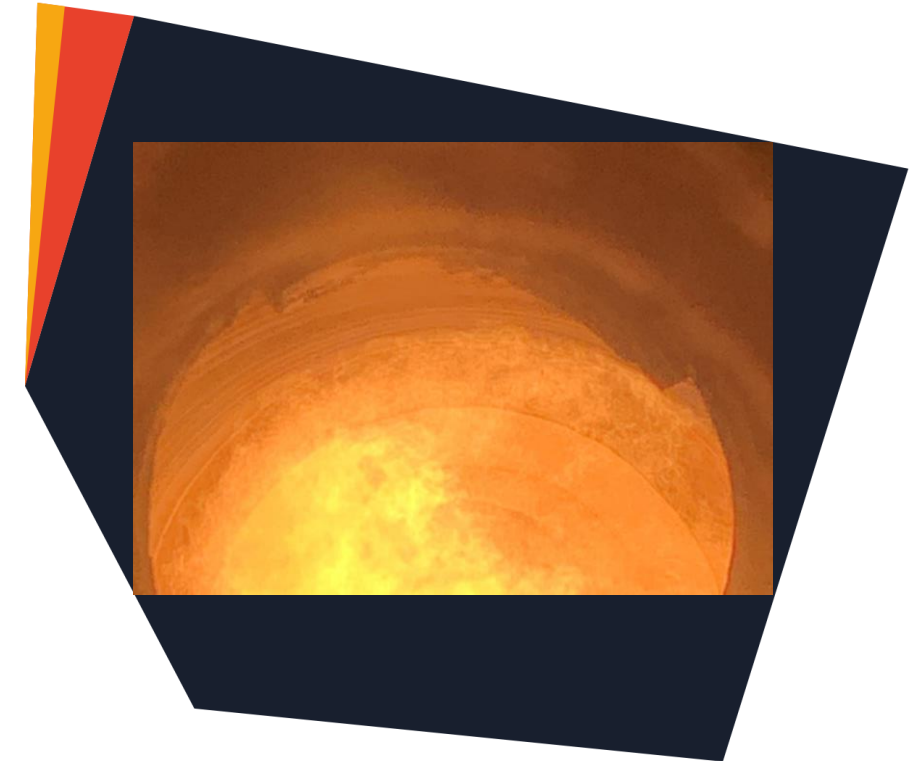
Kansen voor waterstof in circulaire industriële hoge-temperatuur processen

Voor hoge-temperatuur processen ($> 650\text{ °C}$) is verbranding de enige economisch haalbare manier om de gewenste procestemperaturen te realiseren, bij de gewenste totale warmtevraag in megawatt of heet gasvolume

Elektrische systemen zijn niet in staat de gewenste temperatuurniveaus te bereiken, en/of niet in staat aan de gewenste warmtevraag te voldoen

Groene waterstof is de logische kandidaat voor een circulaire brandstof voor deze processen

- De (toekomstige) beschikbaarheid
- Geen koolstof in cyclus
- Uitstekende verbrandingseigenschappen

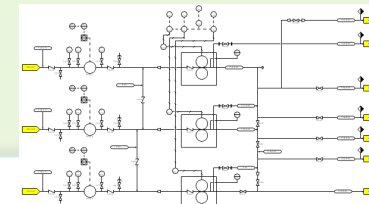
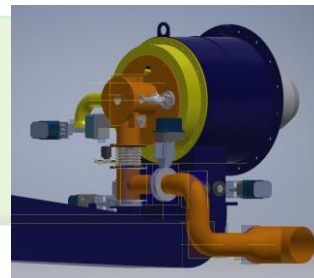


Transitie naar waterstof in de praktijk

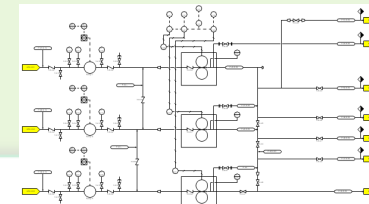
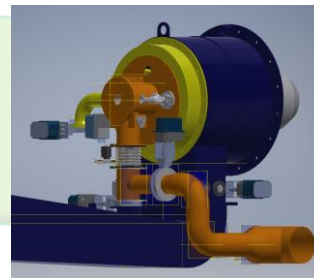
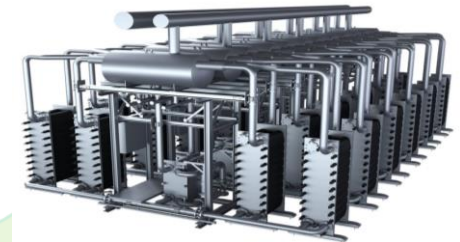
In de transitie naar waterstof voor een industriële proces, dienen er twee hoofdzaken te worden uitgewerkt:

De (continue) **beschikbaarheid** van groene waterstof

Gevolgen van het **gebruik** van waterstof voor het thermische proces en haar procesapparatuur



Beschikbaarheid van groene waterstof



Waterstofproductie middels groene elektriciteit

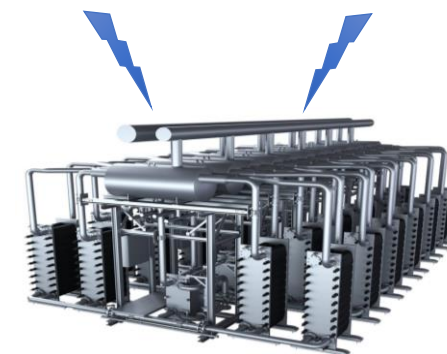
Water wordt omgezet naar waterstof in een electrolyzer

- Voor elke kg water kan er 0.11kg waterstof worden geproduceerd
- 1 kg waterstof (11m^3) representeert 120MJ thermische energie
- Voor elke kg waterstof wordt 8kg zuurstof geproduceerd (5.6m^3)

Electrolyzers hebben een conversierendement van typisch 67%

Electrolyzers dienen continue in bedrijf te zijn om efficiënt te kunnen zijn. Er is ook een minimale hoeveelheid (drempelwaarde) stroom nodig om waterstof te kunnen produceren

Dit betekent dat elektriciteit continue, en in voldoende hoeveelheden, beschikbaar dient te zijn voor optimaal functioneren van de elektrolyzer



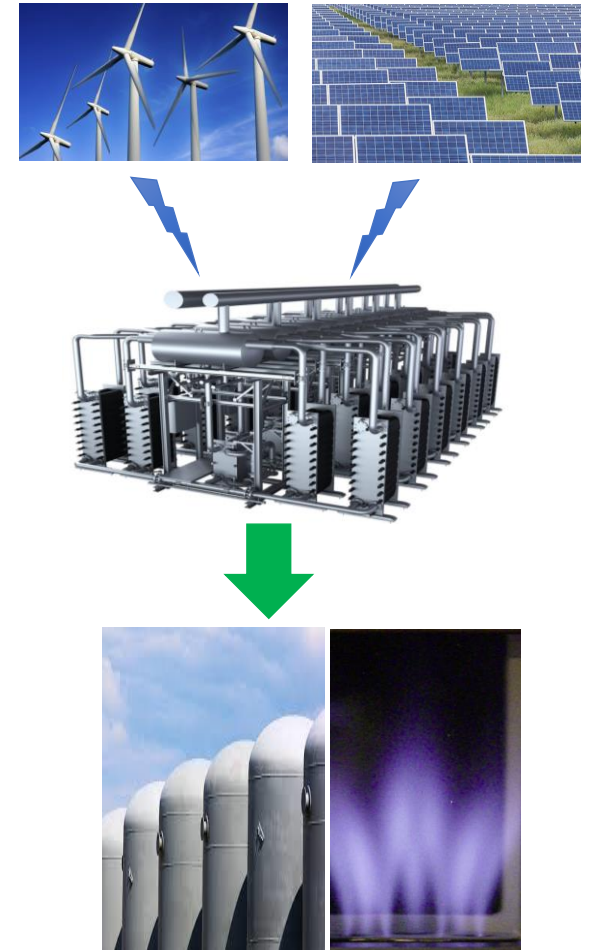
Beschikbaarheid van groene stroom

Zon en wind worden momenteel gezien als geschikte manieren om lokaal groene stroom te produceren.

- Zon wordt als minder belastend gezien, helemaal wanneer dit op bestaande infrastructuur wordt toegepast
- Wind heeft een hogere piek elektriciteitsproductie (bijvoorbeeld 10MW voor een 150m hoge windturbine)

Wind en zon zijn overdag meer aanwezig dan 's-nachts, waar zon een meer modulerend productiepatroon laat zien dan wind

- Zon: dag/nacht; zomer/winter ritmes



Energievraag van productieprocessen

Productieprocessen hebben veelal een modulerende energievraag

- Dag / nacht
- Week / weekend

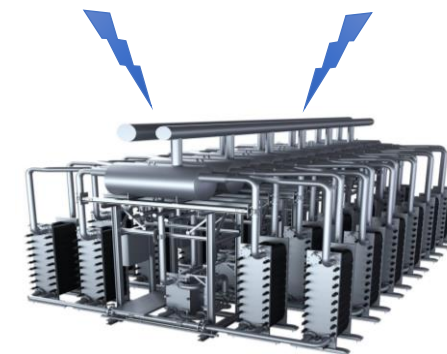
De vraag wordt deels gedreven door het proces, maar voor een groot deel ook door productieplanning

Proces:

- Continue vs batch proces

Productieplanning:

- Kosten/baten analyse van machine / personeel beschikbaarheid
- Productiecapaciteit vs commerciële vraag



De beschikbaarheid van groene waterstof

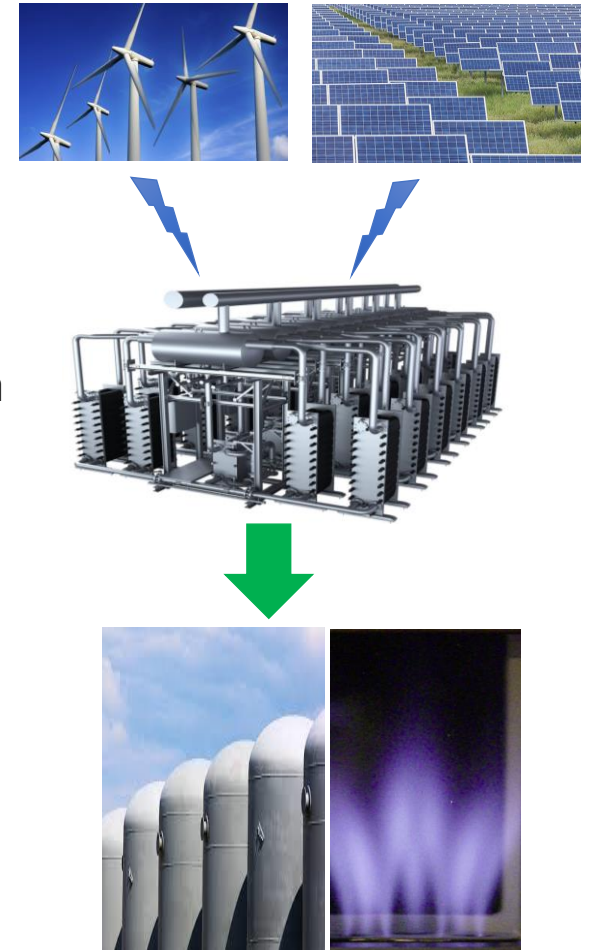
Waterstofproductie uit groene energiebronnen is veelal afhankelijk van de beschikbaarheid van die bronnen (Meestal zon, wind)

Productieprocessen hebben veelal ook een modulerende energievraag

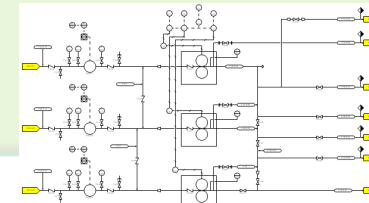
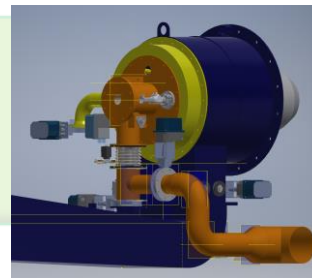
De verschillen tussen vraag en aanbod van waterstof kunnen worden opgelost met een mix van

- Optimalisatie van vraag en aanbod door aanpassingen in de energiecycclus van productieprocessen
- Gebruik van back-up energiebronnen (aardgas wordt vaak als logisch alternatief gezien)
- Waterstof / energie opslag
- Elektriciteit uit het net

Dit levert een business case op die per specifiek proces en productielocatie dient te worden uitgewerkt en geoptimaliseerd



Gevolgen voor verbrandingsapparatuur



Waterstof als energiedrager voor hoge-temperatuur processen

Waterstof kan zeer gemakkelijk worden verbrand aan lucht in een industriële brander; deze techniek bestaat al tientallen jaren

Echter, die ontwerpen waren vooral bedoeld voor het volledig verbranden van restwaterstof uit een industrieel proces, en niet zozeer op het verstoken met ultra-lage emissies van stikstofoxiden (NO_x)

In Nederlandse wet- en regelgeving (ABEES) wordt waterstof nog steeds niet erkend als referentiebrandstof (zoals aardgas), en heeft zelfs hogere emissielimieten dan aardgas voor grote installaties



Waterstof als energiedrager voor hoge-temperatuur processen

Het realiseren van ultra-lage NOx emissies in waterstofverbranding, en vooral in gemengde waterstof – aardgasverbranding levert behoorlijke uitdagingen op, mede dankzij een aantal specifieke eigenschappen van waterstof:

- Extreem hoge verbrandingssnelheden
- Hoge piektemperaturen bij verbranding
- Groot ontvlambaarheidsgebied (zelfs zeer rijke waterstof-lucht mengsels zijn brandbaar)
- Hoge specifieke diffusiviteit van waterstof – veel hoger dan andere gasvormige brandstoffen
- Lage dichtheid van waterstof
- Invloed van waterstof op materialen

Deze eigenschappen hebben gevolgen voor zowel de ontwikkeling als het ontwerp van verbrandingsapparatuur voor ultra-lage emissies van NOx



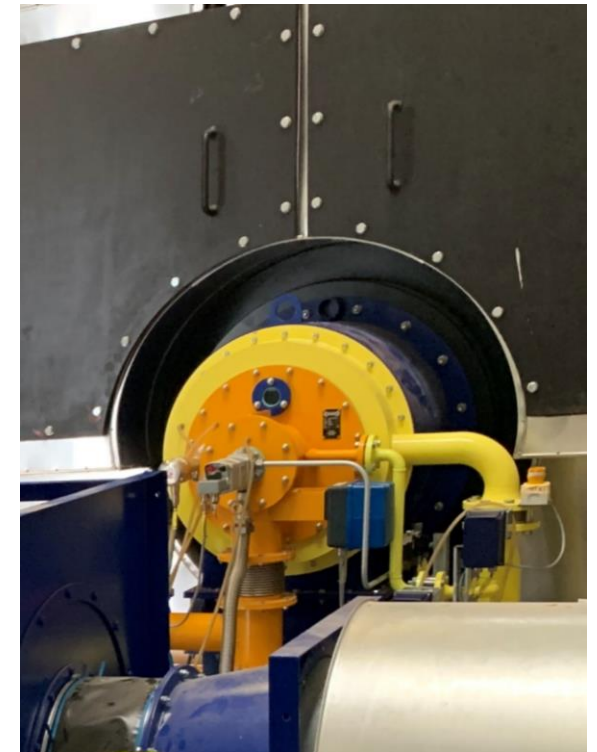
Ontwerpregels voor branders met ultra-lage emissies van NOx

Industriële branders voor gasvormige brandstoffen realiseren lage NOx emissies door het beperken van piektemperaturen in de verbranding

- Voormengen van brandstof en lucht met een hoge luchtvermaat
- Getrapte verbranding
- Gebruik van externe rookgasrecirculatie

Daarnaast opereren industriële ketelbranders en fornuisbranders op een zo laag mogelijke luchtvermaat, uit rendementsoverwegingen

- Een luchtvermaat van 5 tot 15% is gebruikelijk, tegenover 200 – 300% bij gasturbine branders
- Dit betekent dat het enkel gebruiken van een hoge luchtvermaat om piektemperaturen te drukken niet mogelijk is bij dit soort branders



Ontwerp uitdagingen voor industriële branders op waterstof

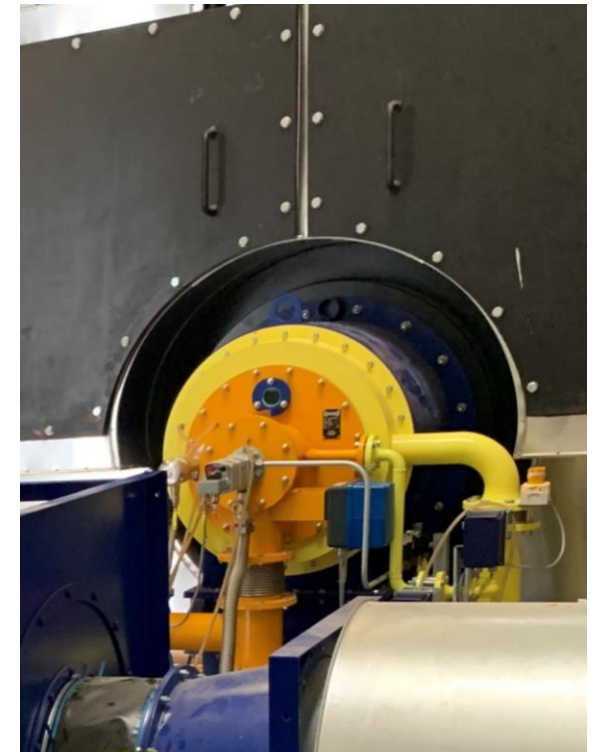
Bij gebruik van voormenging is er een hoger risico op vlamterugslag in de voormenger

Getrapte verbranding is lastiger te realiseren, vanwege de hogere verbrandingssnelheid, ontvlambaarheidsgebied en diffusiviteit van waterstof

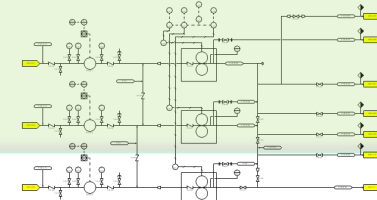
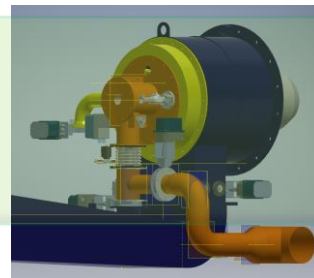
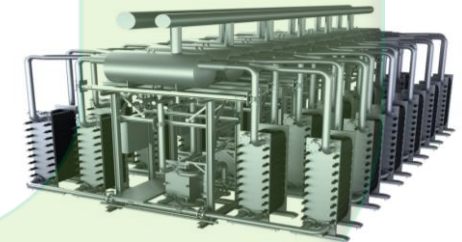
Brandstofgas- en luchtvolumes zijn verschillend bij waterstofstoken en aardgas stoken

Bij materiaalkeuze / het onderzoeken van haalbaarheid van waterstofstoken in bestaande installaties moet de gevoeligheid voor waterstof van materialen worden meegenomen

- Waterstofbrosheid
- Waterstofdichtheid (voornamelijk van pakkingen en andere verbindingen)



Conclusie



Conclusie

Waterstof is één van de belangrijkste circulaire energiedragers voor hoge-temperatuur processen in de industrie

Een integrale aanpak is nodig voor een succesvolle transitie naar waterstof, die de volledige energieketen onder beschouwing neemt. Dit zal een business case opleveren die specifiek is per proces en per locatie

Hoewel waterstof extreem ontvlambaar is, is het realiseren van ultra-lage emissies van NOx in industriële verbrandingsprocessen een echte uitdaging

Het combineren van kennis, en ook het uitvoeren van parallelle, multidisciplinaire ontwikkelingstrajecten zullen essentieel zijn voor het slagen van de energietransitie voor industriële hoge-temperatuur processen



Bedankt voor uw aandacht

mateqprocess.com

Mateo
PROCESS

FUELED BY PASSION

Basiseigenschappen vergeleken van waterstof en aardgas

Eigenschap	Aardgas	Waterstof
Diffusiecoëfficiënt bij kamertemperatuur	0.2 cm ² /s	0.6 cm ² /s
Kritische snelheid	454 m/s	1.323 m/s
Stoichiometrische verbrandingssnelheid ¹⁾	38 cm/s	330 cm/s
Dichtheid	0,8 kg/m ₀ ³	0,090 kg/m ₀ ³
Brandstof/lucht verhouding bij 15% luchtvermaat	9.4 m ₀ ³ lucht / m ₀ ³ gas	2.7 m ₀ ³ lucht / m ₀ ³ gas
Verbrandingswaarde per kuub	31 MJ/m ₀ ³	11 MJ/m ₀ ³
Verbrandingswaarde per kg	38 MJ/kg	120 MJ/kg
Vlambaarheidsgrenzen	5 tot 15 vol%	4 tot 74 vol%

1) Stoichiometrisch = ideaal brandstof-luchtmengsel

