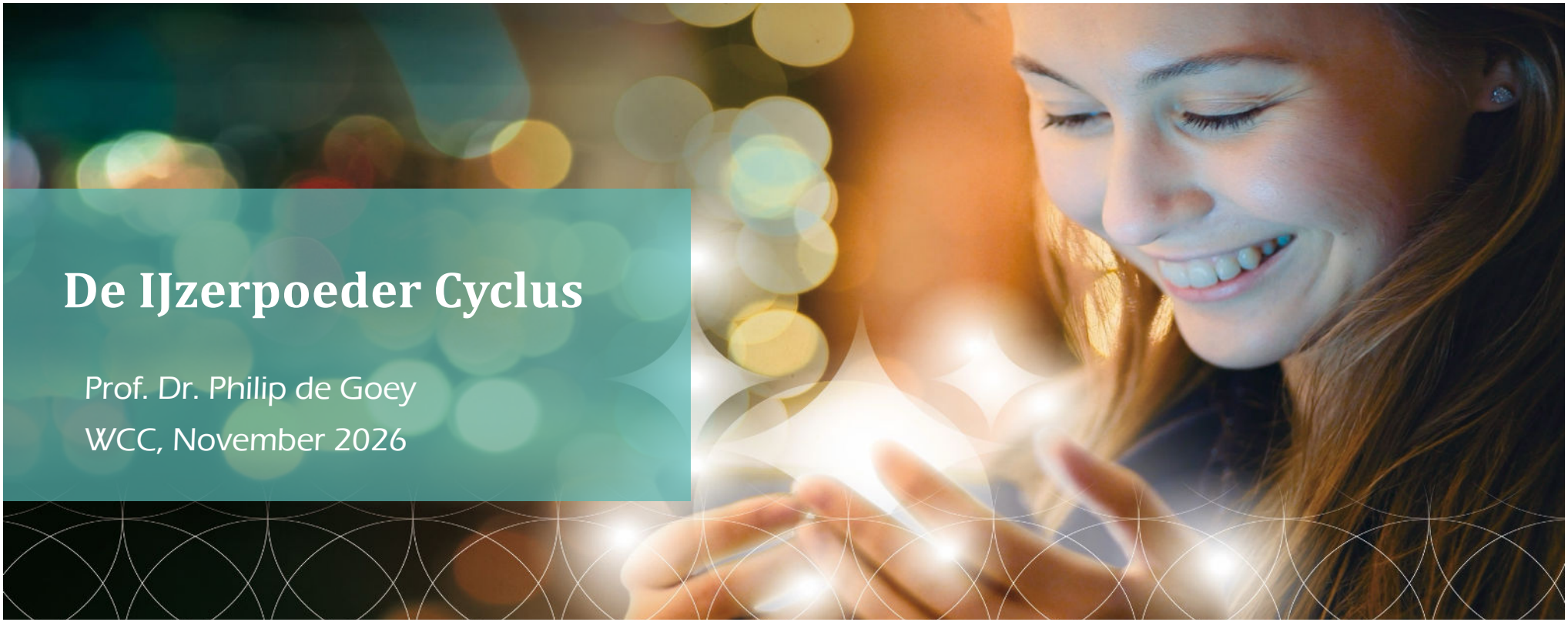


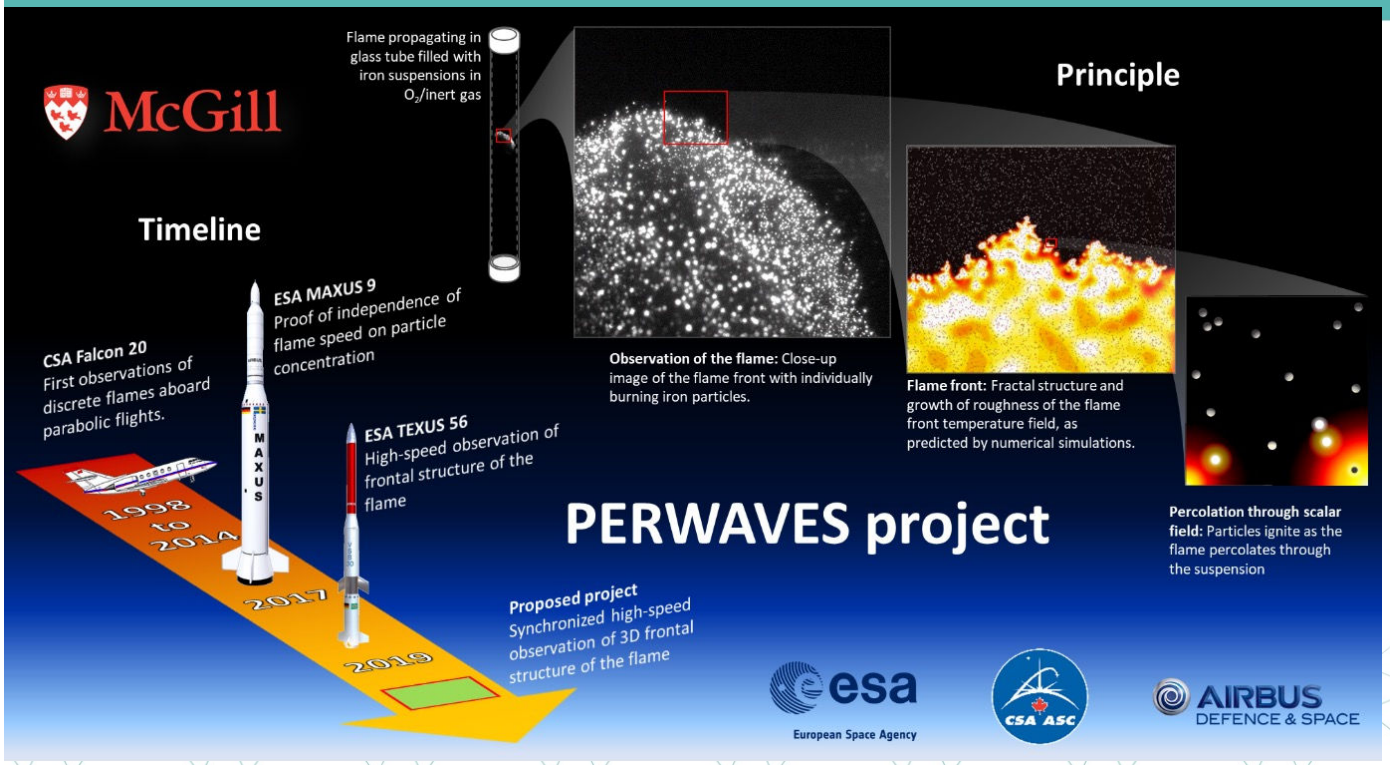
De IJzerpoeder Cyclus

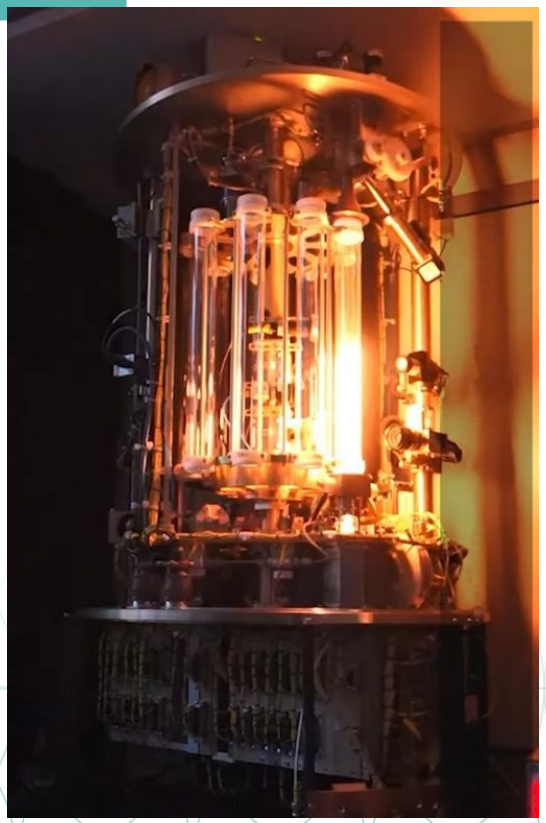
Prof. Dr. Philip de Goey

WCC, November 2026

2010: poedervlammen met McGill

TU/e EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY







2014: metaal poeders branden !! Maar kunnen we ze schoon verbranden & recyclen & als energieopslag medium inzetten?

Presentatie overzicht

- Positie van Iron Power in de energie transitie
  - Energie transitie uitdagingen
  - Iron Power: ijzer poeder als circulaire energie drager
- Onderzoek aan ijzerpoeder verbranding @ TU/e
- Metalot, the community building foundation
  1. Creating the bridge between academic R&D & Market
  2. Building the global community
- Concluding Summary



metalot

Energy transitie: kern uitdagingen



Hernieuwbare energie

Vraag ≠ Aanbod:

- Plaats
- Tijd



Warmte & Stroom



Energie opslag is grootste uitdaging

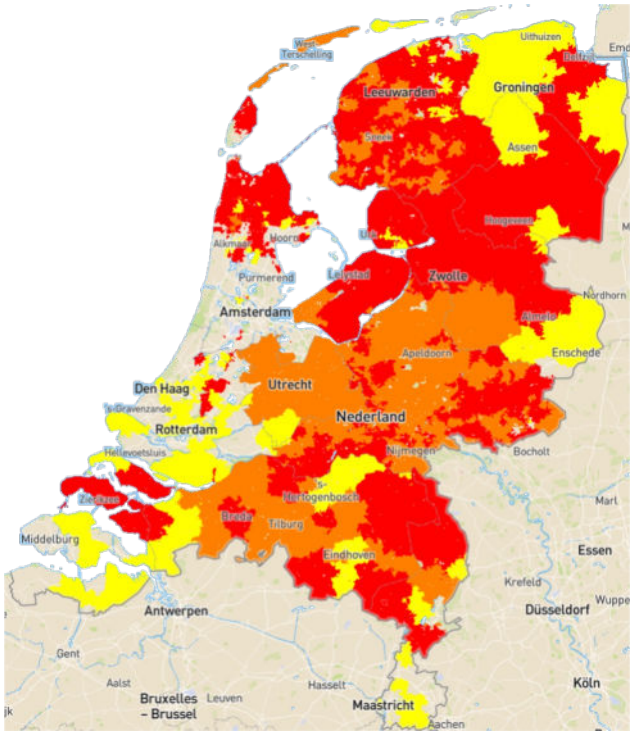
Is waterstof alleen voldoende voor alle applicaties ?

Energy transitie: kern uitdagingen

Infrastructuur



Hernieuwbare energie



Netbeheer Nederland 2022

Transport Capaciteit

E-grid: ~600 PJ

Vraag: ~3500 PJ



Wartme & Stroom



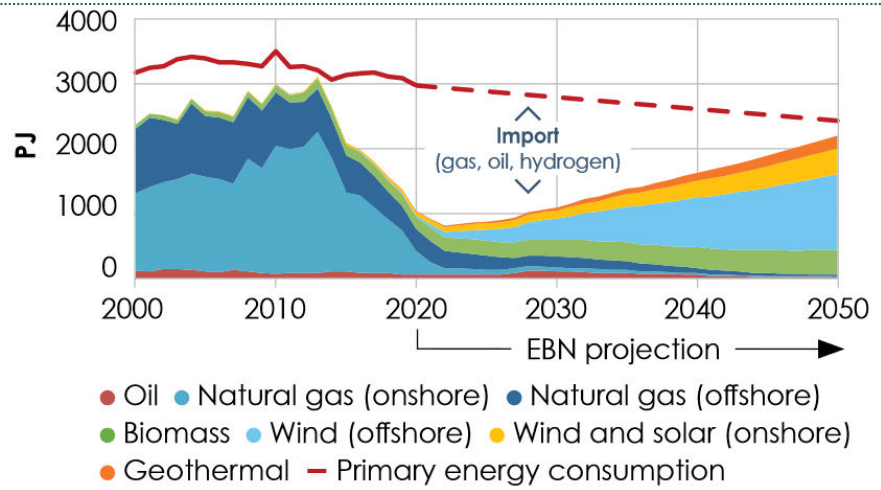
Volledige vervanging van fossiel mbv eletrificatie is niet mogelijk binnen afzienbare tijd

Is waterstof alleen voldoende om het 'gat' te vullen ?

metalot

Energy transitie: kern uitdagingen

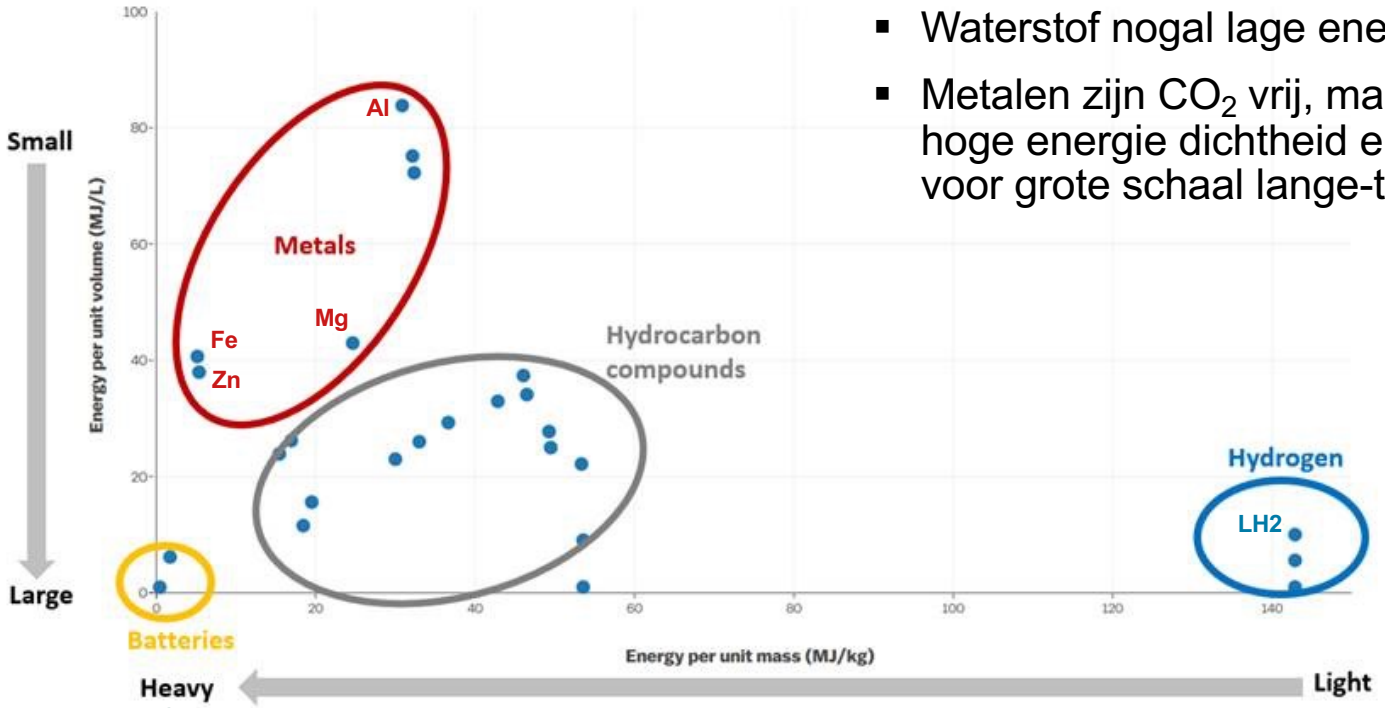
Aanbod



EBN Energie (2022)

- Toekomstige Oplossingen:
  - Electriciteit: onvoldoende
  - Waterstof: opslag & transporteren lastig
  - Alternatieve energiedragers zijn nodig, complementair aan Waterstof & Ammonia: bv. e-fuels zoals metaalpoeders

Metalen als energie dragers



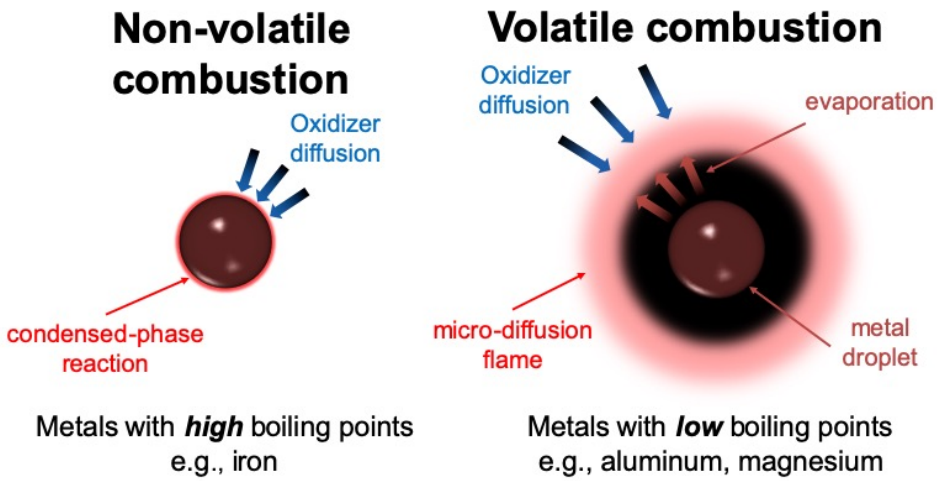
- Batteries vooral voor kleine schaal (e-mobility)
- Waterstof nogal lage energie dichtheid
- Metalen zijn CO_2 vrij, maar zwaar en hebben hoge energie dichtheid en daardoor geschikt voor grote schaal lange-termijn opslag

metalot

Focus op Iron Power

Voordelen

- Schoon
- Recyclebaar
- Retrofit mogelijk
- Veilig
- Compact
- kosten Competitief



IJzer poeder is een van de weinige metalen dat :

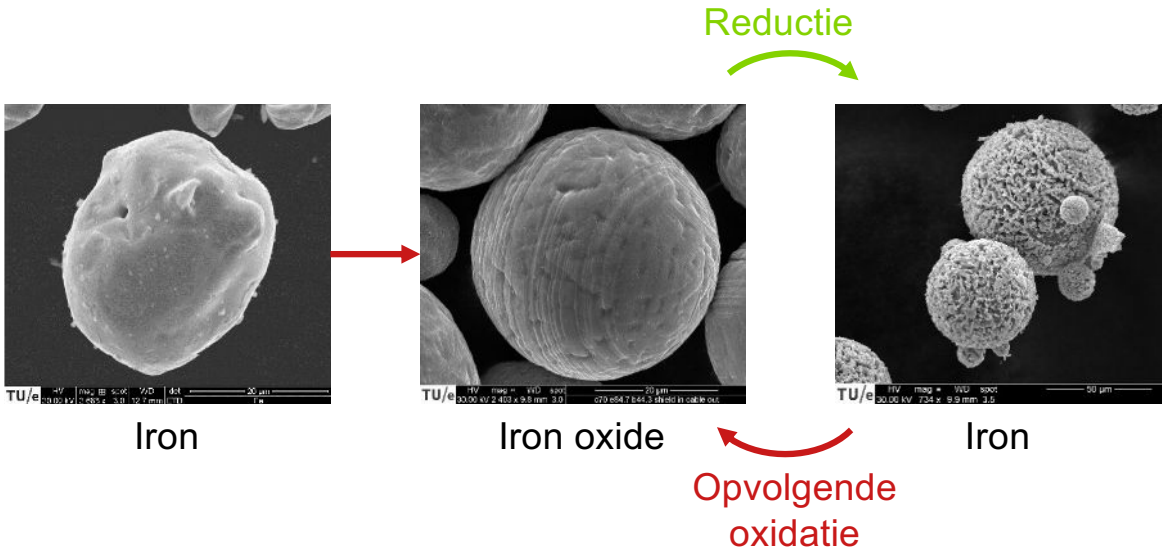
- niet verbrandt in de gasfase, maar in de vloeibare fase
- Zo goed als geen gasvorminge (sub-)oxides produceert

Bergthorson et al. (2015) Applied Energy 160:368-382

Focus op Iron Power

Voordelen

- Schoon
- Recyclabaar
- Retrofit mogelijk
- Veilig
- Compact
- Kosten Competitief



Focus op Iron Power

Voordelen

- Schoon
- Recyclabaar
- Retrofit mogelijk
- Veilig
- Compact
- Kosten Competitief



Methane	Iron	Aluminum	Boron + Al	Zirconium
1963 °C	1955 °C	3268 °C	2587 °C	3587 °C

Overeenkomsten met fossiele brandstoffen:

- Temperatuur & tijdschalen vergelijkbaar
- Interessant voor retrofit vaste brandstof systemen als kolen en biomassa centrales!

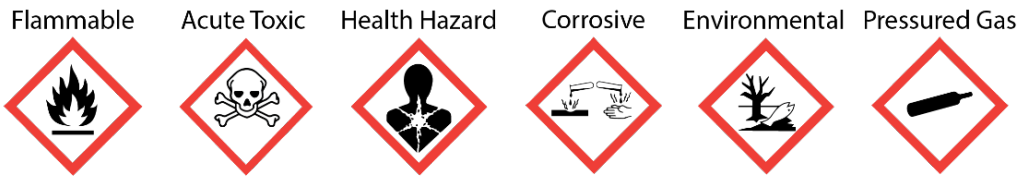
Bergthorson et al. (2015) Applied Energy 160:368-382

metalot

Focus op Iron Power

Voordelen

- Schoon
- Recyclabaar
- Retrofit mogelijk
- Veilig
- Compact
- Kosten Competitief

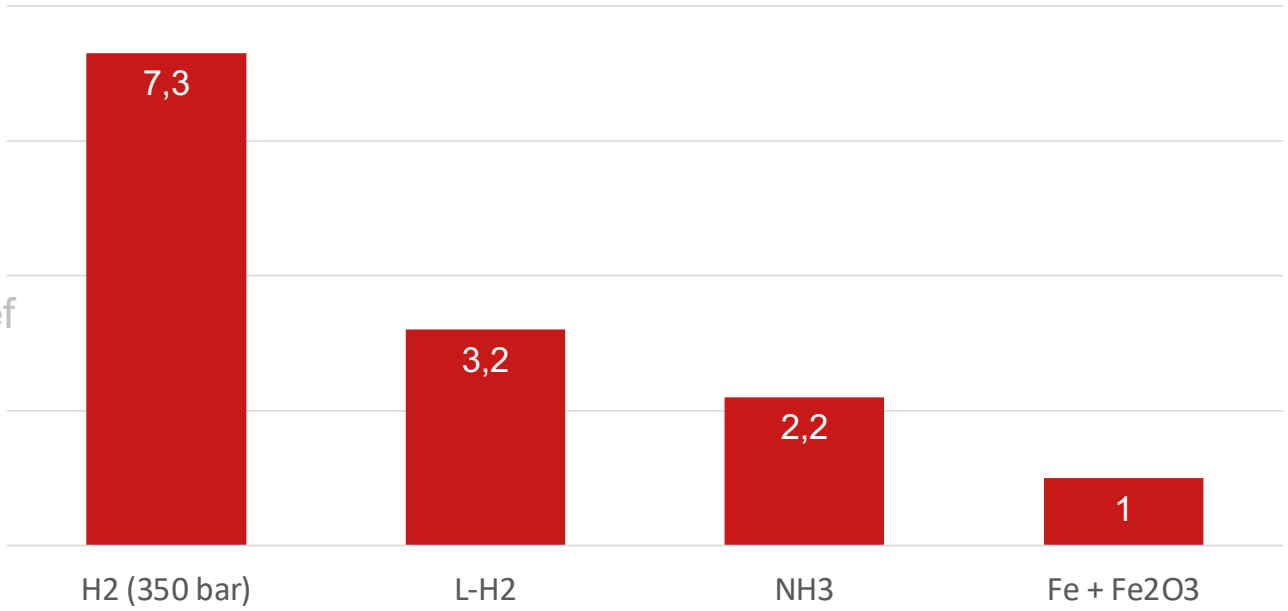


	Flammable	Acute Toxic	Health Hazard	Corrosive	Environmental	Pressured Gas
Heavy Fuel Oil (HFO)			X		X	
Methanol (CH_3OH)	X	X	X			
Hydrogen (H_2)	X					X
Ammonia (NH_3)		X		X	X	X
Iron (Fe) and Fe_2O_3	X					

Focus op Iron Power

Voordelen

- Schoon
- Recyclabaar
- Retrofit mogelijk
- Veilig
- Compact
- Kosten Competitief



metalot

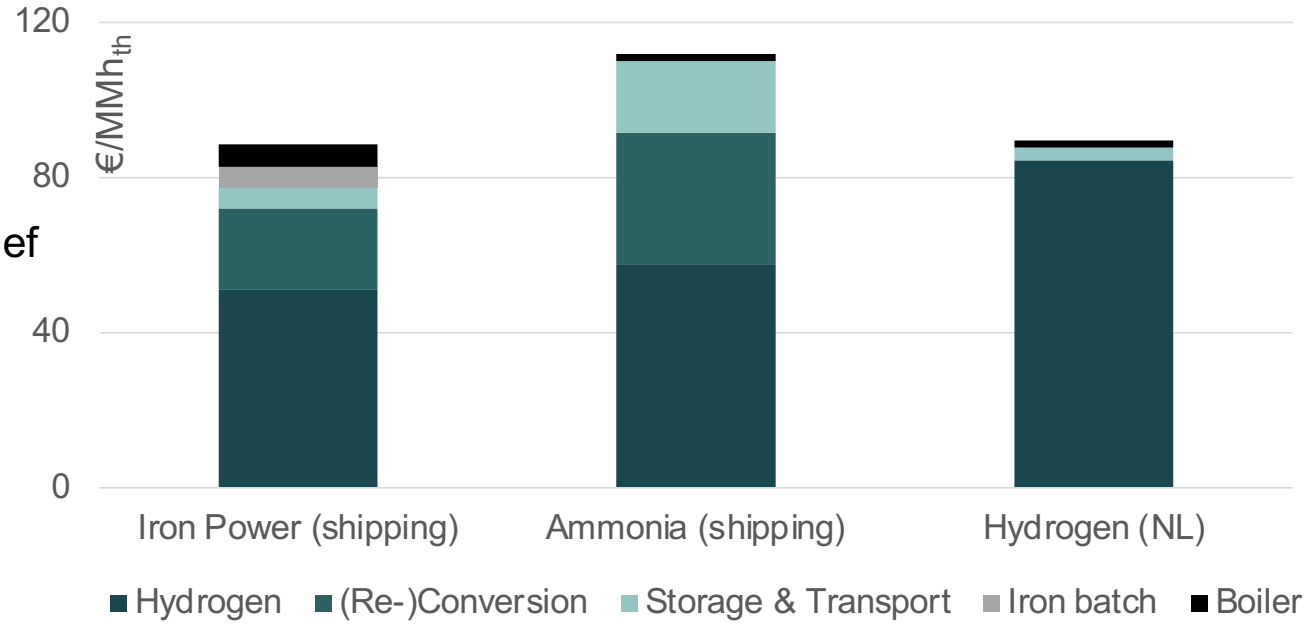
Focus op Iron Power

Voordelen

- Schoon
- Recyclabaar
- Retrofit mogelijk
- Veilig
- Compact
- Kosten Competitief

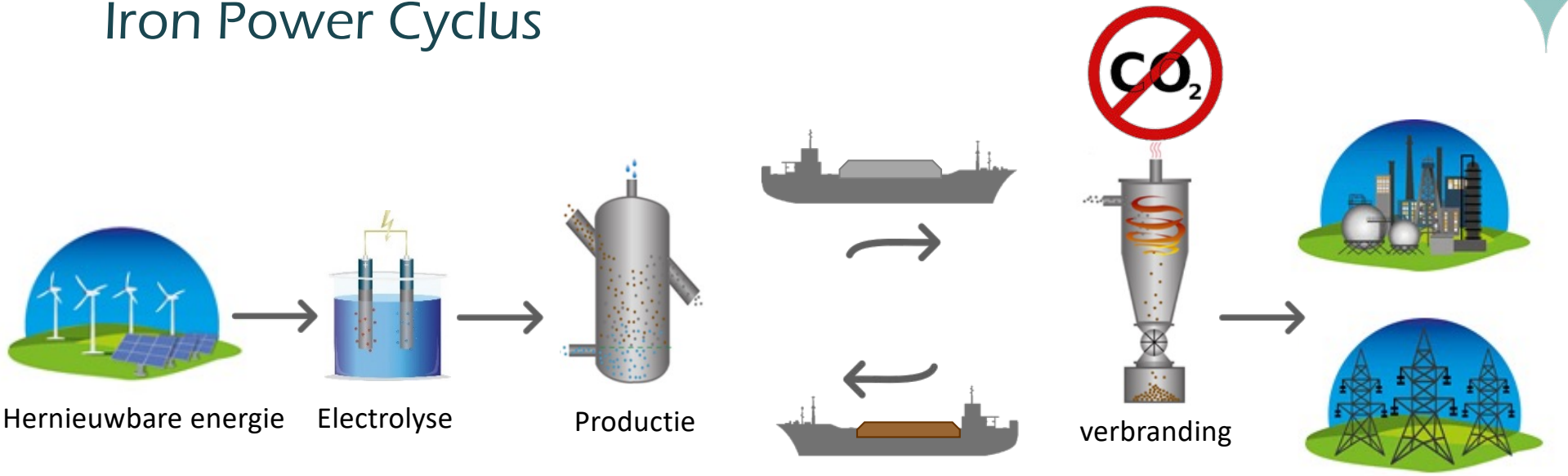
Berenschot 2020

Levelised Cost Of Energy (LCoE) voor hoge temperatuur stoom in Rotterdam (NL)



metalot

Iron Power Cyclus



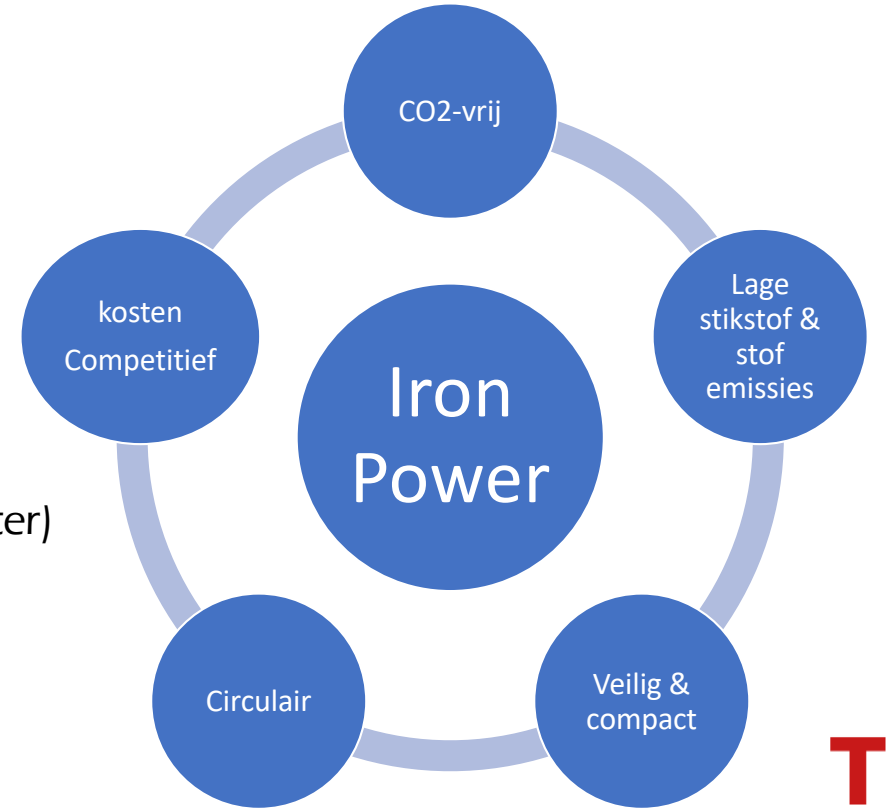
$$Fe_2O_3 + 3\,H_2 \rightarrow 2\,Fe + 3\,H_2O$$

$$4\,Fe + 3\,O_2 \rightarrow 2\,Fe_2O_3$$

Iron Power: Seizoens opslag & transport van duurzame energie

Draagt bij aan oplossing voor:

- Verduurzaming industrie (6e cluster)
- Netcongestie verzachting
- Complementair aan waterstof





Onderzoek aan ijzerpoeder verbranding @ TU/e

11-11-2026

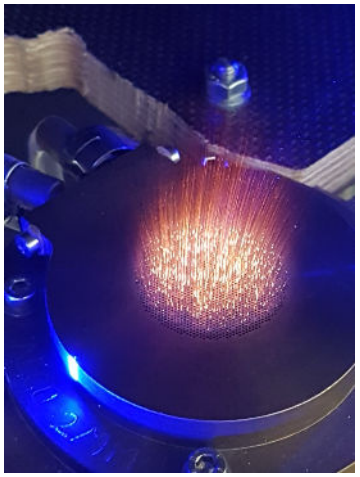
IJzer poeder verbranding

Multi-schaal modelering & experimenten

- Basis kennis groeit (snel) en eerste modellen zijn gereed
- Start met één deeltjes verbranding
- Vervolgens vlam propagatie in stofwolken bestuderen
- Grotere schaal turbulente verbrandingskennnis van stofwolken powder wordt ontwikkeld



Één deeltjes verbranding



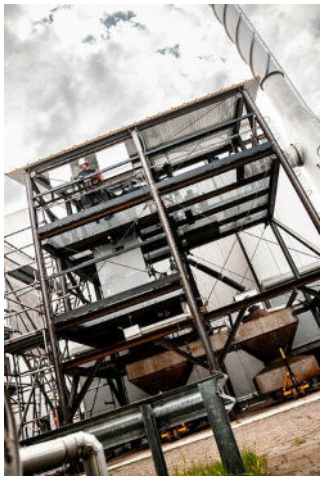
kleine ijzer vlam



Tornado brander (5 kW)

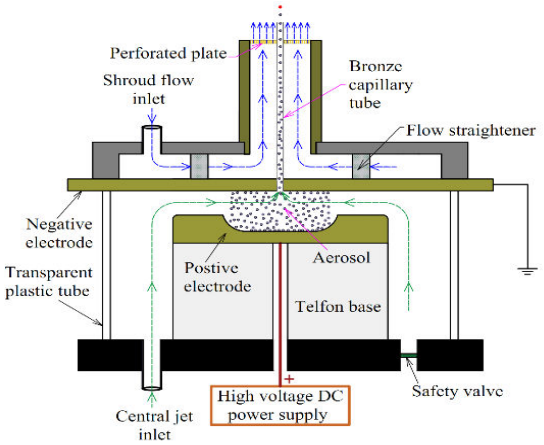


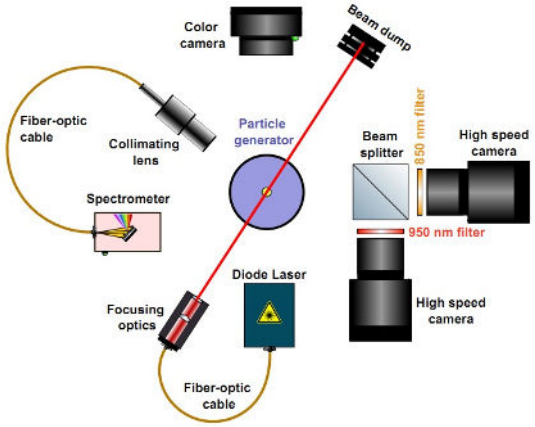
0.5 MW boiler @ brouwerij

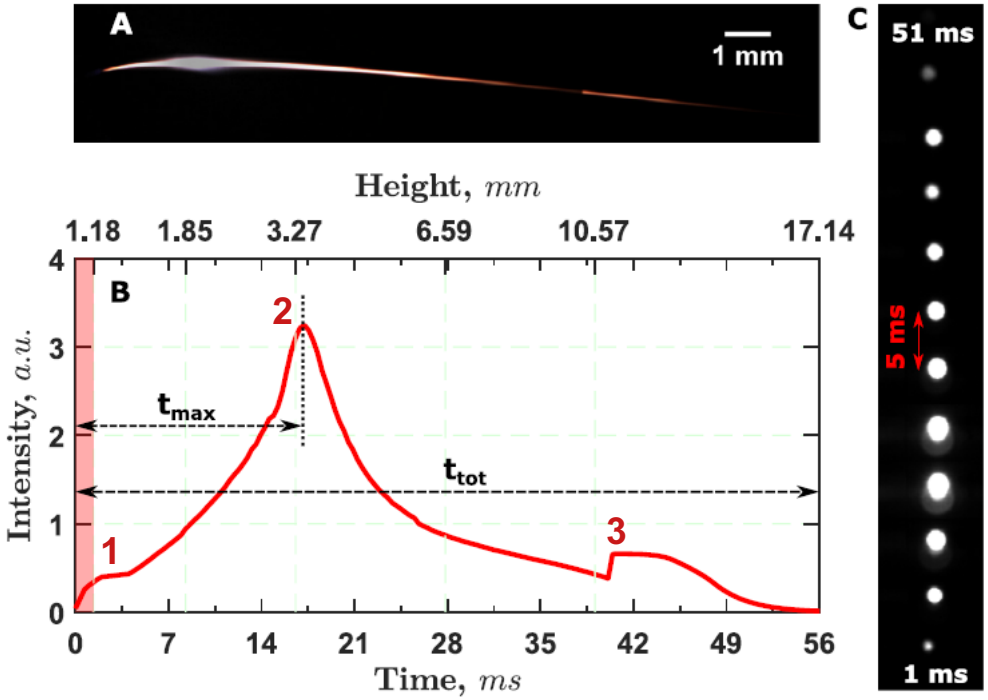


1.0 MW boiler @ stads warmte net

Eén-deeltjes verbrandings experimenten



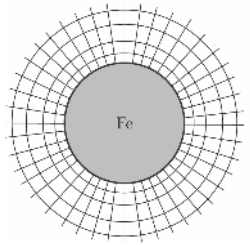


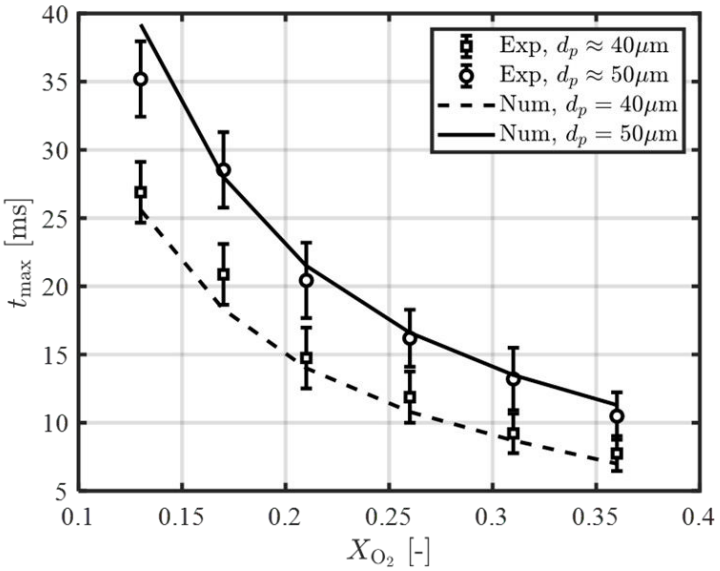


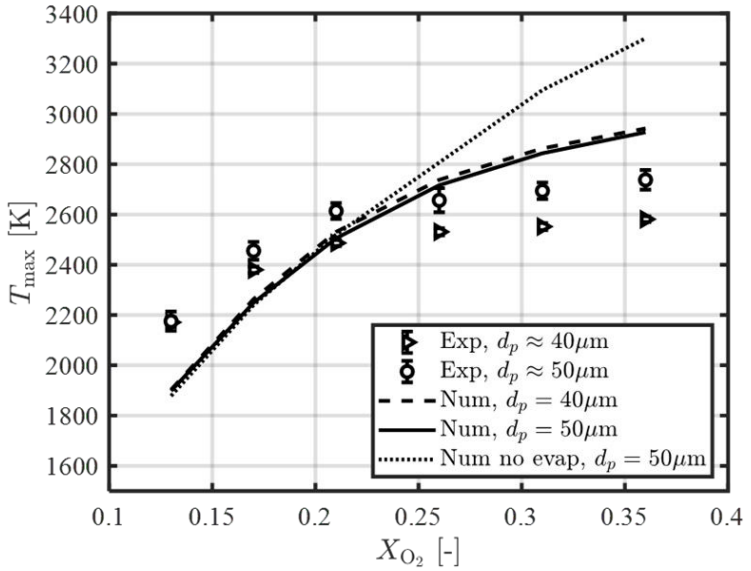
- Laser ontsteking, kleuren pyrometrie
- Smelten (1), verbranden (2), fase overgang (3)

Ning et al. (2021) Burn time and combustion regime of laser-ignited single iron particle, Combust Flame 230:111424

Eén-deeltjes modellering: resultaat (extern transport)







Fe → FeO model vergeleken met experiment:

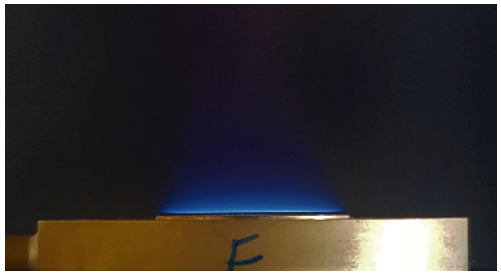
- Goede overeenkomst voor verbrandingstijd (links) & redelijke overeenst max temp (rechts)
- Verdamping van Fe & FeO meenemen om temperature overshoot te vermijden !
- Interne transport processes & verdere oxidatie naar magnetiet & hematiet nog meenemen

L.C. Thijs et al., Proc. Combust. Inst., 2022., https://doi.org/10.1016/j.proci.2022.07.044

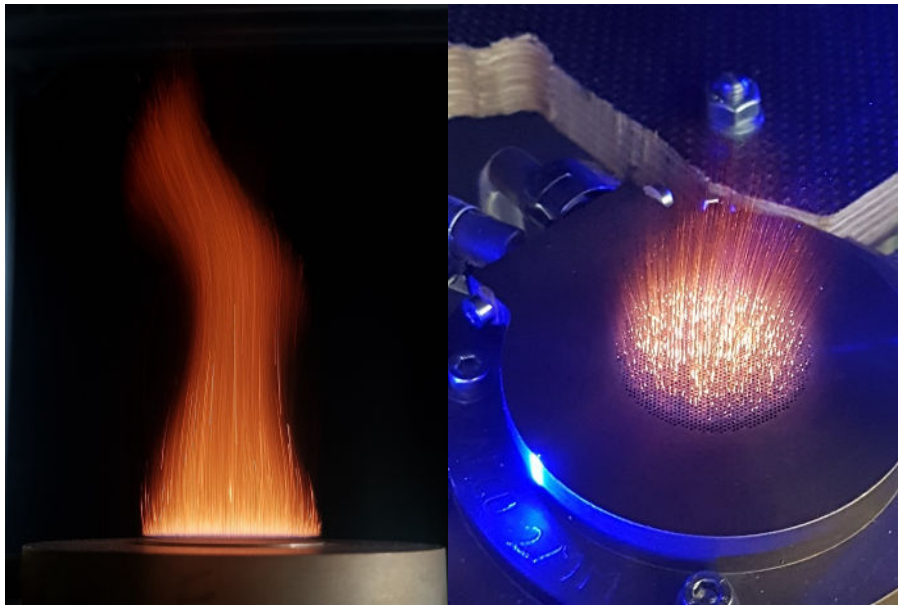
Vlam voortplaning door interparticle ontsteking: 1D vlammen ?

Doel: meten van adiabatic vlam snelheid van ijzer-lucht vlammen door Heat Flux Method

Methods: Heat Flux Brander



Vlakke methaan vlam

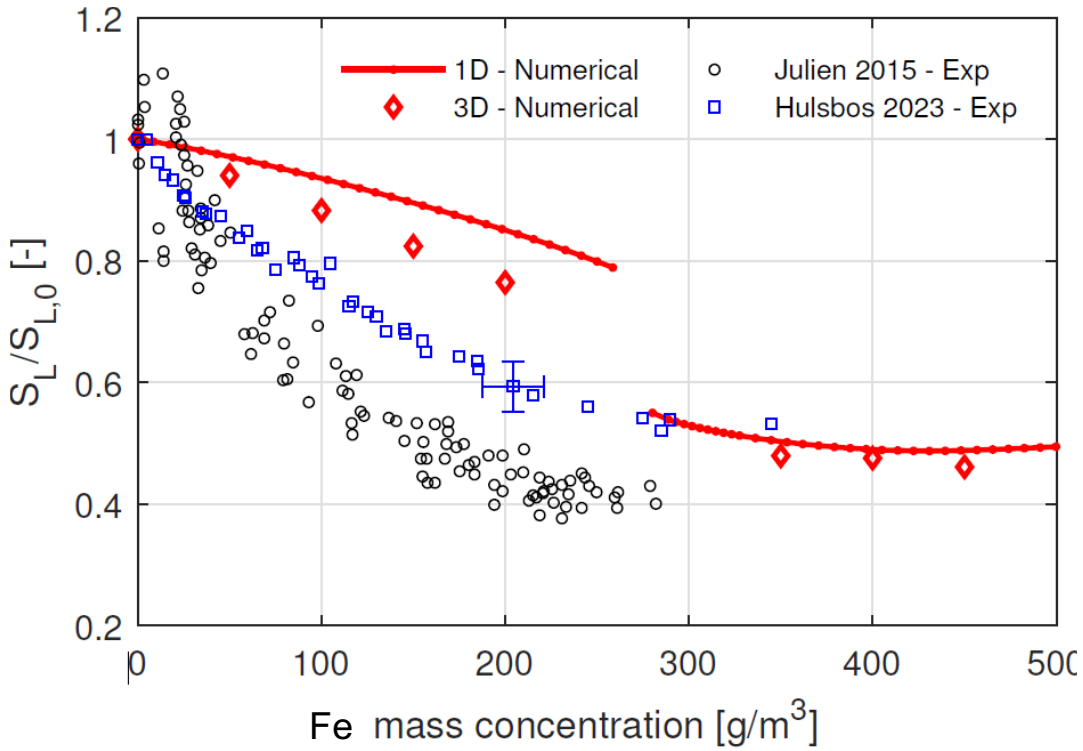


(Quasi-) vlakke hybride methaan-ijzer vlam.

Set-up and images: ir. M. Hulsbos

Hybride CH4 – Fe lucht vlammen – Verbrandings Snelheid

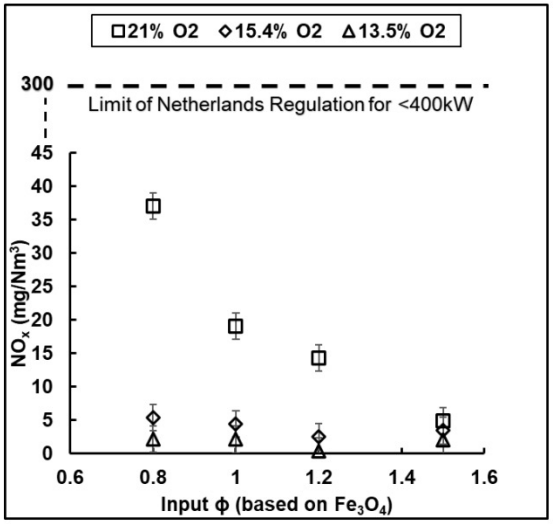
- Veel Fe: ijzer domineert
- Weinig Fe: CH_4 domineert
- Fe heeft negatief kinetisch effect op S_L
- Mechanisme nog niet begrepen
- Weinig Fe: 1D aanname niet okay !

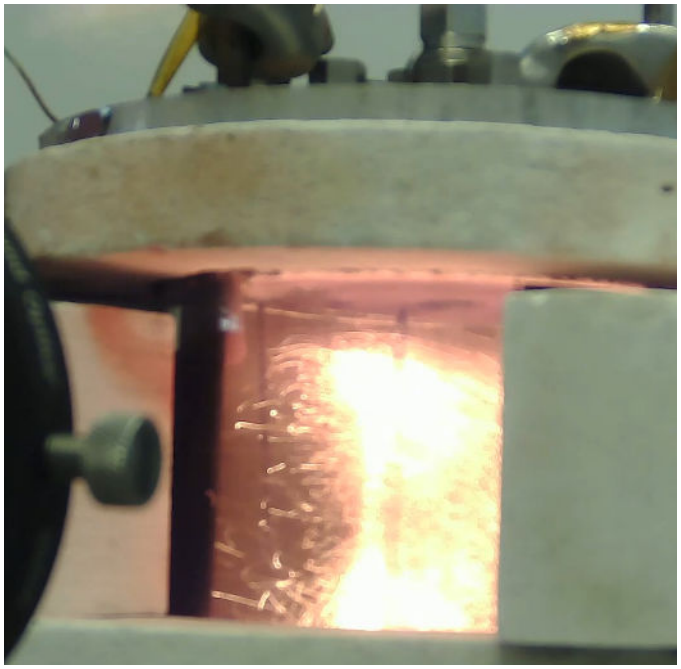


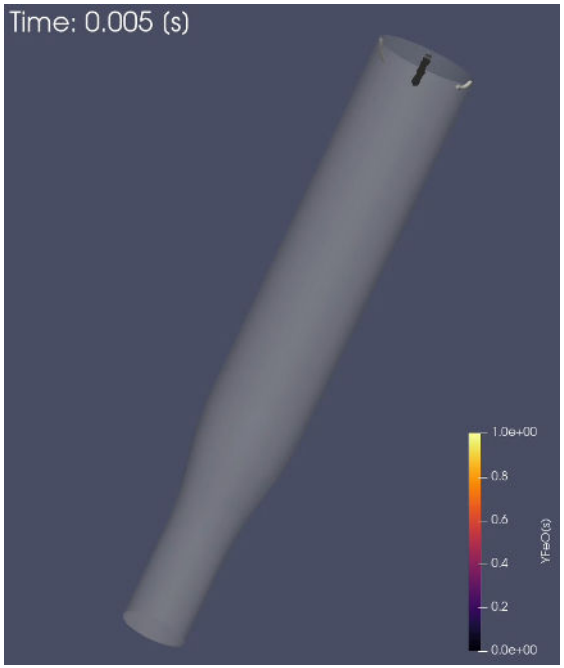
Semi-practische Brander: 5 kW

Tornado/ ICONIC brander

- veelbelovend
- Verbranding stabiel/geen pilot
- erg lage emissies
- Modelering verbeteren

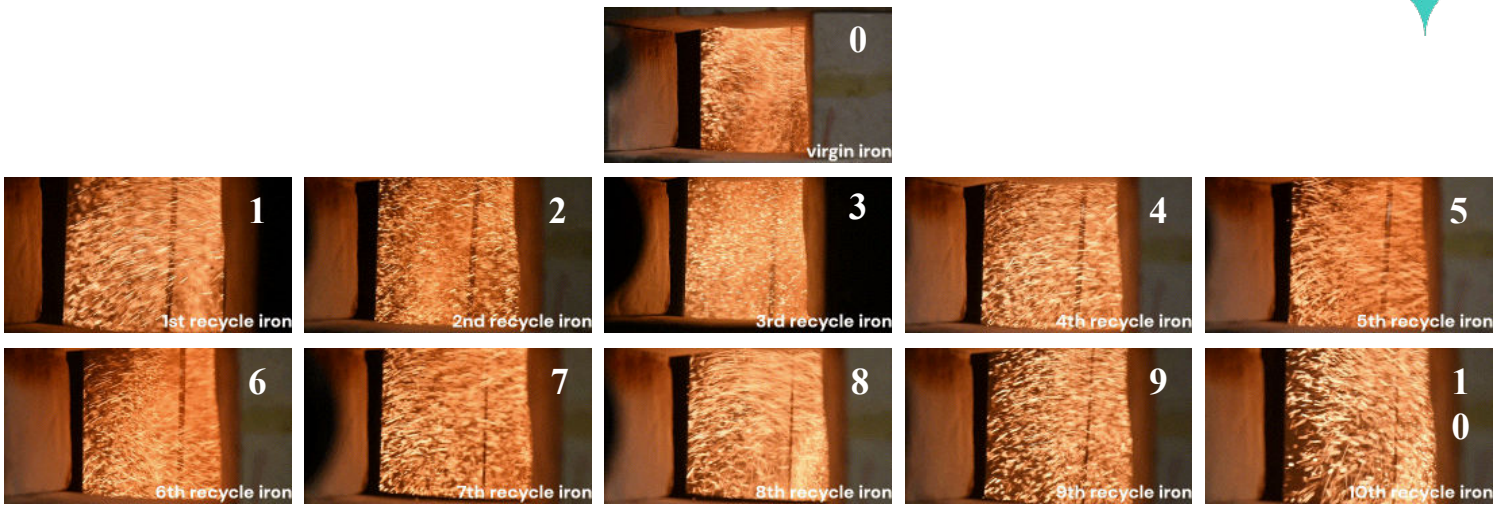




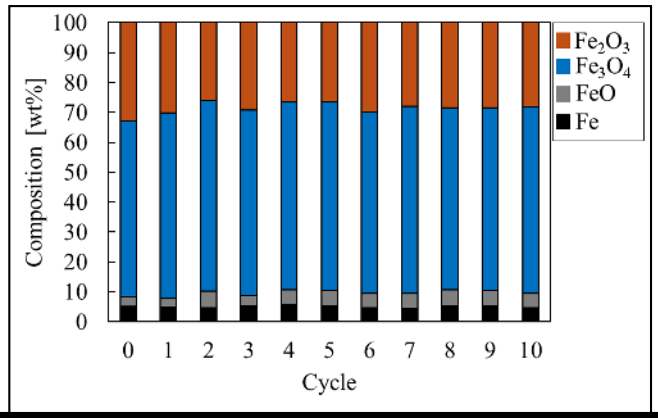


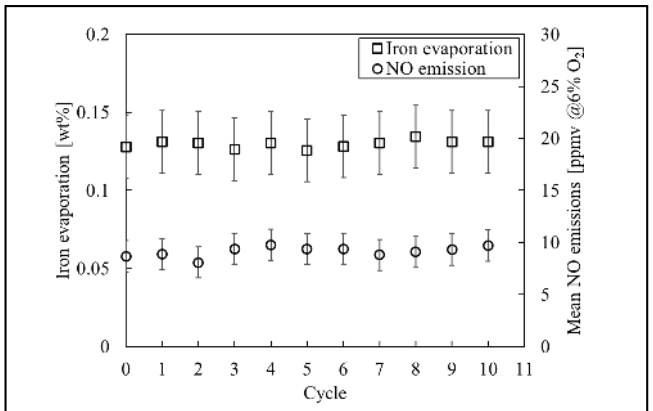
Original set-up design: T. Spee. Current images and improved set-up: dr. M. Baigmohammadi. Simulations: G. Ramaekers

10 opeenvolgende Verbranding - Reductie cycles



- Reductie: Fluid Bed reactor
- Vergelijkbaar vlamgedrag
- Product samenstelling zelfde
- Lage NO < 10 ppm
- Lage verdamping: ~ 0.15%







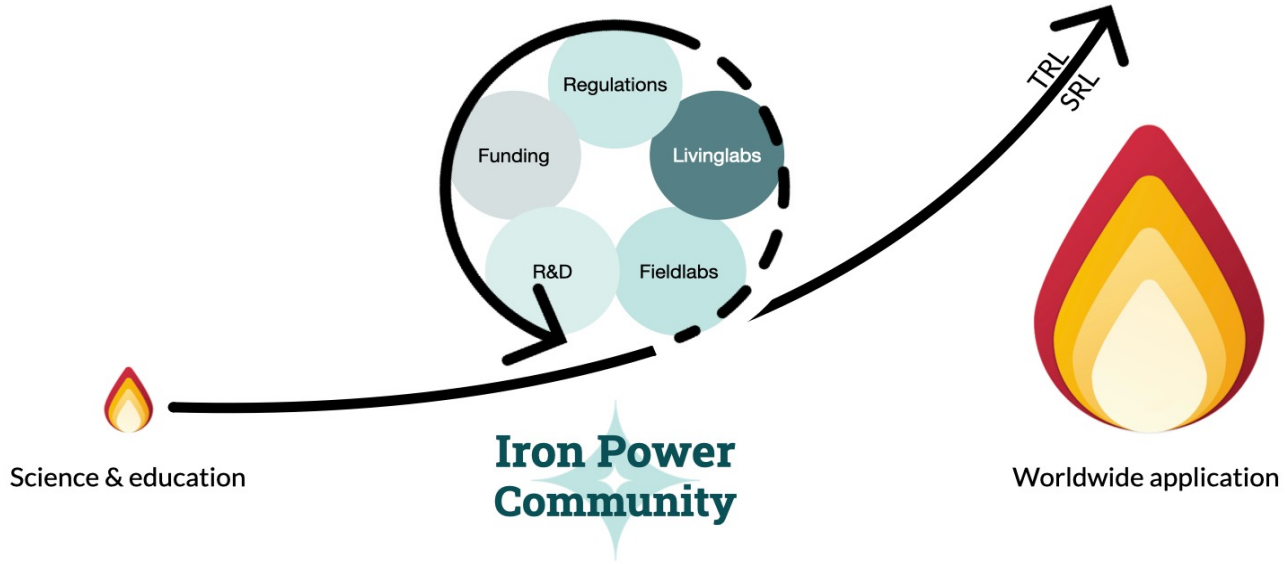
Metalot: link tussen Universiteit en markt

11-11-2026

Metalot: de globale Iron Power Community bouwer

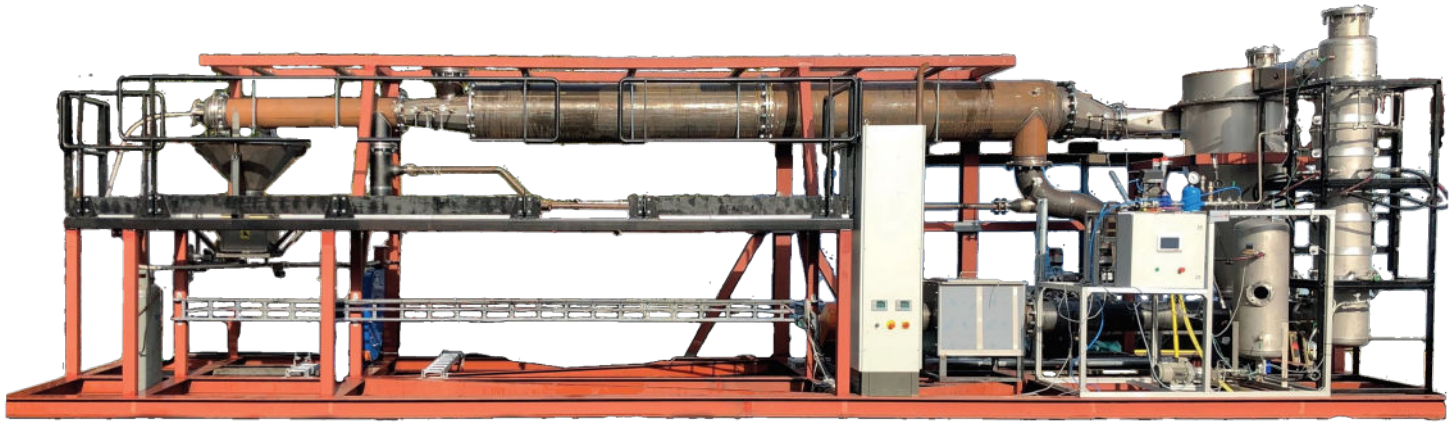
Only together we can make this work

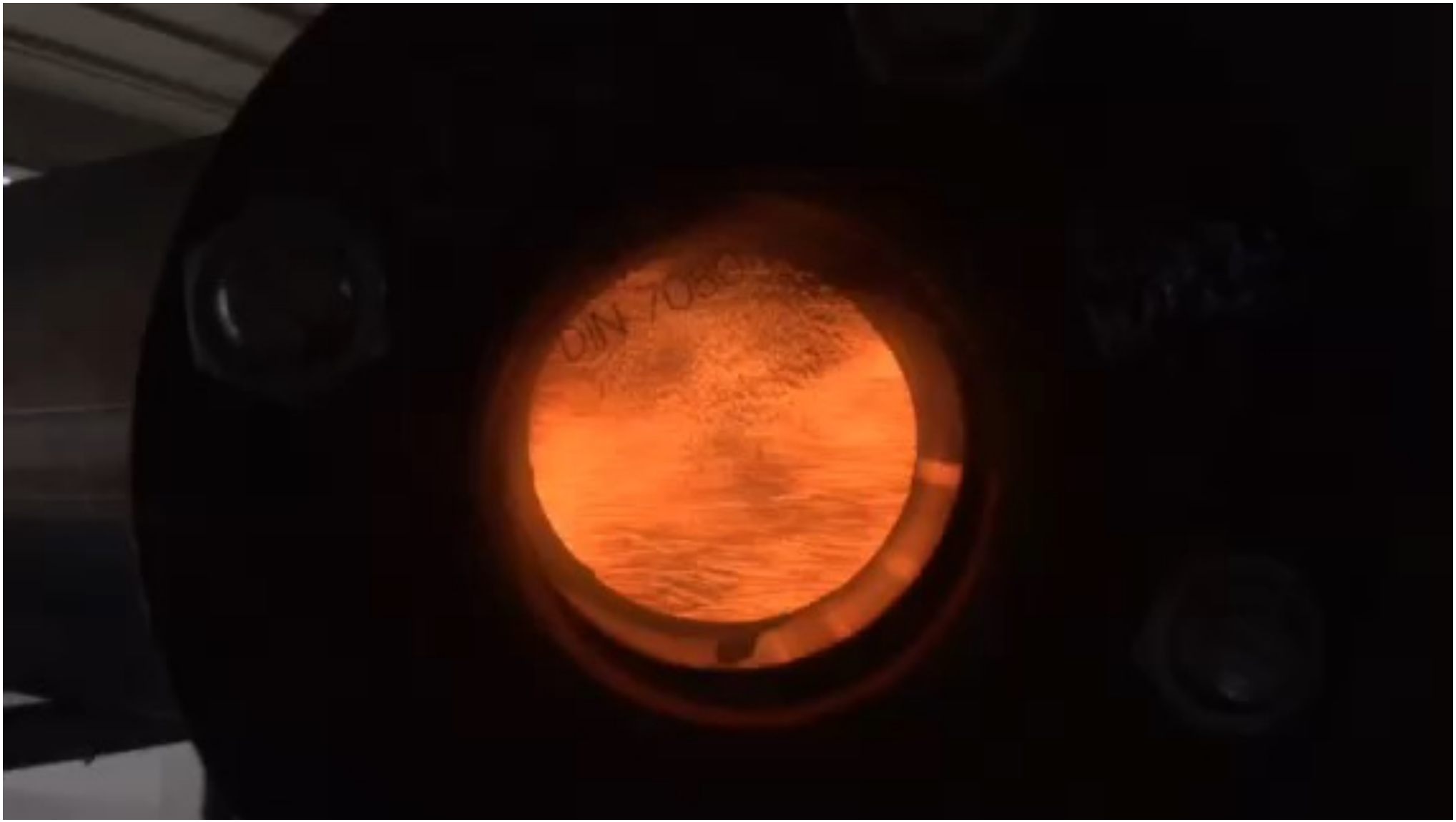
As the driving force of the Iron Power Community, we benefit from a continuously growing community in which every participant accepts our independent, advisory and connecting role aimed at making Iron Power technology viable and strengthening the bridge from the academy to the market, where market parties can pick it up.



Opschaling voor toepassing in industrie: MP100

- **MP100 (2019-2021)**: **100 kW** ijzerpoeder boiler systeem gedemonstreerd door het ‘Metal Power Consortium’ bij Royal Swinkels Brouwerij



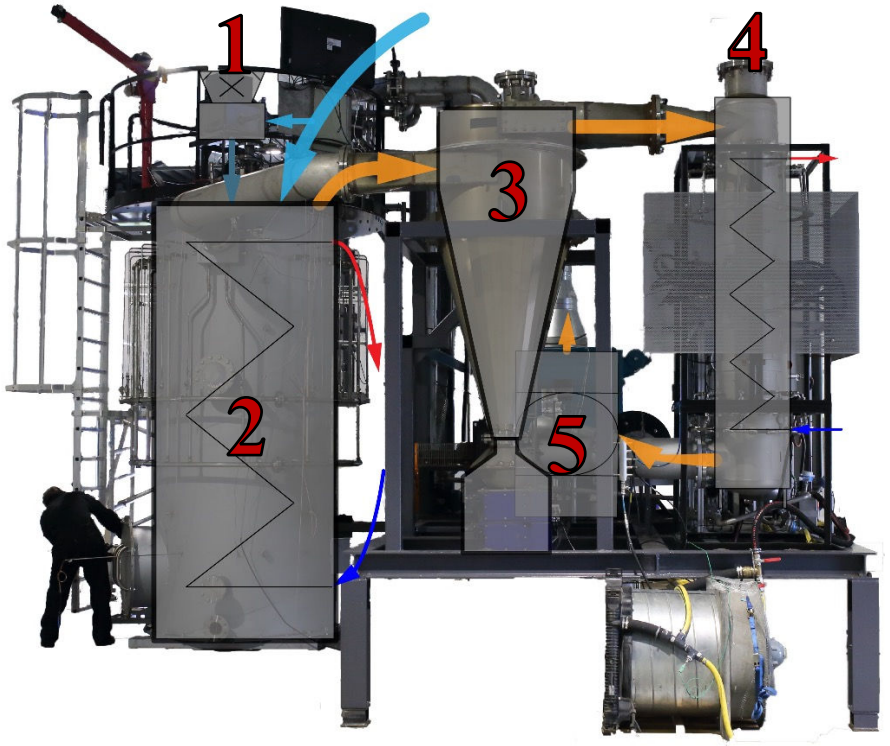


Opschaling voor toepassing in industrie: MP500

- **Tweede demonstratie MP500 (2021-2023)**: **1MW brander van** Iron+ sustainable energy **500 kW** ijzer poeder boiler

1. Poeder dispersie systeem
2. Verticale brander
3. Cycloon
4. Secondaire boiler
5. Oxide opvang





MP500: status nu

- > 1MW brander in 500 KW boiler (groene stoom voor bier brouwers proces)
- Goed controlleerbarheid (verticale verbranding zonder waakvlam, vlam zichtbaar op diverse hoogtes)
- Geen sintering, minimale depositie, poedervorm > makkelijk schoon te maken op oplosbaar met minimale ontwerp aanpassingen
- Verwaarloosbaar verlies als gevolg van nano oxides (HEPA filter blijft vrij schoon)
- Erg lage NOx
- Verbeterde conversie tijdens duur test bij Swinkels in 2023 (max ~ 84%)
- Poeder ‘groeit’ in grootte → circulariteit nog te testen



Iron+ sustainable energy

Regeneratie Systemen: Reactor Systemen







Fluidised Bed (RIFT) | **Drum (Pometon/IRON+)** | **Entrained Flow (EMGroup)**

600°C — 800°C — 1100°C — 1400°C

metalot

TU/e

Huidige status R&D & Technologie

- TU/e EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY — Goede kennis basis → numerieke modellen & experimenten kleine schaal
- TU/e EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY — Goede praktische kennis → 5 KW ICONIC brander met lage emissies
- RIFT & Iron+ — Scale-ups staan er goed voor(TRL6-8), *demonstreren reductie & cycliciteit*
- metalot — Ontwikkeling locale & globale ecosysteem & wereldwijde community
- Zeer grote interesse 6e cluster industrie (zonder H2 & lastig te electrificeren)

Huidige status R&D & Technologie

Publikaties in 2025/2026

- RIFT: Eerste commerciele contract met Kingspan (Gemert, 2028)

  https://www.ed.nl/eindhoven/eerste-ijzerketel-bij-isolatiefabrikant-uitstootvermindering-vergelijkbaar-met-250-000-bomen~ae8a4001/

- Metalot: eerste Metalot HOLON in Budel/Noordwijk (2026-2027)

  https://www.ed.nl/cranendonck/energie-uit-ijzerpoeder-metalot-wil-met-eerste-project-in-budel-netproblemen-omzeilen~ad641c32/

- RIFT haalt 117 Meuro op voor reductie fabriek in Antwerpen/Rotterdam

RIFT haalt 114 miljoen op voor s werelds eerste commerciele ijzerbrandstofproject | PGGM

Grote-schalige implementatie nog steeds ver



Metalot: Ontwikkeling van het globale Metal Power Platform

11-11-2026

Metalot is verbonden met allen

International community vormt zich snel & groeit snel in Europa en daarbuiten

Start-ups: RIFT, IRON+, Eyzore, ClariTE, Ferron, Fenix, Hyiron, GH Power, Fex, Altiro, Ferruvia

'Brainport' consortium staat: Metalot, TUe, TNO, RIFT, IRON+, Eyzore, ClariTE & vele partners

Onderzoek & Innovatie

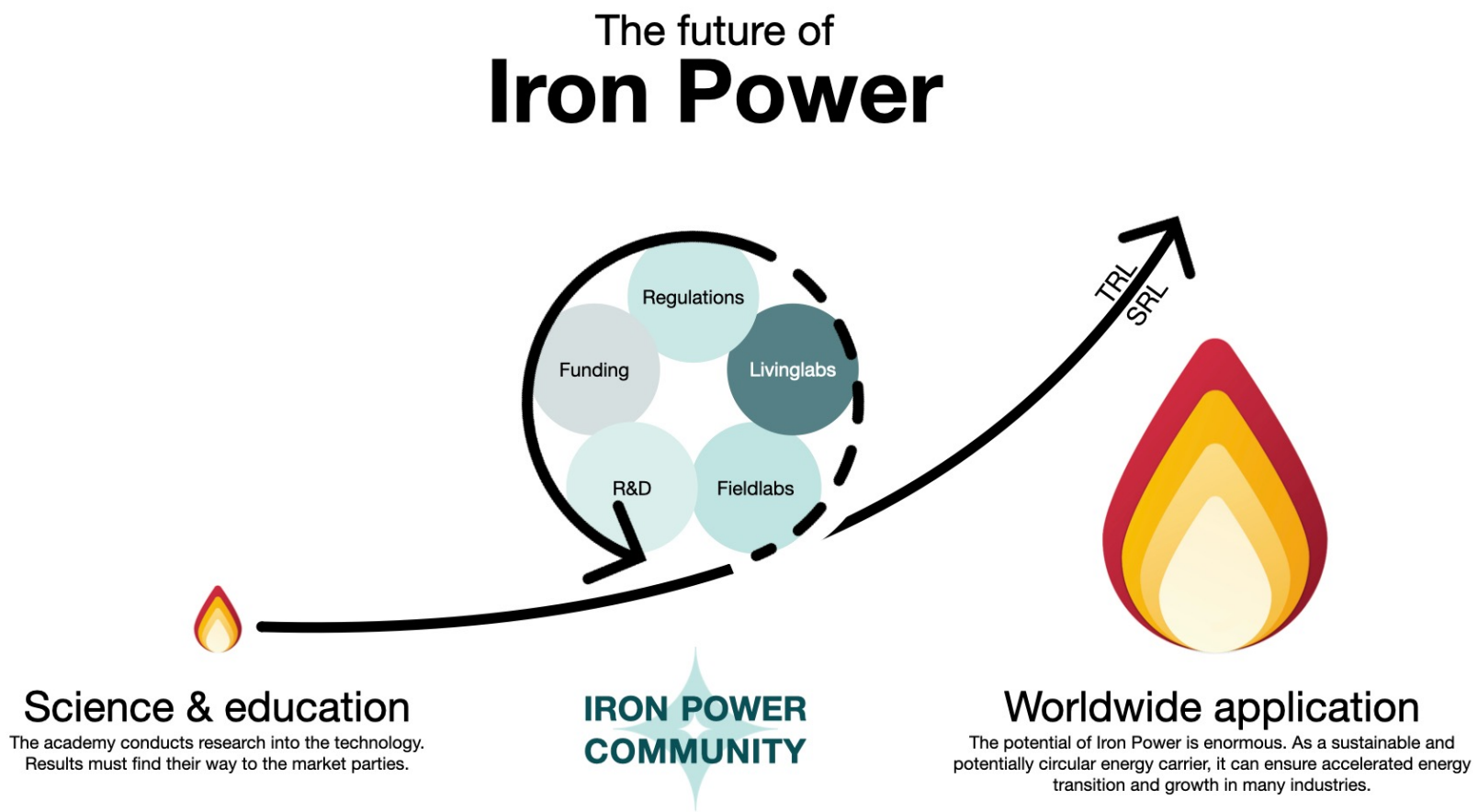


Wereldwijde applicatie



metalot

Verbindende rol van Metalot

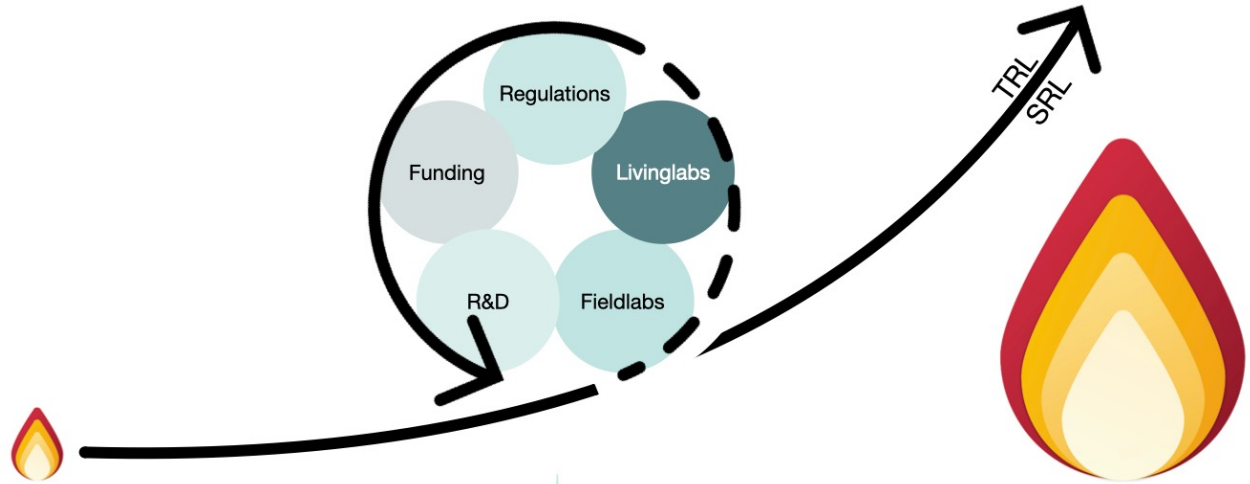


Metal Power Platform

Standardization and legislation/regulations
Knowledge assurance and sharing
Community building
Projects (from academic to pre-commercial)

metalot

The future of
Iron Power



Science & education

The academy conducts research into the technology. Results must find their way to the market parties.

IRON POWER COMMUNITY

Worldwide application

The potential of Iron Power is enormous. As a sustainable and potentially circular energy carrier, it can ensure accelerated energy transition and growth in many industries.


Rollen Metal Power Platform

Rollen & Activiteiten ter ondersteuning uitrol

- Ontwikkelen tot een erkende energiedrager: '**groen ijzerpoeder**'
- Oplossing van **bottlenecks in wet/regelgeving**, zowel in NL als EU niveau
- **Standaardisatie** van poeders en processen (i.s.m. NEN)
- **Pilots en demo's** om technologie te demonstreren in de Maatschappij
- **Ontwikkelen van R&D plan en roadmap** voor de community
- Opzetten **investerings structuren** en **governance structuur** valideren
- **Brede ondersteuning van overheid (KGG) is noodzakelijk en zeer gewaardeerd !!**

Concluderende Samenvatting

- Iron Power Cycle: tbv energie opslag & transport, complementair met waterstof/ammonia
- Iron power is veelbelovend, schoon, compact en betaalbaar
- Tbv de iron power technologie is een brede kennisbasis voorhanden
- Technologie ontwikkeling gaat snel
- Opschaling voor de industriele praktijk komt eraan
- Eerste 2 start-ups RIFT & IRON+ hebben brede interesse, globale > 10 start-ups
- Iron Power Consortium in Brainport is op weg naar volgende fase

Laten we starten met de

NIEUWE IJZERTIJD

Dank

Financiering:

- European Research Council (ERC) onder het EU Horizon 2020 research and innovation program Grant agreement No. 884916
- NWO Grant agreement No. 17688
- China Scholarship Council (CSC) Grant agreement 201806160050
- Op-Zuid (stimulus) Grant agreement No. PROJ-02594
- Province Noord-Brabant Grant agreements No. C2255267/4615563 and C2236274/4446537
- EU Horizon 2020 research and innovation programme onder het CoEC project, grant agreement No 952181



TU/E TEAM ON IRON COMBUSTION & REDUCTION

Thank you!

- Niels Deen
- Benedicte Cuenot
- Jeroen van Oijen
- Michael Golombok
- Nico Dam
- Giulia Finotello
- Yali Tang
- Tess Homan
- Xiaocheng Mi
- Yuri Shoshyn
- Rob Bastiaans
- Roy Hermanns
- Giel Ramaekers
- Mohammadreza Baigmohammadi
- Swagnik Guhathakurta
- Daoguan Ning
- Mark Hulsbos
- Aravind Ravi
- Leon Thijs
- Muhammed Abdallah
- Helen Prime
- Toos van Gool
- Willie Prasida
- Niek van Rooij
- Victor Kornilov
- Jesse Hameete
- Conrad Hessels
- Akmal Irfan Majid
- Nicole Stevens
- Shyam Hemamalini
- Thijs Hazenberg

- Team SOLID
- and many BSc/MSc students

& Thanks to all my colleagues at Metalot and its partners !

metalot TU/e EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY