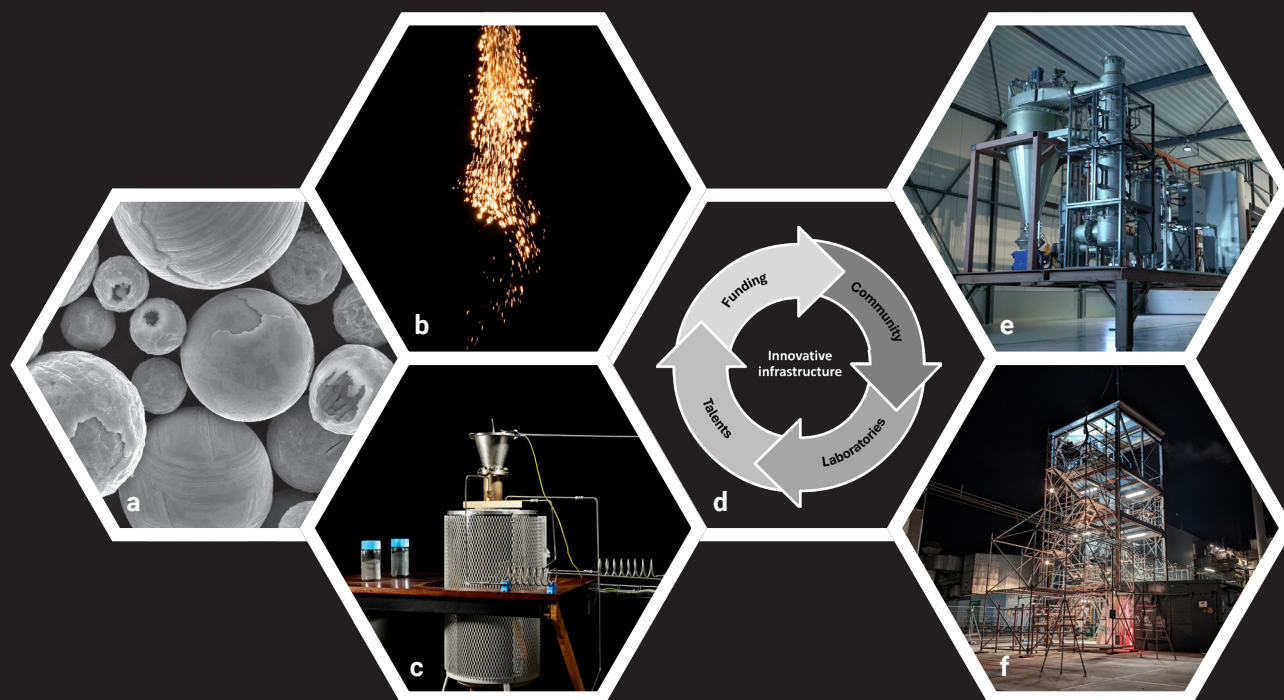




Het is tijd voor Circulaire Energie

Het is tijd voor **Iron Power**



Inhoudsopgave

1. SAMENVATTING	5
2. STRATEGISCHE ONDERBOUWING	6
2.1 PROBLEEMSTELLING	6
2.2 KANS	10
2.3 UITDAGINGEN	14
2.4 DOEL	16
2.5 VOORGESTELDE OPLOSSING	17
2.6 SUBSIDIARITEIT EN FLANKEREND BELEID	23
3. ACTIVITEITENPLAN EN SAMENWERKING	24
3.1 ACTIVITEITENPLAN	25
3.2 PLANNING EN FASERING	38
3.3 MONITORING & EVALUATIE	39
3.4 PLANSPECIFIEKE RISICO'S	39
3.5 JURIDISCHE UITVOERBAARHEID	40
3.6 SAMENWERKING EN GOVERNANCE	42
4. FINANCIËLE ONDERBOUWING	47
4.1 BEGROTING	47
4.2 OPTIMALE BEGROTINGSMIX	47
4.3 ONDERBOUWING FINANCIERING EIGEN AANDEEL	49
4.4 NIET STRUCTUREEL	50
5. BIJDRAGE AAN DUURZAAM VERDIENVERMOGEN	51
5.1 ONDERBOUWING ECONOMISCHE EFFECTEN	51
5.2 ONDERBOUWING MAATSCHAPPELIJKE EFFECTEN	52

Afbeeldingen cover:

- a IJzer oxide deeltjes (Photo: Conrad Hessels, Technische Universiteit Eindhoven)
- b Turbulente ijzer vlam (Photo: Bart van Overbeeke, Technische Universiteit Eindhoven)
- c Wervelbed reactor (Photo: Bart van Overbeeke, Technische Universiteit Eindhoven)
- d Metalot's concept van de innovatieve infrastructuur (Metalot)
- e Geïntegreerde 500kW ijzer brander en boiler van het "Lighthouse Metal Power" consortium (Photo: Bart van Overbeeke, Technische Universiteit Eindhoven)
- f Industriële schaal regeneratie plant (Photo: RIFT Development B.V.)

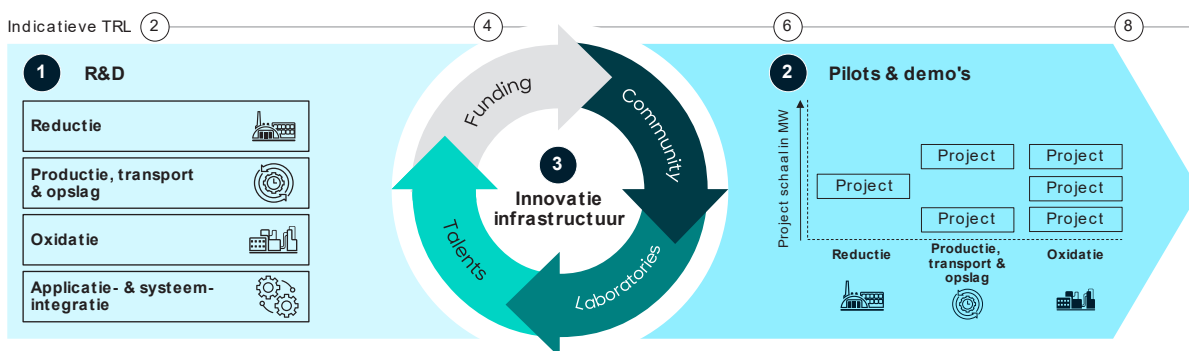
1. SAMENVATTING

Het Iron Power programma			
Naam indieners	Eindhoven University of Technology (TU/e), TNO, Metalot, RIFT, Iron+		
Projectduur	10 jaar (2025 tot en met 2034)		
Terrein	Onderzoek, ontwikkeling & innovatie		
Totale investering (mln. euro)	Gevraagde bijdrage NGF (mln. euro)	Bijdragen van andere partijen (mln. euro)	
395	156	Wv. Publiek 33 (incl. verdienmodel)	Wv. Privaat 206

Er is een wereldwijde energiecrisis en tekenen van klimaatverandering worden elke dag zichtbaarder. De wereld stelt duurzaamheidsdoelen om de opwarming van de aarde te beperken en de energietransitie in de industrie te versnellen. Omdat energie-intensieve industrieën moeilijk of zelfs niet te elektrificeren zijn, zijn alternatieve energiebronnen nodig. Het aanbod daarvan – zoals waterstof – zal echter (bij lange na) niet toereikend of lokaal beschikbaar zijn om aan de energievraag te voldoen. Het **Iron Power programma** heeft de ambitie om de **Iron Power technologie en waardeketen te bewijzen** en **beschikbaar te maken** als decarbonisatie-oplossing voor energie-intensieve industrieën. Het programma versnelt de transitie van de energie-intensieve industrie, bouwt een ecosysteem voor Iron Power technologie, verstevigt de Nederlandse en Europese vestigingsklimaat en strategische onafhankelijkheid, vermindert schadelijke emissies en ondersteunt de ontwikkeling van talenten en (nieuwe) bedrijvigheid.

Het Iron Power programma bestaat uit drie pijlers die elkaar versterken (zie Figuur 1):

- **R&D** waarin onderzoek- en ontwikkelingstrajecten worden uitgevoerd langs de waardeketen-thema's om bestaande technologieën te verbeteren en nieuwe technologieën te ontwikkelen
- **Pilots & demo's** waarin reeds (in onderzoek) bewezen technologieën worden getest in pilot- en demoprojecten totdat ze commercieel bewezen zijn
- Een **Innovatie infrastructuur** die services biedt om een Iron Power ecosysteem te bouwen (Community), partijen/projecten te ondersteunen bij technologieontwikkeling (Laboratories), talenten te onderwijzen in Iron Power (Talents) en innovators in contact brengen met financiers (Funding).



Figuur 1: Strategie - Het Iron Power programma

De benodigde investering over 10 jaar is EUR 395 m, waarvan EUR 156 m wordt gevraagd vanuit het NGF.



Nederland kan wereldleider worden in Iron Power technologie en daardoor grote economische, strategische en duurzaamheidsimpact realiseren. Het ontwikkelen en beschikbaar maken van Iron Power systemen door Iron Power *champions* en door het leveren van Iron Power energie aan bedrijven (o.a. in Cluster 6) leidt tot structurele economische groei. Daarnaast zorgt het programma voor grotere strategische importonafhankelijkheid van traditioneel energievoorzienende landen en een verbeterde leefomgeving door lagere emissies.

Het Iron Power programma wordt gerealiseerd door een sterk kernconsortium van leidende partijen – Technische Universiteit Eindhoven, TNO, Metalot, RIFT en Iron+ – in samenwerking met vele publieke en private partners zoals Veolia, Ennatuurlijk, AsfaltNu en Kingspan.

2. STRATEGISCHE ONDERBOUWING

2.1 PROBLEEMSTELLING

De wereld heeft energiedragers nodig voor langeafstandstransport en gedecentraliseerde opslag om de energietransitie te versnellen en de toekomstige energiemix aan te vullen.

Abstract – *Ijzerpoeder is een schone, veilige en kosteneffectieve energiedrager voor langeafstandstransport en opslag. Het kan een cruciale rol spelen in de energietransitie door deze te versnellen en moeilijk te decarboniseren industrieën een groene optie te bieden. Daarnaast kan het dienen als strategische (seizoens-)energieopslag.*

Aangezien de vraag naar hernieuwbare energie in Noordwest-Europa de lokale groene energieproductie zal overtreffen, investeren landen zoals Nederland in de import van groene moleculen en de ontwikkeling van een waterstofnetwerk om industriële clusters met elkaar te verbinden. Echter, zullen groene moleculen en de ontwikkeling van een waterstofnetwerk (bij lange na) niet toereikend of lokaal beschikbaar zijn om aan de vraag te voldoen. Bovendien zullen niet alle industriële clusters, zoals Cluster 6 in Nederland, zich in de nabijheid van het waterstofnetwerk bevinden. Daarom is het van essentieel en strategisch belang voor Nederland om de waterstofstrategie aan te vullen met alternatieve decarbonisatie-oplossingen: duurzame energiedragers die belangrijke industrieën kunnen aandrijven (het gebruik), energie over lange afstanden kunnen transporteren (import), energie regionaal kunnen transporteren (lokale distributie) en strategisch grootschalige en lokale energieopslag mogelijk kunnen maken (opslag).

Ijzerpoeder is een uiterst veelbelovende, schone en efficiënte alternatieve energiedrager. Het biedt een kosteneffectieve oplossing voor langeafstandstransport, decentrale opslag en toepassingen die hoge proceswarmte vereisen. Door industrieën in Nederland en andere landen te decarboniseren, kan ijzerpoeder een essentiële aanvulling zijn op de toekomstige duurzame energiemix.

Het Iron Power programma richt zich als eerste op implementatie in het industriecluster Cluster 6. Dit cluster bestaat uit industrieën die op zoek zijn naar een manier om hun hoogwaardige warmteprocessen te decarboniseren, zonder directe toegang tot het waterstofnetwerk, met minimale aanpassingen van bestaande industriële processen. Door samen te werken met bedrijven in dit cluster, zal het Iron Power programma de markt en logistieke keten opbouwen die vervolgens opgeschaald kan worden tot een strategisch onderdeel van onze energievoorziening. Met ijzerpoeder als veelbelovende energiedrager en het Iron Power programma als drijvende kracht, kunnen we zowel Nederland als Europa helpen om versneld een duurzame toekomst te bereiken, de strategische onafhankelijkheid te versterken en het vestigingsklimaat te bevorderen.

In 2050 en zelfs daarna zal de groene energieproductie in Noordwest-Europa ontoereikend zijn om aan de vraag te voldoen of om energie-intensieve industrieën te decarboniseren.

Naarmate de tekenen van klimaatverandering steeds zichtbaarder worden in het dagelijks leven, neemt de vraag naar duurzame, koolstofvrije energieoplossingen toe. Decarbonisatie doelstellingen op elk bestuursniveau – zoals de Klimaatovereenkomst van Parijs, de EU's Fit for 55-initiatief, en het nationale Klimaatakkoord in Nederland¹ - zijn vastgesteld om de opwarming van de aarde tegen te gaan. Geopolitieke onrust, zoals de oorlog in Oekraïne, heeft inspanningen versterkt om deze doelstellingen te bereiken met energieoplossingen op nationaal niveau en import van diverse markten. De hernieuwbare energieproductie in Noordwest-Europa zal voornamelijk bestaan uit windmolenparken in de Noord- en Oostzee. Zelfs als alle Nederlandse plannen en ambities werkelijkheid worden, zal de productie van hernieuwbare elektriciteit in 2050 (>150 GW²) niet in staat zijn om aan de totale elektriciteit consumptie te voldoen. Hoewel zonne-energie (gecentraliseerd en gedecentraliseerd) mogelijk het tekort kan opvullen, zal dit slechts seizoensgebonden zijn en zal de energieconsumptie nog steeds de productie overtreffen in de herfst- en wintermaanden. De urgentie wordt verder vergroot door eindgebruikstoepassingen die niet kunnen worden geëlektrificeerd. Toepassingen zoals glas- en baksteenproductie vereisen hoge temperatuur warmte, waardoor elektrificatie complex is en in de meeste gevallen vrijwel onmogelijk. Groene moleculen, zoals waterstof, zullen een sleutelrol moeten spelen bij het brengen van hernieuwbare energie naar deze industrieën (zie Figuur 2), en het wereldwijde pijplijnnetwerk voor grootschalige groene moleculen met exportpotentieel breidt zich snel uit. Aangezien niet-elektrificeerbare en energie-intensieve industrieën een groot deel van de Nederlandse economie vormen (door bedrijven zoals TATA Steel en Shell), neemt Nederland een sterke positie in binnen de wereldwijde waterstofeconomie door de uitrol van onshore en offshore waterstofproductieprojecten. Zo heeft het Nationaal Groeifonds (NGF) steun toegekend aan "Groenvermogen" om een groene waterstof hub en een waterstofnetwerk te realiseren. Echter, zelfs als alle plannen en ambities met betrekking tot schone waterstof in Nederland werkelijkheid worden, zal de verwachte consumptie tegen 2050 de productie met wel 6-7 Mton overschrijden³.

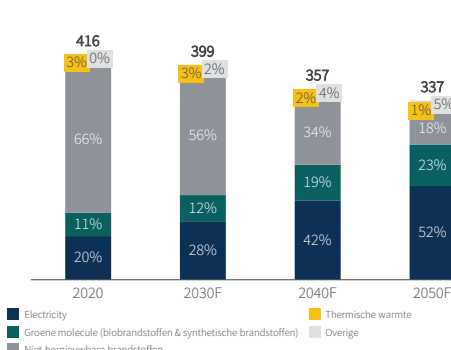
¹ Rijksoverheid – Klimaatakkoord (2019, <https://www.klimaatakkoord.nl/documenten/publicaties/2019/06/28/klimaatakkoord>)

² Tennet – Adequacy Outlook (2023, https://tennet-drupal.s3.eu-central-1.amazonaws.com/default/2023-05/TenneT_Adequacy%20Outlook_2023_publ.v1.2.pdf)

³ Royal HaskoningDHV, Roland Berger - MAKING THE HYDROGEN MARKET (2022)

Binnen de energietransitie wordt niet verwacht dat alle energieverbruik geëlektrificeerd zal worden – Groene moleculen zullen een belangrijke rol vervullen binnen niet-elektrificeerbare industrieën

Totale wereldwijde energieverbruik, NZE¹⁾ scenario [EJ]



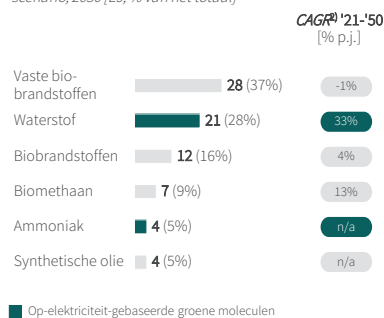
1) Net zero energy; 2) Compound annual growth rate

Niet-elektrificeerbare industrieën, voorbeelden potentiële gebruiksscenario's



Op elektriciteit gebaseerde moleculen zullen na 2050 tot de dominante groene moleculen behoren

Wereldwijde productie van groene moleculen, NZE¹⁾ scenario, 2050 [EJ, % van het totaal]

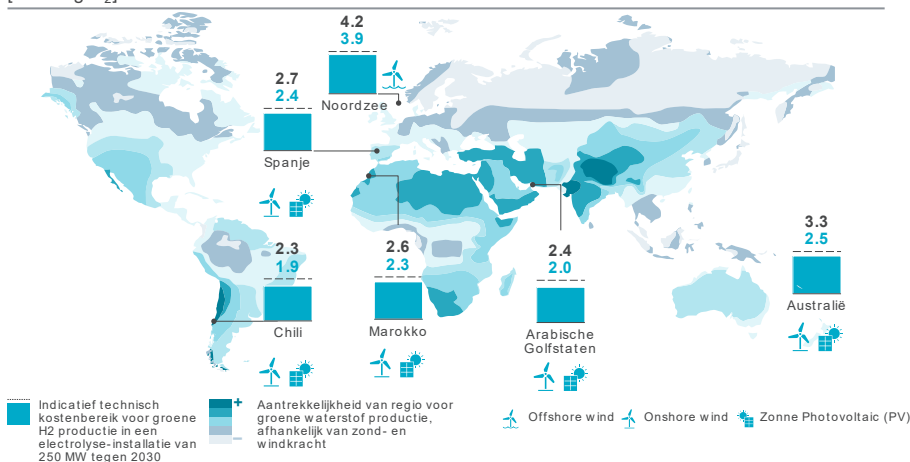


Figuur 2: De wereldwijde energieconsumptie en de behoefte aan groene moleculen voor niet-elektrificeerbare oplossingen⁴

Als Nederland grote industrieën wil decarboniseren, is import van grote hoeveelheden groene energie nodig en moeten we in staat zijn om deze energie lokaal op te slaan en te transporteren naar de benodigde locaties.

De import van groene moleculen zal komen uit regio's met lage waterstof productie kosten (LCoH). Veel van deze landen bevinden zich in het Midden-Oosten (zie Figuur 3), geografisch ver van Nederland, en dus is langeafstandstransport vereist. Hoewel Nederland en Europa zwaar investeren in een waterstofnetwerk om industriële clusters met elkaar te verbinden, zal niet elk industrieel bedrijf hierop aangesloten worden. In Nederland is bijvoorbeeld Cluster 6 een grote groep productielocaties verspreid over het land, die verschillende energie-intensieve industrieën omvat. Vanwege de geografische spreiding van de bedrijven in het cluster kunnen deze fabrieken niet worden aangesloten op de voorgestelde waterstofnetwerk (zie Kader 1). Naarmate het duurzaamheidsbeleid intensiever wordt, zullen bedrijven in Cluster 6 alternatieve bedrijfsvoering, verhuizing of zelfs sluiting moeten overwegen.

Lange termijn LCoH potentieel voor hybride opstellingen van zonne-energie en onshore wind [EUR/ kg H₂]



Figuur 3: Geschatte productie kosten voor groene waterstof, 2030^{5,6}

De afhankelijkheid van import van groene moleculen betekent niet alleen het binnenhalen van waterstof en de derivaten in Nederland, maar brengt ook de uitdaging met zich mee om het op de juiste momenten naar industriële faciliteiten te krijgen. Langeafstandstransport en regionaal transport moet worden aangevuld met lokale gedecentraliseerde opslagoplossingen of strategische grootschalige opslag die strategisch kan worden ingezet met de wisselende transport- en consumptie patronen. Gezien de uitdagende eigenschappen van waterstof (bijv. lage volumetrische energiedichtheid in vergelijking met aardgas), kan langeafstandstransport, opslag en regionaal transport zonder pijpleidingen inefficiënt en/of kostbaar worden en vaak nog niet getoond op relevante schaal. Daarom is het bedrijfsleven en academici op zoek naar duurzame energiedragers om industrieën die niet zijn aangesloten op het waterstofnetwerk van energie te voorzien – duurzame energiedragers die kosteneffectief kunnen worden gebruikt voor langeafstandstransport, regionaal transport en opslag.

⁴ IEA – Global Hydrogen Review (2022)

⁵ Roland Berger – Study (2023)

⁶ IEA – Global Hydrogen Review (2022)

Kader 1: Cluster 6 en de uitdaging van decarbonisatie

Cluster 6 is een groep van Nederlandse fabrieken die actief zijn in energie-intensieve industrieën, zoals voedsel, chemie, landbouw, metaal, steen, glas, keramiek, afvalverwerking en technologie. Deze fabrieken vallen buiten de vijf geografisch geconcentreerde industriële clusters in Zeeland, Noord-Nederland, Rotterdam-Moerdijk, Chemelot en het Noordzee-kanaalgebied. Cluster 6 heeft een jaarlijkse omzet van ongeveer 125 miljard euro en biedt werkgelegenheid aan meer dan 210.000 mensen (bron: Water Energy Solutions - CES Cluster 6). Opvallend genoeg is Cluster 6 verantwoordelijk voor ongeveer 30% van de totale CO₂-uitstoot in Nederland (CES Cluster 6 - 'Cluster Energie Strategie').

Deze niet-elektrificeerbare, energie-intensieve industrieën zijn actief op zoek naar manieren om hun productie te decarboniseren. Dit kan worden bereikt door oplossingen zoals koolstof afvang en -opslag (CCS) of de overgang naar waterstof als energiebron. De overgang naar waterstof brengt echter risico's met zich mee, aangezien deze fabrieken verspreid zijn over het land en niet kunnen worden aangesloten op het geplande waterstofnetwerk. Ze moeten zelf zorgen voor een continue aanvoer van waterstof. Vanwege hun verspreiding is het ook kostbaar en moeilijk om CCS-oplossingen te implementeren. De decarbonisatie-route voor Cluster 6 is daarom een uitdaging en nog niet duidelijk.

De energiedragers die momenteel worden onderzocht en ontwikkeld hebben allemaal complicaties wat betreft langeafstandstransport, opslag en/of regionaal transport, zoals veiligheid, efficiëntie of kosten en geopolitieke onzekerheden voor de korte en lange termijn.

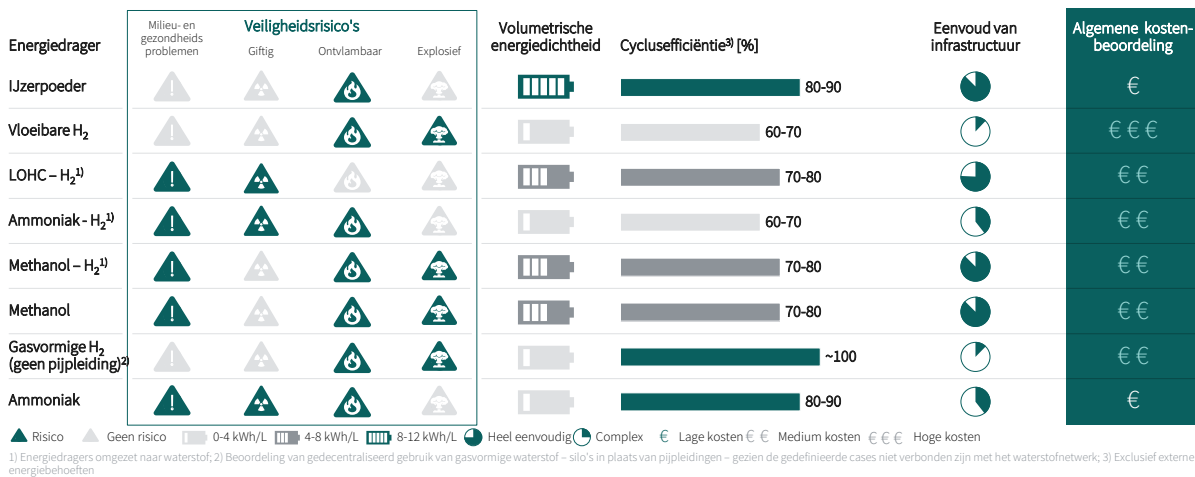
Er wordt veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden om waterstof om te zetten in andere duurzame energiedragers die per schip kunnen worden vervoerd en overzees kunnen worden opgeslagen voordat deze naar eindtoepassingen wordt getransporteerd (omgezet) en gebruikt. Idealiter voldoet een energiedrager aan de volgende criteria:

- Hoge volumetrische energiedichtheid [MWh/m³]: Om bestaande infrastructuur en transportoplossingen (zoals die voor aardgas) te blijven gebruiken, moet een energiedrager zoveel mogelijk energie bevatten in zo klein mogelijk volume.
- Veilig: In zijn natuurlijke vorm moet een energiedrager niet giftig, niet explosief en niet brandbaar zijn om veilig transport, opslag en behandeling te garanderen. Een energiedrager mag ook geen emissies veroorzaken die schadelijk zijn voor het milieu.
- Lage CAPEX en OPEX (eenvoudige infrastructuur): Een energiedrager mag geen extra en complexe faciliteiten of apparatuur vereisen voor transport, opslag of gebruik in eindtoepassingen, om kapitaal- en operationele kosten laag te houden.
- Hoge cyclusefficiëntie [% resterende energie voor gebruik in vergelijking met initiële energie]: Een energiedrager moet zoveel mogelijk van de initiële energie behouden gedurende het transport, de opslag en het gebruik.
- Energie kosten [EUR/MWh]: De kosten van een energiedrager moeten competitief zijn. De energie kosten omvatten het volledige proces van energieproductie tot het gebruik van de drager in een eindtoepassing.

Geen energiedrager voldoet aan alle criteria die nodig zijn voor een schone, veilige en kosteneffectieve oplossing voor energie-intensieve industrie (zie Figuur 4). Een overzicht van de huidige duurzame energiedragers met een hoog Technology Readiness Level (TRL) (de commerciële gereedheid van de technologie) omvat gasvormig waterstof, vloeibare waterstof, ammoniak, methanol en LOHC (liquid organic hydrogen carrier). De toekomstige energiemix zal in zekere mate afhankelijk zijn van al deze dragers, omdat elk van hen eigenschappen heeft die ze ideaal maken voor specifieke gebruikssituaties. Voor energie-intensieve en moeilijk te elektrificeren industrieën bieden de huidige dragers echter weinig voordelen. In deze context worden hieronder de belangrijkste nadelen van elk genoemd.

- Gasvormige waterstof heeft een lage volumetrische energiedichtheid, waardoor er een grote capaciteit nodig is om significante hoeveelheden energie van waterstof te transporteren en op te slaan. Dit maakt het niet geschikt voor scheepvervoer over lange afstanden en gedecentraliseerde opslag. Daarnaast is gasvormige waterstof ook zeer explosief en giftig, waardoor strenge veiligheidsmaatregelen nodig zijn voor apparatuur en procedures.
- Vloeibare waterstof heeft een iets hogere volumetrische energiedichtheid dan gasvormige waterstof, maar is erg duur om te transporteren vanwege de extreem lage temperatuur (-253 °C vs. -162 °C voor LNG), de hoge druk die nodig is om de vloeibare vorm te behouden en de nog hoge waterstofverliezen gedurende het proces.
- Ammoniak heeft ook een relatief lage volumetrische energiedichtheid bij lage temperaturen (hoewel hoger dan vloeibare waterstof), waardoor het niet alleen economisch minder aantrekkelijk is, maar ook technisch uitdagend voor langeafstandstransport. Daarnaast is ammoniak is ook zeer giftig en kan milieuproblemen en gezondheidsproblemen veroorzaken. Het oxidatieproces van ammoniak vereist bovendien hogere temperaturen en resulteert in schadelijke NO_x-emissies. Het is onwaarschijnlijk dat ammoniak in Europa zal worden gebruikt voor directe verbranding.
- Methanol vereist schaarse koolstofatomen op de conversielocatie, maar nog belangrijker is dat de conversie van waterstof naar methanol relatief inefficiënt is. De verbranding ervan resulteert ook in CO₂-emissies.

- **LOHC** moet worden omgezet in waterstof om het te kunnen verbranden, en om dus nuttig te kunnen zijn voor energie-intensieve industrieën. Er zijn ook zorgen over giftigheid, milieuproblemen en gezondheidsproblemen die hiermee gepaard gaan.



Figuur 4: Vergelijking van duurzame energiedragers in langeafstandstransport en opslag ten opzichte van waterstof⁷

IJzerpoeder is een schone, relatief veilige en kosteneffectieve energiedrager die de energietransitie mogelijk kan maken voor industrieën die moeilijk te decarboniseren zijn.

Door waterstof te laten reageren met ijzeroxide ontstaat er een metaal-brandstof die bekend staat als ijzerpoeder (zie Kader 2). IJzerpoeder is ideaal als energiedrager voor langeafstandstransport, gedecentraliseerde opslag en directe verbranding in een eindtoepassing (zie Kader 2).

Kader 2: Metaal-brandstoffen en ijzerpoeder

IJzerpoeder is een type metaalbrandstof dat kan worden verbrand met zuurstof uit de lucht of kan reageren met water om chemische energie vrij te geven in de vorm van hoge-temperatuurwarmte (een proces dat oxidatie wordt genoemd). Na oxidatie kunnen metaalbrandstoffen door reductie weer worden omgezet naar hun oorspronkelijke vorm. De voordelen van metaalbrandstoffen zijn dat de oxidatie- en reductieprocessen van elkaar kunnen worden losgekoppeld, verbranding resulteert in lage directe emissies en bestaande infrastructuur (toepassingen met hoge temperatuur) kan worden aangepast om de metaalbrandstof te gebruiken. Hoewel er verschillende soorten metaalbrandstoffen zijn, zoals magnesium en aluminium, is ijzerpoeder het meest veelbelovend. IJzerpoeder kan duurzaam worden geproduceerd door reductie van ijzeroxide met waterstof, ijzeroxide is relatief eenvoudig te verkrijgen en verbranding levert temperaturen op die vergelijkbaar zijn met die van koolwaterstoffen.

De voordelen van ijzerpoeder als energiedrager zijn onder andere:

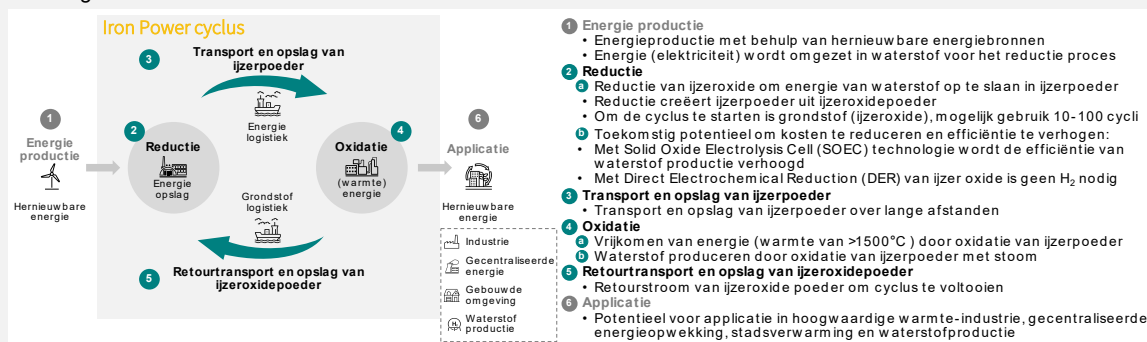
- Dat ijzerpoeder chemisch stabiel is bij kamertemperatuur in een omgeving met weinig zuurstof, waardoor het relatief veilig is en over het algemeen geschikt is voor het **gebruik van bestaande infrastructuur voor transport en opslag**.
- Daarnaast heeft ijzerpoeder een **hoge volumetrische energiedichtheid** (8-12 kWh/L) in vergelijking met andere duurzame energiedragers, waardoor het aantrekkelijk is voor langeafstandstransport en gedecentraliseerde opslag.
- IJzerpoeder kan **direct worden geoxideerd**, dit resulteert in hoogwaardige warmte (>1500 °C) die ideaal is voor toepassingen in energie-intensieve industrieën. Daarnaast kan het ook worden omgezet in waterstof in een cyclus genaamd 'natte-cyclus-oxidatie'.
- De conversie (reductie) en oxidatieprocessen resulteren in **geen directe uitstoot van CO₂, SO_x en lage NO_x uitstoot**.
- IJzerpoeder oxidatie-opstellingen (afgifte van hoge temperaturen) kunnen **off-grid gerealiseerd** worden (zonder hoogspanningsaansluiting), waardoor het inzetbaar is op locaties waar de net-congestie het elektrificeren bemoeilijkt.
- Het ijzer dat wordt gebruikt bij oxidatie kan worden **opgevangen en hergebruikt** (cyclabiliteit/circulariteit van materialen) in een nieuw cyclus (Iron Power cyclus). Bovendien is ijzer(oxide) een relatief veelvoorkomende grondstof in de aardkorst.
- In de context van hoogwaardige warmtetoepassingen in gebouwen of fabrieken die niet zijn aangesloten op het waterstofnetwerk, wordt verwacht dat de waardeketen van Iron Power (waterstofconversie, langeafstandstransport, gedecentraliseerde opslag, oxidatie bij eindtoepassing) **kosteneffectief** zal zijn.

⁷ Source: IRENA

Eerste onderzoeken geven ook aan dat **ijzerpoeder rechtstreeks kan worden geproduceerd** door elektrolyse van ijzeroxide, **zonder het gebruik van waterstof**. Deze technologie heet *Direct Electrochemical Reduction*

Kader 3: De Iron Power technologie

Ijzerpoeder is een metaal-brandstof die kan worden gebruikt als energiedrager voor energieopslag en -transport. De technologie van ijzerpoeder creëert een circulair systeem van energieopslag, -transport, -gebruik en -hergebruik dat industrieën kan helpen bij de energietransitie.



Figuur 5: Schematisch overzicht van het Iron Power cyclus

De Iron Power waardeketen bestaat uit vijf stappen:

- Stap 1:** Energieproductie - De waardeketen begint met de productie van waterstof door elektrolyse met hernieuwbare energie. De waterstof wordt kort opgeslagen voordat het wordt gebruikt bij reductie. In de toekomst is er potentieel om rechtstreeks gebruik te maken van hernieuwbare energie door directe elektrolyse naar het ijzeroxide uit te voeren om ijzerpoeder te creëren, waardoor de behoefte aan groene waterstof wordt vervangen.
- Stap 2:** Reductie - In de reductiestap reageert de waterstof (thermochemische reductie) met ijzeroxide om ijzerpoeder en water te creëren. De energie in de waterstof wordt overgedragen aan ijzerpoeder in een koolstofneutraal proces. Zoals eerder vermeld, is er in de toekomst potentieel om het gebruik van groene waterstof te vermijden.
- Stap 3:** Transport en opslag - Na reductie wordt het ijzerpoeder getransporteerd, opgeslagen in bulkopslag tanks en lokaal gedistribueerd voor oxidatie in een eindtoepassing.
- Stap 4:** Oxidatie in eindtoepassing - Het ijzerpoeder reageert met zuurstof, waarbij energie vrijkomt in de vorm van hoge temperaturen (>1500 °C) die kunnen worden gebruikt in bepaalde applicaties (Stap 6). Als alternatief kan ijzerpoeder worden geoxideerd met stoom om waterstof en warmte te produceren.
- Stap 5:** Retour van ijzeroxide - Het ijzeroxide, dat het resultaat is van de oxidatie van ijzerpoeder, wordt verzameld en teruggebracht naar het punt van reductie om opnieuw ijzerpoeder te creëren. De eerste schattingen stellen hergebruik op 10-100 keer (cyclabiliteit), waarna het als grondstof voor de staalindustrie kan worden gebruikt.
- Stap 6:** De vrijgekomen hoge temperaturen kunnen zowel direct (warmte) als indirect (om energie op te wekken) worden gebruikt in toepassingen zoals fabrieken in Cluster 6, standsverwarming, gebouwverwarming en omgebouwde kolencentrales.

(DER). Hoewel de TRL van deze technologie momenteel laag is, kan het de kosten van de energiedrager aanzienlijk verder verlagen, omdat het de noodzaak van dure en lokaal schaarse groene waterstof zou elimineren. Deze directe elektrische reductieroute krijgt onder andere aandacht in zowel de staalindustrie als de academische wereld zoals ArcelorMittal, Fortescue en de TU/e.

2.2 KANS

Iron Power technologie is een veelbelovende manier voor Nederland om de energie-intensieve industrieën te verduurzamen, het tekort aan duurzame energievoorzieningen te reduceren en toegang te krijgen tot wereldwijde markten – een technologie die goed past bij Nederland.

Nederland heeft de potentie om wereldleider te worden in Iron Power technologie en daardoor grote economische en sociale impact te realiseren. Politiek momentum en sociaaleconomische-kansen maken dit het ideale moment om te investeren in Iron Power.

Politiek: Het Iron Power programma zal niet alleen helpen om de klimaatdoelen van Nederland te bereiken, maar ook sneller en met meer zekerheid.

Het behalen van de wereldwijde klimaatdoelen staat hoog op de agenda van de Nederlandse regering, zoals blijkt uit het Nationaal Klimaatakkoord dat in 2019 is ondertekend, en meer recentelijk uit het Coalitieakkoord 2021-2025. In het nieuwe programma om de industriële energietransitie te versnellen⁸, neemt de Nederlandse regering een sterkere positie in om klimaatdoelen te behalen. Op Europees niveau stelt het REPowerEU-programma plannen op om de diversificatie van energie-import en de vermindering van gasverbruik te bevorderen. De

⁸ Rijksoverheid - Kabinet wil verduurzaming industrie versnellen als tegenwicht hoge energieprijzen (2022, <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2022/12/16/kabinet-wil-verduurzaming-industrie-versnellen-als-tegenwicht-hoge-energieprijzen>)

Europese Commissie heeft onlangs het rapport “Scaling up innovative technologies for climate neutrality”⁹ gepubliceerd waarin wordt gepleit voor een grotere rol van de overheid bij het ondersteunen en investeren in duurzame innovaties voor energie-intensieve industrieën. De consensus is dat de toekomstige duurzame energiemix niet alleen waterstof zal omvatten, maar ook meer duurzame alternatieven nodig zal hebben om de klimaatdoelen haalbaar te maken. Het Iron Power programma zorgt voor robuustheid in het energie systeem.

Vergeleken met Europa heeft Nederland een relatief grote energie-intensieve industrie en energiesector. Energie-intensieve industrieën produceren veel producten voor export, zoals staal, olie, gas en chemische producten, evenals producten voor het dagelijks leven, zoals zink (voor hightech producten), glas (voor infrastructuur) en cement (voor infrastructuur). In Europa waren deze industrieën goed voor ongeveer 15% van de emissies van de EU in 2019⁹, en in Nederland waren deze industrieën goed voor ongeveer 30% van de Nederlandse CO₂-uitstoot in 2022¹⁰. De structureel stijgende energieprijzen bedreigen de mogelijkheden van bedrijven om duurzame alternatieven te verkennen, en daarmee Nederland als vestigingsplaats voor energie-intensieve industrieën. De uitdaging voor de Nederlandse regering is dan ook om de emissies te verlagen en tegelijkertijd te zorgen dat de industrie competitief blijft, en zich te positioneren om het enorme potentieel van de wereldwijde markt voor emissiearme technologieën en diensten te benutten.

Sociaaleconomisch: Iron Power is een oplossing voor bedrijven die niet worden aangesloten op het waterstofnetwerk om hun processen te decarboniseren en zo hun continuïteit te waarborgen.

Het wordt verwacht dat het waterstofnetwerk in Nederland en elders niet in staat zal zijn om alle bedrijven van energie te voorzien. Hierdoor komt de continuïteit van bedrijven die niet zijn aangesloten op het waterstofnetwerk in gevaar als ze geen andere manier kunnen vinden om de energietransitie te realiseren. Als bedrijven moeten verplaatsen of hun activiteiten moeten staken, zal de werkloosheid in deze omvangrijke sectoren stijgen, wat een negatieve invloed heeft op het Nederlandse BBP. IJzerpoeder daarentegen kan energie opslaan en transporteren naar locaties die niet worden aangesloten op het waterstofnetwerk, waardoor deze bedrijven de kans krijgen om over te stappen op duurzame energie en hun licentie om te opereren te behouden.

Economisch: Het Iron Power programma zal nieuwe wereldwijde markten openen.

Zodra de technologie van Iron Power is bewezen en gecommmercialiseerd, kan deze over de hele wereld worden verkocht. Als Nederland een koppositie inneemt in de ontwikkeling van deze technologie, zal het niet alleen de eigen industrie decarboniseren, maar ook nieuwe wereldwijde markten openen. Bovendien zullen de expertise, faciliteiten en waardeketenpartners die aanwezig zijn in Nederland innovatieve bedrijven, talent en kapitaal aantrekken, waardoor de economie van het land en de internationale concurrentiepositie worden versterkt.

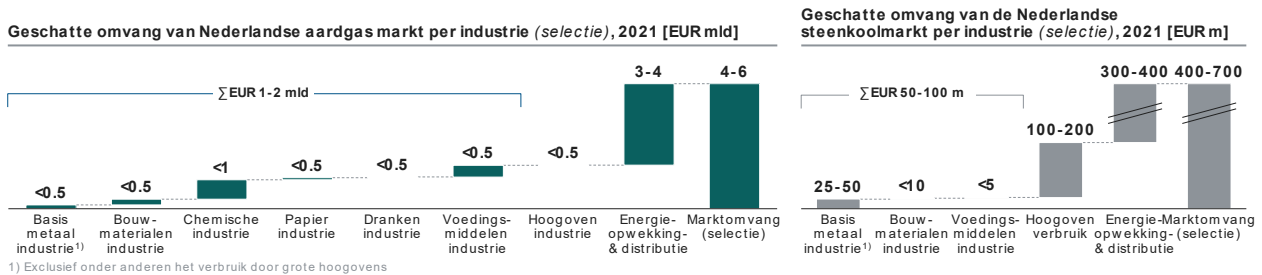
Aangezien de technologie momenteel voortbouwt op waterstofinnovatie, zal de omvang en groei van de markt gedeeltelijk worden gedreven door de waterstofmarkt. De wereldwijde waterstofmarkt werd in 2021¹¹ geschat op meer dan 150 miljard euro en zal naar verwachting met meer dan 9% per jaar groeien tot 2030¹¹. De markt voor ijzerpoeder zal groeien en mogelijk zelfs de wereldwijde waterstofmarkt overtreffen naarmate de penetratiegraad stijgt.

De markt voor ijzerpoeder als energiedrager omvat de verkoop van energie aan bedrijven die niet zijn aangesloten op het waterstofnetwerk, zoals Cluster 6, stadsverwarming, gebouwverwarming en omgebouwde energiecentrales. Momenteel is de marktomvang voor ‘vervuilende’ energie in deze sectoren in Nederland meer dan 1 miljard euro (2023) (zie Figuur 6). IJzerpoeder kan binnen Cluster 6 de warmte vraag vervullen. De hoogwaardige warmte vraag binnen de bedrijven in het cluster is momenteel 4,5-5,5 TWh, en zal naar verwachting met 1% per jaar groeien. Aangezien Nederland een van de meest ontwikkelde waterstofnetwerken ter wereld zal hebben, is het wereldwijde marktpotentieel voor ijzerpoeder nog groter. Landen die naar verwachting onderontwikkelde waterstofnetwerken hebben, zoals Polen, Frankrijk en vele andere buiten Europa, zullen belangrijke afnemers worden van in Nederland geproduceerd ijzerpoeder.

⁹ European Commission – Innovative clean technologies can make energy-intensive industries climate neutral (2023, https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/innovative-clean-technologies-can-make-energy-intensive-industries-climate-neutral-2023-06-22_en)

¹⁰ Water Energy Solutions - CES Cluster 6 – Cluster Energie Strategie (2022, <https://www.nldigital.nl/wp-content/uploads/2022/03/Cluster-Energie-Strategie-Cluster-6.pdf>)

¹¹ Grand View Research - Hydrogen Generation Market Size, Share & Trends Analysis Report By System (2021, <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/hydrogen-generation-market>)



Figuur 6: Geschatte marktomvang van aardgas en steenkool in geselecteerde industrieën in Nederland^{12, 13}

Daarnaast is de levering van apparatuur/systemen die nodig zijn voor de productie van ijzerpoeder in Europa en de rest van wereld een andere belangrijke markt. Deze markt omvat technologieën die vereist zijn langs de waardeketen van ijzerpoeder, van reductie- en oxidatie processen, transport apparatuur en opslagfaciliteiten tot behandeling en reconversie van ijzeroxide. Het Iron Power programma zal daarom ook nieuwe mogelijkheden bieden voor de ontwikkeling en verkoop van zulke technologieën.

Gezien zijn pioniersrol in de waterstofeconomie en de voorbereidingen voor een waardeketen van ijzerpoeder, is Nederland goed gepositioneerd om een leidende rol aan te nemen in deze nieuwe technologie.

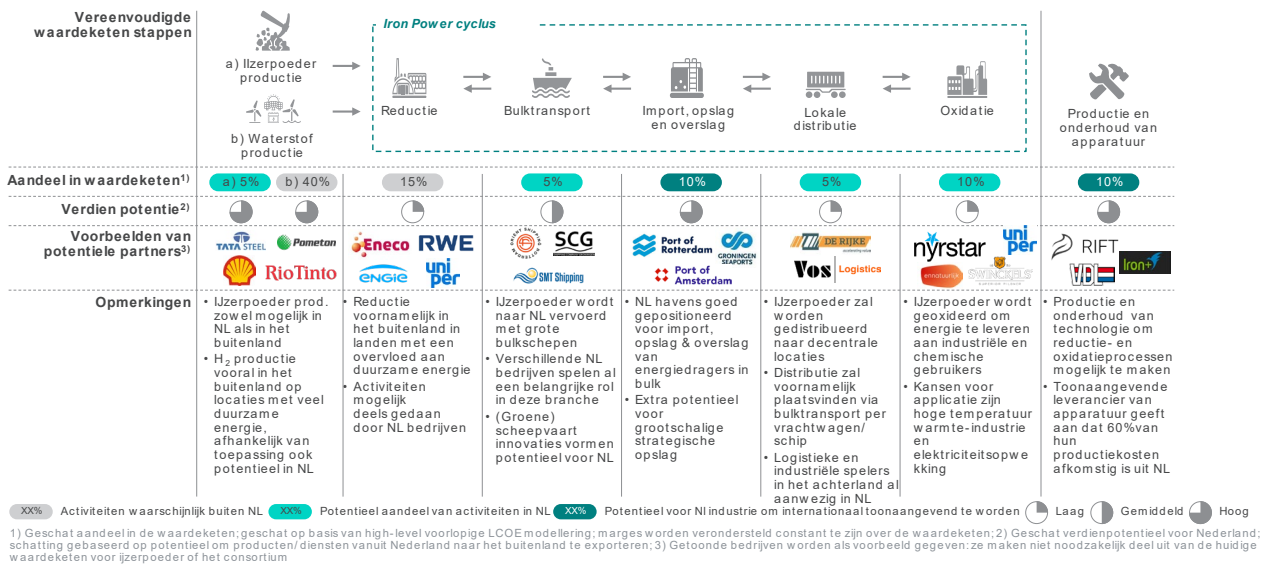
Om een robuuste waardeketen voor ijzerpoeder te creëren, kosten te verlagen en investeringen te verhogen, moeten technologieën op steeds grotere schaal worden toegepast. Dit vereist een ecosysteem dat R&D en pilots verbindt met commerciële toepassingen op grote schaal. Nederland heeft al zo een ecosysteem. Nederland is een van de grootste producenten en verwerkers van waterstof in Europa, en neemt dit een stap verder door wereldwijd de waterstofeconomie - en daarmee de energietransitie - te leiden door ondersteuning en investeringen in groene waterstofprojecten te bieden (bijv. Groenvermogen) om de prijzen te verlagen en de ontwikkeling van groene waterstof te bevorderen. Nederland streeft ernaar om tegen 2030 een elektrolysecapaciteit van 3-4 GW uit te rollen. Daarnaast investeert Nederland ook veel in de ontwikkeling van waterstofinfrastructuur via de geplande waterstofnetwerk projecten van Gasunie en ontwikkelt kennis en expertise op dit gebied (bijv. Hydrohub MW Test Center, HyLabNL Multi-Purpose Hydrogen Test Center). Het Iron Power programma zal de Nederlandse waterstofstrategie robuuster maken door een duurzame manier te bieden om energie op te slaan en te transporteren, te reageren op pieken in de vraag en productieoverschotten, en industrieën te voorzien die niet zijn aangesloten op het waterstofnetwerk. Tegelijkertijd neemt Nederland een leidende rol in het versnellen van de overgang naar een groene staalindustrie door projecten zoals "Groeien met Groen Staal" te ondersteunen. Daarnaast kan het Iron Power programma mogelijk deze groene staalstrategie versterken door een methode te bieden om groen staal (d.w.z. *Direct Reduced Iron*) te produceren.

De Nederlandse industrie is uitermate goed gepositioneerd om een aanzienlijk deel van de waardeketen van ijzerpoeder te veroveren en een wereldwijde marktleider te worden (zie Figuur 8). Een groot deel van de waardeketen van ijzerpoeder kan worden verkregen in Nederland of worden uitgevoerd door de Nederlandse industrie, met name op het gebied van opslag en apparatuur productie – deze sectoren staan bekend om hun hoge rendement. Naast het internationaal toonaangevende VDL op het gebied van apparatuur productie, heeft Nederland al twee Iron Power *champions* (RIFT en Iron+) die leidend zijn in de technologieontwikkeling, en groeit het aantal Iron Power-start-ups snel. Wereldleiders zoals ArcelorMittal en Tata Steel zullen in staat zijn om ijzerpoeder grondstoffen en technologieën te ontwikkelen en te implementeren zodra deze zijn bewezen, bedrijven zoals Port of Rotterdam kunnen import-, opslag- en overslagmethoden aanpassen/implementeren, en multinationals zoals Shell en Uniper kunnen wereldwijde export versnellen.

Ten slotte herbergt Nederland toonaangevende academische en onderzoeksinstellingen op het gebied van duurzame energie en de nieuwe Iron Power technologie, waaronder TNO, TU/e en Metalot (zie kader 4). Deze organisaties zullen innovatie en R&D stimuleren om ervoor te zorgen dat het ecosysteem zich verder blijft ontwikkelen.

¹² CBS - Energiebalans; aanbod en verbruik, sector (2021), <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83989NED/table?ts=1691579782984>

¹³ CBS – Aardgas en elektriciteit, gemiddelde prijzen van eindverbruikers (2021), <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/81309NED#shortTableDescription>



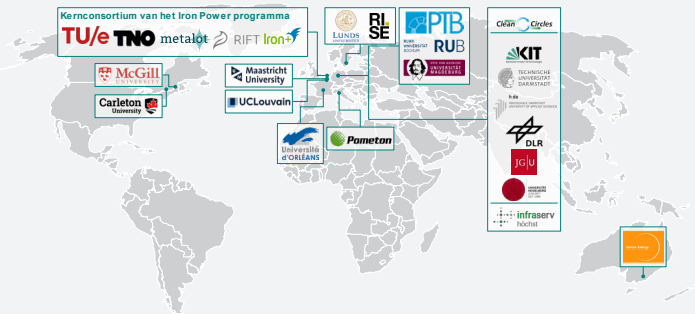
Figuur 8: Aanwezigheid van de Nederlandse industrie in de ijzerpoeder waardeketen

Kader 4: De sterkte van het Nederlandse Iron Power consortium

In 2015, ver voor anderen, hebben TU/e en Metalot het Iron Power consortium opgericht. Naast een uitgebreid portfolio van academisch onderzoek, hebben zij valorisatie/ecosysteemactiviteiten georganiseerd rondom Iron Power technologie - wat heeft geleid tot de oprichting van 7 succesvolle startups. Het kernconsortium van het Iron Power programma bestaat uit vijf toonaangevende kennisinstellingen en marktleaders op het gebied van ijzerpoedertechnologie: TU/e, TNO, Metalot, RIFT en Iron+ (een groep bekroond met het "Best Team Science award" van de TU/e Science Awards). Het kernconsortium bundelt haar kennis en expertise om de Iron Power waardeketen te sluiten en een bloeiend Iron Power ecosysteem te verstevigen:

- **TU/e** behoort tot de absolute wereldtop van technische universiteiten en wordt gezien als koploper in het onderzoek naar Iron Power. Ze hebben onder andere de prestigieuze "ERC Advanced Grant" en "ERC PoC Grant" ontvangen. De universiteit beschikt over hoogwaardige apparatuur en is betrokken bij de ontwikkeling van innovatieve SOEC- en ICONIC-technologieën om de concurrentiepositie van ijzerpoeder te verbeteren.
- **TNO** is het kennis- en onderzoeksinstituut in Nederland. TNO is internationaal gerespecteerd en is actief in praktijkgericht onderzoek naar metaalbrandstoffen op het gebied van transport, opslag en toepassingen. TNO heeft al diverse artikelen gepubliceerd over de haalbaarheid en competitiviteit van metaalbrandstoffen.
- **Metalot** is de eerste overkoepelende Iron Power organisatie die de brug slaat tussen de kennis en expertise van wetenschappers, ondernemers en de markt. In het Metalot Future Energy Lab kan op grote schaal ijzerpoedertechnologie worden getest en ontwikkeld. Daarnaast faciliteert Metalot het Ironfuel platform, de Metalot community en de samenwerking met studenten van team SOLID (zie kader 10).
- **RIFT** is één van de koplopers op het gebied van Iron Power technologie. Ze hebben de eerste operationele 1 MW Iron Power-boilerinstallatie ontwikkeld voor het stadsverwarmingsnetwerk van Ennatuurlijk, waarmee ~500 woningen van warmte worden voorzien. De technologie van RIFT is inmiddels beloond met een EnergyBreakthrough-investering van de Bill Gates Foundation en de Brainport Gerard en Anton Award.
- **Iron+** is één van de koplopers op het gebied van Iron Power technologie. Iron+ heeft één van de eerste 0,5 MW Iron Power-boilerinstallaties ontwikkeld om duurzame proceswarmte te leveren aan de Bavaria brouwerij in Lieshout.

Daarnaast heeft Nederlandse Iron Power consortium haar positie verstevigt door internationale samenwerkingen te zoeken met toonaangevende partijen om gezamenlijk de Iron Power technologie verder te lanceren.



Figuur 7: Het Iron Power programma kernconsortium en ecosysteem

2.3 UITDAGINGEN

Iron Power technologie, waarbij ijzerpoeder als energiedrager wordt gebruikt, is nog niet op grote schaal commercieel geïmplementeerd vanwege technische uitdagingen, een lage marktinteresse, gebrek aan bewustzijn en onvoldoende samenwerking in de waardeketen.

Ijzerpoeder wint populariteit bij onderzoekers en de industrie, maar kan niet op eigen kracht van de grond komen. De nieuwe energiedrager wordt geconfronteerd met vier obstakels die schaalvergroting en brede marktacceptatie voorkomen.

(1) Technische uitdagingen - Wetenschappers zijn overtuigd van het potentieel van ijzerpoeder, maar kunnen de sprong in ontwikkeling niet maken.

Veel wetenschappers doen onderzoek naar de sub-technologieën van ijzerpoeder, en sommige sub-technologieën hebben een geavanceerd stadium bereikt. Desalniettemin voorkomen verschillende obstakels dat het onderzoek grote TRL-sprongen maakt. Gerelateerde technologiegebieden vereisen aanzienlijk onderzoek om het potentieel van ijzerpoeder te realiseren en de voordelen ervan ten opzichte van alternatieven te valideren. Dit handhaaft de marktdominantie van alternatieven zoals aardgas. Bijvoorbeeld, de oxidatietechnologie bevindt zich nog op een laag TRL-niveau (~6), waardoor deze nog relatief inefficiënt (verlies van ijzerpoeder, poederbreuk), schadelijk (fijne deeltjesvervuiling) en nog onvoldoende circulair (lage herstelgraad van ijzeroxide) is. Bovendien worden verschillende oplossingspaden voor reductie en oxidatie nagestreefd door verschillende delen van de markt, wat de verspreiding van de kennis en technieken (onderzoeksresultaten) die worden onderzocht en ontwikkeld, beperkt. Om de technologische en uiteindelijk commerciële sprong te maken, is een impuls nodig om een uitgebreid onderzoeksprogramma op te zetten dat alle mogelijkheden onderzoekt (sub-technologieën en toepassingen van ijzerpoeder) en deelnemers uit de industrie bereikt.

Vergelijkbaar hebben innovatieve start- en scale-ups en MKB's geen toegang tot geschikte laboratoria en experimentele omgevingen om hun innovaties op steeds grotere schaal te testen en te bewijzen. Dergelijke testfaciliteiten vereisen structurele investeringen die te hoog zijn voor een enkel bedrijf, en als gevolg daarvan mislukken meerdere innovaties om voorbij de initiële ontwikkelingsfase te komen.

(2) Weinig marktinteresse - Ijzerpoeder is veelbelovend, maar hoge kosten en investeringsrisico's beperken de interesse.

Hoewel de vooruitzichten voor ijzerpoeder veelbelovend zijn en de energiedrager essentieel is voor de energietransitie, wordt de marktinteresse in de energiedrager getemperd. Dit komt voornamelijk doordat ijzerpoeder nog niet kosteneffectief is in vergelijking met fossiele brandstoffen en omdat de businesscase nog steeds risico's met zich meebrengt.

Iron Power technologie is nog niet kosteneffectief in vergelijking met op fossiele brandstoffen gebaseerde of zelfs de meeste op waterstof gebaseerde energieoplossingen. Ondanks het Carbon Credit systeem zijn fossiele brandstoffen nog steeds goedkoper dan waterstof. Innovaties die voortbouwen op de waterstofwaardeketen zijn daarom nog duurder. Tot de prijs van waterstof daalt tot marktconcurrerende waarden, zal de marktinteresse in ijzerpoeder laag blijven.

De bredere businesscase voor ijzerpoeder, buiten de marktprijzen, vormt ook een uitdaging voor het huidige marktpotentieel. Hoewel Iron Power technologie veelbelovend is, is het nog niet bewezen op commerciële schaal, en is het gebruik van ijzerpoeder als energiedrager een nieuwe ontwikkeling. Publieke investeringen zijn nodig om de eerste gebruiksscenario's te financieren en toekomstige private investeerders te bewijzen dat deze technologie commercieel haalbaar en levensvatbaar is.

(3) Gebrek aan bewustzijn en opleiding - Over het algemeen krijgen alleen bekende energiedragers de aandacht van het publiek, overheid en opleidingsorganisaties.

Veel mensen hebben weinig tot geen kennis van het bestaan van Iron Power technologie, noch van het potentieel ervan. Bekende energiedragers zoals waterstof, ammoniak en methanol, en decarbonisatie technologieën zoals CCS, hebben meer aandacht gekregen van het publiek en de overheid in de afgelopen tien jaar, zo zijn er subsidies beschikbaar gekomen voor bedrijven die bereid zijn dergelijke oplossingen te implementeren. Zonder een dergelijk bewustzijn, dat vaak in de vorm van R&D-financiering en regelgevende overwegingen komt, wordt de ontwikkeling van ijzerpoeder vertraagd.

De energietransitie vraagt om talenten die deze energietransitie naar de toekomst toe gaan dragen en verwezenlijken. Ondanks de enorme krapte¹⁴ op de arbeidsmarkt die op de middellange niet opgelost lijkt te worden, zijn er grootschalige opleidingen opgezet voor mensen die de energietransitie gaan dragen op WO, HBO en MBO niveau. Echter, is er binnen deze opleidingen tot nu toe weinig aandacht voor Iron Power technologie en de impact die het gaat hebben. Overheidssteun, aangevuld met verhoogde educatieve inspanningen, zal het

¹⁴ Techniek Nederland - Aanvalsplan Arbeidsmarktkrapte Techniek, Bouw en Energie (2022, <https://www.technieknederland.nl/stream/aanvalsplan-techniek-nov-2022>)

bewustzijn genereren dat de technologie nodig heeft om de volgende stappen te zetten in de technische en commerciële ontwikkeling en implementatie.

(4) Onvoldoende eenheid en samenwerking in de waardeketen - Een verdeeld innovatielandschap en gebrek aan leiderschap voorkomen de systeemverandering die nodig is voor ijzerpoeder.

IJzerpoeder is niet alleen een nieuwe technologie om industrieën te decarboniseren, maar het is ook een complete waardeketenoplossing. Om het energiesysteem aan te passen aan ijzerpoeder, moeten veel verschillende partijen samenwerken. De meeste onderzoeksgroepen werken aan afzonderlijke onderwerpen en in geïsoleerde structuren, waardoor gezamenlijke onderzoeksmogelijkheden en het delen van kennis worden beperkt. Bovendien hebben veel partijen zich geïnteresseerd in waterstof als de (enige) oplossing voor energie-intensieve industrieën, waarbij ze over het hoofd zien dat de energietransitie de inzet van meerdere oplossingen (energiemix) tegelijkertijd vereist om de economie te decarboniseren. Zelfs op het gebied van ijzerpoeder zelf worden verschillende benaderingen vanuit verschillende marktgebieden onderzocht (bijv. reductie door *fluidized bed*, plasma of *flash*) waarbij er nauwelijks samenwerking noch kennisdeling is. Een centraal Iron Power-ecosysteem zou een leidende rol kunnen spelen en de vele industrieën, sectoren en spelers in de waardeketen samenbrengen om integraal de Iron Power technologie naar een hoger niveau te tillen.

Kader 5: Legitimiteit van overheidsingrijpen

Het geëigende instrument om de energietransitie te versnellen door middel van het Iron Power programma is overheidssubsidie. De (nu nog) hoge kosten van de brandstof maakt het voor de markt onaantrekkelijk om het voortouw te nemen in technologieën die voortbouwen op de waterstofketen. In combinatie met de nog bestaande knelpunten in de ontwikkeling van technologie leidt dat tot **markt falen**: private partijen hebben geen (financiële) drijfveer om te investeren in Iron Power technologie.

Daarnaast is er ook sprake van **systeem falen**. De 'klimaatkosten' van schadelijke emissies zijn niet geprijsd, waardoor duurzame energiesystemen, die nu nog duurder zijn dan fossiele alternatieven, niet op grote schaal worden ontwikkeld en getest. Het bekostigen en normeren van uitstoot zoals bepaald in 'Fit for 55' zal pas na 2030 een stimulans geven om extra te investeren in nieuwe duurzaamheidsoplossingen zoals Iron Power. Daardoor blijft de noodzakelijke ontwikkeling achter, wordt de schaal niet bereikt die nodig is voor het verlagen van de kosten, en komt de markt vraag naar Iron Power niet van de grond. Dit falen vertraagt de transitie naar duurzame energiedragers in de energie-intensieve industrie, en remt de Nederlandse maak-industrie die bereid is om deze innovaties willen ontwikkelen.

Ondanks dat strengere wet- en regelgeving een gelijk speelveld tussen fossiel en duurzaam kan creëren, lost dit het markt- en systeem falen niet op. **Dat vergt overheidsingrijpen door middel van een eenmalige impuls van de overheid in het Iron Power programma.** Hierdoor wordt onder andere een duidelijk signaal afgegeven over de noodzaak van een grotere diversiteit aan energiedragers om de energietransitie mogelijk te maken voor de gehele industrie, worden de nodige technologische sprongen gemaakt, ecosysteem knelpunten geadresseerd en verholpen, en wordt de private sector gemobiliseerd. Het impuls maakt het bovendien mogelijk om als Nederland een leidende rol te verkrijgen en daarvan economisch en maatschappelijk te profiteren.

2.4 DOEL

Het Iron Power-programma heeft als doel een ecosysteem op te bouwen met behulp van ijzerpoeder als een schone, veilige en kostenefficiënte energiedrager voor import, export en opslag om de energie-intensieve industrieën te decarboniseren.

Het Iron Power programma heeft de ambitie om de ontwikkeling van de Iron Power technologie als een veelbelovende en essentiële energieoplossing te versnellen. Dit wordt gedaan door te laten zien dat het mogelijk is, onderzoekers en bedrijven te helpen opschalen, en de oplossing te implementeren, met als doel energie-intensieve industrieën te decarboniseren.

De ambitie van het Iron Power programma is drievoudig: economisch, strategisch en duurzaamheidsimpact. De economische doelen zijn:

- (1) Realiseren van een sterke positie in Iron Power technologie en markt:** Het Iron Power programma zal de TRL van de technologie bevorderen, die de industrie en de private sector vervolgens verder kunnen ontwikkelen tot commerciële producten en schaalbaar kunnen maken voor breder gebruik, inclusief export. Iron Power technologie zal de moeilijk te decarboniseren industrieën zonder voorziene toegang tot het waterstofnetwerk een manier bieden om hun activiteiten te decarboniseren, hun licentie te vernieuwen en internationaal competitiever te worden.
- (2) Bouwen van een gevestigde, internationale waardeketen rondom Iron Power:** Het Iron Power programma zal samenwerken met internationale partijen om oplossingen te creëren in de gehele waardeketen om de technologie kosteneffectief te maken en daarmee onderdeel te laten zijn van de wereldwijde duurzame energiemix.

De strategische doelen zijn:

- (3) Versterken van de strategische onafhankelijkheid:** Het Iron Power programma zal een extra waardeketen openen, waarvan de grondstoffen niet worden gecontroleerd door slechts een paar landen - dit vergroot de onafhankelijkheid van Nederland ten opzichte van traditionele energie-exporterende landen zoals Rusland.

(4) **Verbetering van het Nederlandse investeringsklimaat:** De beschikbaarheid van Iron Power in Nederland als een groene oplossing, voor industrieën zonder directe toegang tot duurzame energiebronnen, zal een aantrekkelijk klimaat creëren voor bedrijven om te investeren en zich te vestigen.

De duurzaamheidsdoelen van het Iron Power-programma zijn:

(5) **Verbeteren van de directe leefomgeving van energie-intensieve bedrijven:** Door de uitstoot van CO₂, NO_x en SO_x aanzienlijk te verminderen, zal Iron Power de directe leefomgeving van industriële activiteiten verbeteren en de totale nationale uitstoot verminderen.

(6) **Verbetering van de toegang tot schone energie en kennis:** Het Iron Power programma zal een ecosysteem rond Iron Power technologie opbouwen om het algemene bewustzijn te verbeteren, kennis over Iron Power technologie te delen en Iron Power energie toegankelijk te maken voor de industrie.

Overeenkomstig deze ambities formuleert het Iron Power programma **concrete doelstellingen** voor de investeringsperiode van het Nationaal Groeifonds tot 2035 (zie Tabel 1).

Tabel 1: Ambities en concrete doelstellingen van het Iron Power programma

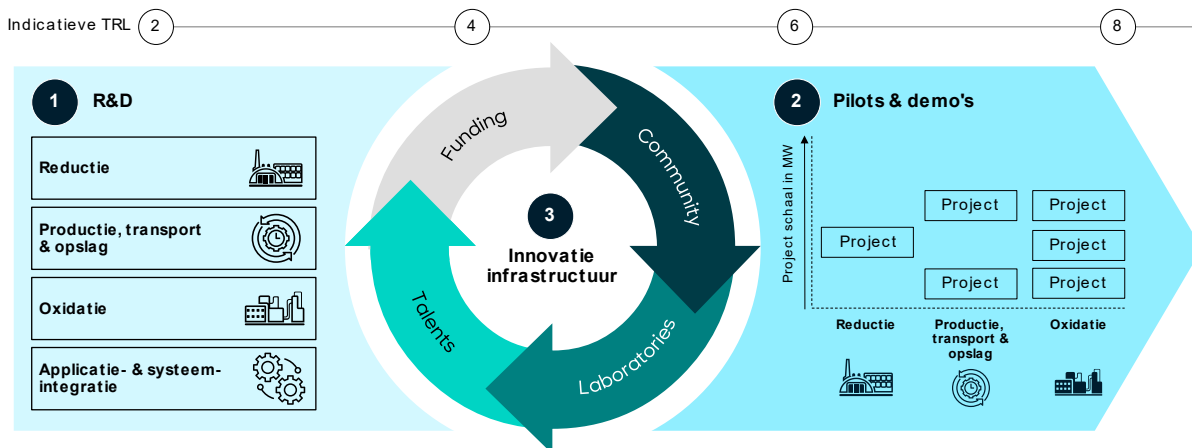
Ambities	Concrete doelstelling (in 2035, tenzij anders vermeld)
Economisch (1) Sterke positie in Iron Power technologie en markt (2) Gevestigde, internationale waardeketen	<ul style="list-style-type: none"> Meer dan 5 Iron Power technologieën zijn gedurende het Iron Power programma succesvol ontwikkeld van TRL 2/3 naar TRL 6 Meer dan 5 Iron Power technologieën hebben gedurende het Iron Power programma TRL 8 bereikt en zijn commercieel levensvatbaar Meer dan EUR 100 m omzet per jaar vanuit bedrijven die ijzerpoedersystemen en -apparatuur leveren (Iron Power <i>champions</i>) Meer dan EUR 30 m additionele omzet per jaar als gevolg van het behoud en de verbeterde concurrentiepositie van energie-intensieve bedrijven in Nederland Meer dan 5 succesvolle product-/dienstconcepten (spin-offs die omzet genereren) mede dankzij de ondersteuning van de Innovatie infrastructuur Meer dan 5 end-to-end Iron Power-waardeketens zijn getest op een >1 MW schaal 10-30 partijen per jaar die gebruik maken van de Services van de Innovatie infrastructuur
Strategisch (3) Versterken van de strategische onafhankelijkheid (4) Verbeteren van het Nederlandse investeringsklimaat	<ul style="list-style-type: none"> Meer dan 60 TWh/jaar industriële proceswarmte geleverd door Iron Power technologieën (tegen 2050) Meer dan 30 (internationale) bedrijven aangesloten bij de Iron Power Community
Duurzaamheid (5) Verminderde de uitstoot (CO ₂ , NO _x en SO _x) van moeilijk te decarboniseren industrieën (6) Verbeterde toegang tot schone energie en kennis	<ul style="list-style-type: none"> Meer dan 180 mmt GHG-eq/TWh vermeden emissies per jaar door het gebruik van Iron Power voor industriële proces warmte (tegen 2050) Meer dan 200 studenten en 50 professionals opgeleid in Iron Power technologie door de materialen geproduceerd door de Talents Service Meer dan 40 additionele papers gepubliceerd op gebied van Iron Power technologie als gevolg van het Iron Power programma

2.5 VOORGESTELDE OPLOSSING

2.5.1 IRON POWER PROGRAMMA

Het Iron Power programma is gebaseerd op drie versterkende pijlers: (1) R&D, (2) Pilots & demo's demonstraties, (3) en Innovatie infrastructuur.

De kernconsortiumpartners - Metalot, TU/e, TNO, Iron+ en RIFT – delen allemaal het doel om de ontwikkeling van Iron Power als energieoplossing te versnellen en de obstakels te overwinnen die de technologie tegenhouden. Het Iron Power programma heeft daarom het doel om een wereldwijd toonaangevend ecosysteem te creëren dat is gevestigd in Nederland. In de kern, zullen de vragen die de bedrijven in het ecosysteem proberen te beantwoorden gericht zijn op het proces om ijzerpoeder een duurzame energiebron/drager te maken voor bijvoorbeeld de energie-intensieve industrieën en stadsverwarming. Het programma is gebaseerd op drie pijlers die elkaar wederzijds versterken (zie Figuur 9).



Figuur 9: Het Iron Power programma

- R&D:** het Iron Power-programma zal onderzoek- en ontwikkelingsprojecten uitvoeren langs de waardeketen in vier thema's: 1) Reductie, 2) Productie, Transport & Opslag, 3) Oxidatie en 4) Applicatie- & systeemintegratie. Elk van de projecten heeft als doel bestaande fundamentele vragen over Iron Power technologie te beantwoorden, of onderzoek te doen naar specifieke toepassingen (nieuw of verbeterd) van de Iron Power technologie. Deze projecten zullen plaatsvinden in een publiek-private omgeving, waarbij academici en de industrie samenwerken. De lessen uit de R&D-projecten kunnen worden toegepast op de pijlers van Pilots en demo's en Innovatie infrastructuur, waardoor het innovatie-ecosysteem wordt versterkt.
- Pilots & demo's:** er zijn Iron Power technologieën die zijn bewezen in fundamenteel/industriële onderzoek en die zullen worden getest in pilot- en demoprojecten. De projecten in de portfolio zullen verschillen in focus (waardeketenthema) en in TRL. Het doel van deze projecten is om technologieën te testen (om *Proof of Concept* (PoC) te verkrijgen) totdat ze commercieel zijn bewezen. Deze projecten zullen plaatsvinden in een industriële omgeving met gevestigde industriële partners. De lessen en technologieën van de pilot- en demoprojecten zullen ook bijdragen aan de Innovatie infrastructuurpijler.
- Innovatie infrastructuur:** de R&D- en pilot- en demopijlers resulteren in expertise en middelen (bijv. kennis, expertise, faciliteiten, experimentele opstellingen en partner-netwerken) die zullen worden gebruikt en omgezet in diensten. Deze diensten zullen (1) toegang bieden tot **Laboratories** voor experimentele tests, (2) toegang bieden tot een **Community** van Iron Power-experts om de waardeketen te realiseren en experimenten op te zetten, ervaringen te delen en simultane engineering uit te voeren, (3) uitdagingen en cursussen bieden voor **Talents** (professionals en studenten), (4) gemakkelijkere toegang bieden tot publieke **Funding** en private fondsen. Het doel van de diensten van de Innovatie infrastructuur is het verkrijgen van TRL en ecosysteemgroei, met betrekking tot Laboratories, Community, Talents en Funding. De infrastructuurdiensten voor belangrijke partners zullen financieel zelfvoorzienend worden door betaling per gebruik / lidmaatschap van klanten, in combinatie met voortdurende bijdragen van partners (onderwijspartners). Na de impulsperiode zal de Innovatie infrastructuur doorgaan met het stimuleren en enthousiasmeren van spin-offs/start-ups en bestaande bedrijven om zich bij de Iron Power Community aan te sluiten en de volgende golf van R&D- en pilot- en demoprojecten te starten.

Kader 6: Doeltreffendheid van het Iron Power programma

Elk knelpunt (genoemd in hoofdstuk 2.3) wordt geadresseerd door één of meer hoofdonderdelen van het Iron Power programma. Naast het adresseren van de genoemde knelpunten versterkt het Iron Power programma ook de transitie in de staalmarkt naar *Direct Reduced Iron* (DRI). De infrastructurele oplossing voor beschikbaarheid van groene waterstof valt gedeeltelijk buiten dit NGF-voorstel. Wel sluit het Iron Power programma aan bij marktpartijen die deze infrastructuur gaan ontwikkelen.

Knelpunten	R&D	Pilots and demos	Innovatie infrastructuur	
KP 1. Technische uitdagingen Geen bewezen Iron Power technologie Minimale kennisdeling tussen disciplines Geen 'one size fits all' Iron Power oplossing Geen toegang tot benodigde infrastructuur	Lage TRL technologieën worden gevalideerd en geoptimaliseerd door de R&D projecten	Hoge TRL technologieën worden bewezen door het opzetten van pilot en demo projecten op verschillende schalen, en toepassingen	Het Laboratorium biedt partijen toegang tot test-omgevingen waar technologieën de benodigde TRL-ontwikkelingsstappen kunnen maken	
	De integrale project aanpak (in samenwerkingsverband) zorgt voor kennisdeling tussen de disciplines en zorgt voor een duidelijk ontwikkelingspad naar hogere TRL-niveaus (R&D tot commercialisatie)			De Innovatie infrastructuur introduceert Iron Power standaarden voor benchmarking in het Laboratorium en deelt kennis in de Community en daarbuiten
	Het project portfolio, over verschillende waardeketenschakels, opstellingen, capaciteiten, en eind-markten, zorgt voor breed inzetbare oplossingen			Het Laboratorium ondersteunt de toekomstige haalbaarheidsstudies van Iron Power binnen nieuwe domeinen/ applicaties
	N.v.t.	N.v.t.		De Innovatie infrastructuur services geven onderzoekers/bedrijven toegang tot technologie test/innovatie platformen, educatie en financiering
KP 2. Lage markt-interesse Knelpunt 1, 3, en 4 zorgen voor een niet kosten-competitieve oplossing Use-cases en/of pilot opstellingen ontbreken	Door efficiëntiestudies zal de prestatie van de technologie verbeteren én daarmee de kosten afnemen	Door pilots te realiseren wordt de vraag naar ijzerpoeder / waterstof gestimuleerd waardoor het aanbod zal toenemen en de prijs zal dalen	Het Laboratorium biedt partijen toegang tot betaalbaardere test-omgevingen waardoor de ontwikkelingskosten zullen afnemen	
	N.v.t.	Door pilots te realiseren met industriële partners zal het markt-vertrouwen en -interesse in Iron Power technologie toenemen	Het Laboratorium geeft onderzoekers/bedrijven toegang tot voorbeeld-opstellingen waarop experimenten gedaan kunnen worden	
KP 3. Laag bewustzijn Laag bewustzijn onder universiteiten, hbo's en mbo's Laag bewustzijn onder bedrijven & overheden	Projecten worden uitgevoerd in samenwerkingsverbanden met verschillende universiteiten en industrie partners	N.v.t.	De Talent Service heeft als doel toekomstige talenten op te leiden door het verkrijgen van bestaande educatie, en opzetten van nieuwe onderwijs-vakken met de focus op Iron Power technologie, en ook om het bewustzijn te verbeteren binnen scholen, MBO, HBO, universiteiten, bedrijven, en overheden (in de Community)	
	Projecten worden uitgevoerd in een samenwerkingsverband tussen verschillende bedrijven en universiteiten			
KP 4. Waardeketen leiderschap "Alle ogen op waterstof" om de energie transitie te maken Ontbreken van coördinatie over de waardeketen	De projecten en activiteiten hebben als doel de Iron Power technologieën te bewijzen - de Iron Power technologie is integraal onderdeel van de waterstof-waardeketen, ook voor die partijen die niet direct toegang zullen hebben tot groene waterstof.			
	De projecten richten zich zowel op alle schakel oplossingen (e.g. oxidatie), als gehele systeem oplossingen (gehele waardeketen)			Het programma neemt initiatief in dit verdeelde landschap door in samenwerkingsverband het ecosysteem te versterken en te dirigeren

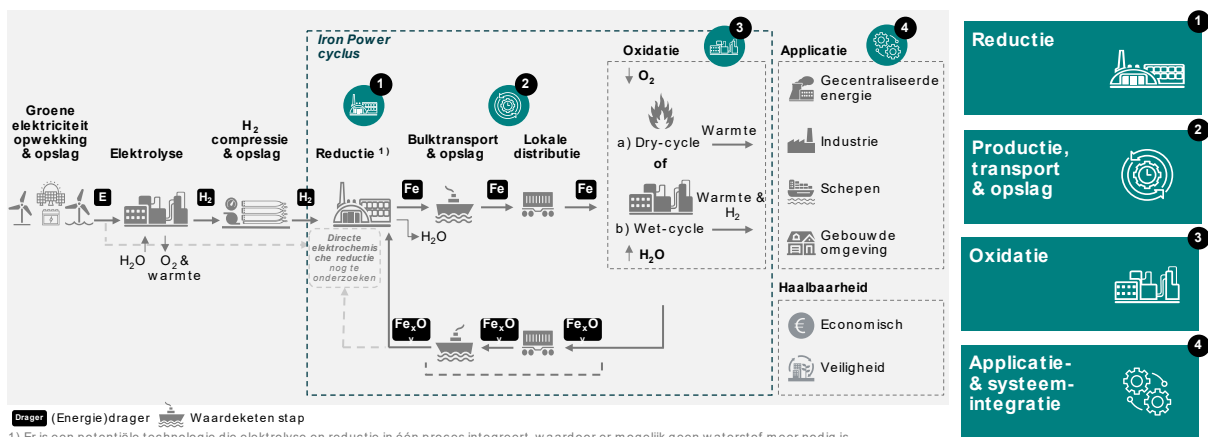
Figuur 10: Doeltreffendheid van het Iron Power programma

2.5.2 PIJLER I – R&D

R&D-projecten worden opgezet om onderzoek te doen naar de technologische uitdagingen van de Iron Power cyclus, om het TRL-niveau van de Iron Power technologieën te verhogen en om het potentieel van Iron Power in diverse use-cases te bewijzen.

De projecten zijn gericht op het onderzoeken en aanpakken van de belangrijkste technologische uitdagingen waarmee de Iron Power technologie wordt geconfronteerd, om een van de obstakels voor verdere ontwikkeling en commercialisering van Iron Power weg te nemen (zoals genoemd in hoofdstuk 2). Het onderzoek zal zich zowel richten op fundamenteel nieuwe Iron Power technologieën als op het verbeteren van reeds bekende sub-technologieën in een breed samenwerkingsverband. Kennis en resultaten uit de R&D-projecten kunnen eerst worden toegepast in het Field lab (zie hoofdstuk 2.5.4) en daarna in kleinschalige pilotprojecten (zie hoofdstuk 2.5.3) om resultaten te valideren of te verbeteren. De successen die geboekt worden in de R&D-projecten zullen geïmplementeerd en getest kunnen worden in de pilot- en demo omgeving en hierdoor direct bijdragen aan het verhogen van het TRL-niveau. Bovendien kan de kennis en expertise die tijdens de projecten (bijvoorbeeld, methodologie, resultaten) wordt opgedaan, worden gebruikt om de diensten die aan potentiële klanten worden aangeboden te verbeteren (zie hoofdstuk 2.5.5).

Elk R&D-project is zorgvuldig gekozen, zodat de R&D-projectportfolio de belangrijkste uitdagingen langs de hele Iron Power waardeketen aanstipt. Daarom zijn projecten gedefinieerd in de volgende vier waardeketenthema's (zie Figuur 11): **(1) Reductie, (2) Productie, transport en opslag, (3) Oxidatie, (4) Applicatie- en systeemintegratie.** Deze waardeketenbenadering zorgt voor verbetering en opschaling van de gehele Iron Power technologie.



1) Er is een potentiële technologie die elektrolyse en reductie in één proces integreert, waardoor er mogelijk geen waterstof meer nodig is.

Figuur 11: R&D waardeketen thema's

Elk van de vier thema's heeft zijn eigen doel:

- Het doel van **reductieprojecten** is om de conversie-efficiëntie te verhogen, circulariteit te verbeteren en reactiesnelheid te verhogen om uiteindelijk bestaande reductietechnieken bij verschillende temperaturen te optimaliseren en nieuwe reductietechnieken te ontwikkelen.
- Het doel van **productie-, transport- en opslagprojecten** is om de efficiëntie van de volledige cyclus te verhogen door het optimaliseren en standaardiseren van de kenmerken van ijzerpoeder, het onderzoeken van diverse ijzer-reststromen uit de industrie voor gebruik binnen de Iron Power cyclus, en het verbeteren van bestaande (reguliere) opslagmethoden voor poeder om ze te gebruiken voor de opslag van ijzerpoeder.
- Het doel van **oxidatieprojecten** is om de reconversie-efficiëntie te verhogen en emissies te verminderen door het ontwikkelen en verbeteren van verschillende oxidatiemethoden, resulterend in verhoogde stabiliteit, vermindering van verliezen en geoptimaliseerde circulariteit van het algehele proces.
- Het doel van **applicatie- en systeemintegratieprojecten** is om veilig en economisch gebruik van ijzerpoeder te verbeteren door zich te richten op de hoge temperatuur verwarmingsindustrie, het onderzoeken van alternatieve toepassingen zoals natte-cyclus-oxidatie (waterstofproductie), het analyseren van retrofit-opties, het ontwikkelen van veiligheidsvoorschriften, het ontwikkelen van bedrijfsmodellen en het verbeteren van de integratie met bestaande en nieuwe energie-infrastructuur.

De projecten binnen elk thema zijn gekozen zodat de 'uitdaging' in elk onderzoeksproject verschilt, om een brede dekking van het oplossingsgebied te garanderen. Technologische tegenslagen kunnen zich voordoen tijdens het programma, gezien het relatief lage TRL-niveau van de technologie en de complexiteit van optimalisatie. GO/NO-GO mijlpalen zullen onderweg worden gebruikt om indien nodig in te grijpen. In ieder geval zal de Iron Power technologie en het marktpotentieel van de technologie zijn bewezen en het optimalisatiepotentieel aanzienlijk zijn verkend vanwege de systematische aanpak van de R&D-projecten.

2.5.3 PIJLER II – PILOTS & DEMO'S

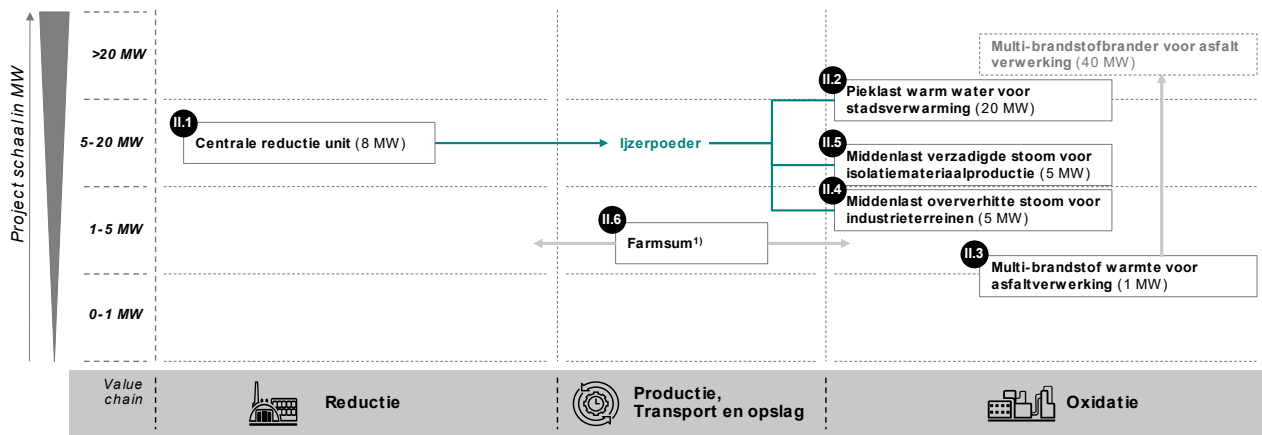
Pilot- en demoprojecten worden gebruikt om de haalbaarheid en potentie van Iron Power technologieën met een hoog TRL-niveau te bewijzen in verschillende industriële omgevingen.

Verschillende basis Iron Power technologieën hebben in onderzoek (fundamenteel / experimenteel) hun potentieel voor succes aangetoond. De pilot- en demoprojecten zullen zich richten op deze technologieën door deze te testen in een experimentele omgeving om het potentieel van de technologieën in first-of-a-kind faciliteiten te bewijzen. De experimentele opstellingen die in deze projecten worden gecreëerd, zullen (naast de Laboratoria van de Innovatie infrastructuur) dienen als testomgevingen voor verdere ontwikkeling van de technologieën, waardoor het TRL-niveau wordt verhoogd. De pilotprojecten zijn dus net als de Innovatie infrastructuur een experimenteerruimte voor nieuwe sub-technologieën van ijzerpoeder vloeiende uit de R&D projecten. De belangrijkste onderzoeksvraag zal voor elk pilot- en demoproject vergelijkbaar zijn: *Is de Iron Power (sub-)technologie een haalbare innovatie die kan worden gebruikt in een industriële omgeving, of heeft het potentie om dit in de toekomst te worden?* De kennis, apparatuur en experimentele opstellingen die in de projecten zijn bewezen, zullen worden gebruikt door de Innovatie infrastructuurpilaar om diensten te ontwikkelen voor toekomstige gebruikers (bijvoorbeeld het bieden van testomgevingen voor toekomstige Iron Power sub-technologieën).

Het portfolio van pilot- en demoprojecten is zorgvuldig geselecteerd, zodat ze de verschillende (i) **ontwikkelingsfasen / schalen** omvat, de gehele (ii) **waardeketenpositie** omvat en daarmee de keten sluit, verschillende (iii) **technologieplatformen** test en demonstreert, verschillende (iv) **eindgebruikstoepassingen** omvat en (v) **operationeel leren** mogelijk maken (bijv. onderhoudscycli en lange termijn betrouwbaarheid).

- **De ontwikkelingsfasen / schalen** – Pilot- en demoprojecten worden uitgevoerd op verschillende schalen (5 tot 20 MW). Deze aanpak maakt het mogelijk om technologieën met een relatief laag TRL-niveau op kleinere schaal te testen en technologieën met een hoog TRL-niveau op grotere schaal te testen.
- **Waardeketenposities** – Iron Power technologie kan alleen commercieel worden gevestigd als de gehele waardeketen zich ontwikkelt en verbonden raakt: reductie, transport en opslag, en oxidatie. Zonder de reductietechnologie is er geen ijzerpoeder voor oxidatie, en zonder oxidatie (incl. reconversie) is er geen ijzeroxide om opnieuw te gebruiken in de reductiestap. Uiteindelijk zou dit moeten leiden tot de ontwikkeling van een internationale markt voor ijzerpoeder, die toegang biedt tot betaalbare groene moleculen en zo de totale kosten helpt verlagen.
- **Technologieplatformen** – Iron Power technologie is afhankelijk van verschillende technologie ontwikkelingen, zoals *fluidized bed-*, *rotating drum-* of *furnace/moving belt-*reductie om ijzerpoeder te regenereren. Elke van deze technologie ontwikkelingen moet worden getest en gedemonstreerd.
- **Applicatie- & systeemintegraties** – De eindgebruikstoepassing is nodig om het potentieel en de uitdagingen van de Iron Power technologie in verschillende eindgebruikinstellingen (hoge temperatuur / lage temperatuur) te verkennen. Iron Power oxidatietechnologie als warmtebron in stadsverwarming staat voor andere uitdagingen dan Iron Power technologie als directe warmte in bijvoorbeeld de procesindustrie.
- **Operationele instellingen** – Door verschillende first-of-a-kind pilots op verschillende locaties / industriële omgevingen te creëren (bijv. piek- / middenlastbelasting, hybride / multi-brandstof), wordt ervaring opgedaan

met de levensduurprestaties van apparatuur en inzicht in mogelijkheden voor operationele efficiëntie. Het doel is om de toekomstige operationele uitgaven van de Iron Power technologie te verminderen.



1) Omvat reductie, productie, transport, opslag en oxidatie (gehele waardeketen)

Figuur 12: Projectportfolio van Pilots en demo's

De pilot en demo projecten van het Iron Power programma zijn:

- **Project II.1 Centrale reductie unit** – Dit project is een pilot van een 8 MW reductie-eenheid op een strategische locatie (inclusief lokale opslag en transport), die ijzerpoeder produceert als input voor de oxidatieprojecten.
- **Project II.2 Pieklast warm water voor stadsverwarming** – Dit pilotproject is een 20 MW pieklast boiler (lage temperaturen) om heet water te produceren voor stadsverwarming.
- **Project II.3 Multi-brandstof warmtesysteem voor asfaltverwerking** – Dit pilotproject is een 1 MW en (indien succesvol) 40 MW multi-brandstof (waterstof en ijzerpoeder) warmtesystemen (hoge temperatuur) die worden geïntegreerd met asfaltverwerkingsinstallaties.
- **Project II.4 Middenlast oververhitte stoom voor industrieterreinen** – Dit pilotproject is een 5 MW middenlast boiler voor de productie van oververhitte stoom voor industrieterreinen.
- **Project II.5 Middenlast verzadigde stoom voor isolatiemateriaalproductie** – Dit pilotproject is een 5 MW middenlast stoom productie boiler die in staat is om aan/uit te schakelen (bijvoorbeeld tijdens het weekend) voor een speciale toepassing in de chemische industrie.
- **Project II.6 Farmsum** – Dit pilotproject omvat de Iron Power waardeketen met vier bedrijven om waterstof te produceren, ijzerpoeder te produceren, oxidatie om warmte/ energie te leveren en het reconverteren van ijzeroxide.

2.5.4 PIJLER III – INNOVATIE-INFRASTRUCTUUR

Kennis, expertise, experimentele opstellingen en partner-netwerken die zijn opgebouwd kunnen worden benut om diensten te creëren gericht op toekomstige gebruikers van Innovatie infrastructuur.

Binnen de pilots & demo's pijler zal het Iron Power programma expertise, faciliteiten (apparatuur en experimentele opstellingen), een partner-netwerk en succesvolle methoden ontwikkelen om projecten op te zetten/uit te voeren, die kunnen worden benut om de overgang naar Iron Power als duurzame energiedrager te ondersteunen en te leiden. Samen met de expertise en kennis die is opgedaan in de R&D-projecten, zullen **diensten** worden ontwikkeld voor instellingen en bedrijven die geïnteresseerd zijn in Iron Power technologie. De centrale basis zullen de (te realiseren) laboratorium faciliteiten zijn, waar publieke en private (internationale) partners gezamenlijk kunnen werken aan uitdagingen op het gebied van Iron Power technologie. De diensten die worden aangeboden door de Innovatie infrastructuur zijn gericht op het versnellen van TRL-winst, valorisatie van innovaties en het bevorderen van ecosysteemgroei. Bovendien zullen deze diensten een integraal onderdeel vormen van het duurzame Iron Power businessmodel.



Figuur 13: Innovatie infrastructuur services

De Innovatie infrastructuur biedt vier soorten diensten aan (zie Figuur 13):

- **Community:** Het opschalen, implementeren en breed toepassen van Iron Power vereist dat innovators en belanghebbenden gezamenlijk waardeketens en waardeketenexperimenten opzetten. De Community Service biedt innovators (Community-leden) toegang tot een **internationaal Community programma** en een **concurrent engineering faciliteit** en bijbehorende procesondersteuning met ervaring in het leiden/ontwerpen van gelijktijdige engineering sprints.
- **Laboratories:** Om technische uitdagingen te overwinnen en Iron Power innovaties op te schalen, zijn tests op steeds grotere schaal en in steeds realistischere omgevingen nodig. Toegang tot dit soort omgevingen is echter beperkt, waardoor de innovatiecapaciteit van Iron Power in Nederland wordt beperkt. De Laboratories diensten overbruggen deze innovatiebarrière door innovators (onderzoekers en/of bedrijven) toegang te bieden tot drie laboratoria - en de bijbehorende kennis om ze te gebruiken en experimenten te ontwerpen - om hun innovaties te testen en op te schalen over de hele (TRL) keten. De Service biedt toegang tot een **Academic lab** voor kleinschalig onderzoek (TRL 1-3), een **Field lab** voor praktische studies (TRL 3-5) en een **Living lab** voor studies op de gehele keten in een opererende omgeving.
- **Talents:** Het succes van het programma vereist opgeleide talenten met de vaardigheden om waardeketens van Iron Power op te bouwen en te onderhouden. De Talents Service biedt uitdagingen voor studenten door samen te werken met Iron Power experts aan uitdagende en maatschappelijk relevante vraagstukken en gebruik te maken van de laboratoria van het programma voor hun activiteiten. Daarnaast biedt het programma, gezien de krappe arbeidsmarkt voor technisch personeel, cursussen aan studenten (WO/HBO/MBO-niveau) en professionals om talenten voor te bereiden op of om te scholen naar een rol in de waardeketen (o.a. onderhoud, logistiek, regelgeving), maar ook om op een meer arbeidsproductieve manier te innoveren.
- **Funding:** Iron Power innovators hebben aanzienlijke investeringen nodig om hun technologieën te ontwikkelen en op te schalen, en waardeketens op te bouwen. De Funding Service biedt verbeterde toegang tot financiering, via publieke financiering van publieke instrumenten en via gecoördineerde hulp bij financieringsaanvragen, en toegang tot een private investeerdersgemeenschap die actief op zoek is naar kansen in het ecosysteem. De Funding Service biedt ook ondersteuning aan partijen die de ecosysteemdiensten willen gebruiken, maar het zich nog niet kunnen veroorloven. In dat geval biedt het Iron Power programma mogelijkheden van uitgestelde betaling of betaling in aandelen.

2.5.5 STRUCTURELE INBEDDING

De pijlers R&D en Pilots en demo's zijn nauw verbonden met en versterken de Services van de Innovatie infrastructuur. De Pilots en demo's zorgen voor opgeschaalde en ontwikkelde technologieën die kunnen worden ingezet om Services te ontwikkelen die kunnen worden gevaloriseerd voor een breder ecosysteem binnen Nederland en daarbuiten. Daarnaast zal de kennis en expertise die in de R&D projecten wordt verzameld, worden gebruikt om de Services van de Innovatie infrastructuur te verbreden en/of te verdiepen. Het Iron Power programma zal structureel worden ingebed in het Nederlandse innovatie ecosysteem naarmate de Iron Power innovatie zich zal bewijzen en de Services zelfvoorzienend worden. De te ondernemen activiteiten in de gedefinieerde R&D en Pilot en demo projecten binnen dit programma zijn tijdsgebonden. De Innovatie infrastructuur blijft echter ook na de investeringshorizon bestaan. De infrastructuur die door dit programma wordt gebouwd en bewezen, zal na de looptijd van dit initiatief worden gefinancierd uit vergoedingen van klanten (*pay-per-use* en lidmaatschapsmodellen) en toegewijde lange termijn partners die het innovatie-ecosysteem op lange termijn zullen versterken. Enthousiaste nationale en internationale klanten worden aangetrokken tot het Iron Power programma - door de versnelde ontwikkeling en het bewijs van Iron Power potentieel op industriële schaal, en de faciliteiten - om Iron Power technologieën te onderzoeken, ontwikkelen of testen. Verder zullen de (sub)diensten zorgen voor een nieuwe 'economie' met bedrijven (bestaande of spin-outs) die technologieën en/of diensten ontwikkelen, die internationaal op de markt kunnen worden gebracht.

Kader 7: Doelmatigheid van het Iron Power programma

Het Iron Power programma is zo vormgegeven dat de kansen rondom het opzetten van de waardeketen voor de Iron Power technologie zo efficiënt mogelijk worden benut. De R&D, Pilot en Demo en Innovatie infrastructuur projecten zijn ingericht om (i) de potentie van Iron Power in de energietransitie aan te tonen; (ii) het ontwikkelen van efficiënte methodes en technologieën langs de gehele waardeketen; en (iii) om een Iron Power ecosysteem te ontwikkelen op nationaal en internationaal niveau om samenwerking en kennis uitwisseling te bevorderen. Het gehele portfolio aan projecten is zo gekozen om de verschillende technologieën die nodig zijn in de waardeketen te ontwikkelen en optimaliseren. Gezien een gedegen uitvoering van belang is voor het succes van het NGF-programma, vinden uitvoerende activiteiten in het kader van het Iron Power programma plaats met verschillende doelen. Er zal worden geborgd dat er geen overlap is van activiteiten en kosten, de projecten zullen elkaar nauwkeurig aanvullen en versterken. Daarnaast wordt met de stimulering van spin-out activiteiten de uitkomsten van de projecten maximaal gevaloriseerd en gebruikt om vele bedrijven en wetenschappers te betrekken in het Iron Power programma.

Het uitgangspunt van het Iron Power programma is om de uitvoeringskosten zo beperkt mogelijk te houden en de NGF-middelen doelmatig en doeltreffend in te zetten. Een mogelijkheid om de investering te verlagen is om minder projecten uit te voeren. Echter, een groot nadeel is dat dit een gat slaat in de portfolio in de breedte van de verschillende technologieën en methodes die nodig zijn om de Iron Power waardeketen te realiseren. Zo zijn alle Pilots en demo's in het programma essentieel gezien de projecten verschillende applicaties onderzoeken. Zo is in de basis de 'hardware' die gebruikt wordt per project vergelijkbaar, maar zijn zowel de nabehandeling (proces en systeemintegratie) als de parameterinstelling per applicatie anders, met als gevolg dat de optimalisatie-processen per systeem verschillen. Het schrappen van projecten gaat daardoor ten koste van de impact die dit programma kan hebben op de energietransitie.

Een tweede mogelijkheid om de kosten te verlagen is om de investering in de Innovatie infrastructuur te verminderen. Het nadeel hiervan is een minder ontwikkeld (inter)nationaal ecosysteem en talent service die beide cruciaal zijn voor het programma gezien de internationale waardeketen die samenwerking en kennisdeling vereist en de krappe arbeidsmarkt.

Concluderend, voor het Iron power programma is er een zorgvuldige afweging gemaakt over de schaal en het project portfolio, waarin een balans is tussen het beperken van de investering, de schaalontwikkelingen die nodig zijn, de technologie ontwikkeling en optimalisatie, de impact en het ecosysteem.

Tabel 2: Algemene risico's en afhankelijkheden voor het bereiken van de doelstellingen

Risico	Toelichting	Mitigatiemaatregelen
Doorontwikkeling buiten Nederland	De mogelijkheid bestaat dat grote bedrijven spin-offs en start-ups overnemen en de activiteiten buiten Nederland plaatsen, waardoor een deel van de effecten in het buitenland neerslaan.	Het Iron Power programma vormt een sterk overkoepelende Community waar spin-offs deel van kunnen uitmaken. Deze Community biedt ondersteuning, kansen en kennis aan de aangesloten bedrijven, waardoor ze verankerd raken in het ecosysteem. Dit vermindert de kans aanzienlijk dat bedrijven zich naar het buitenland verplaatsen.
Internationale concurrentie	Andere buitenlandse universiteiten, start-ups en projectontwikkelaars kunnen de concurrentiepositie van het Iron Power programma ondermijnen en de bedrijvigheid wegtrekken.	Het Iron Power programma zal niet concurreren met internationale partijen, maar streeft juist naar samenwerking. De Community zal gevormd worden door zowel nationale als internationale partijen die een gedeeld doel nastreven.
Beschikbaarheid van gekwalificeerd personeel	Door de voortdurende krapte op de arbeidsmarkt bestaat het risico dat er niet genoeg personeel beschikbaar is, met de juiste kennis en capaciteiten, om de plannen in dit programma uit te voeren.	Door middel van educatie- en cursus programma's voor zowel studenten als professionals, zoals beschreven in hoofdstuk 2.5.4, die alle opleidingsniveaus omvatten, heeft het Iron Power Talents programma het doel mensen te interesseren en op te leiden voor de Iron Power techniek.
Betaalbaarheid van groene waterstof	Gezien groene waterstof de voornaamste kostenfactor is in de Iron Power waardeketen, is de betaalbaarheid ervan een cruciaal punt. Er bestaat een risico dat de kosten niet voldoende dalen om ijzerpoeder een concurrentievoordeel te geven als energiedrager.	Het Iron Power programma omvat projecten die onderzoek doen naar de optimalisatie van de productie van ijzerpoeder. Een belangrijk onderzoek is de DER technologie die de noodzaak van groene waterstof elimineert in de productie van ijzerpoeder. Ook onderneemt het Iron Power programma projecten waarin relatief 'goedkoop' waterstof wordt geproduceerd/ingevoerd (projecten Farmsum en Centrale reductie unit, 3.1.2), en onderzoekt het de kostenreductie door de integratie van waterstofproductie met reductie (SOEC-reductie-integratie project, 2.5.2).
Regulatorische beperkingen	De productie, transport en opslag van (gevaarlijke) energiedragers is sterk gereguleerd op zowel Europees als nationaal niveau. Dit kan de daadwerkelijke toepassing van innovaties in dit domein beperken.	Het Iron Power programma zal een <i>Industry Advisory Board</i> oprichten met vooraanstaande opinieleiders die de belangen van het programma zullen behartigen. Daarnaast richt het programma zich op een continue dialoog en afstemming met regelgevers.
Maatschappelijke en wetenschappelijke acceptatie	Een gebrek aan bewustzijn en acceptatie door zowel het brede publiek als overheid kan de ontwikkeling van Iron Power technologie belemmeren.	Het Iron Power programma bereikt een breed publiek door zowel een Community als een Talents programma op te richten. De Community richt zich op het creëren van bewustzijn door middel van <i>out reach</i> presentaties en evenementen. Het Talents programma biedt training en opleiding aan zowel studenten als professionals.

2.6 SUBSIDIARITEIT EN FLANKEREND BELEID

De baten van het Iron Power programma slaan neer op nationaal niveau, een investering in het Iron Power programma op Rijksoverheidsniveau is daardoor passend, ook sluit het programma aan op Europees beleid.

Zowel de energie-intensieve industrie als de gebouwde omgeving in Nederland zullen voordelen ondervinden van het Iron Power programma. Het programma zal de decarbonisatie van industrieën die mogelijk niet aan het waterstof netwerk worden gekoppeld niet alleen vereenvoudigen, maar ook versnellen. Een investering van de nationale overheid uit het Groeifonds is cruciaal om het Iron Power programma te realiseren. Het is een strategische investering in de ontwikkeling van een ecosysteem dat van groot nationaal belang is en grote internationale potentie heeft.

De Rijksoverheid is het geëigende niveau om steun te verlenen aan het voorgestelde project vanwege de volgende redenen:

- De partijen in het consortium op nationaal niveau moeten samenwerken op gebied van R&D, Pilots & Demo's en Innovatie infrastructuur.
- Nationale samenwerking maakt het mogelijk om op grote schaal expertise te bundelen, en daarmee de internationale positie van het programma te versterken.
- Het programma invulling geeft aan zowel nationale doestellingen en missies op gebied van duurzaamheid en decarbonisatie als sectorspecifieke doelen van de industrie voor het behalen van de klimaatdoelstellingen.
- De economische en maatschappelijke baten (bedrijvigheid, verdienvermogen, nieuwe kennis en CO₂ reductie) grotendeels op nationaal niveau neerslaan en van economisch strategisch belang zijn door onder andere de afhankelijkheid van andere landen te verkleinen.
- Het programma past bij het landelijk missie gedreven innovatie beleid dat is ontwikkeld vanuit brede kennis- en innovatieagenda's voor een toekomst-bestendig Nederland.

Op nationaal niveau sluit het Iron Power programma aan bij de “**Integrale kennis- en Innovatieagenda voor Klimaat en Energie**” waarin 16 meerjarige missie gedreven innovatieprogramma's voor de periode 2024-2027 worden uitgelicht¹⁵. Het programma sluit specifiek aan bij de missies van Topsector Energie, zowel “**Missie B – Gebouwde Omgeving**” als “**Missie C – Industrie**”. Daarnaast stelt “**Het Nederlandse Klimaatakkoord**” CO₂-reductie doestellingen voor de industrie. Tot slot beschrijft “**Het koplopers Programma Het Zesde Cluster**” de plannen die industrieën in het zesde cluster moeten ondernemen om de ambitieuze 2030 en 2050 klimaatdoelstellingen te kunnen halen¹⁶. Tevens sluit het Iron Power programma aan bij missie gedreven innovatiebeleid van de Topsector Energie¹⁷ (op thema's klimaat en energie, en circulaire economie), en de NWO Nationale Wetenschapsagenda (Circulaire economie, en Energietransitie).

Het flankerend beleid van de Rijksoverheid vormt een strategische kern in de dynamiek van het innovatie-ecosysteem. De langjarige beleidslijnen van het Ministerie van Economische Zaken en klimaat en het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap beschrijven onder andere het verduurzamingbeleid voor de industrie en de bevordering van innovatie¹⁸. Het Iron Power programma heeft een duidelijk, betrouwbaar en berekenbaar beleid en tijdige verlening van vergunningen nodig om investeringen mogelijk te maken. Hiervoor is op nationaal niveau zowel duidelijkheid op gebied van wet- en regelgeving als een stimulans voor nieuwe duurzame initiatieven nodig, bijvoorbeeld in de vorm van toenemende CO₂-heffingen. Daarnaast is er een risico van aanhoudende krapte op de arbeidsmarkt. Goede opleidingen en arbeidsomstandigheden binnen de sector blijven prioriteit. Flankerend beleid richt zich op een herwaardering van beroepsopleidingen op mbo- en hbo-niveau.

Kader 8: Internationale positionering van het Iron Power programma

De realisatie van een nieuwe energiewaardeketen vereist zowel nationale als internationale samenwerking en Iron Power is daarop geen uitzondering. Alle projecten vinden fysiek plaats in Nederland, maar er zijn internationale partners nodig voor levering, co-ontwikkeling en/of afname (grondstoffen, apparatuur, activa, netwerk, ijzerpoeder/energie). De belangrijkste (internationale) partners worden vroeg betrokken bij de projectdefinitie, anderen worden onderaannemer van de projecten. Verder hebben belangrijke internationale partijen een zetel in de maatschappelijke adviesraad van het Iron Power program board (zie hoofdstuk 3) om de internationale en industriële relevantie en acceptatie van de ijzerpoedertechnologieën en het ecosysteem te waarborgen/bewaken. De leden van de maatschappelijke adviesraad vertegenwoordigen partijen die geen deel uitmaken van het programma: zij bieden een *outside-in* view om na te denken over de strategie van het programma.

Daarnaast versterken de ambities en activiteiten van het Iron Power programma het beleid op Europees niveau. Het programma richt zich op samenwerking rondom relevante uitdagingen en thema's in de energietransitie die relevant zijn voor de gehele EU. Zo sluiten de ambities in het programma naadloos aan bij “**The European Green Deal**”¹⁹, waarin onder andere de volgende doelstellingen worden beschreven: om in 2050 geen broeikasgassen uit te stoten, economische groei zonder uitputting van grondstoffen en geen regio die aan zijn lot wordt overgelaten.

¹⁵ Integrale Kennis- en Innovatie Agenda voor Klimaat en Energie (2023)

¹⁶ VNCI – Klimaattransitie door de Nederlandse industrie (2020, [Cluster 6 Klimaattransitie door de Nederlandse industrie.pdf \(vnci.nl\)](#))

¹⁷ Topsector Energie – Energietransitie en Duurzaamheid Missies (2024, <https://topsectorenergie.nl/nl/maak-kennis-met-tse/missies/>)

¹⁸ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat – (2022, [- \(overheid.nl\)](#))

¹⁹ European Commission – The European Green Deal (2020, [The European Green Deal - European Commission \(europa.eu\)](#))

3. ACTIVITEITENPLAN EN SAMENWERKING

Dit hoofdstuk beschrijft achtereenvolgens het (3.1) activiteitenplan van het programma, de planning en fasering (3.2), de methode voor monitoring en evaluatie (3.3), de plan specifieke risico's (3.4) en juridische uitvoerbaarheid (3.5). Tot slot, beschrijft dit hoofdstuk de samenwerking en governancestructuur (3.6). Het activiteitenplan en planning en fasering worden in dit hoofdstuk op hoofdlijnen beschreven.

3.1 ACTIVITEITENPLAN

Het Iron Power programma is een integraal plan bestaande uit activiteiten binnen de drie pijlers: R&D, Pilots & demo's, en Innovatie infrastructuur (zie Figuur 9).

3.1.1 PIJLER I – R&D

Het Iron Power programma doet onderzoek binnen de vier hoofdthema's van de Iron Power waardeketen: (1) Reductie, (2) Productie, transport & opslag, (3) Oxidatie en (4) Applicatie- & systeemintegratie. In totaal worden 21 R&D-projecten uitgevoerd om de grootste bottlenecks in de doorontwikkeling van de Iron Power technologie op te lossen en economisch verdienvermogen in nieuwe toepassingsgebieden te realiseren door spin-outs van technologie (nieuwe producten en apparatuur). Per thema is een overzicht gegeven van de projecten binnen de verschillende waardeketenthema's.

Relevante resultaten (technologieën, kennis en expertise) van de R&D-projecten worden gebruikt in gelieerde R&D-projecten, getest in de first-of-a-kind-pilotprojecten en/of getest in de Innovatie infrastructuur. Zo zullen bijvoorbeeld de resultaten/expertise verkregen in het project "Versterken fundamentele reductiekennis" ten goede komen aan de andere projecten binnen het reductiethema zoals het SOEC project, en vice versa. Go/no-go-momenten zorgen ervoor dat technologiepaden zonder commerciële levensvatbaarheid tijdig worden stopgezet en geen onnodige kosten gemaakt (zie Thema Applicatie- & systeemintegratie).

Thema Reductie

De reductietechnologie is op dit moment al mogelijk (zoals ge-pilot zal worden in pilotproject II.1 Centrale reductie unit), maar voor tweede generatie systemen is reductietechnologie nodig die nog energie- en materiaalefficiënter is, en waarbij de reductiereactie sneller en beter controleerbaar is. Het merendeel van het bestaande reductieonderzoek focust op het reactiemechanisme en de kinetiek tussen waterstof en ruwe ijzererts (ijzeroxide gevonden in de natuur). Echter, in de huidige toepassingen verschillen de ijzeroxidepoeders in o.a. grootte, vorm, samenstelling, oppervlaktemorfolgie en onzuiverheden. Recent onderzoek van TU/e²⁰ liet zien dat dit leidt tot aanzienlijk andere resultaten (reactiekinetiek, massa- en warmteoverdracht, en vaste oplossing-sinteren / kleven van poederdeeltjes) en daarmee een ander procesontwerp (reductietemperatuur, reductiemiddel, reactorontwerp) vraagt. De huidige kennis van Iron Power reductiemechanismen is daardoor op kritieke vlakken nog niet toereikend om de technologische uitdagingen te verhelpen die in de weg staan van schaalvergroting en commercialisatie van de huidige reductietechnieken. De reactie is nog niet energie-efficiënt, snel stabiel genoeg, en het materiaalverlies te hoog.

Naast het verbeteren van bestaande techniek bestaat er ook een enorme kans om nieuwe reductietechnologieën te ontwikkelen. Een veelbelovende onderzoeksrichting is naar een integratie van SOEC (*Solid Oxide Electrolysis Cell*) met een reductiereactor, die de potentie heeft om de gecombineerde efficiëntie van waterstof-naar-ijzerpoederproductie te verbeteren naar 80% (nu nog <70%). Daarnaast gaat het Iron Power consortium een reductietechnologie ontwikkelen waarin geen kostbare groene waterstof meer nodig is: Elektrochemische reductie. Elektrochemische reductie produceert ijzerpoeder door directe elektrolyse toe te passen op ijzeroxide in een waterige alkalische oplossing, waarbij enkel groene energie nodig is (dus geen dure waterstof). Deze technologie bevindt zich nu nog in een vroeg stadium, maar heeft de potentie de commerciële levensvatbaarheid van Iron Power sterk te verbeteren (nu vormt de conversie van groene energie naar waterstof nog een significant onderdeel van de ijzerpoeder prijs).

Gedreven door bovenstaande tekortkomingen is het doel van het thema Reductie: *Het verbeteren van de energie- en materiaalefficiëntie, reactiesnelheid en stabiliteit van bestaande en ontwikkelen van nieuwe reductietechnologieën.*

De hoofdvragen die het thema Reductie beoogt te beantwoorden zijn:

- Is er een set aan bestaande/nieuwe reductiereacties, ijzeroxidekarakteristieken en/of opstellingen waarin ijzerpoederproductie energie-efficiënt, continu, het materiaalverlies minimaal en de resulterende ijzerpoeder van de gewenste kwaliteit is?
- Zijn deze onderzoeksresultaten schaalbaar en kunnen deze worden ingezet om bestaande reductietechnologieën te verbeteren?

Dit thema beantwoordt de hoofdvragen in vijf projecten zoals weergegeven in Figuur 14.

²⁰ Hessels, C. J. M. (2023) – TU/e – Reduction of combusted iron using hydrogen.



Figuur 14: R&D Reductie – Activiteitenplan

Kader 9: Project I-5 Directe elektrochemische reductie (DER)

Dit project onderzoekt de haalbaarheid van ijzerpoederproductie door middel van DER en van het hergebruiken in het DER-proces van de ijzeroxide die voort komt uit de oxidatie van het door DER geproduceerde ijzerpoeder. Om dit te onderzoeken zal een labschaal keten van een DER en een oxidatieunit worden opgezet in Australië door (deels) Nederlandse partijen Iron+ en Ferron Energy.

Tijdens het onderzoek zal een aantal cycli worden gedraaid van: (1) productie van ijzerpoeder d.m.v. DER, (2) oxidatie van ijzerpoeder, (3) terugvoeding aan het DER-proces en (4) productie van ijzerpoeder. Gedurende deze hele cyclus zal het poeder (ijzer en ijzeroxide) worden geanalyseerd en gekarakteriseerd en zullen oxidatieprestaties (energie- en materiaalefficiëntie) worden geevalueerd, om daarmee de benodigde voor- en nabehandlungsprocessen van het ijzerpoeder en ijzeroxidepoeder te onderzoeken en/of te ontwikkelen. Overkoepelend zal de technische en economische levensvatbaarheid van de DER-technologie in de Iron Power keten worden geanalyseerd.

Wanneer het project succesvol is afgerond zal de opgedane kennis van technologie en ijzerpoederkarakterisatie uiteindelijk ook in het Fieldlab worden getest en beschikbaar worden gemaakt in het Living lab voor de educatie van zowel industriële partijen als (toekomstige) talenten.

Thema Productie, transport & opslag

Voor succesvolle implementatie van een Iron Power ecosysteem moet ijzerpoeder (en vervolgens ijzeroxide) worden verscheept (bijvoorbeeld vanuit het Midden-Oosten, Australië of Afrikaanse landen als Namibië) in volumes die vele malen groter zijn dan nu voor ijzerpoeders gebruikt in verf, pigment en automobiellapplicaties (ca. 2 m ton per jaar). Dat zal een verschuiving vereisen van vervoer in *big-bags* naar bulkvervoer en mogelijk gespecialiseerd materieel. De introductie van de Iron Power logistieke waardeketen zal ook leiden tot een verschuiving/herverdeling van het Nederlandse, Europese en uiteindelijk wereldwijde energiesysteem en -markt. De noodzakelijke transport- en opslagapparatuur en afhandlungsstandaarden ontbreken echter nog, en de veiligheidsaspecten, het effect van langeafstandsvervoer op ijzerpoeders (o.a. H₂ vorming door contact met water, corrosie, stolling, oxidatie, contaminatie) en de verandering van het energiesysteem (bijv. benodigde opslaginfrastructuur/netwerk) zijn nog niet in detail onderzocht.

Daarnaast focust veel onderzoek op verbetering van de cyclabiliteit van ijzerpoeder/-oxide in slechts één van beide kritische Iron Power productietechnologieën, ofwel reductie ofwel oxidatie. Om optimale cyclische prestaties (minimaal ijzer(oxide)poeder verlies) te bereiken voor het gehele systeem zal meer integraal onderzoek moeten worden verricht naar de poederkarakteristieken/parameters voor reductie én oxidatie (in samenhang).

Het doel van het thema Productie, transport & opslag is: *Ontwikkelen van noodzakelijke transport- en opslaginfrastructuur, veiligheidsstandaarden en poederparameterinstellingen voor de optimale cyclische prestaties gedurende transport en opslag.*

De hoofdvragen die worden beantwoord zijn:

- Welke infrastructuur en handelingen zijn nodig voor langeafstandstransport en opslag van ijzerpoeder en ijzeroxide, en zijn deze te standaardiseren?
- Hoe is het transporteren van en handelen met ijzerpoeder/-oxide veilig te garanderen (gedurende het gehele logistieke proces), welke voorzorgsmaatregelen zijn noodzakelijk?
- Onder welke set aan poederparameterinstellingen en reactoropstellingen zijn de prestaties van de ijzerpoeder-cyclus optimaal?

Dit thema beantwoordt de hoofdvragen in vijf projecten zoals weergegeven in Figuur 15.



Figuur 15: R&D Productie, transport & opslag – Activiteitenplan

Thema Oxidatie

De opschaling naar voltijds (hoge *full load hours*) inzetbare oxidatiesystemen op grote industriële schaal vraagt om systemen die continu kunnen draaien met een hogere efficiëntie van energie, warmteoverdracht en materiaal. Zo zal in de pilots moeten worden bewezen dat het ijzerpoederterverlies tijdens oxidatie maximaal 0,2% is, waar een commercieel levensvatbaar proces vraagt om een verlies van 0,1%. Om de benodigde technologiestappen te maken, zullen de reactie-, ontstekings- en emissiemechanismen van ijzerpoederoxidatie in een breed spectrum aan condities en met verschillende oxidatiemiddelen moeten worden onderzocht. De impact van het formaat en vorm van de ijzerpoederdeeltjes, vlamturbulentie, de reactietemperatuur (ijzerpoederfase) en oxidatiemiddelen is bijvoorbeeld nog niet volledig inzichtelijk gemaakt. Ook zijn de cyclische prestaties van bestaande technologieën nog onvoldoende – een te groot deel van het ijzerpoeder met valorisatiepotentieel gaat nog verloren. Dit verslechtert de kosten per geleverde warmte en daarmee ook de commerciële levensvatbaarheid. Een veelbelovende onderzoeksrichting richt zich dan ook op het valoriseren van deze verloren reststromen door middel van lagetemperatuuroxidatie, om daarmee de materiaal-efficiëntie van het gehele proces te verbeteren en de kosten van geleverde warmte te verlagen.

Daarnaast zijn huidige oxidatiesystemen veelal gebaseerd op systemen die worden gebruikt in kolen- en biomassaverbranding. Deze systemen gebruiken op dit moment nog propaan om een continu proces te creëren en hebben last van significante depositie van deeltjes in de verbrandingskamer. De opschaling van oxidatietechnologieën vraagt om een nieuwe technologie voor deze verbrandings- en warmtewisselsystemen die beter aansluit op het hogetemperatuuroxidatieproces van ijzerpoeder én in staat is continu te opereren met minimale depositie in de reactor.

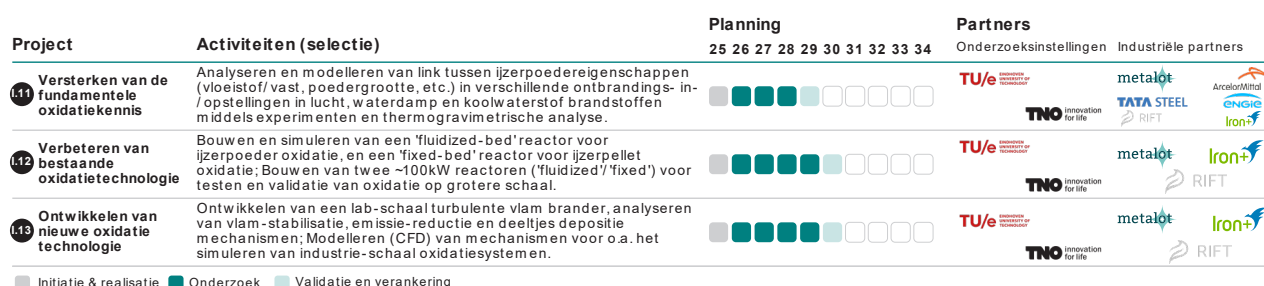
Er is ook een enorme kans om de ijzerpoeder om te zetten in waterstof middels een oxidatiereactie van ijzerpoeder met waterdamp: de natte-cyclus-oxidatie. Deze technologie staat op dit moment in de kinderschoenen, maar speelt een kritieke rol in de waardeketen voor het gebruik van ijzerpoeder als tijdelijk opslagmedium van waterstof.

Gedreven door bovenstaande tekortkomingen en kansen is het doel van het Thema Oxidatie: *Het verbeteren van de energie- en materiaalefficiëntie, continuïteit en warmteoverdracht van bestaande en ontwikkelen van nieuwe oxidatietechnologieën.*

De hoofdvragen die het thema Oxidatie beoogt te beantwoorden zijn:

- In welke set aan bestaande/nieuwe oxidatiereacties, ijzerpoederkarakteristieken, oxidatiemedia en/of verbrandingsopstellingen is warmteproductie energie-efficiënt en continu, en de emissies en het materiaalverlies minimaal?
- Is het mogelijk met lage-temperatuur-oxidatie de reststromen van het oxidatieproces te valoriseren?
- Is de natte-cyclus-oxidatie van ijzerpoeder naar waterstof technisch en economisch haalbaar?
- Zijn deze onderzoeksresultaten schaalbaar en kunnen zij worden ingezet om bestaande oxidatietechnologieën te verbeteren?

Dit thema beantwoordt deze hoofdvragen in drie projecten zoals weergegeven in Figuur 16.



Figuur 16: R&D Oxidatie – Activiteitenplan

Thema Applicatie- & systeemintegratie

Naast de applicatie- en systeemintegratie van Iron Power in de pilotprojecten (oxidatie), kan de Iron Power technologie breder worden ingezet. Echter, om de *sweet spot* te identificeren is onderzoek nodig naar de technische en economische haalbaarheid van Iron Power in verschillende applicaties en de integratie van Iron Power systemen in bestaande processen. Dat onderzoek is nu nog relatief weinig gedaan en het is ook vaak onduidelijk of en hoe Iron Power technologie kan worden geïntegreerd in bestaande operaties, bijvoorbeeld door het retrofitten van ijzerpoederoxidatietechnologie op een kolen- of gasgestookte elektriciteitscentrale. De onzekerheid over toepasbaarheid en integratiemogelijkheden weerhoudt de industrie er vooralsnog van de Iron Power technologie verder te onderzoeken, door te ontwikkelen en te omarmen.

Het doel van het thema Applicatie- & systeemintegratie is: *Het identificeren van industriële applicaties en ontwikkelen van systeemintegraties van Iron Power technologie met een hoge technische en economische haalbaarheid.*

De hoofdvraag van dit thema zijn:

- Zijn er binnen de verschillende applicaties (industrieën) Iron Power systeemconfiguraties die technisch en economisch levensvatbaar zijn?
- Welke industriële reststromen zijn technologisch en economisch haalbaar om gebruikt te worden als energiedrager binnen het Iron Power concept?

Dit thema beantwoordt deze hoofdvraag in acht projecten zoals weergegeven in Figuur 17.

Project	Activiteiten (selectie)	Planning											Partners		
		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	Onderzoekinstellingen	Industriële partners		
I.14 Calcinatieproces (cement)	Ontwikkelen van nieuw type verbrander voor maximale warmte-overdracht en minimale inmenging van ijzeroxide in cementmeel.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	TU/e	metaligt, HOLCIM
I.15 Alternatieve feedstocks	Analyseren en karakteriseren van diverse stoffstromen (reststromen) van industriële partners voor toepassing binnen de Iron Power cyclus.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	TU/e	metaligt, ArcelorMittal, KWR, nyrtstar
I.16 Retrofit powerplants	Onderzoeken van de technische en economische haalbaarheid voor de retrofit van kolencentrale en gasgestookte elektriciteitscentrale.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	TU/e	metaligt, ArcelorMittal, ENGIE, nyrtstar
I.17 Hybridesysteem	Ontwikkelen van oxidatie-reductie integratie voor energieopslag en -transport of -afgifte, en een natte-cyclus reactor proof of concept.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	TU/e, TNO	metaligt, DOOSAN, Pametan
I.18 Reststromen	Analyseren, modelleren en testen van industriële ijzerreststromen (i.e., bij waterzuivering, metaalverwerking) als input voor Iron Power.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	TU/e	metaligt, nyrtstar, KWR, ArcelorMittal
I.19 Elektriciteit-productie	Ontwerpen, modelleren, integreren en testen van een ijzerpoeder boiler in een Rankine Gas Turbine.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	TU/e	HEATPOWER, metaligt, Iron+
I.20 Iron Power holon	Definiëren van een first-of-a-kind totale Iron Power keten als enkele bron van energie (warmte, elektriciteit).	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	TU/e	esa, metaligt
I.21 Hybride warmteproductie	Modelleren van hybride warmtesystemen (elektr. en Iron Power) voor hoge temp. warmte (>400°C) en medium temp. stoom (~200°C).	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	TU/e, TNO	metaligt

Figuur 17: R&D Applicatie- & systeemintegratie – Activiteitenplan

De start van de projecten Calcinatieproces en Directe Elektrochemische Reductie (projecten II.14 en I.5) zal afhangen van de uitkomsten van de haalbaarheidsonderzoeken in de projecten Transportlogistiek en Nationale energiesysteemintegratie (projecten I.8 en I.9). Om onnodige kosten te voorkomen, zullen deze projecten pas starten wanneer de doelstellingen van de haalbaarheidsonderzoeken zijn behaald en aan de vooraf vastgelegde criteria is voldaan.

3.1.2 PIJLER II – PILOTS & DEMO'S

Het Iron Power programma realiseert zes first-of-a-kind pilot- & demoprojecten om de gevalideerde Iron Power technologie te bewijzen op grotere schaal en in industriële toepassing. Het overzicht van pilot- & demoprojecten is gegeven in Figuur 18 en hieronder worden één voor één de projecten toegelicht.

Elk van de projecten vraagt een totaal andere benadering. Een oxidatie-systeem (boiler) voor hoge verzadigde stoom vergt een compleet andere systeemopstelling, poeder-/parameterinstellingen en/of componenten dan een oxidatie-systeem voor het produceren van hoge temperatuur stoom. De projecten zijn ook zorgvuldig gekozen om de verschillende Iron Power technologieën en potentie op verschillende schalen, met verschillende technologiebases en in verschillende toepassingen te bewijzen.

Project	Activiteiten (selectie)	Planning											Partners		
		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	Onderzoekinstellingen	Industriële partners		
II.1 Centrale reductie unit	Ontwerpen en realiseren van een first-of-a-kind reductiesysteem voor de productie van ijzerpoeder.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		RIFT
II.2 Pieklust warm water voor stadsverwarming	Ontwerpen en realiseren van een first-of-a-kind Iron Power pieklust boiler voor een stadsverwarmingsnetwerk.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		VEOLIA, RIFT
II.3 Multi-brandstof warmte-systeem voor asfaltverwerking	Ontwerpen en realiseren van een first-of-a-kind multi-brandstof warmtesysteem voor asfaltproductie.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		ASFALTNU, Iron+
II.4 Middenlast oververhitte stoom voor industrieterreinen	Ontwerpen en realiseren van een first-of-a-kind middenlast boiler voor oververhitte stoomproductie.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		VEOLIA, RIFT
II.5 Middenlast verzadigde stoom voor isolatiemateriaalproductie	Ontwerpen en realiseren van een first-of-a-kind middenlast boiler voor verzadigde stoom productie.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		Kingspan, RIFT
II.6 Farmsum	Ontwerpen en realiseren van een first-of-a-kind complete Iron Power waardeketen.	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█		Xinquilata, Re-Forme, Iron+

Figuur 18: Pilots & demo's – Activiteitenplan

Zoals eerder aangegeven zijn de pilots- en demoprojecten qua onderlinge samenhang zorgvuldig geselecteerd en vullen ze elkaar perfect aan voor wat betreft de onderzoeksvragen en te genereren kennis. Als voorbeeld heeft ieder type boiler een wezenlijk ander design dan de andere types. Deze designs moeten op zichzelf geoptimaliseerd worden m.b.t. de performance-eisen van de beoogde toepassing (druk, temperatuur, energie-efficiëntie, ramp-up/ramp-down ratio, down-time, durability/O&M), en dit moet ook allemaal gevalideerd worden (en verder geoptimaliseerd worden) in de praktijk. De formulering van de onderzoeksvragen zijn dus redelijk vergelijkbaar per project (“optimaliseren design voor specifieke performance-eisen van de toepassing”), maar de beantwoording hiervan (i.e. het resulterende design) zal wezenlijk verschillen omdat de performance-eisen per toepassing/type systeem verschillen.

Met de voorgestelde projecten dekken we de volledige lading van deze profielen met het minst aantal projecten.

	Peakload/backup	Midload	Baseload
Heet water	ENN (II.2)		
Verzadigd stoom		Kingspan (II.5)	
Oververhitte stoom			Veolia (II.4)

Bij heet water zoals bij project II.2 is er sprake van een vuur & vlampijp ketel, vs. een waterpijp ketel voor oververhitte stoom. Hiermee is er een verschil tussen de twee type boilers m.b.t. het vlamprofiel, de proces condities, het mechanisch ontwerp, etc., wat invloed heeft op de integrale performance (energie-efficiëntie, ramp-up/ramp-down ratio) en dus op het integratie-/optimalisatievraagstuk.

Bij oververhitte stoom & verzadigd stoom zoals bij project II.5 en II.4 heeft men te maken met flue gas recirculation. Ook is er een deaerator (ontgasser) die geïntegreerd moet worden bij deze twee type boilers. De integratie van deze twee onderdelen beïnvloedt de integrale performance (energie-efficiëntie, ramp-up/ramp-down ratio) en heeft dus invloed op het integratie/optimalisatievraagstuk. Normen ten aanzien van apparatuur op druk stellen andere eisen aan de verschillende designs gezien de verschillen drukken (anders krijgt men geen CE-certificering). Dit heeft weer invloed op de integrale performance (energie-efficiëntie, ramp-up/ramp-down ratio) en dus op het integratie/optimalisatievraagstuk.

De systemen betreffen tevens verschillende loads (peakload/midload/base-load), wat ook resulteert in wezenlijke verschillen in de designs, maar vooral verschillen in de doelen van de integratie- & optimalisatievraagstukken (lees: de definities van ‘optimaal’ verschillen per load). Deze verschillen worden hieronder verder toegelicht. Ieder profiel stelt andere performance eisen (bijv. ten aanzien van ramp-up/ramp-down ratios), die van invloed zijn op het optimalisatievraagstuk en daarmee op de designs. Bijv. de integratie met de bulk solid heat exchanger en met de flue gas recirculation verschilt per type als gevolg hiervan.

Pilotproject II-1: Centrale reductie unit

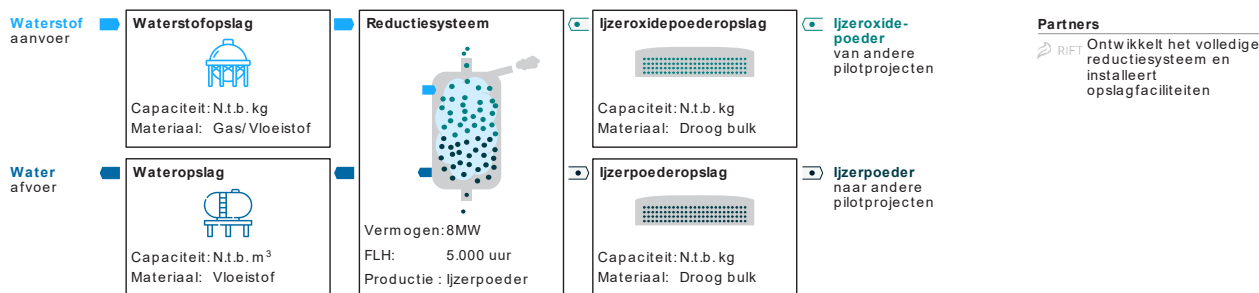
Om de energietransitie door middel van Iron Power technologie te versnellen, is het noodzakelijk dat ijzerpoeder op grote schaal geproduceerd gaat worden en daardoor grootschalig beschikbaar is voor de industriële gebruikers tegen een competitieve prijs. Echter, de reductie technologie om ijzerpoeder te produceren is nu nog enkel in een kleine industriële demonstratie-opstelling (100kW, TRL-6) aangetoond, waarin de economische competitiviteit nog niet adequaat was. Het bewijs op kleine schaal en de nog beperkte beschikbaarheid van duurzaam geproduceerd ijzerpoeder, weerhoudt de markt van investeren in de doorontwikkeling van gelieerde Iron Power technologieën en de grootschalige adoptie van Iron Power systemen voor het decarboniseren van de operatie. Het bewijzen van de reductietechnologie op grotere schaal, alsook de economische levensvatbaarheid van de reductietechnologie, is nodig om de impuls te geven die de markt nodig heeft.

Om dit te bewerkstelligen start RIFT een project met als doel: *Het ontwikkelen van een ijzerpoeder reductiesysteem dat geschikt is voor het produceren van ijzerpoeder, met nihil directe CO₂- en NO_x-uitstoot.* Dit project focust op de ijzerpoederproductie die zal dienen als input voor de pilotprojecten ‘Pieklast warm water voor stadsverwarming’, ‘Middenlast warmte & energie voor industrieterreinen’, en ‘Middenlast verzadigde stoom voor isolatiemateriaalproductie’.

De hoofdvragen die het pilotproject beoogt te beantwoorden zijn:

- Wat zijn de optimale specificaties (designs van componenten, procescondities en operationele processen) van een reductiesysteem voor de productie van ijzerpoeder dat geschikt/optimaal is voor gebruik in oxidatiesystemen en tevens economisch competitief kan zijn?
- Wat is de haalbare efficiëntie van het reductieproces?
- Hoe kan de (reeds aangetoonde) veiligheid geoptimaliseerd worden voor deze grotere schaal?
- Hoe kunnen de (reeds beperkte) indirecte emissies verder gereduceerd worden?

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden wordt een pilot-opstelling (op een te bepalen locatie) gerealiseerd met **een reductie-reactor** (incl. regulatie en controle systemen), en **vier opslagfaciliteiten** voor ijzerpoeder, ijzeroxidepoeder, waterstof en water(damp) (zie Figuur 19).



Figuur 19: Schematisch overzicht pilotopstelling – Project: Centrale reductie unit, Locatie n.t.b.

Het beoogde reductiesysteem heeft een vermogen van 8 MW en kan in maximaal 6.000 uur per jaar ruim 24.000 ton ijzerpoeder produceren. Daarvoor is per jaar maximaal [X] ton ijzeroxide en 1300 ton waterstof nodig. Er wordt daarbij jaarlijks ongeveer 11.700 ton schoon water geproduceerd. Om het circulaire proces te initiëren zal eenmalig een eerste partij ijzeroxide worden ingekocht en opgeslagen. Vanuit de opslag wordt het ijzeroxide mechanisch getransporteerd naar de *feeder* van het reductiesysteem (aan de bovenzijde), die een juiste dosering richting de reductie-reactor verzekerd. In de reactor wordt het ijzeroxide in contact gebracht met waterstof onder warme condities, waarbij ongebruikte waterstof afgevangen wordt voor hergebruik en warmteintegratie wordt toegepast, om zodoende de energie-efficiëntie te maximaliseren. De ijzeroxide en de waterstof worden omgezet in ijzer en water, met een beoogde energie-efficiëntie van >86% - . Het geproduceerde ijzer wordt verzameld en opgeslagen in een ijzerpoeder silo, vanwaar het per vrachtwagen, trein of schip wordt vervoerd naar de pilotprojecten ‘Pieklast warm water voor stadsverwarming’, ‘Middenlast oververhitte stoom voor industrie terreinen’, en ‘Middenlast verzadigde stoom voor isolatiemateriaalproductie’. Bij aankomst wordt het ijzerpoeder uitgeladen, en wordt de ijzeroxide (ontstaan bij eerdere oxidatie van ijzerpoeder) ingeladen en terug getransporteerd naar en opgeslagen op de reductielocatie.

Het project, dat 10 jaar duurt, is opgesplitst in drie fasen. In de eerste twee jaar wordt de infrastructuur gedimensioneerd, kritieke componenten gesimuleerd (in een CFD model) en geoptimaliseerd, en wordt het uiteindelijk gerealiseerd inclusief benodigde veiligheidsprocedures. In de daaropvolgende vijf jaar wordt onderzoek gedaan middels het uitvoeren van reductie-experimenten. Gedurende deze fase, wordt het design van de componenten, procescondities en operationele processen geoptimaliseerd om de *availability*, *reliability*, *onderhoudsuren/kosten*, *recycleerbaarheid* (van het ijzerpoeder), *energie-efficiëntie*, en *mass recovery* naar commercieel-levensvatbare niveaus te brengen. Het optimalisatie-onderzoek kijkt niet enkel naar dit pilotproject, maar ook naar de drie gelieerde oxidatie-pilotprojecten waarin het ijzerpoeder gebruikt zal worden. De meest energie-efficiënte reductie-reactor resulteert namelijk niet per definitie in een ijzerpoeder dat de beste oxidatie-efficiëntie levert. Dit geeft de complexiteit van dit optimalisatievraagstuk aan – een integraal optimalisatieonderzoek wordt uitgevoerd. Ook wordt in deze fase de kennis vloeiende uit de R&D projecten ‘Verbeteren fundamentele reductie kennis’ en ‘Verbeteren bestaande reductie technologie’ (indien succesvol) geïntegreerd in dit project. In de laatste drie jaar wordt de business case van de pilot geëvalueerd – waar de prijs voor geleverde ijzerpoeder een belangrijke parameters is – en worden geschikte business modellen onderzocht en ontworpen.

Pilotproject II-2: Pieklast warm water voor stadsverwarming

Ennatuurlijk is een grote leverancier van warmte in Nederland en voorziet zo'n 500.000 huishoudens en bedrijven van warmte (totaal 4.400.000 GJ per jaar). Ennatuurlijk streeft naar CO₂-neutrale levering van warmte en koude in 2040, en om dat te halen zoekt Ennatuurlijk duurzame warmtebronnen voor haar warmtenetten. In 2030 wil Ennatuurlijk de CO₂-uitstoot al met 70% verminderen ten opzichte van verwarming met een cv-ketel. Daartoe zetten zij grootschalig in op het ontsluiten van aardwarmte en restwarmte van industrie. Echter, dat lost niet het gehele probleem op. Op pieklast momenten – perioden in het jaar dat de warmte vraag maximaal is – doet Ennatuurlijk nog altijd een beroep op additionele warmtebronnen met aardgas. Ennatuurlijk staat voor een complexe verduurzamingsuitdaging: Aard- en restwarmte kunnen dit soort piekvraag lasten niet dragen, maar er zijn op dit moment ook nog geen relevante CO₂-neutrale technologieën beschikbaar die deze op termijn kunnen vervangen.

Om in 2040 CO₂ neutraal te opereren, starten Ennatuurlijk, RIFT en Veolia een project met als doel: *Het ontwikkelen van een boiler met ijzerpoederverbranding die geschikt is voor het leveren van warmte tijdens de pieklast momenten aan een bestaand warmtenetwerk, met nihil directe CO₂- en NO_x-uitstoot.* Dit project focust op het warmtenet Midden- en West-Brabant, dat in 2022 ongeveer 51.000 woningen en 355 bedrijven in o.a. Breda en Tilburg voorzag van warmte door de restwarmte van de RWE Amercentrale (91%), maar ook nog door aardgasboilers (7%)²¹. Gezien de restwarmte levering van de Amercentrale zal stoppen binnen enkele jaren, is het uiteindelijke doel om dit (deels) op te vangen met ijzerpoedertechnologie. Een vergelijkbare 1 MW test boiler is

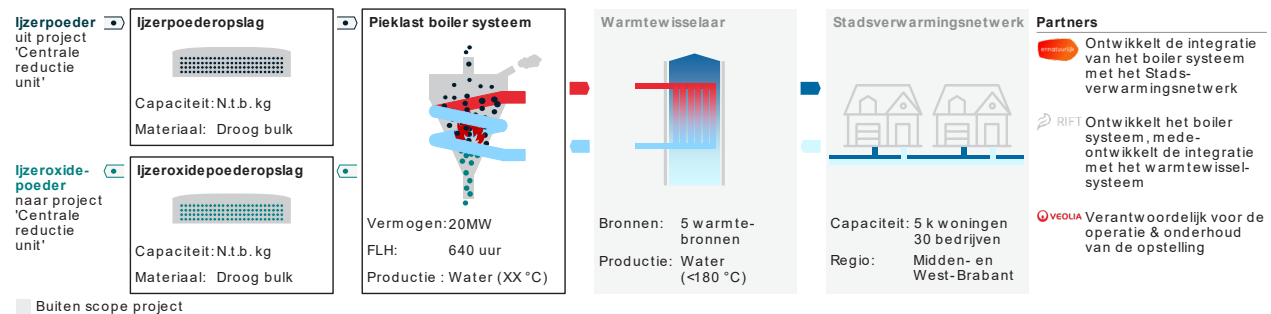
²¹ Ennatuurlijk - Warmte voor Midden- en West-Brabant (2022, <https://ennatuurlijk.nl/thuis/in-jouw-buurt/warmtenet-midden-en-west-brabant>)

reeds gerealiseerd en kort getest op het warmtenet van Ennatuurlijk in Helmond (500 huizen), maar nog niet eerder is de techniek bewezen op deze schaal, noch langdurig getest.

De hoofdvragen die het pilotproject beoogt te beantwoorden zijn:

- Wat zijn de optimale specificaties (designs van componenten, procescondities en operationele processen) van een ijzerpoeder pieklast boiler voor aansluiting op warmtenetten? Welke nieuwe infrastructuur is nodig, en welke faciliteiten moeten aangepast worden?
- Wat is de haalbare efficiëntie van het oxidatieproces in deze industriële setting?
- Hoe kan de (reeds aangetoonde) veiligheid geoptimaliseerd worden voor deze grotere schaal?
- Hoe kunnen de (reeds beperkte) indirecte emissies verder gereduceerd worden?

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden wordt in Tilburg een pilot-opstelling gerealiseerd met **een ijzerpoeder pieklastboiler** (incl. regulatie en controle systemen) aangesloten op de bestaande warmtewisselaar-/warmtesysteem, en **twee opslagfaciliteiten** voor ijzerpoeder en ijzeroxidepoeder (zie Figuur 20).



Figuur 20: Schematisch overzicht pilotopstelling – Project: Pieklast warm water voor stadsverwarming, Tilburg

De beoogde boiler heeft een vermogen van 20 MW en kan maximaal 640 *full-load hours* per jaar gebruikt worden, waarvoor per jaar ruim 7.500 ton ijzerpoeder nodig is. Het ijzerpoeder – geleverd door het project 'Centrale Reductie Unit' – zal vanuit de opslag mechanisch getransporteerd worden naar de *feeder* van het boilersysteem (aan de bovenzijde), die een juiste dosering richting de boiler verzekert. Het ijzerpoeder wordt in de boiler gevoed, gemengd in de juiste verhouding met omgevingslucht. Met een waakvlam (op aardgas) wordt de zichzelf in standhoudende ijzerpoedervlam gecreëerd die warmte produceert (>1500°C; 25,5 GJ/m³; 7,3 GJ/t) zonder enige CO₂-emissies. De warmte wordt vervolgens door middel van een warmtewisselaar gevoed in het warmtenet. Naast warmte (120°C) wordt ijzeroxide (roest) geproduceerd. Dit wordt afgevangen en opgeslagen in een silo, om bij een ijzerpoeder levering retour gestuurd te worden richting de reductielocatie, waar het weer gereduceerd kan worden t.b.v. hergebruik.

Het project, dat 10 jaar duurt, is opgesplitst in drie fasen. In de eerste twee jaar wordt de infrastructuur gedimensioneerd, kritieke componenten gesimuleerd (in een CFD model) en geoptimaliseerd, en wordt het uiteindelijk gerealiseerd inclusief benodigde veiligheidsprocedures. In de daaropvolgende vijf jaar worden proeven gedaan voor het leveren van warmte tijdens piekvraagmomenten. Gedurende deze fase, wordt het design van componenten, procescondities en operationele processen geoptimaliseerd om de *availability*, *reliability*, onderhoudsuren/kosten, recycleerbaarheid (van het ijzerpoeder), energie-efficiëntie, en *mass recovery* naar commercieel-levensvatbare niveaus te brengen. Ook wordt in deze fase (indien succesvol) de kennis vloeiende uit de R&D projecten I.1 en I.6 tot en met I.8 geïntegreerd in dit project. In de laatste drie jaar, wordt de business case van de pilot geëvalueerd – waar de prijs voor geleverde warmte een belangrijke parameters is – en de integratie met de huidige processen van Ennatuurlijk onderzocht en ontworpen. Denk daarbij aan operatie, onderhoud en inkoop, maar ook besluitvormingsprocessen.

Pilotproject II-3: Multi-brandstof warmtesysteem voor asfaltverwerking

AsfaltNu is één van de grotere asfaltproducenten van Nederland, met in totaal zeven asfaltcentrales waar zij asfalt recyclen en nieuw asfalt produceren. AsfaltNu heeft de ambitie om de asfaltindustrie proactief te veranderen in een 100% circulaire en duurzame bedrijfstak: "Asfalt dat én volledig klimaat- én energieneutraal én circulair én duurzaam is."²² Daartoe wil AsfaltNu binnen één decennium het fossiele aardgas dat nu nog de brandstof voor de asfaltinstallaties is vervangen door duurzame alternatieven als hernieuwbare waterstof, elektriciteit of door innovaties als Iron Power.

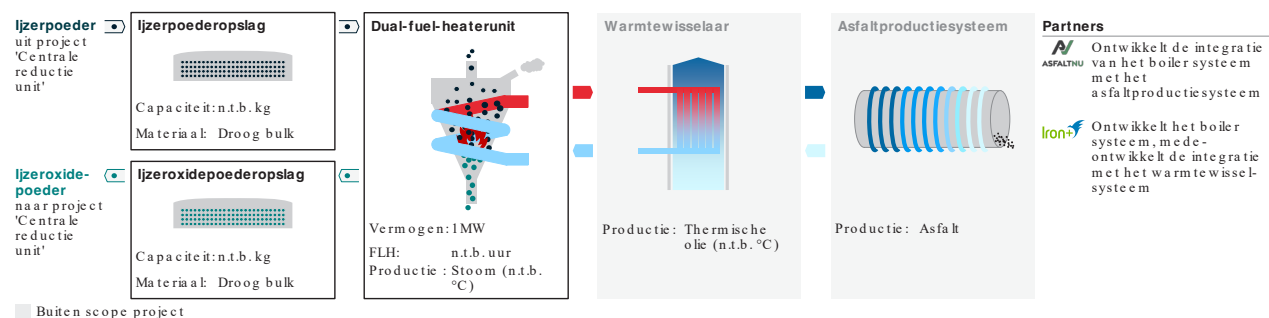
Om de potentie van Iron Power technologie te bewijzen in het asfaltproductieproces, initieert AsfaltNu en Iron+ een pilotproject met als doel: *Het ontwikkelen van een multi-brandstof warmtesysteem op waterstof en ijzerpoeder dat gebruikt kan worden voor de productie/verwerking van asfalt, met nihil directe CO₂- en NO_x-uitstoot.* Dit project richt zich op het mogelijk vervangen van een 1 MW biogasboiler, en (indien succesvol) het ontwikkelen van een nieuwe 40 MW multi-brandstof warmtesysteem.

²² AsfaltNu - 100% duurzaam asfalt en duurzame productie (<https://www.asfaltnu.nl/over-ons/duurzaamheid>)

De hoofdvragen die het pilotproject beoogt te beantwoorden zijn:

- **Technisch ontwerp:** Welke implicaties heeft de inzet van verschillende hernieuwbare energiedragers voor het ontwerp van zowel de hiervoor genoemde vermogensdelen in het asfaltproces, als voor het ontwerp van trommel en overige onderdelen van het proces?
- **Kwaliteit product:** In welke mate komen ijzerresten en asresten gedurende het productieproces in het asfalt terecht en welke implicaties heeft dit voor de kwaliteiten van het asfalt, zowel op korte als op lange termijn?
- **Efficiëntie:** Hoe efficiënt is het gebruik van circulair ijzerpoeder en/of hernieuwbare waterstof in vergelijking met traditionele energiebronnen voor een asfaltinstallatie?
- **Logistiek:** Welke hoeveelheden circulair ijzerpoeder en/of hernieuwbare waterstof zijn per dag/week nodig om de asfaltcentrale structureel met hernieuwbare energiedragers te kunnen voeden? Wat impliceert dit voor minimale voorraden en welke buffers zijn nodig om niet terug te hoeven vallen op back-up voorzieningen zoals gas en elektriciteit. Hoe vertaalt dit zich door naar het ontwerp van opslagsilo's, transportbanen en aanvoerlijnen naar de branders?
- **Milieueffecten:** Wat zijn de milieueffecten van het gebruik van het circulaire ijzerpoeder en/of hernieuwbare waterstof in termen van koolstofuitstoot en grondstofgebruik?
- **Economische haalbaarheid:** In hoeverre is de implementatie van asfaltinstallatie op basis van circulaire ijzerpoeder en/of hernieuwbare waterstof economisch haalbaar op de lange termijn?

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden wordt een project opgezet in twee fases. In fase 1 wordt op de locatie van AsfaltNu in Amsterdam een *dual-fuel-heaterunit* ontwikkeld, die wordt aangesloten op een warmtewisselaar voor asfaltproductie en twee opslagfaciliteiten voor ijzerpoeder en ijzeroxidepoeder (zie Figuur 21). Indien succesvol, wordt in fase 2 op de AsfaltNu locatie in Deventer de *dual-fuel* technologie op praktijk-schaal gevalideerd in een 40 MW multi-brandstof warmtesysteem (vier keer 10 MW), gebaseerd op hernieuwbare energiedragers (inclusief ijzerpoeder).



Figuur 21: Schematisch overzicht pilotopstelling – Project: Multi-brandstof warmtesysteem voor asfaltverwerking, Amsterdam

De beoogde fase 1 *dual-fuel-heaterunit* heeft een vermogen van 1 MW waarbij deze warmte van [n.t.b.]°C moet leveren aan een warmtewisselaar met thermische olie. Hiervoor is per jaar ruim [n.t.b.] ton ijzerpoeder nodig. Het ijzerpoeder wordt bij derden ingekocht en in zakken opgeslagen. Vanuit de opslag wordt het ijzerpoeder gevoed via een mechanische-transportband, waarmee het poeder in de *heaterunit* wordt gebracht. Deze silo controleert samen met de *feeder* de *flowrate* van het ijzerpoeder naar de verbrandingskamer. Samen met de *brander*-regeling bepalen deze de zuurstof-ijzerpoeder verhouding gedurende de oxidatiereactie. In de verbrandingskamer wordt de initiële ontbranding verzorgd door een aardgasvlam, waarna de oxidatiereactie zichzelf in stand zal houden (zonder significant aardgas verbruik). Het resulterende ijzeroxidepoeder valt onder uit de reactor/boiler, en wordt opgevangen en afgevoerd naar de opslag. De verwarmde thermische olie wordt door de warmtewisselaar geleid die wordt gebruikt om her te gebruiken in het asfaltproductieproces.

Het totale pilotproject (fase 1 en 2) wordt naar verwachting in circa zes jaar uitgevoerd. In fase 1 wordt het ontwerp van de een *dual-fuel-heaterunit* gefinaliseerd en daarna gerealiseerd. Na realisatie van de 1 MW *dual-fuel-heaterunit* wordt een tweejarig onderzoeks- en testprogramma gestart om kennis en ervaring op te doen met de inzet van circulair ijzerpoeder, hernieuwbare waterstof en een combinatie van deze beide hernieuwbare energiedragers als alternatief voor de inzet van gas voor de verwarming. Ook is onderzoek nodig naar de kwaliteiten van het asfalt, zowel op korte als op lange termijn. De diverse onderzoeken dienen daarmee ook ter validatie van de theoretische verwachtingen die er zijn op onderwerpen zoals efficiëntie, uitstoot, warmteontwikkeling en -overdracht en kwaliteitsaspecten. Wanneer fase 1 succesvol is afgerond start na een 'go-no go' besluit fase 2 met het ontwikkelen, realiseren en demonstreren van meerdere *dual-fuel* energiesystemen op praktijkschaal. In totaal moet dankzij dit nieuwe ontwerp van vier *dual-fuel* energiesystemen binnen het project circa 40 MW vermogen worden opgewekt door de inzet van hernieuwbare energiedragers als alternatief voor de inzet van gas en elektriciteit. Na fysieke realisatie van deze energiesystemen, de additioneel benodigde voorzieningen en de noodzakelijke aanpassingen aan het ontwerp van de installatie zal er gedurende twee jaar onderzoek worden gedaan naar het verwarmen met hernieuwbare energiedragers, het stoken van ijzerpoeder, efficiëntie en uitstoot van de installatie en mogelijke verbeteringen. Daarnaast is onderzoek nodig naar de kwaliteiten van het asfalt, zowel op korte als op lange termijn.

Pilotproject II-4: Middenlast oververhitte stoom voor industrieterreinen

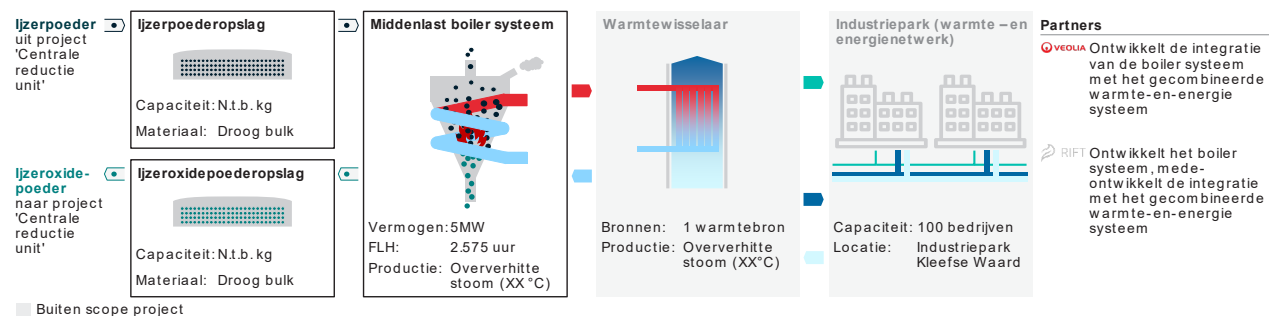
Veolia is een vooraanstaand bedrijf op het gebied van milieudiensten en levert aan zijn klanten al meer dan 50 jaar duurzame oplossingen met betrekking tot energie, water en secundaire grondstoffen. Veolia staat voor een enorme uitdaging, waaronder het verduurzamen van Industriepark de Kleefse Waard (IPKW) waar Veolia de eigenaar is van de energiecentrale. Deze energiecentrale produceert nu nog oververhitte stoom met behulp van gasketels en (niet-duurzame) biomassa. Het IPKW zal niet aangesloten worden op het nationale waterstofnetwerk, en kan op redelijke termijn ook niet elektrificeren, waardoor Veolia naarstig op zoek is naar alternatieven.

Om IPKW te verduurzamen, starten Veolia en RIFT een project met als doel: *Het ontwikkelen van een boiler met ijzerpoederverbranding die oververhitte stoom produceert voor IPKW, met nihil directe CO₂- en NO_x-uitstoot.* Dit project focust op het vervangen van de huidige biomassa installatie (50.400 MWh per jaar).

De hoofdvragen die het pilotproject beoogt te beantwoorden zijn:

- Wat zijn de optimale specificaties (designs van componenten, procescondities en operationele processen) van een ijzerpoeder middenlast boiler voor de productie van oververhitte stoom voor industriële toepassingen? Welke nieuwe infrastructuur is nodig, en welke faciliteiten moeten aangepast worden?
- Wat is de haalbare efficiëntie van het oxidatieproces in deze industriële setting?
- Hoe kan de (reeds aangetoonde) veiligheid geoptimaliseerd worden voor deze grotere schaal?
- Hoe kunnen de (reeds beperkte) indirecte emissies verder gereduceerd worden?

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden wordt op het Industriepark de Kleefse Waard in Arnhem een pilot-opstelling gerealiseerd met **een ijzerpoeder middenlastboiler** (incl. regulatie en controle systemen) installatie voor productie van oververhitte stoom, aangesloten op een warmtewisselaar van het IPKW stoomnet. Daarnaast worden **twee opslagfaciliteiten** gerealiseerd voor ijzerpoeder en ijzeroxidepoeder (zie Figuur 22).



Figuur 22: Schematisch overzicht – Project: Middenlast oververhitte stoom voor industrieterreinen, Arnhem

De beoogde boiler heeft een vermogen van 5 MW en wordt gebruikt voor de productie van oververhitte stoom (245 °C). Deze boiler moet maximaal 2.575 uur per jaar gebruikt kunnen worden, waarvoor per jaar maximaal 7.500 ton ijzerpoeder nodig zou zijn. Het ijzerpoeder wordt geleverd door het project 'Centrale reductie unit'. In deze pilot wordt oververhitte stoom geproduceerd in plaats van lage-temperatuur stoom zoals in het pilotproject 'Pieklast warm water voor stadsverwarming'. Deze oververhitte stoom wordt vervolgens geleverd aan eindgebruikers op het industrieterrein. Ondanks de gelijkenissen met andere pilots, vergt een 5 MW oververhitte-stoomboiler om een compleet andere technische benadering (dan bijv. verzadigd stoom/warm water) die nog niet eerder is bewezen.

Het project, dat 10 jaar duurt, is opgesplitst in drie fasen. In de eerste twee jaar worden de infrastructuur gedimensioneerd, kritieke componenten gesimuleerd (in een CFD model) en geoptimaliseerd, en het project uiteindelijk gerealiseerd inclusief benodigde veiligheidsprocedures. In de daaropvolgende vijf jaar worden experimenten uitgevoerd m.b.t. het leveren van middenlast oververhitte stoom. Gedurende deze fase, wordt het design van componenten, procescondities en operationele processen geoptimaliseerd om de *availability*, *reliability*, onderhoudsuren/kosten, recycleerbaarheid (van het ijzerpoeder), energie-efficiëntie, en *mass recovery* naar commercieel-levensvatbare niveaus te brengen. Ook wordt in deze fase (indien succesvol) de kennis vloeiende uit de R&D projecten I.1 en I.6 tot en met I.8 geïntegreerd in dit project. In de laatste drie jaar, wordt de business case van de pilot geëvalueerd – waar de prijs voor geleverde warmte een belangrijke parameters is – en de integratie met de huidige processen van Veolia onderzocht en ontworpen. Denk daarbij aan operatie, onderhoud en inkoop, maar ook besluitvormingsprocessen.

Pilotproject II-5: Middenlast verzadigde stoom voor isolatiemateriaalproductie

Kingspan Unidek verbruikt aanzienlijke hoeveelheden energie, hoofdzakelijk in de vorm van verzadigde stoom voor de productie van het isolatiemateriaal EPS (bij het voorschuiemen en blokvormen). Deze stoom wordt nu veelal opgewekt met gasboilers (uitstoot van 6.188 Ton CO₂ p. j.). Echter, Kingspan Unidek wil verduurzamen en heeft zich voor 2030 als doel gesteld dat de volledige productie van materialen CO₂-vrij moet zijn, en 60% van alle benodigde energie duurzaam opgewekt moet zijn²³. Gedeeltelijk kan Kingspan de benodigde stoom elektrificeren,

²³ Kingspan Unidek - <https://www.kingspan.com/content/dam/kingspan/unidek/other/kingspan-unidek-duurzaamheid-brochure-nl-nl.pdf>

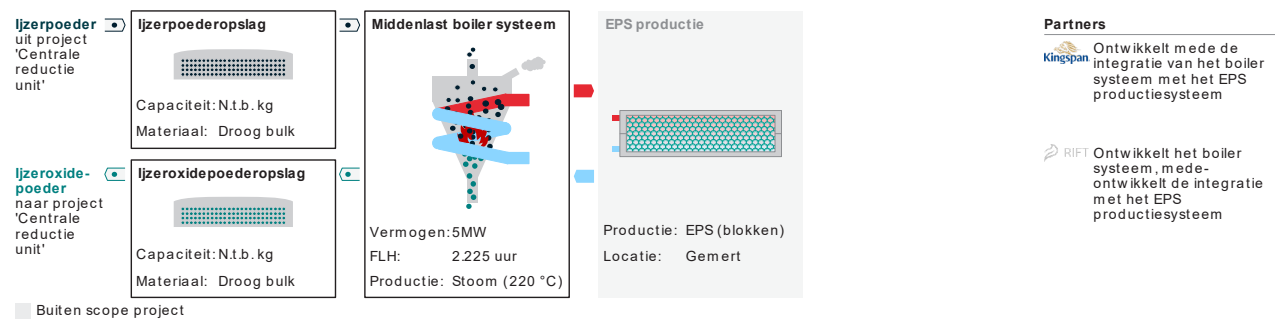
maar dat geldt niet voor middenlast verzadigde stoom – stoom zonder waterdruppels. Kingspan Unidek zoekt tot nu toe tevergeefs naar alternatieve verduurzamingsoplossingen, aangezien zij onderdeel van Cluster 6 zijn en niet met prioriteit toegang krijgen tot het waterstofnetwerk.

Om in 2030 CO₂ neutraal te produceren, starten Kingspan Unidek, RIFT en Veolia een project met als doel: *Het ontwikkelen van een boilerinstallatie met ijzerpoederverbranding die geschikt is voor het produceren van (middenlast) verzadigde stoom gebruikt in de productie van EPS, met nihil directe CO₂- en NO_x-uitstoot.* Dit project focust op het vervangen van de 5 MW gasboiler (28.100 MWh per jaar) die op dit moment nog gebruikt wordt om verzadigd stoom te genereren.

De hoofdvragen die het pilotproject beoogt te beantwoorden zijn:

- Wat zijn de optimale specificaties (designs van componenten, procescondities en operationele processen) van een ijzerpoeder boiler die wordt gebruikt voor het produceren van verzadigde stoom? Welke nieuwe infrastructuur is nodig en welke faciliteiten moeten aangepast worden?
- Wat is de haalbare efficiëntie van het oxidatieproces in deze industriële setting?
- Hoe kan de (reeds aangetoonde) veiligheid geoptimaliseerd worden voor deze grotere schaal?
- Hoe kunnen de (reeds beperkte) indirecte emissies verder gereduceerd worden?

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden wordt er in de Kingspan Unidek fabriek in Gemert een pilot-opstelling gerealiseerd met een ijzerpoeder middenlast boiler (incl. regulatie en controle systemen) voor verzadigde stoomproductie, aangesloten op de bestaande productiesystemen, en twee opslagfaciliteiten voor ijzerpoeder en ijzeroxidepoeder (zie Figuur 23).



Figuur 23: Schematisch overzicht – Project: Middenlast verzadigde stoom voor isolatiemateriaalproductie, Gemert

De beoogde boiler heeft een vermogen van 5 MW en wordt gebruikt voor de productie van verzadigde stoom (220°C), met wekelijks opstarten en uitschakelen (vanwege een weekendstop). Deze boiler zou maximaal 2.225 uur per jaar actief moeten kunnen zijn, waarvoor maximaal 6.500 ton ijzerpoeder per jaar nodig is. Het ijzerpoeder wordt geleverd door het project 'Centrale reductie unit'. In deze pilot wordt verzadigde stoom geproduceerd. Deze stoom wordt gebruikt om polystyreen 'piepschuim bolletjes' om te zetten in EPS-blokken – gebruikt als isolatiemateriaal van o.a. wanden en daken. Ondanks de gelijkenissen met andere pilots, vraagt een 5 MW verzadigde stoom boiler, alsook de mogelijkheid voor wekelijks opstarten en uitschakelen, om een compleet andere benadering (dan bijv. continue operatie en warm water/oververhitte stoom toepassingen) die nog niet eerder is bewezen.

Het hele project (10 jaar) is opgesplitst in drie fasen. In de eerste twee jaar worden de infrastructuur gedimensioneerd, kritieke componenten gesimuleerd (in een CFD model) en geoptimaliseerd en het project uiteindelijk gerealiseerd inclusief benodigde veiligheidsprocedures. In de daaropvolgende vijf jaar worden experimenten uitgevoerd m.b.t. het leveren van middenlast verzadigde stoom voor EPS-productie. Gedurende deze fase, wordt het design van componenten, procescondities en operationele processen geoptimaliseerd om de *availability*, *reliability*, onderhoudsuren/kosten, recycleerbaarheid (van het ijzerpoeder), energie-efficiëntie, en mass recovery naar commercieel-levensvatbare niveaus te brengen (lees: zodat deze resulteren in economische competitiviteit van ijzerpoeder als energiedrager). Ook wordt in deze fase (indien succesvol) de kennis vloeiende uit de R&D projecten I.1 en I.6 tot en met I.8 geïntegreerd in dit project. In de laatste 3 jaar, wordt de business case van de pilot geëvalueerd – waar de prijs voor geleverde warmte een belangrijke parameters is – en de integratie met de huidige processen van Kingspan onderzocht en ontworpen. Denk daarbij aan operatie, onderhoud en inkoop, maar ook besluitvormingsprocessen.

Pilotproject II-6: Farmsum

Het industriegebied van Delfzijl/Eemshaven heeft de kans om één van de duurzame energiehubbs te worden van Nederland. Beide havengebieden van Groningen Seaports tellen zo'n 160 bedrijven, actief in energie, offshore wind, chemie, data, circulaire processen, en innovatie. Echter, bestaat er in het gebied een aanzienlijke mismatch tussen vraag naar en aanbod van duurzame energie. Het is dan ook hier in Farmsum-Delfzijl, met zowel goede toegang tot industrie als maritieme logistiek, dat het Iron Power programma een *first-of-a-kind* volledige Iron Power waardeketen realiseert. Een van de kernuitdagingen van de Iron Power technologie zijn de kosten van de benodigde grondstoffen, met name die van waterstof. Het Farmsum project en de projecten DER en SOEC-

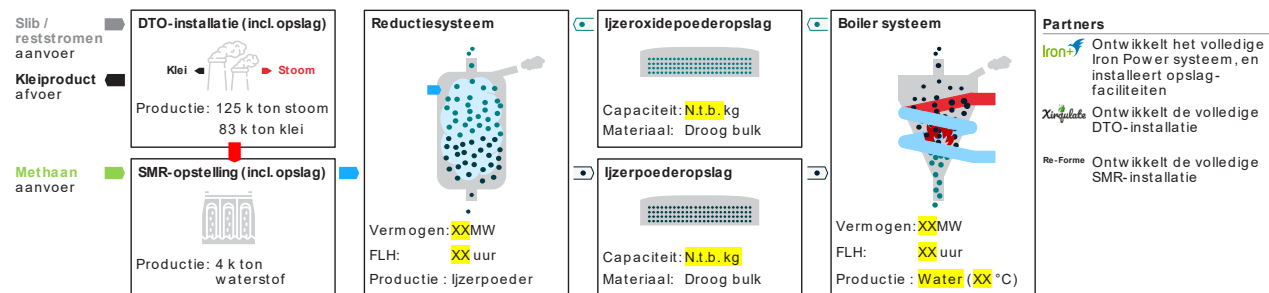
reductie-integratie richten zich op het verlagen van de kosten van grondstoffen per geleverde warmte, om zo de businesscase voor Iron Power te verbeteren.

Om de volledige keten te realiseren, starten Iron+, Xirqulate, Re-Forme een project met als doel: *Het ontwikkelen van een volledige (Iron Power) waardeketen voor het duurzaam produceren van (op volgorde) keramische producten, waterstof, en ijzerpoeder en Iron Power warmte met nihil directe CO₂- en NO_x-uitstoot.* Dit project focust zich op het realiseren van een *first-of-a-kind* pilot voor het voorzien van ca. 10 fabrieken (~134 GWh) die op dit moment nog fossiele energiebronnen gebruiken.

De hoofdvragen die het pilotproject beoogt te beantwoorden zijn:

- Wat zijn de optimale specificaties (reductie- en oxidatie-opstelling, parameterinstellingen en operationele proces) van een Iron Power waardeketen die gebruikt wordt voor het produceren van warmte? Welke nieuwe infrastructuur is nodig, en welke faciliteiten (eindgebruiker) of processen moeten aangepast worden?
- Wat is de haalbare efficiëntie van het reductie- en oxidatieproces in deze volledige Iron Power waardeketen?
- Is het veilig, en/of zijn er veiligheidsmaatregelen nodig?
- Welke uitstootvermindering is haalbaar?
- Is deze pilot technisch en economisch haalbaar en schaalbaar? Is een groter formaat reductiesysteem en/of boiler denkbaar?

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden wordt er in Farmsum een pilot-opstelling gerealiseerd met een DTO-installatie (Dynamisch Thermisch Oxiderende), een SMR-opstelling (*Steam Methane Reforming*), een reductie-reactor (incl. regulatie en controle systemen), een ijzerpoeder boiler en opslagfaciliteiten voor ijzerpoeder, ijzeroxidepoeder, waterstof en water (zie Figuur 24).



Figuur 24: Schematisch overzicht – Project: Farmsum

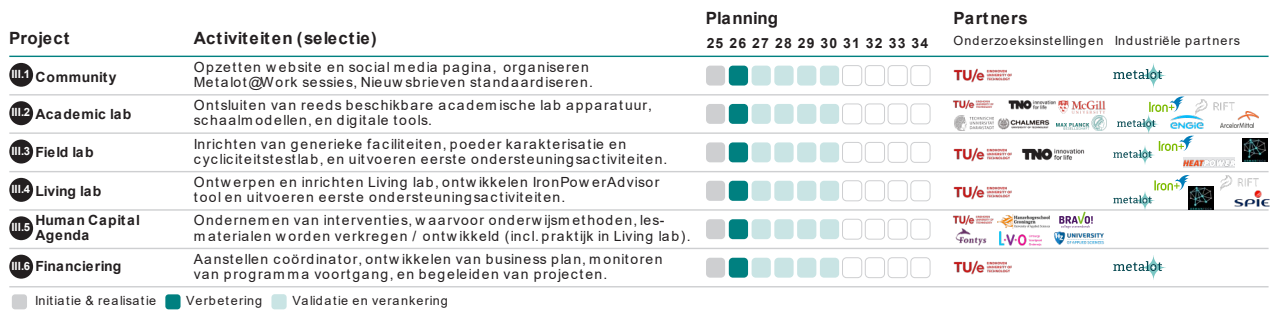
De beoogde DTO-installatie kan 125.000 ton per jaar aan stoom (co-)produceren, horende bij de productie van 83 k ton aan kleimateriaal. De stoom van de DTO-installatie wordt gebruikt in de SMR-opstelling, waar het stoom en methaan wordt gebruikt voor het produceren van waterstof (max. 4 k ton H₂ per jaar). Deze waterstof wordt gebruikt door de reductie-reactor ([X] MW), om de ijzeroxide te converteren naar ijzerpoeder (67 k ton per jaar). Het ijzerpoeder wordt vervoerd naar het ijzerpoeder boilersysteem, dat is geplaatst bij de [naam industriële partner]. Het boilersysteem heeft een vermogen van [X] MW en kan gebruikt worden voor het produceren van 134 GWh aan warmte-energie per jaar. Het resulterende ijzeroxidepoeder wordt opgevangen in [zakken] en terug geleverd aan de reductie-reactor.

Het hele project (4 jaar) is opgesplitst in drie fasen. In de eerste fase (1 jaar) worden de specificaties gedefinieerd en de infrastructuur gedimensioneerd. In de daaropvolgende fase (1-2 jaar) wordt de grond bouwrijp gemaakt en de pilotopstelling gebouwd. In de laatste fase (2-3 jaar) wordt onderzoek gedaan naar en het verbeteren van de prestatie van de gehele Iron Power waardeketen. Belangrijke onderzoeksonderwerpen zijn daarbij o.a. benodigde voor- en nabehandeling van ijzer(oxide)poeder, reductie-prestaties onder verschillende instellingen, en de cycliciteit-prestatie van de gehele keten. De prestaties worden in eerste instantie tijdens productiecycli van <100 ton ijzerpoeder per dag onderzocht, en indien succesvol stapsgewijs opgeschaald. Ook wordt in deze fase de [aangeven welke kennis] kennis vloeiende uit de R&D project [naam R&D project invoegen] (indien succesvol) geïntegreerd in dit project. In parallel, zullen er arbeidsmarktactiviteiten ondernomen worden om de toekomstige talenten kennis te laten maken met de Iron Power waardeketen. Daartoe worden er studenten en professionals uitgenodigd (in samenwerking met de Talents Service) om *hands-on* te zien en leren van een volledige Iron Power operatie.

3.1.3 PIJLER III – INNOVATIE INFRASTRUCTUUR

De Innovatie infrastructuur wordt de plek waar het Iron Power programma de verbinding legt tussen de internationale community (markt, maatschappij en politiek), en de onderzoeksresultaten, de kennis en expertise die is opgebouwd binnen de R&D én pilot & demo projecten. Daartoe biedt de Innovatie infrastructuur vier Services aan: Laboratories, Community, Talent, en Funding. Om deze services vorm te geven worden er zes projecten opgezet en uitgevoerd. De activiteiten binnen deze Innovatie infrastructuur pijler zijn gericht op het verkrijgen en verlenen van toegang tot de benodigde infrastructuren, diensten, talenten en netwerken, én op het uitvoeren van netwerk en kennis disseminatie activiteiten. Waar mogelijk zullen technologieën die zijn bewezen in zowel de R&D- als Pilot-&-demoprojecten worden toegevoegd aan de labomgevingen en de kennis en kunde vanuit deze projecten

gedeeld in één van de vele Community events. In Figuur 25 is een overzicht gegeven van de Innovatie infrastructuur projecten.



Figuur 25: Innovatie infrastructuur – Activiteitenplan

Community

Om het draagvlak binnen het ecosysteem te vergroten en het ecosysteem verder uit te breiden, wordt de Community Service opgezet. Deze bredere Community bestaat uit Iron Power klanten en leveranciers, talent & onderwijsinstellingen, milieuorganisaties, energiemaatschappijen, exploitanten, netwerkbeheerders, beleidsmakers en *system-integrators*. De leden van de Iron Power Community hebben toegang tot een **Internationaal Community programma** om samen de waardenketen van Iron Power te realiseren, experimenten op te zetten, kennis te ontsluiten en zowel lessen als de huidige stand van zaken en veldnormen te delen. Daarnaast stelt TNO de **concurrent engineering facility** en bijbehorende procesondersteuning beschikbaar om fysieke en virtuele gezamenlijke technische projecten uit te voeren. De facility verbindt experts uit het hele veld in periodieke vergaderingen (met verschillende focus) met als doel gelijktijdig te werken aan een innovatie – waardoor het innovatieproces wordt versneld – onder begeleiding van ervaren moderatoren. De Community diensten worden aangeboden via een lidmaatschapsmodel, terwijl *concurrent engineering* projecten op basis van *pay-per-use* kunnen worden uitgevoerd.

De Community Service wordt opgezet door o.a. community- en communicatiemanagers aan te stellen die verantwoordelijk zijn voor het uitbreiden van de Community door het:

- **Creëren van digitale zichtbaarheid**, in eerste aanleg, door het opzetten van een website met een database waarin publicaties en visie en implementatie documenten beschikbaar zijn (jaarlijks bijgewerkt)
- **Organiseren van community events** zoals o.a. een fysiek Metalot@Work evenement (~4 keer per jaar) waar op een interactieve manier een community wordt gebouwd (zie Kader 10 hieronder)
- **Verzorgen van gestructureerde communicatie** naar de leden van de Community dienst (en daarbuiten), waaronder een (uiteindelijk maandelijks) nieuwsbrief met activiteiten vanuit de Iron Power community, informatie over projecten en nieuws uit de sector of mededelingen vanuit de deelnemers, en een jaarlijks Iron Power Community rapport voor internationale disseminatie
- **Vertegenwoordigen van het Iron Power ecosysteem** op (inter-)nationale symposia en vakbeurzen (o.a., beurs X, symposium Y, Z) met het daarvoor benodigde promotie- en marketingmateriaal
- **Zichtbaarheid creëren binnen de politiek en maatschappij** door het uitvoeren van communicatie activiteiten gericht op kennis disseminatie en benodigde wet- en regelgevingsontwikkelingen

Kader 10: Metalot@Work

Metalot@Work sessies bieden ruimte voor inhoudelijke presentaties vanuit de kennispartners of de business-denkers en de mogelijkheid voor alle deelnemers om een nieuw idee, concept, applicatie of plan te pitchen. Elke sessie wordt afgesloten met het delen van de agenda waarin actualiteiten uit de sector extra onder de aandacht worden gebracht. Na het formele gedeelte volgt een netwerk deel waarbij deelnemers met elkaar nog een uur kunnen overleggen, kennis maken en netwerken.

Agenda Metalot@Work ‘Iron Power op de grootste schaal’ 20 maart 2024

13.55	Opening – Prof. Philip de Goey (voorzitter van de Metalot Board)
14.00	Herontwerp van grote energiecentrales – Aris Blankenspoor (Metalot)
14.30	Haalbaarheidsstudie uitgevoerd in herontwerp van energiecentrale – Prof. Mike Golombok (Shell)
15.00	<i>Pauze (koffie/thee)</i>
15.20	Pitch: GH Power & Carlton Univ – Canadese start-up/Universiteit
15.50	Metalot Ambassadeur Awards
16.30	Grootschalige levering van ijzer – Reginald Deolet (ArcelorMittal)
17.00	Sluiting & gezamenlijke drankjes

Naarmate het programma vordert zullen steeds meer partijen zich aansluiten door een lidmaatschap van de Iron Power Community Service. De lidmaatschapsinkomsten worden gebruikt om de toekomstige basiskosten te dekken van de Community Service.

Laboratories

Om de benodigde schaalprongen in de technologie mogelijk te maken voor de industrie, biedt de Laboratories Service externe gebruikers en Iron Power leden toegang tot een Academic lab, een Field lab, en een Living lab. De Laboratories Services worden alleen aangeboden op basis van *pay-per-use* (of via het lidmaatschapsgeld) dat de operationele kosten (incl. onderhoud/vernieuwing) dekt zonder winsttoeslag. Eén van de eerste activiteiten is dan ook het vaststellen van een marktconforme onkostenvergoeding.

Het **Academic lab** is beschikbaar voor gebruikers die materialen willen karakteriseren/bewerken, kleine schaal oxidatie/reductie experimenten willen uitvoeren of praktische CFD modelleringen van oxidatie/reductie willen doen. Ook organiseert het lab lunch-lezingen, MeCRE-conferenties en kennisuitwisselingsevenementen (bijv. over veiligheidsaspecten) voor geïnteresseerde partijen binnen en buiten het programma. De verschillende partners hebben reeds grote investeringen gedaan in lab apparatuur (bijv. *X-ray diffraction*, *Scanning Electron Microscopy*, LECO voor materiaal karakterisatie), schaalmodellen (bijv. kleine verbrandings en reductiesystemen) en digitale (techno-economische en milieukundige) tools. Tot deze apparatuur en toekomstige apparatuur wordt integrale toegang gerealiseerd.

In het **Field lab** krijgen gebruikers toegang tot technische oxidatie & reductie interfaces waarin onder andere (nieuw ontwikkelde / te verbeteren) componenten uit de Iron Power waardeketen en ijzer(-oxide)poeders in een gecontroleerde omgeving op een grotere schaal van 100-500 kW kunnen worden getest en gekarakteriseerd. Daarnaast worden reeds beschikbare CFD-tools (ontwikkeld door de TU/e) geïntegreerd en ingezet om het concrete ontwerp van oxidatie- en reductiesystemen te faciliteren voor start-ups en applicaties in de industrie, én kunnen Iron Power business cases van de industrie worden geëvalueerd. Daartoe wordt toegang gerealiseerd tot generieke faciliteiten (o.a. H₂ lab, werkplaats, meetlaboratorium), faciliteiten voor poeder- en cyclustests, faciliteiten voor ondersteuning van apparatuur ontwikkeling, en een techno-economisch-assessment lab voor marktanalyses en business case studies met de IronPowerAdvisor tool. Later breidt het Field lab zich uit met o.a. nieuwe elektrolyse apparatuur voor waterstof productie die is gekoppeld aan reductietechnologie (SOEC), en vernieuwende boiler/turbine t.b.v. stoom/stroom output. Ook zullen aan het Field lab faciliteiten van de R&D- en pilotprojecten worden toegevoegd – zoals de DER-poederkarakteristieken – en uiteindelijk ook een DER-opstelling, wanneer het R&D-project “DER” succesvol is afgerond.

In het **Living lab** voeren niet de individuele componenten de boventoon, maar de algehele systeemintegratie – om Iron Power technologie duidelijk te integreren in de waardeketen. Gebruikers krijgen toegang tot en inzicht in het hele Iron Power systeem (~1 MW) op gedecentraliseerde energiehubbs. De keten begint bij het opwekken van groene energie en eindigt bij de levering van stoom dan wel stroom. Het Living lab biedt onder andere een monitoring- en testomgeving voor innovatie in Iron Power en toegang tot gegevens. Het Living lab wordt niet commercieel opgezet, maar dient als middel om partijen bekend te maken met de technologie (*outreach*), voor educatie in de interventie “Living lab” van de Talents Service (zie aldaar), en als demonstratie van de betrouwbaarheid en het opschalingspotentieel van de keten. Het gaat om het talentontwikkelen, verspreiden van kennis om de sector als geheel vooruit te helpen en om het ontwikkelen van een basis/keten waarop apparatuur gevalideerd en business cases gebaseerd kunnen worden – ofwel het investeerbaar maken van Iron Power technologie. Daartoe wordt bestaande Iron Power infrastructuur (o.a. vanuit de RIFT, Iron+) toegankelijk gemaakt en gebundeld om een decentraal Living lab te creëren. Een *electrolyser* gedreven door zon en wind wordt gekoppeld aan reeds bestaande reductie-opstelling en tegelijkertijd worden een boiler en turbine gekoppeld aan een oxidatie-opstelling voor de levering van stoom en stroom. De keten wordt gesloten door transport met elektrische vrachtwagens. Tot slot wordt dit Iron Power systeem ook virtueel beschikbaar gesteld.

Talents

De nationale en regionale arbeidsmarkt is krap (zoals ook benoemd in hoofdstuk 0). Daarom ontwikkelt de Talents Service **Studenten Challenges en vakken voor studenten en bestaande professionals** (incl. zij-instroom) over de essentie van Iron Power technologie en de werkwijze-aanpassingen die zij vraagt. Ook wordt aandacht besteed aan innovatiemethoden om arbeidsproductiviteit te verbeteren (o.a. procesautomatisering, robotisering). Uit ervaring blijkt (zie Kader 11) dat studententeam-uitdagingen een grote impuls is voor het creëren van nieuwe bedrijven. Het programma is opgezet met impulsfinanciering en wordt onderhouden via de bestaande onderwijsbedrijfsmodellen van betrokken instituten. Later breidt dit zich ook uit naar nieuwe educatiepartners.

De Talents Service onderneemt interventies in de educatie van deelnemende onderwijspartners:

1. **Interventie Onderwijsinnovatie en Leven Lang Ontwikkelen:** In deze interventie worden de (1) bestaande Engineering BSc en MSc studies en professionele opleidingen verrijkt met Iron Power technologie focus, bijv. toevoeging van Iron Power kennis aan de vakken Combustion Technology en Thermal Energy storage (TU/e). Daarnaast worden (2) de studententeams geprofessionaliseerd door o.a. het netwerk te verbreden, businessplannen aan te scherpen en aansluiting te laten zoeken bij mbo's en hbo's (Fontys en Bivak). Er wordt (3) maatwerkonderwijs (havo en vmbo) opgezet met Stichting LVO waarin scholieren en zij-instromers praktische les krijgen in Iron Power technieken, en (4) een LLO-traject voor mbo en hbo in samenwerking met de HZ University of Applied Sciences rondom waterstof en veiligheid.

2. **Interventie Living lab:** Deze interventie geeft studenten/professionals op een hybride manier onderwijs, in een praktijk-leeromgeving (het Iron Power Living lab) aangevuld met theoretisch onderwijs. Zij bevordert de onderlinge interactie en kennisoverdracht door middel van fysieke demonstraties en participaties bij TU/e (incl. waterstof community) en Metalot.

Kader 11: Studenten challenge team SOLID

Studententeams horen tot de successen van de TU/e en hebben vaak geleid tot spin-offs van bedrijven. Op jaarbasis zijn ongeveer 40 studententeams actief en professioneel georganiseerd in stichtingen met statuten en besturen. Elk jaar zetten ongeveer 700 enthousiaste studenten zich in om uitdagingen op te lossen, met ondersteuning van de TU/e en het bedrijfsleven. Deze teams zijn innovatieve vormen van samenwerking waarmee academische uitvindingen regelmatig en snel op de markt kunnen worden gebracht.

Eén van de consortiumpartners (RIFT) is voortgekomen uit het studententeam SOLID, dat in 2016 is opgericht door de TU/e en jaarlijks een nieuw bestuur aanstelt. Het team heeft als doel ijzerpoedertechnologie en het bijbehorende ecosysteem te ontwikkelen en nauw samen te werken met andere consortiumpartners zoals TU/e en Metalot.

Team SOLID is een win-winsituatie: het team biedt 25 talenten een plek om een jaar lang hun vaardigheden verder te ontwikkelen en te verbreden, terwijl ze de ijzerpoedertechnologie naar een hoger niveau tillen.

RIFT is een spin-off van team SOLID. De oprichters begonnen hun carrière in de ijzerpoederindustrie binnen het studententeam. Het bewijst de legitimiteit van team SOLID: economische (valorisatie), technologische en persoonlijke ontwikkeling hebben hun basis in de omgeving die is gecreëerd door een studentenuitdagingsteam.

Tegelijkertijd sluit de Talent Service zich ook aan bij de reeds lopende groeifondsvoorstellen Groenvermogen en LLO Katalysator, waarin veel *human capital*-activiteiten plaatsvinden.

Funding

Tijdens en na de NGF periode, zal nieuwe financieringen moeten worden aangetrokken om doorontwikkelingen en nieuwe technologie projecten te bekostigen. Voorbeelden van nieuwe projecten zijn: opschaling van pilots, nieuwe pilots, verkennen van nieuwe toepassingsdomeinen en het ontwikkelen van nieuwe waardeketens en nieuwe import/exportkanalen. De Funding Service wordt opgezet door aanstelling van een Funding coördinator die de organisatie en Services definieert (incl. verdienmodel). De organisatie ondersteunt innovators bij het opstellen van bedrijfsplannen, en daaropvolgend het werven van financiering binnen het netwerk van financiers alsmede sectorfinanciering en financieringsinstrumenten (bijv. toegang tot DEI). Er wordt een flexibele organisatie opgezet waarvan de omvang varieert met de financieringsvraag. Voor nieuwe publiek gefinancierde academische (lage TRL) projecten worden mensen uit onderzoekgerichte organisatie TU/e, specifiek de Research Support Office, ingehuurd (*on-demand*), voor nieuwe publiek gefinancierde pilotprojecten worden mensen geworven en aangesteld uit de markt (indien mogelijk), en voor private financiering worden medewerkers aangesteld die het investeringsplatform organiseren in nauwe samenwerking met "the Gate" (TU/e), waar op dit vlak veel ervaring aanwezig is. The Gate is een informatie- en adviesplatform voor (deep-)tech start-ups, zij helpen start-ups bij het beantwoorden van start-up gerelateerde vragen zoals IP.

3.1.4 VALORISATIESTRATEGIE

Valorisatie is een integraal onderdeel van het Iron Power programma. Naast het feit dat alle projecten commercieel vraag-gedreven zijn gedefinieerd (in samenwerking met industriële partners) om het valorisatiepotentieel te maximaliseren, **sluit het Iron Power programma de gehele TRL-ontwikkelingsketen** van concept tot commercieel product. Het is vanzelfsprekend dat uit de R&D projecten van het Iron Power programma vele succesvolle concepten zullen voortkomen. Zonder het Iron Power programma zouden dit soort concepten veelal op de spreekwoordelijke 'plank' belanden, en zal slechts een enkel innovatief idee doorontwikkeld/onderzocht worden. Het Iron Power programma gaat verder, en test en bewijst (de commerciële *readiness*) deze Iron Power technologieën allereerst in het Field lab en daarna in de pilotopstellingen. De weg voor potentiële technologieën naar commercialisatie is door het Iron Power programma geconcretiseerd en wordt actief gepromoot.

Valorisatie gaat niet uitsluitend over de gemaakte TRL-stappen van specifieke technologische concepten, het gaat daarnaast ook om het bouwen van een innovatie ecosysteem die dit gecontinueerd zal blijven doen. Het Iron Power programma **bouwt, onderhoudt en vergroot een Iron Power ecosysteem** dat Nederlandse en Europese bedrijvigheid zal activeren, enthousiasmeren en ondersteunen. Kennis, techniek en infrastructuur die het Iron Power programma ontwikkelt wordt toegankelijk gesteld voor iedereen (bedrijven, overheden, onderwijsinstellingen) die interesse heeft in Iron Power technologie, en/of technologie ontwikkelt. Daarop biedt de Innovatie infrastructuur Services aan partijen voor het testen van innovaties op verschillende TRL-niveaus (Laboratories), voor het bouwen van een Iron Power netwerk en kennis disseminatie (Community), voor het opleiden van huidige en toekomstige talenten (Talents), en voor het ondersteunen in de zoektocht naar financiering (Funding). Nederland is en blijft het economisch centrum van Iron Power technologie, en zal internationale hightech bedrijvigheid aantrekken.

Tot slot, het Iron Power programma **bouwt voort op al bestaande expertise en infrastructuur** gericht op het creëren van bedrijvigheid – van academisch concept tot commercieel product. Tijdens en na de uitvoering van het Iron Power programma, staat het in nauw contact met het bestaande netwerk van de deelnemende partijen en de regio om bedrijvigheid te creëren, zoals het netwerk van TNO, Brainport Eindhoven (o.a. The Gate), venture capital

fondsen en de ROM's (o.a. BOM Brabant Ventures). Het sluit de brug tussen bestaande expertise en infrastructuur met het onderzoek dat wordt ondernomen in het programma. Zo zullen er gedurende de R&D projecten *business developers* vanuit The Gate participeren, om de spin-out kansen te scouten en (wanneer kansrijk) het netwerk van fondsen in te schakelen en te enthousiasmeren.

Het Iron Power programma vindt zijn oorsprong in Brainport Eindhoven, maar het zal volledig geïntegreerd worden in Nederland en Europa. We maken gebruik van bestaande internationale ecosystemen en netwerken van onze partners (zoals die van TU/e, Metalot en Pometon) om de impact van het Iron Power programma voortdurend te vergroten. Dit stelt ons in staat om een breder bereik te hebben en samen te werken met gerenommeerde organisaties over de hele wereld.

3.2 PLANNING EN FASERING

De drie pijlers van het Iron Power programma worden parallel aan en in samenhang met elkaar ontwikkeld in drie verschillende fases, verdeeld over een tijdspanne van 10 jaar.

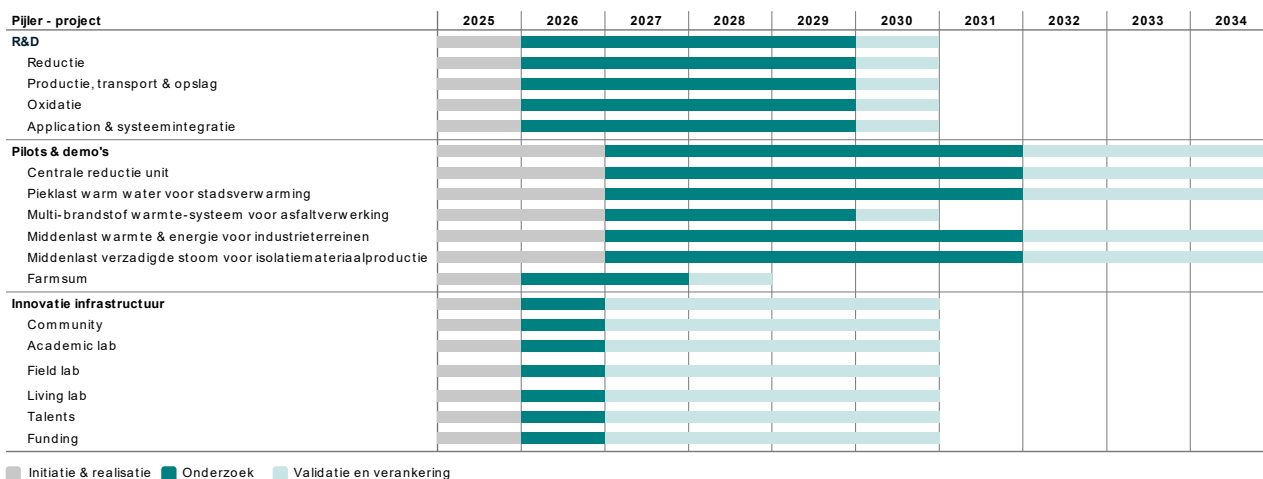
De drie fases die wij onderscheiden zijn:

- **Initiatie & realisatie** – In deze fase worden de projecten geïnitieerd, de first-of-a-kind pilots gerealiseerd, de diensten en infrastructuur van de Innovatie infrastructuur gedefinieerd en beschikbaar gesteld. De planfase, voorafgaand aan de initiatiefase, is reeds afgerond met de indiening van dit programma, waardoor de projecten direct van start kunnen gaan. Aan het eind van deze fase is het project portfolio in volle gang, en zijn de Services 'live'. Deze fase zal in 2025-2026 worden afgerond.
- **Onderzoek** – In deze fase worden de hypothesen/onderzoeksvragen onderzocht, zoals de potentie van nieuwe reductie technologieën, de first-of-a-kind pilots getest en geoptimaliseerd, en de aansluiting van de Services op de markt-behoefte geëvalueerd. De operationele uren van de pilotopstellingen worden opgeschaald en de eerste potentiële technologische spin-outs vanuit de R&D projecten zijn zichtbaar. Ook worden in deze fase de eerste onderzoeksresultaten uit de R&D gevoed aan de pilotprojecten. Aan het eind van deze fase, die afhankelijk van de type activiteit 1-5 jaar duurt, is er een stevige basis van projecten en Services gevormd, en zijn de eerste extern gefinancierde projecten gestart.
- **Validatie & verankering** – In deze fase worden de first-of-a-kind pilots verder opgeschaald en business cases gevalideerd, de systeemintegratie bij industriële partners onderzocht en/of ontworpen, en de R&D projecten richten zich op het verankeren van hun resultaten en daarna afronding. De NGF impulsfinancieringen worden afgebouwd en de Innovatie infrastructuur vergaard steeds meer omzet vanuit de Services (fee-for-service, en Community bijdragen). Aan het eind van deze fase hebben de first-of-a-kind pilot opstellingen zichzelf bewezen in industriële setting, en continueren de betrokken partijen bij succesvolle pilotprojecten de doorontwikkeling naar commerciële producten. De R&D projecten zijn afgerond, maar de technologieën en kennis zijn verankerd in spin-outs en/of de Innovatie infrastructuur. De Innovatie infrastructuur heeft geen NGF-middelen meer nodig om het duurzaam in stand te houden. Tevens is er nieuwe bedrijvigheid ontstaan doordat technologie spin-outs of bestaande bedrijven de technologieën doorontwikkelen in de nabijheid van de kern van het ecosysteem in Nederland, of met behulp van de faciliteiten en expertise van de Innovatie infrastructuur. Deze fase zal, afhankelijk van de activiteit, tussen 2030-2034 zijn afgerond.

Na iedere fase zijn er per pijler mijlpalen gedefinieerd die evaluatie, sturing en go/no-go besluitvorming faciliteren (zie Figuur 26). De fases en voorziene tijdsplanning zijn weergegeven in Figuur 27.



Figuur 26: Hoog-over planning en fasering inclusief mijlpalen



Figuur 27: GANTT van het Iron Power programma

3.3 MONITORING & EVALUATIE

Het Iron Power programma heeft (Key) Performance Indicators ((K)PI's) om de voortgang en het succes te meten gedefinieerd.

Deze zijn ingedeeld in de drie categorieën (Figuur 28):

- **Proces:** KPI's die de activiteiten van het programma reflecteren. Deze KPI's hebben tijdsgebonden doelstellingen die de planning en mijlpalen (zoals hierboven gedefinieerd) volgen.
- **Resultaat:** KPI's die de belangrijkste parameters vertegenwoordigen waar het directe succes en toekomstige verankering) van de projectactiviteiten en de Innovatie infrastructuur Services aan worden afgemeten.
- **Impact:** KPI's die de economische, maatschappelijke, en duurzaamheid effecten van het Iron Power programma op middellange en lange termijn weergeven.

Aan de hand van de KPI's zal de voortgang worden bewaakt, en de KPI's zullen de basis vormen op basis waarvan besluitvorming plaatsvindt. Voor de individuele projecten zullen er KPI's worden opgesteld die gelinkt zijn aan de projectafhankelijke mijlpalen, op basis waarvan er tussentijdse evaluatie kan plaatsvinden per project.

Het monitoring en evaluatieproces

Het Iron Power programma kent twee verschillende evaluatieprocessen waarin de progressie en resultaten van het programma worden beoordeeld en waar bijsturing en go/no-go besluitvorming wordt gedaan:

- **Jaarlijkse evaluatie van het Iron Power programma:** De algehele voortgang van het Iron Power programma wordt continu gemonitord, en jaarlijks zal de voortgang geëvalueerd worden en bijgestuurd waar nodig. De voortgang van het programma wordt afgemeten in de voortgang die geboekt is binnen de drie pijlers, zijnde de voortgang van het R&D project portfolio, het pilots en demo's project portfolio, en de ontwikkeling en gebruik van de Innovatie infrastructuur. De lead-partners en betrokken managers zijn verantwoordelijk voor het tijdig aanleveren van voortgang op de KPI's, mijlpalen, fasering, alsook een plan voor eventuele aanpassingen richting het volgende jaar. De program board is verantwoordelijk voor de evaluatie en vraagt de General Assembly voor een advies met betrekking tot de voortgang en eventuele richtingswijzigingen. Indien de KPI's niet voldoen aan de verwachtingen, mijlpalen niet worden behaald en/of onvoldoende zicht is op succes en/of vertrouwen in een aangepast plan, kan het program board – in samenspraak met de General Assembly – bijsturen.
- **Mid-term review na 5 jaar:** Halverwege (na 5 jaar) het programma wordt er een grondige mid-term review gehouden. Hierin wordt het Iron Power programma en de impact op het duurzaam verdienvermogen van Nederland beschouwd. Het evaluatie proces is identiek aan die van de jaarlijkse evaluatie, op de toevoeging na dat de voortgang en resultaten ook extern geëvalueerd zullen worden.

Monitoring en evaluatie zal een integraal onderdeel vormen van de rapportage die de contractpartners voeren naar het programma management.

Proces KPI's	Resultaat KPI's	Impact KPI's
R&D <ul style="list-style-type: none"> • 2025 – Eerste R&D project gestart • 2029 – Alle projecten afgerond 	<ul style="list-style-type: none"> • Onderzoeksresultaten gepubliceerd [#] • (Sub-)Technologieën doorontwikkeld naar TRL 5 [#] • Spin-outs van (sub-)technologie gegeneerd [#] • Patenten aangevraagd [#] • Technologieën toegevoegd/getest (in pilots / Innovatie infrastructuur) [#] 	<ul style="list-style-type: none"> • Totaal geproduceerd ijzerpoeder door Nederlandse bedrijven en bedrijven gevestigd in Nederland [kg] • Totaal aantal Iron Power bedrijven¹⁾ die technologieën produceren en vermarkten, of diensten aanbieden [#] • Totale omzet van Iron Power bedrijven¹⁾ [#; EUR] • Bedrijven²⁾ die gebruikmaken van Iron Power voor het de-carboniseren van de operatie [#] • Totale energie gegeneerd door Iron Power oplossingen [MWh] • Totaal verminderde uitstoot van CO₂, NO_x, SO_x in Nederland en daarbuiten door Iron Power [%] • Totaal aantal bedrijven die zich in Nederland hebben gevestigd, waarbij de overweging was de aanwezigheid van het Iron Power ecosysteem en/of de toegang tot de infrastructuur [#]
Pilots & demo's <ul style="list-style-type: none"> • 2025 – Eerste pilot project gestart • 2027 – Eerste pilot opstelling gerealiseerd • 2028 – Eerste hitte geproduceerd met ijzerpoeder in oxidatie-pilotopstellingen • 2028 – Eerste ijzerpoeder geproduceerd door reductie-pilotopstellingen • 2029 – Eerste volledige Iron Power cyclus gedemonstreerd (baseline efficiëntie) • 2034 – Alle projecten afgerond 	<ul style="list-style-type: none"> • Pilotopstellingen en waardeketens gerealiseerd [#] • Emissies voorkomen gedurende de pilots [%] • Energie gegeneerd gedurende de pilots [MWh] • Ijzerpoeder geproduceerd gedurende de pilots [kg] • Recycleerbaarheid van ijzerpoeder [%] • Prijs van geleverde energie [EUR/ MWh] • (Sub-)Technologieën (apparatuur & producten) doorontwikkeld naar TRL 6 [#] • Patenten aangevraagd [#] 	
Innovatie infrastructuur <ul style="list-style-type: none"> • 2025 – Diensten gedefinieerd (incl. infrastructuur) • 2026 – Eerste nieuwe interne gebruiker van het Laboratorium • 2027 – Eerste externe Community leden aangesloten • 2029 – Start extern gefinancierd project (buiten NGF scope) 	<ul style="list-style-type: none"> • Omzet gegeneerd uit fee-for-service, leden bijdrage, en project financiering [EUR] • Bezettingsgraad van de diensten [%] • Projecten ondersteund door de diensten [#] • Leden verbonden aan het Iron Power programma [#] • Studenten / professional bereikt en opgeleid [#] • Spin-out (kansen) ondersteund [#] 	

XX Key performance indicatoren 1) Nederlandse Iron Power bedrijven en Iron Power bedrijven gevestigd in Nederland; 2) Bedrijven bedient door Iron Power bedrijven;

Figuur 28: KPI's van het Iron Power programma

3.4 PLANSPECIFIEKE RISICO'S

Tabel 3: Planspecifieke risico's

Risico	Mitigatie- en beheersmaatregelen
Technisch First-of-a-kind pilotprojecten leveren niet de gewenste resultaten	<ul style="list-style-type: none"> • Ervaring: Consortiumpartijen hebben samen een brede ervaring in het opzetten van pilotprojecten, zoals de realisatie van de ijzerpoederopstellingen als energiebron bij de Bavaria brouwerij • Kennisdeling: De partijen werken in samenwerkingsverband met partijen die veel onderzoek verrichten naar Iron Power technologieën • Monitoring en bijsturing: Het project wordt gefaseerd uitgevoerd, met duidelijke Go/No-Go momenten om tijdig risico's te mitigeren
De R&D projecten leveren onvoldoende bruikbare technologieën op voor pilots en/of Innovatie infrastructuur	<ul style="list-style-type: none"> • Projectportfolio keuze: Het portfolio aan projecten is een coherent geheel en zodanig gekozen dat de verschillende waardeketen technologieën, toepassingen (en instellingen), en industrieën worden bediend • Ervaring: R&D partijen hebben en brede ervaring in het opzetten van R&D projecten • Begeleiding: De Innovatie infrastructuur zet (waar mogelijk) capaciteit in om mee te kijken met de projecten, voor het opnemen van innovaties voor de infrastructuur alsmede spin-outs • Monitoring en bijsturing: Voortgang van de projecten wordt jaarlijks geëvalueerd tijdens de reviews en waar nodig kan dan bijgestuurd worden
Commercieel Uitkomsten van het Iron Power programma worden niet omgezet in bedrijvigheid	<ul style="list-style-type: none"> • Behoeftte-gedreven-aanpak: De R&D- en pilot- & demoprojecten zijn met bedrijven gedefinieerd om de <i>route-to-market</i> (indien succesvol) voorafgaand te concretiseren • Bedrijvensnetwerk: De Innovatie infrastructuur zet een netwerk aan bedrijven op die geïnteresseerd zijn en zich inzetten voor de doorontwikkeling van Iron Power technologie • TRL-keten-benadering: Het Iron Power programma dekt en bedient met haar pijlers en Services het volledige TRL-ontwikkelingstraject – van concept tot commercieel product • Begeleiding: Ervaren <i>business developers</i> vanuit The Gate (Brainport Eindhoven) kijken mee met de R&D projecten en scouten continu naar spin-out kansen
Ontwikkelde Iron Power technologieën zijn te specifiek voor de toepassing – hebben weinig commerciële waarde	<ul style="list-style-type: none"> • Projectportfolio keuze: Het portfolio aan projecten is zodanig gekozen dat de verschillende waardeketen technologieën, toepassingen (en instellingen), en industrieën worden bediend • Behoeftte-gedreven-aanpak: De R&D- en pilot- & demoprojecten zijn met bedrijven gedefinieerd om de <i>route-to-market</i> (indien succesvol) voorafgaand te concretiseren • Begeleiding: De Innovatie infrastructuur zet (waar mogelijk) capaciteit in om mee te kijken met de projecten, voor het opnemen van innovaties voor de infrastructuur
De business cases van de pilots verbeteren zich niet gedurende de projecten	<ul style="list-style-type: none"> • Projectportfolio keuze: Het portfolio van projecten omvat verschillende initiatieven, zoals Farmsum, SOEC en DER, die zich onder andere richten op het verbeteren van de businesscase door de afhankelijkheid van de waterstofprijs te verminderen • Zorgvuldig ontwikkeld: In de projectdefinitiefase (voor NGF) zijn de businesscases zorgvuldig ontwikkeld met de betrokken partners, incl. inventarisatie van risico's, scenario-analyses en een commerciële due diligence • Monitoring en bijsturing: De businesscases worden op vooraf gedefinieerde mijlpalen gevalideerd, en waar nodig wordt bijgestuurd
Onvoldoende interesse van partijen in /draagvlak voor Innovatie infrastructuur diensten	<ul style="list-style-type: none"> • Sterke basis: Het Iron Power programma bouwt voort op een sterke basis met 27 partijen die reeds aangesloten zijn bij Metalot (kernpartner van dit voorstel) • Open karakter: Het Iron Power programma is toegankelijk voor alle onderzoekers, ondernemers en bedrijven met een interesse in Iron Power technologie • Actief benaderen: Het Iron Power programma zal continu en actief op zoek gaan naar nieuwe partners om het ecosysteem te versterken en nieuwe projecten te starten met deze partijen

		<ul style="list-style-type: none"> • Samenwerking: Door strategische samenwerkingen met partners zoals Veolia, Ennatuurlijk en AsfaltNu heeft het programma een voorziene instroom van gebruikers
Ecologisch		
Emissiedoelen niet gehaald	worden	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoring: De ingezette Iron Power capaciteiten worden gemeten, op basis waarvan een milieueffectenrapportage gemaakt zal worden van de hoeveelheid emissies die voorkomen zijn • Milieuorganisaties: Het Iron Power programma zal milieuorganisaties (bijvoorbeeld de Natuur en milieufederaties, Natuur & Milieu, Urgenda, enz.) betrekken en vragen onderdeel te worden van de Iron Power Community
Regelgeving		
Vertraging totstandkoming pilots door vergunningen	in van de verlate	<ul style="list-style-type: none"> • Ervaring: De partners hebben veel ervaring met de realisatie van vergelijkbare fysieke duurzaamheidsprojecten • Fasering: Het project wordt gefaseerd uitgevoerd, met duidelijke Go/No-Go momenten om tijdig risico's te mitigeren • (Deels) Locatie onafhankelijk: De R&D en Innovatie infrastructuur projecten zijn locatie onafhankelijk en zullen direct kunnen starten
Bemensing		
Het Iron Power programma is onvoldoende in staat om het programma te bemensen		<i>Zie kader Bemensing (human capital) van het programma</i>

Kader 12: Bemensing (human capital) van het programma

Het Iron Power programma berust gemiddeld op 70-75 FTE menskracht per jaar dat gemobiliseerd wordt door meer dan 37 partners. Hiervan is ongeveer 50% onderzoeker (o.a. bedrijfsonderzoeker, Professoren, PhD'ers, Postdocs, assistent professoren), en 45% technisch personeel, en 5% management en support personeel (o.a. directeuren, coördinatoren, secretaris/administratief personeel). Het aantrekken van het benodigde *human capital* wordt als zeer haalbaar ingeschat, gezien het feit dat alleen binnen het kernconsortium (TU/e, TNO, Metalot, RIFT, Iron+) al meer dan 5.000 FTE onderzoekers werken en er jaarlijks meer dan 500 FTE worden aangenomen.

Daarnaast wordt het Iron Power programma geleid door sterke partijen (o.a. TU/e, TNO, Metalot) en in een regio met een enorme internationale aantrekkingskracht. De economische groei van regio Brainport Eindhoven was in 2021 meer dan 2%pp. hoger dan de economische groei in andere Nederlandse regio's (o.a. de regio Amsterdam), en alleen afgelopen jaar al vestigden 29 buitenlandse bedrijven zich in Zuidoost-Brabant (bron: Brainport monitor 2022) – Gevoed door de sterke partijen en haar internationale netwerk die er gevestigd zijn zoals de ASML, NXP, en de TU/e. De aantrekkingskracht van het Iron Power programma en de regio wordt verder versterkt door de deelname van internationaal significante partijen als ArcelorMittal, TATA Steel, Pometon, Veolia, ENGIE, McGill University, TU Darmstadt, en Chalmers University of Technology.

Ook zorgt het Iron Power programma, middels de Services van de Innovatie infrastructuur, voor directe instroom van *human capital*. De Services zijn open voor iedereen die geïnteresseerd is en richten zich op het opleiden van studenten, onderzoekers en professionals, maar ook op het dissemineren van kennis en het ondersteunen van partijen die geïnteresseerd zijn in Iron Power technologie. Het Iron Power programma versnelt hierdoor niet alleen het ontstaan van een Iron Power ecosysteem, maar helpt ook bij het vergroten van de *human capital* in Iron Power technologie.

3.5 JURIDISCHE UITVOERBAARHEID

Het Iron Power programma is juridisch uitvoerbaar, en de Iron Power programma partners zijn bekend met en voldoen aan en zullen zorgdragen dat zij voldoen aan onderstaande regelgeving wanneer zij activiteiten uitvoeren die daar onder vallen.

Overzicht van de geldende juridische kaders is gegeven in Tabel 4.

Tabel 4: Juridische kaders die betrekking hebben op het Iron Power programma

Juridische kaders
Algemene groepsvrijstellingsverordening (AGVV) – Voorwaarden voor onderzoeks- en ontwikkelingsprojecten en investeringssteun voor de onderzoeksinfrastructuur, die zijn vrijgesteld van de aanmeldingsverplichting voor staatsteun.
CE-markering – Voor industriële productgroepen die worden verhandeld in de Europese Economisch Ruimte (EER) moeten een CE-markering krijgen. De fabrikant verklaart hiermee dat zijn producten zijn getoetst aan alle toepasselijke EU-wetgevingen die CE-markering vereisen en overeenstemmen met de gezondheids-, veiligheids-, prestatie- en milieueisen die relevant zijn voor die producten.
Stichting Certificering Onderhoud en Inspectie van Stookinstallaties (SCIOS) – Voor industriële stookinstallaties is een SCIOS vergunning nodig om aan te tonen dat de installatie in kwestie naar behoren functioneert – dat een installatie veilig en zo milieuvriendelijk mogelijk is.
Omgevingsvergunning Milieu – Voor kleine industriële stookinstallaties met geen standaard brandstof is een Omgevingsvergunning Milieu noodzakelijk.
Klimaatwet en Nationaal Klimaatakkoord – Om klimaatverandering tegen te gaan wil de Nederlandse overheid de uitstoot van broeikasgassen in Nederland in 2050 met 95% hebben verminderd ten opzichte van 1990. Deze doelen zijn vastgelegd in de Klimaatwet van 28 mei 2019.
Effort Sharing Regulation – De <i>Effort Sharing Regulation</i> (ESR), zoals aangenomen door de Europese Commissie in 2018, stelt nationale doelen voor emissiereducties van wegvervoer, verwarming van gebouwen, landbouw, kleine industriële installaties en afvalbeheer.

Wet milieubeheer – Bijna alle nationale milieuwetgeving is opgenomen in de Wet milieubeheer. Deze wet beschrijft een geïntegreerde aanpak van milieubeheer in Nederland en biedt het wettelijke kader door de rollen van de nationale, provinciale of regionale en gemeentelijke overheid vast te leggen.

Activiteitenbesluit – Dit besluit bevat algemene regels voor milieubeheer die gelden voor alle bedrijven, inclusief stookinstallaties en opslag tanks in Nederland.

Europese Richtlijn Industriële Emissies – De Richtlijn Industriële Emissies (RIE) is het belangrijkste EU-instrument dat de uitstoot van verontreinigende stoffen door industriële installaties regelt. Dit omvat emissies naar lucht, water en land, productie van afval, gebruik van grondstoffen en energie-efficiëntie.

Stikstofaanpak – Aanpak piekbelasting – De Nederlandse overheid introduceert maatregelen voor o.a. industrie, landbouw, transport en de bouwsector om de stikstofdepositie te verminderen en de kwaliteit van natuurgebieden te verbeteren.

Protocol van Göteborg - Het protocol stelt nationale emissieplafonds vast voor vier verontreinigende stoffen: Zwavel (SO₂), stikstofoxiden (NO_x), vluchtige organische stoffen (VOC's) en ammoniak (NH₃).

National Emissions Ceilings Regulations (NECR) – De Europese Gemeenschap is nieuwe emissiereductieverplichtingen overeengekomen voor elke lidstaat voor de totale uitstoot van NO_x, SO_x, NMVOS, NH₃ en PM_{2,5} in 2030.

Clean air programme voor Europa – Het schone lucht programma voor Europa schetst maatregelen om ervoor te zorgen dat de bestaande doelstellingen worden gehaald en stelt nieuwe luchtkwaliteit doelstellingen voor de periode tot 2030 en bevat een voorgestelde richtlijn om de vervuiling door middelgrote stookinstallaties te verminderen.

3.6 SAMENWERKING EN GOVERNANCE

3.6.1 DEELNEMENDE PARTIJEN

Het Iron Power programma wordt geleid door sterke kernpartners - die de volledige verantwoordelijkheid nemen voor het programma - die worden versterkt door publieke en private partijen met verbredende en verdiepende capaciteiten.

De kernpartners, bestaande uit TU/e, Metalot, Iron+, RIFT en TNO, nemen de volledige verantwoordelijkheid voor het Iron Power programma. Zij leveren samen de benodigde expertise en capaciteiten voor het gehele programma.

Rondom de kernpartners wordt een ecosysteem van partners gerealiseerd die beschikken over complementaire expertise en/of capaciteiten. Samen beschikt het netwerk van partners over alle expertise en capaciteiten die nodig zijn om de commercialisering van ijzerpoeder voor de energie-intensieve industrieën te versnellen. Het programma staat open voor partijen van over de hele wereld die willen deelnemen, gebruik willen maken van de aangeboden Services of kennis willen opdoen over de Iron Power technologie.

Er zijn, naast de kernpartners, vier type partners betrokken bij het programma:

- **R&D-partners** zijn publieke en private (inter)-nationale partijen (onderzoeksinstituten en industriële partijen) die werken aan een gezamenlijk doel om de technologische uitdagingen van Iron Power technologie te overwinnen. Eén of meerdere partners werken aan één project met één technologische onderzoeksvraag. Bijvoorbeeld een onderzoeker die de efficiëntiewinst van een nieuwe oxidatietechnologie voor ijzerpoeder gaat onderzoeken, of een bedrijf dat nieuwe technologieën voor de reductie van ijzeroxide gaat onderzoeken. Deze partijen brengen de kennis, expertise en methoden samen om de technologische uitdagingen aan te gaan en mogelijk te overwinnen. De R&D partners van het programma zijn RISE, Chalmers, Pometon, TU Delft, CSN, UM, Ferron Energy, ArcelorMittal, ENGIE, TATA Steel, TU Twente, Team Solid, Holcim, EMgroup, Iron+, RIFT, KWR, Nyrstar, HeatPower, ESA, DIFFER, Max Planck Institute for Sustainable Materials en Doosan Lentjes.

- **Pilot- en demo-partners** zijn publieke en private (inter)nationale partijen (onderzoeksinstituten en bedrijven) die werken aan een gezamenlijk doel om het potentieel van Iron Power technologie te testen en te demonstreren. Zo werken meerdere partners samen aan het realiseren van first-of-a-kind ijzerpoeder (sub-)technologie opstellingen voor onderzoek en doorontwikkeling. De pilot- en demopartners van het programma zijn Ennatuurlijk, Kingspan, Asfaltnu, Veolia, Xirqulate en Re-Forme.
- Partners in de **Innovatie infrastructuur** zijn publieke en private partijen die specifieke expertise inbrengen om de Services te ontwikkelen en uit te voeren. Deze omvatten:
 - **Laboratoriumpartners** beschikken over de faciliteiten en apparatuur die nodig zijn om het onderzoek naar installaties voor ijzerenergie-technologie van 10 kW tot 5 MW te vergemakkelijken.
 - **Community partners** hebben ervaring met het bouwen en onderhouden van innovatie-ecosystemen, het verkrijgen van regelgeving en gelijktijdige engineeringpraktijken.
 - **Talentenpartners** hebben ervaring met het ontwikkelen van onderwijsprogramma's voor studenten (mbo, hbo & universiteiten) en (*next generation*) professionals.
 - **Financieringspartners** hebben ervaring en hebben een bewezen track-record binnen het innovatielandschap van Nederland, door start-ups, scale-ups en MKB-bedrijven te helpen bij het mobiliseren van financiering en het verkrijgen van schaalgroottes. Deze partners bieden makkelijker toegang tot financiering door hun ervaring en netwerk. Voorbeelden van potentiële partners zijn HighTechXL, Climate Fund Managers, FORWARD.one, InvestNL, BOM en LTO Nederland.
- **Klanten & Leden** zijn publieke en private partijen die gebruik willen maken van de diensten en of onderdeel zijn van de Iron Power community van de Innovatie infrastructuur:
 - **Klanten** zijn commerciële partijen die technologieën willen testen op pilot- en demoprojectschaal, bedrijven/individuen die meer willen weten over Iron Power en/of individuen (bijv. onderzoekers van universiteiten) om bedrijven die op zoek zijn naar groeifinanciering te verbinden met een netwerk van financierders. Zij maken gebruik van de diensten via een *fee-for-service* model.
 - **Leden** zijn academische en commerciële partijen die gezamenlijk Iron Power technologie willen ontwikkelen en vormgeven op basis van gedeelde kennis en inzichten - zij maken deel uit van het Community programma. Alle partners (gecommitteerd aan het Iron Power programma) en partijen die Iron Power technologie willen realiseren worden onderdeel van het lidmaatschap. Leden krijgen toegang tot o.a. de '*lessons learnt*' in het programma en de huidige stand van zaken via jaarlijkse bijeenkomsten, netwerkevenementen en communicatiematerialen. Ze maken deel uit van de Community via een lidmaatschapsmodel.

Er zijn 37 partijen gecommitteerd aan de uitvoering van het programma, waaronder 13 grote bedrijven, 12 MKB bedrijven (samen 68% van totaal), 7 hogescholen/universiteiten en 5 onderzoekscentra. Een compleet overzicht van de deelnemende partijen is opgenomen in Figuur 29. Naast de gecommitteerde partijen staat het Iron Power programma open voor niet-gecommitteerde partijen middels de diensten van de Innovatie infrastructuur (gebruikers en leden).



Figuur 29: Iron Power program partner types

3.6.2 GOVERNANCE EN ORGANISATIE

Het bestuur van Iron Power wordt gestructureerd op basis van de drie pijlers van het programma en wordt geleid door een program board die onder toezicht staat van een General Assembly en die wordt ondersteund door het programmamanagement - Het bestuur van de Innovatie infrastructuur bouwt voort op de bestaande bestuursstructuur van Metalot.

De samenwerking tussen de partners in dit NGF project wordt vastgelegd in een consortiumovereenkomst. Een **General Assembly** waarin alle uitvoerende partners van het Iron Power programma die NGF middelen ontvangen in zijn vertegenwoordigd, is het hoogste besluitvormend orgaan van het Iron Power programma. Het houdt toezicht

op de uitvoering van de consortiumovereenkomst en is besluitvormend over eventuele benodigde afwijkingen van wat er in de consortiumovereenkomst is opgenomen (bv. m.b.t. inhoud en financiën). General Assembly vergaderingen zullen in ieder geval eens per jaar georganiseerd worden.

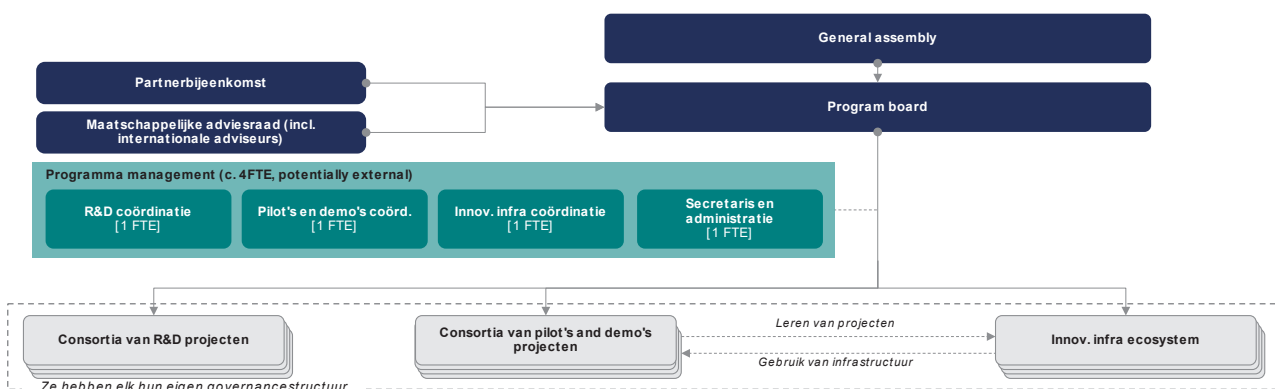
De TU/e neemt de taak van **Coördinator** op zich voor het gehele Iron Power programma. De TU/e neemt daarmee de verantwoordelijkheid als voorzitter van de General Assembly, bereidt de General Assembly vergaderingen voor, is de academische vertegenwoordiger in de program board, neemt verantwoordelijkheid over het programma management en verzorgt de projectadministratie van de deelprojecten waar de TU/e zelf bij betrokken is.

Het Iron Power programma wordt geleid door een **Program Board** die bestaat uit drie personen. Eén met een academische achtergrond (TU/e), één met een overheids-/maatschappelijke achtergrond en één met een industriële achtergrond. De Program Board is verantwoordelijk voor de algemene uitvoering van de strategie, de externe relaties, voorbereiding van de General Assembly meetings en de overkoepelende *end-to-end* coördinatie van het Iron Power programma.

De program board wordt ondersteund door het **Programma Management** en bestaat uit ongeveer 4 FTE. Programmamangement is verantwoordelijk voor de dagelijkse coördinatie en administratie van het programma. Het omvat coördinerende rollen voor elk van de drie pijlers van het programma: R&D, Pilots en demo's, en Innovatie infrastructuur. Deze coördinerende rollen zorgen voor een effectieve samenwerking tussen de projecten binnen en tussen de programmapijlers. Ze houden ook de financiële planning en afspraken bij en bewaken de projectuitvoering bij de partners. Programmamangement omvat ook algemene secretariële en administratieve functies, zoals contracten en overeenkomsten, financiën en secretariële ondersteuning. Programmamangement zal verantwoordelijk zijn voor programma-overschrijdende zaken, zoals het verbeteren van de Innovatie infrastructuur op basis van de resultaten van de R&D-projecten.

De Program Board wordt geadviseerd door een **partnerbijeenkomst** en een **maatschappelijke adviesraad**. De partnerbijeenkomst bestaat uit vertegenwoordigers van alle partijen die betrokken zijn bij het programma en komen in ieder geval twee keer per jaar bijeen. Het adviseert de Program Board over de te volgen strategie en richtingen, en de kwaliteit van de opgeleverde projecten. De partnerbijeenkomst bestaat uit projectpartners in de pijlers R&D en pilot en demo's, en partners die (sub)diensten leveren en ontvangen als onderdeel van de Innovatie infrastructuur. Ook partners die de komende jaren aansluiten in nieuwe projecten en nieuwe gebruikers van de Innovatie infrastructuur zijn welkom op de partnerbijeenkomst. De maatschappelijke adviesraad is er om de internationale en industriële relevantie en acceptatie van de ijzeren poedertechnologieën en het ecosysteem te waarborgen. De raad zal bestaan uit (internationale) vertegenwoordigers uit de samenleving, bedrijven van verschillende grootte (MKB en groot), verschillende onderdelen in de waardeketen en internationaal erkende (onderzoeks-)instituten. De leden van de maatschappelijke adviesraad vertegenwoordigen ook partijen die geen deel uitmaken van het programma: zij bieden een *outside-in view* om na te denken over de strategie van het programma.

De projecten binnen de pijlers **R&D en Pilots en demo's** hebben allemaal hun eigen leiderschap structuur rond het consortium van partners dat het specifieke project uitvoert. Elk projectconsortium heeft zijn eigen leiderschap, bepaald door de leidende partners van het projectconsortium, en ondersteunende projectmanagementcapaciteit die geschikt is voor het specifieke project. Deze en andere projectafspraken zoals bijdragen, activiteiten en specifieke IP-regels worden vastgelegd in een projectovereenkomst, ondertekend door de projectpartners.

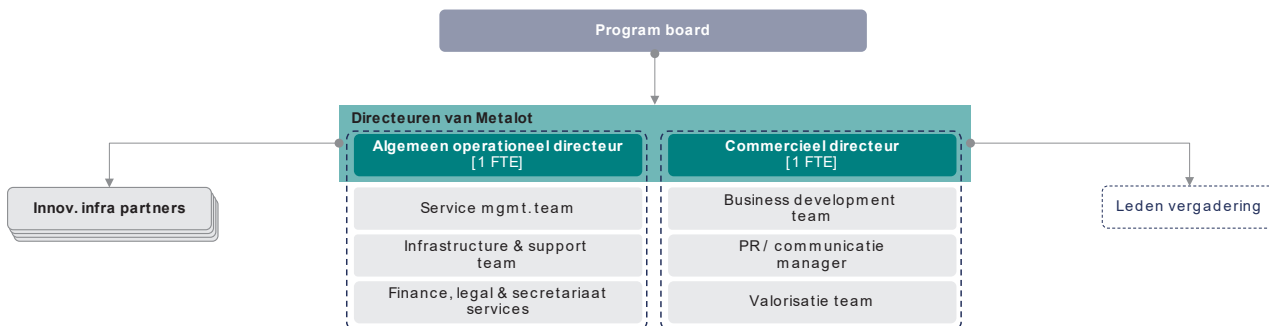


Figuur 30: Governancestructuur van het Iron Power programma

De governance van de **pijler Innovatie infrastructuur** (“Innovatie infrastructuur ecosysteem” in Figuur 30) bouwt voort op de bestaande Metalot-governancestructuur (zie Figuur 31). Dit omvat reeds aanwezige expertise, mensen, rapportagelijnen en juridische structuren. De pijler Innovatie infrastructuur wordt geleid door de twee directeuren van Metalot, bestaande uit een algemeen operationeel directeur en een commercieel directeur. De directeuren zijn verantwoordelijk voor de dagelijkse aansturing van de pijler Innovatie infrastructuur. De algemeen operationeel directeur is de uitvoerende macht en stuurt de strategie en externe relaties van de pijler aan. Hij is ook verantwoordelijk voor het onderhoud en de exploitatie van de diensten en infrastructuur. De commercieel directeur is verantwoordelijk voor de werving van klanten voor de diensten van het Iron Power-programma en voor de

valorisatieondersteuning van ijzerpoeders. Daarnaast is de commercieel directeur verantwoordelijk voor de continue ontwikkeling van nieuwe diensten en alle financiële & juridische zaken van de pijler.

De directeuren van Metalot worden allen ondersteund door verschillende teams. De algemeen en operationeel directeur wordt ondersteund door een service management team, een infrastructuur & support team en een financieel, juridisch en secretariaal team. Het service management team coördineert de definitie, ontwikkeling en werking van de diensten van het Iron Power programma en de organisatie van de ledenvergaderingen van de Community dienst. Het infrastructuur- en ondersteuningsteam zorgt voor de ontwikkeling, het onderhoud en de vereiste ondersteuning.



Figuur 31: Governancestructuur van de Innovatie infrastructuur pijler

3.6.3 STAKEHOLDERS

Het Iron Power programma is een nationaal initiatief waarbij zowel publieke als private organisaties betrokken zijn (zie hoofdstuk 3.6.1). Echter, zijn er ook stakeholders die niet direct betrokken zijn bij het programma, die worden indirect worden betrokken gedurende de uitvoering. Hieronder wordt de betrokkenheid van enkele van deze relevante stakeholders weergegeven.

Tabel 5: Relevante stakeholders van het Iron Power programma en relatie met andere NGF voorstellen

Relevante stakeholders
<p>De ministeries EZK en OCW spelen een belangrijke rol bij het reguleren van industriële emissies en het behalen van de doelen zoals beschreven in het Klimaatakkoord. Hier kan het Iron Power programma een passende aanvulling op worden. De langjarige beleidslijnen van beide ministeries beschrijven het industrie verduurzamingsbeleid en de bevordering van innovatie. Het Iron Power programma sluit hier naadloos op aan door een verduurzamingsalternatief te bieden voor de energie-intensieve industrie.</p>
<p>Bedrijven in Cluster 6 zijn belangrijke stakeholders. Cluster 6 omvat 9 sectoren: keramisch, levensmiddelen, chemisch, basismetalaalindustrie, karton en papier, glas, afval en recycling, ICT en olie en gas exploratie. Voor het behalen van de door de Nederlandse regering geformuleerde klimaatdoelen liggen er plannen voor het waterstofnetwerk. Echter, zullen de bedrijven in Cluster 6 in de nabije toekomst niet aan dit netwerk worden gekoppeld, en dus hebben ze alternatieve decarbonisatie strategieën nodig. Het Iron Power programma is open voor deze partijen om deel te nemen en samen met hen een duurzaam Iron Power alternatief te ontwikkelen voor de energie intensieve processen.</p>
<p>Regulatorische organisaties zoals de EPA, IEA, IMO en ISO spelen een cruciale rol in regulering omtrent de productie, transport en opslag van energie/ groene moleculen. Het Iron Power programma moet voldoen aan de standaarden en reguleringen die deze organisaties stellen.</p>
<p>Brainport Eindhoven, inclusief The Gate, vervult een essentiële rol bij het aantrekken en verenigen van talent, bedrijfsleven en financiering en bij het stimuleren van nieuwe bedrijfsinitiatieven. Het Iron Power programma heeft stevige banden met Brainport Eindhoven en zal nauw samenwerken om de <i>human capital agenda</i> (Talents) te bevorderen en een vruchtbare voedingsbodem te creëren voor innovatieve ondernemingen (Funding).</p>
<p>Provincie Noord-Brabant is één van de oprichters van Metalot en speelt een belangrijke rol in het creëren van een innovatieclusters en het versnellen van de energietransitie door veelbelovende technologieën en systemen aan te jagen en klaar te stomen voor de markt.</p>
<p>Investeerders krijgen de kans om te investeren in een groene energiedrager. Een deel van de benodigde private middelen voor de spin-out bedrijvigheid komt van venture capital en private investeerders.</p>
<p>Topsectoren Energie en Chemie hebben verschillende ambities geformuleerd, waaronder “Missie B – Gebouwde Omgeving” en “Missie C – Industrie” van Topsector Energie, waar het Iron Power programma naadloos op aansluit. Zowel Topsector Energie als Chemie ondersteunen het Iron Programma sterk in woord en daad, en zijn onder andere betrokken geweest bij het opstellen van dit programma.</p>
Relatie met andere NGF voorstellen
<p>GroenvermogenNL heeft als doel om het innovatieve ecosysteem rond groene waterstof en groene chemie op te schalen. GroenvermogenNL richt zich op drie pijlers: opschalen & innoveren, ombouwen & opbouwen, omscholen & opleiden. Het Iron Power programma sluit naadloos aan bij het doel van GroenvermogenNL. De twee initiatieven ondersteunen elkaar op gebied van decarboniseren, onderzoeksprojecten en onderwijsprogramma's, en hebben beiden een eigen domein dat aansluit, maar niet overlapt. GroenvermogenNL focust namelijk op groene waterstof en chemie, dat zit niet in de scope van Iron Power. Iron Power focust op ijzerpoeder en industrieën in Cluster 6 die in de nabije toekomst geen toegang krijgen tot het waterstofnetwerk.</p>
<p>Nieuwe Warmte Nu! heeft de ambitie om de aanleg van duurzame collectieve warmtesystemen tegen lage maatschappelijke kosten aan te leggen. Door schaalvoordelen en innovaties dalen dan de kosten in de hele keten. Het Iron Power programma sluit aan bij dit voorstel, gezien stadsverwarming een belangrijke applicatie is voor het Iron Power programma. IJzerpoeder biedt namelijk een duurzaam alternatief voor stadsverwarming, en dus is er sprake van complementariteit/synergie tussen de programma's.</p>

Opschaling publiek private samenwerking in het beroepsonderwijs (Katapult) gaat investeren in de publiek-private samenwerkingsverbanden (pps'en) tussen beroepsonderwijs en arbeidsmarkt in belangrijke sectoren. Het voorstel richt zich op talentontwikkeling door middel van onderwijsinnovatie en docent professionalisering. De Talents pijler van het Iron Power programma sluit hier goed op aan door zowel Studenten Challenges en vakken/cursussen voor studenten en bestaande professionals te ontwikkelen die gaan over de essenties van Iron Power technologie.

Leven Lang Ontwikkelen Katalysator heeft als doel om bij te dragen aan het vergroten en actueel houden van kennis en vaardigheden van (praktische) opleidingen voor betere kansen op de arbeidsmarkt. Binnen het Iron Power programma wordt maatwerk onderwijs (have en vmbo) opgezet met stichting LVO waarin scholieren en zij-instromers praktische les krijgen in Iron Power technieken. Daarnaast worden er vele LLO trajecten opgezet voor mbo en hbo in samenwerking met de HZ University of Applied Sciences rondom de energietransitie.

3.6.4 INTELLECTUEEL EIGENDOM

Het consortium legt in een samenwerkingsovereenkomst afspraken vast over het omgaan met intellectueel eigendom (IE), rechten en licenties. Het basisprincipe met betrekking tot kennisdeling binnen het consortium is 'open access': kennis en innovaties, ontwikkeld tijdens de uitvoering worden gedeeld. In kennisdelingsactiviteiten is leidend dat geen informatie wordt gedeeld met derden die schadelijk kan zijn voor de competitiviteit van de deelnemende ondernemingen. Dit omvat ook informatie die kan leiden tot 'reverse engineering' van technologie van de deelnemende ondernemingen, en informatie die het aanvragen van mogelijk IE-bescherming, zoals patenten, in de weg kan staan. Zo wordt voorkomen dat kritieke kennis weglekt en wordt verzekerd dat resultaten ten goede komen aan de deelnemende ondernemingen.

Ten aanzien van intellectuele eigendomsrechten maken we een onderscheid tussen achtergrond- en voorgrondkennis. Alle **bestaande IE** achtergrondkennis van elke partner ('*background*'), blijft te allen tijde eigendom van de betreffende partner en wordt vastgelegd in de consortiumovereenkomst. Indien er van deze kennis gebruik gemaakt wordt door andere partijen dan de eigenaar, worden hier vooraf afspraken over gemaakt (bijv. door het tekenen van een licentieovereenkomst). Tijdens projecten en spin-out activiteiten zal nieuw **ontwikkelde IE** kennis ('*foreground*') ontstaan, hiervoor geldt in de basis het zo genoemde *inventor-ownership* principe. Dat wil zeggen dat het intellectueel eigendom van de uitvindingen in principe berust bij de entiteit die deze uitvinding heeft gecreëerd. Voor **gezamenlijk ontwikkelde IE** kennis ('*joint foreground*') zullen passende afspraken worden gemaakt in de consortiumovereenkomst.

4. FINANCIËLE ONDERBOUWING

4.1 BEGROTING

Het totale budget van het Iron Power-programma is EUR 395 m - geïnvesteerd over een periode van 10 jaar - waarvan EUR 239 m wordt gefinancierd door partners en het gebruik van de Services, en de resterende EUR 156 m zal worden gevraagd aan het Nationaal Groeifonds.

De uitvoering van het Iron Power programma omvat de uitvoering van R&D- en Pilot- & demoprojecten, de ontwikkeling van de Innovatie infrastructuur (incl. de vier Services) en het runnen van de uitvoerende organisatie. De gehele investeringsduur van het programma is 10 jaar, waarna het Iron Power programma zelfvoorzienend is. In Tabel 6 wordt het budget op hoog niveau en de financieringsstromen van het gehele Iron Power programma weergegeven. De totale begrote kosten van het programma bedragen EUR ~395 m over een periode van 10 jaar. Het programma zal 39% impulsfinanciering zoeken (zoals vanuit het Nationaal Groeifonds) en de bijdragen van publieke en private partners en andere bijdragen zullen goed zijn voor de overige 61%.

Tabel 6: Overzicht begroting van het Iron Power programma [EUR m]

[EUR mln]	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	Totaal t/m 2034	Vanaf 2035	% van totaal
Bijdragen	75,3	75,8	57,3	58,2	33,2	34,5	14,3	14,8	15,5	15,7	394,5	1,4	
Nationaal Groeifonds	37,7	37,7	19,4	20,3	10,4	11,7	3,8	4,3	5,0	5,2	155,8	0,0	39%
Publieke partners in-kind	9,7	3,7	3,7	3,7	1,7	1,7	0,1	0,1	0,1	0,1	18,7	0,0	5%
Publieke partners in-cash	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	6,0	0,3	2%
Private partners in-kind	23,4	23,4	23,4	23,4	11,1	11,1	5,4	5,4	5,4	5,4	137,3	0,0	35%
Private partners in-cash	9,3	9,3	9,3	9,3	8,6	8,6	3,5	3,5	3,5	3,5	68,3	0,0	17%
Verdienmodel	0,3	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	4,0	1,0	1,0	1,0	8,5	1,1	2%
Kosten	75,3	75,8	57,3	58,2	33,2	34,5	14,3	14,8	15,5	15,7	394,5	1,4	
Directe loonkosten	20,2	20,4	18,9	19,4	14,7	14,7	7,0	7,0	7,1	7,1	136,6	1,1	35%
Kosten verbruikte materialen	7,5	7,6	9,7	10,2	9,8	11,2	6,1	6,6	7,1	7,2	82,8	0,2	21%
Kosten gebruik apparatuur	40,4	40,5	23,2	23,3	3,1	3,3	0,6	0,9	0,9	0,9	137,2	0,0	35%
Kosten aan derden	7,1	7,3	5,5	5,3	5,6	5,3	0,6	0,3	0,6	0,6	38,0	0,1	10%

Indicatief – financiën zijn nog onderhevig aan verandering

Voor het Iron Power programma is een impulsfinanciering vanuit het Nationaal Groeifonds van ~156 miljoen euro nodig, overeenkomstig met 39% van het totale budget. Het overige deel wordt bekostigd door publieke en private partijen, die respectievelijk 7% en 52% van het budget committeren, en 2% door overige bekostigingsinstrumenten zoals omzet (vergoedingen van gebruikers).

Onderbouwing begroting en financieringslijnen

De begroting van het Iron Power programma is opgebouwd volgens een bottom-up benadering, gebaseerd op prijs-maal-aantal. De kosten in het programma zijn onderverdeeld in vier kostensoorten: directe loonkosten, project specifieke kosten verbruikte materialen, project specifieke kosten voor gebruik apparatuur, uitrusting, machines en project specifieke aan derden verschuldigde kosten.

De directe loonkosten per project zijn vastgesteld door een inschatting te maken van de werkelijk benodigde capaciteit (het aantal FTE's en functies) en de bijbehorende schaal. De kosten voor de verbruikte materialen omvatten onder anderen ijzerpoeder, ijzeroxide en waterstof kosten voor de oxidatie en reductie processen. De kosten voor gebruik van apparatuur, uitrusting en machines omvat onder anderen kosten voor het opzetten van de oxidatie en reductie processen (boiler systemen) en de laboratoria. Tot slot, valt onder aan derden verschuldigde kosten civiele werkzaamheden, extern onderzoek, infrastructuur uitgaven en vergunningen.

Het Nationaal Groeifonds wordt gevraagd om een incidentele subsidie te verstrekken, een impulsfinanciering. De subsidiebeschikking zal binnen het EKZ-subsidiekader, de geldende staatssteunkaders en de kaders vanuit het Groeifondsbesluit worden opgesteld.

4.2 OPTIMALE BEGROTINGSMIX

Naast de middelen die worden ingebracht door publieke en private partners, is het Iron Power programma afhankelijk van de impulsbekostiging door het NGF – zonder deze impuls financiering komt het de Iron Power programma (of onderdelen daarvan) langzamer, kleiner en met veel lagere impact van de grond. De totale financiële bijdrage van publieke en private partners ter uitvoering van de projecten binnen de pijlers bedraagt 232 miljoen euro (59% van totaal). Voor R&D projecten is de publieke en private bijdrage 39% van de totale R&D kosten, voor Innovatie infrastructuur 34%, en voor Pilots & Demo's is dit 66%. Deze bekostigingsmix is passend voor het Iron Power programma omdat het een sterke kennisbasis neerlegt (o.a. met expertiseontwikkeling), en daarmee een publieke asset voor de economie en maatschappij is. Daarnaast groeit de private inbreng over tijd. De kosten en bijdrage per deelnemende partij is te vinden in Tabel 8.

Tabel 7: Totale kosten gedragen door en bijdrage per deelnemer [EUR m]

Partner	Totale kosten	Totale bijdrage	In-kind	In-cash	Partner	Totale kosten	Totale bijdrage	In-kind	In-cash
AsfaltNu					ESA				
Xirqulate					Doosan				
Ennatuurlijk					ArcelorMittal				
Veolia					Opleiders				
TU/e					Locaties				
RIFT					Pometon				
Ferron Energy					Chalmers				
Kingspan					Tata Steel				
Metalot					Holcim				
Iron+					HeatPower				
TNO					SPIE				
Re-Form					Nystar				
Gebruikers					KWR				
TU Delft					McGill				
Maastricht University					Max Planck				
Electrify					Technische Universitat Darmstadt				
ArmanTech					Engie				
Differ					Uniper				
University of Twente					Emgroup				
Industrie					Spliethof				
RISE									

Publieke additionaliteit

Er bestaan diverse publieke instrumenten die onderzoek en ontwikkeling in de duurzame energie sector stimuleren, zowel op regionaal, nationaal als internationaal niveau. Het Iron Power programma onderscheidt zich echter als een allesomvattende oplossing voor de gehele waardeketen. Dit programma vereist samenwerking op nationaal en internationaal niveau, waarbij partijen langs de gehele waardeketen bijdragen aan de productie, transport en opslag van ijzerpoeder en ijzeroxide. Bestaande financieringsprogramma’s op zowel nationaal als internationaal niveau richten zich doorgaans op afzonderlijke onderdelen binnen een waardeketen, in plaats van op het gehele ecosysteem. Om de volledige potentie en impact van het Iron Power programma te realiseren, is een breed ecosysteem van bedrijven noodzakelijk, en dus een investering van het NGF zodat de bedrijven langs de gehele waardeketen zich kunnen ontwikkelen. Naast het NGF is er geen andere, bestaande regeling waarin een ambitieus nationaal programma integraal en op alle aspecten kan worden versterkt. Deelprojecten zouden in veel kleinere en aangepaste vorm wel kunnen indienen bij andere loketten, zoals bij NWO, RVO of EU, maar dit ondermijnt de ambitie en omvang van het programma en de noodzaak om het integraal uit te voeren, en ontbeert dan de strategische sturing die hiervoor nodig is. De onderstaande tabel geeft een overzicht van publieke instrumenten die thematisch zouden kunnen passen bij de doelstellingen en ambities van dit programma, maar die niet geschikt zijn voor een grootschalig ecosysteemprogramma dat zich uitstrekt over de complete waardeketen, van fundamenteel onderzoek tot technologieontwikkeling tot applicatie- & systeemintegratie.

Private additionaliteit

Het deel van de kosten van het Iron Power programma dat een beroep doet op het Nationaal Groeifonds is niet financierbaar vanuit de private sector of via alternatieve financieringsvormen. Dit komt allereerst door de hoge risico's: de activiteiten van het programma bevinden zich in de vroege fases van ontwikkeling, waar grote onzekerheden heersen en de weg naar de markt lang is. Bovendien hebben deze projecten nog geen positieve businesscases, omdat de waarde van de investeringen voor ontwikkeling en opschaling ten goede komt aan de gebruikers van het ecosysteem en daardoor indirect aan de Nederlandse samenleving en economie. Kortom, er is sprake van een aantal verschillende vormen van markt falen, wat overheidsingrijpen legitimeert:

- **Ketensamenwerking:** Succesvolle implementatie van innovaties heeft impact op de hele keten, van leveranciers van grondstoffen tot eindgebruiker. Circulariteit en duurzaamheid vraagt om een totaal aanpak van de keten, inclusief alle partijen die in de keten vertegenwoordigd zijn. Medewerking van alle partijen is een langdurig proces dat vraagt om sterke samenwerking en coördinatie.
- **Industrialisatie:** Infrastructuren, kennis en middelen voor de overdracht van laboratoria naar industrialisatie zijn vaak niet voorhanden. Het Iron Power cyclus vergt nieuwe processen en faciliteiten die worden ontwikkeld in pilot en demo omgevingen. Deze omgevingen zijn kapitaalintensief en brengen een hoog investeringsrisico met zich mee, waardoor de doorontwikkeling van onderzoeksfase naar productie vaak traag op gang komt.
- **Timing:** Duurzame energie innovaties kunnen op korte termijn niet concurreren met alternatieven die reeds op grote schaal worden geproduceerd en al langer in gebruik zijn. Daarbij worden de negatieve milieueffecten

emissies vaak niet voldoende betaald. Afnemers kiezen vaak voor goedkopere oplossingen, terwijl innovaties op korte termijn vaak extra risico's en kosten met zich mee brengen voor de producent.

Financieringsprogramma	Uitleg
RVO	
DEI+	Alleen geschikt voor pilot projecten met investeringen EUR < 15 m per project, en tijdslijn < 5 jaar
SDE++	Doelstellingen voor kosteneffectieve CO ₂ -reductie; het Iron Power programma kan momenteel niet concurreren met alternatieve duurzaamheidsopties
Opschalingsregeling Groene Waterstof	Alleen geschikt voor waterstofprojecten
MIA-VAMIL	Gericht op investeringen om bedrijfsactiviteiten duurzamer te maken, niet het opschalen van nieuwe technologieën
EIA	Gericht op investeringen om bedrijfsactiviteiten duurzamer te maken, niet het opschalen van nieuwe technologieën
MOOI	Marginaal budget (EUR < 4) m per project uitgevoerd in samenwerking met > 3 partijen; onderzoeksoorg. dragen minder dan < 50% van de totale kosten
Vroegefasefinanciering (VFF)	Lening geschikt voor start-ups/ scale-ups om commerciële levensvatbaarheid te testen; Marginaal budget EUR < 3 m per business plan
InvestNL	Mogelijk geschikt voor pilot & demo projecten en/of innovatie infrastructuur, maar te hoge rendementsdoelen
MIT-regeling	Geschikt voor R&D samenwerkingen met MKB's of haalbaarheidsstudies; Marginaal budget van EUR < 2 m per project
PPS-toeslag	Alleen geschikt voor R&D projecten; Marginaal budget geschikt voor kleine projecten
Thematische Technology Transfer (TTT)	Alleen geschikt voor tech transfer ondersteuning, ontoereikend voor hele Iron Power programma
SBIR	Alleen geschikt voor individuele projecten, niet voor een programma langs een gehele waardeketen
Innovatiekrediet	Alleen geschikt voor financiering van negatieve business cases van R&D en kleine pilot projecten
SEED fondsen	Alleen geschikt voor R&D projecten
Venture tech initiatieven	Alleen geschikt voor pilot & demo projecten
Groefaciliteit	(Bank) leningsgarantie – Potentieel alleen geschikt voor het financieren van negatieve business cases voor pilot projecten
Garantie ondernemersfinanciering (GO)	(Bank) leningsgarantie – Potentieel alleen geschikt voor pilot & demo projecten
Borgstelling MKB-kredieten	Onderpand voor (bank)leningen – Potentieel alleen geschikt voor pilot & demo projecten
WBSO	Alleen geschikt voor spin-out bedrijven van het programma
Innovatiebox	Alleen geschikt voor spin-out bedrijven van het programma
NWO	
NWO - Gravitation	Alleen geschikt voor samenwerkingen tussen onderzoeksorganisaties (fundamenteel onderzoek)
NWO - Perspectief	Marginaal budget EUR < 5 m per project
NWO - N.R.G.W.I.	Alleen geschikt voor een deel van de onderzoek infrastructuur van het programma
NWA	Alleen geschikt voor sommige R&D projecten, kleine projecten met lage TRL
Europese financiering	
EUREKA	Alleen geschikt voor R&D en pilot & demo projecten in samenwerking met internationale partners
EFRO (OPZuid)	Alleen geschikt voor laboratoriumdiensten en enkele pilot & demo projecten; Marginaal budget EUR < 6 m in totaal voor energie projecten
Horizon Europe	Alleen geschikt voor individuele projecten (EUR < 10 m) en innovatie infrastructuur – vereist een internationaal consortium
Interreg	Alleen geschikt voor project samenwerkingen met internationale partijen in grensregio's; Marginaal budget per project
Innovation Fund	Alleen geschikt voor pilot & demo projecten met een hoog TRL-niveau
IPCEI - Hydrogen	Alleen geschikt voor het vergemakkelijken van financiering van het programma in een internationale context

Figuur 32: Overzicht van nationale en internationale financieringsmogelijkheden

Met de impulsinvestering uit het NGF stapt de overheid in het gat dat niet door de private partijen kan worden ingevuld. Naarmate de transitie vordert en de activiteiten steeds minder risico's met zich meebrengen, zullen private investeerders naar verwachting wel steeds meer (co-)financieren. Op den duur zal het Iron Power programma inkomsten genereren uit gebruikersvergoedingen en directe bijdragen van partner en het ecosysteem. De bijdragen van het Nationaal Groeifonds zijn zo ingeschat dat ze deze verankering in het ecosysteem mogelijk maken en zijn daarmee juist een katalysator voor private investeringen.

4.3 ONDERBOUWING FINANCIERING EIGEN AANDEEL

Alle bijdragen van investerende partijen, zoals omschreven in hoofdstuk 3, zijn reeds bevestigd door middel van *Letters of Commitment*, onder voorwaarde dat de in het voorstel beschreven investeringen daadwerkelijk plaatsvinden en het Nationaal Groeifonds daaraan de gevraagde bijdrage levert. Tot slot gaat het Iron Power programma gepaard met financiële risico's, welke worden genoemd in Tabel 9.

Tabel 8: Financiële risico's van het Iron Power programma

Financieel risico	Mitigatie- en beheersmaatregelen
Kosten/investeringen overschrijdingen in de uitvoering van de plannen	<ul style="list-style-type: none"> • Vorbereidingen: de plannen van het Iron Power programma zijn in de afgelopen jaren gedetailleerd en klaar voor uitvoering – de partners van het programma hebben goed inzicht in de kosten van uitvoering. • Gecommitteerde partners: de kernconsortiumpartners nemen verantwoordelijkheid voor de realisatie van het Iron Power programma, en vragen NGF om mee te financieren. Deze verantwoordelijkheid vertaalt zich naar het meedenken en oplossen van eventuele veranderingen in kosten/investeringen. • Bijsturing: het overkoepelende bestuur zal de projecten monitoren en evalueren om financiële uitdagingen vroegtijdig te identificeren en mitigeren.
Een partner kan/wil de in-cash/in-kind bijdragen niet doen	<ul style="list-style-type: none"> • Commitment: alle partners hebben zich gecommitteerd en zijn betrouwbare partijen die eerder samenwerkingsprojecten hebben uitgevoerd. De grootste bijdrage ligt bij een aantal kernconsortiumpartners die in fase met het NGF investeren. • Gesteund/Garanties: een aantal van de deelnemende partijen zijn MKB'ers (ook kernconsortiumpartners) die zijn gesteund door hun grotere moederbedrijven, financiers en/of hebben bank garanties ontvangen wie/welke zullen borgen dat ze de benodigde bijdragen kunnen leveren tijdens de uitvoering van het programma.
Inkomsten uit de proposities vallen lager uit dan verwacht	<ul style="list-style-type: none"> • Goede acquisitie: de Iron Power partners zijn actief bezig met het sluiten van overeenkomsten met potentiële gebruikers. • Bouwen op sterkte: het programma heeft een sterke basis van gebruikers gemobiliseerd.

4.4 NIET STRUCTUREEL

De investeringen vanuit het NGF in het Iron Power programma vinden plaats in de periode van 2025 tot en met 2034 en zijn van tijdelijke aard.

De investering in het Iron Power programma is bedoeld als een impuls om het programma op te starten en de benodigde infrastructuur te realiseren. Na afloop van de investeringsperiode van het NGF, tussen 2025 en 2034, zal het Iron Power programma in staat zijn zichzelf te onderhouden dankzij het verdienmodel en de voortdurende betrokkenheid van zowel publieke als private partijen. Zo resulteert het programma in blijvende versterking van het Nederlands verdienvermogen. In de begroting (zie hoofdstuk 4.1) is ter illustratie een kolom 'vanaf 2035' opgenomen, om aan te geven hoe de kosten gedekt worden door partners, derden en het verdienmodel (omzet uit gebruik) van het Iron Power programma. Middels drie inkomstenbronnen heeft het Iron Power een exit-strategie om de activiteiten ook na de NGF periode voor te zetten die de doorlopende kosten zullen dekken:

- **Innovatie infrastructuur Community:** Het Iron Power programma zal een actieve centrale organisatie en Community onderhouden die ook na de NGF-periode zal blijven bestaan. De leden van de Community betalen een lidmaatschap waardoor de toegang krijgen tot de Community. Het lidmaatschap is te verkrijgen in vijf verschillende gradaties, de kosten liggen tussen de EUR 3,000–75,000 per jaar. Alle uitvoerende partners van het Iron Power programma zijn onderdeel van de Iron Power Community (30 partijen) en verwacht wordt dat het aantal nieuwe lidmaatschappen zal toenemen met 1-5 per jaar na 2025.
- **Innovatie infrastructuur educatie:** Na 2034 zal het Iron Power programma actief blijven investeren in de educatie rondom ijzerpoeder middels Laboratories. Deze educatieve omgevingen genereren inkomsten middels de gebruikers via onder anderen Iron Power introductie dagen (denk aan cursussen), de exploitatie van het Living lab en de Iron Power Advisor tool.
- **Duurzaam verdienmodel:** Na 2034 zullen de Pilot & Demo projecten continue gebruikers bedienen. Door de uitvoering van het programma zullen er infrastructuren worden ontwikkeld, getest en verbeterd. Op lange termijn zullen deze operationele kosten worden gedekt door middel van gebruiksvergoedingen. De lopende Pilot & Demo project zijn gestart met een duidelijk begin- en eindpunt. De spin-off activiteiten die hieruit voortvloeien, zullen worden gefinancierd via reguliere subsidiekanalen. Deze projecten kunnen aanspraak maken op reguliere subsidies omdat ze voortkomen uit lopend onderzoek en daardoor al een hogere TRL hebben bereikt, en de activiteiten als individuele projecten verder gaan. Hierdoor zijn subsidies als DEI+, SDE++ en MOOI beter inzetbaar en zijn er partijen die zelf een grotere bijdragen kunnen leveren gezien de inkomsten uit bestaande projecten.

5. BIJDRAGE AAN DUURZAAM VERDIENVERMOGEN

Het Iron Power programma heeft tot doel het verdienvermogen van Nederland duurzaam te versterken door bij te dragen aan de ontwikkeling van een Iron Power waardeketen met op elk niveau voortdurende innovatie waarin Nederland een essentiële en leidende rol heeft. Zo bouwt dit programma in Nederland en Europa een Iron Power ecosysteem dat economische en sociale waarde creëert.

De economische en sociale impact (kwalitatief en kwantitatief) van dit programma is bepaald via een *Theory-of-Change*-model. Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de economische impact (5.1) en sociale impact (5.2) van het Iron Power programma.

5.1 ONDERBOUWING ECONOMISCHE EFFECTEN

Kwalitatieve onderbouwing

Het Iron Power consortium, financieel ondersteund door het NGF en uitgerust met essentiële kennis, expertise en faciliteiten, heeft als doel de Iron Power technologie verder te ontwikkelen door het uitvoeren van R&D-, pilot- en demonstratieprojecten en de oprichting van een Innovatie infrastructuur. De activiteiten richten zich op reductie, productie, transport & opslag, oxidatie en toepassing & integratie om de Iron Power technologie geschikt te maken voor industriële toepassingen. Zij resulteren in bewezen Iron Power apparatuur en nieuwe productconcepten, demonstratie van de waarde van Iron Power en de bijbehorende toeleveringsketens, een duurzame en toegankelijke Innovatie infrastructuur en het benodigde ecosysteem.

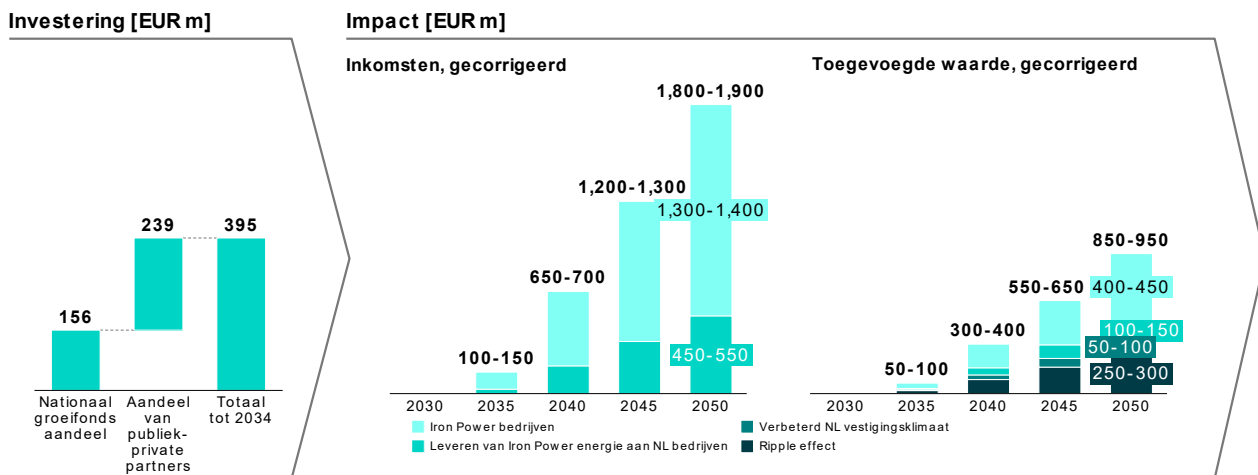
Deze uitkomsten dragen bij aan de commerciële ontwikkeling van de Iron Power technologie als cruciale stap naar brede adoptie en gebruik. Door de haalbaarheid en efficiëntie van Iron Power apparatuur en concepten aan te tonen in onderzoek en pilotprojecten, trekt het programma niet alleen investeringen aan maar stimuleert het ook het ontstaan van een toegewijde gebruikersgroep die deze schone energieoplossing wil implementeren. Zo helpt het programma een ecosysteem creëren van bedrijven, onderzoekers en belanghebbenden, verenigd in hun streven naar realisatie van Iron Power technologie en haar industriële toepassingen. Bovendien legt het initiatief sterk de nadruk op onderwijs en professionele ontwikkeling, waardoor een talentenpool wordt gekweekt van deskundigen op gebied van Iron Power technologie die een belangrijke rol spelen in het stimuleren van innovatie en het waarborgen van de voortdurende groei van de sector.

Deze basis baant de weg voor het creëren van impact op verschillende gebieden. Economisch gezien stimuleert het een stijging van het BBP en een sterkere concurrentiepositie van Nederlandse bedrijven door de groei van Iron Power bedrijven en levering van schone energie aan bedrijven in Cluster 6 (industriële locaties die niet in de buurt liggen van het waterstofnetwerk). Strategisch gezien zorgt het voor een diverse energiemix, vermindert het de afhankelijkheid van instabiele regio's en bevordert het een aantrekkelijk investeringsklimaat. Op milieugebied draagt het Iron Power programma bij aan duurzaamheid door de emissies van industriële activiteiten terug te dringen. Daarnaast verhoogt Iron Power de veiligheid bij het transport, de opslag en het gebruik van waterstof. Het succes en de snelheid van deze impact zijn mede afhankelijk van de ontwikkeling van een wereldwijde waterstofmarkt en de competitief geprijsde waterstof die van groot belang is voor de haalbaarheid en uitbreiding van de Iron Power technologie.

Kwantitatieve onderbouwing

De omvang van de economische effecten van dit programma wordt *bottom-up* geschat, op basis van het *Theory-of-Change-model*. In 2050, zestien jaar na het einde van dit programma, zal het naar schatting hebben bijgedragen aan ~ EUR 1.800-1.900 m aan extra inkomsten per jaar, wat neerkomt op een extra toegevoegde waarde voor economische sectoren in Nederland van ~ EUR 850-950 m per jaar en ~ EUR 4-5 mld cumulatief tot 2050. Deze schattingen zijn gecorrigeerd voor het zogenaamde nulalternatief: Iron Power ontwikkelingen die naar verwachting ook zullen plaatsvinden zonder de investering uit het NGF. De geschatte impact is in lijn met de resultaten van onderzoek door de 4TU.Federatie²⁴, dat aantoonde dat EUR 1 geïnvesteerd in de vier technische universiteiten in Nederland (niet gecorrigeerd voor nulalternatief) resulteert in een jaarlijkse toegevoegde waarde van EUR 9.

²⁴ 4TU.Federation - Economic Impact of 4TU (2022)



Figuur 33: Investerings en verwachte jaarlijkse opbrengsten en toegevoegde waarde van het Iron Power programma, gecorrigeerd voor het nulalternatief [EUR m]

De impact wordt geïnitieerd door de directe investeringen van het NGF en publiek-private partners van EUR 395 m tot 2034 en versterkt door de voortdurende investeringen van private partijen in Iron Power. De economische impact wordt geschat aan de hand van vier elementen. Als eerste **genereren Iron Power-bedrijven** toegevoegde waarde – gegenereerd door de toegevoegde waarde van Iron Power *champions* en van de innovatieve concepten die nationaal en internationaal worden gecommmercialiseerd door bestaande en nieuwe bedrijven (spin-offs). Iron Power *champions* zijn Nederlandse bedrijven die zich opstellen als de belangrijkste leveranciers van de benodigde apparatuur/systemen (bijvoorbeeld oxidatie- en reductieapparatuur) voor de Iron Power technologie in Europa. Ten tweede, genereert het programma toegevoegde waarde door het **leveren van Iron Power energie aan bedrijven in Cluster 6**. Ten derde, door een **toename van internationale investeringen** veroorzaakt door het ontstane NL Iron Power ecosysteem. Tot slot, genereert het zogenaamde ‘**ripple-effect**’ op secundaire industrieën toegevoegde waarde (bijv. effecten van groeiende industrie op de omliggende commercie) ten gevolge van de directe investering in het Iron Power programma.

Nulalternatief en externe afhankelijkheden

In de bovenstaande schatting van toegevoegde waarde zijn correcties gemaakt voor risico's en ontwikkelingen die naar verwachting ook zonder de investering van het NGF zullen plaatsvinden. Dit zogenaamde nulalternatief gaat ervan uit dat de partijen achter dit NGF-programma ook in dat geval hun individuele ambities zullen voortzetten en dat de Iron Power ontwikkelingen (en bijbehorende spin-offs) ook dan zullen plaatsvinden, maar met vertraging, een lagere penetratiegraad, een kleiner volume en minder realisatie van effecten in Nederland.

De impact van dit programma is mede afhankelijk van externe trends die de uiteindelijke impact van de evolutie van Iron Power technologie kunnen beïnvloeden. Dergelijke risicofactoren zijn ontwikkelingen van spin-offs buiten Nederland, het opdrogen van investeringen, achterblijvende wet- en regelgeving en gebrek aan ontwikkeling van de waterstofwaardeketen.

5.2 ONDERBOUWING MAATSCHAPPELIJKE EFFECTEN

De impacttrajecten die zijn beschreven in de *Theory of Change* leiden naast economische tot aanzienlijke strategische en duurzaamheidswaarde:

- **Strategische onafhankelijkheid in energievoorziening:** Door Iron Power technologie te gebruiken voor duurzame warmte versterkt Nederland, en bijgevolg ook Europa, haar positie als belangrijke speler op de wereldwijde energiemarkt en vergroot het haar vermogen te voldoen aan lokale energiebehoeften aanzienlijk. Het gemak van transport en opslag van ijzerpoeder maakt de energiebronnen diverser en flexibeler. Dit betekent dat Europa energie kan verkrijgen uit meer locaties en daardoor niet alleen de energiezekerheid vergroot maar de afhankelijkheid van conventionele energie-import verkleint, wat leidt tot een robuuste en duurzame energiemix.
- **Verminderen van CO₂-, NO_x- en SO_x-emissies uit industriële processen:** De waardeketen van Iron Power, met zijn reductie- en oxidatieprocessen, valt op door de lage milieubelasting. Er worden geen directe emissies van CO₂ en SO_x en minimale NO_x-emissies geproduceerd. Deze aanzienlijke vermindering van verontreinigende stoffen verbetert niet alleen het milieu in de buurt van industriële locaties, maar draagt ook bij aan het breder terugdringen van de totale emissies. Daarom positioneert Iron Power zich als een aantrekkelijke optie voor industrieën die hun ecologische impact willen verminderen en willen overstappen op duurzamere praktijken.

- **Verbeterd Nederlands investeringsklimaat:** De realisatie van Iron Power technologie verbetert het investeringsklimaat van Nederland door het land aantrekkelijk te maken vanuit het perspectief van duurzame energieontwikkeling. Het toont niet alleen Nederland's toewijding aan het verlagen van de uitstoot van CO₂ en het aanpakken van klimaatverandering, maar trekt ook de aandacht van investeerders, zowel lokaal als wereldwijd, die graag innovatieve en milieuvriendelijke ondernemingen willen ondersteunen. De groei en toepassing van Iron Power technologie genereren een cascade-effect dat een dynamische omgeving voedt van startups, academische instellingen en gevestigde bedrijven, verenigd in het streven naar duurzame energieoplossingen. Deze dynamiek stimuleert niet alleen de werkgelegenheid en economische groei, maar positioneert Nederland ook als een centrum voor groene technologie en innovatie.
- **Verbeterde veiligheid bij transport, opslag en behandeling van waterstof:** Het gebruik van ijzerpoeder als middel voor waterstofopslag en -transport is aanzienlijk veiliger dan conventionele methoden zoals methanol en ammoniak. Door waterstof in te kapselen in een vaste toestand, omzeilt ijzerpoeder zowel de gevaren die gepaard gaan met het opslaan en verplaatsen van gasvormige waterstof onder hoge druk als de gevaarlijke eigenschappen van methanol en ammoniak (giftigheid, brandbaarheid). De kans op lekkages en explosies is aanzienlijk kleiner en de veiligheid van afhandeling, opslag en transport veel groter. Omdat rigoureuze veiligheidsmaatregelen op hoog niveau minder nodig zijn, worden de kosten die verband houden met veiligheidsprotocollen een stuk lager. De inherente veiligheidsvoordelen van ijzerpoeder maken het tot een overtuigende keuze voor sectoren die waterstof willen gebruiken als een schone energiedrager – en dat zorgt voor een veiligere werkomgeving, lagere risico's voor werknemers en bewoners in de omgeving en makkelijker integratie in huidige energiesystemen.

De verwachte maatschappelijke effecten van het voorstel zijn tevens geduid middels een **Generatietoets**. Voor alle generaties draagt het Iron Power programma bij aan een verbetering van de klimaat & duurzaamheid door de brede toegang tot Iron Power oplossingen voor het verduurzamen van de industrie. Dit zorgt voor behoud en groei van deze industrie in Nederland en daarmee ook voor een betere inkomenszekerheid en een gezondere leefomgeving en maatschappij (door de uitstootreductie). Tot slot zet het Iron Power programma educatieprogramma's op die blijvend worden aangeboden aan studenten en professionals in Nederland, waarmee het bijdraagt aan het onderwijs in Nederland.

It's time for Circular energy
It's time for **Iron Power**

TU/e EINDHOVEN
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

TNO

metalot



RIFT

Iron+ 