

Waarden wegen in wetenschap

Rechtvaardigheid en sturing in onderzoek naar
hernieuwbare waterstof



Auteurs

Chris Eveleens, Vincent Baarslag, Jorrit Smit & Laurens Hessels, m.m.v. Anne van Doore

In samenwerking met het Centrum voor Wetenschaps- en Technologiestudies (CWTS) van de Universiteit Leiden. Met steun van een NWO-subsidie voor onderzoek naar maatschappelijke aspecten van elektrochemisch onderzoek

Illustratie

Rathenau Instituut/Laura Marienus

Foto omslag

Fabriek bij Shell in Moerdijk waar chemische producten worden gemaakt op basis van aardolie. ANP/Jeffrey Groeneweg

Bij voorkeur citeren als:

Rathenau Instituut (2025). Waarden wegen in wetenschap – Rechtvaardigheid en sturing in onderzoek rond hernieuwbare waterstof. Den Haag. (Auteurs: Eveleens, C., Baarslag, V., Smit, J., & Hessels, L., m.m.v. Van Doore, A.)

Voorwoord

Het lijkt zo simpel: als je bij de uitvraag van nieuw onderzoek maatschappelijke perspectieven betreft, is de kans groter dat dit onderzoek aansluit bij vraagstukken in de samenleving. Toch betekent dit een koerswijziging ten opzichte van hoe uitvragen voor onderzoek nu over het algemeen worden geschreven.

Als technologie in de maatschappij landt, heeft het onvermijdelijk allerlei positieve en negatieve gevolgen voor verschillende groepen in de maatschappij. Die technologie begint ooit met een idee, een onderzoeksvraag, in een lab of een andere setting. Zou het helpen om aan de voorkant van dat ontwikkelproces al na te denken over maatschappelijke waarden en perspectieven? Dit rapport laat zien van wel.

In dit project keken we naar onderzoek op het gebied van hernieuwbare waterstof. Hoe fundamenteel het onderzoek ook is, uiteindelijk leidt het tot toepassingen: infrastructuur, nieuwe inrichting van energie- en productiesystemen, enzovoort. Deze toepassingen gaan gepaard met allerlei impacts, op ruimte, maatschappij en economie. Daarbij staan verschillende waarden op het spel.

Wij richten ons in dit rapport op een waarde die niet vanzelfsprekend in natuurwetenschappelijk onderzoek wordt meegenomen: rechtvaardigheid. Want ook hernieuwbare waterstof heeft wel degelijk rechtvaardigheidsaspecten. Denk aan welke grondstoffen je gebruikt voor elektrolyse en welke sociale en ecologische effecten die hebben. Of denk aan de vraag hoeveel publieke investeringen in hernieuwbare waterstof passend zijn, ook ten opzichte van alternatieve technologie.

Dit rapport laat zien dat er wel degelijk handelingsopties zijn om rechtvaardigheid steviger te verankeren in het onderzoek naar hernieuwbare waterstof. Dat kan bijvoorbeeld door maatschappelijke organisaties een duidelijkere rol te geven in de programmering van het onderzoek.

Dit rapport kwam tot stand in een mooie samenwerking tussen het Rathenau Instituut en de Universiteit Leiden. Ik bedank graag chemicus Rik Mom en wetenschapsonderzoeker Jorrit Smit voor de plezierige samenwerking.

Prof. dr. ir. Eefje Cuppen
Directeur Rathenau Instituut

Samenvatting

Wetenschap en technologie zijn niet neutraal. Het onderzoek van nu heeft verregaande gevolgen voor de samenleving van de toekomst. Daarom is het van maatschappelijk belang dat er in de agendering, programmering en uitvoering van onderzoek op een verantwoorde manier rekening wordt gehouden met de mogelijke gevolgen. Dat noemen we maatschappelijk verantwoord onderzoek.

Rechtvaardigheid bij onderzoek rond duurzaamheidstransities

In dit project onderzochten we hoe industrie, wetenschap en beleid maatschappelijke behoeften meeweegt in wetenschappelijk onderzoek rond duurzaamheidstransities. We concentreerden ons op de waarde *rechtvaardigheid*. Ten eerste omdat een eerlijke verdeling van kosten en opbrengsten zorgt voor publieke steun bij transities. Ten tweede omdat bijna elk mens op de een of andere manier streeft naar een rechtvaardige wereld.

Casus: hernieuwbare waterstof

Als casus richtten we ons op onderzoek naar hernieuwbare waterstof. Velen in de industrie, in de wetenschap en in het beleid zien hernieuwbare waterstof als onmisbaar onderdeel van de duurzaamheidstransitie. De technologie is echter ook omstreden. De kosten voor verdere ontwikkeling en implementatie zijn namelijk hoog en de maatschappelijke effecten onzeker. Een belangrijk vraagstuk gaat over rechtvaardigheid: wie heeft baat bij het onderzoek en wie draagt de kosten?

Uitgebreid ecosysteem met veel invloed van fossiele industrie

Eerst onderzochten we welke organisaties onderzoek doen of invloed uitoefenen op het waterstofonderzoek. We constateren dat rondom hernieuwbare waterstof een uitgebreid ecosysteem is gegroeid. Er zijn veel verschillende bedrijven en onderzoekers betrokken. Veel dominante organisaties zijn actief in de fossiele industrie. In mindere mate spelen overheden, ngo's, belangenbehartigers en netwerkorganisaties een rol.

We zien dat de nadruk van het waterstofonderzoek ligt op het ontwikkelen van bèta-technische kennis ter bevordering van efficiëntie en prestaties. Er is weinig aandacht voor het afbouwen van de fossiele industrie en voor het afleren van schadelijke praktijken.

Rechtvaardigheid speelt een beperkte rol

De organisaties die zich bezighouden met onderzoek naar hernieuwbare waterstof hebben vooral oog voor de rechtvaardigheidskwesties veiligheid en kosten. Er is geen aandacht voor de verdeling van de opbrengsten van het onderzoek. Verder wordt over draagvlak onder de brede bevolking slechts op een instrumentele wijze nagedacht. Het gaat dan vooral over het wegnemen van de weerstand van burgers. Tot slot is er nauwelijks aandacht voor negatieve gevolgen voor kwetsbare groepen.

Transdisciplinaire workshops over calls en over richtlijnen

We organiseerden twee transdisciplinaire workshops om te kijken of we rechtvaardigheid een nadrukkelijker plek kunnen geven in waterstofonderzoek. De focus van de workshops lag op onderzoeksfinanciering en samenwerking. Deelnemers waren bèta-wetenschappers, sociale wetenschappers en professionals van maatschappelijke stakeholders. We zorgden voor een evenwichtige samenstelling en doordachte werkvormen. Op die manier konden we de deelnemers aanspreken op hun kennis, expertise en persoonlijke drijfveren, en ze productief laten samenwerken.

In de eerste workshop schreven de deelnemers fictieve onderzoeksuitvragen (calls) voor maatschappelijk verantwoord waterstofonderzoek. In de tweede workshop werkten ze aan (fictieve) richtlijnen voor samenwerking tussen wetenschap en industrie. Wij waren niet alleen geïnteresseerd in de calls en de richtlijnen, maar ook in hoe rechtvaardigheid en andere publieke waarden doorklonken in de gesprekken.

Eerste workshop: veelbelovende calls met oog voor rechtvaardigheid

De eerste workshop resulteerde in drie aansprekende calls voor multidisciplinair onderzoek naar hernieuwbare waterstof. De calls besteedden opvallend veel aandacht aan het betrekken van maatschappelijke organisaties in het onderzoek. De voorstellen vormen een veelbelovende aanzet voor echte calls die meer oog hebben voor rechtvaardigheid. De workshop werd zeer gewaardeerd door de deelnemers.

Tweede workshop: globale consensus, verdeeldheid over details

De tweede workshop resulteerde in drie schetsen voor richtlijnen. Er was globale consensus over het doel van die richtlijnen. Ze moesten bijdragen aan transparantie, aan wetenschappelijke integriteit en aan een evenwichtiger invloed van verschillende belangen.

De vertaling van de globale consensus naar concrete afspraken verliep moeizaam. Dat kwam doordat daarbij de effecten voor specifieke groepen ineens duidelijk

zichtbaar werden. Deze onverwachte uitkomst was zeer leerzaam, ook voor de deelnemers die de workshop waardeerden.

Beide workshops: rechtvaardigheid verdient meer aandacht

De deelnemers van beide workshops herkenden veelal dat rechtvaardigheid in de huidige onderzoekspraktijk onvolledig is geborgd. Verschillende deelnemers pleitten voor een explicieter debat over waarom en voor wie hernieuwbare waterstof daadwerkelijk wordt ontwikkeld. Ook bevestigden veel deelnemers dat een select aantal onderzoekers en industriële spelers de agendering van onderzoek naar hernieuwbare waterstof bepalen. Tijdens de workshops ontstond brede overeenstemming dat de waarde rechtvaardigheid meer aandacht verdient.

Waterstofonderzoek heeft baat bij transdisciplinaire aanpak in vroeg stadium

Ons project laat zien dat maatschappelijk verantwoord waterstofonderzoek al in een vroeg stadium, namelijk bij de agendering en programmering ervan, baat heeft bij een transdisciplinaire aanpak met zorgvuldig samengestelde groepen participanten én een secuur proces. Dit is nodig omdat onderzoek dat gepositioneerd is binnen duurzaamheidstransities vaak sterk verweven is met kennisontwikkeling die bestaande, niet-duurzame (en niet-rechtvaardige) praktijken ondersteunt.

Het expliciet meewegen van een complexe publieke waarde, zoals rechtvaardigheid, is uitdagend. Maar ons project liet zien dat dit met gelijkwaardige groepen deelnemers en een zorgvuldig proces mogelijk is en meerwaarde heeft.

Tweede Kamer: benoem publieke waarden en hou ze in de gaten

Uitzoomend zouden de Tweede Kamer en ministeries kritischer kunnen beoordelen wie richting geeft aan het onderzoek naar hernieuwbare waterstof. Een belangrijke afweging is of de samenstelling van de groep beslissers voldoende zorg draagt voor de publieke waarden die de Kamer belangrijk acht. Daarbij kunnen beleidsmakers rekening houden met het feit dat de lange termijn van duurzaamheidstransities vaak keuzes vergt die strijdig zijn met de belangen van gevestigde partijen in het heden.

Financiers, intermediairs en onderzoekers: werk vaker transdisciplinair

Financiers en intermediaire organisaties kunnen vaker gebruikmaken van transdisciplinaire workshops. Daarvoor kan onze aanpak inspiratie bieden. We sporen de individuele onderzoekers die zich bezig houden met hernieuwbare waterstof aan om andersdenkenden te ontmoeten.

Transdisciplinaire aanpak ook voor andere duurzaamheidstransities

We pleiten ervoor om deze gebalanceerde transdisciplinaire aanpak vaker toe te passen bij onderzoek voor andere duurzaamheidstransities. Dat kan bijvoorbeeld

bij commissies die nieuwe onderzoeksprogramma's opzetten en die projecten binnen deze programma's selecteren.

Aanbevelingen ook voor andere maatschappelijke opgaven

De aanbevelingen in dit rapport gelden ook voor andere maatschappelijke opgaven. Denk aan gezondheid, voedselvoorziening of milieuproblematiek. Ook daarin zijn publieke waarden in (fundamenteel) onderzoek belangrijk, maar niet eenvoudig mee te nemen.

Inhoud

Voorwoord.....	3
Samenvatting	4
1 Het belang van publieke waarden in wetenschappelijk onderzoek.....	9
1.1 Publieke waarden in wetenschappelijk onderzoek	9
1.2 Hernieuwbare waterstof als casus	12
1.3 Rechtvaardigheid als voorbeeld	14
1.4 Leeswijzer	19
2 Kennisecosysteem hernieuwbare waterstof verkend	20
2.1 Onderzoek naar hernieuwbare waterstof.....	20
2.2 Hernieuwbare waterstof in relatie tot transities	23
2.3 Analyse van de rol van rechtvaardigheid	30
2.4 Conclusie	36
3 Verslag en analyse van de workshops	38
3.1 Workshop 1: onderzoeksuitvragen voor maatschappelijk verantwoord onderzoek	39
3.2 Workshop 2: richtlijnen voor samenwerking wetenschap en industrie	42
3.3 Waterstofonderzoek en rechtvaardigheid	48
3.4 Conclusie	56
4 Conclusies en implicaties	58
4.1 Expliciteren van kwesties is cruciale voorwaarde voor maatschappelijk verantwoord kennisecosysteem	60
4.2 Transdisciplinaire workshops kunnen bijdragen aan het verankeren van publieke waarden in kennisecosystemen.....	61
4.3 Handelingsopties voor maatschappelijk verantwoord onderzoek en innovatie	63
Bijlage 1: verantwoording kennisecosysteemanalyse	67
Bijlage 2: probleemschetsen workshop 1	74
Bijlage 3: producten van workshop 1	78
Bijlage 4: literatuurlijst.....	83

1 Het belang van publieke waarden in wetenschappelijk onderzoek

Het verduurzamen van de samenleving is een van de meest urgente opgaven voor Nederland. De huidige inrichting van onze economie en leefomgeving leidt tot grote problemen zoals klimaatverandering, biodiversiteitsverlies, vervuiling en grondstoffenschaarste. De problemen versterken elkaar en verslechteren de vooruitzichten voor de mensheid.¹ Als reactie op deze problematiek heeft Nederland in nationale en internationale afspraken duurzaamheidsdoelen vastgelegd. In 2030 moet het gebruik van metalen, mineralen en fossiele grondstoffen met 50% zijn verminderd ten opzichte van 1990. De uitstoot van broeikasgassen moet met minstens 55% omlaag. Voor 2050 is het doel een volledig circulaire en klimaatneutrale samenleving.^{2,3}

Het realiseren van deze ambities vergt ingrijpende aanpassingen in onze mobiliteits-, voedsel- en energiesysteem en in onze consumptie- en productiepatronen. De wetenschap duidt dit soort fundamentele, lange-termijnveranderingen aan als duurzaamheidstransities.⁴ Deze duurzaamheidstransities gaan over keuzes die diep ingrijpen in hoe we leven en samenleven en hebben zodoende een politiek karakter. Ze draaien om afwegingen tussen uiteenlopende publieke waarden, zoals betaalbaarheid, gelijkheid, autonomie, veiligheid en leefbaarheid.⁵

1.1 Publieke waarden in wetenschappelijk onderzoek

Wetenschappelijk onderzoek speelt in duurzaamheidstransities een belangrijke rol, maar die is niet uitsluitend positief. Onderzoek kan bijdragen aan oplossingen voor duurzaamheidstransities. Bijvoorbeeld met technologische innovaties en door kennis te ontwikkelen over bestaande problemen en gedragsverandering. Maar innovaties, zoals plastic en verbrandingsmotoren hebben het leven niet alleen gemakkelijker gemaakt, maar brengen ook veel schade toe aan het klimaat en het

¹ Lawrence et al., 2024.

² Minister voor Klimaat en Energie, 2023.

³ [Nationaal programma Circulaire Economie](#).

⁴ Markard et al., 2012.

⁵ Avelino et al., 2016.

milieu. Bovendien zijn er aanwijzingen dat wetenschappelijk onderzoek zich niet altijd richt op de meest urgente maatschappelijke opgaven.⁶

Onderzoekers verkennen dus onderzoeksrichtingen en introduceren nieuwe technologische opties, die soms uiteindelijk niet haalbaar of wenselijk blijken. Zeker bij fundamenteel onderzoek laten de praktische toepassingen en de consequenties daarvan zich vaak niet goed voorspellen. Bovendien kan technologieontwikkeling uit onderzoek leiden tot zogeheten *lock-in*, oftewel een situatie waarin men vast komt te zitten in een bepaalde richting die achteraf gezien niet duurzaam of rechtvaardig blijkt.⁷

Omdat het onderzoek van nu verregaande gevolgen heeft voor de samenleving van de toekomst is het van groot maatschappelijk belang dat er in de agendering, programmering en uitvoering van onderzoek op een verantwoorde manier rekening gehouden wordt met de gevolgen.⁸ De technologische keuzes van nu bepalen de samenleving van de toekomst, en ze zijn te belangrijk om aan alleen experts over te laten.

Onderzoek naar verschillende energie-opslagtechnologieën, zoals batterijen, duurzame waterstof of thermische opslag, maakt dit bijvoorbeeld duidelijk. Via prioritering in het onderzoek, zoals elektrochemisch onderzoek naar batterijen of elektrolyse, kunnen sommige opties technisch of economisch aantrekkelijker worden. Onderzoek kan er namelijk toe leiden dat de technologie efficiënter wordt. Maar elke optie heeft ook specifieke maatschappelijke gevolgen, zoals milieu- of veiligheidsrisico's en gevolgen voor de arbeidsmarkt. Deze maatschappelijke gevolgen, en dus de publieke waarden die daarmee samenhangen, worden vaak niet meegewogen bij het programmeren van wetenschappelijk onderzoek. Het vraagt dat politici, beleidsmakers, programmamanagers, onderzoeksfinanciers en onderzoekers zich bewust zijn van de publieke waarden en deze ook daadwerkelijk meewegen.

Een kansrijke strategie om publieke waarden beter te verankeren in wetenschappelijk onderzoek is door ze serieus mee te wegen bij het bepalen van de onderzoeksvragen en -agenda's. Deze aanpak staat bekend als maatschappelijk verantwoord onderzoek en innovatie, internationaal als *responsible research and*

⁶ Onderzoek in het gezondheidsdomein richt zich bijvoorbeeld volgens sommigen bijvoorbeeld overmatig op het bestuderen van ziekten in plaats van op gezondheid (Mierau, 2025). Onderzoek naar voedsel vertoont op sommige thema's een mismatch met maatschappelijke behoeften (Ciarli & Ràfols, 2019). Ook op het gebied van elektrochemie vragen sommigen zich ook af of de focus van het onderzoek past bij de grote uitdagingen van deze tijd. Critici wijzen er bijvoorbeeld op dat de bescheiden efficiencyverbeteringen waarop veel elektrochemisch onderzoek zich richt niet in proportie staan tot de fundamentele transformatie van ons energie- en productiesysteem die nodig is (zie de bijdrage van André Bardow tijdens ECCNS 2024 <https://www.tudelft.nl/e-refinery/eccns>).

⁷ Doeland, 2023.

⁸ Stilgoe et al., 2013; Von Schomberg, 2013a.

innovation. Het uitgangspunt van maatschappelijk verantwoord onderzoek en innovatie is dat wetenschap en technologie niet neutraal zijn, en dat onderzoekers al in een vroeg stadium rekening moeten houden met de maatschappelijke gevolgen van hun werk. Principes als anticipatie, reflexiviteit, inclusiviteit en responsiviteit zijn daarvoor nodig.⁹

Maatschappelijk verantwoord onderzoek en innovatie toepassen gaat niet vanzelf. Het vraagt om extra tijd en aandacht. Bovendien zijn publieke waarden vaak abstract, soms tegenstrijdig, en geregeld lastig te vertalen naar concrete keuzes. Hoe organiseer je maatschappelijk verantwoord onderzoek en innovatie, zeker als het onderzoek zich nog in een fundamentele fase bevindt en een eventuele toepassing nog onzeker en ver weg is?

Deze vraag vormde de motivatie voor dit project. Het doel was om te verkennen welke mogelijkheden er zijn om een bredere set aan publieke waarden mee te wegen bij de agendering en programmering van wetenschappelijk onderzoek in het licht van duurzaamheidstransities. Sommige van onze inzichten zullen ook relevant blijken voor andere maatschappelijke opgaven, zoals veiligheid of de voedseltransitie.¹⁰

We richtten ons voor dit rapport op het onderzoek naar hernieuwbare waterstof. We gaan uit van vier onderzoeksvragen:

1. Welke actoren zijn betrokken bij de agendering, programmering en uitvoering van onderzoek naar hernieuwbare waterstof in Nederland en vormen samen het kennisecosysteem?
2. Hoe tellen de individuele activiteiten van deze actoren op tot een aantal sleutelactiviteiten (functies) voor duurzaamheidstransities?
3. Welke rol speelt rechtvaardigheid in de strategie en praktijken van deze actoren?
4. Welke mogelijkheden bieden transdisciplinaire workshops voor het integreren van rechtvaardigheidsprincipes in de agendering en programmering van onderzoek?

In de paragraaf 1.2 en 1.3 lichten we toe hoe we tot de onderzoeksvragen zijn gekomen.

⁹ Stilgoe et al., 2013.

¹⁰ Maatschappelijk verantwoord onderzoek en innovatie raakt ook aan de filosofie van opgabegegerichte onderzoeksprogramma's, waar het Rathenau Instituut eerder over publiceerde. Dit soort programma's bundelen een aantal onderzoeksprojecten rondom een maatschappelijke uitdaging of missie en sturen ze in onderlinge samenhang aan om de gewenste maatschappelijke bijdrage daadwerkelijk te realiseren. De scope van dit rapport is breder dan opgabegegerichte onderzoeksprogramma's. We richten ons naast programma's die in hun opzet en aanpak primair maatschappelijke impact beogen ook op andere onderzoeksprojecten die zich positioneren binnen duurzaamheidstransities. Ook fundamenteel onderzoek kan immers toepassingen opleveren die relevant zijn voor maatschappelijke opgaven.

1.2 Hernieuwbare waterstof als casus

Waterstof is een energiedrager en grondstof voor industrieën zoals de kunstmestproductie en de chemische sector. Op dit moment wordt waterstof vooral geproduceerd uit fossiele bronnen, voornamelijk uit aardgas. Wanneer waterstof met behulp van hernieuwbare elektriciteit wordt geproduceerd, wordt het hernieuwbare waterstof genoemd.

Hernieuwbare waterstof gaat volgens huidige industriële plannen en beleidsplannen naar verwachting een sleutelrol spelen in de verduurzaming van het Nederlandse energiesysteem en de industrie (zie paragraaf 1.2.1). Het Nationale Plan Energiesysteem onderscheidt bijvoorbeeld vier energieketens als pijlers van de energietransitie: elektriciteit, waterstof, koolstof en warmte.¹¹

Ondanks dat hernieuwbare waterstof al langere tijd wordt gezien als oplossingsrichting voor verduurzaming, krijgt het nog maar heel beperkt vorm. Elektrolysetechnologie¹² bestaat al decennia, maar de wereldwijde productie van hernieuwbare waterstof is nihil.

Mede ingegeven door de hoge verwachtingen, doen wetenschappers in Nederland onderzoek naar hernieuwbare waterstof. Dat doen ze vanuit uiteenlopende disciplines en met een variatie aan doelen, van fundamenteel tot toegepast en van technisch tot sociaalwetenschappelijk.

Veel wetenschappelijk onderzoek naar hernieuwbare waterstof vindt plaats bij universitaire vakgroepen en bij andere kennisinstellingen, maar de sturing, financiering en uitvoering van onderzoek komt tot stand in een complex samenspel van onderzoeksfinanciers, bedrijven, maatschappelijke organisaties, netwerkorganisaties, kennisinstellingen en de overheid. Om het wetenschappelijk onderzoek naar hernieuwbare waterstof te onderzoeken, gebruiken we daarom de term kennisecosysteem. Een kennisecosysteem is het geheel aan actoren en factoren die samen de kennisproductie en verspreiding bepalen, in dit geval rondom hernieuwbare waterstof.¹³ In paragraaf 1.2.1 hieronder en in bijlage 1 gaan we nader in op de conceptualisatie en operationalisatie van het kennisecosysteem.

¹¹ De overheid heeft bovendien het Programma Energiehoofdstructuur uitgebracht waarin wordt geanticipeerd op de ruimtelijke inrichting van een klimaatneutraal energiesysteem in 2050, met plannen voor uitbreiding van het elektriciteitsnetwerk, ontwikkelingen van (waterstof) buisleidingen en locaties voor grote energie-infrastructuur, zoals elektrolyzers en kerncentrales.

¹² Elektrolyse is het met behulp van elektriciteit splitsen van water (H₂O) in waterstof (H₂) en zuurstof (O₂).

¹³ In het volgende hoofdstuk leggen we verder uit hoe en waarom we dit raamwerk gebruiken, inclusief de beperkingen ervan.

1.2.1 Hernieuwbare waterstof: productie, transport, opslag en gebruik

Bij hernieuwbare waterstof gaat het om een reeks van technologische stappen: van productie tot gebruik. Om hernieuwbare waterstof te maken wordt water gesplitst via elektrolyse, met elektriciteit uit hernieuwbare bronnen zoals wind- of zonne-energie. Er bestaan verschillende elektrolyse-technologieën, waarvan proton-exchange-membraan-elektrolyse en alkaline-elektrolyse het bekendst zijn. Andere opties zijn solid-oxide-elektrolyser-cellen en anion-exchange-membraan-elektrolyse. De technologieën maken gebruik van kritieke grondstoffen zoals platina en iridium.¹⁴

Voor hernieuwbare waterstof moet de gebruikte elektriciteit hernieuwbaar zijn. Daardoor hangt de ontwikkeling van hernieuwbare waterstof samen met de beschikbaarheid en prijs van hernieuwbare elektriciteit. Momenteel is er minder hernieuwbare elektriciteit dan vraag naar elektriciteit en is het onzeker hoe grote hoeveelheden waterstof hernieuwbaar kunnen worden geproduceerd.¹⁵ Tegelijkertijd bestaat er een grijze waterstofmarkt, met name voor de olie- en kunstmestindustrie.

Wat transport betreft, is het de bedoeling om waterstof vooral via pijpleidingen te vervoeren. Dit netwerk is aangekondigd en eerste stappen worden gemaakt, maar het bestaat nog niet. Alternatieve transportmiddelen zijn schepen en tankwagens. Voor het transport van (hernieuwbare) waterstof worden ook waterstofdragers overwogen. Dit zijn stoffen die waterstof bevatten en omgezet kunnen worden in waterstof, zoals ammoniak (NH_3) en methanol (CH_4O). Voor opslag wordt gekeken naar grote silo's, maar ook naar zoutcavernes.¹⁶

Het gebruik van hernieuwbare waterstof is op dit moment zeer beperkt en het voorziene gebruik is sterk onderhevig aan verandering.¹⁷ Eerder werd gedacht dat hernieuwbare waterstof een belangrijke brandstof zou worden voor auto's, maar die verwachting lijkt niet uit te komen. In de toekomst wordt hernieuwbare waterstof vooral voorzien als grondstof in industriële processen, en in sommige gevallen als brandstof (al dan niet gesynthetiseerd tot koolwaterstoffen) voor bijvoorbeeld zwaar transport, vliegtuigen of hoge-temperatuurprocessen. Toch is ook dit gebruik

¹⁴ Elzenga et al., 2025.

¹⁵ Het idee dat hernieuwbare waterstof geproduceerd wordt op momenten dat er een overschot is aan hernieuwbare elektriciteit is op dit moment niet reëel. De kosten van elektrolyse zijn dermate hoog dat investeringen uitblijven: door productie te beperken tot momenten van overschot verslechtert de businesscase dusdanig dat bouwplannen uitblijven.

¹⁶ Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2025.

¹⁷ Johnson et al., 2025.

omgeven door onzekerheid en onenigheid.¹⁸ Dat geldt ook voor het idee om waterstof te gebruiken voor energieopslag, door te produceren bij elektriciteitsoverschot en te gebruiken bij hoge elektriciteitsvraag. Voor toepassingen zoals verwarming van woningen is het voorziene gebruik minimaal.¹⁹

Ondanks hoge verwachtingen, is de toekomst van hernieuwbare waterstof onzeker en omstreden.²⁰ Hoewel er veel geld is geïnvesteerd in hernieuwbare waterstof, zijn er grote zorgen en risico's. De technologie is complex, de infrastructuur ontbreekt grotendeels, en de maatschappelijke gevolgen zijn nog onduidelijk. Hoewel de overheid Nederland eerder als koploper positioneerde, benadrukte zij recent juist het concurrentienadeel van de productie en het gebruik van waterstof door de Nederlandse industrie en heeft ze de productiedoelen afgezwakt.²¹

Wetenschappelijk onderzoek naar hernieuwbare waterstof legitimeert zichzelf voor een belangrijk deel door de impliciete of expliciete belofte dat het bijdraagt aan duurzaamheidstransities. Maar het is de vraag welke publieke waarden hierin meegewogen worden, en daarmee in hoeverre het daadwerkelijk die belofte kan waarmaken.²² De hoge verwachtingen en grote investeringen enerzijds en de onzekerheid en onenigheid rondom hernieuwbare waterstof anderzijds, maakt het tot een interessante casus, waarin technologische ontwikkeling, duurzaamheid en publieke waarden samenkomen.

Paragraaf 1.3.4 reflecteert op de keuze voor hernieuwbare waterstof als casus. Wat ook meespeelde bij de selectie van deze casus was het belang dat onderzoeksfinancier NWO hecht aan maatschappelijk verantwoord onderzoek en de samenwerking tussen sociaalwetenschappelijk onderzoek en bèta-technisch onderzoek in duurzaamheidstransities. Ons onderzoek is gefinancierd door een NWO-subsidie voor onderzoek naar maatschappelijke aspecten van elektrochemisch onderzoek.²³

1.3 Rechtvaardigheid als voorbeeld

Verschillende onderzoekers en gezaghebbende instituten in binnen- en buitenland vragen aandacht voor de rechtvaardigheid van duurzaamheidstransities.

¹⁸ Zo was er onenigheid over in hoeverre hernieuwbare waterstof gestimuleerd moest worden in de raffinage van fossiele brandstoffen, zie bijvoorbeeld: <https://energieia.nl/correctiefactor-waterstof-toont-belangenconflict-ministeries>.

¹⁹ Aguilar et al., 2025.

²⁰ Elzenga et al., 2025.

²¹ Zie de Kamerbrief Energie-intensieve Industrie van september 2025 en de Klimaat- en Energienota 2025.

²² Immers, publieke waarden en duurzaamheidstransities zijn inherent verbonden.

²³ In het kader van het onderzoeksprogramma ECCM MVI top-up: <https://www.nwo.nl/nieuws/groen-licht-voor-onderzoek-naar-maatschappelijke-aspecten-rond-elektrochemische-conversie-en-materialen>.

Rechtvaardigheid is een cruciale voorwaarde voor het doorlopen van de duurzaamheidstransities, omdat de fundamentele veranderingen die gepaard gaan met transitie weerstand kunnen oproepen. Verduurzaming kan stokken als deze als onrechtvaardig wordt gezien.²⁴ Voor velen vormt rechtvaardigheid zelfs het beoogde eindpunt van de duurzaamheidstransitie.²⁵ Daarbij komt dat rondom hernieuwbare waterstof in het bijzonder zorgen leven om rechtvaardigheid, waar we later uitgebreider op in zullen gaan.²⁶

In het bestuderen van het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof hebben we de waarde *rechtvaardigheid* daarom centraal gesteld als publieke waarde. Rechtvaardigheid gaat in algemene zin over de mate waarin procedures en verdeling van opbrengsten en kosten eerlijk zijn. Mensen hebben verschillende opvattingen over wat eerlijk is en dus ook over rechtvaardigheid: er bestaat geen blauwdruk voor rechtvaardigheid, net zoals die niet bestaat voor andere publieke waarden.

Rechtvaardigheid is een breed en veelzijdig begrip, dat verschillende andere publieke waarden raakt of omvat, zoals gelijkheid, inclusie, veiligheid en eerlijkheid. Wij sluiten aan bij een gangbare conceptualisatie die onderscheid maakt tussen procedurele rechtvaardigheid, verdelende rechtvaardigheid en erkennende rechtvaardigheid.²⁷

Om te bestuderen hoe rechtvaardigheid in het onderzoek voor hernieuwbare waterstof explicieter kan worden meegewogen, keken we aan de hand van de volgende drie vragen eerst hoe betrokkenen in het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof rechtvaardigheid nu meewegen. Een beknopte beschrijving van de methoden daartoe staat in paragraaf 1.3.1. Een uitgebreide verantwoording is opgenomen in bijlage 1.

Drie vragen voor het meewegen van rechtvaardigheid door betrokkenen:

1. Welke actoren zijn betrokken bij de agendering, programmering en uitvoering van onderzoek naar hernieuwbare waterstof in Nederland en vormen samen het kennisecosysteem?
2. Hoe tellen de individuele activiteiten van deze actoren op tot een aantal sleutelactiviteiten (functies) voor duurzaamheidstransities?
3. Welke rol speelt rechtvaardigheid in de strategie en praktijken van deze actoren?

²⁴ AIV, 2023; EEA, 2024; WRR, 2023.

²⁵ Wang & Lo, 2021; Rodhouse et al., 2024.

²⁶ Müller et al., 2022; Schöngart et al., 2025.

²⁷ De Looze et al., 2024; EEA, 2024; Romero-Lankao et al., 2023.

1.3.1 Beknopte beschrijving methode verkenning kennisecosysteem

We gebruiken het kennisecosysteem als analytisch raamwerk. Alle actoren, netwerken en instituties die invloed hebben op het onderzoek naar hernieuwbare waterstof zijn onderdeel van het kennisecosysteem. In de praktijk hebben sommige van deze elementen relatief veel invloed, zoals het verantwoordelijke ministerie, de grote industrie of prominente wetenschappers. Maar ook ngo's, duurzame en kleine bedrijven, onderzoeksinstituten en intermediaire organisaties mengen zich in de discussie en beleidsvorming en zijn daarmee onderdeel van het kennisecosysteem.

We verkenden het kennisecosysteem in drie stappen. In de eerste stap maakten we gebruik van openbare bronnen om te inventariseren welke organisaties (actoren) betrokken zijn bij onderzoek naar hernieuwbare waterstof, via welke projecten ze dat doen en binnen welke regels, wetten en beleid (instituties). Tijdens de tweede stap hielden we een serie gesprekken en bezochten we een aantal bijeenkomsten om deze initiële informatie aan te vullen, te leren hoe het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof functioneert, en om de rol van rechtvaardigheid daarbinnen te verkennen. In de derde stap voerden we een systematische documentanalyse uit naar de manier waarop verschillende aspecten van rechtvaardigheid werden besproken. Daarvoor selecteerden we uit het kennisecosysteem zestien sleutelactoren en per actor één tot vier sleuteldocumenten of bronnen die inzicht gaven in het werk van de organisatie (in totaal 27 bronnen – zie bijlage 1). De resultaten van deze verkenning zijn te vinden in hoofdstuk 2.

1.3.2 Workshops voor extra aandacht voor rechtvaardigheid

Nadat we bestudeerden hoe de betrokkenen in het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof rechtvaardigheid meewegen, onderzochten we hoe de organisaties rechtvaardigheid gerichter en explicieter kunnen meewegen. Over het borgen van publieke waarden in onderzoek en innovatie bestaan onder academici en praktijkdeskundigen namelijk nog vragen.

Transdisciplinaire workshops zijn een veelgenoemd middel om publieke waarden in onderzoek te verankeren.²⁸ In transdisciplinaire workshops werken niet alleen wetenschappers vanuit uiteenlopende disciplines samen, maar ook mensen uit maatschappelijke sectoren. Er is ruimte voor het inbrengen en samenbrengen van

²⁸ Stilgoe et al., 2013; Von Schomberg, 2013b.

uiteenlopende perspectieven. Deze variëteit aan perspectieven is nodig om een uitgebreid en evenwichtig beeld te krijgen van de maatschappelijke gevolgen van een technologie en de publieke waarden die op het spel staan.²⁹ Bijkomend voordeel van deze transdisciplinaire aanpak is dat de deelnemers de nieuw opgedane kennis gelijk in de praktijk kunnen brengen.³⁰

In dit project onderzochten we daarom hoe transdisciplinaire workshops over agendering en programmering van waterstofonderzoek in Nederland kunnen bijdragen aan het verankeren van publieke waarden in duurzaamheidstransities. We onderzochten dit door het ook te *doen*. Daardoor ontwikkelden we niet alleen kennis. We deden ook een bescheiden interventie in het kennisecosysteem, namelijk het versterken van rechtvaardigheid.

We werkten met de volgende onderzoeksvraag:

4. Welke mogelijkheden bieden transdisciplinaire workshops voor het integreren van rechtvaardigheidsprincipes in de agendering en programmering van onderzoek?

Paragraaf 1.3.3, hieronder geeft een beknopte weergave van onze aanpak en bijlage 1 bevat een uitgebreide verantwoording daarvan.

1.3.3 Beknopte beschrijving aanpak transdisciplinaire workshops

We organiseerden twee workshops, in Utrecht, begin 2025. Aan de workshops namen actoren deel uit het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof.

Het doel was drieledig:

1. Leren over de maatschappelijke waarden die op het spel staan bij onderzoek naar hernieuwbare waterstof.
2. Verkennen of de daarvoor ontworpen workshops kunnen bijdragen aan maatschappelijk verantwoord onderzoek.
3. Het doen van een bescheiden, maar niet-triviale interventie in het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof.

De eerste workshop ging over maatschappelijk verantwoorde onderzoeksprogrammering. De tweede workshop ging over onderzoekssamenwerking tussen wetenschap en (fossiele) industrie. Het ontwerp bood expliciet ruimte voor een

²⁹ Zie ook: <https://www.rathenau.nl/nl/kennis-en-innovatie-voor-transities/wereldwijd-beter-grip-krijgen-op-technologische-ontwikkelingen>.

³⁰ Horcea-Milcu et al., 2024.

gesprek over rechtvaardigheid bij onderzoek naar hernieuwbare waterstof voor duurzaamheidstransities.

We streefden naar een gelijkwaardige verdeling van deelnemers uit drie groepen:

- bèta-technische onderzoekers, bijvoorbeeld uit de elektrochemie;
- onderzoekers uit sociale en geesteswetenschappen; en
- maatschappelijke stakeholders en professionals, zoals ngo's, adviesraden, topconsortia voor kennis en innovatie, en onderzoeksfinanciers.

We hebben in dit project ervoor gekozen ons te richten op Nederland. Nederland heeft stevige ambities met hernieuwbare waterstof en er vindt vrij veel wetenschappelijk onderzoek hiernaar plaats. Bovendien past deze geografische focus bij de taak van het Rathenau Instituut om de Nederlandse overheid en politiek te informeren. Dat neemt niet weg dat hetgeen in Nederland plaatsvindt, onderdeel is en beïnvloed wordt door wat er in Europa en daarbuiten gebeurt. Daar waar relevant, nemen we die context mee.

1.3.4 Reflectie op caseselectie

Gedurende dit project werd het Rathenau Instituut onvermijdelijk onderdeel van het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof. Dat gebeurde zichtbaar, bijvoorbeeld bij het publiceren van dit rapport, en impliciet door interviews af te nemen en workshops te organiseren waarin we partijen samenbrachten. Wij zien het als onze verantwoordelijkheid om deze rol zorgvuldig in te vullen.

Daarbij lieten we ons leiden door drie principes van maatschappelijk verantwoord onderzoek en innovatie. Allereerst was rechtvaardigheid, als publieke waarde, ons normatieve vertrekpunt. Tegelijkertijd was ons werk erop gericht om de diversiteit en daarbij de inclusiviteit van actoren rondom waterstofonderzoek te vergroten. Juist de stemmen van partijen die weinig gehoord worden, zoals ngo's en onderzoekers uit de sociale- en geesteswetenschappen, wilden we meer laten klinken. Tot slot reflecteerden we regelmatig op onze activiteiten in relatie tot onze omgeving. Wat brengt ons project teweeg bij anderen en zijn er onbedoelde effecten? Is ons werk nog relevant, gezien de veranderingen in het kennisecosysteem?

De keuze voor hernieuwbare waterstof als casus is namelijk niet vrijblijvend. Wanneer een onafhankelijk onderzoeksinstituut aandacht besteedt aan een specifieke technologie (ook wanneer het een kritisch perspectief hanteert), kan dit bijdragen aan de verwachting dat het een geloofwaardige optie betreft. In dit geval dat waterstof een kansrijk onderdeel vormt van een toekomstig, duurzaam

energiesysteem. Door te blijven reflecteren op de principes van maatschappelijk verantwoord onderzoek, hebben we getracht te voorkomen dat het Rathenau Instituut onterecht bijdraagt aan een hype.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstukken 2 en 3 bevatten de resultaten van het project. Deelvragen 1, 2 en 3 worden beantwoord in hoofdstuk 2. Deelvraag 4 in hoofdstuk 3. Hoofdstuk 4 vat de resultaten samen en trekt de conclusie dat transdisciplinaire ontmoetingen een geschikt middel zijn om publieke waarden sterker te borgen in de agendering en programmering van transitiegericht onderzoek. In hoofdstuk 4 vertalen we deze conclusie ook naar handelingsopties voor verschillende actoren, zowel voor het onderzoek naar hernieuwbare waterstof, als voor onderzoek voor maatschappelijke opgaven in bredere zin.

2 Kennisecosysteem hernieuwbare waterstof verkend

Dit hoofdstuk bespreekt hoe het onderzoek naar hernieuwbare waterstof op dit moment is georganiseerd en welke rol rechtvaardigheid daarin speelt. Daarvoor kijken we naar het geheel aan actoren en factoren waarbinnen onderzoek plaatsvindt, het kennisecosysteem.

Paragraaf 2.1 verkent het kennisecosysteem eerst beschrijvend. De daarop volgende paragrafen zijn meer analytisch, vanuit twee invalshoeken. Paragraaf 2.2 onderzoekt verschillende sleutelactiviteiten (functies) van het kennisecosysteem in relatie tot duurzaamheidstransities. Paragraaf 2.3 belicht vervolgens welke rol rechtvaardigheid speelt in de strategie en praktijk van sleutelspelers in het kennisecosysteem.³¹

2.1 Onderzoek naar hernieuwbare waterstof

Het onderzoek naar hernieuwbare waterstof bestrijkt een breed scala aan wetenschappelijke en technologische disciplines en meer praktijkgericht onderzoek. We identificeerden (in 2024) ruim 260 actoren in Nederland die zich bezig houden met de ontwikkeling en verspreiding van kennis rondom hernieuwbare waterstof, zoals universiteiten, bedrijven, overheden en overige organisaties.³²

Universiteiten en publieke onderzoeksinstituten zoals TNO voeren veel van het onderzoek uit. Binnen de (elektro)chemie, katalyse, moleculaire wetenschap en materiaalkunde wordt gewerkt aan het verbeteren van het elektrolyseproces, waarmee waterstof geproduceerd wordt uit water met behulp van elektriciteit. Onderzoekers ontwikkelen nieuwe katalysatoren en materialen, waaronder membranen, elektroden en coatings, om het proces efficiënter, duurzamer en minder afhankelijk van zeldzame of schadelijke grondstoffen te maken. Kennis van stromingsleer, procestechnologie, systeemontwerp en warmtetransport wordt ingezet om de prestaties en flexibiliteit van elektrolyzers te verbeteren. Er vindt ook

³¹ Deze twee invalshoeken zijn beide gebaseerd op literatuur die gericht is op maatschappelijke transities en onderzoek en innovatie en vullen elkaar goed aan.

³² De Waterstofkaart van Missie H2 houdt een overzicht bij van partijen die zich kunnen aanmelden als actor in het waterstofveld. Het overzicht bevat vele honderden actoren, maar deze zijn lang niet allemaal met onderzoek en ontwikkeling bezig, en ook niet allemaal met duurzame waterstof.
<https://waterstofkaart.missieh2.nl/nl/partners>.

onderzoek plaats naar het transport van (hernieuwbare) waterstof, in gas of vloeibare vorm, via pijpleidingen of gebonden in waterstofdragers zoals ammoniak of methanol. Daarnaast speelt geologisch onderzoek naar ondergrondse opslagmogelijkheden een rol.

Er zijn ruim 170 bedrijven die zich op de een of andere manier bezighouden met hernieuwbare waterstof. Veel van deze bedrijven ontwikkelen componenten voor elektrolyse en zien kansen voor de groei van hun afzetmarkt en ontwikkelen ook praktijkkennis. Voor een andere groep bedrijven, grofweg de industrie, vormt hernieuwbare waterstof mogelijk een verduurzamingsoptie. Binnen fieldlabs en pilotprojecten, zoals een project dat zich richt op offshore water-elektrolyse-installatie die waterstof produceert uit zeewater, wordt de praktijktoepassing van innovaties getest. Door samenwerking tussen techniek, bedrijfskunde, recht en sociale wetenschappen wordt zo gebouwd aan kennis over de mogelijke rol van waterstof in het toekomstige energiesysteem.

Naast technologische innovatie is er aandacht voor de economische en maatschappelijke aspecten van waterstof. Onderzoekers voeren techno-economische analyses en scenariostudies uit om de kosteneffectiviteit van grootschalige waterstofproductie te onderzoeken. Ook zijn er studies die juist het nut en noodzaak van hernieuwbare waterstof bevragen, bijvoorbeeld in relatie tot alternatieve oplossingen voor de duurzaamheidstransitie. Verder wordt er interdisciplinair gewerkt aan vragen rondom wet- en regelgeving, maatschappelijke acceptatie, duurzaamheidstransities, veiligheid en ethische afwegingen.

Binnen fieldlabs en pilotprojecten, zoals de offshore water-elektrolyse-installatie die waterstof produceert uit zeewater, wordt de praktijktoepassing van innovaties getest.³³ Door samenwerking tussen techniek, bedrijfskunde, recht en sociale wetenschappen wordt zo gebouwd aan kennis over de rol van waterstof in het toekomstige energiesysteem. Een ander voorbeeld is de Green Village van de TU Delft waar geëxperimenteerd wordt met waterstof als energiedrager.

Tabel 1 geeft een overzicht van de typen organisaties die onderdeel zijn van het kennisecosysteem.

³³ <https://www.tno.nl/en/sustainable/industry/carbon-neutral-industry/clean-hydrogen-production/green-hydrogen-from-seawater-trial-plant/>

Tabel 1 Actoren in het kennisecosysteem: typen en voorbeelden

Type	Subtype	Voorbeelden	Illustratie
Kennisinstelling	Universteiten	TU Delft, Universiteit Utrecht	E-Refinery is een samenwerkingsverband van onderzoekers aan de TU Delft die zich richten op elektrochemische conversietechnologie voor de duurzame productie van chemicaliën en brandstoffen.
	Onderzoeksinstututen	DIFFER, TNO, PBL	TNO doet toegepast onderzoek naar waterstofproductie, zoals bij het Faraday Lab, waar gewerkt word aan de opschaling van elektrolyse.
Overheid	Ministeries	OCW, KGG, EZK	Het ministerie van Klimaat en Groene Groei ontwikkelt het energiebeleid en werkt aan de verduurzaming van de industrie, waarvoor hernieuwbare waterstof als oplossing wordt gezien.
	Decentrale overheden	Provincie Groningen, Provincie Gelderland, Port of Rotterdam	De provincie Groningen profileert zich onder HEAVENN samen met de andere noordelijke provincies als Hydrogen Valley, een plek waar groene waterstof wordt geproduceerd, getransporteerd en gebruikt.
	Publieke financiers	NWO, Innovation Quarter, Groenvermogen NL, Brabantse Ontwikkelingse Maatschappij	NWO financiert wetenschappelijk onderzoek en de Brabantse Ontwikkelings Maatschappij lanceerde in 2024 een samenwerkingsverband van kennisinstellingen en bedrijven rondom waterstofproductie.
	Netbeheerders e.d.	Gasunie, Tennet, EBN	Gasunie beheert het gasnetwerk in Nederland en werkt aan waterstof-infrastructuur
Bedrijven	Industrie-bedrijven	Shell, Tata, Yara, Nouryon, Nyrstar	Yara is een kunstmestproducent. Voor kunstmestproductie is waterstof nodig.
	Technologie-bedrijven	Avantium, Hydrogen Efficiency Technologies, Delft IMP	Avantium is een chemie-technologie bedrijf dat onder andere onderzoek en ontwikkeling doet naar groene waterstof.
	Adviesbureaus	Syngaschem BV, Mott MacDonald, HyNorth	HyNorth is een adviesbedrijf dat zich specifiek richt op waterstof.

Type	Subtype	Voorbeelden	Illustratie
Intermediaire organisaties	Belangen-behartigers	VNCI, VNO-NCW, NVDE, FMI, Energie Nederland	De VNCI is de belangenbehartiger van de chemische industrie in Nederland en spreekt zich regelmatig uit over het belang van groene waterstof voor de groene transitie.
	ngo's	Natuur en Milieu, Milieudefensie, Urgenda, Aseed	Milieudefensie is een milieuorganisatie en heeft een standpunt uitgebracht over waterstof. Ze zijn niet principieel tegen, maar pleiten vooral voor alternatieven en zijn kritisch op de plannen zoals die er nu liggen.
	Publiek-private samenwerkingsverbanden	TKI Nieuw Gas, ISPT.	TKI Nieuw Gas is een publiek-privaat consortium van kennisinstellingen, overheid en bedrijven. Ze hebben als doel om innovatieve bedrijven te helpen via kennisontwikkeling. Ze richten zich onder andere op hernieuwbare waterstof.
	Netwerk-organisaties	New Energy Coalition, Elektrolyser Makersplatform NL, NERA.	Het Elektrolyser Makersplatform NL is opgericht om partijen die componenten maken voor elektrolyzers bijeen te brengen.

2.2 Hernieuwbare waterstof in relatie tot transitie

Om te beschrijven hoe het kennisecosysteem een rol speelt in duurzaamheidstransities maken we gebruik van een functionele benadering³⁴: hoe functioneert het kennisecosysteem, in relatie tot de verduurzaming? Een belangrijke notie is dat duurzaamheidstransities niet alleen vragen om het opbouwen van een technologie, maar ook om het afbouwen van bestaande systemen en structuren. Denk bijvoorbeeld aan het verbieden van gloeilampen om veel efficiëntere verlichting te stimuleren.³⁵ En de opkomst van een technologie is geen zekerheid. De verwachting van waterstof of bijvoorbeeld de afvangst en opslag van CO₂ waren al eerder heel hoog, maar hebben nauwelijks voortgang laten zien.

³⁴ Chakravarty et al., 2025; Elzinga et al., 2023; Hekkert et al., 2020.

³⁵ Zie bijvoorbeeld Elzinga et al., 2023; Hebinck et al., 2022; Kivimaa & Kern, 2016.

We verkennen het functioneren van het kennisecosysteem langs vier functies:³⁶

1. **Kennisontwikkeling en afleren**

Deze functie gaat over de ontwikkelingen in kennis, zowel het opdoen van nieuwe inzichten als het afbouwen van verouderde onderzoekslijnen. Kennisontwikkeling omvat zowel technische als sociale kennis over hoe in dit geval hernieuwbare waterstof past in duurzaamheidstransities. Het gaat ook over kennis van maatschappelijke problemen. Zie paragraaf 2.2.1.

2. **Kennisverspreiding**

Dit gaat over het verspreiden van kennis over hernieuwbare waterstof en de rol die het kan spelen in duurzaamheidstransities. Zie paragraaf 2.2.2.

3. **Ondernemersactiviteiten, vraagontwikkeling en omgang met weerstand**

De derde functie van het kennisecosysteem gaat over ondernemersactiviteiten en veranderingen van de marktvraag. Het gaat om het experimenteren met oplossingen, in dit geval dus met hernieuwbare waterstof, die mogelijk kunnen bijdragen aan de duurzaamheidstransities. Het gaat ook over het omgaan met weerstand via het beperken van ondernemersactiviteiten op niet-duurzame praktijken en het experimenteren met het destabiliseren van de huidige niet-duurzame activiteiten.³⁷ Zie paragraaf 2.2.3.

4. **Coördinatie, reflectie, legitimiteit en richting gegeven**

De laatste functie draait om de ontwikkelrichting van de technologie. In dit geval gaat het over of en hoe hernieuwbare waterstof een rol kan spelen in de verduurzaming. Zowel rondom de probleemstelling als rondom de oplossingsrichting is vaak veel discussie mogelijk, vanwege allerlei onzekerheden, complexiteit en controverse. Deze discussie hangt samen met het omgaan met (of veroorzaken van) weerstand, doordat de nieuwe (configuratie van) technologie (on)veilig of (on)wenselijk blijkt. Een hoge mate van legitimiteit kan bijdragen aan een impuls aan onderzoek en consensus over de richting. Andersom kan weerstand aanleiding zijn om minder te investeren in hernieuwbare waterstof of de technologie aan te passen. Zie paragraaf 2.2.4.

³⁶ Deze functies komen voort uit het werk over innovatiesystemen, waarbij verschillende sets van functies worden geïdentificeerd (Elzinga et al., 2023; Hekkert et al., 2020; Markard & Truffer, 2008). Op basis van deze literatuur en met het oog op de focus op het kennisecosysteem, hebben we verschillende indelingen gecombineerd tot deze vier functies.

³⁷ Immers, de huidige manier waarop het energiesysteem en de industrie is georganiseerd, is zeer sterk geïntegreerd en zit daarmee ook min of mee vast, een lock-in (Eitan & Hekkert, 2023; Unruh, 2002). Om dit vastzitten te doorbreken, is het nodig om het bestaande systeem bewust te destabiliseren (Kivimaa & Kern, 2016).

2.2.1 Kennisontwikkeling en afleren

Wat opvalt is dat er langs de gehele kennisketen activiteiten plaatsvinden, van fundamenteel onderzoek tot toepassing en commercialisering. Er wordt gewerkt aan pilot- en demonstratieprojecten, onder andere door bedrijven, wat suggereert dat hernieuwbare waterstof klaar voor implementatie is. Tegelijkertijd vindt er ook volop fundamenteel natuurwetenschappelijk onderzoek plaats dat gericht is op efficiëntieverbeteringen en alternatieven, die vaak nog lang niet klaar zijn om toegepast te worden. Veel financiering voor onderzoek is publiek, vanuit de Rijksoverheid en de Europese Unie.³⁸

Ook valt op dat de ontwikkeling en toepassing van waterstof overwegend als technisch vraagstuk wordt benaderd. Afgaand op de focus en massa van het onderzoek *lijken* de grootste uitdagingen en onzekerheden op technisch vlak te liggen. Echter, ander onderzoek laat zien dat de voor de inpassing van hernieuwbare waterstof juist niet-technische interventies nodig zijn, zoals regelgeving, politieke besluitvorming en sociaalmaatschappelijke aspecten van de technologie.³⁹ Hoewel ook hiernaar onderzoek gedaan wordt, is de omvang bescheiden en staat dit onderzoek relatief los van de technische ontwikkeling, omdat het onderzoek in andere onderzoeksdisciplines, wetenschappelijke tijdschriften, werkpakketten en conferenties wordt besproken en er weinig integratie plaatsvindt. Daardoor worden inzichten over en weer onvoldoende meegenomen.

Tot slot valt op dat er minder aandacht lijkt te zijn voor het ontkoppelen van de link tussen het onderzoek naar hernieuwbare waterstof en de vervuilende industrie die verduurzaamd, vervangen of afgebouwd zal moeten worden. Dat is belangrijk, omdat verandering vaak komt van nieuwe spelers. Denk bijvoorbeeld aan de ontwikkeling van de elektrische auto, waarbij de marktdoorbraak niet werd gedreven door de bestaande auto-industrie, maar door een relatieve nieuwkomer, namelijk Tesla. Deze dynamiek, waarbij bestaande, grote bedrijven nieuwe technologie niet succesvol kunnen implementeren, is in veel verschillende sectoren aangetoond.⁴⁰ Soms is er bij bedrijven wel degelijk de intentie om te veranderen, maar is het bedrijf daar niet toe in staat (Kodak is een beroemd voorbeeld). Maar er bestaat ook onderzoek dat laat zien hoe bedrijven die welvaren bij de huidige

³⁸ Europese subsidie van enkele honderden miljoenen is beschikbaar voor waterstofproductie en waterstofgebruik in transport (zogenaamde Important Projects of Common European Interest). In Nederland zijn er de Subsidieregeling grootschalige productie volledig hernieuwbare waterstof via elektrolyse (€998 miljoen euro), en de onderzoeks- of demonstratiesubsidies van GroenvermogenNL (€838 miljoen euro) gefinancierd vanuit het Nationaal Groeifonds.

³⁹ Onderzoek van Gordon et al. naar de barrières voor waterstofontwikkeling laat zien dat er naast technische barrières juist heel veel markt-, sociale, en politieke barrières zijn (Gordon et al., 2023) En in een onderzoek naar hoe hernieuwbare waterstof kan bijdragen aan duurzame ontwikkelingen concluderen Drielli en Van der Zwaan niet dat er meer technisch onderzoek nodig is, maar dat de waterstof-waardeketen juist vraagt om investeringen en beleid (Drielli en Van der Zwaan 2024).

⁴⁰ Christensen, 2008; Cozzolino et al., 2018.

technologie en marktomstandigheden de duurzaamheidstransitie bewust vertragen⁴¹ of blokkeren.⁴² Dit zijn zwaarwegende redenen om bij de ontwikkeling van nieuwe kennis en oplossingen voor duurzaamheidstransities, de invloed van dergelijke bestaande bedrijven op de onderzoeksagenda's te beperken.

Echter, in onze verkenning van het kennisecosysteem valt juist de verwevenheid op met de bestaande, vervuilende industrie. In de grote onderzoeksprogramma's in binnen en buitenland speelt de aardgasindustrie een belangrijke rol en vindt er volop onderzoek plaats met bedrijven die veel CO₂ uitstoten.⁴³ Aan de ene kant lijkt dit logisch, omdat hernieuwbare waterstof voor hen een verduurzamingsoptie kan zijn. Maar aan de andere kant vergt de daadwerkelijke overstap naar hernieuwbare waterstof enorme investeringen en gaat deze overgang gepaard met grote risico's voor de bedrijven.

Bewust of onbewust sturen de bedrijven door deze samenwerking mede de onderzoeksagenda's van kennisinstellingen. In deze betrokkenheid ligt een risico dat de ontwikkeling van hernieuwbare waterstof vooral in dienst komt te staan van deze bedrijven en niet in dienst van de samenleving. Dat kan betekenen dat de radicale vernieuwing minder snel tot stand komt of dat de uiteindelijke bijdrage aan een duurzaam energiesysteem beperkt is.

2.2.2 Kennisverspreiding

We identificeerden enkele tientallen intermediaire organisaties, brancheverenigingen en ngo's die zich bezighouden met hernieuwbare waterstof. Dit is een gevarieerde groep organisaties die primair als taak hebben om kennis te verspreiden. Nadrukkelijk aanwezig zijn publiek-private triple-helix-organisaties: zij richten zich op onderzoeks- en innovatiesamenwerking tussen overheid, onderzoek en bedrijfsleven. Verder zijn er nog intermediaire organisaties die voor een specifiek publiek of privaat belang kennis en informatie verspreiden en beïnvloeden. Hieronder vallen brancheverenigingen, zoals de VNCI en FME, en ngo's, zoals Natuur en Milieu en Milieudefensie.

Wat opvalt is dat de verspreiding van kennis rondom hernieuwbare waterstof vaak verloopt via de netwerken en organisaties die ook gebruikt worden voor kennisuitwisseling rondom schadelijke praktijken, zoals de uitstoot van vervuilende emissies via fossiele (petro)chemie. Het gaat dan bijvoorbeeld om de VNCI,

⁴¹ Smink et al., 2015.

⁴² Duineveld et al., 2024.

⁴³ Denk bijvoorbeeld aan geologen die onderzoek doen naar geschikte ondergrond voor hernieuwbare waterstofopslag én onderzoek dat relevant is voor exploratie naar fossiele brandstoffen.

Onderzoekschool Procestechnologie, Brightland Chemelot Campus, Missie H2, en de Topsector Energie. Dit roept de vraag op of dit de aangewezen partijen zijn om de benodigde kennis over hernieuwbare waterstof te verspreiden. Immers, veel leden van deze netwerken kunnen de opkomst van hernieuwbare waterstof zien als een bedreiging voor hun huidige verdienmodel.

2.2.3 Ondernemerschapsactiviteiten en vraagontwikkeling

We zien dat meer dan 170 bedrijven zich bezighouden met technologie die gebruikt wordt voor de productie, transport, opslag en gebruik van hernieuwbare waterstof. Overigens is bij het transport, opslag of gebruik van waterstof niet altijd meer duidelijk of het om hernieuwbare of grijze waterstof gaat. Maar veel van de bedrijven houden zich bezig met het ontwikkelen van componenten voor de productie van hernieuwbare (waterelektrolyse). Het aantal bedrijven is groot, zeker als je in ogenschouw neemt dat er strikt genomen nog geen sprake is van hernieuwbare waterstofproductie en -gebruik. Het grote aantal bedrijven betekent dat veel partijen interesse hebben in de ontwikkelingen.

De industriële partijen die experimenteren met hernieuwbare waterstof komen veelal uit de fossiele industrie. Net als de deelnemende toeleveranciers, onderzoeks- en adviesbureaus en andere ondersteunende organisaties, voor wie de fossiele industrie een belangrijke afnemer is. Deze organisaties hebben veel relevante kennis, waardoor het functioneel en logisch is dat ze betrokken zijn. Maar het biedt voor deze bedrijven meer zekerheid om de huidige, fossiele activiteiten te bedienen, dan om een onzekere nieuwe markt te ontwikkelen.

Het beleid voor verduurzaming wordt door het bedrijfsleven hevig belobbyd, waardoor de eisen voor de industrie vaak afgezwakt worden.⁴⁴ Bovendien is het voor bedrijven notoir lastig om de kern van hun bedrijfsmodel te veranderen, terwijl dit vanuit duurzaamheidsperspectief in veel sectoren wel nodig is. Zelfs al is het de strategie van het bedrijf om radicaal te verduurzamen, dan is het onzeker dat dat echt lukt.

Dat betekent niet per definitie dat de ontwikkeling en toepassing van hernieuwbare waterstof onmogelijk is, maar de verwevenheid van de vervuilende industrie en de ontwikkelaars van hernieuwbare waterstof bemoeilijkt het wel. Ook vormt deze verwevenheid een risico op greenwashing: de suggestie richting het brede publiek dat er wordt verduurzaamd, zonder dat dit daadwerkelijk het geval is.⁴⁵

⁴⁴ <https://corporateeurope.org/en/2025/3/EU-Clean-Industrial-Deal-in-action>.

⁴⁵ De Freitas Netto et al., 2020.

Wat betreft vraagontwikkeling stimuleert de overheid de opkomst van hernieuwbare waterstof door via regelgeving CO₂-uitstoot steeds zwaarder te belasten.⁴⁶ Deze verhoging van de kosten van vervuiling kan gezien worden als de destabilisatie van het huidige systeem van niet-duurzame bedrijfsactiviteiten. Dit zou de ontwikkeling van hernieuwbare waterstof kunnen bevorderen.

Maar omdat onderzoek en ontwikkeling van hernieuwbare waterstof deels wordt uitgevoerd door organisaties die worden getroffen door CO₂-belasting, zou je met die destabilisatie ook de ontwikkeling van hernieuwbare waterstof verzwakken. Daarom zien we in de praktijk dat deze destabilisatie maar heel beperkt is. Sterker, het beleid is er juist op gericht om de huidige industrie te helpen en te behouden in Nederland, waardoor CO₂-belasting minder effect heeft.⁴⁷

2.2.4 Coördinatie, reflectie, legitimiteit en richting gegeven

Er is veel onzekerheid over de precieze rol van hernieuwbare waterstof in de duurzaamheidstransitie. Aan de ene kant laten veel studies zien dat het zonder hernieuwbare waterstof heel lastig wordt om de duurzaamheidsambities te behalen.⁴⁸ Aan de andere kant wordt er al decennia over hernieuwbare waterstof gesproken zonder succes. Eerder werd bijvoorbeeld verwacht dat hernieuwbare waterstof een grote rol zou spelen in de mobiliteitssector, maar intussen rijden er slechts enkele honderden waterstofauto's rond en meer dan 600.000 elektrische auto's.⁴⁹

Vandaag de dag wordt hernieuwbare waterstof vooral beschouwd als oplossing voor energieopslag, maar batterijen zijn daarvoor ook een optie. In de plannen voor hernieuwbare waterstof is een grote rol weggelegd voor import van waterstof. Maar daarover bestaan nog veel zorgen en onzekerheden, zoals de vraag of deze waterstof daadwerkelijk duurzaam is en of de productie niet leidt tot lokale sociale en milieuproblemen. Al met al bloeit het enthousiasme voor hernieuwbare waterstof regelmatig op, maar zakt het vervolgens ook vaak weer in. Daardoor blijft structurele vooruitgang uit.⁵⁰

⁴⁶ Op 25 juni 2025 heeft de Tweede Kamer aan het kabinet gevraagd om de nationale CO₂-heffing, die bovenop het EU-emissiehandelssysteem komt, af te schaffen. Bij het schrijven van dit rapport was nog niet bekend wat er precies gaat gebeuren. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-economie/verduurzaming-industrie/co2-heffing-industrie>.

⁴⁷ Bijvoorbeeld met de maatwerkafspraken, zie <https://www.verduurzamingindustrie.nl/hulp-bij-verduurzaming/maatwerkafspraken>.

⁴⁸ Zie bijvoorbeeld een onderzoek van TNO naar Scenario's voor klimaatneutraal energiesysteem (Scheepers et al., 2024) of het Integraal Nationaal Plan Energie en Klimaat van de Rijksoverheid (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, 2024).

⁴⁹ <https://duurzaamemobiliteit.databank.nl/mosaic/nl-nl/elektrisch-vervoer/personenauto-s>.

⁵⁰ Johnson et al., 2025.

Ook in de doelen van de overheid voor hernieuwbare waterstof zien we veel onzekerheid en verandering. In de plannen van 2023 was het doel om in 2030 een elektrolysecapaciteit van 3 à 4 gigawatt te realiseren en 8 gigawatt in 2032, inclusief voldoende opslaglocaties en infrastructuur.⁵¹ Zowel voorstanders als critici twijfelden aan de haalbaarheid van dit doel. Recent is dit doel bijgesteld, naar 3 à 4 gigawatt productie per jaar in 2035.⁵²

Het draagvlak onder burgers en bedrijven voor de verdere ontwikkeling en implementatie van hernieuwbare waterstof is over algemeen vrij hoog.⁵³ Dit blijkt bijvoorbeeld uit de landelijke energieraadpleging in opdracht van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat in 2023.⁵⁴ Uit een recent onderzoek van TNO blijkt dat waterstof-stakeholders inschatten dat waterstof over het algemeen een positief imago geniet.⁵⁵

Er zijn ook kritische geluiden over hernieuwbare waterstof. Deze richten zich allereerst tegen de totstandkoming van met name het Europese beleid, dat sterk wordt beïnvloed door de lobbyorganisatie Hydrogen Europe. Hieraan gekoppeld leven er zorgen dat de waterstofhype de extractie en gebruik van fossiele bronnen juist laat voortduren.⁵⁶ Dat komt doordat waterstof nu vooral uit fossiele bronnen wordt geproduceerd, en dat zolang hernieuwbare waterstof te duur wordt bevonden, deze fossiele productie waarschijnlijk toeneemt. Een andere zorg is dat er voor hernieuwbare waterstofproductie zeldzame metalen nodig zijn, die vaak onder slechte omstandigheden worden gewonnen met negatieve sociale en milieueffecten.⁵⁷

Brancheverenigingen van de industrie, zoals de VNCI, FME en VNO-NCW zijn over het algemeen vrij positief over de potentie van hernieuwbare waterstof. Bovendien dragen de positieve verwachtingen over hernieuwbare waterstof ook bij aan de legitimiteit van de industrie. Immers, zo lang zij kunnen zeggen dat hernieuwbare waterstof op termijn tot de gevraagde verduurzaming zal leiden, staat het voortbestaan van deze industrie minder ter discussie. Ook al is het succes van hernieuwbare waterstof onzeker.

⁵¹ Elzenga & Strengers, 2024.

⁵² Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2025.

⁵³ <https://energy.nl/publications/perceptie-van-groene-waterstof>.

⁵⁴ 'De gemiddelde deelnemer vindt dat we waterstof vooral moeten gebruiken in de industrie, maar niet om huizen te verwarmen en dat de regering meer energie moet kopen uit Europese landen, maar niet uit landen buiten Europa.' (Mouter et al., 2023, p. 19).

⁵⁵ Sprenkeling, 2023.

⁵⁶ <https://corporateeurope.org/en/dirty-truth-about-EU-hydrogen-push>.

⁵⁷ Bonhage & Soete, 2023; Hartlief et al., 2024.

2.3 Analyse van de rol van rechtvaardigheid

Deze paragraaf bespreekt de belangrijkste kwesties die ter sprake komen wanneer we rechtvaardigheid onderzoeken in het kennisecosysteem rond hernieuwbare waterstof en de duurzaamheidstransitie waaraan die duurzame waterstof mogelijk bijdraagt. We doen dat aan de hand van de drie meest gebruikte dimensies van rechtvaardigheid op basis van een documentanalyse en aanvullende interviews.

De drie dimensies van rechtvaardigheid zijn:

- Verdelende rechtvaardigheid (paragraaf 2.3.1)
- Procedurele rechtvaardigheid (paragraaf 2.3.2)
- Erkennende rechtvaardigheid (paragraaf 2.3.3)

2.3.1 Verdelende rechtvaardigheid

Verdelende rechtvaardigheid gaat over hoe kosten en baten die voortvloeien uit menselijk handelen verdeeld worden. Dit omvat de verdeling in de samenleving nu, de verdeling tussen nu en later (intergenerationeel) en tussen hier en elders.⁵⁸ Het gaat over wie de kosten dragen (inclusief de nadelen en risico's) en wie de baten (inclusief voordelen en winsten). Ook gaat het over de perceptie van wat geldt als een rechtvaardige verdeling daarvan en wat geldt als kost of baat. In de context van hernieuwbare waterstof gaat het dus om de verdeling van kosten en baten die gemoeid zijn met de ontwikkeling en toepassing van hernieuwbare waterstof.

We bespreken allereerst de vraag hoeveel publieke middelen worden toegewezen aan het kennisecosysteem rond hernieuwbare waterstof en hoe die moeten worden verdeeld over onderzoeksgroepen, disciplines, waterstoftechnologieën en onderzoeksagenda's. Daarna bespreken we hoe de kosten en baten van onderzoek naar hernieuwbare waterstof worden verdeeld in de samenleving.

Hoeveel middelen voor hernieuwbare waterstof?

Het dominante geluid binnen het kennisecosysteem is om zo veel mogelijk middelen in te zetten voor het kennisecosysteem, met op het moment zeer optimistische verwachtingen over de rol die hernieuwbare waterstof gaat spelen.

⁵⁸ Avelino et al., 2024; Dirth et al., 2020; EEA, 2024.

Echter, investeren in hernieuwbare waterstof gaat ten koste van investeren in andere verduurzamingsopties.⁵⁹ In een ideale wereld reflecteren sleutelspelers in het kennisecosysteem op wat een passende hoeveelheid middelen is.⁶⁰ Maar behalve een adviesraad⁶¹ en sommige ngo's⁶² reflecteren de kennisecosysteem-organisaties nauwelijks op deze vraag.

Verdeling van middelen binnen het kennisecosysteem

In een maatschappelijk verantwoord kennisecosysteem hebben de sleutelspelers ook oog voor een passende verdeling van de middelen binnen het kennisecosysteem, met voldoende diversiteit en variatie, maar ook voldoende focus op kansrijke ontwikkelingen en weinig prioriteit aan opties die weinig kans hebben. Als we kijken naar de verdeling van middelen binnen het kennisecosysteem, zien we dat er veel middelen naar bèta-technisch onderzoek gaan en relatief weinig naar onderzoek naar sociaalmaatschappelijke kwesties rondom hernieuwbare waterstof. Hierdoor ontstaat het risico dat het maatschappelijk perspectief buiten beeld raakt.

Verdeling van kosten en baten van het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof

Idealiter worden in een kennisecosysteem de kosten van kennisontwikkeling rondom hernieuwbare waterstof eerlijk verdeeld. Hiervoor bestaan verschillende principes, zoals *naar draagkracht* of gericht op *het grootste nut*.⁶³ Naar draagkracht betekent dat grote vervuilers of relatief vermogende organisaties meer zouden moeten betalen aan de ontwikkeling van hernieuwbare waterstof dan de *gewone burger*. Het gaat dan niet alleen om kosten in financiële zin, maar ook om de risico's en wie daarvoor verantwoordelijkheid neemt voor als hernieuwbarewaterstof-innovaties verkeerd uitpakken.⁶⁴ Bij het grootste nut verdeel je kosten zo, dat het tot de meeste opbrengst leidt.

De investeringen in waterstof zijn fors, en een groot deel hiervan wordt nu betaald met belastinggeld. We horen verschillende geluiden als het gaat om de verdeling van kosten en baten van het kennisecosysteem. Aan de ene kant van het spectrum wordt gesteld dat, omdat verduurzaming een maatschappelijke opgave is, vooral de

⁵⁹ Omdat hernieuwbare energie nodig is voor de productie van hernieuwbare waterstof, maar ook voor andere verduurzamingroutes (zoals elektrificatie), is het belangrijk dat waterstof niet een te groot deel van deze energie gebruikt. Enerzijds kan meer investeren in het kennisecosysteem rond hernieuwbare waterstof een toename betekenen van de elektriciteitsvraag, want hernieuwbare waterstof krijgt daarmee meer aandacht en ontwikkeling. Anderzijds kunnen meer investeringen in het kennisecosysteem een afname betekenen van de elektriciteitsvraag, omdat de elektrolyse-efficiëntie verhoogd wordt.

⁶⁰ Dillman & Heinonen, 2022.

⁶¹ Advies Waterstof de ontbrekende schakel RLI, pagina 11: 'Het creëren van de vraag kan in theorie het beste door CO₂-uitstoot te beprizen.'

⁶² Milieudefensie.nl – pagina over waterstof: <https://milieudefensie.nl/onderwerp/wat-is-waterstof>.

⁶³ WRR, 2023.

⁶⁴ Romero-Lankao et al., 2023.

overheid moet betalen voor de ontwikkeling. De andere kant van het spectrum ziet de niet-duurzame praktijken als een privaat probleem, dat private partijen moeten oplossen en betalen.⁶⁵ De meeste partijen bevinden zich ergens tussen deze twee uitersten en stellen dat subsidies vanuit de overheid én investeringen vanuit het bedrijfsleven nodig zijn.⁶⁶ Tegelijkertijd is de verdeling van de kosten niet helder en pleiten sommige organisaties ervoor dat er meer transparantie moet komen over het verdelen van kosten en baten van (de ontwikkeling van hernieuwbare) waterstof tussen burgers en bedrijven.⁶⁷

Qua onzekerheid en risico's zien we dat de waterstofplannen ambitieus zijn met als doel om de industrie substantieel te verduurzamen. Toch is het nog onzeker of deze plannen werkelijkheid worden. Diverse organisaties vragen zich af of de investeringen inderdaad tot positieve uitkomsten gaan leiden, of dat er nu veel geld en tijd wordt gestoken in iets dat de volgende generatie mogelijk niet veel gaat helpen.

Organisaties reflecteren verschillend op deze onzekerheden. De Europese Commissie kiest ervoor om afname van hernieuwbare waterstof verplicht te stellen, zodat investeringen niet voor niets zijn.⁶⁸ Eerder pleitte de Raad voor de Leefomgeving juist voor het stimuleren van alternatieven, zodat als hernieuwbare waterstof mislukt, er andere opties zijn.⁶⁹ Deze organisatie stelt voor om verplichtingen te stellen aan het gebruik van duurzame alternatieven wanneer deze er zijn, om zo niet alles in te zetten op hernieuwbare waterstof. Het is onduidelijk wie er verantwoordelijkheid neemt wanneer innovaties verkeerd uitpakken.

Dát er geïnvesteerd wordt in verduurzaming, zoals via hernieuwbare waterstof, vinden de partijen in het kennisecosysteem belangrijk, om ervoor te zorgen dat klimaatverandering wordt tegengegaan. Velen voelen een verantwoordelijkheid om de gevolgen van klimaatverandering te minimaliseren voor toekomstige generaties.⁷⁰ Verduurzaming via CO₂-reductie wordt in bijna alle documenten genoemd als het hoofddoel van de inzet van hernieuwbare waterstof.⁷¹

Ook wordt hernieuwbare waterstof in vrijwel alle documenten genoemd als een belangrijke oplossing voor het omgaan met schommelingen in het

⁶⁵ Milieudefensie.nl – 'En dan met name voor de industrie. Het is wel belangrijk dat de vervuiler betaalt voor de vergroening van de industrie, en niet huishoudens of het midden- en kleinbedrijf.'

⁶⁶ Zie bijvoorbeeld: 'Onderdeel hiervan kan een goede subsidieregeling voor investeringen in elektrolyse zijn, dan wel een regeling voor het afdekken van de onrendabele top.' (Natuur en Milieu, 2020, p. 3).

⁶⁷ Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur, 2021, p. 10.

⁶⁸ Zie dit bericht van 6 november 2024 <https://nationaalwaterstofprogramma.nl/actueel/nieuws/2921071.aspx>.

⁶⁹ 'Een ander instrument dat de overheid zou kunnen inzetten om te voorkomen dat producten met negatieve externe effecten *te goedkoop* op de markt worden gebracht is regulering: het verplicht stellen van het gebruik maken van duurzame alternatieven.' (Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur, 2021, p. 30).

⁷⁰ Sustainable Industry Lab, 2024.

⁷¹ EZK, 2020; Gigler, 2024; Natuur en Milieu, 2020; Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur, 2021.

elektriciteitsnetwerk. Het idee is dat bij overproductie van elektriciteit hernieuwbare waterstof kan worden geproduceerd en bij onderproductie deze waterstof weer omgezet kan worden in elektriciteit. Dit zou moeten bijdragen aan energiezekerheid, al blijft de realisatie onzeker. Een aantal organisaties gaan nog een stapje verder en dichten Nederland een sterke rol toe binnen een internationale waterstofmarkt.⁷²

Welke sectoren met name zullen profiteren van hernieuwbare waterstof is onduidelijk. Pas recentelijk is een discussie gestart over de afweging tussen de doeleinden waarvoor hernieuwbare waterstof met name gebruikt moet worden: de algemene energievoorziening, kunstmestproductie, staalproductie, vervoer, of verwarming.⁷³

2.3.2 Procedurele rechtvaardigheid

Procedurele rechtvaardigheid gaat in essentie over de vraag in hoeverre besluitvorming eerlijk is. Voor eerlijke besluitvorming moeten procedures en praktijken rondom die besluitvorming transparant zijn, toegankelijk voor degenen die erdoor worden geraakt, en er moet draagvlak zijn voor de besluiten.⁷⁴ In dit project richten we ons op de besluitvorming over *onderzoek* naar hernieuwbare waterstof. We bespreken de transparantie van de besluitvorming, wie erbij betrokken is, en het draagvlak voor (onderzoek naar) hernieuwbare waterstof.

Transparantie en toegankelijkheid

De onderzochte organisaties in het kennisecosysteem vinden transparantie belangrijk. Zij hebben aandacht voor het verspreiden van kennis.⁷⁵ De sleutelspelers brengen jaarverslagen uit, geven interviews, en veel informatie over de activiteiten is online te vinden.

Toch is de informatie die deze organisaties verspreiden vanwege het complexe karakter vaak niet goed toegankelijk voor iedereen. Er wordt in de onderzochte documenten veel jargon gebruikt. De beslissingen en keuzes die de sleutelspelers maken zijn dus wel transparant, maar niet erg toegankelijk.

⁷² Gasunie, 2024 Hoofdstuk 6, 'Leveringszekerheid'; Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur, 2021, p. 8.

⁷³ KGG & IenW, 2025; Ministerie van Klimaat en Groene Groei, 2024.

⁷⁴ EEA, 2024.

⁷⁵ 'Communicatie en disseminatie van onze opgebouwde kennis uit projecten, opdrachten en netwerken staan centraal.' Gigler, 2024, p. 5; New Energy Coalition, 2020; Van 't Hoff Institute for Molecular Sciences, 2024.

Wie is betrokken?

Organisaties in het kennisecosysteem besteden aandacht aan het betrekken van anderen in hun werk. Onderzoekers van universiteiten werken samen met industriële bedrijven. Deze bedrijven hebben veel kennis en zijn ook geïnteresseerd in het gebruik van waterstof. De onderzochte sleutelspelers geven allemaal aan dat ze veel samenwerken met andere organisaties.

Toch lijkt deze inclusie vrij selectief te zijn, omdat onderzoekers vooral samenwerken met stakeholders en organisaties die al dicht bij het onderwerp staan, zoals andere onderzoekers, bedrijven en overheden. Er is weinig ruimte voor ngo's aan de onderzoekstafel. Ook werken onderzoekers vooral samen als de belangen van de samenwerkingspartijen vooraf in lijn zijn met de wetenschappelijke doelen.⁷⁶ Door deze selectieve betrokkenheid, mist het onderzoek belangrijke maatschappelijke inbreng.

De samenstelling van raden van bestuur van de meest dominante spelers in het kennisecosysteem bestaat vrijwel altijd voor het merendeel uit mannen met een technische achtergrond. Deze samenstelling zet vraagtekens bij de inclusiviteit van deze organisaties.

Draagvlak

Organisaties in het kennisecosysteem erkennen alom het belang van maatschappelijk draagvlak. Dit blijkt uit de onderzochte documenten. Ook organiseren sleutelspelers bijvoorbeeld stakeholderbijeenkomsten. Het is echter niet evident dat de uitkomsten daarvan ook gebruikt worden. Over het algemeen zien de organisaties in het kennisecosysteem publiek draagvlak als iets wat er moet komen, koste wat kost. Zij die bezig zijn met het ontwikkelen van hernieuwbare waterstof zien weerstand als een obstakel.⁷⁷

Illustratief hiervoor is bijvoorbeeld de volgende passage: 'Ten slotte moet er voldoende draagvlak zijn, zodat er vanuit de samenleving geen bezwaar is tegen de ontwikkeling van waterstof. Het is daarom van belang deze met elkaar samenhangende aspecten vooraf in alle delen van de waardeketen te analyseren om het draagvlak voor technologische ontwikkeling te waarborgen.'⁷⁸

Deze zin benadrukt vooral dat waterstof geaccepteerd moet worden, zonder veel oog voor het begrijpen of meewegen van de bezwaren. Ook uit de verkennende

⁷⁶ 'We valorize our science in co-development with industry and through technology transfer. We foster the interaction with academia, applied research institutes, society, and private nuclear fusion endeavors, where these are in line with our own scientific interests and strategy.' DIFFER, 2023, p. 9.

⁷⁷ TKI Routekaart Waterstof, pagina 77: 'Een daarvan is om de kans op succesvolle introductie van waterstof te vergroten door tijdige communicatie met het grote publiek over nut en noodzaak van deze nieuwe energiedrager en de specifieke aspecten daarvan.'

⁷⁸ Groenvermogen: <https://groenvermogen.nl/rd/werkpakket-7>.

interviews kwam naar voren dat veel onderzoekers uit het kennisecosysteem het nog te vroeg vinden om het met burgers te hebben over waterstof. Veel organisaties in het kennisecosysteem zien het voorbereiden van de samenleving als taak van de overheid, en niet zo zeer van onderzoekers.⁷⁹

2.3.3 Erkennende rechtvaardigheid

Erkennende rechtvaardigheid gaat om het bewust meenemen van uiteenlopende noden en behoeften van kwetsbare groepen. Deze vorm van rechtvaardigheid vraagt om voorzorg en preventie van schade of nadelige gevolgen voor mens en milieu.

We bespreken hieronder in hoeverre organisaties in het kennisecosysteem rond hernieuwbare waterstof begrip tonen van historische, huidige en mogelijk toekomstige onrechtvaardigheden voor kwetsbare groepen. Verder kijken we of organisaties in het kennisecosysteem daarmee ook rekening houden bij het ontwikkelen en verspreiden van kennis over hernieuwbare waterstof.

Historische, huidige en toekomstige effecten voor kwetsbare groepen

De sleutelspelers in het kennisecosysteem hebben aandacht voor preventie en veiligheid. Dat blijkt uit de documenten en interviews. Ze noemen het belang van evaluatie en monitoren van onderzoek en implementatie van hernieuwbare waterstof. Echter, het specifiek erkennen van kwetsbare groepen is zeldzaam. Dat bleek onder andere uit de evaluatie van een afdeling van de Technische Universiteit Eindhoven. Die afdeling werd door de evaluatiecommissie aangeraden om in het onderzoek meer maatschappelijk relevante aspecten mee te wegen.⁸⁰

Slechts een enkele actor sprak expliciet over kwetsbare groepen die mogelijk nadelen kunnen ervaren van waterstoftechnologie.⁸¹ Gasunie neemt bijvoorbeeld een actieve rol in het luisteren naar deze groepen door het instellen van omgevingsloketten voor omwonenden. Zo bestaat er bijvoorbeeld een digitaal loket waar mensen meer informatie kunnen opvragen. Verder probeert de Gasunie actief de negatieve impact op kwetsbare groepen te minimaliseren. De buurt wordt in bijeenkomsten geïnformeerd en betrokken bij het besluitvormingsproces.

⁷⁹ 'Daarnaast zou de overheid actief aandacht moeten besteden aan het maatschappelijk draagvlak voor de ontwikkeling van een Nederlandse waterstofmarkt. Het gaat dan in de eerste plaats om duidelijke communicatie over de noodzaak van waterstof en een dialoog over de veiligheidsrisico's die aan het gebruik van waterstof én aan alternatieven verbonden zijn.' Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur, 2021, p. 42.

⁸⁰ TU/e, 2022.

⁸¹ Gasunie Jaarverslag 2023, Hoofdstuk 10: Relaties met lokale gemeenschappen, pagina 64.

Een aantal ngo's waarschuwt voor de gevolgen van de import van hernieuwbare waterstof of de materialen die nodig zijn om hernieuwbare waterstof te produceren. De import uit ontwikkelende landen kan enerzijds een economische kans zijn, maar er zijn ook risico's mee gemoeid. De winning van bijvoorbeeld platina (belangrijke katalysator voor proton-exchange-membraan-elektrolyse) leidt lokaal tot milieuschade waar de bevolking hinder van ondervindt, terwijl de baten van de mijn vooral bij de (vaak buitenlandse) eigenaren terecht komen.⁸²

2.4 Conclusie

Rondom hernieuwbare waterstof is een uitgebreid kennisecosysteem gegroeid. Er zijn veel organisaties in actief, met name bedrijven. Onderling zijn deze organisaties goed verbonden dankzij intermediaire organisaties zoals GroenvermogenNL, TKI Nieuw Gas en gezamenlijke projecten. Inspanningen van onder andere ECCM en GroenvermogenNL zorgen ervoor dat het kennisecosysteem zichtbaar is voor de buitenwereld. De overheid stuurt en stimuleert het kennisecosysteem door ambities te formuleren en door subsidies beschikbaar te stellen.

In termen van functies valt op dat het kennisecosysteem volop kennis ontwikkelt, met name van bèta-technische aard. Daarbij experimenteren bedrijven al volop met nieuwe technologie. In het kennisecosysteem is weinig aandacht voor het afbreken van bestaande structuren of het afleren van schadelijke praktijken die hernieuwbare waterstof zou moeten vervangen. Veel dominante organisaties in onderzoek naar hernieuwbare waterstof zijn ook actief in de fossiele energie.

Als het gaat om verdelende rechtvaardigheid besteedt het kennisecosysteem wel wat aandacht aan een passende verdeling van kosten en baten van de transitie, maar nauwelijks aan een eerlijke verdeling van kosten en baten van het onderzoek. Dit speelt zowel tussen verschillende spelers en projecten binnen het domein van hernieuwbare waterstof als tussen dit domein en een concurrerende oplossing zoals elektrificatie. Ecosysteemspelers die op een strategisch niveau nadenken over de toekomst van de energievoorziening van Nederland zouden dit soort afwegingen wel moeten maken.

Wat betreft procedurele rechtvaardigheid stellen veel organisaties binnen het kennisecosysteem zichzelf ten doel om transparant te communiceren. Ze slagen hier maar gedeeltelijk in, omdat hun ingewikkelde taal veel mensen uitsluit. Ze besteden wel aandacht aan draagvlak, maar uitsluitend op instrumentele wijze. Ze

⁸² Hartlief et al., 2024.

willen bezwaren van burgers vooral begrijpen om ze te kunnen wegnemen, niet om de achterliggende waarden of wensen mee te nemen in de ontwikkeling van nieuwe technologie.

Op het gebied van erkenning besteedt het kennisecosysteem serieus aandacht aan veiligheid, maar niet of nauwelijks aan de relatie tussen hernieuwbare waterstof en onrecht of aan de eventuele gevolgen voor kwetsbare groepen.

3 Verslag en analyse van de workshops

Begin 2025 organiseerde het Rathenau Instituut twee transdisciplinaire workshops, voortbouwend op de resultaten en inzichten uit de kennisecosysteem-analyse. Aan de workshops namen verschillende actoren deel die actief zijn binnen het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof. De bijeenkomsten vonden plaats in Utrecht, op twee ochtenden in januari en februari 2025.

Het doel van de bijeenkomsten was drieledig:

1. Leren over de maatschappelijke waarden die op het spel staan bij onderzoek naar hernieuwbare waterstof. Welke waarden vindt men belangrijk en welke juist niet? Waar botsen deze waarden? Waarover is er consensus en waarover is men het oneens?
2. Verkennen of daarvoor ontworpen workshops kunnen bijdragen aan maatschappelijk verantwoord onderzoek. In hoeverre zetten de workshops aan tot perspectiefverbreding en zijn ze breder toepasbaar?
3. Actoren bewuster maken van uiteenlopende maatschappelijke waarden en ideeën mee geven voor in hun werk. We deden dat met een bescheiden maar niet-triviale interventie.

Ten behoeve van deze doelen hebben we twee verschillende workshops ontworpen. De eerste workshop ging over maatschappelijk verantwoorde onderzoeksprogrammering. De tweede workshop ging over onderzoekssamenwerking tussen wetenschap en (fossiele) industrie.

Elke workshop duurde vier uur en bestond uit parallelle groepsdiscussies. Gedurende de workshops kwamen de deelnemers op verschillende manieren in aanraking met rechtvaardigheid in het waterstofonderzoek.

Om verschillende perspectieven aan bod te laten komen, streefden we in de uitnodiging en selectie van deelnemers naar een gelijkwaardige verdeling tussen i) bèta-technische onderzoekers, ii) sociale en geesteswetenschappers en iii) maatschappelijke stakeholders en professionals, zoals ngo's, adviesraden, topconsortia voor kennis en innovatie, en onderzoeksfinanciers. Alle deelnemers hadden kennis van of affiniteit met hernieuwbare waterstof in de duurzaamheidstransities.

Bij de eerste workshop resulteerde dit in een evenwichtige samenstelling van de deelnemersgroep. Tijdens de tweede workshop waren maatschappelijke stakeholders wat sterker vertegenwoordigd, mede doordat enkele onderzoekers zich op het laatste moment hadden afgemeld (zie tabel 2).

Tabel 2 Aantal deelnemers per workshop en per doelgroep

	Workshop 1	Workshop 2
(Electro)chemicus en aanverwant	6	4
Onderzoeker uit de sociale of geesteswetenschappen	6	4
Maatschappelijke organisatie	6	7
Totaal	18	15

Bron: Rathenau Instituut

Het was een bewuste keuze om geen deelnemers uit het bedrijfsleven uit te nodigen. Uit onze kennisecosysteem-analyse bleek namelijk dat het perspectief van bedrijven al erg sterk vertegenwoordigd is binnen het kennisecosysteem. Bovendien kon dit perspectief ook goed worden ingebracht door de andere deelnemersgroepen, zoals intermediairs en onderzoekers die veel met bedrijven samenwerken. Vanuit een streven naar perspectiefverbreding hebben we er daarom voor gekozen om het dominante perspectief van bedrijven uitsluitend indirect mee te nemen.

Het ontwerp van de workshops was gericht op het bespreken van maatschappelijke waarden die van belang konden zijn bij waterstofonderzoek voor duurzaamheidstransities. We hebben ingezet op een veilige gespreksomgeving en werkvormen met een duidelijke en toegankelijke structuur. Dit leidde tot het delen, verbreden en integreren van onderlinge perspectieven bij de deelnemers. We vroegen de deelnemers tijdens de kennismakingsronde bijvoorbeeld niet om een uitgebreide loopbaanbeschrijving, maar om juist in te gaan op hun ambities of zorgen met betrekking tot duurzaamheidstransities.

3.1 Workshop 1: onderzoeksuitvragen voor maatschappelijk verantwoord onderzoek

In de eerste workshop stond het ontwerpen van een onderzoeksvraag (ook wel onderzoekscall) centraal. Deelnemers werkten in groepen aan drie thema's die waren gekozen op basis van een verkenning onder onderzoekers en andere

betrokkenen uit het waterstofveld. Elk thema belichtte een vraagstuk met zowel technische als maatschappelijke dimensies (zie bijlage 2).

Het eerste thema ging over het gebruik van hernieuwbare waterstof om onbalans in het elektriciteitsnetwerk op te vangen. Hoewel dit als een veelbelovende toepassing wordt gezien, roept het diverse technische en niet-technische vragen op.

Het tweede thema ging over decentrale productie van hernieuwbare waterstof. Waar het huidige beleid inzet op grootschalige productie en infrastructuur, verkende deze groep mogelijkheden om productie en distributie kleinschaliger en/of meer lokaal te organiseren.

Het derde thema richtte zich op materiaalkeuzes in elektrolyse-apparatuur. Daarbij kwamen vragen aan bod over de verschillende technologische opties, de daarvoor benodigde kritieke grondstoffen, en de sociale en ecologische gevolgen van de winning van deze grondstoffen, met name in het mondiale zuiden.

De workshop bestond uit twee opeenvolgende werkvormen. In de eerste werkvorm verdiepten deelnemers zich, onder begeleiding van een moderator, in een korte probleemschets (zie bijlage 2). Vervolgens vond een gestructureerde dialoog plaats in twee rondes. In de eerste ronde gaven deelnemers vanuit hun eigen expertise aan wat zij belangrijk achtten bij het opstellen van een onderzoeksvraag, zowel qua inhoud als qua vorm. In de tweede ronde reflecteerden zij op hoe hun perspectief veranderd was door de inzichten van anderen.⁸³

In de tweede werkvorm werkten de groepen verder aan verschillende onderdelen van een onderzoeksvraag. Daarbij bouwden de groepen voort op de eerste werkvorm. Aan de hand van een vast format formuleerden zij het doel, de voorwaarden en de beoordelingsprocedure. Dit resulteerde in drie *proto-onderzoeksvragen*, die in het vervolg van dit verslag worden besproken.

3.1.1 Opbrengsten

Uit de individuele reflectie⁸⁴ van de eerste werkvorm blijkt brede erkenning voor het belang van diverse perspectieven. Deelnemers wezen op de sociale, technische, ecologische en geopolitieke implicaties van waterstoftechnologie. De deelnemers

⁸³ Zie voor toelichting Namiki, 2024.

⁸⁴ De opbrengst van de eerste workshop bestond uit 16 formulieren waarop deelnemers op de belangrijkste ingrediënten van een onderzoeksvraag reflecteerden, 9 posters waarop zij het ontwerp van de 3 onderzoeksvragen nader specificerden, 4,5 uur aan geluidsopnames en een korte vragenlijst die door 11 deelnemers is ingevuld (respons 61%).

waren het erover eens dat de onderzoeksvraag zou moeten vertrekken vanuit het publieke belang, de (afbakening van) maatschappelijke behoefte, en wenselijkheid. Onderzoeksvragen en -vormen moesten hieraan bijdragen. Deelnemers zagen integratie van meerdere onderzoeksdisciplines en het betrekken van belanghebbenden in de agendering, programmering en uitvoering van onderzoek als cruciale voorwaarde voor kennisontwikkeling die maatschappelijke inbedding en systeemintegratie bevordert. Tegelijkertijd werd erkend dat zulke vormen van onderzoek ook praktische uitdagingen kennen. Uitdagingen zijn onder andere effectief communiceren en samenwerken en overeenstemming bereiken tussen wetenschappers met verschillende disciplinaire achtergronden en maatschappelijke stakeholders.

In de tweede werkvorm stelden de groepen de onderzoekscalls op in een aantal stappen (de onderzoekscalls zijn licht uitgewerkt en opgenomen in bijlage 3). In elke stap kreeg maatschappelijke inbedding van het onderzoek aandacht: de onderzoeksfocus en -vragen waren gericht op het waarborgen van publieke belangen. Ook vroegen de deelnemers naast papers juist ook om resultaten die maatschappelijke inbedding bevorderen zoals beleidsadviezen, workshops, afwegingskaders, systeemmodellen, (sociale) levenscyclusanalyses en toegankelijke communicatievormen.

De deelnemers noemden inter- en transdisciplinaire consortia en beoordelingscommissies als belangrijke randvoorwaarden voor maatschappelijk verantwoord waterstofonderzoek. De deelnemers gaven de beoogde participanten in het onderzoek specifieke rollen mee, zoals deelnemer in klankbord- of stuurgroepen of facilitator van een maatschappelijke community. Soms werden aanvullende eisen gesteld, zoals het uitsluiten van partijen die zich schuldig maken aan greenwashing.⁸⁵

De deelnemers waren overwegend positief over de workshop. Zeven van de elf deelnemers beoordeelden de bijeenkomst als 'boven verwachting', vier als 'zoals verwacht'. Enkelen gaven in een vrij invoerveld aan vooraf geen duidelijk beeld te hebben gehad van wat ze konden verwachten. Deelnemers vonden met name de samenwerking met mensen met uiteenlopende achtergronden bijzonder waardevol. Op de vraag of hun perspectief was veranderd (schaal van 0 tot 10), scoorden de meeste deelnemers een 7. Het gemiddelde lag op 5,6. Deelnemers gaven aan dat zij het onderwerp nu vanuit meerdere invalshoeken bekijken.

⁸⁵ Dat roept uiteraard ook de vraag op hoe greenwashing kan worden gedefinieerd en getoetst.

Zo merkte een deelnemer uit de exacte wetenschappen op: *'Grootschalige implementatie van hernieuwbare waterstof is niet alleen afhankelijk van technische ontwikkelingen en onderzoek, maar ook van betrokkenheid van de maatschappij.'*

3.1.2 Sfeer en dynamiek

Tijdens de workshop ontstond al snel een open en coöperatieve sfeer. Deelnemers waardeerden de mogelijkheid om samen te werken met mensen buiten hun gebruikelijke netwerken. De gezamenlijke opdracht om een onderzoeksvraag te ontwerpen werkte motiverend.

Ondanks de uiteenlopende achtergronden slaagden de deelnemers er goed in om een inhoudelijk gesprek te voeren. Men erkende het belang van elkaars expertise en interdisciplinaire samenwerking. Dit was goed zichtbaar in de eerste werkvorm, waarin deelnemers gestructureerd in gesprek gingen en zo kennisnamen van elkaars inzichten en deze ook bleken te waarderen. Technisch georiënteerde deelnemers benoemden aanvankelijk het belang van technologische efficiëntie, zoals de ontwikkeling van nieuwe katalysatoren. Na inbreng van anderen groeide het besef dat ook bredere maatschappelijke en ecologische implicaties moeten worden meegenomen. Omgekeerd benadrukten sociaalwetenschappers eerst de noodzaak van maatschappelijke reflectie, maar erkenden zij later het belang van technologische kennis om ontwikkelingen concreet te maken. Deze kruisbestuiving leidde in de tweede werkvorm tot concrete voorstellen voor de onderzoeksvraag. De groepen wisten hun inzichten te vertalen naar inhoudelijke en uitvoerbare ideeën.

Aan het einde van de workshop bleek er veel behoefte te zijn om de opgedane inzichten verder te benutten. Deelnemers spraken de wens uit om deze te delen met relevante stakeholders en te gebruiken in andere werkomgevingen. Daarnaast zagen sommigen kansen om de groep actief te betrekken bij het meedenken over of beoordelen van toekomstige projecten. Er ontstond interesse om contact te houden en kennis uit te wisselen.

3.2 Workshop 2: richtlijnen voor samenwerking wetenschap en industrie

De tweede workshop richtte zich op het opstellen van richtlijnen voor onderzoekssamenwerking met de (fossiele) industrie binnen het domein van hernieuwbare waterstof. Dit is momenteel ook voor andere wetenschappelijke

thema's een actueel onderwerp. In het publieke debat hierover vallen scherpe en uiteenlopende standpunten op. Om voor de deelnemers enige afstand te creëren met eventuele vooringenomen standpunten, was de workshop zo ontworpen dat deelnemers vanuit toekomstbeelden terug redeneerden naar het heden.

Elke groep kreeg een ander toekomstbeeld voor 2050 als uitgangspunt. In elk van de toekomstbeelden werd uitgegaan van CO₂-neutraliteit in 2050, maar ze verschilden vanaf 2025 in de samenwerkingsmogelijkheden tussen publieke kennisinstellingen en industriële partijen.

De drie groepen:

1. Voortzetting van samenwerking met fossiele en niet-fossiele industrie.
2. Alleen samenwerking met niet-fossiele industrie.
3. Geen samenwerking met industrie.

Het idee van deze oefening was om de deelnemers de lange-termij implicaties van (het stopzetten van) deze onderzoekssamenwerking te laten doordenken.

De deelnemers gaven invulling aan het toekomstbeeld aan de hand van twee vragen:

1. Hoe zien de komende tien jaar eruit?
2. Wat waren de rollen van onderzoekers en de industrie in de transitie?

Daarna reflecteerden deelnemers individueel op twee aspecten:

1. Welke randvoorwaarden hebben ertoe bijgedragen dat kennisinstellingen met/zonder fossiele bedrijven de transitie doen slagen?
2. Wat zijn de kosten en baten voor verschillende betrokkenen?

Tijdens de tweede werkvorm kregen de deelnemers de opdracht om richtlijnen te ontwerpen voor onderzoekssamenwerking met de (fossiele) industrie. De groepen werden gemengd zodat er in iedere groep deelnemers zaten die aan de verschillende toekomstbeelden hadden gewerkt. Zo konden in iedere groep de implicaties van de verschillende toekomst vanuit verschillende perspectieven meewegen in de ontwikkeling van richtlijnen.

Aan de hand van een template gingen deelnemers in gesprek over drie vragen:

1. Wat is het doel van de richtlijnen?
2. Hoe zouden deze eruit moeten zien?
3. Hoe kunnen ze in de praktijk worden gebracht?

Daarnaast konden deelnemers noteren waarover binnen de groep geen overeenstemming werd bereikt.

3.2.1 Opbrengsten

Tijdens de eerste werkvorm viel op dat in alle drie de toekomstscenario's een aantal thema's consistent terugkeerde.

Deelnemers benoemden het belang van:

1. alternatieve, niet-industriële financieringsbronnen voor fundamenteel en toegepast onderzoek;
2. een belangrijkere rol voor de overheid in coördinatie en in wet- en regelgeving (waaronder CO₂-beprijzing en maatregelen tegen kennisopsluiting/*shelving*);
3. onderzoek naar de sociale aspecten van waterstof; en
4. aandacht voor de vraagkant van waterstof.

In de scenario's zonder samenwerking met de fossiele industrie werd betwijfeld of toegepast onderzoek dan nog haalbaar is. Ook werd gespeculeerd dat het elektrochemisch onderzoeksveld in die context een andere oriëntatie zou krijgen waarbij door het wegvallen van industriële partners de focus verlegd zou worden van centrale naar decentrale waterstofproductie. Als uitleg gaven de deelnemers dat de huidige kennisontwikkeling rondom waterstof ook wel gezien kan worden als een *solution strategy* die sterk gevoed wordt door industriële samenwerking.⁸⁶ Zij stelden dat waterstofonderzoek bijdraagt aan het legitimeren van de manier waarop dominante spelers in het energiesysteem werken aan de energietransitie.

Tijdens de tweede werkvorm gingen de deelnemers in nieuwe, gemengde groepen aan de slag met de uitwerking van de richtlijnen (zie tabel 3 voor de resultaten). Over het doel bestond brede consensus: richtlijnen moesten bijdragen aan transparantie, wetenschappelijke integriteit, valorisatie en een bredere en een evenwichtiger vertegenwoordiging van belangen. Dit zou de maatschappelijke waarde van wetenschap ten goede komen.

Deze consensus over de doelstellingen van de richtlijnen vertaalde zich echter slechts beperkt naar overeenstemming over concrete voorstellen (zie tabel 3). De deelnemersgroepen waren het eens over enkele randvoorwaarden:

- Het voorkomen van *shelving* (het bewust niet doorontwikkelen of commercialiseren van onderzoeksresultaten of patenten die niet in het belang zijn van de private partij) en het waarborgen van open publicatie.
- Het uitsluiten van samenwerking met partijen die belangenconflicten hadden en/of zich bezighouden met desinformatie of lobby tegen klimaatbeleid.
- De noodzaak van ex-durante monitoring door een onafhankelijke commissie, met bindende consequenties bij het niet naleven van richtlijnen.

⁸⁶ Ludwig et al., 2021.

Daarentegen bleef er verdeeldheid bestaan over onderwerpen als het al dan niet onderscheid maken tussen toegepast en fundamenteel onderzoek of startups en andere bedrijven, de mate waarin en de manier waarop de onafhankelijkheid van de externe commissie gewaarborgd kon worden en de vraag of samenwerking met (de hernieuwbare tak van) fossiele bedrijven nog wenselijk is.

Bij het ontwerpen van de richtlijnen was het voor de groepen deelnemers dus lastig om consensus te vinden. Dit is logisch omdat publieke waarden als transparantie, integriteit en maatschappelijke waarde van wetenschap weinig controversieel zijn en pas op weerstand stuiten na een vertaalslag naar concrete maatregelen waar ook nadelen aan kleven. Het gebrek aan consensus over concrete richtlijnen leidde tot een pakket aan maatregelen dat uiteindelijk minder ver ging dan iedere individuele deelnemer had gewild. Dat kwam vanwege een groepsdynamiek waarbij deelnemers noodzaak voelden voor een meerderheid voor elk afzonderlijk onderdeel van de richtlijnen.

Na afloop vulden zeven deelnemers de evaluatie in (respons 47%). Twee deelnemers ervoeren de workshop als boven verwachting, vier als 'zoals verwacht', en één als onder verwachting. De opzet werd gewaardeerd, al vonden sommigen de discussie niet diepgaand genoeg. Op de vraag of hun perspectief was veranderd (schaal van 0 tot 10) antwoordden zes deelnemers met een score tussen 0 en 3; één deelnemer gaf een 6. Een eenduidige verklaring voor het verschil met de eerste workshop ontbreekt, maar mogelijk speelde mee dat deelnemers vooraf sterker positie hadden ingenomen op het thema van de tweede workshop, of dat de vorm van deze workshop minder uitnodigde tot perspectiefverbreding. De thema's uit de eerste workshop bevatten nadrukkelijker zowel technische als sociale aspecten, en de werkvorm stimuleerde meer dan in de eerste workshop reflectie op het eigen perspectief.

Tabel 3 Aanzet tot richtlijnen

Gemixte groep A	Gemixte groep B	Gemixte groep C
Doel van de richtlijnen: - De richtlijnen moeten leiden tot onderzoeksimpact, wederzijds vertrouwen, vertrouwen in de wetenschap, transparantie over intellectueel eigendom en balans in de onderzoeksagenda.	Doel van de richtlijnen: - Voorkomen van ongezonde afhankelijkheden - Behoud ruimte voor alle partners voor impact - Onderzoeksintegriteit - Voorkomen van kennismonopoly voor machtige spelers - Het balanceren van belangen - Duidelijkheid over intellectueel eigendom	Doel van de richtlijnen: - Implementatie van een sociale en technische roadmap - Meer samenwerking op gezamenlijke waarden en minder concurrentie - Kritische(re) reflectie op samenwerking - Ethisch verantwoorde projecten - Interdisciplinaire projecten - Goed imago van universiteiten en onderzoekers - Ruimte voor eerlijke en kritische geluiden - Geen beïnvloeding en vertraging door fossiele industrie
Richtlijnen: - Sluit niemand bij voorbaat uit - Wees transparant over agenda's - Er moet commitment zijn van industriële partners - Geen directe belangenconflicten - Draag bij aan maatschappelijke impact - Ethische commissie toetst het onderzoek	Richtlijnen: - Creëer duidelijkheid over de bijdrage van bedrijven - Geen grote vervuilers in leiderschap - Openaccesspublicatie - Tenminste n% (nader te bepalen) voor maatschappelijke implicaties van onderzoek	Richtlijnen: - Projectpartners: - Geen lobby tegen klimaatbeleid - Geen klimaat-desinformatie - Geen nieuwe investeringen in niet-duurzame waterstof projecten - Betrek sociale wetenschappen en kritische systeemreflectie - Reflecteer op logische projectpartners - Vrijheid van publiceren - Gezamenlijke waarden
Gebruik van richtlijnen: Ethische commissie toetst het onderzoek	Gebruik van richtlijnen: De partners in onderzoeksconsortia toetsen zelf én een commissie van onafhankelijke partijen toetst en monitort ook (bijvoorbeeld overheid, FNV, VNCI, ngo)	Gebruik van richtlijnen: Onafhankelijke en transparante commissie toetst en monitort

De aanzet tot richtlijnen verloopt per groep (de kolommen) en langs de drie stappen (rijen). Bron: Rathenau Instituut

3.2.2 Sfeer en dynamiek

Ook in de tweede workshop was de sfeer overwegend constructief, maar merkbaar meer gespannen dan tijdens de eerste workshop. Deelnemers namen duidelijker stelling in en consensus bleek moeilijker te bereiken. Een mogelijke verklaring ligt in de aard van het onderwerp. Het ontwikkelen van richtlijnen voor samenwerking met (fossiele) industrie omvat het stellen van beperkingen aan bestaande praktijken, waar de eerste workshop ging over het vormgeven van nieuwe mogelijkheden. Daarnaast liggen de standpunten van betrokkenen vaak verder uiteen en zijn deze minder makkelijk te verenigen. Er was een deelnemer die eigen documentatie had meegenomen. Ook waren er meer vragen over de randvoorwaarden en definities die centraal stonden in de werkvormen van de workshop. Daarbij ontstond er discussie over het gebruik en interpretatie van termen zoals *net-zero*, fossiele industrie, en rechtvaardigheid.

In de eerste werkvorm, waarbij deelnemers toekomstbeelden (scenario's) ontwikkelden, hadden de deelnemers een kritische houding die de complexiteit van het onderwerp liet zien. Zo was er veel discussie over de afbakening van fossiele industrie en vond men het in eerste instantie lastig om na te denken over de rol van publieke kennisinstellingen in de energietransitie als deze helemaal niet meer met industriële partijen samen mogen werken. Uiteindelijk ontstond er binnen alle groepen een interessant gesprek over de mogelijke consequenties van het (gedeeltelijk) stopzetten van onderzoekssamenwerking, en de randvoorwaarden om kennisinstellingen in dat geval een betekenisvolle bijdrage aan de energietransitie te laten leveren.

Na afloop van de eerste werkvorm maakten de deelnemers individueel een inventarisatie van de randvoorwaarden waaronder kennisinstellingen goed bij konden dragen aan het behalen van de klimaatdoelstellingen in elk van de drie toekomstbeelden. Hoewel deze inventarisaties rijk waren, bleek het in de vervolgoefening lastig om gezamenlijk tot concrete richtlijnen te komen. Discussies over mogelijke elementen van zulke richtlijnen bleven vaak hangen in uiteenlopende standpunten. Daardoor kwam het formuleren van daadwerkelijke richtlijnen traag op gang.

Aan het eind van de workshop blikten we met de groep terug op de opbrengst. De deelnemers gaven aan dat ze het een zeer waardevolle ochtend vonden vanwege de samenwerking buiten de eigen discipline en omdat ze hun perspectief op het onderwerp verbreed hadden. Ook gaven de deelnemers aan dat ze via de oefeningen op andere ideeën waren gekomen dan wanneer ze hier individueel over na zouden hebben gedacht. Wel gaven de deelnemers aan dat ze het best lastig

vonden om in de beschikbare tijd de oefening volledig en naar tevredenheid af te ronden.

Een van de discussieonderwerpen tijdens de plenaire afsluiting was of de workshop baat zou hebben gehad bij deelname van ontbrekende perspectieven. Sommige deelnemers vonden dat de kennis en expertise van de fossiele industrie ontbrak en dat ook de belangrijke rol van de fossiele industrie binnen het huidige energiesysteem een reden was om ze uit te nodigen. Andere deelnemers brachten daar tegenin dat het belang van de fossiele industrie bij de huidige praktijk en machtspositie in het kennisecosysteem en wet- en regelgeving reden is om ze niet uit te nodigen. Ook het perspectief van juristen en beleidsmakers werd door sommige deelnemers genoemd als mogelijke verrijking van de discussie.

Tijdens de reflectie op de opgestelde richtlijnen ontstond opnieuw discussie. Die ging met name over of de richtlijnen waar de groepen gezamenlijk toe waren gekomen niet te weinig restrictief waren. Er was een klein aantal deelnemers dat in deze verlengde discussie verwikkeld raakte. Ook nu kwam men er niet uit. Wel was er brede overeenstemming dat de totstandkoming van richtlijnen transparant moet zijn. Opvallend genoeg gaven sommige deelnemers aan dat ze meer inhoudelijke twistpunten en onderling conflict hadden verwacht.

3.3 Waterstofonderzoek en rechtvaardigheid

Uit de gesprekken in beide workshops bleek dat deelnemers inzagen dat waterstofonderzoek en een rechtvaardige transitie gepaard gaan met sociale, technische en ecologische vraagstukken. Deelnemers zagen in dat het hier gaat om waardenbeladen thema's waarbij keuzes over inrichting en aanpak uiteindelijk normatief en politiek van aard zijn.

Tijdens de gesprekken benoemden deelnemers uiteenlopende waarden, waaronder rechtvaardigheid, inclusiviteit, transparantie, eerlijkheid, strategische autonomie, duurzaamheid en diversiteit. Opvallend was dat deelnemers genoemde waarden niet of nauwelijks ter discussie stelden. Zonder context of praktische implicaties zijn maar weinig mensen tegenstander van waarden als *transparantie* of *duurzaamheid*. Dit leidde in de workshops tot een ogenschijnlijke consensus terwijl de deelnemers misschien wel degelijk verschilden in de manier waarop zij deze waarden prioriteerden of interpreteerden. Zulke verschillen werden pas zichtbaar in de latere werkvormen, waarin deelnemers concrete onderzoeksvragen of richtlijnen moesten formuleren. Vooral de discussie over richtlijnen voor samenwerking met de industrie leidde tot een scherp gesprek over waarden.

3.3.1 Verdelende rechtvaardigheid

De deelnemers vinden dat verdelende rechtvaardigheid slechts op een beperkte manier geborgd is in het kennisecosysteem. Zij zien duurzame waterstof in de eerste plaats als een oplossing voor de procesindustrie. Deelnemers erkennen dat een groot deel van de maatschappij profiteert van de producten die zij oplevert en reductie in de CO₂-voetafdruk daarvan, maar stellen dat er in de agendering, programmering en uitvoering van het onderzoek nauwelijks aandacht is voor economische, sociale en ecologische verdelingsvraagstukken.

Duurzame waterstof kent winnaars en verliezers

Duurzaamheidstransities omvatten een fundamentele herziening van bestaande praktijken en van de onderliggende structuren en gedragspatronen.

Vanzelfsprekend kent een dergelijke verandering winnaars en verliezers. In de gesprekken tussen onderzoekers en maatschappelijke professionals kwam naar voren dat er veel op het spel staat bij de ontwikkeling en maatschappelijke inbedding van waterstof en dat bepaalde belangen en aspecten sterker geborgd zijn dan andere.

Burgers zien de veiligheid van waterstof als het grootste risico, zo werd ook in de workshops bevestigd.⁸⁷ Zodoende krijgen veiligheidsrisico's – de beperking en verdeling ervan – veel aandacht in bestaande kennisagenda's en onderzoeksprogramma's, aldus de deelnemers. Andere belangen van burgers, zoals de maatschappelijke wenselijkheid en inbedding van waterstoftoepassingen, worden volgens hen juist onderbelicht.⁸⁸

Onderzoekers hebben baat bij de publiek-private middelen voor waterstofonderzoek, maar zijn daarmee ook gebonden aan de bijbehorende kennisagenda's.

Deelnemer F1 illustreerde dit als volgt: *'Waar het aankomt op samenwerking met de industrie [...] hebben de vragen soms een sturende werking op de antwoorden. De uiteindelijke antwoorden zijn dan dusdanig dat de industrie erbij gebaat is.'*

Met de huidige bezuinigingen op wetenschappelijk onderzoek en de dalende ruimte voor ongebonden onderzoek is dit sturende effect nadrukkelijk aanwezig. Daardoor komen de belangen van het bedrijfsleven nadrukkelijker naar voren in onderzoekagenda's.⁸⁹ Doordat bedrijven vaak meer op toepassingen gericht zijn, verschuift de nadruk in onderzoeksagenda's naar toepassingsgericht onderzoek.

⁸⁷ Boomsma et al., 2024

⁸⁸ Rathenau Instituut, 2019.

⁸⁹ KNAW, 2019; Rathenau Instituut, 2016.

Dat zorgt voor onzekerheid onder jonge fundamentele onderzoekers, vervolgdde deelnemer F1.

Ook wezen meerdere deelnemers op de gevolgen voor doorwerking van onderzoek. Enerzijds neemt de kans op implementatie toe, anderzijds werd gewezen op het risico van *shelving*: het bewust niet doorontwikkelen of commercialiseren van onderzoeksresultaten of patenten die niet in het belang zijn van de private partij. Dat het veelal private bedrijven zijn die intellectueel eigendom verkrijgen als gevolg van publiek-private investeringen werd door sommigen gezien als logisch en door anderen als schrijnend.

Deelnemers vertelden dat de energietransitie voor veel bedrijven een fundamentele herziening van verdienmodellen en productieketens betekent. Tegelijkertijd bieden publieke investeringen in waterstof(onderzoek) de mogelijkheid om juist deze bedrijven beter te ondersteunen. Volgens deelnemers bieden zowel intellectueel eigendom uit publiek-private samenwerking als de mogelijkheid om nieuwe kennis over waterstof toe te passen of te verspreiden mogelijkheden voor nieuwe verdienmodellen.

Twijfels of de vervuiler wel betaalt

Over de rechtvaardigheid van de verdeling van kosten en baten was veel discussie onder de deelnemers. Dit staat in contrast met het publieke debat in het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof, waarin dit thema slechts beperkt aandacht krijgt. Centraal stond de vraag of het rechtvaardig is dat de samenleving als geheel via publieke middelen bijdraagt aan onderzoek dat gericht is op de verduurzaming van de basis- en procesindustrie. Sommige deelnemers betwيفelden in hoeverre het principe *de vervuiler betaalt* in dit kader wordt toegepast. Ook de kostenverdeling voor waterstof- en elektriciteitsinfrastructuur werd in dit licht genoemd. Daarnaast wezen de deelnemers op diverse opportuniteitskosten die waterstof(onderzoek) met zich meebrengt, zoals de inzet van mensen en middelen voor waterstof- en elektriciteitsinfrastructuur en de benodigde hernieuwbare stroom voor waterstofproductie die daardoor niet voor andere dingen gebruikt kunnen worden.

Zo sprak deelnemer C2: *'Welk beslag legt het op de lokale energieproductie? Is het niet zo dat er straks dan weer een windmolenpark wordt opgetuigd dat geheel ten behoeve komt aan de industrie? In plaats van dat burgers daar eventueel ook aan mee zouden kunnen doen? Dus hoe gaan we ervoor zorgen dat dit op een democratische manier tot stand komt en niet alleen maar ten behoeve komt aan grote bedrijven of ten behoeve van processen die we beter direct kunnen elektrificeren?'*

Ook het budget dat momenteel besteed wordt aan waterstofonderzoek zou op andere manieren kunnen bijdragen aan de energietransitie.

De vraag naar waterstof staat niet centraal

Uit de workshops kwam het beeld naar voren dat de huidige waterstofontwikkeling sterk aanbodgedreven is. Deelnemers zien dat waterstof door veel overheden, bedrijven en onderzoekers wordt benaderd als doel op zich in plaats van als middel om de energietransitie te doen slagen.

Deelnemer C1 stelde: *'Het belangrijkste ding vind ik de doeleinden, waarvoor het gebruikt wordt en wat de waarde van waterstof kan creëren. Want waterstof gaan produceren is op zichzelf leuk, maar als we niet weten waarom en er komen heel veel kosten bij, is dat het dan waard tegen deze kosten? En wie gaan die kosten dan dragen? Ik denk dat dat de belangrijkste vragen zijn.'*

Vergelijkbaar stelde deelnemer C2 de vraag: *'Waarom gaan we die waterstof überhaupt maken? Is het de efficiëntste manier om het te doen?'*

Volgens veel deelnemers ontbreekt het aan publiek debat over de toekomstige vraag naar waterstof, over de motieven achter huidige investeringen en over mogelijke alternatieven. Zij waren dan ook sceptisch over het beeld uit het kennisecosysteem over de toekomstige schaal van een waterstofeconomie. Het vervangen van grijze waterstof door hernieuwbare waterstof in de procesindustrie werd door deelnemers als een logische stap gezien, maar productie van waterstof voor processen en toepassingen die ook rechtstreeks geëlektrificeerd kunnen worden kreeg weinig bijval.⁹⁰ Enkele deelnemers stelden in lijn met Johnson et al., (2025) dat de productiekosten van waterstof sterk gekoppeld zijn aan de elektriciteitsprijs en dat er daarmee harde grenzen zijn aan wat er bereikt kan worden met de huidige focus op reductie van de kosten van elektrolyse. Het ontbreekt momenteel aan een publiek debat over wat, gegeven de kosten, de benodigde materialen en elektriciteit, een zinvolle inzet van hernieuwbare waterstof is.

3.3.2 Procedurele rechtvaardigheid

De deelnemers vinden dat procedurele rechtvaardigheid versterkt kan worden. De praktijk biedt relatief veel ruimte aan een beperkte groep onderzoekers en bedrijven, die daardoor aanzienlijke invloed hebben op de agendering,

⁹⁰ Zie ook <https://www.tno.nl/nl/duurzaam/industrie/co2neutrale-industrie/schone-waterstofproductie/15-dingen-die-je-moet-weten-waterstof>.

programmering en uitvoering van onderzoek. Dit is problematisch wanneer hun belangen niet vanzelfsprekend aansluiten bij het publieke belang of bij de bredere doelen van de energietransitie. Deelnemers waren het erover eens dat juist onderzoek voor de energietransitie gebaat is bij een variëteit aan perspectieven. Het op een betekenisvolle manier betrekken van sociale wetenschappers, ngo's en burgers werd als cruciaal gezien.

Bestaande praktijk sterkt belangen bedrijfsleven en onderzoekers

Deelnemers constateerden dat het bedrijfsleven en bèta-technische onderzoekers een dominante rol spelen in de agendering, programmering en uitvoering van waterstofonderzoek. Daarbij beamen ze het nut en de noodzaak om in deze fases van de programmacyclus gebruik te maken van de wetenschappelijke en commerciële expertise van deze partijen, maar een onbedoeld neveneffect is dat hun belangen zwaar meewegen ook wanneer deze niet in lijn zijn met het publieke belang.

Ook in de uitvoering van het onderzoek ervaren onderzoekers druk van de bedrijven waarmee ze samenwerken.

Deelnemer F1 gaf hiervan een voorbeeld: *'Ik zit in een onderzoeksproject waar ik resultaten moet leveren, niet omdat de financiering anders teruggetrokken wordt, maar omdat ik bang ben dat ik anders geen vervolgproject krijg. Daar zit een zekere afhankelijkheid in. Ik heb bijvoorbeeld een collega die vijf verschillende partijen om toestemming moet vragen elke keer als ze een poster wil presenteren. Dat is een ongezonde afhankelijkheid; deze persoon mag niks zeggen zonder goedkeuring van de bedrijven.'*

Deze sterke vertegenwoordiging van bèta-technische en commerciële belangen in het waterstofonderzoek vormt volgens sommige deelnemers een risico voor een rechtvaardige energietransitie: bèta-technische onderzoekers en bedrijven laten zich in het onderzoek vaak leiden door wat techno-economisch wenselijk is en zijn minder gericht op rechtvaardigheid of andere publieke waarden. Een technische onderzoeker vertelde bijvoorbeeld dat zij zich in de materiaalkeuze voor katalyse vooral bezighoudt met materialen die het beste functioneren of materialen die ze al goed kent, en niet met welke materialen maatschappelijk of ecologisch wenselijk zouden zijn. Dergelijke keuzes hebben gevolgen voor de resultaten van onderzoek en werken door in de visievorming rondom waterstof.

Volgens sommige deelnemers is er in de huidige programmering een sterke nadruk op technologische ontwikkeling en sluitende verdienmodellen. Hoewel deze als noodzakelijke voorwaarden voor een waterstofeconomie werden erkend, plaatsten deelnemers kritische kanttekeningen bij de huidige aanpak. Deelnemers

betwijfelden bijvoorbeeld of lopende onderzoeksrichtingen wel op tijd bij kunnen dragen aan het behalen van de doelstellingen voor de energietransitie. Bovendien benadrukten veel deelnemers dat succesvolle maatschappelijke inbedding van waterstof meer vraagt dan technologische en economische oplossingen alleen. Aspecten als geopolitieke afhankelijkheden en sociale en ecologische gevolgen binnen en buiten de landsgrenzen verdienen volgens hen meer aandacht in het huidige onderzoek en beleid (zie ook 4.3.3).

Onderzoek voor energietransitie vergt variëteit aan perspectieven

Deelnemers gaven aan dat sociale wetenschappers en maatschappelijke partijen in de huidige agendering en programmering van waterstofonderzoek ondervetegenwoordigd zijn, terwijl zij cruciaal zijn om sociaalmaatschappelijke aspecten van de energietransitie mee te wegen in onderzoeksuitvragen en onderzoeksvorstellen.

Deelnemer A1 lichtte toe dat er in de schrijf- en beoordelingscommissies voor waterstof meestal wel een sociale wetenschapper zit, maar dat de inbreng van deze persoon weinig betekenis heeft wanneer het grotere aantal bèta-technische wetenschappers op één lijn zit: *'Een collega van mij zegt altijd: "Vertel mij de samenstelling van de jury, dan vertel ik je de uitslag." Aan de jury kun je natuurlijk nog wel eisen stellen. Zo van: we willen in de jury niet alleen wetenschappers, maar ook iemand uit een ngo.'*

Deelnemer A2 vertelde dat deze in stuur- en klankboordgroepen altijd een grotere vertegenwoordiging vanuit de industrie dan vanuit ngo's of kleinere bedrijven ziet, simpelweg omdat de industrie daarvoor gemakkelijker mensen kan vrijspelen.

In alle groepen was draagvlak voor het nadrukkelijker betrekken van maatschappelijke perspectieven. Vanuit de overtuiging dat sociaalmaatschappelijke factoren bepalend zijn voor het slagen van een waterstofeconomie, pleitten deelnemers voor een sterkere rol van sociale wetenschappers en belangenbehartigers in de agendering en uitvoering van onderzoek. Daarbij werd inter- en transdisciplinair onderzoek genoemd als noodzakelijke voorwaarde.

Hoewel deelnemers het erover eens waren dat het maatschappelijk perspectief nadrukkelijker meegenomen moest worden in de agendering en programmering van onderzoek, verschilden de meningen over wat dat betekende en hoe dat invulling moest krijgen. De een sprak van maatschappelijke acceptatie en consultatie, de ander vond maatschappelijke wenselijkheid belangrijk en wil (belangenbehartigers van) de burger actief betrekken. Enkele deelnemers waren voorstander van het borgen van maatschappelijke perspectieven door verplichte

deelname van lokale burgerorganisaties aan onderzoeksvoorstellen, anderen stelden voor om ngo's structureel te betrekken bij beoordeling en uitvoering.

Naast aandacht voor maatschappelijke inbedding was een meerderheid van de deelnemers voor een sterkere integratie van sociale en technische disciplines. De voornaamste reden was de overtuiging dat een mono- of multidisciplinaire aanpak niet volstaat voor een complexe systeemverandering zoals de totstandkoming van een waterstofeconomie. Daarbij waren deelnemers zich ervan bewust dat inter- en transdisciplinair onderzoek nieuwe uitdagingen met zich meebrengen in het daadwerkelijk realiseren van cocreatie die niet vanuit individuele disciplines en perspectief mogelijk is. Over de organisatievorm van inter- en transdisciplinair waterstofonderzoek liepen de meningen uiteen.

Bestaande onderzoekspraktijk leent zich beperkt voor transitie

Toen deelnemers gevraagd werd om vanuit de klimaatdoelstellingen en energietransitie te redeneren wat voor soort onderzoekspraktijk er nodig zou zijn, benadrukten zij naast de eerdergenoemde behoefte aan sociaal, inter- en transdisciplinair onderzoek drie benodigde veranderingen ten opzichte van de huidige praktijk.

In de eerste plaats werd de noodzaak van (beloning voor) andersoortige outputs genoemd. Deelnemers zagen communicatie met maatschappelijke actoren waaronder burgers, bedrijven, beleidsmakers en politici als een betere manier om maatschappelijke impact te bereiken dan wetenschappelijke publicaties en patenten.

Ten tweede werd aandacht gevraagd voor de tijdslijn en focus van technisch onderzoek. Een deel van het huidige onderzoek richt zich op technologieën die waarschijnlijk niet tijdig inzetbaar zijn voor het halen van klimaatdoelen. Technisch onderzoek zou sterker gericht moeten worden op het toepassen en verbeteren van bestaande technieken en het beperken van het gebruik van zeldzame of dure aardmetalen die meestal op sociaal of ecologisch onverantwoorde manieren gewonnen worden.

Ten derde waren deelnemers het niet eens met de bevinding uit de kennisecosysteem-analyse dat beslissingen en keuzes die de sleutelspelers maken transparant zijn. Zij wezen op een gebrek aan transparantie in de totstandkoming van onderzoeksuitvragen, honorering van voorstellen en richtlijnen voor samenwerking met de fossiele industrie als een beperkende factor in het mobiliseren van wetenschap voor de energietransitie.

3.3.3 Erkennende rechtvaardigheid

Tijdens de workshops bereikten deelnemers gemakkelijk overeenstemming over erkennende rechtvaardigheid. Vooraf waren de verschillende deelnemersgroepen niet altijd even goed op de hoogte van elkaars perspectieven en de meerwaarde daarvan, maar nadat zij deze onderling hadden uitgewisseld, ontstond er op hoofdlijnen consensus over het belang van verschillende waarden en perspectieven en de manier waarop die momenteel geborgd zijn in de ontwikkeling van waterstof. Deelnemers waren het erover eens dat techno-economische overwegingen en CO₂-reductie de boventoon voeren in het onderzoek naar waterstof, maar vonden ook dat de sociale en ecologische context meer aandacht verdienen.

Focus op technisch onderzoek brengt publieke waarden in het geding

Deelnemers waren het erover eens dat de huidige onderzoekspraktijk en het denken over een waterstofeconomie sterk leunen op bèta-technisch onderzoek. De vraag welk onderzoek het beste kan bijdragen aan verduurzaming krijgt volgens veel deelnemers onvoldoende aandacht. Zij zien dat onderzoeksvragen vooral aansluiten op de interesse van bèta-technische onderzoekers en bedrijven. Daardoor komen efficiëntie, kosten en rendement centraal te staan bij het maken van keuzes en afwegingen.

Deelnemers uit alle groepen waren het erover eens dat publieke waarden die zich lastiger in techno-economische termen laten uitdrukken (zoals rechtvaardigheid, gelijkheid, onafhankelijkheid en ecologische waarde) nauwelijks meegenomen worden. Voorbeelden die zij hierbij noemden zijn ideeën over het opslaan van waterstof in zoutcavernes in Noord-Nederland, de productie van waterstof in Afrika en Zuid-Amerika of de materialen die gebruikt worden voor elektrolyse-apparaten die gepaard gaan met ecologische risico's (PFAS) of uitbuiting (iridium-mijnen in Zuid-Afrika). Zodoende is er buiten de subsidies voor waterstofonderzoek en bedrijven die van fossiele verdienmodellen af moeten stappen weinig aandacht voor de winnaars en verliezers van de opschaling van waterstof.

Deelnemer C3 legde uit hoe oog voor de verdeling van kosten en baten kan bijdragen aan de transitie: *'[...] als je de maatschappelijke kosten meeneemt, dan neem je ook heel veel aspecten mee die soms buiten zo'n techno-economische analyse worden gelaten, zoals bijvoorbeeld veiligheid. Soms zal er maatschappelijke weerstand zijn tegen een installatie, maar als ze mee mogen delen in de winsten bijvoorbeeld, [...] dan willen ze opeens wel meedoen.'*

Waardengedreven transitie extra belangrijk in huidige (geo)politieke context

Een groot deel van de deelnemers was voorstander van meer onderzoek naar de economische, sociale en ecologische condities waaronder waterstofproductie

wenselijk is. Zij zagen dit als een manier om het publieke belang beter te borgen binnen een toekomstige waterstofeconomie. Sommige deelnemers gingen verder en beschouwden een meer waardengedreven benadering als fundamentele noodzaak.

Het ontbreken van dit waardengedreven perspectief binnen het waterstofonderzoek achtten deelnemers extra problematisch binnen de huidige nationale politieke context en de mondiale geopolitieke onrust. Binnen de nationale context omdat in het democratisch systeem de kans reëel is dat het draagvlak voor waterstof onder druk komt te staan. De boerenprotesten omtrent de stikstofcrisis en de parlementaire enquêtecommissie aardgaswinning Groningen laten zien dat wettelijke afspraken en techno-economische argumenten in besluitvorming niet altijd volstaan om weerstand uit de maatschappij te ondervangen. Oog voor sociale en ecologische implicaties is een essentiële randvoorwaarde.

Ook de huidige geopolitieke situatie is een reden dat een eenzijdige focus op techno-economische argumenten tekortschiet. De totstandkoming van een waterstofeconomie omvat het opzetten van nieuwe productieketens voor voorzieningen die van groot maatschappelijk belang zijn. In het huidige geopolitieke klimaat is het aan te raden om na te denken welke afhankelijkheden in deze productieketens wenselijk en acceptabel zijn.

3.4 Conclusie

In de transdisciplinaire workshops kwam naar voren dat deelnemers zien dat publieke waarden en rechtvaardigheid in de huidige onderzoekspraktijk slechts op een onvolledige manier geborgd zijn. Deelnemers dachten open en constructief na over manieren om verschillende dimensies van rechtvaardigheid evenals sociale en ecologische waarden beter te verankeren in het waterstofonderzoek. Opvallend was de brede erkenning van de toegevoegde waarde van inter- en transdisciplinaire samenwerking in de agendering, programmering en uitvoering van onderzoek voor alle dimensies van rechtvaardigheid.

Deelnemers: verdelende rechtvaardigheid beperkt geborgd

Deelnemers aan de workshops gaven aan dat verdelende rechtvaardigheid slechts beperkt geborgd is in het waterstofonderzoek. Zij zien waterstof vooral als oplossing voor de procesindustrie, terwijl de bredere economische, sociale en ecologische verdelingsvraagstukken in onderzoek en beleid onderbelicht blijven. Deelnemers zien dat kennisagenda's veelal gericht zijn op het aanbod van waterstof en dat techno-economische waarden zoals efficiëntie en kosten daarbij de boventoon voeren. De vraag *waarom* en *voor wie* waterstof wordt ontwikkeld,

krijgt in het kennisecosysteem en het bredere publieke debat weinig aandacht. Deelnemers pleitten voor een explicieter debat over de maatschappelijke wenselijkheid van toepassingen en alternatieven en een sterkere integratie van sociaalwetenschappelijke en maatschappelijke perspectieven in het onderzoek.

Deelnemers: versterk procedurele rechtvaardigheid

Een meerderheid van de deelnemers was van mening dat procedurele rechtvaardigheid in het waterstofonderzoek versterkt moet worden. In de huidige praktijk bepalen een select aantal onderzoekers en industriële sectoren in hoge mate de agendering, programmering en uitvoering van onderzoek. Sociale wetenschappers en maatschappelijke actoren zijn vaak ondervertegenwoordigd, terwijl hun perspectieven cruciaal zijn voor het borgen van publieke waarden en de realisatie van een complexe systeemverandering als de totstandkoming van een waterstofeconomie. Uit de workshops kwamen vier suggesties naar voren voor het verbeteren van procedurele rechtvaardigheid:

1. Versterk inter- en transdisciplinaire samenwerking in de agendering, programmering en uitvoering van het onderzoek.
2. Beloon wetenschappers voor alternatieve vormen van impact, zoals interactie met maatschappelijke actoren waaronder burgers, bedrijven, beleidsmakers en politici.
3. Richt de focus van technisch onderzoek dat zich positioneert binnen de energietransitie op technologieën die tijdig inzetbaar zijn voor het halen van klimaatdoelen.
4. Versterk transparantie in de totstandkoming van onderzoeksuitvragen, honorering van voorstellen en richtlijnen voor samenwerking met de fossiele industrie.

Deelnemers: erkennende rechtvaardigheid belangrijk

Tijdens de workshops bestond brede overeenstemming over het belang van erkennende rechtvaardigheid. Door het uitwisselen van perspectieven groeide onder deelnemers het besef dat waarden als rechtvaardigheid, gelijkheid en ecologische verantwoordelijkheid momenteel onderbelicht zijn in het sterk technisch georiënteerde waterstofonderzoek. Deelnemers pleitten daarom voor meer onderzoek naar de sociale en ecologische randvoorwaarden van waterstofproductie. In de huidige nationale en geopolitieke context achtten zij een meer waardengedreven benadering extra belangrijk omdat zonder een dergelijke benadering de wenselijkheid van en het maatschappelijk draagvlak voor een waterstofeconomie in het geding komt.

4 Conclusies en implicaties

De ambitie van dit project was om beter te begrijpen hoe publieke waarden nadrukkelijker kunnen worden meegenomen in wetenschappelijk onderzoek voor duurzaamheidstransities. Het onderzoek rondom hernieuwbare waterstof vormde daarvoor een geschikte casus. Op basis van de principes van maatschappelijk verantwoord onderzoek en innovatie bestudeerden we het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof en organiseerden we twee interactieve workshops.

De analyse laat zien dat veel organisaties onderzoek doen naar hernieuwbare waterstof of bij dat onderzoek betrokken zijn via financiering, samenwerking, beleid of toepassing. Opvallend is dat veel van deze organisaties tegelijkertijd zich ook bezighouden, of zelfs afhankelijk zijn van niet-duurzame activiteiten. Omdat deze niet-duurzame praktijken mogelijk door hernieuwbare waterstof kunnen worden vervangen, hebben deze organisaties tegenstrijdige belangen. Immers, wanneer het waterstofonderzoek tot haalbare toepassingen leidt, zou dit, op termijn, hun inkomsten uit niet-duurzame praktijken in gevaar kunnen brengen. Voor de basisindustrie en de energiesector is het zeer onzeker of productie (op basis) van hernieuwbare waterstof net zo rendabel kan zijn als productie (gebruikmakend) van fossiele energie en grondstoffen. Het meeste onderzoek gaat over de technische aspecten van hernieuwbare waterstof. Maar de ontwikkeling van hernieuwbare waterstof heeft ook belangrijke sociale, economische en ecologische gevolgen.

De organisaties in het kennisecosysteem hebben echter maar beperkt oog voor rechtvaardigheidskwesties. De actoren besteden aandacht aan veiligheid en het voorkomen van schade als gevolg van onderzoek en innovatie. Veel partijen zien ook in dat de duurzaamheidstransitie winnaars en verliezers zal kennen. Maar er is weinig discussie over een eerlijke verdeling van kosten en baten van het *onderzoek*: over de verhouding tussen publieke en private investeringen, de verhouding tussen verschillende onderwerpen binnen het domein van hernieuwbare waterstof, en de verhouding tussen investeringen in waterstofonderzoek en onderzoek naar alternatieve transitiepaden. Voor organisaties die volledig inzetten op waterstof ligt die laatste discussie natuurlijk gevoelig, maar de meeste spelers in het kennisecosysteem houden zich ook bezig met andere energie-oplossingen.

Veel actoren in het kennisecosysteem zeggen dat ze transparantie belangrijk vinden, maar de deelnemers aan onze workshops vinden dat sleutelspelers hierin tekortschieten. Ze zouden onvoldoende helderheid bieden over de totstandkoming van onderzoeksuitvragen, honorering van voorstellen en richtlijnen voor

samenwerking met de fossiele industrie. Bovendien is de informatie waarover ze communiceren vaak complex en lastig te begrijpen voor het brede publiek.

Participatie, inclusie en draagvlak zijn wel concepten die veel terugkomen in documenten en interviews. Maar, wanneer de actoren in het kennisecosysteem hier aandacht aan besteden, heeft dat vooral een instrumenteel doel. Ze willen bezwaren van burgers begrijpen om ze te kunnen wegnemen, niet om de achterliggende waarden of wensen mee te nemen in de ontwikkeling van nieuwe technologie.

Figuur 1 Transdisciplinaire workshops brengen uiteenlopende thema's ter tafel



Tijdens de workshops spraken deelnemers uit verschillende disciplines met elkaar. Dat leidde onder andere tot nieuwe inzichten en meer begrip voor elkaar. Bron: Rathenau Instituut

Geïnformeerd door deze analyses, organiseerden we transdisciplinaire workshops over twee cruciale onderdelen van onderzoeksagendering en -programmering: het ontwerp van onderzoeksuitvragen, en richtlijnen voor samenwerking met bedrijven. Door de workshop konden de deelnemers spreken met mensen die ze normaal niet

ontmoeten. Deze interactie leidde tot perspectiefverbreding bij de deelnemers, zorgde voor vruchtbare uitwisseling van kennis en overtuigingen, en leverde originele en concrete ideeën op over hoe waterstofonderzoek beter kan bijdragen aan rechtvaardige verduurzaming.

De gesprekken in groepen legden ook belangrijk bevonden waarden bloot. Een voorbeeld was *rechtvaardigheid*, die kwam veelvuldig ter sprake. Soms expliciet, maar vaker impliciet ging het bijvoorbeeld over de oneerlijke verdeling van kosten en baten van onderzoek naar hernieuwbare waterstof of (on)eerlijke procedures voor hoe onderzoeksonderwerpen worden gekozen en onderzoek gefinancierd. Ook kwam veelvuldig ter sprake wie er betrokken zou moeten worden bij onderzoek en op welke manier. Dit is tenslotte een belangrijke manier waarop allerlei belangen en doelen kunnen worden meegewogen in het onderzoek.

Dit hoofdstuk bespreekt de aangrijpingspunten die deze resultaten bieden voor verbetering.

4.1 Expliciteren van kwesties is cruciale voorwaarde voor maatschappelijk verantwoord kennisecosysteem

Onze interactieve workshops hebben aangetoond dat het behulpzaam is om een complexe waarde zoals rechtvaardigheid eerst nader te specificeren voor de technologie in kwestie, voordat je bespreekt hoe deze precies kan en moet meewegen in beslissingen over onderzoek. In dit geval is precisering nodig van rechtvaardigheid bij de ontwikkeling van hernieuwbare waterstof, bijvoorbeeld langs de dimensies van verdelende, procedurele en erkennende rechtvaardigheid.⁹¹ Gesprekken hierover vinden weinig plaats in het huidige kennisecosysteem, dat sterk is georiënteerd op techno-economische waarden. We geven twee voorbeelden van rechtvaardigheidskwesties binnen dit domein.

Hoewel de meeste mensen het erover eens zijn dat verdelende rechtvaardigheid belangrijk is, blijken ze uiteenlopende standpunten te hebben over hoeveel publieke middelen passend zijn om toe te kennen aan onderzoek naar hernieuwbare waterstof. Een reden daarvoor is dat het succes van deze technologie onzeker is en de investeringen ten koste gaan van alternatieve oplossingen. Daarnaast spelen ook individuele overtuigingen een rol, zoals een voorkeur of afkeer voor kernenergie of het vertrouwen in het concept groene groei in het algemeen.

⁹¹ Deze observatie is in lijn met ander onderzoek naar hoe rechtvaardigheid in missiegedreven innovatiebeleid terugkomt. Het is vaak impliciet en vergt explicietatie (Wiarda et al., 2025).

Onderzoeksinvesteringen vormen een belangrijk verdelingsvraagstuk en zijn daarom belangrijk voor de rechtvaardigheid van een kennisecosysteem.

Een ander voorbeeld van een rechtvaardigheidskwestie is hoe onderzoekers binnen hernieuwbare waterstof verschillende sub-technologieën prioriteren, die behalve in hun techno-economische eigenschappen (zoals efficiëntie en kosten) ook verschillen in de benodigde grondstoffen. Keuzes in het onderzoek hebben daardoor indirect ook sociale en geopolitieke effecten, namelijk via de extractie, handel en transport van verschillende kritieke aardmetalen die nodig zijn voor water elektrolyse. Negatieve effecten treffen met name kwetsbare groepen, zoals mensen in de omgeving van Afrikaanse mijnen. De vraag in hoeverre dit soort effecten worden erkend, bepaalt ook de rechtvaardigheid van het kennisecosysteem.

Vervolgens kan een analyse worden gemaakt in hoeverre deze verschillende rechtvaardigheidskwesties in acht worden genomen in het onderzoek, wat leidt tot een uitspraak over de manier waarop rechtvaardigheid wordt meegewogen in het kennisecosysteem.

De benadering die we aan de hand van rechtvaardigheid hebben ontwikkeld, kan ook worden toegepast op andere publieke waarden. Met dit denkkader kan de maatschappelijke verantwoordelijkheid van een kennisecosysteem bespreekbaar en inzichtelijk worden gemaakt. Vanwege de normatieve lading van publieke waarden, leidt deze specificering niet automatisch tot een eindoordeel over of een kennisecosysteem maatschappelijk verantwoord is. Maar deze analyse biedt wel de mogelijkheid om tot een moreel of politiek gesprek te komen hierover. Door dit gesprek te voeren, leggen de organisaties in het kennisecosysteem verantwoording af over hoe het onderzoek raakt aan publieke waarden, zoals rechtvaardigheid. Onze workshops hebben bewezen dat het mogelijk is om dit gesprek constructief en effectief te voeren.

4.2 Transdisciplinaire workshops kunnen bijdragen aan het verankeren van publieke waarden in kennisecosystemen

Wat is er nodig om een kennisecosysteem meer maatschappelijk verantwoord te maken? Ons onderzoek laat zien dat het helpt om in een vroegtijdig stadium, namelijk bij de agendering en programmering ervan, een transdisciplinaire aanpak te hanteren, met zorgvuldig samengestelde groepen participanten én proces. Zorgvuldig betekent in dit geval een evenwichtige verdeling tussen verschillende

wetenschappelijke disciplines en maatschappelijke sectoren.⁹² Concreet houdt dat in dat de aantallen deelnemers uit sociale en geesteswetenschappen in balans zijn met die uit het bèta-technische domein en die met een maatschappelijke achtergrond. Ook het proces vraagt om aandacht. Deelnemers moeten worden betrokken vanuit hun inhoudelijke expertise en persoonlijke drijfveren. Belangen van organisaties moeten juist zoveel mogelijk op de achtergrond blijven.

Deze voorgestelde aanpak is nodig omdat onderzoek gericht op duurzaamheidstransities vaak verweven is met onderzoek dat bestaande, onrechtvaardige praktijken ondersteunt.⁹³ Onderzoeksgroepen werken bijvoorbeeld veel samen met grote bedrijven die het onderzoek inhoudelijk beïnvloeden door hun kennis en expertise in te brengen. Dit heeft tot gevolg dat ze waarden zoals betaalbaarheid of efficiëntie zwaarder meewegen bij hun beslissingen dan waarden als verdelende of erkennende rechtvaardigheid. Bovendien kleuren de belangen van grote bedrijven ook indirect het perspectief van deze onderzoeksgroepen, ook wanneer ze wel een ruime set aan waarden meewegen. Ze hebben daardoor weinig oog voor perspectieven die de positie van bedrijven aantasten.

Dat een transdisciplinaire aanpak kan werken, laten de door ons georganiseerde workshops zien. Met gelijkwaardige groepen deelnemers en een zorgvuldig proces, laten we zien dat het nadrukkelijker meewegen van rechtvaardigheid mogelijk is en meerwaarde heeft. We pleiten ervoor om deze gebalanceerde transdisciplinaire aanpak vaker toe te passen op verschillende plekken in het kennisecosysteem voor duurzaamheidstransities, zoals bij schrijfcommissies en beoordelingscommissies. Ons onderzoek richtte zich op de vroege fase van onderzoek: agendering, programmering en selectie.⁹⁴ Maar een dergelijke aanpak kan mogelijk ook helpen in latere fases, bijvoorbeeld bij onderzoeksvisitaties of bij de evaluatie van onderzoeksprogramma's.

In veel situaties zal een ander krachtenveld aanwezig zijn, bijvoorbeeld omdat het bedrijfsleven prominenter aan tafel zit. Op basis van ons onderzoek weten we niet in hoeverre de gebruikte methode ook in deze complexere setting tot een zinvolle transdisciplinaire uitwisseling leidt. Mogelijk zijn daarvoor andere gesprekstechnieken nodig dan die wij hebben toegepast.

⁹² Deze oproep sluit aan bij andere rapporten van de afgelopen tijd, zoals die van de AWTI en NECTR (AWTI, 2024).

⁹³ Ons onderzoek richtte zich op hernieuwbare waterstof, maar in transitie in de zorg of in de landbouw geldt hetzelfde. Zo krijgen farmaceutische bedrijven in de transitie naar preventieve gezondheidszorg op z'n minst tegenstrijdige prikkels, omdat preventie ten koste gaat van medicijnverkoop. In de eiwittransitie hebben veeboeren of coöperaties van boeren weinig belang bij die transitie, terwijl ze wel invloed hebben op onderzoek en innovatie.

⁹⁴ Schneider & Lannen, 2019.

4.3 Handelingsopties voor maatschappelijk verantwoord onderzoek en innovatie

De bovenstaande conclusies hebben implicaties voor enerzijds de individuen en organisaties rond het onderzoek naar hernieuwbare waterstof en anderzijds voor beleidsmakers en financiers die zich in bredere zin bezighouden met onderzoek voor duurzaamheidstransities en andere maatschappelijke opgaven. Hieronder gaan we in op de implicaties voor Tweede Kamerleden, voor beleidsmakers op ministeries, voor financiers en intermediairs, en voor individuele onderzoekers.

4.3.1 Onderzoek naar hernieuwbare waterstof

Kijk kritisch wie richting geeft aan onderzoek

De Tweede Kamer en ministeries sporen we aan om kritischer te beoordelen wie richting geeft aan het onderzoek naar hernieuwbare waterstof. Een belangrijke afweging daarbij is of de samenstelling van de groep beslissers voldoende zorg draagt voor de publieke waarden die de Kamer belangrijk acht. Transparantie over geldstromen is daarbij cruciaal: deze zichtbaar maken biedt meteen inzicht in de sturing van het onderzoek.

Een belangrijk aandachtspunt daarbij is dat de lange termijn van duurzaamheidstransities vaak keuzes vergt die strijdig zijn met de belangen van gevestigde partijen in het heden. Zo zal een energiesysteem gebaseerd op lokale productie minder gemakkelijk in te passen zijn in de infrastructuur van de huidige energiebedrijven dan een systeem met grootschalige productielocaties. En, een stapje radicaler, discussies over de houdbaarheid van het huidige consumptiepeil vanuit een post-groei-perspectief bedreigen de positie van vrijwel alle grote bedrijven.

De belangen die gevestigde partijen hebben bij de status quo vraagt om een kritische blik op hun invloed op onderzoek en ontwikkeling. Onderzoek voor duurzaamheidstransities bepaalt immers mede in wat voor soort wereld we zullen gaan leven. Het gesprek hierover, dat in hoge mate normatief en door waarden gedreven is, hoort bij uitstek thuis in de Tweede Kamer.

Formuleer *calls* en richtlijnen voor rechtvaardig waterstofonderzoek

Financiers en intermediairs die bezig zijn met waterstofonderzoek kunnen baat hebben bij de producten uit onze twee workshops. We reiken hen graag de inhoudelijke output van onze workshops aan (tabel 3 in paragraaf 3.2.1 en bijlage 3), die ze als bouwstenen kunnen gebruiken voor het uitwerken van

onderzoekscalls en het formuleren van richtlijnen over samenwerking. De uitkomsten van onze workshops vergen natuurlijk aanscherping en afstemming, maar ze bieden een waardevolle start. Ook voor de Tweede Kamer en ministeries geven deze uitkomsten een aanknopingspunt voor nieuw beleid om transdisciplinaire samenwerking aan te jagen en voor het inkaderen van de samenwerking tussen kennisinstellingen en bedrijven.

Stimuleer inter- en transdisciplinair waterstofonderzoek

Financiers en intermediairs kunnen ook een rol spelen bij het aanjagen van inter- en transdisciplinaire samenwerking rondom hernieuwbare waterstof. Op dit moment domineert in de agendering en programmering van onderzoek een beperkte, techno-economische opvatting over wat belangrijk is. Overweeg daarom om de deelname vanuit natuurwetenschappelijke en technische disciplines in te perken en de betrokkenheid vanuit sociale en geesteswetenschappen te versterken.

Let wel, sociaal- en geesteswetenschappelijke kennis meer meewegen bij het *agenderen en programmeren* van waterstofonderzoek, betekent niet dat sociaal- en geesteswetenschappers ook (evenredig) betrokken moeten zijn bij het *uitvoeren* van dit onderzoek.

Vraagarticulatie door maatschappelijke stakeholders is lastig en daardoor momenteel beperkt. De workshops, zoals in dit project georganiseerd, zouden als middel kunnen dienen om maatschappelijke stakeholders meer te betrekken.

Gezien de missie van het Rathenau Instituut ligt het niet voor de hand dat wij een structurele verantwoordelijkheid nemen voor het organiseren van dergelijke workshops. Natuurlijk dragen we onze ervaringen graag over aan partijen die de gekozen insteek willen toepassen.

Zoek de ontmoeting

Aan onderzoekers die op de een of andere manier onderzoek doen naar hernieuwbare waterstof zouden we willen zeggen: zoek de ontmoeting op met andersdenkenden, en laat u verrassen. Juist vanuit verrassende interactie kunnen de meest vooruitstrevende ideeën ontstaan.

4.3.2 Onderzoek voor maatschappelijke opgaven

Onderzoek opzetten voor maatschappelijke opgaven is niet gemakkelijk. Eerder formuleerde het Rathenau Instituut handreikingen voor opgavegericht onderzoek⁹⁵,

⁹⁵ Rathenau Instituut, 2021.

een concept dat intussen door diverse onderzoeksfinanciers wordt gebruikt. Opgavegericht onderzoek gaat uit van de complexiteit van een maatschappelijke opgave, en probeert met een inter- of transdisciplinaire aanpak bij te dragen aan integrale systeemoplossingen. Daarin onderscheidt het zich van onderzoek naar een veelbelovend idee voor een (technologische) deeloplossing. Uit ons onderzoek volgen een aantal implicaties voor verschillende stakeholders die een rol spelen in onderzoek voor duurzaamheidstransities.

Geef richting, op basis van publieke waarden

In de Tweede Kamer is overwegend steun voor onderzoek en innovatie, zeker in het licht van duurzaamheidstransities en andere maatschappelijke opgaven. Ook ministeries vestigen vaak veel hoop op het oplossend vermogen van de wetenschap voor het aanpakken van problemen. Die steun en hoop is begrijpelijk, maar op zichzelf niet voldoende, blijkt opnieuw uit dit onderzoek. Financieren en faciliteren van wetenschappelijk onderzoek kan tot nuttige doorbraken leiden. Maar deze lossen vaak maar een deel van het probleem op, soms creëren ze andere problemen, en leiden niet automatisch tot een transitie, laat staan een *rechtvaardige* transitie.

De Tweede Kamer is de ultieme arena waar verschillende waarden worden afgewogen, waaronder rechtvaardigheid. Sta stil bij de waarden en belangen die op het spel staan en bij de winnaars en verliezers van (n)iets doen. Deze afweging is belangrijk bij onderzoek voor duurzaamheidstransities. De actoren in het kennisecosysteem bepalen de precieze invulling van dit onderzoek, liefst in samenspraak met maatschappelijke partijen zoals we in dit rapport laten zien. Maar het is aan de politiek om voor dit type onderzoek een globale richting te kiezen, op basis van publieke waarden. Wetenschappers en adviesorganen moeten de Kamer de benodigde kennis en informatie verschaffen om deze richting te kunnen kiezen. Ministeries en onderzoeksfinanciers kunnen monitoren of publieke waarden daadwerkelijk worden gediend, in lijn met deze afweging.

Meer inter- en transdisciplinaire commissies

Verschillende onderzoeksfinanciers, zoals NWO, ZonMw, maar ook ministeries en andere overheden agenderen, programmeren en financieren onderzoek in het licht van maatschappelijke opgaven. Denk aan duurzaamheidstransities zoals de casus van dit rapport, maar ook opgaven als veiligheid of maatschappelijke ongelijkheid. Ons onderzoek laat zien dat kritische reflectie nodig is op wie wel en niet zou moeten meedoen aan het voorbereiden van dit onderzoek. En in welke rol. Streef daarbij naar meer inter- en transdisciplinaire commissies voor het opstellen van onderzoekscalls, het liefst in evenwichtige verhouding. En zorg voor de juiste werkvormen tijdens vergaderingen, waardoor mensen vooral vanuit hun

inhoudelijke expertise redeneren. Ervaren moderatoren en integratie-experts⁹⁶ kunnen daarbij helpen.

Betrek ook ondervertegenwoordigde groepen

Onderzoeksfinanciers en kennisinstellingen zouden kunnen verkennen hoe je maatschappelijke stakeholders en kleine bedrijven beter kunt laten meepraten over onderzoek voor maatschappelijke opgaven, bijvoorbeeld door ze een vergoeding te betalen. Immers, grote organisaties kunnen gemakkelijker mensen vrijspelen voor commissies en werksessies, maar dienen niet altijd het algemeen belang. Betrek ook ondervertegenwoordigde groepen en behartigers van het publieke belang bij het agenderen, programmeren en uitvoeren van onderzoek, zoals jongeren, praktisch geschoolde mensen of kunstenaars.

⁹⁶ Zie <https://itd-alliance.org/working-groups/integration-experts>.

Bijlage 1: verantwoording kennisecosysteemanalyse

Dit project is gericht op de vraag hoe publieke waarden nadrukkelijker kunnen worden meegenomen in wetenschappelijk onderzoek voor duurzaamheidstransities. Als casus nemen we wetenschappelijk onderzoek naar hernieuwbare waterstof, in het licht van de duurzaamheidstransities. De publieke waarde die we centraal stellen is rechtvaardigheid.

Om het onderzoek naar hernieuwbare waterstof te bestuderen, maken we gebruik van het concept kennisecosysteem. Een kennisecosysteem is simpel gezegd het geheel aan actoren en factoren dat de ontwikkeling en verspreiding van kennis bepaalt, in dit geval rondom hernieuwbare waterstof. Het gaat om fundamenteel, academisch onderzoek, maar ook om kennisontwikkeling rondom de (eerste) toepassing. We baseren ons hiervoor op de innovatiesysteempliteratuur, in het bijzonder over technologisch innovatiesystemen.⁹⁷ Vanuit de literatuur wordt er meestal onderscheid gemaakt tussen a) actoren, namelijk organisaties of individuen met agency, b) netwerken, de relaties tussen deze actoren, en c) de instituties, de regels, normen en waarden die het gedrag van de actoren beïnvloeden.⁹⁸ Samen bepalen deze elementen via een complex samenspel de vorm en richting van het kennisecosysteem en daarmee de kennisproductie en verspreiding.⁹⁹

We gebruiken het kennisecosysteem als analytisch raamwerk; een perspectief om naar de werkelijkheid te kijken. Alle actoren, netwerken en instituties die invloed hebben op het onderzoek naar hernieuwbare waterstof zijn onderdeel van het kennisecosysteem. In de praktijk hebben sommige van deze elementen meer invloed dan anderen, zoals het verantwoordelijke ministerie, grote industrie of prominente wetenschappers. Maar ook ngo's, duurzame bedrijven, onderzoeksinstituten en intermediaire organisaties mengen zich in de discussie en beleidsvorming en zijn daarmee onderdeel van het kennisecosysteem.

⁹⁷ Hekkert et al., 2011; Suurs et al., 2009.

⁹⁸ Markard & Truffer, 2008.

⁹⁹ Verschillende actoren zijn dus onderdeel van het systeem en geven tegelijkertijd invulling en sturing eraan. Ze zijn als het ware wederzijds ingebed: het systeem beïnvloedt het gedrag van de actoren en de actoren beïnvloeden het systeem.

Bewust gebruik van de kennis-ecosysteembenadering

We gebruiken het kennisecosysteem als conceptueel raamwerk wetende dat het ook beperkingen kent.¹⁰⁰ Zoals elk model is het een versimpeling van de werkelijkheid, dat sommige dingen uitvergroot en andere dingen negeert. Drie belangrijke beperkingen hebben we gedurende het onderzoek ondervangen. Zo maken we allereerst steeds duidelijk dat hernieuwbare waterstof mogelijk een rol gaat spelen, maar ook dat er veel onzekerheid en risico's bestaan. Een ecosysteembenadering kan namelijk onbedoeld suggereren dat de technologie wenselijk is en er *moet* komen.

Ten tweede hebben we rechtvaardigheid centraal gezet als publieke waarde. Veel studies die een ecosysteembenadering hanteren, zijn georiënteerd op economische groei: welke relaties en interacties helpen bedrijven te innoveren, en dragen bij aan het concurrentievermogen van een sector, regio of land?. Economische waarde kan daardoor een onevenredig grote rol krijgen in het kennisecosysteem, wat wij ondervangen met een focus op rechtvaardigheid.

Ten derde bestaan er zorgen over het gebruik van ecologische metaforen zoals een ecosysteem. Door maatschappelijke fenomenen te vergelijken met een natuurverschijnsel, krijgen deze een zekere vanzelfsprekendheid.¹⁰¹ Met name in de context van duurzaamheidstransities is dit zorgelijk. Waar transitie om fundamentele maatschappelijke verandering vragen, kan een ecosysteemmetafoor juist de status quo bevestigen. Tegelijk is de ecosysteemmetafoor ook krachtig. Hij benadrukt dat kennisproductie en verspreiding een complex samenspel zijn van actoren die in afhankelijk zijn van hun omgeving. En dat die omgeving kan veranderen door gerichte ingrepen of door evolutie. De metafoor benadrukt onzekerheid en de kracht van zelforganisatie.

Dit project kende twee fases. In de eerste fase verkenden we het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof en analyseerden we welke rol rechtvaardigheid daarin speelt. In de tweede fase zijn we meer actiegericht te werk gegaan en hebben we twee bijeenkomsten georganiseerd om te bepalen in hoeverre deze kunnen helpen bij het nadrukkelijker meewegen van rechtvaardigheid in onderzoek naar hernieuwbare waterstof. We hanteerden verschillende methoden, die we hieronder per fase toelichten.

¹⁰⁰ Smit, 2025.

¹⁰¹ Smit, 2025.

Een analyse van het kennisecosysteem in drie stappen

Om het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof te onderzoeken, doorliepen we drie stappen. In de eerste stap maakten we gebruik van openbare bronnen om te inventariseren welke organisaties (actoren) betrokken zijn bij onderzoek naar hernieuwbare waterstof, via welke projecten ze dat doen en binnen welke regels, wetten en beleid (instituten). Deze inventarisatie was exploratief van aard en maakte gebruik van bestaande overzichten en databases, te weten Scopus¹⁰², de Waterstofkaart¹⁰³, websites van de Topsectoren en TKI's¹⁰⁴, de ECCM-website¹⁰⁵, het projectenoverzicht van ISPT¹⁰⁶, de website van het Nationaal Waterstof Programma¹⁰⁷ en het TNO Elektrolyser Makersplatform.¹⁰⁸

Tijdens de tweede stap hielden we een serie gesprekken en bezochten we een aantal bijeenkomsten om deze initiële informatie aan te vullen, te leren hoe het kennisecosysteem rondom hernieuwbare waterstof functioneert, en om de rol van rechtvaardigheid daarbinnen te verkennen. We onderscheidden verschillende type actoren uit de eerste stap, te weten kennisinstellingen, intermediairs, bedrijven, overheden, ngo's en intermediaire organisaties, en zorgden dat we uit deze groepen sleutelspelers spraken¹⁰⁹ of bezochten.¹¹⁰

In de derde stap voerden we een systematische documentanalyse uit naar de manier waarop verschillende aspecten van rechtvaardigheid werden besproken. Daarvoor selecteerden we uit het kennisecosysteem zestien sleutelactoren en per actor één tot vier sleuteldocumenten of bronnen die inzicht gaven in het werk van de organisatie (in totaal 27 bronnen – zie bijlage 2). Dit waren beleidsstukken, strategiedocumenten, belangrijke onderzoeksrapporten, evaluaties, wetenschappelijke publicaties of verslagen van interviews met belangrijke personen binnen de organisatie, of websites. Voortbouwend op de literatuur over rechtvaardigheid¹¹¹ en door enkele documenten te lezen, hebben we een raamwerk opgesteld om rechtvaardigheid te onderzoeken binnen deze casus. Dit

¹⁰² <https://www.elsevier.com/products/scopus>.

¹⁰³ <https://waterstofkaart.missieh2.nl/nl>.

¹⁰⁴ <https://topsectorenergie.nl/nl>.

¹⁰⁵ <https://www.co2neutraalin2050.nl> (inmiddels niet meer beschikbaar).

¹⁰⁶ <https://ispt.eu/projects>.

¹⁰⁷ <https://nationaalwaterstofprogramma.nl/kennisbank/default.aspx>.

¹⁰⁸ <https://www.elektrolysermakersplatform.nl/over-ons-elektrolyser-makersplatform>.

¹⁰⁹ We spraken mensen van de volgende organisaties: TKI Nieuw Gas, GroenvermogenNL, NWO, Topsector Energie, PBL, TU Delft, Stichting Natuur en Milieu en TNO.

¹¹⁰ We bezochten de volgende bijeenkomsten: World Hydrogen Summit 2024, EZK Strategieseminar met Diederik Samson, ECCNS conferentie 2024, ECCM-MVI bijeenkomst 2024, Sustainable Industry Lab werksessies, en het H2 event van de TU Delft in 2024.

¹¹¹ De Looze et al., 2024; Dillman & Heinonen, 2022; Müller et al., 2022; Romero-Lankao et al., 2023.

resulteerde in 23 diagnostische vragen (zie onder).¹¹² Vervolgens doorzochten we alle documenten systematisch op expliciete of impliciete noties van rechtvaardigheid en noteerden hoe deze werden besproken in relatie tot het werk van de organisatie.

Diagnostische vragen en stellingen

De onderstaande stellingen en vragen zijn gebruikt bij het bestuderen van de sleuteldocumenten.

Verdelende rechtvaardigheid

- Er wordt met name geïnvesteerd in, of onderzoek gedaan naar technologieën of toepassingen rondom waterstof die positief zullen bijdragen aan energiezuinigheid of energiezuinigheid niet negatief zullen beïnvloeden.
- Zorg voor dat de ontwikkeling van waterstof in de duurzaamheidstransitie in verhouding staat tot de verwachte bijdrage aan verduurzaming, en daarmee niet andere technieken of doeleinden overmatig benadeelt (Dillman & Heinonen, 2022).
- De kosten van waterstofonderzoek en -ontwikkeling moeten eerlijk worden verdeeld, bijvoorbeeld door grote vervuilers of relatief vermogende actoren meer te laten betalen dan de burger (WRR, 2023).
- Eerlijke verdeling van onderzoeksfinanciering over verschillende onderzoeksgroepen houdt rekening met macht en private belangen die een eerlijke verdeling in de weg kunnen zitten (Romero-Lankao et al., 2023).
- Ontwikkeling / toepassing van nieuwe waterstof tot een verbeterde toegang tot voldoende (duurzame) energiebronnen (SIL, 2024).
- Er wordt rekening gehouden met de positie van minderbedeelden in de hoeveelheid die zij van hun inkomen moeten betalen voor energiediensten (WRR, 2023; SIL, 2024).
- Verdeling van financiële middelen; de vervuiler betaalt (of de sterkste schouders dragen het meest, of volgens het grootste nut, of maximalisatie van vrijheid).
- Duidelijke definities wie er verantwoordelijkheid neemt wanneer de innovaties verkeerd uitpakken (Romero-Lankao et al., 2023).
- In een maatschappelijk verantwoord kennisecosysteem wordt ervoor gezorgd dat toekomstige generaties zo min mogelijk betalen voor de gevolgen van klimaatverandering waar zij zelf niet verantwoordelijk voor gehouden kunnen worden (SIL, 2024).

¹¹² Initieel hadden we ook herstellende rechtvaardigheid meegenomen, maar dit bood weinig aanvullende inzichten naast procedurele en erkennende rechtvaardigheid. De literatuur spreekt ook over epistemologische rechtvaardigheid, klimaatrechtvaardigheid en energierechtvaardigheid. Hoewel elk van deze concepten interessante inzichten kan opleveren, zijn deze rechtvaardigheidsconcepten veelal sterk met elkaar verweven. Voor de min of meer empirische analyse die we hier uitvoeren, bieden deze concepten meestal weinig extra houvast.

Procedurele rechtvaardigheid

- Helderheid over wie keuzes maken over de verdeling van onderzoeks- en ontwikkelingsfinanciering en worden die keuzes gemaakt op basis van publieke waarden.
- De visies en vergezichten die leidend zijn voor onderzoek en ontwikkeling worden ontwikkeld vanuit een democratisch gedragen toekomstbeeld gecentreerd rondom publieke waarden en brede welvaart.
- Er wordt verantwoordelijkheid genomen voor bescherming van het klimaat / minimaliseren van milieurisico's met de ontwikkeling en implementatie van waterstof (SIL, 2024).
- De spelers die belangrijke keuzes maken over het vaststellen van de visie en de aard van de technologie zijn inclusief (Romero-Lankao et al., 2023).
- Er wordt belang gehecht aan het betrekken van burgers bij de implementatie van waterstof, om zo draagvlak te creëren (Dillman & Heinonen, 2022).
- De beslissingen en keuzes in het fundamentele onderzoeksproces zijn transparant en deze worden tussentijds gecommuniceerd naar buiten.
- Onderliggende waarden en motivaties zijn transparant en in lijn met het maatschappelijk belang. (Romero-Lankao et al., 2023).
- Er is aandacht voor publiekscommunicatie. Burgers worden actief op de hoogte gebracht van de ontwikkelingen rondom waterstof en iedereen heeft toegang tot deze informatie. (SIL, 2024).

Erkende rechtvaardigheid

- Onderzoek erkent naast economische waarde ook bijvoorbeeld sociale, culturele en milieuwaarde.
- In een maatschappelijk verantwoord kennisecosysteem wordt in het onderzoek rekening gehouden met huidig onrecht en achtergestelde groepen. (Romero-Lankao et al., 2023).
- In een maatschappelijk verantwoord kennisecosysteem worden de groepen die geraakt worden door de implementatie van waterstof erkend. Er wordt bewust rekening gehouden met deze groepen in het communicatie- en besluitvormingsproces. (Dillman & Heinonen, 2022).
- Aandacht, erkenning en hulp voor bestaande en nieuwe kwetsbare groepen die kunnen ontstaan vanwege de implementatie van waterstof. (Müller et al., 2022).
- Erkennen van het belang van maatschappelijke betrokkenheid voor sociale acceptatie; belang draagvlak wel erkennen maar niets aan doen (niet goed).
- Veiligheid en het voorkomen van (toekomstige) schade. (De Looze et al., 2024)

Sleuteldocumenten

Onderstaande documenten waren onderdeel van de documentanalyse.

- DIFFER Strategy 2023 – 2028 (2023) Materials, processes and systems for future energy, DIFFER, Eindhoven.
- Gasunie Jaarverslag 2023 (2024), Sleuteljaar in de energietransitie, Nederlandse Gasunie, Groningen.
- HyDelta 2, Social acceptance for hydrogen transport and storage, Resultaten uit stakeholder interviews over de maatschappelijke inbedding van de ontwikkeling en toepassing van waterstoftechnologie in Nederland. TNO, 2023.
- Milieudefensie, webpagina 'Wat is waterstof?'
<https://milieudefensie.nl/onderwerp/wat-is-waterstof>. Bezocht: 7-8-2024.
- Natuur en Milieu (2020) Visie vergroenen gascentrales. Van fossiel gas naar groene waterstof, Natuur en Milieu, Utrecht.
- New Energy Coalition (2021) Strategy Plan New Energy Coalition 2021-2024, New Energy Coalition, Groningen.
- Rijksoverheid (2018) Ontwerp van het Klimaatakkoord - alinea Waterstof in hoofdstuk Elektriciteit, <https://www.klimaatakkoord.nl>. Bezocht: 16-9-2024.
- Minister van EZK (2020) Kabinetsvisie waterstof, Rijksoverheid, Den Haag.
- Rli (2021) Waterstof. De ontbrekende schakel. Raad voor de leefomgeving en infrastructuur, Den Haag.
- Shell (2024) Shell Holland Hydrogen 1. Kick-starting the hydrogen economy of the Netherlands. Shell, Den Haag.
- Syngaschem (2020) Annual report 2019. Syngaschem, Eindhoven
- Nationaal Waterstof Programma (2022) Routekaart Waterstof.
www.nationaalwaterstofprogramma.nl. Bezocht: 19-7-2024.
- TKI Nieuw Gas (2024) Jaarrapportage TKI Nieuw Gas. Topsector Energie. Amersfoort.
- TKI Nieuw Gas (2018) Contouren van een Routekaart Waterstof. Topsector Energie. Amersfoort.
- TNO (2023) Future production scenarios and resulting hydrogen demand 2030-2050. P11327. www.tno.nl.
- TNO (2024) Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050. Scenario update and scenario variants for industry. TNO 2024 P10607.
www.tno.nl.
- TNO (2024) Evaluation of the levelised costs of hydrogen based on proposed electrolyser projects in the Netherlands. Renewable Hydrogen Cost Element Evaluation Tool (RHyCEET) TNO 2024 R10776. www.tno.nl.
- TNO (2024) The public perception of green hydrogen in the Netherlands. TNO 2024 R10988. www.tno.nl.

- TU/e (2022) Evaluation Report Research Assessment Department of Chemical Engineering & Chemistry Period 2015 – 2021. Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- TU/e (2022) Research self-assessment 2015-2021 Department of Chemical Engineering & Chemistry. Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- Universiteit Leiden (z.d.) Website Catalysis and Surface Chemistry Group <https://www.universiteitleiden.nl/en/science/chemistry/casc>. Bezocht: 11-9-2024.
- Universiteit Leiden (2021) <https://www.universiteitleiden.nl/en/news/2021/04/third-times-a-charm-erc-advanced-grant-for-marc-koper>. Bezocht: 11-9-2024.
- Universiteit Utrecht (z.d.) website Bijvoet Centre For Biomolecular Research <https://www.uu.nl/en/research/bijvoet-centre-for-biomolecular-research>. Bezocht: 17-9-2024.
- Universiteit Utrecht (2024) Debye Institute for Nanomaterials Science Institute for Sustainable and Circular Chemistry - Postgraduate Research Projects 2024. Utrecht University. Utrecht.
- Universiteit Utrecht (z.d.) Website Debye institute for nanomaterials science <https://www.uu.nl/en/research/debye-institute-for-nanomaterials-science>. Bezocht: 17-9-2024.
- Universiteit van Amsterdam (2024) Annual Report 2023 Van 't Hoff Institute for Molecular Sciences. www.uva.nl.
- Universiteit van Amsterdam (2024) Brochure Van 't Hoff Institute for Molecular Sciences. www.uva.nl.

Bijlage 2: probleemschetsen workshop 1

Waterstoftechnologie behelst een breed onderzoeksveld en de duurzaamheidstransitie is veelzijdig. Om het gesprek te concretiseren, focussen we op een drietal thema's die op dit moment spelen bij het onderzoek naar de productie van hernieuwbare waterstof. Aan al deze onderwerpen zitten natuurwetenschappelijke, technische, sociale en ethische aspecten en is er ruimte voor een brede betrokkenheid van heel diverse partijen. We schetsen een korte, algemene probleemstelling, als aanleiding voor de te ontwikkelen call-tekst. Deelnemers kiezen een onderwerp of worden daarop ingedeeld om parallel aan deze onderwerpen te werken.

Thema 1: onbalans in het elektriciteitsnet en de productie van hernieuwbare waterstof

Hernieuwbare waterstof wordt gezien als een belangrijke grondstof en energiedrager ter vervanging van fossiele grond- en brandstoffen. Ook wordt waterstof gezien als technologie die onbalans tussen elektriciteitsproductie en elektriciteitsconsumptie kan opvangen. Immers, hernieuwbare elektriciteitsproductie is doorgaans weersafhankelijk en daardoor niet goed af te stemmen op de elektriciteitsvraag in de samenleving. Dit leidt al tot overproductie van elektriciteit op bepaalde momenten van de dag en bepaalde periodes in het jaar. Elektriciteit kan worden opgeslagen in batterijen, maar de capaciteit is beperkt. Bovendien is op veel plekken het elektriciteitsnetwerk overbelast. Er wordt aan verzwaring van het net gewerkt, maar dat is duur en soms lastig in te passen en te organiseren in de ruimtelijke omgeving. Al met al heeft een onbalans in het elektriciteitsnetwerk negatieve gevolgen voor de beschikbaarheid en betaalbaarheid van hernieuwbare energie, en daarmee voor de rechtvaardigheid van de transitie.

In theorie zou onbalans op te vangen zijn door in tijden van overproductie van hernieuwbare elektriciteit, deze te gebruiken voor hernieuwbare waterstofproductie. In de praktijk is dit echter nog niet zo gemakkelijk.

Allereerst stelt het op- en afschalen van elektrolysecapaciteit hoge eisen aan de technologie.¹¹³ De prestaties van de meest gangbare technologie (alkaline-water-elektrolyse en proton-exchange-membraan-elektrolyse) gaan significant achteruit in termen van efficiëntie en levensduur, waardoor kosten toenemen.

¹¹³ Nguyen et al., 2024.

Ten tweede is de vraag wanneer de geproduceerde waterstof juridisch hernieuwbaar te noemen is, gegeven dat de elektriciteitsmix bestaat uit verschillende bronnen.

Ten derde kent de onbalans in het elektriciteitsnet regionale variaties. Het opvangen van die onbalans via duurzame waterstofproductie heeft daarom ook een geografische dimensie, inclusief de geografisch bepaalde sociale en economische aspecten zoals veiligheid.

Ten vierde zijn er ook andere aanpakken mogelijk om onbalans in het elektriciteitsnet op te vangen, zoals bijvoorbeeld batterijen en *demand regulation*, oftewel het aanpassen van de vraag naar elektriciteit om onbalans te verminderen. Dat kan door burgers te stimuleren om elektriciteit vooral af te nemen op momenten dat veel beschikbaar is of door bedrijven te stimuleren (of verplichten) om hun elektriciteitsvraag op bepaalde momenten af te schalen.

Dit thema gaat in brede zin over hoe hernieuwbare waterstof een rol kan spelen in het balanceren van de beschikbaarheid van duurzame energie en het gebruik van energie in Nederland. Het gaat over hoe waterstof zich daarbij verhoudt tot andere opties en verder ontwikkeling van technologie die past bij deze opgave.

Thema 2: decentrale productie van hernieuwbare waterstof

Hoe hernieuwbare waterstof ingepast zal worden in het energiesysteem van Nederland is onzeker. Op dit moment gaat veel aandacht naar grootschalige, centrale productie van groene waterstof, vooral in havengebieden met grootschalig gebruik door de industrie in clusters. Ook is een uitgebreide waterstof-transport-infrastructuur voorzien. Het slagen van de ontwikkeling is daarmee afhankelijk van een beperkt aantal plaatsen en organisaties.

Een alternatief ontwerp voor het energiesysteem zou zijn dat hernieuwbare waterstof vooral decentraal en kleinschaliger wordt geproduceerd en de waterstof primair lokaal wordt aangewend. Omdat het via een dergelijke decentrale route gaat om een groter aantal kleinere locaties kan sneller ervaring worden opgedaan met de bouw van de elektrolyzers. Dat zorgt voor kostenreductie. Dat is bijvoorbeeld gebeurd in de markt voor zonnepanelen.

Een optie is om productie dan te plaatsen in de buurt van gebruik. Een voordeel daarvan is dat er minder kosten zitten in het ombouwen of aanleggen van waterstofinfrastructuur, maar een nadeel is dat het elektriciteitsnet mogelijk extra capaciteit behoeft.

In plaats van de elektrolyse te plaatsen nabij gebruik, kan je de waterstofproductie ook juist plaatsen nabij de productielocatie van hernieuwbare elektriciteit. Een voordeel is dat je daarmee het elektriciteitsnetwerk ontlast. Een nadeel daarvan is dat er meer waterstof distributie nodig is. Sommige studies laten dan ook zien dat decentrale productie van hernieuwbare waterstof inderdaad mogelijk goedkoper is.¹¹⁴

Een nadeel voor decentrale waterstofproductie is dat er meer locaties zijn waar de veiligheid in orde moet zijn. Maar omdat er op dit moment veel aandacht uitgaat naar de centrale optie, raakt de decentrale route op de achtergrond. Er is nog veel onbekend over die decentrale route, terwijl die een aantal interessante voordelen zou kunnen bieden.

In algemene zin gaat dit programma om het beter begrijpen hoe de decentrale route voor waterstof gestalte kan krijgen en de technologieontwikkeling die daarvoor nodig is. Het gaat dan bijvoorbeeld om vragen als welke technologische opties daarvoor geschikt zijn: de al volwassen proton-exchange-membraan-elektrolyse of alkaline-technologie, of juist elektrolysetechnologie die zich nog in een vroeger ontwikkelingsstadium bevindt (zoals solid-oxide-elektrolyse, anion-exchange-membraan-elektrolyse, photochemical water splitting, of bio-photolysis)?¹¹⁵ Welke materialen zijn daarvoor beschikbaar en nodig? Hoe hangt beleid op verschillende niveaus (internationaal, landelijk, regionaal, lokaal) samen en welke kennis is er verder allemaal nog relevant?

Thema 3: materiaalkeuzes voor elektrolyse

Er bestaan verschillende technologieën voor elektrolyse zoals de redelijk volwassen proton-exchange-membraan-elektrolyse of alkaline-technologie tot technologieën meer in ontwikkeling, zoals solid-oxide-elektrolyse, anion-exchange-membraan-elektrolyse, of zelfs nog emergenter, zoals *photochemical water splitting*, of *bio-photolysis*. Afhankelijk van de technologie, zijn uiteenlopende materialen nodig, die naast hun technische eigenschappen belangrijke maatschappelijke implicaties hebben. Denk bijvoorbeeld aan de winning van metalen met uiteenlopende sociale en milieueffecten. Zo is voor alkaline-elektrolyse nikkel en zirkonium nodig en voor proton-exchange-membraan-elektrolyse platina, palladium, titanium en iridium.¹¹⁶ Onlangs brachten onderzoekers in kaart hoe, als gevolg van de hoge verwachtingen rondom waterstof, een platina-mijn in Zuid-Afrika tot een onrechtvaardige situatie leidt voor de lokale gemeenschap die in de

¹¹⁴ Lundblad et al., 2023.

¹¹⁵ Frowijn & Van Sark, 2021.

¹¹⁶ IEA 2021, The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions. World Energy Outlook Special Report. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ffd2a83b-8c30-4e9d-980a-52b6d9a86fdc/TheRoleofCriticalMineralsinCleanEnergyTransitions.pdf>.

buurt van die mijn woont.¹¹⁷ De ontwikkeling van verschillende technologische opties heeft dus belangrijke sociale en ethische implicaties.

De keuzes die in Nederland en de EU worden gemaakt rondom hernieuwbare waterstof hebben daarom effecten elders in de wereld, en andersom zullen de beslissingen elders ook implicaties hebben voor de ontwikkeling van hernieuwbare waterstof in Nederland en de EU. Op dit moment is er weinig kennis over hoe materiaalkeuzes voor elektrolyse samenhangen met de waardeketen van de winsten tot levering van die materialen.

Dit thema gaat in algemene zin over de materialen die nodig zijn voor elektrolyse, de technische ontwikkelingen, en de bredere implicaties.

¹¹⁷ Hartlief et al., 2024.

Bijlage 3: producten van workshop 1

A. Onbalans in het elektriciteitsnetwerk en de productie van hernieuwbare waterstof

Probleemschets (samenvatting van aangereikt materiaal)

Hernieuwbare waterstof is een belangrijke energiedrager en helpt onbalans in het elektriciteitsnet te verminderen. Bij overproductie van duurzame energie kan deze worden ingezet voor waterstofproductie, wat de energievoorziening stabiliseert. Elektrolysetechnologieën zoals alkaline-elektrolyse en proton-exchange-membraan-elektrolyse presteren echter minder goed bij variabele belasting, wat kosten verhoogt. Ook bestaan juridische vragen over de definitie van hernieuwbare waterstof en regionale verschillen in net-onbalans. Alternatieven zijn batterijen en *demand regulation*, waarbij het energieverbruik wordt aangepast aan het aanbod.

Doel, onderzoeksvragen en voorziene output

De overkoepelende vraag voor deze call is: Hoe zet je hernieuwbare H₂-productie in voor het oplossen van de onbalans, en in welke mate?

Onder deze vraag wordt nader ingegaan op de thema's sociaal, natuur/klimaat en techno-economisch, met extra aandacht voor de integratie van deze thema's.

Vragen op het sociale thema zijn onder andere:

- Wie zijn stakeholders en hoe worden zij beïnvloed?
- Wat is de verdeling van lusten en lasten en wat zijn de veiligheidsaspecten?

Vragen op het natuur/klimaat thema zijn onder andere:

- Wat is de impact ten opzichte van de status quo?
- Hoe zit het met de nationale en internationale dimensies van dit vraagstuk?

Techno-economische vragen zijn:

- Wat is de businesscase?
- Hoe verhoudt centrale zich tot decentrale waterstofproductie?

Het onderzoek moet niet alleen leiden tot wetenschappelijke publicaties, maar ook tot een maatschappelijke dialoog voor maximale impact. Dit kan bijvoorbeeld via workshops, adviezen, afwegingskader beleid en systeemmodellen.

Voorwaarden

Elk onderzoeksvoorstel moet ingaan op elk van de thema's (sociaal, natuur/klimaat en techno-economisch), inclusief de integratie daartussen. Naar elk thema moet minstens 20% van het onderzoeksbudget toe gaan voor een evenwichtige verdeling. Minstens 10% moet naar de integratie van de thema's gaan. Het voorstel moet duidelijk aangeven hoe integratie wordt gefaciliteerd.

Het onderzoeksconsortium moet bestaan uit partners afkomstig van tenminste zes typen organisaties in voorgeschreven rollen. Partners vanuit universiteiten en hogescholen hebben de rol van onderzoeker. Vanuit ngo's en industrie (productie of afnemers) hebben partners de rol van klankbord. Vanuit netbeheerders en overheden hebben projectpartners zitting in een stuurgroep.

Beoordelingsprocedure

De beoordeling vindt plaats via de gangbare processen zoals van NWO, met een beoordelingscommissie. In die commissie zitten experts uit de drie thema's en een integratie-expert. Ook zijn er vertegenwoordigers vanuit organisaties die ook kunnen aanvragen, dus naast commissieleden van universiteiten en hogescholen ook mensen vanuit ngo's, industrie, netbeheerders en overheden.

De beoordelingscriteria en weging zijn als volgt:

- Kwaliteit onderzoek: 40%
- Maatschappelijke impact: 20%
- Samenhang: 20%
- Maatschappelijke inclusiviteit: 20%

B. Decentrale productie van hernieuwbare waterstof

Probleemschets (samenvatting van aangereikt materiaal)

De rol van hernieuwbare waterstof in Nederland is onzeker. De focus ligt nu op grootschalige productie in havens voor de industrie, met uitgebreide infrastructuur. Decentrale productie, waarbij kleinere installaties lokaal waterstof maken en gebruiken, kan sneller kosten verlagen maar vraagt mogelijk netwerkuitbreiding. Dit ontlast het elektriciteitsnet maar vereist extra distributie. Hoewel potentieel goedkoper, krijgt decentrale productie weinig aandacht. Het programma onderzoekt technologieën, materialen en beleid om deze aanpak te ontwikkelen.

Doel, onderzoeksvragen en voorziene output

Als randvoorwaarde wordt aan dit programma de eis gesteld dat waterstof alleen gebruikt dient te worden waar niet geëlektrificeerd kan worden. Verder zitten er aspecten aan dit vraagstuk op technisch vlak en op het gebied van engagement

(maatschappelijke betrokkenheid). Het doel van het programma is om beide te belichten. Op het technische vlak moet het onderzoek techno-economische pilots ontwikkelen om daaruit te leren. Op het engagement-vlak gaat het over het effectief communiceren met en betrekken van stakeholders.

Mogelijke onderzoeksvragen zijn:

- Hoe kan decentrale waterstof het beste worden opgewekt met variabele duurzame bronnen?
- Hoe kunnen we decentrale waterstof inzetten voor brede welvaart?
- Hoe kunnen we stakeholders informeren en betrekken?

Er wordt uiteenlopende output voorzien voor de projecten in deze call, zoals blueprints (technische tekeningen van hoe decentrale waterstofproductie eruit moet zien), inzicht in *operational behavior* van de elektrolyser door variabele elektriciteitsinput, voorbeelden van succesvolle toepassing van waterstofinstallaties, adviezen over communicatievormen en betrokkenheid publiek, schetsen van betrokken persona's en een *engaged community*.

Voorwaarden

Binnen de projecten moet worden toegewerkt naar een evenwichtige balans tussen technische ontwikkeling en maatschappelijke betrokkenheid. Omdat de technische ontwikkeling meer materiele kosten met zich meebrengt moet ongeveer 70% van het onderzoeksbudget daaraan besteed worden (pilots, materieel). Zo'n 30% moet gaan naar maatschappelijke betrokkenheid (focusgroepen, vragenlijsten, informatievoorziening).

Het onderzoeksconsortium dient te bestaan uit kennisinstellingen, gemeenten en provincies, bedrijven en burgerorganisaties indien beschikbaar. Kennisinstellingen richten zich op onderzoek en toegankelijke communicatie. Gemeenten en provincies richten zich op sociaal draagvlak. Bedrijven richten zich op de uitvoering. Burgerorganisaties richten zich, net als gemeenten en provincies, ook op sociaal draagvlak.

Verder is het belangrijk dat het werk voortbouwt op eerdere pilots en gebruikmaakt van bestaande kennis. Resultaten dienen open access beschikbaar te zijn. En het project moet ervan uitgaan dat waterstof uitsluitend gebruikt wordt waar we niet kunnen elektrificeren.

Beoordelingsprocedure

Er wordt toegewerkt naar een onderzoeksconsortium via een consensusworkshop, waarbij gewaakt wordt voor kartelvorming, oftewel een dominantie van een klein

groepje machtige spelers. De kwaliteit van het onderzoek moet centraal staan hierin.

De beoordelingscriteria (en weging) voor het plan zijn:

- Maatschappelijke kosten en impact: 20%
- Balans van het consortium: 30%
- Plan van aanpak: 30%
- Interne samenwerking: 20%

De beoordelingscommissie wordt gevormd door mensen van overheden, bedrijven, wetenschappers en lokale belanghebbers.

C. Materiaalkeuzes voor elektrolyse

Probleemschets (samenvatting van aangereikt materiaal)

Elektrolysetechnologieën variëren van volwassen technieken zoals proton-exchange-membraan-elektrolyse en alkaline-elektrolyse tot opkomende methoden zoals solid-oxide-elektrolyse en *photochemical water splitting*. Deze technologieën vereisen verschillende materialen met diverse sociale en milieueffecten. Zo vraagt alkaline-elektrolyse om nikkel en zirkonium, terwijl proton-exchange-membraan-elektrolyse platina, palladium en iridium vereist. Dit kan leiden tot ethische problemen, zoals onrechtvaardige situaties rond mijnbouw, bijvoorbeeld in Zuid-Afrika. Beslissingen in Nederland en de EU over waterstoftechnologie hebben wereldwijd impact en vice versa. Er is nog weinig kennis over hoe materiaalkeuzes samenhangen met de waardeketen van winning tot levering. Dit thema richt zich op deze technische en maatschappelijke aspecten.

Doel, onderzoeksvragen en voorziene output

Deze onderzoeksvraag moet gaan over de sociale impact, milieu-impact en circulair gebruik van kritische grondstoffen (*critical raw materials*) en het gebruiken van alternatieven. Ook moet het gaan over lokaal beleid en uitvoering en bijdragen aan een lokaal ingebedde, rechtvaardige transitie. Daarbij zijn ook de geopolitieke implicaties van belang.

De centrale vraag is: Hoe bouwen we de beste (duurzaam, betaalbaar, betrouwbaar) elektrolyzers met de meeste positieve impact (milieu, rechtvaardig, klimaat)? Maar er is ook ruimte voor de vraag: Wat zijn de voor- en nadelen van groene waterstof?

De voorziene output zijn Social Life Cycle Assessments (S-LCA's) en beleidsadviezen, beide ook gericht op de toekomst (langetermijnscenario's). Ook

moet er op basis van de bestaande situatie een integrale *impact assessment tool* worden ontwikkeld voor het gebruik van verschillende materialen in elektrolyzers. Ten derde wordt nieuwe technologie voorzien als output van deze call.

Voorwaarden

Er wordt toegewerkt naar één consortium, via twee rondes (zie beoordelingsprocedure).

In het consortium moeten de volgende partners betrokken zijn:

- Kennisinstellingen met bèta-, gamma-, en alfa-kennis, en met diverse nationaliteiten.
- Ngo's om rechtvaardigheid in het oog te houden en hun kennis van en relatie met de maatschappij.
- Bedrijven voor hun kennis en geld (cofinanciering), zowel in de mijnbouw als elektrolyserproductie, waarbij geen ruimte is voor bedrijven die aan greenwashing doen.
- Overheden op alle schalen voor hun connecties, beleid en data.

Beoordelingsprocedure

Het selectie- en beoordelingsproces is als volgt. Na een open inschrijving in combinatie met gerichte uitnodigingen volgt een eerste selectie, waarin diversiteit en belangen worden meegewogen. Vervolgens vindt met deze partijen een sandpit-bijeenkomst plaats, wat uitmondt in een voorstel. Als dit akkoord is, kan het consortium aan de slag en anders moet het terug naar de tekentafel.

De criteria waarlangs beoordeeld wordt (en de weging ervan):

- Diversiteit van de groep, transdisciplinair werken, plan van aanpak: ++.
- Wetenschappelijke kwaliteit en beoogde resultaten: ++.
- Maatschappelijke relevantie en impact (opschaalbaarheid): ++.
- CRM's vervangen of reduceren: ++.
- Haalbaarheid van onderzoek/project: +.

Bijlage 4: literatuurlijst

Aguilar, F. I., Hoicka, C. E., & Seifitokaldani, A. (2025). Limited scientific evidence for decarbonization of energy end-uses and the challenges to learning and empowerment of green hydrogen niches - insights from Canada. *Energy Policy*, 206, 114763. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2025.114763>.

AIV. (2023). *Klimaatrechtvaardigheid als noodzaak* (AIV-advies Nr. 125; p. 64). Adviesraad Internationale Vraagstukken.

Avelino, F., Grin, J., Pel, B., & Jhagroe, S. (2016). The politics of sustainability transitions. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 18(5), 557-567. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2016.1216782>.

Avelino, F., Wijsman, K., Steenbergen, F. van, Jhagroe, S., Wittmayer, J., Akerboom, S., Bogner, K., Jansen, E. F., Frantzeskaki, N., & Kalfagianni, A. (2024). Just Sustainability Transitions: Politics, Power, and Prefiguration in Transformative Change Toward Justice and Sustainability. *Annual Review of Environment and Resources*, 49 (Volume 49, 2024), 519-547. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112321-081722>.

AWTI. (2024). *Vanzelfsprekende verbinding. Veranker sociaal- en geesteswetenschappelijk onderzoek in innovatie*. Adviesraad voor wetenschap, technologie en innovatie.

Bonhage, A., & Soete, M. (2023). *Voorbij de hype. Een reality check rond waterstof*. Bond Beter Leefmilieu en Greenpeace België.

Boomsma, C., Zonneveld, M., & Neuvel, J. M. M. (2024). *Publieke beelden bij een veilige en gezonde energietransitie. Deelrapport waterstof en ammoniak*. RIVM.

Chakravarty, S., De Bruijn, H., & Pérez-Fortes, M. (2025). Governing the development of CO2 electrolysis: How do we give an emerging technology a chance to contribute to a carbon neutral Europe? *Energy Research & Social Science*, 121, 103942. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2025.103942>.

Christensen, C. M. (2008). *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail* (Rev., updated, and with a new chapter, [Nachdr.]). Harvard Business School Press.

- Ciarli, T., & Ràfols, I. (2019). The relation between research priorities and societal demands: The case of rice. *Research Policy*, 48(4), 949-967.
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.027>.
- Cozzolino, A., Verona, G., & Rothaermel, F. T. (2018). Unpacking the Disruption Process: New Technology, Business Models, and Incumbent Adaptation. *Journal of Management Studies*, 55(7), 1166-1202. <https://doi.org/10.1111/joms.12352>.
- De Freitas Netto, S. V., Sobral, M. F. F., Ribeiro, A. R. B., & Soares, G. R. D. L. (2020). Concepts and forms of greenwashing: a systematic review. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-0300-3>.
- De Looze, A., Ten Caat, S., Maiello, A., Jhagroe, S., & Cuppen, E. (2024). *Temporalities of Energy Justice: Changing Justice Conceptions in Dutch Energy Policy between 1974 and 2022*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4724356>.
- DIFFER. (2023). *DIFFER Strategy 2023 – 2028 Materials, processes, and systems for future energy*. NWO.
- Dillman, K. J., & Heinonen, J. (2022). A ‘just’ hydrogen economy: A normative energy justice assessment of the hydrogen economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167, 112648. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112648>.
- Dirth, E., Biermann, F., & Kalfagianni, A. (2020). What do researchers mean when talking about justice? An empirical review of justice narratives in global change research. *Earth System Governance*, 6, 100042.
<https://doi.org/10.1016/j.esg.2020.100042>.
- Doeland, L. (2023). *Apocalypsofie: over recycling, groene groei en andere gevaarlijke fantasieën*. Ten Have.
- Duineveld, M., Dix, G., Plets, G., & Hüzeir, V. (2024). Climate Obstruction in the Netherlands: Strategic and Systemic Obstruction of Dutch Climate Policies (1980–Present). In R. J. Brulle, J. T. Roberts, & M. C. Spencer (Red.), *Climate Obstruction across Europe* (1ste dr., pp. 162-185). Oxford University Press.
<https://doi.org/10.1093/oso/9780197762042.003.0007>.
- EEA. (2024). *Delivering justice in sustainability transitions*. European Environment Agency.

Eitan, A., & Hekkert, M. P. (2023). Locked in transition? Towards a conceptualization of path-dependence lock-ins in the renewable energy landscape. *Energy Research & Social Science*, 106, 103316. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.103316>.

Elzenga, H., Eggink, E., & de Joode, J. (2025). *Groene waterstof: de praktische uitdagingen tussen droom en werkelijkheid; een verkenning naar de knelpunten en mogelijke oplossingsrichtingen in de ontwikkeling van een groenewaterstofmarkt*. PBL.

Elzenga, H., & Strengers, B. (2024). *Productie, import, transport en opslag van waterstof in Nederland. Achtergrondstudie binnen het project Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050*. PBL.

Elzinga, R., Janssen, M. J., Wesseling, J., Negro, S. O., & Hekkert, M. (2023). Assessing mission-specific innovation systems: Towards an analytical framework. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 48, 100745. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2023.100745>.

EZK. (2020). *Kamerbrief: Kabinetsvisie waterstof*. Ministerie van Economische Zaken.

Frowijn, L. S. F., & Van Sark, W. G. J. H. M. (2021). Analysis of photon-driven solar-to-hydrogen production methods in the Netherlands. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 48, 101631. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101631>.

Gasunie. (2024). *Jaarverslag 2023. Sleuteljaar in de energietransitie*. Gasunie.

Gigler, J. (2024). *Jaarrapportage TKI Nieuw Gas | Topsector Energie*. TKI Nieuw Gas | Topsector Energie.

Gordon, J. A., Balta-Ozkan, N., & Nabavi, S. A. (2023). Socio-technical barriers to domestic hydrogen futures: Repurposing pipelines, policies, and public perceptions. *Applied Energy*, 336, 120850. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120850>.

Hartlief, I., Kwizera, S., Lindobuhle Nene, D., Ngoatje, P., & Vally, F. (2024). *Hyped hydrogen: hidden harm*. SOMO.

Hebinck, A., Diercks, G., Von Wirth, T., Beers, P. J., Barsties, L., Buchel, S., Greer, R., Van Steenberghe, F., & Loorbach, D. (2022). An actionable understanding of societal transitions: the X-curve framework. *Sustainability Science*, 17(3), 1009-1021. <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01084-w>.

Hekkert, M., Janssen, M. J., Wesseling, J. H., & Negro, S. O. (2020). Mission-oriented innovation systems. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 34, 76-79. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.11.011>.

Hekkert, M., Negro, S. O., Heimeriks, G., Harmsen, R., & De Jong, S. (2011). *Technological Innovation System Analysis A manual for analysts*. Utrecht University.

Horcea-Milcu, A.-I., Dorresteyn, I., Leventon, J., Stojanovic, M., Lam, D. P. M., Lang, D. J., Moriggi, A., Raymond, C. M., Stålhammar, S., Weiser, A., & Zimmermann, S. (2024). Transformative research for sustainability: characteristics, tensions, and moving forward. *Global Sustainability*, 7, e14. <https://doi.org/10.1017/sus.2024.12>.

Johnson, N., Liebreich, M., Kammen, D. M., Ekins, P., McKenna, R., & Staffell, I. (2025). Realistic roles for hydrogen in the future energy transition. *Nature Reviews Clean Technology*, 1(5), 351-371. <https://doi.org/10.1038/s44359-025-00050-4>.

KGG & IenW. (2025). *Kamerbrief 32813-1535 Stand van zaken kabinetsvisie waterstofdragers*.

Kivimaa, P., & Kern, F. (2016). Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions. *Research Policy*, 45(1), 205-217. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.09.008>.

KNAW. (2019). *Evenwicht in het wetenschapssysteem. De verhouding tussen ongebonden en strategisch onderzoek*. Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen.

Lawrence, M., Homer-Dixon, T., Janzwood, S., Rockström, J., Renn, O., & Donges, J. F. (2024). Global polycrisis: the causal mechanisms of crisis entanglement. *Global Sustainability*, 7, e6. <https://doi.org/10.1017/sus.2024.1>.

Lundblad, T., Taljegard, M., & Johnsson, F. (2023). Centralized and decentralized electrolysis-based hydrogen supply systems for road transportation – A modeling study of current and future costs. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(12), 4830-4844. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.10.242>.

Markard, J., Raven, R., & Truffer, B. (2012). Sustainability transitions: An emerging field of research and its prospects. *Research Policy*, 41(6), 955-967.

<https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.02.013>.

Markard, J., & Truffer, B. (2008). Technological innovation systems and the multi-level perspective: Towards an integrated framework. *Research Policy*, 37(4), 596-615. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2008.01.004>.

Mierau, J. (2025, 4 april). *The Value of Health*.

<https://books.ugp.rug.nl/ugp/catalog/view/226/251/1434>.

Minister voor Klimaat en Energie. (2023). *Nationaal Plan Energiesysteem*.

<https://www.rvo.nl/onderwerpen/energiesysteem/nationaal-plan-energiesysteem>.

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2024). *Update van het Integraal Nationaal Plan Energie en Klimaat 2021-2030*. Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2024/06/21/update-van-het-integraal-nationaal-plan-energie-en-klimaat-2021-2030>.

Ministerie van Klimaat en Groene Groei. (2024). *Kabinetsvisie Waterstofdragers*.

Ministerie van Klimaat en Groene Groei. (2025). *Klimaat- en Energienota 2025*. Rijksoverheid.

Mouter, N., de Vries, M., Jenninga, S., Spruit, S., Amezian, A., & Munyasya, A. (2023). *Resultaten van de Landelijke Energieraadpleging 2023*. Populytics.

Müller, F., Tunn, J., & Kalt, T. (2022). Hydrogen justice. *Environmental Research Letters*, 17(11), 115006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac991a>.

Namiki, T. (2024). Introduction of the person-centered training 'Contemplative Dialogue Method' and qualitative exploration of trainees' experiences. *Person-Centered & Experiential Psychotherapies*, 23(2), 222-237.

<https://doi.org/10.1080/14779757.2023.2238032>.

Natuur en Milieu. (2020). *Visie vergroenen gascentrales. Van fossiel gas naar groene waterstof*. Natuur en Milieu.

New Energy Coalition. (2020). *Strategy Plan 2021-2024 Strength of the Coalition*. New Energy Coalition.

Nguyen, E., Olivier, P., Pera, M.-C., Pahon, E., & Roche, R. (2024). Impacts of intermittency on low-temperature electrolysis technologies: A comprehensive review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 70, 474-492.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.05.217>.

Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur. (2021). *Waterstof: de ontbrekende schakel*.

Rathenau Instituut (2016). *Chinese Borden. Financiële stromen en prioriteringsbeleid in het Nederlandse universitaire onderzoek*. (auteurs: Koier, E., Van der Meulen, B., Horlings, E., & Belder, R.). <https://www.rathenau.nl/nl/werking-van-het-wetenschapssysteem/chinese-borden>

Rathenau Instituut (2019). *Voorbereid op de praktijk. Anticiperen op de maatschappelijke inbedding van innovatie bij onderzoeks- & ontwikkelprogramma's*. (auteurs: Sikma, T., Verhoef, P., & Deuten, J.). <https://www.rathenau.nl/nl/werking-van-het-wetenschapssysteem/voorbereid-op-de-praktijk>

Rathenau Instituut (2021). *Onderzoeksprogramma's met een missie. Lessen voor opgavegericht innovatiebeleid*. (auteurs: Hessels, L., Van den Broek, J., Van Elzakker, I., Van Drooge, L., & Deuten, J.). <https://www.rathenau.nl/nl/werking-van-het-wetenschapssysteem/onderzoeksprogrammas-met-een-missie>

Rodhouse, T. S. G. H., Cuppen, E. H. W. J., Correljé, A. F., & Pesch, U. (2024). A new carrier for old assumptions? Imagined publics and their justice implications for hydrogen development in the Netherlands. *Technological Forecasting and Social Change*, 204, 123412. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123412>.

Romero-Lankao, P., Rosner, N., Brandtner, C., Rea, C., Mejia-Montero, A., Pilo, F., Dokshin, F., Castan-Broto, V., Burch, S., & Schnur, S. (2023). A framework to centre justice in energy transition innovations. *Nature Energy*, 8(11), 1192-1198.
<https://doi.org/10.1038/s41560-023-01351-3>.

Scheepers, M., Van Stralen, J., Giraldo Chavarriaga, J., Elberry, A., Uslu, A., & Oliveira, C. (2024). *Towards a sustainable energy system for the Netherlands in 2050. Scenario update and scenario variants for industry*. TNO.

Schneider, F., & Lannen, A. (2019). 10 steps to transformation. Creating the knowledge we need most demands a more proactive approach to funding. *Research Europe*, 11.

- Schöngart, S., Nicholls, Z., Hoffmann, R., Pelz, S., & Schleussner, C.-F. (2025). High-income groups disproportionately contribute to climate extremes worldwide. *Nature Climate Change*, 15(6), 627-633. <https://doi.org/10.1038/s41558-025-02325-X>.
- Smink, M. M., Hekkert, M. P., & Negro, S. O. (2015). *Keeping sustainable innovation on a leash?* Exploring incumbents' institutional strategies. *Business Strategy and the Environment*, 24(2), 86-101. <https://doi.org/10.1002/bse.1808>.
- Smit, J. P. (2025). (De)naturalizing knowledge ecosystems: on the use of ecological metaphors in STS and innovation studies. *Science as Culture*, 34(3), pp.355-383. <https://doi.org/10.1080/09505431.2025.2457731>.
- Sprenkeling, M. (2023). *Results from stakeholder interviews on the societal embeddedness of hydrogen technology development and deployment in the Netherlands*. TNO.
- Stilgoe, J., Owen, R., & Macnaghten, P. (2013). Developing a framework for responsible innovation. *Research Policy*, 42(9), 1568-1580. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2013.05.008>.
- Sustainable Industry Lab. (2024). *Rechtvaardige Industrie Transitie Dialoog 21 juni: De Nederlandse industrie van morgen Voorbereiding*. Sustainable Industry Lab.
- Suurs, R. A. A., Hekkert, M. P., & Smits, R. E. H. M. (2009). Understanding the build-up of a technological innovation system around hydrogen and fuel cell technologies. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 9639-9654. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.09.092>.
- TU/e (2022). EVALUATION REPORT Research assessment Department of Chemical Engineering & Chemistry Period 2015 – 2021. Eindhoven University of Technology, Eindhoven.
- Unruh, G. C. (2002). Escaping carbon lock-in. *Energy Policy*, 30(4), 317-325. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(01\)00098-2](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(01)00098-2).
- Van 't Hoff Institute for Molecular Sciences. (2024). *Annual Report 2023*. UvA.
- Von Schomberg, R. (2013a). A Vision of Responsible Research and Innovation. In R. Owen, J. Bessant, & M. Heintz (Red.), *Responsible Innovation* (1ste dr., pp. 51-74). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118551424.ch3>.

Von Schomberg, R. (2013b). A Vision of Responsible Research and Innovation. In R. Owen, J. Bessant, & M. Heintz (Red.), *Responsible Innovation* (1ste dr., pp. 51-74). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118551424.ch3>.

Wang, X., & Lo, K. (2021). Just transition: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, 82, 102291. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102291>

Wiarda, M., Rodríguez-Gironés, E., & Doorn, N. (2025). How has mission-oriented innovation policy addressed justice considerations? A systematic review. *Science and Public Policy*, scsf025. <https://doi.org/10.1093/scipol/scsf025>.

WRR. (2023). *Rechtvaardigheid in klimaatbeleid: Over de verdeling van klimaatkosten*. Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid.

© Rathenau Instituut 2025

Verveelvoudigen en/of openbaarmaking van (delen van) dit werk voor creatieve, persoonlijke of educatieve doeleinden is toegestaan, mits kopieën niet gemaakt of gebruikt worden voor commerciële doeleinden en onder voorwaarde dat de kopieën de volledige bovenstaande referentie bevatten. In alle andere gevallen mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie of op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming.

Open access

Het Rathenau Instituut hanteert een openaccessbeleid. Rapporten, achtergrondstudies, wetenschappelijke artikelen, software worden vrij beschikbaar gepubliceerd. Onderzoeksgegevens komen beschikbaar met inachtneming van wettelijke bepalingen en ethische normen voor onderzoek over rechten van derden, privacy, en auteursrecht.

Contactgegevens

Anna van Saksenlaan 51
Postbus 95366
2509 CJ Den Haag
070-342 15 42
info@rathenau.nl
www.rathenau.nl

Bestuur van het Rathenau Instituut

Drs. Maria Henneman (voorzitter)
Prof. dr. Noelle Aarts
Prof. dr. Nynke van Dijk
Dr. Laurence Guérin
Dr. Radjesh Manna
Joep Munten MSc
Prof. dr. ir. Behnam Taebi (vicevoorzitter)
Drs. Kees Verhoeven

Secretaris van het bestuur:

Prof. dr. ir. Eefje Cuppen (directeur Rathenau Instituut)

Het Rathenau Instituut stimuleert de publieke en politieke meningsvorming over de maatschappelijke aspecten van wetenschap en technologie. We doen onderzoek en organiseren het debat over wetenschap, innovatie en nieuwe technologieën.

Rathenau Instituut