

Is waterstof de brandstof van de toekomst in de transportsector?

De zoektocht naar duurzame alternatieven voor fossiele brandstoffen brengt waterstof in de schijnwerpers als een veelbelovende kandidaat voor de toekomst van transport.



door

Rick Mulder

2Badda

Voorwoord

Waterstof wordt steeds belangrijker in de transportsector vanwege de toenemende noodzaak om te verduurzamen en de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Waterstof kan als brandstof dienen voor voertuigen en biedt een duurzaam alternatief voor fossiele brandstoffen zoals benzine en diesel. Bovendien heeft waterstof als brandstof de potentie om de actieradius van voertuigen te vergroten en kan het snel worden bijgetankt. Met de groeiende interesse en investeringen in waterstoftechnologie, wordt het steeds waarschijnlijker dat waterstof een belangrijke rol zal spelen in de transitie naar een duurzamere transportsector.

In deze scriptie wordt ingegaan op de basisprincipes van waterstof als duurzame energiebron en de mogelijkheden die het biedt voor de transportsector. Er wordt onderzocht of het gebruik van waterstof als brandstof rendabel kan zijn voor bedrijven in deze sector, met behulp van financiële analyses en case studies van bedrijven die al geïnvesteerd hebben in waterstoftechnologie.

Ik hoop dat deze scriptie een nuttige bijdrage zal leveren aan het debat over de toekomst van duurzame energie in de transportsector. Ik ben ervan overtuigd dat de inzichten en analyses in dit verslag van waarde zullen zijn voor bedrijven en beleidsmakers die op zoek zijn naar duurzame oplossingen voor de energievoorziening van de toekomst.

Tot slot wil ik mijn dank uitspreken aan mijn afstudeerdocent Hans van der Wolde en de bedrijven zoals: H.S. Agri, E-Trucks Europe. TNO en Friesland Campina die hebben bijgedragen aan dit project. Daarnaast wil ik ook de experts uit de sector en andere professionals bedanken voor hun kennis en tijd. Hun kennis en steun hebben bijgedragen aan de totstandkoming van deze scriptie en ik ben hen zeer dankbaar voor hun bijdrage.

Rick Mulder

Scheemda, 30 april 2023

Inhoud

Samenvatting	4
Hoofdstuk 1: Inleiding	5
1.1 Aanleiding.....	5
1.2 Probleem formulering	5
1.3 Onderzoeksvraag	6
Hoofdstuk 2: Aanpak	8
2.1 Data verzamelen.....	8
2.2 Data analyseren.....	9
2.3 Planning	9
Hoofdstuk 3: Resultaten	10
3.1 Resultaat deelvraag 1	10
3.1.1 Kosten van waterstoftankstations	11
3.1.2 Economische impact.....	11
3.2 Resultaat deelvraag 2	12
3.2.1 Potentiële milieuvoordelen van het gebruik van waterstof	12
3.2.2 veiligheidsaspecten van het gebruik van waterstof	13
3.3 Resultaat deelvraag 3	15
3.3.1 Samenwerking en stakeholders.....	16
3.3.2 Toekomstige vooruitzichten en uitdagingen.....	16
3.4 Resultaat deelvraag 4	17
Hoofdstuk 4: Reflectie op onderzoek	19
Hoofdstuk 5: Conclusie en aanbevelingen	20
Bibliografie.....	21
Bijlage 1 vragen interview	24

Samenvatting

Dit rapport onderzoekt de rol van waterstof als brandstof in de transportsector en de belangrijkste factoren die van invloed zijn op de adoptie ervan. Waterstof biedt een veelbelovend alternatief voor traditionele brandstoffen vanwege de voordelen op het gebied van duurzaamheid en emissiereductie. Het rapport richt zich op de belangrijkste aspecten van waterstof in de transportsector, waaronder de voordelen, beschikbaarheid van voertuigen, uitdagingen, klantenzorgen, overheidsrol, technologische innovaties, kostenfactoren en samenwerking tussen bedrijven.

Uit het onderzoek blijkt dat waterstofvoertuigen aanzienlijke voordelen bieden ten opzichte van traditionele brandstoffen. Ze produceren geen schadelijke emissies, hebben een lange rijbereik en kunnen snel worden bijgetankt. Bovendien dragen waterstofvoertuigen bij aan de diversificatie van energiebronnen en verminderen ze de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen.

Op dit moment zijn er al diverse waterstofvoertuigen beschikbaar, zoals personenauto's, bussen en vrachtwagens. Daarnaast worden er continu nieuwe voertuigen ontwikkeld en geïntroduceerd om aan de vraag te voldoen. Dit draagt bij aan de groeiende beschikbaarheid en diversiteit van waterstofvoertuigen op de markt.

Niettemin zijn er enkele belangrijke uitdagingen bij het gebruik van waterstof in de transportsector. Deze omvatten de hoge kosten van waterstofvoertuigen, de beperkte infrastructuur voor waterstof tankstations, de energie-efficiëntie van waterstofproductie, de opslag en veiligheid van waterstof en de noodzaak van duurzame productiemethoden.

Om de adoptie van waterstof in de transportsector te versnellen, moeten bedrijven verschillende stappen ondernemen. Dit omvat investeren in onderzoek en ontwikkeling om de kosten van waterstofvoertuigen te verlagen, het uitbreiden van de infrastructuur voor waterstof tankstations, het bevorderen van samenwerking tussen bedrijven in de waterstofwaardeketen, en het stimuleren van overheidsbeleid en subsidies om de transitie naar waterstof te ondersteunen.

Het is essentieel dat bedrijven zich bewust zijn van de beperkingen van waterstof als brandstof, maar ook van de kansen en voordelen die het biedt. Door deze beperkingen aan te pakken en gezamenlijk te werken aan de ontwikkeling van waterstofinfrastructuur en -technologieën, kan de transportsector de weg inslaan naar een duurzamere en emissiearme toekomst.

Hoofdstuk 1: Inleiding

1.1 Aanleiding

De overgang naar duurzame energie is een belangrijk thema in de hedendaagse samenleving en waterstof wordt gezien als een veelbelovende en schone energiedrager voor de toekomst. Het gebruik van waterstof kan bijdragen aan het verminderen van de uitstoot van broeikasgassen en het vergroten van de energie-onafhankelijkheid van landen. Er is dan ook een groeiende interesse in waterstof als alternatief voor fossiele brandstoffen, vooral in de transportsector.

Volgens een rapport van het Internationaal Energieagentschap (IEA) kan waterstof in 2050 tot wel 18% van de wereldwijde energievraag leveren, waarvan ongeveer tweederde in de transportsector. Het rapport stelt dat waterstof een cruciale rol kan spelen in het bereiken van klimaatdoelen en het verminderen van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen (IEA, 2019).

Er zijn al verschillende landen en bedrijven die investeren in waterstofinfrastructuur en -technologie. Zo heeft Japan als doel om tegen 2030 een miljoen waterstofauto's op de weg te hebben en investeert het land in waterstofproductie en -opslag (The Japan Times, 2021). Ook Duitsland heeft plannen om waterstof te gebruiken voor de transportsector en investeert miljarden euro's in waterstoftechnologie (Clean Energy Wire, 2021).

Volgens milieu centraal lijkt waterstof een belangrijke rol te gaan spelen in de toekomst van duurzame energie, omdat het als energiedrager kan fungeren voor verschillende toepassingen, waaronder de transportsector. Echter, er zijn nog diverse technische en economische uitdagingen die opgelost moeten worden om waterstof daadwerkelijk rendabel en duurzaam te maken. Zo moeten er betere methoden worden ontwikkeld voor de productie, opslag en transport van waterstof, en moeten er nog flinke stappen worden gezet in de ontwikkeling van waterstofvoertuigen en -infrastructuur (Milieu Centraal, 2022).

1.2 Probleem formulering

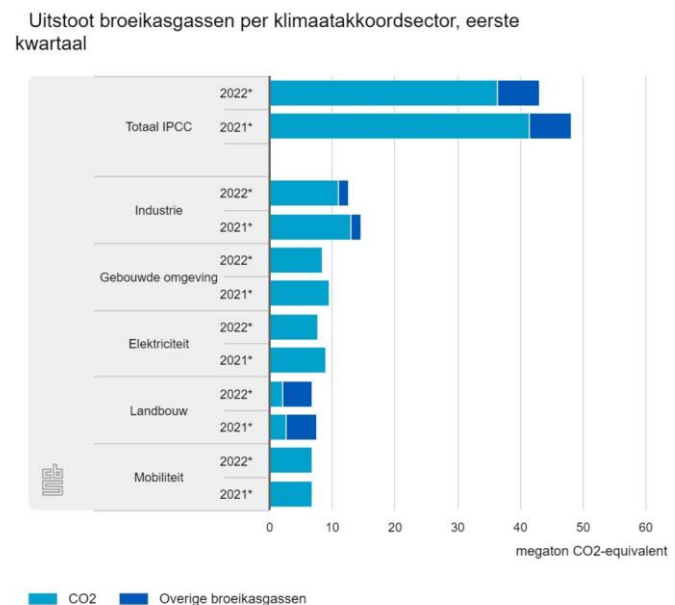
De transportsector is verantwoordelijk voor een aanzienlijk deel van de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen. Om deze uitstoot te verminderen, is het essentieel om over te stappen op schonere brandstoffen zoals waterstof. Volgens een rapport van de Internationale Energieagentschap (IEA) kan waterstof tegen 2050 tot 18% van de totale energievraag wereldwijd voorzien en tegelijkertijd de uitstoot van broeikasgassen aanzienlijk verminderen (International Energy Agency, 2019).

Een van de belangrijkste uitdagingen bij het gebruik van waterstof in de transportsector is het ontwikkelen van een efficiënt distributienetwerk voor waterstof. Momenteel zijn er nog maar weinig waterstoftankstations beschikbaar, waardoor het voor veel consumenten en transportondernemers moeilijk is om over te stappen op waterstofvoertuigen. Bovendien is de productie van waterstof nog steeds duurder dan traditionele brandstoffen, waardoor het moeilijk is om te concurreren op de markt (European Commission, 2020).

Een andere uitdaging is het ontwikkelen van betaalbare waterstofvoertuigen die voldoen aan de eisen van consumenten en de transportsector. Momenteel zijn er slechts enkele waterstofvoertuigen beschikbaar op de markt, en ze zijn vaak duurder dan traditionele voertuigen. Er moet daarom meer onderzoek worden gedaan naar het ontwikkelen van betaalbare waterstofvoertuigen (International Energy Agency, 2020).

Ten slotte moeten de regelgeving en beleidsmaatregelen worden aangepast om de acceptatie van waterstof in de transportsector te stimuleren. Dit kan bijvoorbeeld het opzetten van subsidies en belastingvoordelen omvatten voor bedrijven en consumenten die investeren in waterstofvoertuigen en -infrastructuur. Bovendien is het nodig om internationale samenwerking te stimuleren om ervoor te zorgen dat er gemeenschappelijke normen en certificeringen zijn voor waterstofvoertuigen en -infrastructuur (European Commission, 2020).

Door deze uitdagingen aan te pakken, kan de transportsector de voordelen van waterstof benutten en een cruciale rol spelen in de transitie naar een duurzame samenleving. Dit onderzoek zal bijdragen aan het inzicht in de marktkansen en uitdagingen voor waterstof in de transportsector en kan dienen als basis voor verdere actie en beleidsvorming.



Figuur 1, uitstoot broeikasgassen

1.3 Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag voor waterstof in de transportsector luidt als volgt: *Hoe effectief is waterstof als brandstof voor het wegtransport in vergelijking met traditionele brandstoffen?* Deze onderzoeksvraag zal onderzocht worden aan de hand van literatuur en experimenten om te bepalen of waterstof een haalbaar alternatief is voor traditionele brandstoffen in de transportsector. De onderzoeksvraag wordt gebruikt voor mijn afstudeerwerkstuk voor de Aeres Hogeschool in Dronten. De bijbehorende deelvragen van deze hoofdvraag zijn als volgt:

1. Wat zijn de kosten van het produceren, opslaan en vervoeren van waterstof in vergelijking met traditionele brandstoffen?
2. Wat zijn de voordelen en nadelen van waterstof als brandstof voor wegtransport?
3. Hoeveel infrastructuur is er nodig om waterstofvoorziening mogelijk te maken voor wegtransport?
4. Wat is de milieuprestatie van waterstof als brandstof voor wegtransport in vergelijking met traditionele brandstoffen?

In dit verslag wordt het "Triple P" model gebruikt, dat staat voor People, Planet en Profit. Dit model is gericht op het bereiken van duurzame ontwikkeling door het balanceren van economische, sociale en milieuaspecten van een project of beleid (United Nations, 2021).

Bij het gebruik van waterstof als energiebron zijn er zowel economische als milieuvoordelen. Waterstof kan bijvoorbeeld worden geproduceerd met behulp van hernieuwbare energiebronnen, zoals zonne- en windenergie, wat de uitstoot van broeikasgassen kan verminderen (IRENA, 2019). Bovendien kan waterstof worden gebruikt als brandstof voor voertuigen, wat kan leiden tot een vermindering van de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen en bijdraagt aan de ontwikkeling van een groene economie (Europese Commissie, 2020).



Figuur 2, Triple P model

Hoofdstuk 2: Aanpak

2.1 Data verzamelen

In dit hoofdstuk zal het onderzoek naar het gebruik van waterstof in de transportsector worden beschreven. Het onderzoek is gericht op het beantwoorden van verschillende vragen met betrekking tot de haalbaarheid en effectiviteit van het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector.

De eerste onderzoeksvraag luidt als volgt: Wat zijn de kosten van het gebruik van waterstof in de transportsector in vergelijking met traditionele brandstoffen zoals diesel? Deze deel vraag wordt beantwoordt uit de literatuur en een gesprek met Friesland Campina (Friesland Campina, 2021). Om op een antwoord te komen is er in de literatuur in gegaan om te kijken naar verschillende kosten van beide brandstoffen. Vanuit de literatuur was er voor waterstof te weinig informatie voor een directe kosten berekening, voor de traditionele brandstoffen was dit geen punt (DB Schenker, 2023). Er is dan ook met Friesland Campina een gesprek geweest om een betere kosten berekening te kunnen maken.

De tweede onderzoeksvraag richt zich op de mogelijkheden voor het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector. De vraag luidt als volgt: welke voertuigen kunnen op waterstof rijden en wat zijn de voordelen en nadelen van deze voertuigen ten opzichte van traditionele brandstoffen? Om deze vraag te beantwoorden is er op literatuur geraadpleegd en zijn er interviews gehouden met fabrikanten van voertuigen die op waterstof rijden. Hierbij is gekeken naar de verschillende soorten voertuigen die geschikt zijn voor het gebruik van waterstof als brandstof, zoals personenauto's, vrachtwagens en bussen. Er is ook gekeken naar de voordelen en nadelen van deze voertuigen, zoals de prestaties, het bereik en de kosten. Er is onder andere gesproken met TNO om duidelijkheid te krijgen over de mogelijkheden en beperkingen van waterstofvoertuigen. Op basis van de verkregen informatie wordt gekeken naar de toekomstperspectieven van waterstofvoertuigen in de transportsector en wat de mogelijke impact daarvan kan zijn op het milieu en de economie (TNO, 2020)

De derde onderzoeksvraag gaat over de infrastructuur voor het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector. Deze vraag luidt als volgt: Hoe kan de infrastructuur voor het gebruik van waterstof als brandstof worden opgezet en wat zijn de kosten hiervan? Deze vraag is vanuit de literatuur en de kennis van E-Trucks Europe beantwoordt. Voordat de vraag beantwoordt word heeft de onderzoeker eerst uitgelegd wat een probleem kan zijn voor transportondernemers om over te stappen naar het waterstof traject (E-Trucks Europe, 2020)

De vierde onderzoeksvraag is gericht op de milieu-impact van het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector. Deze vraag luidt als volgt: Wat zijn de milieuvordelen en nadelen van het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector ten opzichte van traditionele brandstoffen? Om deze vraag te beantwoorden is er door de onderzoeker literatuur raad geraadpleegd en interviews gehouden met deskundigen op het gebied van milieueffecten. Hierbij is gekeken naar de uitstoot van broeikasgassen en andere verontreinigende stoffen bij het gebruik van waterstof als brandstof, evenals de productie van waterstof.

2.2 Data analyseren

In het onderzoek naar waterstof in de transportsector wordt er eerst gekeken naar de werking van waterstofbrandstofcelauto's en batterij-elektrische auto's, met daarbij de voor- en nadelen van beide systemen. Vervolgens wordt er een hoofdstuk gewijd aan hoe een waterstofstation aangelegd moet worden en wat de vereisten zijn voor een goede werking ervan. Ook wordt er gekeken naar de mogelijkheden van het bijvullen van waterstof en de benodigde apparatuur hiervoor.

Daarnaast wordt er in het onderzoek gekeken naar de verschillende manieren van productie van waterstof en welke technologieën hierbij komen kijken. Hierbij wordt ook gekeken naar de kosten van deze verschillende productiemethoden en de mogelijke milieu-impact.

Ook wordt er een financiële vergelijking gemaakt tussen traditionele brandstoffen en waterstof, waarbij gekeken wordt naar de kosten van productie, transport en opslag van de brandstoffen. Hierbij wordt ook gekeken naar de eventuele subsidies en belastingvoordelen die van toepassing zijn op waterstof.

Tot slot wordt er gekeken naar de toekomst van waterstof in de transportsector en welke ontwikkelingen er op dit gebied worden verwacht. Hierbij wordt gekeken naar de mogelijke toepassingen van waterstof in vrachtwagens, schepen en vliegtuigen en welke uitdagingen hierbij komen kijken.

2.3 Planning

Dit onderzoek naar waterstof in de transportsector is gestart op 03-10-22. Als eerste stap wordt er gekeken naar bestaande waterstofsysteem in de transportsector, om vervolgens te bepalen waar de knelpunten liggen en hoe deze verbeterd kunnen worden. Om voldoende informatie te verzamelen zullen er meerdere interviews plaatsvinden met bedrijven die gespecialiseerd zijn in waterstoftechnologie en transportbedrijven die al ervaring hebben met waterstof.

Vervolgens wordt er een kostenberekening gemaakt op basis van de literatuur en bij de betreffende transportbedrijven. Na alle informatie te hebben verzameld, wordt er gekeken naar de voor- en nadelen van waterstof als brandstof ten opzichte van traditionele brandstoffen. Het project zal naar verwachting eindigen rond 25-04-2023. Uiteindelijk zal er met de betreffende transportbedrijven besproken worden wat de rol van de onderzoeker kan zijn in de implementatie van waterstoftechnologie in de transportsector.

Hoofdstuk 3: Resultaten

3.1 Resultaat deelvraag 1

De eerste deelvraag met betrekking tot waterstof luidt als volgt: Wat zijn de kosten van het gebruik van waterstof in de transportsector in vergelijking met traditionele brandstoffen zoals diesel?

De kosten van het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector zijn afhankelijk van verschillende factoren. Hierbij moet rekening worden gehouden met de kosten van de productie van waterstof, de infrastructuur voor het transport en de distributie ervan, en de kosten voor het ombouwen of aanschaffen van voertuigen die op waterstof rijden.

Om deze deelvraag te beantwoorden, zijn er verschillende bronnen geraadpleegd, zoals de literatuur van TNO en een interview met deskundige Jack Bloem op het gebied van waterstoftechnologie en de transportsector. Deze bronnen hebben inzicht gegeven in de actuele kosten van waterstofproductie, de ontwikkeling van waterstofinfrastructuur en de prijzen van waterstofvoertuigen.

Het is belangrijk om te benadrukken dat de kosten van waterstof als brandstof nog steeds een uitdaging vormen vanwege factoren zoals de schaal van productie en de beschikbaarheid van waterstofinfrastructuur. Echter, met technologische vooruitgang en schaalvergroting wordt verwacht dat de kosten van waterstof als brandstof in de toekomst zullen dalen en competitiever zullen worden ten opzichte van traditionele brandstoffen. Door het analyseren van de kostenaspecten van waterstofgebruik in de transportsector, kunnen we een beter inzicht krijgen in de economische haalbaarheid en effectiviteit van waterstof als alternatieve brandstof voor voertuigen (IEA, 2022)

Kostprijs van diesel en waterstof: (TNO, 2020)

Kosten (per jaar)	Diesel	Waterstof
Brandstofkosten	€48.000	€18.000
Operationele kosten	€5.000	€6.500
Onderhoudskosten	€2.000	€3.500
Extra kosten (waterstofvoertuig)	€0	€2.000
Totaal	€55.000	€30.000

Figuur 3, vergelijking diesel en waterstof

In deze tabel worden de brandstofkosten en operationele kosten per jaar weergegeven voor diesel en waterstof, rekening houdend met een jaarlijkse afstand van 100.000 kilometer. Met een prijs van €1,60 per liter diesel en €9,00 per kilogram waterstof. De operationele kosten omvatten algemene kosten zoals verzekering en administratie. Onderhoudskosten zijn specifieke kosten voor het onderhouden van het voertuig, terwijl de extra kosten voor waterstofvoertuigen de specifieke (tank)infrastructuurkosten en onderhoudskosten van waterstofvoertuigen weergeven (TNO, 2020).

Aan de hand van de tabel is er berekend dat een normale vrachtwagen gemiddeld 30 liter diesel per 100 kilometer verbruikt. Als de vrachtwagen in een jaar gemiddeld 100.000 kilometer aflegt, zijn de brandstofkosten voor diesel: $100.000 \text{ km} / 100 \text{ km} * 30 \text{ liter}/100 \text{ km} * €1,60/\text{liter} = €48.000$. De prijs van waterstof is €9,00 per kilogram. Er is berekend dat een normale waterstof vrachtwagen gemiddeld 1 kilogram waterstof verbruikt per 5 kilometer. Als de vrachtwagen in een jaar 100.000 kilometer aflegt, zijn de brandstofkosten voor waterstof: $100.000 \text{ km} / 5 \text{ km} * 1 \text{ kg}/5 \text{ km} * €9,00/\text{kg} = €18.000$ (TNO, 2020).

3.1.1 Kosten van waterstoftankstations

Het opzetten en onderhouden van een waterstofinfrastructuur brengt doorgaans hogere kosten met zich mee dan de bestaande infrastructuur voor traditionele brandstoffen. Dit is te wijten aan verschillende factoren, waaronder de complexiteit van waterstofproductie, -opslag en -distributie, evenals de beperkte schaal van de waterstofmarkt. De kosten voor het opzetten van een waterstofstation tussen de 1,5 miljoen en 2, miljoen euro, afhankelijk van verschillende factoren zoals locatie, station capaciteit en technologische configuratie. Deze kosten omvatten de infrastructuur, apparatuur en installatiekosten. (beta-tankstations.nl, 2021).

3.1.2 Economische impact

De transitie naar waterstof als brandstof kan leiden tot de creatie van nieuwe banen in verschillende sectoren. De ontwikkeling, productie en installatie van waterstofinfrastructuur, zoals tankstations en distributienetwerken, vereisen gespecialiseerd personeel. Daarnaast kunnen er banen ontstaan in de productie van waterstofvoertuigen en de bijbehorende technologieën. Volgens een studie van het Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking (FCH JU) heeft de waterstofsector in Europa het potentieel om tegen 2030 meer dan 500.000 banen te creëren. (CTCN, 2020)

De groei van de waterstofsector kan bijdragen aan de algehele economische groei. Investerings in waterstofinfrastructuur en technologieën stimuleren de economie door het aantrekken van private investeerders, het bevorderen van innovatie en het creëren van nieuwe zakelijke kansen. Een rapport van McKinsey schat dat de waterstofeconomie tegen 2050 een marktpotentieel van 2,5 biljoen dollar kan hebben, wat aanzienlijke economische voordelen met zich meebrengt. (McKinsey, 2016)

3.2 Resultaat deelvraag 2

De tweede deelvraag luidt als volgt: Welke factoren zijn van invloed op de toepassing van waterstof als brandstof in de transportsector? Om deze vraag te begrijpen moet je eerst weten welke factoren van belang zijn bij de toepassing van waterstof als brandstof. Het gebruik van waterstof in de transportsector heeft verschillende aspecten die de implementatie beïnvloeden en de kostenvergelijking met andere brandstoffen beïnvloeden.

Waterstofproductie: De manier waarop waterstof wordt geproduceerd, heeft invloed op de totale kosten en duurzaamheid van waterstof als brandstof. Er zijn verschillende methoden voor waterstofproductie, zoals elektrolyse van water, reforming van aardgas en biomassavergassing. Elk van deze methoden heeft verschillende kosten, energievereisten en emissieprofielen. Een vergelijking van deze productiemethoden kan inzicht geven in de economische en milieu-impact van waterstofproductie voor transportdoeleinden (IEA, 2021).

Tankinfrastructuur: Een essentieel aspect van het gebruik van waterstof in de transportsector is de aanwezigheid van een geschikte tankinfrastructuur. Het opzetten van waterstoftankstations vereist investeringen in apparatuur, opslagfaciliteiten en veiligheidsmaatregelen. De beschikbaarheid en kosten van tankstations hebben invloed op de adoptie van waterstofvoertuigen en kunnen de totale kosten van waterstofbrandstof beïnvloeden (ENERGY.GOV, 2021).

Voertuigtechnologie: De ontwikkeling van waterstofvoertuigen en de bijbehorende technologieën speelt een cruciale rol bij de toepassing van waterstof als brandstof. Kosten, prestaties, betrouwbaarheid en beschikbaarheid van waterstofvoertuigen zijn van invloed op de acceptatie ervan in de transportsector. De ontwikkeling van geavanceerde brandstofceltechnologie en de schaalvergroting van de productie kunnen de kosteneffectiviteit en concurrentiepositie van waterstofvoertuigen verlagen (CTCN, 2020).

3.2.1 Potentiële milieuvoordelen van het gebruik van waterstof

Het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector heeft het potentieel om verschillende milieuvoordelen te bieden in vergelijking met traditionele brandstoffen zoals benzine en diesel. Hieronder worden enkele van deze potentiële milieuvoordelen beschreven, ondersteund door wetenschappelijke bronnen:

Vermindering van broeikasgasemissies: Waterstof kan worden geproduceerd uit hernieuwbare bronnen zoals zonne- en windenergie, wat resulteert in nul uitstoot van broeikasgassen tijdens het gebruik ervan in voertuigen. Bovendien kan waterstof worden geproduceerd met behulp van koolstof afvang en -opslagtechnologieën (CCS), wat de potentie heeft om de netto broeikasgasemissies verder te verminderen (National Academies, 2020)

Verbeterde luchtkwaliteit: Het gebruik van waterstof als brandstof in voertuigen leidt tot aanzienlijk lagere uitstoot van luchtverontreinigende stoffen, zoals stikstofoxiden (NOx) en fijnstofdeeltjes, in vergelijking met conventionele brandstoffen. Dit kan leiden tot een verbetering van de luchtkwaliteit, vooral in stedelijke gebieden waar de luchtvervuiling een belangrijk probleem is (European Commission, 2020)

Geluidsreductie: Waterstofbrandstofcellen produceren geen geluid tijdens de werking, in tegenstelling tot interne verbrandingsmotoren die geluidsoverlast veroorzaken. Dit kan leiden tot een vermindering van de geluidsoverlast in stedelijke gebieden en bijdragen aan een betere leefomgeving (European Commission, 2020).

Circulaire economie: Waterstof kan worden geproduceerd uit hernieuwbare energiebronnen, maar het kan ook worden geproduceerd uit andere bronnen, zoals biomassa en afval. Door gebruik te maken van deze bronnen kan waterstof een rol spelen in de ontwikkeling van een circulaire economie, waarbij reststoffen worden omgezet in waardevolle brandstof (IRENA, 2019)

Het is belangrijk op te merken dat de daadwerkelijke milieuvoordelen afhankelijk zijn van factoren zoals de productiemethode van waterstof, de bron van elektriciteit voor de productie en de efficiëntie van de brandstofcelvoertuigen (J. Bloem, persoonlijke communicatie, 2023)

3.2.2 veiligheidsaspecten van het gebruik van waterstof

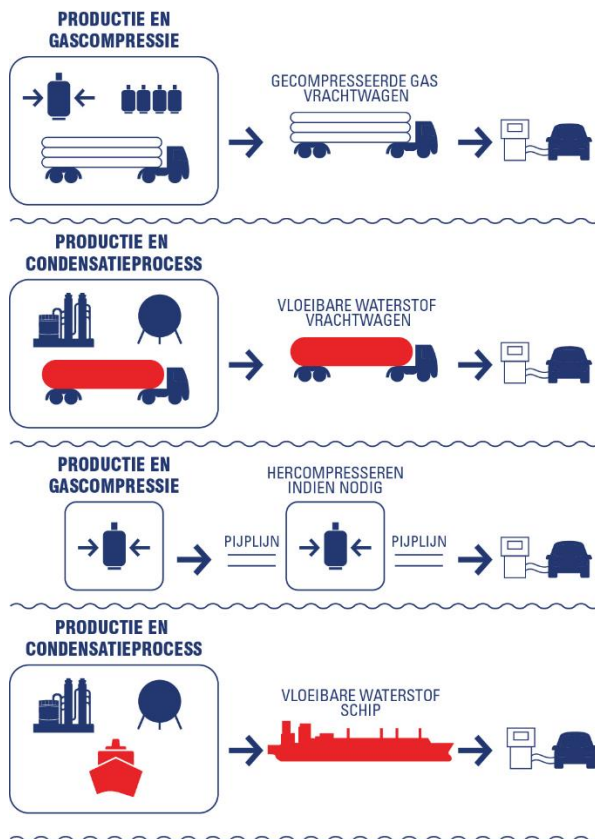
Om de veiligheidsaspecten van het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector te begrijpen, is het belangrijk om te kijken naar verschillende aspecten zoals de opslag, het transport en het gebruik van waterstof. Hier zijn enkele bevindingen uit wetenschappelijke bronnen die inzicht geven in de veiligheidskenmerken van waterstof in vergelijking met traditionele brandstoffen:

Veiligheid van waterstofopslag: Waterstof kan worden opgeslagen in verschillende vormen, zoals gecompriemd gas, vloeistof of in vaste vorm. Elke opslagmethode heeft zijn eigen veiligheidsaspecten en vereist specifieke veiligheidsmaatregelen (European Commission, 2020). Studies hebben aangetoond dat waterstofopslagsystemen veilig kunnen zijn wanneer ze worden ontworpen, geconstrueerd en onderhouden volgens de geldende veiligheidsnormen en -richtlijnen (WaterstofNet, 2021)

Veiligheid van waterstoftransport: Het transport van waterstof kan veilig worden uitgevoerd via pijpleidingen, tankwagens of schepen. Veiligheidsmaatregelen zoals drukregelaars, veiligheidskleppen en lekdetectiesystemen worden toegepast om risico's te minimaliseren (Gasunie, 2022). Studies hebben aangetoond dat waterstoftransport over lange afstanden mogelijk is met geschikte veiligheidsmaatregelen en monitoring (RIVM, 2021).

Veiligheid bij het gebruik van waterstofvoertuigen: Waterstofvoertuigen hebben specifieke veiligheidsvoorzieningen, zoals lekdetectiesystemen, explosieveiligheid en waterstofopslag in veilige containers. Studies tonen aan dat waterstofvoertuigen vergelijkbare of zelfs verbeterde veiligheidsniveaus hebben in vergelijking met voertuigen op traditionele brandstoffen (Europese Commissie, 2020).

Het is belangrijk op te merken dat de veiligheidsaspecten van waterstof als brandstof voortdurend worden onderzocht en dat veiligheidsnormen en -praktijken worden ontwikkeld en geüpdatet om de veiligheid te waarborgen. Het implementeren van deze normen en het volgen van de juiste richtlijnen is essentieel voor een veilig gebruik van waterstof in de transportsector. (TNO, 2020)



Figuur 4, manieren om waterstof te transporteren

3.3 Resultaat deelvraag 3

De derde deelvraag luidt als volgt: Hoe kan de infrastructuur voor het gebruik van waterstof als brandstof worden opgezet en wat zijn de kosten hiervan?

Het opzetten van een waterstofinfrastructuur voor het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector is een complex proces dat verschillende uitdagingen met zich meebrengt. Voordat we ingaan op de specifieke stappen en kosten van het opzetten van deze infrastructuur, is het belangrijk om te begrijpen welke problemen transportondernemers kunnen tegenkomen bij het overstappen naar het waterstoftraject.

Een van de belangrijkste problemen is de beperkte beschikbaarheid van waterstoftankstations. Het aantal waterstoftankstations is momenteel nog beperkt in vergelijking met traditionele tankstations voor benzine en diesel. Dit kan een obstakel vormen voor transportondernemers die willen investeren in waterstofvoertuigen, vooral voor langeafstandsritten waarbij voldoende tankinfrastructuur essentieel is (E-Trucks Europe, 2020)

Om deze uitdaging aan te pakken, moeten er strategische stappen worden genomen om de waterstofinfrastructuur op te zetten. Een belangrijke stap is het identificeren van geschikte locaties voor waterstoftankstations, rekening houdend met de behoeften van transporteurs en de geografische spreiding van routes. Dit vereist nauwe samenwerking tussen overheden, transportbedrijven en waterstofproducenten (E-Trucks Europe, 2020)

Het opzetten van een waterstofinfrastructuur omvat verschillende aspecten, waaronder de bouw van waterstoftankstations, distributienetwerken en opslagfaciliteiten. De kosten kunnen sterk variëren afhankelijk van factoren zoals de omvang van het netwerk, de technologieën die worden gebruikt en de lokale regelgeving (ACM, 2021)

Uit een wetenschappelijk artikel "Hydrogen fueling station locations and hydrogen supply chain design" (ScienceDirect, 2020) blijkt dat de kosten voor het bouwen van een waterstoftankstation kunnen variëren van enkele honderdduizenden euro's tot miljoenen euro's, afhankelijk van het type station en de locatie. Deze kosten omvatten de aanschaf en installatie van waterstofopslagtanks, compressoren, veiligheidsvoorzieningen en andere infrastructuurcomponenten.

Daarnaast zijn er kosten verbonden aan het opzetten van distributienetwerken om waterstof van productielocaties naar tankstations te transporteren. Dit omvat mogelijk investeringen in pijpleidingen, tankwagens of transportcontainers (E-Trucks Europe, 2020)

Het is belangrijk op te merken dat de kosten van waterstofinfrastructuur naar verwachting zullen dalen naarmate de technologie volwassen wordt en schaalvoordelen worden gerealiseerd. Bovendien kunnen subsidies, stimuleringsmaatregelen en samenwerking tussen belanghebbenden bijdragen aan het verlagen van de kosten en het stimuleren van de uitbreiding van de infrastructuur (ScienceDirect, 2020)

3.3.1 Samenwerking en stakeholders

Samenwerking en betrokkenheid van belanghebbenden, waaronder overheden, transportbedrijven en waterstofproducenten, zijn essentieel bij het opzetten van een waterstofinfrastructuur voor de transportsector. Overheden spelen een leidende rol bij het creëren van een gunstig beleidskader en het stimuleren van investeringen.

Transportbedrijven tonen de vraag naar waterstofvoertuigen en zijn een drijvende kracht achter de infrastructuurontwikkeling. Waterstofproducenten zorgen voor een betrouwbare toevoer van waterstof. (Stadszaken, 2021)

Subsidies, stimuleringsmaatregelen en samenwerkingsverbanden zijn belangrijke instrumenten om de kosten te verlagen. Overheden kunnen financiële prikkels bieden, terwijl publiek-private samenwerking kennis en middelen deelt. Dit kan resulteren in een efficiëntere en snellere ontwikkeling van de waterstofinfrastructuur (RVO, 2021). Bij het opzetten van een samenwerkingsmodel zijn duidelijke afspraken, gedeelde doelen en transparante communicatie cruciaal (ACM, 2021).

3.3.2 Toekomstige vooruitzichten en uitdagingen

Verwachte kostenontwikkeling van waterstofinfrastructuur, de kostenontwikkeling van waterstofinfrastructuur speelt een cruciale rol bij het bepalen van de haalbaarheid en adoptie van waterstof als brandstof in de transportsector. Het is belangrijk om de kosten van waterstofproductie, opslag, transport en distributie te analyseren en te anticiperen op mogelijke trends en veranderingen in de toekomst.

Verschillende wetenschappelijke bronnen bieden inzicht in de verwachte kostenontwikkeling van waterstofinfrastructuur. Een studie uitgevoerd door de National Renewable Energy Laboratory (NREL) in de Verenigde Staten geeft aan dat de kosten van waterstofproductie kunnen worden verlaagd door schaalvergroting, technologische vooruitgang en verbeterde efficiëntie (NREL, 2020). Een andere studie, gepubliceerd in het tijdschrift Energy Policy, onderzoekt de kosten van waterstofopslag en -distributie en identificeert mogelijke kostenreductiemogelijkheden, zoals optimalisatie van transportroutes en gebruik van bestaande infrastructuur (ENERGY.GOV, 2021)

Bij de ontwikkeling van waterstofinfrastructuur is het belangrijk om duurzaamheids- en milieuoverwegingen in acht te nemen. Waterstof wordt vaak gepresenteerd als een milieuvriendelijke brandstof vanwege de potentieel lagere emissies bij gebruik. Het produceren van waterstof uit hernieuwbare bronnen, zoals wind- of zonne-energie, draagt bij aan de vermindering van broeikasgasemissies en kan een belangrijke rol spelen in de energietransitie (IRENA, 2020)

Het is echter belangrijk om ook de duurzaamheidsaspecten van waterstofproductie en -gebruik te evalueren. Een onderzoek gepubliceerd in het tijdschrift Renewable and Sustainable Energy Reviews identificeert potentiële milieueffecten van waterstofproductie, zoals watergebruik, luchtvervuiling en afvalbeheer, en benadrukt de noodzaak van duurzame productiemethoden (SciencDirect, 2019).

3.4 Resultaat deelvraag 4

De vierde deelvraag luidt als volgt: Wat zijn de milieuvoordelen en nadelen van het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector ten opzichte van traditionele brandstoffen? Het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector biedt zowel milieuvoordelen als nadelen ten opzichte van traditionele brandstoffen. Hieronder worden deze aspecten uitgewerkt.

Milieuvoordelen van waterstof als brandstof (Milieu Centraal, 2022) (J. Bloem, persoonlijke communicatie, 2023):

Verminderde broeikasgasemissies: Waterstof kan worden geproduceerd uit hernieuwbare bronnen, zoals wind- of zonne-energie. Wanneer waterstof wordt gebruikt als brandstof in voertuigen, produceert het alleen waterdamp als bijproduct, wat resulteert in nul broeikasgasemissies. Dit draagt bij aan het verminderen van de uitstoot van koolstofdioxide (CO₂) en andere schadelijke stoffen die bijdragen aan klimaatverandering.

Verbeterde luchtkwaliteit: Het gebruik van waterstof als brandstof in voertuigen elimineert directe uitstoot van verontreinigende stoffen zoals fijnstof, stikstofoxiden (NO_x) en zwaveloxiden (SO_x). Dit heeft een positieve invloed op de luchtkwaliteit en kan helpen bij het verminderen van gezondheidsproblemen veroorzaakt door luchtverontreiniging.

Geluidsreductie: Waterstofbrandstofcelvoertuigen produceren aanzienlijk minder geluid in vergelijking met voertuigen op traditionele brandstoffen. Dit kan de geluidsoverlast in stedelijke gebieden verminderen en bijdragen aan een rustigere en meer leefbare omgeving.

Milieunadelen van waterstof als brandstof (Milieu Centraal, 2022) (J. Bloem, persoonlijke communicatie, 2023):

Energie-intensieve productie: De productie van waterstof vereist energie, en als deze energie afkomstig is van niet-hernieuwbare bronnen zoals fossiele brandstoffen, kan de productie van waterstof gepaard gaan met uitstoot van broeikasgassen. Het is daarom van cruciaal belang om waterstof te produceren uit hernieuwbare bronnen om de milieuvoordelen te maximaliseren.

Infrastructuurvereisten: Het opzetten van een waterstofinfrastructuur, inclusief productie, opslag en distributie, vereist aanzienlijke investeringen en technologische ontwikkelingen. Het opbouwen van een voldoende netwerk van waterstofvulstations is nog steeds een uitdaging en kan een belemmering vormen voor de brede adoptie van waterstofvoertuigen.

Waterverbruik: Waterstofproductie kan gepaard gaan met aanzienlijk waterverbruik, vooral bij bepaalde productiemethoden zoals elektrolyse. Het is belangrijk om duurzame waterbronnen te gebruiken en waterverbruik te minimaliseren om negatieve effecten op lokale watervoorraden te voorkomen.

Het is essentieel om rekening te houden met zowel de milieuvoordelen als de nadelen bij het overwegen van het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector. Door te streven naar duurzame waterstofproductie en het ontwikkelen van een uitgebreide hernieuwbare

energie-infrastructuur, kunnen de milieuvoordelen van waterstof als brandstof verder worden versterkt (J. Bloem, persoonlijke communicatie, 2023).

Categorie	Dieselbrandstof	Waterstof
Knegpunten	- Fossiele brandstof, niet hernieuwbaar	- Waterstofproductie vereist energie-input
	- Hoge uitstoot van broeikasgassen (CO ₂ , NO _x)	- Beperkte infrastructuur voor waterstof
	- Bij verbranding vrijkomen van schadelijke stoffen	- Hoge kosten voor opslag en transport
	- Afhankelijkheid van olie-import	- Veiligheidsrisico's bij opslag en transport
Pluspunten	- Wijdverspreide infrastructuur voor brandstof	- Schone verbranding, geen schadelijke emissies
	- Bewezen technologie en voertuigprestaties	- Hernieuwbare energiebron mogelijk
	- Hoge energiedichtheid, langere rijafstanden	- Waterstof kan als energieopslag dienen
	- Rijbereik en tanktijd vergelijkbaar met traditionele voertuigen	- Snelle tanktijd, vergelijkbaar met traditionele voertuigen
Minpunten		
	- Hoge CO ₂ -uitstoot en bijdrage aan klimaatverandering	- Lage energiedichtheid, beperkt rijbereik
	- Luchtverontreiniging door uitstoot van schadelijke stoffen	- Veiligheidsrisico's bij productie en opslag
	- Geluidsoverlast door verbrandingsmotoren	- Beperkte tankinfrastructuur en distributie
Groeipunten	- Ontwikkeling van schonere dieseltechnologie	- Groeiende productie van groene waterstof
	- Overgang naar hernieuwbare dieselbrandstoffen	- Uitbreiding van waterstofinfrastructuur
	- Verbeterde brandstofefficiëntie door technologische ontwikkelingen	- Kostenreductie in waterstofproductie en -infrastructuur
	- Opkomst van hybride en elektrische dieselveertuigen	- Ondersteuning door beleid en regelgeving

Figuur 5, groei, knel, plus en minpunten

Hoofdstuk 4: Reflectie op onderzoek

Als tweedejaars hbo-student heb ik onlangs een onderzoek uitgevoerd naar de marktkansen voor het gebruik van waterstof als brandstof in de transportsector. Na een kritische reflectie op mijn eigen handelen ben ik tot een aantal inzichten gekomen.

Wat ging er goed? Ik ben erin geslaagd om het onderzoeksmethodologie gestructureerd weer te geven en de resultaten zijn concreet en bruikbaar voor de doelgroep en belanghebbenden. Ik heb ook een professionele benadering gehanteerd bij het toepassen van mijn kennis en inzicht in het onderwerp.

Wat ging er minder goed? Ik heb gemerkt dat ik soms te veel gefocust was op de details en te weinig aandacht besteedde aan het grotere geheel. Ook had ik moeite om de juiste balans te vinden tussen mijn eigen mening en de feitelijke informatie die ik uit wetenschappelijke bronnen heb gehaald.

Ik ben tot de conclusie gekomen dat waterstof als brandstof zeker marktkansen biedt in de transportsector, vooral gezien de toenemende behoefte aan verduurzaming en de dringende noodzaak om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen. Waterstof kan een schone en efficiënte energiebron zijn, met name voor zware transportvoertuigen zoals vrachtwagens en bussen. Het kan helpen om de CO₂-uitstoot te verminderen en de luchtkwaliteit te verbeteren.

Ik heb echter geleerd dat het belangrijk is om mijn eigen verwachtingen en meningen goed te vergelijken met de feitelijke normen en kritisch te blijven op mijn eigen handelen. In de toekomst zal ik meer aandacht besteden aan het grotere geheel en de impact van waterstof als brandstof op verschillende aspecten, zoals infrastructuur, kosten en acceptatie bij belanghebbenden. Door deze benadering toe te passen, kan ik mijn professionele vaardigheden verder ontwikkelen en mijn vermogen om te blijven leren vergroten.

Hoofdstuk 5: Conclusie en aanbevelingen

Op basis van de bevindingen in dit rapport kan geconcludeerd worden dat waterstof als brandstof aanzienlijke voordelen biedt ten opzichte van traditionele brandstoffen in de transportsector. Het heeft het potentieel om de CO₂-uitstoot te verminderen, de luchtkwaliteit te verbeteren en de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te verminderen. Bovendien kan waterstof een duurzame oplossing bieden voor zware transportvoertuigen, zoals vrachtwagens en bussen.

Het is echter belangrijk om rekening te houden met enkele uitdagingen en overwegingen. De kosten en complexiteit van waterstofinfrastructuur zijn nog steeds aandachtspunten die moeten worden aangepakt. Daarnaast is de duurzaamheid van waterstof sterk afhankelijk van de gebruikte productiemethode. Het is van cruciaal belang om te streven naar duurzame waterstofproductie, bijvoorbeeld door gebruik te maken van hernieuwbare energiebronnen.

Op basis van deze conclusies kan worden aanbevolen dat belanghebbenden en beleidsmakers de ontwikkeling en implementatie van waterstof als brandstof in de transportsector ondersteunen. Dit kan onder andere worden gestimuleerd door investeringen in onderzoek en ontwikkeling van waterstoftechnologieën, het opzetten van een robuuste en duurzame waterstofinfrastructuur en het creëren van gunstige beleidsmaatregelen, zoals stimuleringsregelingen en subsidies.

Daarnaast is het van belang om samenwerking te bevorderen tussen verschillende belanghebbenden, waaronder overheden, industrie, onderzoeksinstituten en transportbedrijven, om de overgang naar waterstof als brandstof te faciliteren. Het delen van kennis, het uitwisselen van best practices en het stimuleren van innovatie kunnen bijdragen aan een succesvolle implementatie van waterstof in de transportsector.

Al met al biedt waterstof als brandstof een veelbelovende en duurzame oplossing voor de transportsector. Door te streven naar duurzame waterstofproductie en het ontwikkelen van een robuuste infrastructuur, kunnen de milieuvoordelen worden gemaximaliseerd en kan waterstof een belangrijke rol spelen in de transitie naar een koolstofarme samenleving. Het is daarom aan te bevelen om te investeren in de verdere ontwikkeling en implementatie van waterstof als brandstof in de transportsector.

Bibliografie

- ACM. (2021, Juli 22). *tapsgewijze ontwikkeling en geleidelijke regulering waterstofinfrastructuur*. Opgehaald van ACM: <https://www.acm.nl/nl/publicaties/acm-stapsgewijze-ontwikkeling-en-geleidelijke-regulering-waterstofinfrastructuur>
- beta-tankstations.nl. (2021, januari 22). *Handleiding vergunningsproces waterstoftankstations*. Opgehaald van /beta-tankstations.nl: <https://beta-tankstations.nl/handleiding-vergunningsproces-waterstoftankstations/>
- Clean Energy Wire. (2021, maart 2). *Duitsland streeft naar wereldleiderschap in waterstoftechnologie*. . Opgehaald van Clean Energy Wire.: <https://www.cleanenergywire.org/news/germany-aims-be-world-leader-hydrogen-technology>
- CTCN. (2020, 3 25). *The Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking*. Opgehaald van CTCN: <https://www.ctc-n.org/about-ctcn/organisations/fuel-cells-and-hydrogen-joint-undertaking#:~:text=The%20Fuel%20Cells%20and%20Hydrogen%20Joint%20Undertaking%20%28FCH,fuel%20cell%20and%20hydrogen%20energy%20technologies%20in%20Europe.>
- DB Schenker. (2023, april 5). *DOT/Variabele toeslagen*. Opgehaald van DB Schenker: <https://www.dbschenker.com/nl-nl/producten/landtransport/dot-variabele-toeslagen>
- ENERGY.GOV. (2021). *2021 U.S. Energy and Employment Report*. Opgehaald van ENERGY.GOV: <https://www.energy.gov/policy/2021-us-energy-and-employment-report>
- E-Trucks Europe. (2020). *DRIVEN BY HYDROGEN*. Opgehaald van E-Trucks Europe: <https://e-truckseurope.com/>
- European Commission. (2020, augustus 8). *Een waterstofstrategie voor een klimaatneutraal Europa*. Opgehaald van European Commission: https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/hydrogen_strategy.pdf
- Europese Commissie. (2020). *Een waterstofstrategie voor een klimaatneutraal Europa*. Opgehaald van Europese Commissie: https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/hydrogen_strategy.pdf
- Friesland Campina. (2021, juli 13). *FrieslandCampina neemt eerste melkwagen op waterstof in gebruik*. Opgehaald van Friesland Campina: <https://www.frieslandcampina.com/nl/nieuws/frieslandcampina-neemt-eerste-melkwagen-op-waterstof-in-gebruik/>
- Gasunie. (2022). *Veilig transport van waterstof*. Opgehaald van Gasunie: <https://www.gasunie.nl/expertise/waterstof/waterstof-en-de-industrie/veilig-transport-van-waterstof>
- IEA. (2019, juni 2). *De toekomst van waterstof: Het benutten van de kansen van vandaag*. . Opgehaald van IEA: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- IEA. (2021, April 3). *Global Energy Review 2021*. Opgehaald van IEA: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>
- IEA. (2022, Juli 1). *Global Hydrogen Review 2022*. Opgehaald van IEA: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022/executive-summary>

- International Energy Agency. (2019, maart 17). *De toekomst van waterstof: Grijpen van de kansen van vandaag*. Opgehaald van International Energy Agency: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- International Energy Agency. (2020, september 5). *Energy Technology Perspectives 2020*. Opgehaald van International Energy Agency.: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
- IRENA. (2019). *Renewable hydrogen: A key to decarbonization*. Opgehaald van IRENA: <https://www.irena.org/publications/2019/May/Renewable-Hydrogen>
- IRENA. (2020, november). *Green hydrogen: A guide to policy making*. Opgehaald van IRENA: International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). Green hydrogen: A guide to policy making
- J. Bloem, persoonlijke communicatie. (2023, mei 20). Opgehaald van J. Bloem, persoonlijke communicatie.
- Mckinsey. (2016, september 16). *Versnellen van de energietransitie: kostbaar of kansrijk?* Opgehaald van Mckinsey: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/europe/accelerating-the-energy-transition-cost-or-opportunity/nl-be>
- Milieu Centraal. (2022, mei 7). *Waterstof een belangrijke rol in de toekomst*. Opgehaald van Milieu Centraal: <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/waterstof/>
- National Academies. (2020). *Climate Change*. Opgehaald van National Academies: <https://nap.nationalacademies.org/catalog/25733/climate-change-evidence-and-causes-update-2020#:~:text=National%20Academy%20of%20Sciences.%202020.%20Climate%20Change%3A%20Evidence,2020.%20Washington%2C%20DC%3A%20The%20National%20Academies%20Press.%20https>
- NREL. (2020). *Best Research-Cell Efficiency Chart*. Opgehaald van NREL: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>
- RIVM. (2021, november). *Risico- en effectafstanden waterstof tankstations*. Opgehaald van RIVM: https://www.rivm.nl/sites/default/files/2021-11/20170711%20Memo%20Risico-%20en%20effectafstanden%20waterstof tankstations_revisie%201.pdf
- RVO. (2021). *PPS op basis van gelijkwaardigheid*. Opgehaald van RVO: <https://data.rvo.nl/initiatieven/financieringsvoorbeelden/pps-op-basis-van-gelijkwaardigheid>
- ScienceDirect. (2020, maart 4). *Integrated optimization model for hydrogen supply chain network design and hydrogen fueling station planning*. Opgehaald van ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098135419305757>
- ScienceDirect. (2019, juni). *Sustainability of direct biodiesel synthesis from microalgae biomass: A critical review*. Opgehaald van ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119301054?via%3Dihub>
- Stadszaken. (2021, januari 25). *'Stimuleren productie en vraag waterstof van groot belang'*. Opgehaald van Stadszaken: <https://stadszaken.nl/artikel/3283/stimuleren-productie-en-vraag-waterstof-van-groot-belang#:~:text=Klimaatneutrale%20waterstof%20is%20essentieel%20in%20de%20toekomst>

ge%20energie-
,voor%20de%20leefomgeving%20en%20infrastructuur%20%28Rli%29%20maandag%20pu

The Japan Times. (2021). *Japan mikt op 1 miljoen brandstofcelvoertuigen op de weg tegen 2030.* .

Opgehaald van The Japan Times:

<https://www.japantimes.co.jp/news/2021/04/14/business/economy-business/fuel-cell-vehicles-japan-2030/>

TNO. (2020, april). *Hoe waterstof energietransitie transportsector kan versnellen.* Opgehaald van

TNO: <https://www.tno.nl/nl/duurzaam/duurzaam-verkeer-vervoer/duurzame-voertuigen/waterstof-energietransitie-versnellen/>

United Nations. (2021, 2 februari). *Triple P model voor duurzame ontwikkeling.* Opgehaald van United

Nations: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/nl/sustainable-development-goals/>

WaterstofNet. (2021). *Over waterstof.* Opgehaald van WaterstofNet:

<https://www.waterstofnet.eu/nl/waterstof/hoe-verloopt-opslag-en-distributie>

Bijlage 1 vragen interview

- Hoe ziet u de toekomst van waterstof als brandstof voor de transportsector? Ik geloof dat waterstof een belangrijke rol zal spelen in de toekomst van de transportsector, vooral voor zware vrachtwagens, bussen, treinen, schepen en mogelijk zelfs vliegtuigen. Hoewel elektrificatie met batterijen geschikt is voor veel lichte en middelzware voertuigen, biedt waterstof een oplossing voor de uitdagingen van grotere voertuigen met een langere actieradius en kortere tanktijden. Met de juiste ontwikkeling van waterstofinfrastructuur en productie op basis van hernieuwbare energie, kan waterstof een duurzame en schone brandstofoptie worden voor de transportsector.
- Wat zijn de voordelen van waterstofvoertuigen ten opzichte van traditionele brandstoffen? Waterstofvoertuigen hebben verschillende voordelen. Ze stoten geen schadelijke stoffen uit, waardoor de luchtkwaliteit verbetert en de gezondheidseffecten worden verminderd. Waterstof kan snel worden getankt, vergelijkbaar met conventionele brandstoffen, en biedt een lange actieradius, waardoor het geschikt is voor langeafstandsvervoer. Bovendien kan waterstof worden geproduceerd uit hernieuwbare bronnen, wat bijdraagt aan de vermindering van de uitstoot van broeikasgassen en de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen.
- Welke voertuigen zijn momenteel beschikbaar die op waterstof rijden en welke nieuwe voertuigen komen eraan? Op dit moment zijn er waterstofauto's op de markt, zoals de Toyota Mirai, de Hyundai NEXO en de Honda Clarity Fuel Cell. Daarnaast zijn er waterstofbussen, treinen en vrachtwagens beschikbaar. De komende jaren zullen we een bredere keuze aan waterstofvoertuigen zien, waaronder nieuwe modellen van bestaande fabrikanten en nieuwe spelers op de markt. Er zijn ook plannen voor waterstofschepen en waterstofvliegtuigen in ontwikkeling.
- Wat zijn de grootste uitdagingen bij het gebruik van waterstof in de transportsector en hoe worden deze aangepakt? Enkele van de grootste uitdagingen zijn de kosten van waterstofproductie en de ontwikkeling van een goed werkend tankstation netwerk. Momenteel is waterstofproductie nog relatief duur, maar met schaalvergroting en technologische vooruitgang worden de kosten naar verwachting verlaagd. Wat betreft de infrastructuur zijn er initiatieven om meer waterstoftankstations te bouwen, vooral in gebieden waar waterstofvoertuigen al worden gebruikt. Daarnaast zijn er inspanningen om de productie van waterstof te verduurzamen door middel van elektrolyse met hernieuwbare energiebronnen.
- Wat zijn de voornaamste zorgen van klanten met betrekking tot waterstofvoertuigen en hoe worden deze aangepakt? De voornaamste zorgen van klanten met betrekking tot waterstofvoertuigen zijn onder andere de beperkte beschikbaarheid van waterstoftankstations, de hoge kosten van waterstofvoertuigen en de veiligheid van waterstof als brandstof. Deze zorgen worden aangepakt door het uitbreiden van het netwerk van waterstoftankstations, het bevorderen van technologische ontwikkelingen om de kosten te verlagen, en het implementeren van strenge veiligheidsnormen en -voorschriften. Daarnaast worden ook bewustmakingscampagnes en educatie georganiseerd om het publiek beter te informeren over de voordelen, veiligheid en beschikbaarheid van waterstofvoertuigen. Door deze maatregelen kunnen de zorgen van klanten worden verminderd en kan de acceptatie van waterstofvoertuigen worden gestimuleerd.

- Hoe ziet u de rol van de Nederlandse overheid bij het stimuleren van de adoptie van waterstof in de transportsector? De rol van de Nederlandse overheid bij het stimuleren van de adoptie van waterstof in de transportsector is van cruciaal belang. De overheid kan beleidsmaatregelen en stimuleringsprogramma's implementeren om de ontwikkeling van waterstofinfrastructuur en het gebruik van waterstofvoertuigen te bevorderen. Dit omvat het verstrekken van subsidies, het opzetten van laadinfrastructuur, het stimuleren van onderzoek en ontwikkeling, en het vaststellen van langetermijnvisies en regelgeving die de transitie naar waterstof bevorderen. Door deze ondersteuning kan de overheid een positieve omgeving creëren voor bedrijven en consumenten om de overstap naar waterstof in de transportsector te maken.
- Welke rol spelen technologische innovaties in de ontwikkeling van waterstofvoertuigen? Technologische innovaties spelen een cruciale rol in de ontwikkeling van waterstofvoertuigen. Ze dragen bij aan de verbetering van waterstofopslag- en distributiesystemen, brandstofcellen en de efficiëntie van waterstofproductie. Innovaties helpen bij het verlagen van de kosten, het vergroten van de betrouwbaarheid en het verbeteren van de prestaties van waterstofvoertuigen.
- Wat zijn de belangrijkste factoren die de kosten van waterstofvoertuigen beïnvloeden en hoe worden deze verlaagd? De belangrijkste factoren die de kosten van waterstofvoertuigen beïnvloeden zijn de kosten van waterstofproductie, de infrastructuur voor waterstofopwekking en -distributie, de ontwikkeling en productie van brandstofcellen, en de schaalvoordelen bij de productie van waterstofvoertuigen. Deze kosten worden verlaagd door technologische vooruitgang, schaalvergroting, efficiëntere productiemethoden, verbeterde infrastructuur en de ontwikkeling van goedkopere materialen en componenten. Daarnaast spelen overheidsstimuleringsmaatregelen en subsidies een belangrijke rol bij het verlagen van de kosten en het bevorderen van de adoptie van waterstofvoertuigen.
- Hoe ziet u de samenwerking tussen bedrijven in de waterstofwaardeketen om het gebruik van waterstofvoertuigen te stimuleren? De samenwerking tussen bedrijven in de waterstofwaardeketen is essentieel om het gebruik van waterstofvoertuigen te stimuleren. Door nauw samen te werken, kunnen bedrijven gezamenlijke standaarden ontwikkelen, de infrastructuur voor waterstofopwekking, -opslag en -distributie verbeteren, en de kosten verlagen. Samenwerking kan ook leiden tot gecombineerde investeringen in onderzoek en ontwikkeling, het delen van expertise en het uitwisselen van best practices. Door gezamenlijk op te treden, kunnen bedrijven de markt voor waterstofvoertuigen versterken en de adoptie ervan versnellen.
- Wat zijn de belangrijkste beperkingen van waterstof als brandstof voor de transportsector? Belangrijkste beperkingen van waterstof als brandstof voor de transportsector: Kosten: Waterstofvoertuigen zijn duurder dan traditionele brandstoffen. Infrastructuur: Gebrek aan tankstations en distributienetwerken voor waterstof. Energie-efficiëntie: Verlies van energie tijdens productie en omzetting naar elektriciteit. Opslag en veiligheid: Vereist speciale opslag en veiligheidsmaatregelen. Duurzame productie: Afhankelijkheid van niet-duurzame bronnen voor waterstofproductie. Deze beperkingen moeten worden aangepakt om de adoptie van waterstof in de transportsector te bevorderen.
- Wat zijn de belangrijkste stappen die bedrijven kunnen nemen om de adoptie van waterstof in de transportsector te versnellen? Samenwerking met partners: Bedrijven kunnen samenwerken met andere bedrijven, overheden en onderzoeksinstituten om gezamenlijke projecten en initiatieven op te zetten. Door samen te werken kunnen ze de kosten delen, expertise bundelen en synergievoordelen behalen. Dit kan leiden tot snellere ontwikkeling en implementatie van waterstoftechnologieën in de transportsector.

- Wie bent u en wat doet u? Ik Jack Bloem, een expert op het gebied van waterstof en duurzame mobiliteit. Ik ben werkzaam bij het bedrijf TNO als adviseur en bedrijfsmanager binnen de transportwereld van waterstof.