
Verduurzaming landbouwwerktuigen

Routes voor de Transitie



>> Duurzaam, Agrarisch, Inn

Voorwoord

Auteurs: Wilko Wisse en Laura van der Doorn

In het kader van het programma Klimaatakkoord Landbouw en Landgebruik (KALL) heeft de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland in samenwerking met het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) diverse onderzoeken uitgevoerd voor de reductie van broeikasgassen. Veel projecten houden zich bezig met duurzame energieproductie en het opwekken van energie op het agrarisch bedrijf. Een van deze onderzoeken richtte zich op lokale energieproductie en het omzetten van groene stroom naar groene waterstof.

Waterstof wordt gezien als een energiedrager met veel potentie, ook binnen de agrarische sector. Vanuit een project met groene waterstof binnen de agrarische sector kwam het gebruik van waterstof in een tractor naar voren. Op dat moment was er slechts één leverancier van een tractor op waterstof. Bij RVO rees de vraag waarom er niet meer waterstof tractoren zijn en welke andere mogelijkheden tot verduurzaming nog mogelijk zijn. Op 7 december 2022 kwam er een motie van de Kamerleden Bromet en Thijssen met eenzelfde vraagstuk. Beide kwesties zijn het vertrekpunt van RVO om, in opdracht van het ministerie van LNV, in kaart te brengen wat de mogelijkheden zijn voor de verduurzaming van landbouwwerktuigen.



→ Management samenvatting

De agrarische sector is actief in de opwekking van duurzame energie en er loopt veel onderzoek naar verdere reductie van broeikasgassen, gegeven de ambitie uit het Klimaatakkoord om in 2050 als land klimaatneutraal te zijn. Het reduceren van de circa 1,1 tot 1,5 megaton koolstofdioxide (CO₂) afkomstig van mobiele landbouwwerktuigen blijkt echter lastig. De precieze uitstoot van landbouwwerktuigen is niet duidelijk. Diesel is de standaard fossiele brandstof en er is nog weinig bekend over mogelijkheden voor reductie van het gebruik van fossiele brandstoffen in landbouwwerktuigen. Mede naar aanleiding van de motie Bromet en Thijssen (motie Bromet en Thijssen, Kamerstuk 36 200 XIV, nr. 50) heeft het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) aan de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) de opdracht gegeven om te onderzoeken wat er nodig is om de ontwikkeling van fossielvrije landbouwwerktuigen te ondersteunen en aanschaf en gebruik hiervan te bevorderen. Ook wordt in het Klimaatakkoord de mogelijkheid tot klimaatwinst benoemd bij energie-opwek op het agrarisch bedrijf. Het ministerie van LNV ziet een mogelijkheid om beide opgaven te combineren en heeft daarom de aanvullende vraag gesteld om te kijken naar de kansen van energieproductie op het agrarisch bedrijf. Dit rapport geeft inzicht in de kansen, knelpunten en aanbevelingen voor de transitie naar duurzame landbouwwerktuigen.

In het voorjaar van 2023 heeft RVO in samenwerking met fabrikanten/importeurs van (fossielvrije) landbouwwerktuigen, onderzoekinstanties, brancheorganisaties, ondernemers en RVO specialisten een onderzoek gedaan. Daarin zijn vijf routes naar voren gekomen die kunnen bijdragen aan fossielvrije landbouwwerktuigen. De routes zijn tot stand gekomen door een deskstudie, 14 stakeholder interviews en een input bijeenkomst met verschillende partijen. De resultaten zijn geanalyseerd aan de hand van een missie-gedreven innovatiesysteemanalyse (Hekkert et al., 2018). De vijf routes die bijdragen aan de verduurzaming van landbouwwerktuigen zijn zowel technologisch als gedragsmatig: 1) hernieuwbare brandstoffen, 2) batterij-elektrisch, 3) waterstof, 4) robotisering en 5) gedragsverandering. Alle vijf de routes geven aanzienlijke reductie van broeikasgassen en als duurzame elektriciteit wordt gebruikt is zelfs een reductie tot nul emissie mogelijk.

Omdat het ministerie van LNV voor landbouwzaken verantwoordelijk is, maar het ministerie van I&W voor rijdende voertuigen het beleid voert, is het enigszins onduidelijk wie verantwoordelijk is voor de verduurzaming van landbouwwerktuigen. De sector kent zelf niet alle mogelijke opties voor verduurzaming en mist een koers vanuit het rijk op dit onderwerp. Gezamenlijke aanpak en ontwikkeling lijkt daarom een pre, want het klimaatbeleid vereist dat ook de uitstoot van broeikasgassen bij landbouwwerktuigen wordt teruggedrongen.



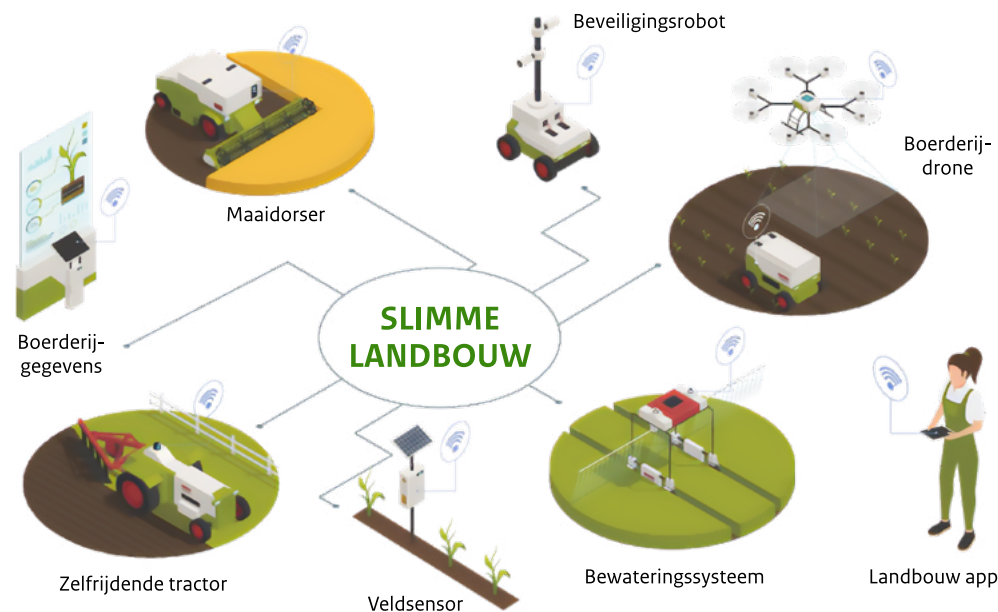
Eenzijds ontbreekt een incentive bij agrarische ondernemers, agrarische loonwerkers en andere gebruikers om te investeren in duurzamere landbouwwerktuigen, het is nog kostbaar en er staat geen vergoeding of beloning tegenover. Anderzijds zijn er technologisch weinig grote knelpunten om landbouwwerktuigen verder te verduurzamen. De technologische routes hebben nog wel onderzoek, doorontwikkeling, praktijk implementatie, ketenontwikkeling en (financiële) ondersteuning nodig voordat deze worden toegepast en zo impact kunnen maken in de klimaattransitie. De routes hernieuwbare brandstoffen, met een aantal randvoorwaarden rond beschikbaarheid, en de route elektrische voertuigen tot 55 pk zeker of zelfs tot 120 pk, kunnen op korte termijn al bijdragen aan de verduurzaming van landbouwwerktuigen. De routes robotisering en waterstof met brandstofcel hebben nog een flinke doorontwikkeling nodig voordat deze kunnen bijdragen aan fossielvrije landbouwwerktuigen. Gedragsverandering kan naast technische oplossingen ook leiden tot minder gebruik van fossiele brandstof met daarbij goede bedrijfsresultaten. Het betekent vaak een aanpassing in de bedrijfsvoering, voorbeelden zijn minder intensieve grondbewerkingen en vers gras voeren.

Het opwekken en produceren van duurzame elektriciteit & hernieuwbare brandstoffen (biogas) op het landbouwbedrijf kan de transitie van duurzame landbouwwerktuigen versnellen, aangezien de mogelijkheden aansluiten op de voorgestelde routes. Dit kan bijvoorbeeld door productie van duurzame elektriciteit om accu's en/of batterijen te vullen en het produceren van groene waterstof. De landbouwsector is reeds een speler in het opwekken van biogas. Dit biogas kan na bewerking worden gebruikt in trekkers met een gasmotor. Dit geeft meer groene energie productie mogelijkheden in het landelijk gebied, mits maatschappelijk goed ingepast, en geeft wellicht oplossingen voor een deel van de congestieproblematiek in het elektriciteitsnetwerk.

De overgang naar duurzame landbouwwerktuigen met daarin een grote rol voor robotisering sluit aan op een aantal andere maatschappelijke opgaven binnen de landbouw. Voorbeelden zijn verbetering van de bodemkwaliteit, arbeidsbesparing, precisielandbouw voor bemesting en vermindering gebruik chemische gewasbescherming.

Met verduurzaming van landbouwwerktuigen via de vijf beschreven routes is niet alleen winst te halen op klimaat (CO₂-reductie) en omgeving (vermindering uitstoot NO_x, fijnstof, roet), maar is er ook een positieve impact op andere transitiepaden in de landbouw.

Nederland kan een koploper worden in de transitie naar duurzame landbouwwerktuigen als er concrete doelen gesteld worden met de juiste interventies, die bij voorkeur naast verduurzaming van landbouwwerktuigen direct ook andere transities stimuleren. Het is daarom een gemeenschappelijke en gezamenlijke verantwoordelijkheid van meerdere departementen om actie te ondernemen om de transitie naar landbouwwerktuigen te coördineren.





Inhoud

1 Inleiding		4 Routes voor verduurzaming		7 Referenties	45
1.1 Aanleiding	6	4.1 Route hernieuwbare brandstoffen	21		
1.2 Opdracht	8	4.2 Route batterij-elektrisch	22		
1.3 Leeswijzer	8	4.3 Route waterstof	23		
		4.4 Route robotisering	25		
		4.5 Route gedragsverandering	27		
2 Aanpak & Methode		5 Toepassing van eigen energieproductie		Bijlage 1	
2.1 Aanpak	10	5.1 Zonne- en windenergie	30	Tabel 3 (volledig)	46
2.2 Methode	10	5.2 Biogas (biomethaan)	32	Bijlage 2	
2.3 Afbakening	12	5.3 Hernieuwbare brandstoffen	32	Geïnterviewden & Stakeholder bijeenkomsten	47
3 Huidige situatie		6 Conclusies en aanbevelingen per route		Bijlage 3	
3.1 Aantal landbouwwerktuigen in Nederland	14	6.1 Algemene conclusie	34	Bijdrage WUR	49
3.2 De ontwikkeling van landbouwwerktuigen	14	6.2 Analyse per route	39	Bijlage 4	
3.3 Diesel- en energieverbruik	15	6.3 Conclusie	43	Fedecom (meer duiding cijfers)	52
3.4 Uitstoot en klimaatimpact	16			Bijlage 5	
3.5 Wet- en regelgeving	18			Meerkosten elektrische tractor t.o.v. de vergelijkbare dieselvariant	54

→ Inleiding



1.1 Aanleiding

In 2016 heeft de Europese Unie mede namens Nederland het Klimaatakkoord van Parijs ondertekend. Doel van het akkoord is om de opwarming van de aarde te beperken tot ruim onder 2 graden Celsius. Om de doelen van het Klimaatakkoord van Parijs te halen zijn Europese afspraken gemaakt. De EU-lidstaten hebben met elkaar afgesproken dat de EU in 2030 minimaal 55% minder koolstofdioxide (CO₂) moet uitstoten ten opzichte van 1990. In 2050 wil de Europese Unie klimaatneutraal zijn.



De Nederlandse klimaatdoelen zijn vastgelegd in de Klimaatwet. Voor de invulling van de Klimaatwet werd in 2019 een Klimaatakkoord getekend door meer dan 100 bedrijven en organisaties vanuit 5 sectoren: gebouwde omgeving, mobiliteit, industrie, landbouw en landgebruik en elektriciteit (Klimaatakkoord, 2019). De afspraken uit het Klimaatakkoord zijn de basis voor het Klimaatplan 2021-2030. Het belangrijkste doel is de uitstoot van CO₂ te verminderen van 222 megaton CO₂-equivalent in 1990, naar minder dan 100 megaton in 2030 en zo de Nederlandse bijdrage aan wereldwijde klimaatverandering te beperken. Vermindering van het gebruik van fossiele brandstoffen is tevens een goede route om andere milieu-emissies te reduceren en de afhankelijkheid van aardolie te verminderen.



In 2021 stootte de Nederlandse agrarische sector 27,1 megaton aan broeikasgassen uit (PBL, 2022). Het grootste deel hiervan wordt toegerekend aan methaan en lachgas afkomstig uit de veehouderij en gasverbruik in de glastuinbouw. De CO₂-uitstoot van landbouwwerktuigen in de agrarische sector wordt echter niet meegerekend tot de broeikasgasemissies van de sector landbouw en landgebruik. De CO₂-uitstoot van mobiele machines, de categorie voertuigen waar landbouwwerktuigen onder vallen, wordt namelijk toegekend aan de sector mobiliteit, met een bijbehorende uitstoot van 3,3 megaton CO₂ (PBL, 2022). Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen mobiele machines werkzaam in de bouw die verantwoordelijk zijn voor 1,7 megaton CO₂ en mobiele machines in de agrarische sector met een uitstoot van circa 1,1 - 1,5 megaton CO₂ (PBL, 2022; CBS, 2021; RVO, 2022). Voor mobiele machines in de bouwsector bestaat wel beleid om te verduurzamen, terwijl mobiele machines in de agrarische sector zijn uitgesloten van dit beleid.

In het Klimaatakkoord staat onder de sector mobiliteit, en dus niet onder de sector landbouw en landgebruik, de ambitie om *'vóór 2023 autonome voertuigen te ontwikkelen die op hernieuwbare energiebronnen transport en veldbewerkingen uitvoeren ten behoeve van precisietoepassingen'*. Ook wordt in het Klimaatakkoord de mogelijkheid tot klimaatwinst benoemd bij eigen energie-opwek op het agrarisch bedrijf en minder zware grondbewerking. Ondanks de ambities uit het Klimaatakkoord en de ondersteuning van de transitie vanuit RVO zijn er tot nu toe weinig autonome voertuigen werkzaam in de landbouwpraktijk. Er zijn ook geen gerichte acties voor het reduceren van emissies afkomstig van mobiele werktuigen in de agrarische sector en het is onduidelijk bij welk departement de verantwoordelijkheid ligt. In februari 2023 heeft de Tweede Kamer een verzoek gedaan (motie Bromet en Thijssen, Kamerstuk 36 200 XIV, nr. 50) om te onderzoeken wat nodig is om de ontwikkeling van fossielvrije landbouwmachines te ondersteunen en aanschaf en gebruik hiervan te bevorderen.



1.2 Opdracht

Het ministerie van LNV heeft RVO, naar aanleiding van de motie Bromet en Thijssen (Kamerstuk 36 200 XIV, nr. 50), in maart 2023 in eerste instantie de opdracht gegeven om in samenwerking met alle relevante stakeholders een actieplan op te stellen gericht op het verduurzamen van landbouwmachines. Dit plan moest zicht geven op nodige acties om de ontwikkeling en het gebruik van fossielvrije landbouwmachines te ondersteunen en het gebruik ervan te bevorderen. Bij nader inzien is de opdracht in overleg met de opdrachtgever omgevormd tot een verkenning van verschillende transitieroutes richting het doel ‘fossielvrije landbouwwerktuigen’. Hiervoor is gekozen om in beeld te krijgen wat de opties rondom verduurzaming zijn en welke acties er nodig zijn om het gebruik ervan te stimuleren. Daarnaast is er met het oog op de energietransitie door het ministerie van LNV de vraag gesteld om te kijken naar de mogelijkheden voor het opwekken of produceren van energie of hernieuwbare brandstoffen op het agrarisch bedrijf.

Het ministerie van LNV wil met deze analyse:

1. Een verkenning van de mogelijke transitieroutes richting verduurzaming van landbouwwerktuigen;
2. Zicht op de mogelijkheden voor het opwekken van energie of hernieuwbare brandstoffen op het eigen agrarische bedrijf;
3. Een voorstel voor acties die ondernomen kunnen worden om het gebruik van duurzame landbouwwerktuigen te bevorderen.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 1 presenteert de aanleiding en opdracht van dit rapport. In hoofdstuk 2 worden de aanpak en methode benoemd die ten grondslag liggen aan deze analyse. Eerst wordt hier de werkwijze toegelicht. Daarna wordt er ingegaan op de methode die als onderbouwing dient voor de opgehaalde informatie.

Om de verzamelde data context te geven wordt in hoofdstuk 3 de huidige situatie van landbouwwerktuigen in Nederland besproken. Hierin worden onder andere het aantal voertuigen, de impact op het klimaat en milieu en de huidige wet- en regelgeving benoemd.

“De transitie routes voor verduurzaming landbouwwerktuigen raken meer beleidsvlakken als broeikasgassen reductie.”

In hoofdstuk 4 zijn de routes weergegeven die bijdragen aan de verduurzaming van landbouwwerktuigen.

De routes zijn gebaseerd op de resultaten uit de interviews en de deskstudie. Het hoofdstuk geeft een beschrijving van hoe de route zich heeft ontwikkeld. Hoofdstuk 5 geeft antwoord op de aanvullende vraag van het ministerie van LNV over de mogelijkheden van het opwekken en produceren van energie of hernieuwbare brandstoffen op het eigen bedrijf.

Tot slot volgt in hoofdstuk 6 een conclusie waarin aanbevelingen worden gedaan om de ontwikkeling en het gebruik van duurzame landbouwwerktuigen te stimuleren. Eerst worden er algemene conclusies gegeven die belangrijk zijn in de transitie. Deze worden gevolgd door aanbevelingen specifiek gericht per route.

→ Aanpak & Methode



Dit hoofdstuk beschrijft de aanpak die is gehanteerd om de routes in kaart te brengen die bijdragen aan de verduurzaming van landbouwwerktuigen (hoofdstuk 4) en wat de mogelijkheden zijn om energie op te wekken op het agrarisch bedrijf (hoofdstuk 5). Deze hoofdstukken zijn voornamelijk gebaseerd op een deskstudie en interviews met stakeholders. In dit hoofdstuk wordt zowel de aanpak van dataverzameling behandeld als de methode waarmee de resultaten zijn geanalyseerd.



2.1 Aanpak

De verkenning voor deze opdracht is uitgevoerd van maart tot en met juli 2023. Om een eerste overzicht te krijgen zijn er een aantal oriënterende gesprekken geweest met RVO-experts op het gebied van landbouw, energie, hernieuwbare brandstoffen en innovaties en met een aantal externe partijen uit de werkgroep Energietransitie, waaronder LTO, BO Akkerbouw en Cumela. Vervolgens is gestart met een deskstudie om een overzicht te krijgen van de huidige stand van zaken op het gebied van landbouwwerktuigen en het opwekken van energie op het agrarisch bedrijf. Ook zijn er verdiepende gesprekken gevoerd met 8 andere partijen (Bijlage 2). Op 17 april 2023 is een brede stakeholderbijeenkomst georganiseerd. Bij deze bijeenkomst waren 25 mensen aanwezig (Bijlage 2). Zij vertegenwoordigden onder andere brancheorganisaties, ondernemers, mechanisatiebedrijven en onderzoeksinstituten. Tijdens deze middag werden de bevindingen uit het eerste deel van het onderzoek gedeeld en getoetst aan de ervaringen van de stakeholders. Via twee interactieve sessies in de middag zijn meningen en ideeën verzameld van de deelnemers. Deze zijn verwerkt en als data meegenomen in de resultaten. Op basis van alle input zijn er vijf transitieroutes geformuleerd richting de verduurzaming van landbouwmachines. Tot slot zijn deze routes ter controle gedeeld met vertegenwoordigers van LTO, Cumela en Fedecom.

Om de aanvullende vraag over de mogelijkheden van het opwekken en produceren van energie op het agrarisch bedrijf te beantwoorden, zijn er data verzameld via een deskstudie. Ter aanvulling is er gesproken met onderzoekers die betrokken zijn in de PPS 'Landbouw als vliegwiel voor de energietransitie'. Deze onderzoekers hebben ook een bijdrage geleverd die als bijlage is toegevoegd aan dit rapport (Bijlage 3).

2.2 Methode

Uit de gesprekken met experts en stakeholders kwam naar voren dat er zowel technologische- als niet-technologische mogelijkheden zijn die kunnen bijdragen aan de verduurzaming van landbouwwerktuigen:

Technologische aandrijfmiddelen	Niet-technologische werkwijzen
Batterij-elektrisch	Gereduceerde grondbewerking
Brandstofcel	'Handwerk' – geen/minder machines
Robotisering (inclusief automatisering)	Anderen teeltwijzen (bijvoorbeeld strokenteelt)
(Bio-)methanol & (bio-)ethanol	Vers gras voeren
(Bio)gas	Verlengde weidegang
(Groene) waterstof	
Hydrotreated vegetable oil (HVO)	
Biodiesel & synthetische diesel	
Dimethylether (DME)	

Op basis van deze mogelijkheden zijn vijf routes geformuleerd en uitgewerkt in dit rapport, namelijk:

1. hernieuwbare brandstoffen (brandstofmotor vloeibaar of gas)
2. batterij/accu (groene elektriciteit)
3. groene waterstof (brandstofmotor of brandstofcel)
4. robotisering/ automatisering (batterij/ accu → groene elektriciteit)
5. gedragsverandering.

De vraag van het ministerie van LNV was om te kijken naar alle mogelijkheden die er zijn om landbouwwerktuigen te verduurzamen. Om de (mogelijke) kansen en knelpunten per route in kaart te brengen en een overkoepelende vergelijking te kunnen maken is er gekozen om een missie-gedreven innovatiesysteemanalyse (MIS) uit te voeren (Hekkert et al., 2018; Chappin et al., 2018). De kern van deze MIS-analyse is dat een systeeminnovatie niet een afzonderlijke activiteit is die buiten de samenleving staat. Het is een proces dat door veel verschillende groepen mensen in de samenleving wordt beïnvloed. Het innovatiesysteem is het geheel van actoren (partijen) en regels die de toepassing en verspreiding van innovaties beïnvloeden. Volgens Hekkert zijn voor het goed functioneren van een innovatiesysteem negen processen of functies van belang:

1. Experimenteren door ondernemers
2. Kennisontwikkeling
3. Kennis verspreiding
4. Uitdagingsdirectionaliteit & oplossingsdirectionaliteit
5. Marktcreatie
6. Mobiliseren van middelen
7. Tegengaan van weerstand



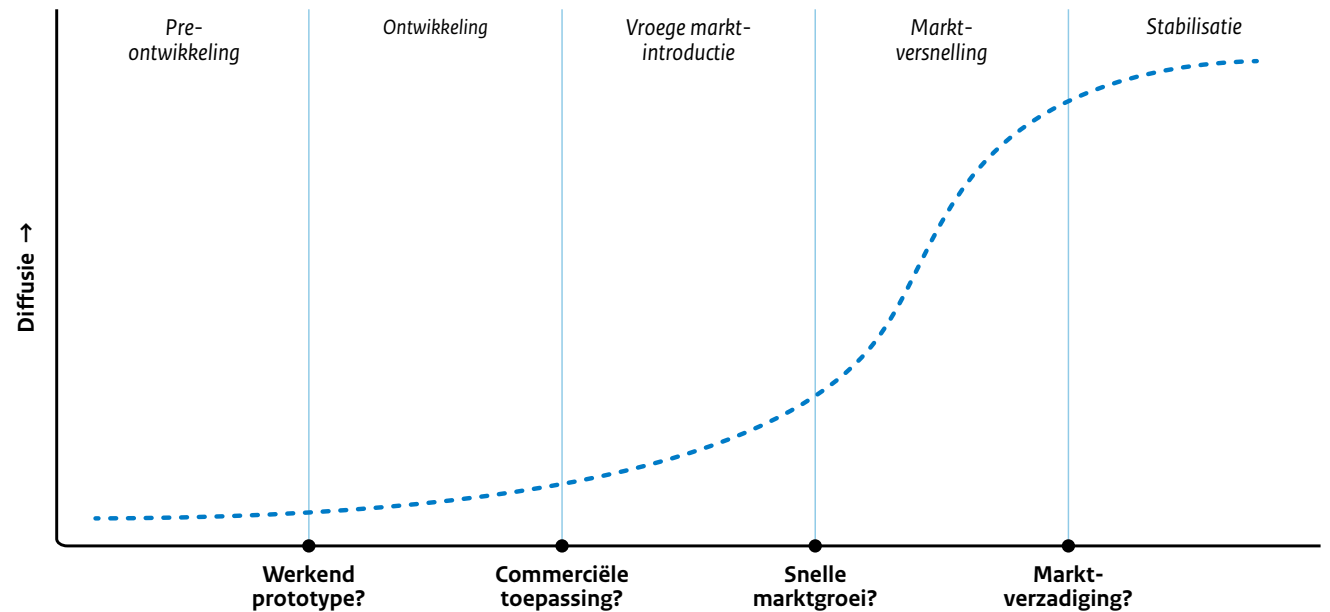
8. Druk uitvoeren op het huidige regime

9. Coördinatie

Bij een transitie is het vooraf vaak nog niet duidelijk welke oplossing de beste kansen biedt voor het behalen van het doel. Dit is ook het geval bij de transitie naar duurzame landbouwwerktuigen. Een MIS-analyse richt zich niet op de ontwikkeling van één technologie, maar op het oplossen van een groter probleem. Het is daarom een geschikte methode om meerdere routes in kaart te brengen.

In een MIS-analyse worden er per route twee analyses uitgevoerd om in beeld te krijgen hoe het traject zich heeft ontwikkeld: een structurele en een functionele analyse. In de structurele analyse worden de personen, bedrijven, organisaties en netwerken die zich bezig houden met de innovatie in kaart gebracht. Deze informatie hebben wij verzameld via een deskstudie en gesprekken met stakeholders. De functionele analyse geeft op basis van de negen functies die hierboven zijn omschreven een goed inzicht in het functioneren van het traject. Per functie zijn er concrete indicatoren geformuleerd (zie Elzinga et al., 2020, p. 5). Door deze indicatoren te omschrijven wordt het innovatiesysteem per route in kaart gebracht. Deze analyse hebben wij uitgevoerd door middel van deskstudie en gesprekken met stakeholders. Ook de resultaten uit de brede stakeholderbijeenkomst zijn hiervoor gebruikt. Door de structurele- en de functionele analyses te combineren ontstaat er een beeld over hoe het traject momenteel functioneert en kan deze worden gepositioneerd op de diffusiecurve (figuur 1).

FIGUUR 1 | Diffusiecurve gebaseerd op de methode van Hekkert et al. (2018)





2.3 Afbakening

Om te voorkomen dat een MIS-analyse te complex wordt is het belangrijk om vooraf de afbakening vast te stellen. Ten eerste de geografische afbakening: wij hebben alleen gekeken naar ontwikkelingen van landbouwwerktuigen binnen Nederland. Uitzondering hierop is het benoemen van een aantal projecten in het buitenland als voorbeeld waar Nederland van kan leren. Ten tweede het begrip ‘verduurzaming’: daarmee bedoelen wij in deze analyse de uitfasering van diesel. Daarbij is ervoor gekozen om CO₂-neutrale voertuigen als duurzaam te zien. Desalniettemin erkent dit rapport ook het belang van aangrenzende thema’s zoals bodemkwaliteit en uitstoot van andere emissies, maar dit is niet het hoofdthema.

Een MIS-analyse kan zo beknopt of uitgebreid worden omschreven als gewenst is. Omdat het bij deze opdracht gaat om een eerste poging het innovatiesysteem in kaart te brengen, is er gekozen voor een beknopte analyse. Dit houdt in dat alleen de redelijk snel te omschrijven indicatoren zijn uitgewerkt en er is gekeken naar de belangrijkste stakeholders. Voor de sociale innovaties zijn er geen individuele analyses uitgevoerd. Hier wordt alleen het belang van gedrag in een transitie benoemd en een aantal voorbeelden van gedragsverandering die bijdragen aan het behalen van het doel.

De vraag rondom energie- en brandstofproductie is alleen beantwoord door te kijken naar de mogelijkheden die er nu zijn, niet naar de acties die nodig zijn om deze ambitie te bewerkstelligen. Zo zijn de investeringskosten en regelgeving niet meegenomen. Ook is er geen gedetailleerde analyse uitgevoerd naar de toekomstige beschikbaarheid van hernieuwbare brandstoffen in de agrarische sector.

“Robots op accu, elektrische trekkers, brandstofcel zijn onderdelen in de transitie, die tevens zorgen voor uitstoot reductie van andere schadelijke uitlaatgassen, zoals nu gedaan door de brandstofmotor.”

→ Huidige situatie



Om een startpunt van de transitie aan te duiden is het belangrijk de huidige keten, CO₂-emissie en de daarbij behorende zaken inzichtelijk te maken. In dit hoofdstuk worden verschillende aspecten van landbouwwerktuigen benoemd, zoals het aantal landbouwwerktuigen, het fossiele dieselverbruik met daarbij de CO₂-emissie voor het klimaat en de ontwikkeling van landbouwwerktuigen. In het laatste gedeelte wordt ook stil gestaan bij de wet- en regelgeving rondom landbouwwerktuigen, inclusief een algemeen overzicht van beschikbare subsidies voor mobiele werktuigen. Om dit inzicht te krijgen is er een deskstudie gedaan. Deze deskstudie is aangevuld met verdiepende gesprekken.

3

3.1 Aantal landbouwwerktuigen in Nederland

Sinds 1 januari 2022 is het verplicht om landbouwwerktuigen zoals tractoren te registreren bij de Rijksdienst voor het Wegverkeer (RDW). Tot op heden zijn er ruim 300.000 landbouwtrekkers geregistreerd en nog eens 100.000 motorrijtuigen met beperkte snelheid (MMBS) (Looman, 2022). Onder deze MMBS vallen onder andere de oogstmachine, de gemotoriseerde grasmaaier, de wals en de veewagen. Niet alle landbouwtrekkers en MMBS zijn in de agrarische sector actief. Deze machines worden bijvoorbeeld ook ingezet in de bouwsector, zwaar transport en het grondverzet. Volgens Fedecom, de brancheorganisatie van trekker importeurs, zijn er zo'n 70.000 werktuigen (bijna) dagelijks actief in de agrarische sector. Het gebruik van de overige 330.000 voertuigen ligt tussen de paar uur tot paar weken per jaar per voertuig.



Volgens CEMA, de European Agricultural Machinery Association, zijn er in 2022 ruim 200.000 nieuwe landbouwtrekkers en MMBS verkocht in Europa. In Nederland worden er elk jaar zo'n 2.500 nieuwe voertuigen verkocht (CEMA, 2023). [Zie bijlage Fedecom voor meer duiding cijfers tractor verkoop en meer informatie duurzame landbouwwerktuigen van deze brancheorganisatie.](#) Vergeleken met de Europese markt, die wordt gedomineerd door landen zoals Duitsland, Frankrijk en Italië, is de Nederlandse markt dus relatief klein.

3.2 De ontwikkeling van landbouwwerktuigen

De productiviteit van de Nederlandse landbouwsector is de afgelopen decennia enorm toegenomen, mede dankzij technologische ontwikkelingen. De steeds groter wordende machines hebben ervoor gezorgd dat de capaciteit van landbouwbedrijven is gestegen. Grotere machines kunnen zorgen voor een hogere efficiëntie, waardoor er in dezelfde hoeveelheid tijd meer land bewerkt kan worden zonder daarbij de hoeveelheid arbeidsuren te hoeven vergroten.


Deze grotere machines hebben ook een keerzijde: het gewicht hiervan zorgt voor bodemverdichting (Keller & Or, 2022). Recent onderzoek van het Louis Bolk Instituut toont aan dat het huidige gewicht van met name zwaarbeladen combines te hoog is, wat uiteindelijk leidt tot bodemverdichting, minder opbrengst, vermindering van de bodemkwaliteit en een hoger brandstofgebruik (Herbert et al., 2023). Om de druk, ook wel wiellast genoemd, op de bodem te verlagen hebben de meeste

tractoren bredere banden gekregen. Ondanks deze bredere banden neemt de druk op de bodem toe en heeft een impact tot op 1 tot 2 meter diepte. De bovenste laag van de bodem kan vaak worden losgemaakt door bodembewerking zoals bijvoorbeeld frezen. De verdichting onder de bouwvoor (0-30 cm) wordt als onomkeerbaar gezien vanwege de hoge kosten om dit aan te pakken en de negatieve effecten op plantengroei. Een belangrijke aanbeveling uit het [rapport van Herbert](#) is dan ook preventie van bodemverdichting, door het stimuleren van lichtere- en autonome machines.

De tractor op het erf

De tractor is de krachtbron achter veel werkzaamheden op het erf. Deze werkzaamheden vragen allemaal een ander vermogen. Zo kan er geschud, geharkt of mechanisch geschoffeld worden met een tractor met weinig pk, terwijl voor ploegen een sterker machine met veel pk nodig is. Een tractor wordt meestal uitgezocht voor een taak die veel vermogen kost. Dit resulteert vaak in een tractor met veel pk die ook zal worden ingezet voor werkzaamheden die minder vermogen vragen. Een boer heeft immers niet vijf verschillende tractoren. Een tractor met veel pk verbruikt meer diesel dan een tractor met weinig pk.

Bijna elk landbouwbedrijf heeft zijn eigen dieseltank op het erf staan waar de tractoren kunnen worden bijgevuld. Deze tank wordt regelmatig bijgevuld door een tankwagen die op het bedrijf langskomt. Dit zorgt ervoor dat een boer niet zijn erf af hoeft om te tanken.

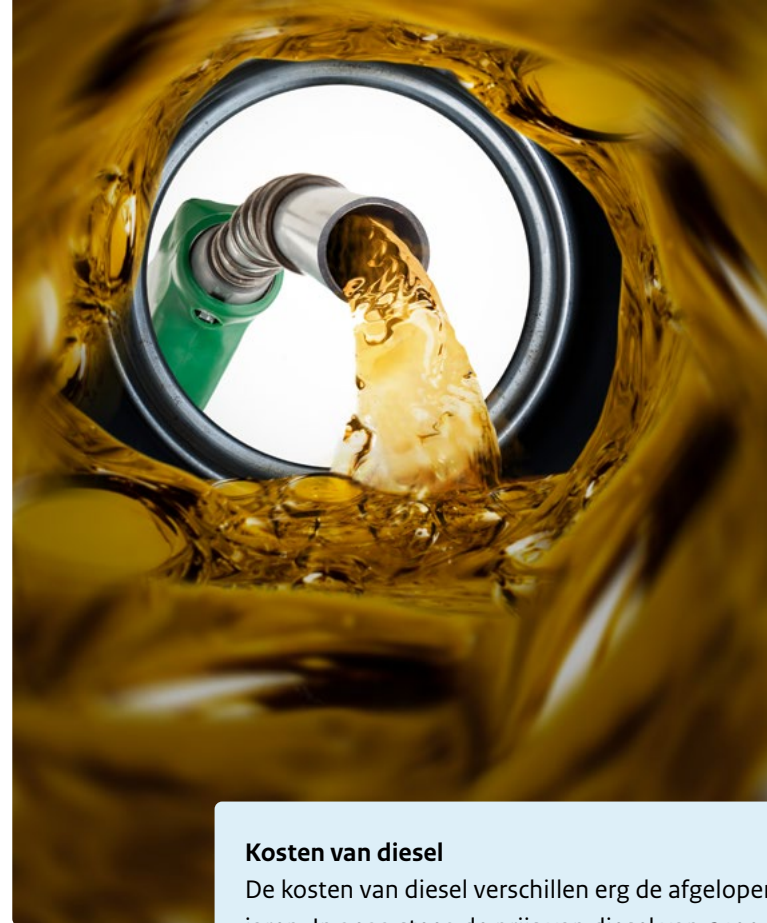


Door klimaatverandering zullen werkzaamheden steeds sneller moeten worden uitgevoerd onder druk van “extreem weer”. Dat kan duurzame keuzen beïnvloeden en dit soort ontwikkelingen moeten we niet onderschat worden. Duurzame ontwikkelingen qua landbouwwerktuigen moeten hierop zoveel mogelijk in spelen om te voorkomen dat ontwikkelingen juist groter/zwaarder blijven.

3.3 Diesel- en energieverbruik

Het is lastig een inschatting te maken hoeveel diesel er in Nederland door landbouwwerktuigen wordt verbruikt, omdat er geen registratieplicht voor diesel is. Volgens Agrimatie, een database van Wageningen University & Research (WUR), hebben de land-, - en tuinbouwsector in 2020 zo'n 13,6 petajoule aan motorbrandstoffen verbruikt (WUR, 2022). Een petajoule is voldoende om 15.000 huishoudens een jaar lang van energie te voorzien. Het energieverbruik is de afgelopen 20 jaar gestegen en is hoger dan het ooit is geweest. Het brandstofgebruik verschilt sterk per bedrijf. Dit hangt samen met de intensiteit van het bedrijf, de gewassen die geteeld worden en of de werkzaamheden door het bedrijf zelf worden uitgevoerd of dat deze worden uitbesteed aan een loonwerker. In de akkerbouw wordt de meeste diesel verbruikt bij werkzaamheden zoals ploegen, oogsten en gewasbescherming (spuiten), met een piek in het gebruik in het najaar. In de veehouderij is het gebruik constanter en zijn het voerwinning, het voeren van het vee, bemesten en graslandverzorging die de meeste diesel verbruiken (van der Voort & Timmerman, 2019).

Een groot deel van het loonwerk bestaat uit relatief zware werkzaamheden zoals oogsten. Het dieserverbruik van de loonwerker wordt niet meegenomen in de cijfers van Agrimatie. Volgens Cumela, de brancheorganisatie van de loonwerkers, wordt er zo'n 160 miljoen liter diesel verbruikt bij agrarisch loonwerk.



Kosten van diesel

De kosten van diesel verschillen erg de afgelopen jaren. In 2022 steeg de prijs van diesel van € 100 naar € 160 per 100 liter. Hoewel de prijs nu weer iets gedaald is naar zo'n € 130, zijn de kosten erg hoog (WUR, 2022). Wanneer de prijs van diesel hoog is en dit grotendeels de kostprijs van de onderneming bepaalt, is de motivatie om te besparen groter. Maatregelen die op dit soort momenten genomen worden zijn bijvoorbeeld de motor niet meer stationair laten lopen of de meest efficiënte route op het veld uitzoeken. Ook wordt er dan beter gekeken om een tractor met het geschikte vermogen bij het werk toe te passen en machines te voorzien van efficiënte motoren. Door minder diesel te gebruiken kan het agrarisch bedrijf kosten besparen.

3.4 Uitstoot en klimaatimpact

De uitstoot van landbouwwerktuigen wordt beïnvloed door twee dingen: de brandstof en de effectiviteit van de motor. De brandstof heeft met name effect op de emissies van broeikasgassen zoals CO₂. De effectiviteit van de motor heeft met name invloed op de omgeving, de natuur en het milieu vanwege de uitstoot van

bijvoorbeeld stikstof en fijnstof. Wetgeving rondom de uitstoot is sinds 1997 vastgelegd door de Europese Unie. Vanaf 2019 geldt voor de meeste motoren de stage 5-norm, waardoor de uitstoot van stikstof en fijnstof enorm zijn gedaald. Nieuwe dieselmotoren zijn dus vanaf 1997 steeds minder schadelijke emissies voor de omgeving gaan uitstoten en gebruiken de brandstof

efficiënter waardoor er minder brandstof nodig is. Alleen zorgen de stage 5-eisen niet voor een daling van de emissies van de broeikasgassen, alleen het soort brandstof heeft hier invloed op.

TABEL 1 | Broeikasgasemissies sector mobiliteit^{1,2} in megaton CO₂-equivalenten (vastgesteld en voorgenomen beleid) (bron: PBL, 2022)

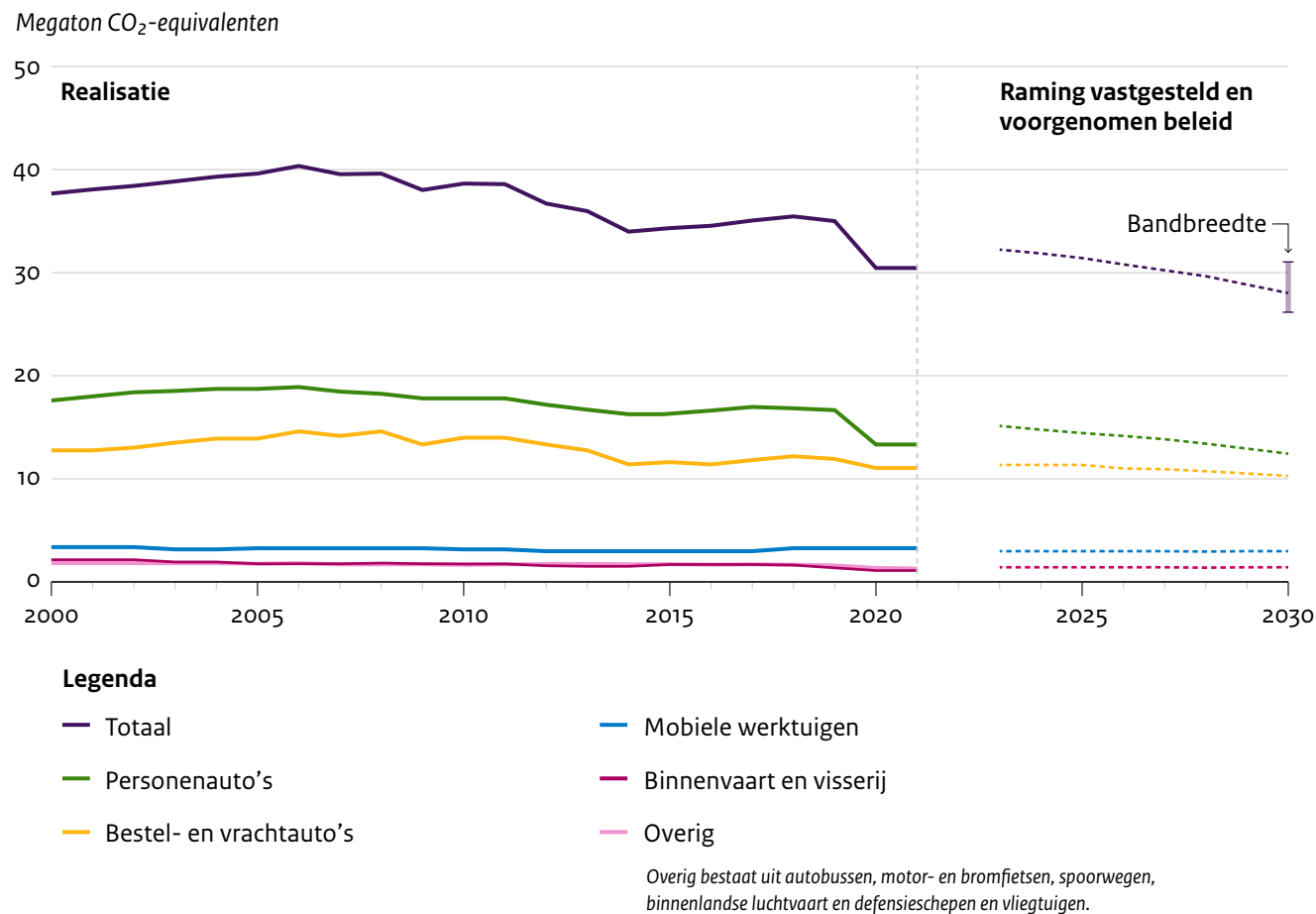
	2000	2005	2010	2015	2020	2021*	2025	2030	2040
Totaal broeikasgassen	37,9	39,8	39	34,5	30,6	30,5	31,6	28,2	19,8
Totaal koolstofdioxide (CO ₂)	37,4	39,2	38,3	33,8	30	29,9	31,1	27,7	19,5
CO ₂ wegverkeer	31,5	33,7	32,9	28,8	25,3	25,2	26,4	23,2	15
CO ₂ railverkeer	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
CO ₂ luchtvaart	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0
CO ₂ scheepvaart	0,8	0,9	1,2	1,1	0,7	0,8	0,9	1	1
CO ₂ defensie	0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
CO ₂ visserij	1,3	0,9	0,7	0,6	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5
CO ₂ mobiele werktuigen	3,4	3,3	3,1	3,1	3,3	3,3	3	2,9	2,9
CO ₂ mobiele werktuigen bouw en industrie	1,8	1,7	1,5	1,4	1,7	1,6	1,5	1,5	1,5
CO ₂ mobiele werktuigen diensten	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
CO₂ mobiele werktuigen landbouw	1,1	1,1	1,1	1,2	1,1	1,1	1	1	1
CO ₂ mobiele werktuigen huishoudens	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Methaan	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0
Lachgas	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Totaal fluorhoudend	0,1	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0
HFK	0,1	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0
PFK	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SF6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal broeikasgassen ETS		0	0	0	0	0	0	0	0
Totaal broeikasgassen ESD/ESR		39,8	39	34,5	30,6	30,5	31,6	28,2	19,8





CBS, PBL en Rijksoverheid hanteren verschillende criteria voor het berekenen van de CO₂-uitstoot van landbouwwerktuigen. Hierdoor varieert de uitstoot van 1,1 tot 1,5 megaton CO₂ wat aan landbouwwerktuigen wordt toegerekend (PBL, 2022; Rijksoverheid, 2023; CBS, 2021). Soms worden landbouwwerktuigen die in de bouwsector worden ingezet bij de agrarische sector meegerekend. Ook is het onduidelijk of tractoren van loonwerkers die worden ingezet in de agrarische sector, zijn meegenomen in de berekeningen. Hierdoor ligt de werkelijke CO₂-uitstoot van landbouwwerktuigen in de agrarische sector hoger dan wordt aangegeven. Wij kiezen ervoor om de 1,1 megaton CO₂ van PBL als leidend te zien, omdat er op basis van deze getallen voorspellingen zijn gedaan in de Klimaat- en energieverkenning (PBL, 2022). Met het bestaande beleid zal de uitstoot van landbouwwerktuigen in 2030 slechts 0,1 megaton dalen (zie tabel 1; figuur 2).

FIGUUR 2 | Emissie broeikasgassen door mobiliteit (bron: PBL, 2022)



3.5 Wet- en regelgeving

In het achtergrondrapport van de klimaat- en energieverkenning is geen beleidsmaatregel te vinden om landbouwwerktuigen te verduurzamen (PBL, 2023). De beoogde daling van 0,1 megaton CO₂ moet dus vooral worden gerealiseerd door ontwikkelingen in de markt, zolang stevige interventies vanuit het Rijk ontbreken. Ook in de, door de Europese Commissie aangekondigde, maatregel dat nieuwe voertuigen per 2035 geen verbrandingsmotor meer mogen hebben, zijn landbouwwerktuigen uitgezonderd. De transitie naar duurzame landbouwwerktuigen kan hierdoor moeilijker worden. In de bouwsector, waar ook landbouwtractoren worden gebruikt, zijn wel beleidsmaatregelen voor CO₂-neutrale machines. In het Klimaatakkoord is de ambitie aangekondigd om meer in te zetten op autonome voertuigen. Het gebruik van deze voertuigen wordt alleen moeilijker door regelgeving die het verplicht stelt toezicht te houden als deze machines aan het werk zijn. Ook mogen deze autonome voertuigen niet op de openbare weg. In Nederland, waar veel percelen versnipperd zijn, vormt dit een extra drempel aangezien er een extra handeling bijkomt om het voertuig te verplaatsen.

Wet en regelgeving autonome voertuigen op openbare weg & onder toezicht werkzaamheden uitvoeren:

- [Nnavv Wijziging van de Wegenverkeerswet 1994 in verband met de implementatie van richtlijn 2014 | Beleidsnota | Rijksoverheid.nl](#)
- [Start met autonoom werkende trekker uitdaging voor eerste gebruiker - Precisielandbouw voor alle telers \(proeftuinprecisielandbouw.nl\)](#)

TABEL 2 | Subsidies en Regelingen met raakvlak aan duurzame landbouwwerktuigen

Regeling	Type regeling	Departement	Waarvoor?	Inclusief agrarische mobiliteit?
AanZET	Subsidie	I&W	Aanschaf subsidie zero emissie truck.	✗
<i>Gesloten</i>				
Schoon en Emissie loos Bouwmaterieel (SSEB)	Subsidie	I&W	Verschonen, aanschaf en innovatie op het gebied van emissieloze bouwmachines.	✗
<i>Gesloten</i>				
VAMIL & MIA	Belasting voordeel	I&W	Helpt landbouwbedrijven bij wie het in de bedrijfsvoering past uit eigen beweging met lichtere machines aan de slag te gaan (gaat vooral om minishovels, heftrucks, voermengwagens).	✓
<i>Open</i>				
DKTI-transport	Subsidie	I&W	Ondersteunt een breed scala aan projecten voor duurzaam vervoer, waarvan de innovatie nog niet of nog maar pas op de markt is.	✗
<i>Gesloten</i>				
EIA	Belasting voordeel	EZK	Energie-investeringsaftrek. Onder andere mogelijk voor een bandenspanningsysteem die kan worden bediend vanuit de cabine	✓
<i>Open</i>				
Horizon Europe	Subsidie	EZK	Innovatie regeling om ecologische, sociale en economische doelstellingen van Europa te bevorderen. In deze regeling zitten geen directe investeringen, maar meer onderzoek naar innovatieve concepten.	✓
<i>Open</i>				
POP3 (uit GLB)	Subsidie	LNV/provincie	Bedrijf duurzamer en moderner maken. Bijvoorbeeld precisielandbouwtechnologie ('smart farming') of digitalisering.	✓
<i>Gesloten</i>				

- [Onderzoekers: tijd voor andere regels autonome trekkers - Groenten & Fruit Actueel \(gfactueel.nl\)](#)
- [Experimenteerwet zelfrijdende auto's \(34.838\) - Eerste Kamer der Staten-Generaal](#)

Fabrikant beschrijft het nu als volgt: het werken zonder toezicht is een grijs gebied, maar wat men nu doet is alle veiligheidsvoorzieningen inbouwen tot aan een

noodstop, maar uiteindelijk wil je ernaar toe dat het voertuig autonoom zelfstandig kan werken. Met de opkomst van meer onbemande werktuigen moet dit in wet- en regelgeving beter worden geregeld, meer duidelijkheid voor fabrikant en gebruiker!



Op dit moment zijn er een aantal subsidies en regelingen vanuit het Rijk die duurzame landbouwwerktuigen stimuleren. In tabel 2 worden deze regelingen¹ benoemd. Sommige regelingen stimuleren CO₂-neutrale tractoren, maar niet voor agrariërs. De meeste regelingen komen van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (I&W). Twee regelingen komen vanuit het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) vandaan en twee regelingen komen vanuit het ministerie van LNV. Deze regelingen hebben bijgedragen aan de aanschaf van e-shovels en e-heftrucks op het agrarisch bedrijf. Loonwerkers zijn uitgesloten van alle regelingen die betrekking hebben op de agrarische sector: dit belemmert een grote groep om te verduurzamen.

¹ Peildatum voor het bepalen of een regeling open of gesloten is was 26 juli 2023.



“Het opwekken van groene stroom op het agrarisch bedrijf is een grote kans om de route elektrificatie te versnellen.”

→ Routes voor verduurzaming



4

In dit hoofdstuk zijn de verschillende routes omschreven die bijdragen aan de verduurzaming van landbouwwerktuigen. Deze routes zijn voortgekomen uit de gesprekken die zijn gevoerd met stakeholders en aangevuld met een deskstudie. In totaal zijn er vijf routes naar voren gekomen:

- hernieuwbare brandstoffen
- batterij-elektrisch
- waterstof
- robotisering
- gedragsverandering

De vier technologische routes zijn omschreven aan de hand van de negen functies van een innovatiesysteem. Dit betekent dat de functies als leidraad dienen in de omschrijving van het innovatiesysteem, maar niet expliciet worden benoemd.



Aan het begin van elke technologische route wordt de technologie eerst uitgelegd. De route gedragsverandering is anders opgebouwd: hier is eerst het belang van gedrag in een transitie omschreven. Daarna zijn er een aantal voorbeelden van gedragsveranderingen benoemd die kunnen bijdragen aan fossielvrije mechanisatie. Deze voorbeelden zijn niet uitgewerkt volgens een MIS-analyse maar zijn slechts ter inspiratie.

4.1 Route hernieuwbare brandstoffen

De hernieuwbare brandstoffen met potentie voor de verduurzaming van landbouwwerktuigen zijn:

- Hydrotreated vegetable oil (HVO)
- Biodiesel
- Synthetische diesel
- Bio-ethanol
- Bio-methanol
- (Bio)methaan

De brandstoffen HVO, synthetische diesel en biodiesel lijken het meeste op fossiele diesel. Deze brandstoffen kunnen als 100% hernieuwbaar worden gebruikt, maar ook worden bijgemengd met fossiele diesel, wat in mindere mate ook leidt tot CO₂-vermindering. Bio-methanol en bio-ethanol zijn vloeibare brandstoffen op alcoholische basis. Methaan en biomethaan kunnen

zowel gasvormig of vloeibaar zijn in de vorm van bio-CNG (Compressed Natural Gas) en bio-LNG (Liquified Natural Gas). Alle bovengenoemde hernieuwbare brandstoffen kunnen gemaakt worden met biomassa als grondstof. Dit zorgt ervoor dat bij verbranding van deze brandstoffen geen CO₂ vrijkomt. Vanwege het gebruik van een verbrandingsmotor komen er nog wel andere emissies vrij zoals fijnstof en stikstof. De druk op de natuur en omgeving blijft met hernieuwbare brandstoffen vergelijkbaar met de druk van diesel.

Technologisch zijn er weinig knelpunten of belemmeringen voor het gebruik van hernieuwbare brandstoffen ten opzichte van fossiele diesel. Zoals hierboven benoemd zijn de hernieuwbare brandstoffen vloeibaar of gasvormig. Bij vloeibare varianten is de brandstofmotor hetzelfde of vergelijkbaar als de huidige dieselmotor. De meeste landbouwwerktuigen beschikken over een stage 3-motor of beter. In principe kunnen deze motoren zonder enige aanpassing HVO, biodiesel of synthetische diesel als brandstof gebruiken. Wel is het belangrijk om na te gaan of de fabrikant de motor heeft vrijgegeven voor het gebruik van HVO, aangezien dit niet altijd het geval is. Als motoren toch niet geschikt blijken te zijn, kunnen deze redelijk makkelijk vervangen worden door een nieuwe motor. Meestal hoeft er weinig te veranderen binnen het huidige systeem wanneer een ondernemer kiest voor HVO, biodiesel of synthetische diesel.

Bij vloeibare hernieuwbare brandstoffen zoals bio-ethanol en bio-methanol heeft de motor een kleine aanpassing nodig. Dit is vaak makkelijk en kan

door middel van een 'ombouwkit'. Bij de gasvormige hernieuwbare brandstoffen methaan en biomethaan is er sprake van een ander type motor ten opzichte van de huidige dieselmotor. In plaats van de dieselmotor moet er namelijk een gasmotor in de machine komen. De gasmotor heeft als bijkomend voordeel dat deze ook geschikt is voor waterstof (*waterstof is ook een geschikte gasvormige brandstof maar wordt apart benoemd in sectie 4.3*). Tevens bestaat er technologie die het mogelijk maakt om stikstof emissies te reduceren bij het gebruik van een verbrandingsmotor. Deze aanpassing kan op vele motoren geïnstalleerd worden en verlaagd ook het brandstofgebruik.

De toenemende vraag naar bovengenoemde brandstoffen in andere sectoren zorgt voor een hoge prijs, waardoor de hernieuwbare brandstof een mindere aantrekkelijke optie is voor de agrarisch ondernemers. Ook is het lastig om als ondernemer aan bio-ethanol, bio-methanol en biomethaan te komen. Op dit moment weerhouden de prijs, de kennis over en de beschikbaarheid van deze brandstoffen die ondernemers ervan om een hernieuwbare brandstof te gebruiken. Ook zijn er geen financiële hulpmiddelen of regelingen die een agrariër ondersteunen bij het vervangen van de motor van oudere machines in het bestaande wagenpark. Technologisch kan er veel met hernieuwbare brandstoffen, maar ook de keten moet er klaar voor zijn, de ondernemer en de benodigde aanpassingen aan het werktuig. Wat realistisch is moet worden onderzocht.



4.2 Route batterij-elektrisch

Op dit moment is er slechts een aantal elektrische tractoren werkzaam in de praktijk. Deze zijn vooral te vinden in de bouwsector, het grondverzet en in de groensector. In de agrarische sector gaan deze ontwikkelingen minder hard. Dit komt meestal omdat de werkzaamheden die met tractoren worden uitgevoerd veel vermogen vragen en het huidige accupakket niet toereikend is voor een hele dag zwaar werk. Als een tractor wel de benodigde accucapaciteit zou hebben, wordt het voertuig te zwaar. Dat is vooral ongewenst in verband met het risico op bodemverdichting (Herbert et al., 2023). In de agrarische sector zijn er wel andere ontwikkelingen rondom elektrificatie geweest. Zo wordt de aanschaf van e-shovels en e-heftrucks gestimuleerd door het Rijk via de MIA/VAMIL regeling.

Er lijken verschillende trajecten te ontstaan voor batterij-elektrische tractoren:

1. Laadbare accu (BEV): dit type tractor is vergelijkbaar met de elektrische auto. De accu is verwerkt in de machine en moet opladen aan een laadpaal. Dit type tractor heeft vaak een lager vermogen (minder dan 120 pk) om te voorkomen dat het accupakket te zwaar wordt.
2. Inwisselbare accu: deze tractor heeft de mogelijkheid om een accupakket eenvoudig te verwisselen. Dit heeft als voordeel dat de tractor langer achtereen kan werken zonder op te hoeven laden. Als de batterij leeg is kan deze namelijk eenvoudig verwisseld worden. Dit zorgt er ook voor dat de tractor niet te zwaar wordt. Door meerdere accupakketten te hebben kan de agrariër overdag zijn of haar tractor

optimaal gebruiken. Deze tractor kan een vermogen hebben van meer dan 200 pk.

Uit de fabriek zijn momenteel geen elektrische tractoren verkrijgbaar. De grote commerciële bedrijven vinden de huidige afzetmarkt te krap omdat er buiten Nederland maar beperkte vraag is naar de elektrische variant. Het zijn daarom de importeurs van deze merken, mechanisatiebedrijven en lokale dealers die zelf bestaande tractoren ombouwen naar een elektrische model. Fendt-importeur Abemec is een van deze bedrijven. Zij gaven aan dat de afnemers van elektrische tractoren enkel in 'de grond,- weg, of waterbouw' werkzaam zijn. Deze sectoren worden gestimuleerd door de verplichting om in 2030 CO₂-neutraal te zijn en beschikbare subsidies (bijv. SSEB, DKTI, AANzet). De agrarische sector mist zo'n stimulering. Wel zijn er andere financiële regelingen beschikbaar (geweest) waar agrarisch ondernemers gebruik van kunnen maken, maar deze worden in grote getalen overschreven (bijv. POP3).

Een van de grootste knelpunten van de elektrische tractor is de prijs van de accu. Een elektrische tractor kost tweeënhalf tot drieënhalf keer zoveel als een diesel tractor. **Bij een 120 PK tractor zit er een verschil van plus minus 150.000 euro meer kosten voor de elektrische variant, zie bijlage 5 voor meer informatie over deze prijsverschillen.** Maar in het gebruik en onderhoud liggen de kosten van de elektrische tractor lager dan een diesel variant (Visser et al., 2020). Er wordt verwacht dat de prijs van accupakketten in de toekomst zal dalen, maar op dit moment is de hoge prijs nog een drempel voor veel ondernemers. Dat elektrische tractoren gangbaarder

worden in de bouw kan een positieve impuls geven aan de prijs, waardoor een elektrische tractor aantrekkelijker wordt voor agrariërs.

Accu's voor elektrische voertuigen zijn nog niet geschikt voor werk dat zwaar vermogen vereist (bijvoorbeeld ploegen, aardappels rooien). De kracht die gevraagd wordt kunnen deze motoren aan, alleen lukt het niet om dat vermogen een hele dag te leveren. Voor veel boeren is dit een nadeel, omdat het extra tijd kost om de accu te laden (wat 1,5 tot 4 uur kan duren). Stel er zou een accupakket in de tractor komen dat wél genoeg vermogen levert voor een dag non-stop werken, dan zou het gewicht oplopen tot 15.000 kg. Dit is niet gewenst aangezien dit kan leiden tot bodemverdichting. Daarom heeft CNH (producent van New Holland) aangekondigd om vanaf 2024 BEV tractoren te produceren tot 120 pk die een hele dag werkzaamheden aan kunnen en 's nachts volledig op kunnen laden. De eerder genoemde elektrische tractor van Fendt, omgebouwd door Abemec, heeft een vermogen van 200 pk. Deze werkt met inwisselbare accupakketten gemonteerd op de frontlader. Als een pakket leeg is kan deze eenvoudig worden omgewisseld waardoor er een hele dag gewerkt kan worden. Compact tractoren (tot en met 55 pk) kunnen makkelijk geëlektrificeerd worden omdat deze minder vermogen vragen en daarom wel de hele dag gebruikt kunnen worden voor lichtere werkzaamheden.

In de veehouderij liggen er veel kansen om het wagenpark te elektrificeren. Werkzaamheden die op dit type bedrijf met een tractor worden uitgevoerd (bijvoorbeeld schudden, harken, kunstmest strooien)

vragen over het algemeen minder vermogen dan die op een akkerbouwbedrijf (bijvoorbeeld ploegen, rooien). Daardoor kan er waarschijnlijk een hele dag gewerkt worden op een accu. Ook zijn veel processen op een veehouderijbedrijf al geëlektrificeerd, denk bijvoorbeeld aan de melkrobot en het koelen van de melk. Als het wagenpark ook wordt geëlektrificeerd en er eigen stroom opgewekt kan worden kan dit zorgen voor een 50% minder energiekosten en 96% minder CO₂-uitstoot (Visser et al., 2020).

4.3 Route waterstof

De overheid ziet waterstof als een belangrijke optie in de energietransitie. Ook in de agrarische sector kan waterstof een belangrijke rol spelen in de duurzaamheidstransitie. Om te zorgen dat er in de toekomst voldoende waterstof is, heeft de overheid de 'routekaart waterstof' ontwikkeld (Nationaal Waterstof Programma, 2022). Door grote installaties op de Noordzee te bouwen kan het overschot aan groene elektriciteit in de toekomst worden omgezet naar groene waterstof. Dit is alleen niet genoeg om alle sectoren van waterstof te voorzien. Daarom zijn er in de routekaart een aantal sectoren aangewezen die voorrang krijgen. De agrarische sector wordt niet meegenomen in deze plannen. Ondanks dat de beschikbaarheid van waterstof in de agrarische sector onzeker is, is waterstof wel een kansrijke route voor de verduurzaming van landbouwwerktuigen omdat de brandstof voldoende kracht kan leveren en deze op het lokale of regionale schaal kan worden opgewekt. Waterstof kent twee toepassingen in landbouwwerktuigen: een brandstofcel en verbrandingsmotor.

4.3.1 Brandstofcel

Een brandstofcel zet waterstof om naar elektriciteit. Door een chemische reactie die plaatsvindt in de motor worden waterstof en zuurstof omgezet in elektriciteit en water. Als de waterstof via groene stroom wordt geproduceerd, via zonne- of windenergie, komt er geen CO₂ of stikstof vrij tijdens het gebruik van de machine. Het opwekken van waterstof zou kunnen gebeuren op het erf van de boer. Omdat de beschikbaarheid van waterstof een belangrijk aspect is van deze route wordt het produceren van waterstof op het eigen bedrijf in hoofdstuk 5 verder toegelicht.

FIGUUR 3| Fendt tractor met waterstoftanks op het dak (bron: ©Fendt)



Er zijn weinig technologische beperkingen om de brandstofcel in te zetten in de agrobiologie (Sanderink, 2022). Dit blijkt ook uit de gesprekken die gevoerd zijn met de verschillende stakeholders. Het zijn vooral de aanschafkosten van de tractor met brandstofcel en de operationele kosten van de (groene) waterstof die gebruikers ervan weerhoudt om te investeren in deze technologie. Omdat er nauwelijks vraag is naar tractoren met een brandstofcel, wordt er door grote bedrijven ook nauwelijks geïnvesteerd in de ontwikkeling van deze machines. Fendt heeft als enige grote, commerciële

bedrijf een aantal tractoren met brandstofcel geproduceerd. Deze tractoren zijn specifiek ontwikkeld voor het project H2AGRAR in het Duitse Nedersaksen. Daarnaast heeft het Nederlandse bedrijf H2trac (nu EOX) een tractor met brandstofcel op de markt gebracht. EOX heeft slechts één model commercieel verkocht. Daarnaast is het mogelijk om bestaande diesel tractoren om te bouwen naar een tractor met een brandstofcel. Ook dit wordt niet of nauwelijks gedaan in de praktijk vanwege de hoge kosten en de lange terugverdientijd van de investering.

Een tractor met brandstofcel kan een dieselvariant bijna een-op-een vervangen. Waterstof als energiedrager kan namelijk genoeg vermogen leveren om alle werkzaamheden uit te voeren. Ook kan er snel getankt worden; binnen 15 minuten is dit geregeld. Om voldoende waterstof mee te kunnen nemen wordt de waterstof onder 350 bar meegenomen in een tank die vaak boven op de cabine van een tractor is gemonteerd (zie figuur 3). Wat ontbreekt is een waterstof infrastructuur op en rondom het agrarisch bedrijf. Dit zorgt voor een hoog financieel risico voor alle partijen om op dit moment te investeren in de brandstofcel als oplossing. Ondanks deze onzekerheid over de ontwikkeling van waterstof in de agrarische sector zijn er veel partijen die toekomst zien in waterstof als oplossing in het zwaar transport en de agrarische sector vanwege de CO₂-neutraliteit, de gelijkenissen met de huidige keten en het kunnen leveren van voldoende kracht. Onder deze partijen vallen onder andere WUR, TNO, provincies, commerciële partijen en energiebedrijven.



In Groningen hebben de provincie, Friesland Campina, Cosun, Rabobank en de Nederlandse Waterstof Maatschappij de handen ineen geslagen met het project H2-agri om vanaf 2024 waterstof op te wekken bij de boer. De geproduceerde waterstof kan dan gebruikt worden op het eigen erf en voor het transport van vrachtwagens van bijvoorbeeld Friesland Campina. WUR doet onderzoek waarbij ze samen met een aantal partners de mogelijkheden van waterstof op het agrarisch bedrijf verkennen (in PPS 'Landbouw als vliegwiel in de energietransitie'). In dit onderzoek wordt alleen gebruik gemaakt van een heftruck met brandstofcel in plaats van een tractor. De resultaten sluiten dus niet helemaal aan op praktijk vanwege het verschil in vermogen. Het project H2AGRAR in Duitsland doet een soortgelijk onderzoek waarbij wel een tractor met brandstofcel wordt ingezet. Naast deze onderzoeken zijn er ook een aantal platforms en andere onderzoeken over de potentie van waterstof in Nederland, met name in het zwaar transport en de industrie.

Sceptici van waterstof geven vaak aan dat waterstof een gevaarlijke brandstof is om mee te werken, vanwege de vluchtige aard van waterstof. Deze onzekerheid kan ervoor zorgen dat de ontwikkeling van waterstof op het agrarisch bedrijf niet verder zal gaan. Uit de interviews blijkt ook dat sommige partijen terughoudend zijn over de kansen van waterstof omdat de kosten van waterstof(productie) te hoog zijn. Ook werd tijdens een aantal interviews benoemd dat het meenemen van voldoende waterstof soms een uitdaging kan zijn vanwege de hoge druk die daarvoor nodig is.

4.3.2 Verbrandingsmotor

Waterstof kan ook in landbouwwerktuigen met een gasmotor worden gebruikt. In plaats van de waterstof om te zetten naar elektriciteit, zoals dat gebeurt in een brandstofcel, wordt de waterstof direct verbrand. Nieuwe gasmotoren kunnen alle gasvormige brandstoffen verbranden, als er rekening wordt gehouden met de verbrandingswaarde van de brandstof. De route waterstof verbrandingsmotor kan geschikt zijn voor bestaande zware werktuigen waarbij de dieselmotor wordt vervangen door een gasmotor. Een bijkomend voordeel is dat een werktuig met gasmotor ook geschikt is voor het gebruik van (bio)methaan. Een punt van aandacht is dat het verbranden van waterstof op deze wijze grote energie verliezen met zich mee brengt in vergelijking met de efficiëntere brandstofcel. Maar het ombouwen van een dieselmotor naar een gasmotor is goedkoper dan een brandstofcel.

Naast het alleen gebruiken van waterstof als brandstof bestaan er ook hybride tractoren waarbij waterstof wordt bijgemengd met diesel. De New Holland dual fuel tractor is voorzien van een aantal waterstoftanks op het dak en een nieuwe stage 5-motor. Deze dual fuel tractor is in Nederland omgebouwd en rijdt bij een paar (loonwerk) bedrijven rond.

De brandstofcel brengt het beste rendement en minste verlies qua energie, maar er zijn in de sector, bij mechanisatiebedrijven en fabrikanten van landbouwwerktuigen, vraagtekens of deze toepassing wel past op de akkers van de landbouw. Dit vanwege stof en vochtigheid die van grote invloed kunnen zijn op de goede werking van de gevoelige technologie. De verbrandingsmotor op waterstof heeft dit minder en zou wat dat betreft ook een goede optie kunnen zijn.

“De verschillende transitie routes kunnen impact maken op korte, middellange en lange termijn met verschillende verduurzamingsroutes per werkracht van het landbouwwerktuig.”



4.4 Route robotisering

Ondanks dat er veel verschil is in autonome voertuigen in de agrarische sector is er slechts één analyse uitgevoerd. Hier is voor gekozen omdat er anders te veel analyses gedaan moesten worden. Daarom is er gekeken naar de mogelijkheden van robots en autonome voertuigen op duurzame elektriciteit in het algemeen in plaats van specifieke toepassingen. Wanneer we denken aan robotisering en automatisering van landbouwwerktuigen zijn er verschillende mogelijkheden. Robots en autonome voertuigen die worden ingezet in de agrarische sector zijn vaak machinedragers die autonoom over de akker kunnen navigeren en werkzaamheden kunnen uitvoeren. Deze machinedragers kunnen een geautomatiseerde tractor zijn, maar ook een klein formaat van een meter breed. Geautomatiseerde tractoren kunnen vaak onbemand rondrijden en taken uitvoeren aan de hand van een takenkaart. Robots die zijn ontwikkeld om een specifieke taak uit te voeren (denk bijvoorbeeld aan schoffelen, onkruid wieden of zaaien) zijn vaak een stuk kleiner omdat hier geen (zware) werktuigen aan hoeven te hangen. Tot slot worden drones ook vaak genoemd wanneer men praat over automatisering. Deze zijn niet meegenomen in de analyse omdat ze (nog) geen taken uitvoeren die anders diesel-aangedreven zijn.

Robotisering past goed binnen het concept **precisielandbouw**. Binnen de [Nationale Proeftuin Precisielandbouw](#), mede gefinancierd vanuit het ministerie van LNV, wordt volop geëxperimenteerd met robotisering en automatisering. Het thema sluit ook goed aan bij andere maatschappelijke thema's zoals bodemverdichting, kringlooplandbouw en

het minimaliseren van de impact op de natuur en klimaat. Ook kan robotisering een oplossing zijn voor het dreigende arbeidstekort in de agrarische sector.

Positieve geluiden rondom precisielandbouw dragen sterk bij aan de ontwikkeling van robotica. Sinds een aantal jaar zijn er tientallen startups, ondernemers, onderzoeksinstituten en mechanisatiebedrijven bezig met het experimenteren en ontwikkelen van verschillende robots voor de agrarische sector. Ondanks dat deze ontwikkelingen als veelbelovend worden gezien door experts zijn er maar een paar bedrijven die daadwerkelijk robots commercieel hebben verkocht. De robots die op dit moment goed werken, richten zich voornamelijk op mechanisch schoffelen, onkruid wieden (onder andere precisie spuiten, laser) en zaaien. Sommige robots zijn gemaakt voor een specifieke taak, terwijl andere een werktuigdrager zijn voor machines, waardoor de robot breder ingezet kan worden. Robotontwikkelaars geven aan dat hun producten technologisch genoeg ontwikkeld zijn om de markt op te gaan, maar dat deze nog wel praktijkervaring nodig hebben om optimaal te kunnen werken (de machines moeten 'leren'). Door te werken ontvangt de robot data en wordt deze als het ware slimmer. Als de machine stil staat zal deze zich dus niet verder ontwikkelen. Omdat er nog weinig robots in de praktijk bezig zijn, is er nog veel twijfel onder agrariërs en loonwerkers over de toepasbaarheid van de machines. Deze onzekerheid en de hoge prijs weerhoudt ondernemers ervan om te investeren in deze nieuwe technologie.

Om iets te doen aan deze onzekerheid zijn er een aantal platforms, proeftuinen, conferenties en field labs waarin de mogelijkheden van deze machines worden gedemonstreerd. Er is maar een selecte groep die interesse toont in deze ontwikkeling. Werken met robots vergt andere kennis van de agrariër dan werkzaamheden uitvoeren met een tractor. De agrariër krijgt een andere rol binnen het managementsysteem op een bedrijf met robots. Jonge (toekomstige) agrariërs maken nauwelijks kennis met het werken met robots tijdens hun opleiding. Onderwijs over robotica is namelijk veelal gericht op onderzoek en ontwikkeling en nog weinig op het gebruik ervan in de praktijk.

Wat is precisielandbouw?

Dit is een manier van boeren waar planten en dieren met behulp van technologie en data een behandeling krijgen die precies aansluit op wat zij nodig hebben. Ook kan techniek worden ingezet bij keuzes die gemaakt moeten worden binnen de bedrijfsvoering (bijvoorbeeld strategische keuzes). Technologieën die veel worden gebruikt binnen precisielandbouw, ook wel smart farming, zijn GPS, sensortechnologie (inclusief drones), robotisering en ICT. Precisielandbouw verschilt van gangbare landbouw, dat keuzes niet per veld, maar per vierkante meter of zelfs per plant gemaakt kunnen worden. Dit zorgt ervoor dat de boer zijn of haar land optimaal kan gebruiken en gewassen zo efficiënt mogelijk geteeld kunnen worden. Door minder en op kleinere schaal gewasbescherming en kunstmest aan te brengen draagt precisielandbouw ook bij aan een duurzame teelt (WUR).



Robotica en automatisering passen goed binnen enkele strategieën van de overheid, zoals precisielandbouw en kringlooplandbouw. Dit is zichtbaar in financiële regelingen en subsidies. De ontwikkeling van robots komt in aanmerking voor bijvoorbeeld de Horizon Europe R&D subsidie. Aanschaf van robots kan via een POP3 regeling, EIA en MIA/VAMIL. Bij POP3 zijn er vaak meer aanvragen dan dat er subsidiebudget beschikbaar is, dus een boer heeft geen garantie dat de aangevraagde subsidie ook toegekend wordt. Bij Mia/Vamil en EIA speelt die onzekerheid niet, wel moet een ondernemer dan winst maken om het fiscaal voordeel te kunnen benutten. Hierdoor wordt de aanschaf van de robot uitgesteld vanwege de hoge investeringskosten. Dit heeft vervolgens een negatief effect op de ontwikkelaars van robots omdat zij niet verder kunnen ontwikkelen en de robot niet in de praktijk kan leren om beter te worden.

De agrarische sector, zoals meerdere sectoren, kampt ook met een arbeidstekort en hoge arbeidskosten. Automatisering kan ervoor zorgen dat het arbeidstekort minder wordt en de arbeidskosten lager. Zeker in de biologische landbouw, waar een groot percentage van de kosten naar handmatige onkruidbestrijding gaat, kan robotica een grote rol spelen. Mechanische onkruidbestrijding is namelijk relatief goed ontwikkeld en kan ervoor zorgen dat (op den duur) de kosten omlaag gaan. Tot slot kunnen robots er ook voor zorgen dat er geen of minder gewasbescherming wordt gebruikt.

Zo kan er in plaats van het spuiten van gewasbescherming mechanisch geschoffeld worden. Als het nodig is om chemische middelen te gebruiken kan dit met robotica op plantniveau. Hierdoor kunnen kosten worden bespaard en bovendien heeft de vermindering van chemische gewasbeschermingsmiddelen een positief effect op de natuur en biodiversiteit.

“Naast technische routes is het goed om ook aandacht te hebben voor verandering van gedrag.”



4.5 Route gedragsverandering

De uitgevoerde analyse in dit rapport is gebaseerd op Hekkert's missie-gedreven innovatiesysteem. Deze analyse erkent naast het belang van technologische innovaties ook sociale en gedragsveranderingen die bijdragen aan het behalen van het doel. Daarom wordt hier het belang van gedrag in de context van een transitie behandeld. Daarna worden er een aantal voorbeelden gegeven van gedragsveranderingen die bijdragen aan de verduurzaming van landbouwwerktuigen. Deze zijn niet uitgewerkt zoals de hierboven beschreven routes maar zijn slechts ter inspiratie.

4.5.1 Belang van gedrag

Een transitie naar duurzame landbouwwerktuigen gebeurt niet vanzelf. Er spelen verschillende factoren mee die ervoor zorgen dat actoren wel of niet hun huidige gebruiken veranderen. Allereerst zijn er drie kernfactoren die het gedrag van een persoon bepalen:

1. Capaciteit: is er voldoende kennis, begrip, aandacht en doorzettingsvermogen? Is de persoon fysiek in staat om te veranderen?
2. Gelegenheid: stimuleert de sociale of fysieke omgeving het gewenste gedrag?
3. Motivatie: wat zijn bewuste en onbewuste drijfveren?

Om gedrag te veranderen is het dus belangrijk dat de persoon in kwestie voldoende kennis heeft om te kunnen veranderen. Voorlichting en training kunnen bijdragen aan het verhogen van de capaciteit van de persoon. Het opleggen van een beperking of juist het stimuleren van het gewenste gedrag draagt bij aan het faciliteren van de juiste gelegenheid. Tot slot kan het belonen van het gewenste gedrag of een negatieve sanctie als er niet wordt veranderd bijdragen aan de motivatie om te veranderen.

Daarnaast zijn er een aantal factoren die de gedragsverandering makkelijker kunnen maken: hoe makkelijk is het nieuwe gedrag te implementeren is, of het (financieel) aantrekkelijk is, de timing van de verandering en de mate waarin het nieuwe gedrag sociaal geaccepteerd is (Merkelbach, 2022). Zo is het vervangen van fossiele diesel door biodiesel relatief makkelijk omdat het gedrag van de agrariër nauwelijks hoeft te veranderen. Het is echter niet (financieel) aantrekkelijk omdat biodiesel duurder is dan fossiele diesel.

Tot slot blijkt uit verschillende onderzoeken dat het aanpassen van gedrag makkelijker wordt als men deel uitmaakt van een groter netwerk. Als niemand in de omgeving ander gedrag vertoont is de motivatie voor een individu om wel te veranderen laag. Boeren geven aan dat zij vaak naar anderen boeren kijken en luisteren voor nieuwe informatie (Blasch et al., 2020). Het uitlichten van goede voorbeelden in de omgeving en kennis te verspreiden over de gewenste oplossing heeft een positieve invloed op de waardering van de innovatie of het gedrag.



4.5.2 Voorbeelden van gedragsverandering

Hieronder worden een aantal voorbeelden gegeven van mogelijkheden waarin gedragsverandering kan leiden tot vermindering van CO₂ uitstoot van landbouwwerktuigen.

1. Niet kerende grondbewerking (NKG): NKG is een oppervlakkige manier van het bewerken van de bodem. Binnen de akkerbouw is ploegen de activiteit die het meeste diesel verbruikt, namelijk 38% (van der Voort & Timmerman, 2019). Ploegen vergt ook veel vermogen van de tractor waardoor elektrificatie van de machine of robotisering geen goede alternatieven zijn. Door NKG zal er minder diesel verbruikt worden en kunnen machines kleiner en lichter worden. Het stimuleren van NKG kan daardoor bijdragen aan minder CO₂-uitstoot in de sector. Een gunstige bijkomstigheid is dat de bodem door NKG zo min mogelijk wordt verstoord. Dit heeft een positief effect op het bodemleven, een betere bodemstructuur en een betere infiltratie van het water. Hierdoor is de bodem beter bestand tegen extreme weersomstandigheden zoals droogte en piekbuien (Verstand et al., 2020). Er wordt verwacht dat NKG vanaf 2024 ook zal vallen binnen de eco-regelingen van het Gemeenschappelijk Landbouwbeleid (GLB).
2. Vaste rijpaden: het rijden op vaste rijpaden draagt bij aan een klimaatbestendig landbouwsysteem en biedt een energiebesparing van 20% en een meeropbrengst van 15% (van der Voort et al., 2020). Doordat voertuigen over vaste paden rijden zal deze grond minder zacht zijn waardoor er minder druk is, wat resulteert in een lager dieselverbruik. Ook wordt de bodem over het algemeen minder belast.

Door altijd te rijden op dezelfde paden is er slechts een klein gedeelte van het perceel dat wordt verdicht.

3. Niet met (zware) tractoren rijden onder slechte weersomstandigheden: wanneer de weersomstandigheden slecht zijn, is het veld vaak lastig om te berijden. De tractor zakt weg waardoor de machine meer vermogen en brandstof nodig heeft. Ook is er een verhoogde kans op bodemverdichting (Herbert et al., 2023).
4. Strokenteelt: onderzoek van WUR toont aan dat het verbouwen van gewassen in stroken een positief effect heeft op het onderdrukken van plagen zonder daarvoor gewasbescherming te hoeven gebruiken. Ook de smallere werkbreedte zorgt ervoor dat er minder grote machines nodig zijn. Met een lager vermogen hebben deze kleine machines minder diesel nodig. Ook de natuurlijke onderdrukking van plagen zorgt ervoor dat er minder vaak gewasbescherming gespoten hoeft te worden – ook dit scheelt een aantal werkgangen.
5. Voeren van vers gras: door vers gras te voeren hoeft een boer vier werkgangen minder uit te voeren. Het gras hoeft enkel gemaaid en meegenomen te worden zonder dat er tussendoor geharkt, geschud en geperst hoeft te worden. Vier werkgangen minder betekent automatisch ook een vermindering in het dieselgebruik.

Er zijn nog meer opties die nader uitgezocht kunnen worden. Deze mogelijkheden kwamen naar boven tijdens de gesprekken die gevoerd zijn.

→ Toepassing van eigen energieproductie



FIGUUR 4 | Visualisatie hoe energie opwek en duurzame landbouwwerktuigen verbonden zijn

Nederland staat voor de opgave om in 2050 alleen maar energie uit duurzame bronnen te gebruiken. Ook is in het Klimaatakkoord de ambitie beschreven om 30% van de groene stroom te produceren op het platteland. Om dit voor elkaar te krijgen moet de productie van groene energie uit wind, zon en biomassa nog flink toenemen.

De landbouw heeft de potentie om hier een flinke bijdrage aan te leveren en tegelijkertijd de eigen bedrijfsvoering te verduurzamen. Ook geeft eigen energieproductie extra onafhankelijkheid aan de boer en een aanvullend verdienmodel. Het ministerie van LNV ziet de mogelijkheid deze ambitie te combineren met de transitie naar duurzame landbouwwerktuigen. Daarom heeft het Ministerie de aanvullende vraag gesteld om te kijken naar de mogelijkheden voor het opwekken of produceren van energie op het eigen bedrijf. In dit hoofdstuk staat een beknopt overzicht van deze mogelijkheden en hoe deze aansluiten op de routes benoemd in hoofdstuk 4.



Deze omschrijving is tot stand gekomen in samenwerking met WUR, specifiek de PPS ‘uitbreiding landbouw als vliegwiel voor de energietransitie’. Figuur 4 is een visualisatie van deze ambitie. Dit hoofdstuk gaat niet in op de acties die ondernomen kunnen worden om deze transitie te bewerkstelligen.

5.1 Zonne- en windenergie

De ambitie om 30% van de groene stroom op het platteland op te wekken is belangrijk in de energietransitie, maar stuit op de beperkingen van de bestaande netinfrastructuur. De infrastructuur die nodig is op het platteland is namelijk niet aangelegd en ingericht om grote hoeveelheden stroom terug te voeren naar het net. Het landelijke laagspanningsnet (LS) is in grote delen van het platteland nu al onvoldoende toegerust om hernieuwbare energieopwekking te verwerken. Op veel plaatsen is het niet meer mogelijk om energie terug te leveren. Toch is het ondanks deze beperkingen nog steeds interessant voor ondernemers om hernieuwbare energie op te wekken en te benutten. Om de extra productiecapaciteit van groene stroom te kunnen realiseren, zijn er meer toepassingen nodig waarbij de opgewekte energie gebruikt kan worden. Direct gebruik door bijvoorbeeld duurzame landbouwwerktuigen op het agrarisch bedrijf is hiervoor een goede optie.

Om het energiegebruik van een landbouwbedrijf goed te matchen met zelfgeproduceerde groene energie is de combinatie van zonne- en windenergie belangrijk. Beide profielen vullen elkaar goed aan (zie figuur 5).

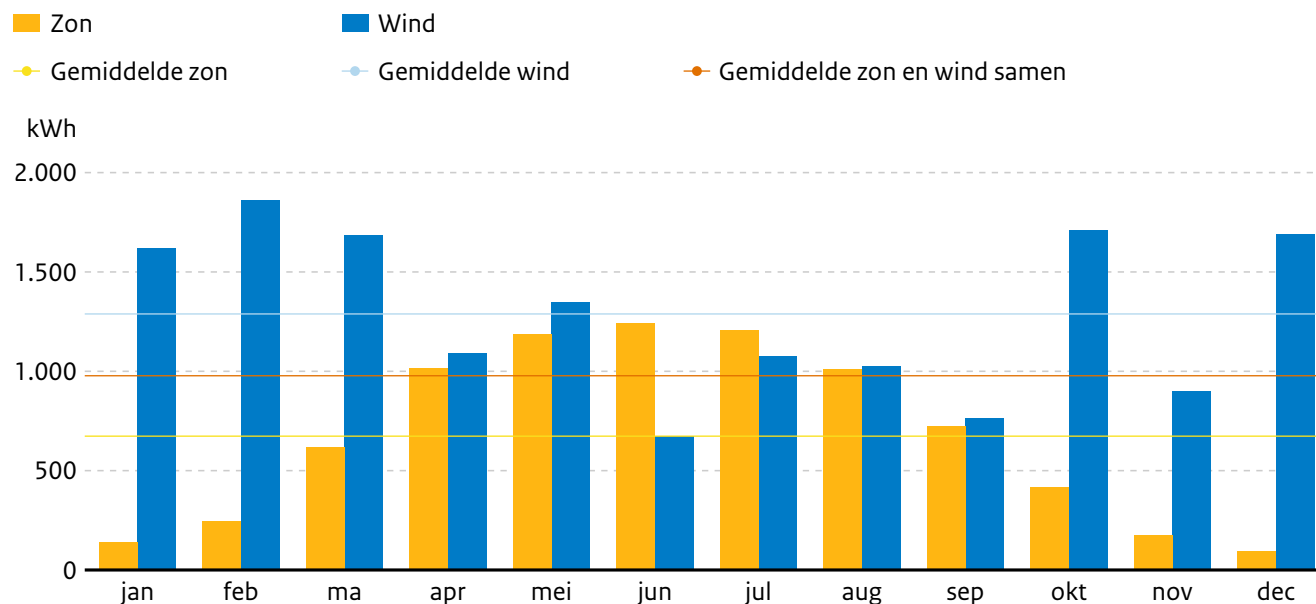
Dit kan gerealiseerd worden met kleine windmolens tot een hoogte van maximaal 25 meter. Niet overal is de plaatsing van deze windmolens toegestaan, maar er zijn steeds meer gemeentes die kleinschalige windproductie op boerenerven willen toestaan omdat het bijdraagt aan de beleidswens om zoveel mogelijk energie lokaal te produceren en te benutten.

Door wind te combineren met zon kan de benutting van eigen geproduceerde energie op een akkerbouwbedrijf oplopen van 20% met alleen zonnepanelen naar 53% bij

de combinatie zon en wind. Bij een veehouderijbedrijf loopt dit op van 27% naar 66%. **Voor een uitgebreide versie van deze sectie (geschreven door WUR), zie bijlage 3.**

“De land – en tuinbouw hebben een goede positie voor een grotere rol in de groene energie productie en in de routes quaverduurzaming landbouwwerktuigen past dit perfect.”

Zon en wind per maand



FIGUUR 5 | Profielen zonne- en windenergie (bron: PPS ‘Landbouw als vliegwiel voor de energietransitie’)

5.1.1 Energie opslag in een accu of batterij

Als de vraag naar transport van elektriciteit groter is dan de transportcapaciteit van het net, hebben landbouwbedrijven de mogelijkheid om de opgewekte energie op te slaan in een batterij of accu. Daarmee kan de energie worden gebruikt op andere momenten dan wanneer deze is opgewekt. Het verschil tussen de batterij en de accu is dat de batterij in een vaste opstelling wordt geplaatst en de accu in het landbouwwerktuig is bevestigd en direct wordt opgeladen. De opslag van energie in een batterij wordt in de toekomst steeds belangrijker met een verhoogde productie van groene elektriciteit en overschotten hiervan bij veel wind, zon of beide. Het opslaan van groene stroom in een batterij of accu sluit goed aan bij de transitieroutes elektrificatie en robotisering met elektrische aandrijving. Er zijn verschillende manieren om de opgewekte elektriciteit te benutten. De eerste optie is om het elektrische voertuig middels een (snel)lader op te laden (die al dan niet verbonden is aan de batterij). Voor een elektrische shovel of elektrische mengwagen is dit een goede optie. Als de machine lange tijd zwaar werk moet leveren zal de machine meerdere malen per dag moeten worden opgeladen. Dit is tijdrovend en daarom niet wenselijk.

Een tweede optie voor het opladen van machines zijn inwisselbare accu's. Een mogelijkheid is dat er per bedrijf meerdere (kleine) accu's aanwezig zijn die worden opgeladen en wanneer nodig naar de werktuigen/robots worden gebracht. Zeker als de elektrische machine lang gebruikt wordt of zwaar werk uitvoert, is dit een goede optie. De accu is net als een batterij

nog een grote investering voor bedrijven, maar vanuit het overheidsbeleid komt hier meer inspanning op ter stimulatie (zie 'Routekaart Energieopslag').

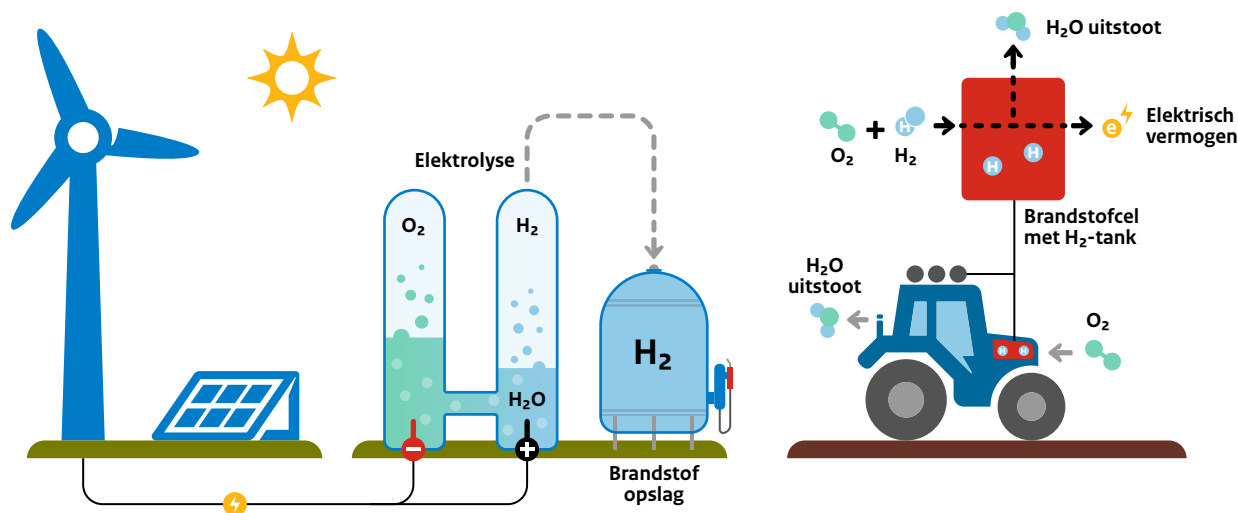
5.1.2 Energie opslag in waterstof

Naast het opslaan van elektriciteit in een accu bij overproductie zoals omschreven in 5.1.1 is er de mogelijkheid deze energie om te zetten in waterstof. Wanneer landbouwbedrijven aan de slag willen met werktuigen op waterstof, moet dit waarschijnlijk uit regionale of eigen productie van waterstof komen omdat de agrarische sector niet is opgenomen in de nationale routekaart waterstof. De groene waterstof kan lokaal of regionaal worden geproduceerd door een elektrolyser. Waterstof en waterstofproductie of -opslag door elektrolyse zijn processen die nog niet heel gangbaar zijn, zeker niet in de landbouw. WUR is momenteel bezig met

een pilot waarin de mogelijkheden voor op het agrarisch bedrijf worden onderzocht - de resultaten zullen eind 2023 worden gepubliceerd.

De geproduceerde groene waterstof kan worden gebruikt in landbouwwerktuigen uitgerust met brandstofcel of gasmotor, mits aangepast op waterstof qua motorconfiguratie. Er zijn ook andere doeleinden voor de opgewekte waterstof, bijvoorbeeld als tankgelegenheid voor ketenpartijen. Zo investeren FrieslandCampina en Cosun in het opwekken van waterstof voor duurzaam transport van hun wagenpark. In figuur 6 is schematisch weergegeven hoe de waterstof door zonne- en windenergie en elektrolyse wordt omgezet naar waterstof.

FIGUUR 6 | Schematische weergave van het opwekken van waterstof



5.2 Biogas (biomethaan)

Voor de agrarische sector, en zeker in de veehouderij, is vergisting geen onbekende toepassing. Dit gebeurt al op veel bedrijven met co-vergisting (50% mest en 50% plantaardige reststromen), maar steeds meer bedrijven gaan voor mestverwerking over op mono-vergisting (100% mest). Bij beide processen wordt biogas geproduceerd, dat verwerkt tot biomethaan een prima hernieuwbare brandstof is. Biogas komt uit de vergister met ongeveer 60% methaan per m³ en moet worden opgewerkt tot minimaal 85% per m³ om als een hernieuwbare brandstof in een landbouwwerktuig (voorzien van een gasmotor) gebruikt te worden. In de opwerkingsinstallatie wordt het biogas gezuiverd, waarbij de CO₂ eruit gehaald wordt. Hierdoor wordt de hoeveelheid methaan verhoogd per m³ (zie figuur 7 voor een voorbeeld van een biogasinstallatie).

In een aantal bestaande gevallen van vergisting staat er een biogas Warmte Kracht Koppeling (WKK) voor de productie van elektriciteit, maar doordat men de warmte vaak niet kwijt kan neemt deze optie af. De keuze om biogas op te werken naar een kwaliteit van fossiel aardgas is daarom een logisch alternatief. Dit biogas kan worden ingevoegd op het gasnetwerk, geleverd aan brandstofleveranciers of aan naastgelegen gebruikers maar kan gebruikt worden als brandstof voor eigen landbouwwerktuigen. Deze mogelijkheden laten zien dat er veel opties zijn voor de afzet van biogas.

→ [Overheid stimuleert productie groen gas](#)

DE GROEN GAS INSTALLATIE




FIGUUR 7 | Voorbeeld van een biogasinstallatie

5.3 Hernieuwbare brandstoffen

Het produceren van hernieuwbare brandstoffen zoals ethanol, methanol en HVO is qua grondstoffen en operationeel proces ingewikkelder dan biogas- of waterstofproductie. Om de productie hiervan in perspectief te plaatsen wordt de mogelijkheid hier wel kort genoemd. Grondstoffen van de eerste generatie die gebruikt kunnen worden voor eigen productie van hernieuwbare brandstoffen zijn bijvoorbeeld koolzaad, zonnebloem, suikerbiet, graan, stro of hout. Bij de tweede generatie zijn het de reststromen of niet-eetbare delen van de plant die worden gebruikt.

Naast de grondstof is er nog het productieproces voor de hernieuwbare brandstoffen. Dit is een chemisch proces en staat redelijk ver van werkzaamheden in de agrarische sector. Wellicht zou het produceren van hernieuwbare brandstoffen voor eigen gebruik in de toekomst voor sommige (groepen) agrarisch ondernemers haalbaar zijn. Op dit moment wordt het nog niet als realistisch gezien. Het nadeel van hernieuwbare brandstoffen is dat de ondernemer afhankelijk blijft van een brandstofleverancier.



→ Conclusies en aanbevelingen per route

Dit hoofdstuk beschrijft de analyse van de resultaten uit hoofdstuk 4 en 5. Deze analyse bestaat uit twee delen: algemene conclusies en route-specifieke bevindingen. In de algemene conclusie worden de gebreken van het huidige systeem omschreven, wat de kosten en CO₂-uitstoot per optie zijn, welke routes op welke termijn impact kunnen maken en voor welk type werkzaamheden de routes geschikt zijn. In het tweede deel wordt er aan de hand van de MIS-analyse functies beschreven wat er per route gedaan kan worden om de technologie te stimuleren.

Deze analyse geeft geen aanbevelingen over welke innovatie het best past in de agrarische sector in Nederland. Alle innovaties dragen op eigen wijze bij aan de verduurzaming van landbouwwerktuigen. Het is uiteindelijk aan het ministerie van LNV om richting te geven aan de transitie.

6



6.1 Algemene conclusie

Het is belangrijk om onderscheid te maken tussen ‘klimaatneutraal’ en ‘zero emissie’. De route hernieuwbare brandstoffen vermindert namelijk wel de CO₂-uitstoot maar stoot vanwege de verbrandingsmotor wel stikstof en fijnstof uit. Elektrische voertuigen en tractoren met een brandstofcel hebben geen uitstoot en zijn daarmee ‘zero emissie’.

Ondanks dat er diverse bronnen zijn die een indicatie geven van de CO₂-uitstoot van landbouwwerktuigen, verschillen de kerngetallen per instantie. PBL, CBS en RVO hanteren verschillende aannames die ten grondslag liggen aan de gepubliceerde cijfers. Dieselgebruik in de agrarische wordt niet centraal bijgehouden. Daarbij komt dat veel tractoren ook in de bouwsector, wegenbouw en groenbeheer worden ingezet. Het verschil per bron of de CO₂-uitstoot van deze voertuigen wordt toegerekend aan de agrarische of een andere sector. Ook is het niet duidelijk of agrarisch loonwerk wordt meegenomen in de beschikbare kerngetallen. Hierdoor is de daadwerkelijke CO₂-uitstoot van landbouwwerktuigen in de agrarische sector niet precies bekend. Om de werkelijke impact van het gebruik van landbouwwerktuigen in de agrarische sector op het klimaat te kunnen vaststellen, wordt **daarom aanbevolen centraal bij te houden wat het diesilverbruik is.**

PBL verwacht met de huidige regelingen en beleid nauwelijks een afname van de CO₂-uitstoot van landbouwwerktuigen in de agrarische sector (PBL, 2022). Dit betekent dat er in 2040 nog altijd 1 megaton CO₂

afkomstig is van landbouwwerktuigen. Uit de analyse blijkt dat er technologisch geen belemmeringen zijn voor het gebruik van fossielvrije mechanisatie. **In de praktijk mist er echter een incentive bij ondernemers om deze nieuwe technieken aan te schaffen of te ontwikkelen.** De prijzen van duurzame opties liggen vaak twee keer zo hoog als een dieselvariant en er staat geen vergoeding tegenover deze investering. Hierdoor stagneert zowel de vraag als aanbod van duurzame opties en ontstaat er een zogenoemd kip-en-eiprobleem. **Het is daarom belangrijk als overheid om richting te geven aan de transitie door concrete doelen te stellen.**

“PBL verwacht met de huidige regelingen en beleid nauwelijks een afname van de CO₂-uitstoot van landbouwwerktuigen in de agrarische sector.”

Daarbij is de coördinatie van de transitie naar duurzame landbouwwerktuigen ook erg belangrijk. Op dit moment is het onduidelijk welk departement de verantwoordelijkheid draagt over de verduurzaming van landbouwwerktuigen, die volgens het Klimaatakkoord vallen onder de sector mobiliteit. Bij het Ministerie van I&W bestaan er regelingen en beleid om mobiele werktuigen in de bouw te verduurzamen, maar soortgelijke voertuigen in de agrarische sector zijn hiervan uitgesloten. Zelf heeft het ministerie van LNV weinig regelingen beschikbaar voor agrariërs die willen investeren in duurzame werktuigen. Loonwerkers die veel werkzaamheden

uitvoeren in de agrarische sector worden uitgesloten van de regelingen die er zijn. **Ook omvatten de beschikbare regelingen (EIA, MIA/VAMIL, EHF, POP3) niet alle mogelijkheden die bijdragen aan fossielvrije mechanisatie. Alleen nieuwe elektrische of waterstof voertuigen en robotisering vallen binnen de regeling.** Deze subsidies worden vaak overschreden waardoor het aantal duurzame landbouwwerktuigen niet snel groeit. Er kan een grote impact gemaakt worden door naar ombouwmogelijkheden van bestaande voertuigen te kijken. Per jaar worden er in Nederland slechts 2.500 nieuwe landbouwwerktuigen aangeschaft. Hiermee is de Nederlandse markt ten opzichte van de Europese markt (200.000 nieuwe voertuigen) relatief klein. **Er is door het beperkte aantal nieuwe voertuigen slechts een klein percentage per jaar dat kan verduurzamen als er alleen een focus ligt op nieuwe voertuigen.** Nederland is een van de eerste landen die inzet op duurzame landbouwwerktuigen, maar door het kleine aandeel op de Europese markt zijn er nog geen grote fabrikanten die af fabriek een elektrische of waterstof tractor afleveren. Veel van deze grote fabrikanten zijn nog nauwelijks bezig met alternatieven op dieseltractoren. Door samen te werken op Europees niveau is de kans groter dat grote tractor fabrikanten worden gestimuleerd om de bouw van duurzame alternatieven te versnellen.



Kostenanalyse

In tabel 3 staan de CO₂-uitstoot, kosten per machine, brandstofkosten en de beschikbaarheid per route weergegeven bij een verbruik van 10.000 liter diesel. De 10.000 liter is gebaseerd op een gemiddeld model-bedrijf van 60 hectare (van der Voort et al., 2019). Ook zijn de kosten van de brandstof en aanschafprijs van de machine benoemd in deze tabel. Bij de routes robotisering ontbreekt de CO₂-uitstoot omdat het niet bekend is hoeveel energie een robot gebruikt. Hetzelfde geldt voor de CO₂-uitstoot van methanol omdat deze niet bekend is. Ook ontbreken de brandstofkosten bij ethanol en methanol omdat deze niet gevonden kunnen worden. De route gedragsverandering is niet meegenomen in deze tabel.

Op dit moment zijn de kosten voor waterstof, HVO en synthetische en biodiesel hoger dan diesel. Ook zijn de kosten van iedere tractor hoger dan de dieselvariant, met uitschieters voor de waterstof en elektrische tractor. Bij het gebruik van hernieuwbare brandstoffen hoeft slechts de motor vervangen te worden. Dit kost gemiddeld € 30.000 en kan met vrijwel iedere tractor. Ondanks dat robots dezelfde prijs hebben als een dieseltractor wordt de investering gezien als te groot. Robots werken nog niet op hetzelfde niveau als een tractor met werktuig waardoor de investering als risicovol wordt ervaren. Ook zijn deze robots niet voor alle werkzaamheden geschikt waardoor het hebben van alleen een robot (nog) niet voldoende is.

TABEL 3 | Vergelijking tussen de routes met betrekking tot CO₂ uitstoot, machine kosten, brandstofkosten en subsidie mogelijkheden

Bedrijf, gemiddeld 10.000 L diesel (incl. loonwerk); de CO₂ uitstoot is tank-to-wheel (TTW); gemiddeld bedrijf = 60 ha

	kg CO ₂ */bedrijf	kg CO ₂ /ha	Aanschafkosten machine [^]	Brandstof kosten	Sudisidie (ja/nee) + welke
Diesel	26	442	€ 250.000	€ 12.554 ⁽¹⁾	Nee
Waterstof ⁽²⁾ (groen)	0	0		€ 34.144 ⁽⁴⁾	
Elektrisch ⁽⁵⁾			€ 500.000		G3413 (45% mia), G3425 (45% mia): elektrisch gedreven werktuigdrager, 270106 mobiel elektrisch werktuig. Kan ook voor oplaadpunt.
(groen)	0	0		€ 0 ⁽⁶⁾	
(grijs)	556	9		€ 410 ⁽⁷⁾	
Robot (elektrisch)			€ 150.000 – € 250.000		Horizon 2020
HVO	320	5	€ 250.000	€ 20.200 ⁽⁸⁾	Nee
Biogas (CNG) ⁽⁹⁾	190	3	€ 300.000	€ 2.873 ⁽¹⁰⁾	Nee

* op basis van kerngetallen cozemissiefactoren.nl

[^] machine van ± 200 pk (nieuw model)

(1) prijs diesel op 13-7 € 125,54/100L via LTO ledenvoordeel

(2) 1 L diesel = 0,16 kg waterstof → 10.000 x 0,16 = 1.600 kg waterstof staat gelijk aan 10.000 L diesel

(4) prijs waterstof volgens RVO in eerste kwartaal 2023 € 21,34 per kg; onduidelijk of waterstof groen of grijs is, daarom is de prijs voor waterstof hetzelfde in beide categorieën

(5) 1 L diesel = 10 kWh → 1.000 kWh

(6) op basis van gebruik eigen energie

(7) gemiddelde stroomprijs juni 2023 € 0,41/ kWh

(8) prijs HVO (excl. BTW) € 202 op 13-7 (dcb energy)

(9) 1 L diesel = 0,17 kg CNG

(10) 1 kg bio cng € 1,69 op 13-7 (og cleanfuels)

Het is onduidelijk hoeveel energie er nodig is om de werkzaamheden met een robot uit te voeren. Daarom is dit vlak leeggelaten.

Zie bijlage 1 op [pagina 46](#) voor de volledige tabel.



Ondanks dat de brandstofkosten voor HVO, synthetische en biodiesel ongeveer 20% hoger liggen dan diesel hoeft er qua machines niks te veranderen. Het kan daarom een 'quick win' zijn om een vergoeding te geven voor het verschil in prijs tussen diesel en de duurzame brandstof. Hiermee kan tegen de laagste kosten 99% minder CO₂ worden uitgestoten. Een andere relatief goedkope optie voor de korte termijn is een financiële ondersteuning voor een 'ombouwkit' om bestaande tractoren te voorzien van een gasmotor. Met een gasmotor kan een ondernemer gebruik maken van biogas die zelf opgewekt kan worden. Dit vermindert de CO₂-uitstoot met 99% en verlaagt ook de brandstofkosten. Hetzelfde geldt voor een ombouwkit voor een methanol of ethanol motor, alleen zijn hier weinig cijfers bekend over het besparen van CO₂ en de brandstofkosten.

“Met een gasmotor kan een ondernemer gebruik maken van biogas die zelf opgewekt kan worden. Dit vermindert de CO₂-uitstoot met 99% en verlaagt ook de brandstofkosten.”

De prijs van de elektrische tractor ligt tweemaal zo hoog als een dieselvariant. Dit komt voornamelijk door de hoge prijs van de accu. De operationele kosten en 'brandstofkosten' liggen echter lager dan bij een dieseltractor. De CO₂-impact is nagenoeg 0, net zoals de stikstof en fijnstof emissies. Door de opwek van stroom op het agrarisch bedrijf liggen er kansen om

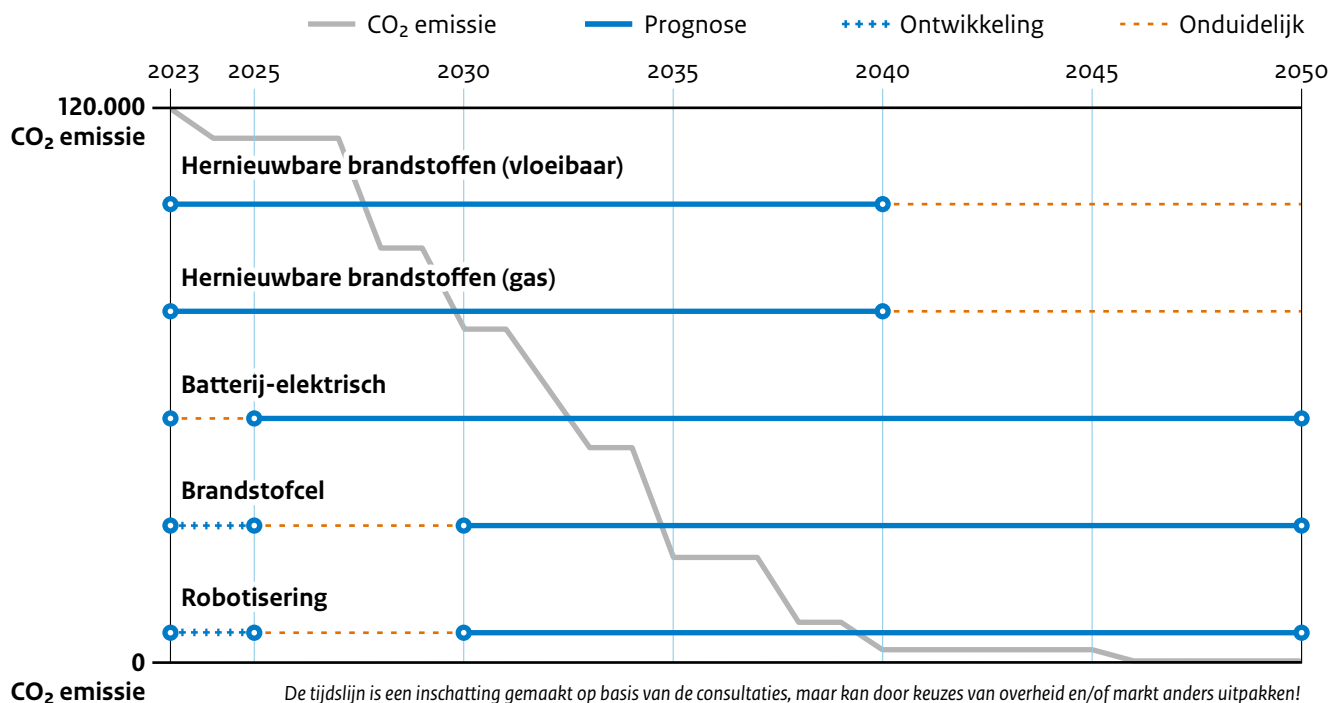
de ambitie van meerdere klimaatdoelen te combineren en de prijs voor kilowattuur te verlagen of zelfs stroom te kunnen terug leveren (als het net dit toelaat).

Transitie op termijn

Gebaseerd op de bevindingen is er een inschatting gemaakt op welke termijn de routes impact kunnen maken (zie figuur 8). **De grootste winst bij het verduurzamen van landbouwwerktuigen is te behalen bij de 70.000 actieve voertuigen die (bijna) dagelijks worden gebruikt.** De vloeibare hernieuwbare brandstoffen zijn een goede optie als transitiebrandstof en kunnen al op korte termijn worden ingezet.

Als de motor van een landbouwwerktuig stage 3 of hoger is, is het in veel gevallen mogelijk om hernieuwbare brandstoffen zoals synthetische diesel, biodiesel of HVO te gebruiken. Mocht dit niet mogelijk zijn is het relatief eenvoudig om de motoren van deze voertuigen om te bouwen. Ook gasvormige hernieuwbare brandstoffen zijn op korte termijn goed te gebruiken mits de machine over een gasmotor beschikt; ook deze kan anders relatief eenvoudig worden omgebouwd. Of er in de toekomst voldoende hernieuwbare brandstoffen beschikbaar gaan zijn voor de agrarische sector hangt af van veel nu nog onzekere factoren.

FIGUUR 8 | Tijdslijn met prognose impact per route





Daarom is de impact van deze hernieuwbare brandstoffen die niet of zeer lastig zelf te produceren zijn na 2040 als onzeker bestempeld.

Een andere goede optie voor de korte termijn is het elektrificeren van kleine voertuigen met een vermogen tot 55 pk. Elektrificatie past binnen de algemene trend in de mobiliteit waarbij wordt ingezet op batterij-elektrische voertuigen. De praktijk verwacht dat voertuigen van 55 tot en met 120 pk op middellange termijn gaan volgen als de accu beter ontwikkeld is om er een dag werkzaamheden mee uit te voeren.

Het opwekken van groene stroom op het agrarisch bedrijf is een grote kans om de route elektrificatie te versnellen. Om voertuigen tussen de 120 en 200 pk te elektrificeren lijkt de optie met inwisselbare accu's kansrijk. Door accu's te wisselen blijft het gewicht van de machines laag terwijl de boer de hele dag werkzaamheden kan blijven uitvoeren. Op dit moment zijn er nog weinig tractoren met een inwisselbare accu, ontbreekt de infrastructuur om deze op veel locaties te kunnen laden en is er nog onvoldoende geschoold personeel om de machine te repareren of om te bouwen. Hierdoor zal het nog een aantal jaar duren voordat de inwisselbare accu impact kan maken.

Routes die meer tijd nodig hebben om te ontwikkelen zijn waterstof, met name de brandstofcel, en robotisering. De techniek voor de brandstofcel werkt al en kan de werkzaamheden die een hoog vermogen vragen goed aan. Maar deze techniek is nog erg duur en de beschikbaarheid van (groene) waterstof als brandstof is nog een probleem. Wel liggen er veel mogelijkheden voor het opwekken van waterstof op het agrarisch bedrijf, vooral met een groep boeren om de kosten lager te houden. In de sector wordt met veel enthousiasme gesproken over de ontwikkeling van waterstof en de kansen hiervan op het bedrijf.

Op lange termijn liggen er veel kansen voor robotisering. Deze route heeft de mogelijkheid om bij te dragen aan meerdere (maatschappelijke) opgaven zoals bodemverdichting, arbeidstekort en de vermindering van gewasbescherming. Door met lichtere machines te werken vermindert de bodemdruk. Ook hoeven er minder gewasbeschermingsmiddelen gebruikt te worden door de mogelijkheid van mechanische onkruidbestrijding, een toepassing die veel te zien is bij robots. Ook kan het bijdragen aan kostenbesparing bij onkruid wieden in de biologische sector.



Pixelfarming Robotics (Almkerk in Nederland) heeft een robot gebouwd die kan wieden, snoeien, maaien en schoffelen.



Type werkzaamheden voor verschillende vermogens

tractoren worden gebruikt voor het uitvoeren van vele werkzaamheden. Sommige van deze werkzaamheden kosten weinig vermogen zoals bijvoorbeeld het maaien van gras, terwijl zware grondbewerking veel vermogen eist. In figuur 9 is er op basis van de resultaten een inschatting gemaakt welke routes passen bij welke werkzaamheden. De oplossing voor de verduurzaming van landbouwwerktuigen ligt daarom in de combinatie van meerdere routes. Hernieuwbare brandstoffen zijn in principe voor alle werkzaamheden een geschikte optie. Zeker voor voertuigen die moeilijk zijn te elektrificeren, automatiseren of op korte termijn zijn om te bouwen naar waterstof zijn deze opties erg geschikt.

Deze route vermindert alleen de CO₂-uitstoot en niet andere uitlaatgassen, omdat er gewerkt wordt met een verbrandingsmotor.

Kleine voertuigen zijn eenvoudig te elektrificeren. Dit komt omdat de toepassing van deze machine weinig hoeft te veranderen: er wordt vaak niet een hele dag gewerkt met deze machines waardoor opladen en batterijduur geen probleem zijn. Vermogens tussen 55 en 120 pk zijn op termijn ook te elektrificeren. Dit geldt ook voor robotisering. De toepassingen waar robotica voor zijn gebouwd kunnen de werkzaamheden van tractoren en bijbehorende machines overnemen. Op dit moment lijkt het niet waarschijnlijk dat robots

werkzaamheden zoals ploegen of oogsten overnemen, vanwege het vermogen dat gevraagd wordt van de machine.

Als de werkzaamheden meer dan 200 pk vragen zijn waterstof of hernieuwbare brandstoffen een goede optie. Deze routes veranderen weinig aan de huidige werkgang van de boer, waardoor de toepassing van deze nieuwe technologieën niet veel zal veranderen van de huidige praktijk. Er kan van deze brandstoffen namelijk voldoende worden meegenomen zonder dat de machine te zwaar wordt en er teveel getankt moet worden.

FIGUUR 9 | Prognose van de geschiktheid per route voor werkzaamheden die een bepaald vermogen vragen (in pk's)

	< 55 pk	55 - 120 pk	120 - 200 pk	> 200 pk
Hernieuwbare brandstof (vloeibaar)	⚠	✓	✓	✓
Hernieuwbare brandstof (gas)	⚠	✓	✓	✓
Batterij elektrisch	✓	✓	⚠	⚠⚠
Brandstof cel	⚠	✓	✓	✓
Robotisering	✓	✓	⚠	✗

Legenda

- ⚠⚠ Zeer onwaarschijnlijk
- ⚠ Onwaarschijnlijk
- ✓ Geschikt
- ✗ Ongeschikt

In de tabel zijn indicaties opgenomen, die in de praktijk anders kunnen komen te liggen.

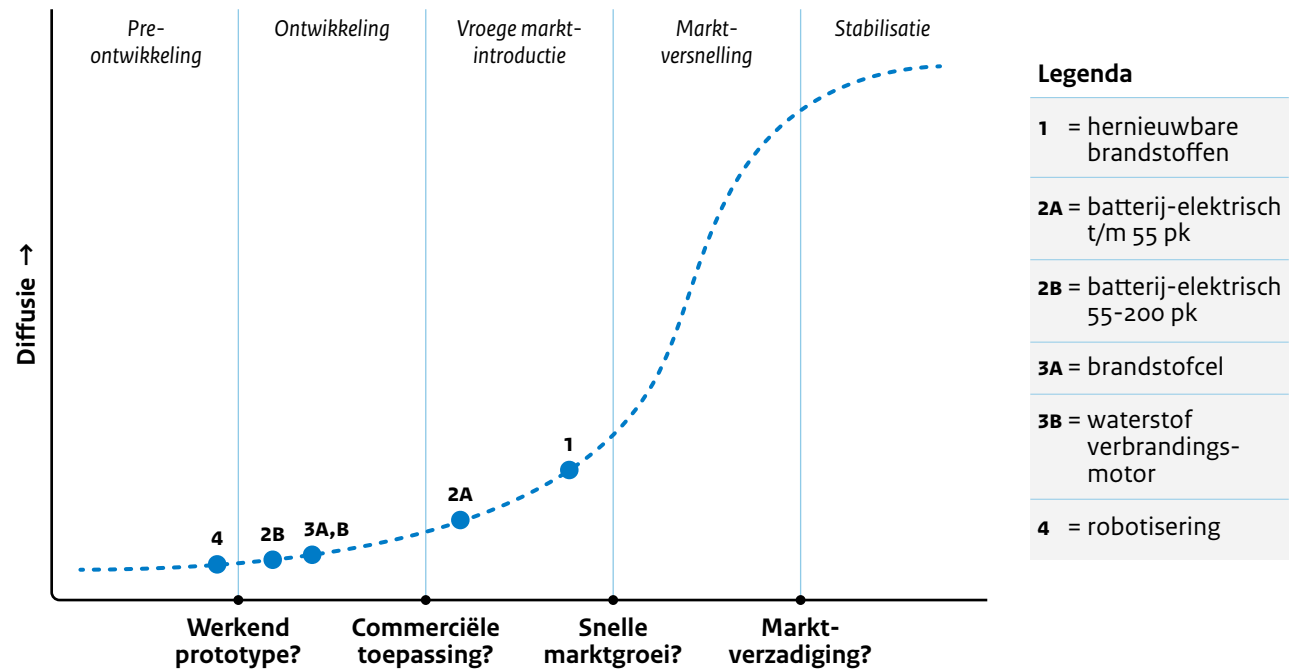
6.2 Analyse per route

De resultaten van de interviews en deskstudie zijn geanalyseerd op basis van de MIS-methode. Of de route goed functioneert hangt af van de fase van de ontwikkeling van de techniek. Als de route in het beginstadium verkeert, ligt de focus op andere aspecten dan als de route al verder ontwikkeld is. Om de juiste adviezen te kunnen geven per route is het daarom belangrijk eerst vast te stellen in welke fase de route zich bevindt. Op figuur 10 is te zien waar de innovatie zich bevindt op de diffusie curve.

6.2.1 Hernieuwbare brandstoffen

De techniek van de route hernieuwbare brandstoffen is al ver ontwikkeld en hoeft voor het goed functioneren van de route niet of nauwelijks te worden aangepast. De aanbevelingen voor deze route zijn daarom vooral gericht op de introductie en het stimuleren van het gebruik van hernieuwbare brandstoffen. Deze hernieuwbare brandstoffen zijn gecategoriseerd in een alcoholische, gasvormige en diesel variant. Als de motor stage 3 of nieuwer is, hoeft er technologisch niks te veranderen om 'groene diesel' zoals HVO, biodiesel of synthetische diesel te gebruiken in de huidige verbrandingsmotor. Deze vloeibare brandstoffen worden daarom ook als een 'quick win' gezien omdat deze zonder aanpassing direct impact kunnen maken op CO₂-reductie. Met deze brandstoffen is er ook niet veel verandering nodig voor de bestaande keten en werkgang van de boer. Op dit moment worden deze brandstoffen alleen nog nauwelijks ingezet in de agrarische sector vanwege de hogere prijs en beperkte beschikbaarheid. De hogere prijs maakt het financieel niet aantrekkelijk om voor

FIGUUR 10 | Diffusiecurve met de routes gepositioneerd per fase



deze brandstoffen te kiezen. De beschikbaarheid van de hernieuwbare brandstoffen is wel een groot aandachtspunt omdat andere sectoren ook inzetten op deze mogelijkheid. Voorlopig blijven ondernemers afhankelijk van brandstofleveranciers vanwege de moeilijkheid van eigen brandstofproductie. Om het gebruik van alcoholische brandstoffen te ondersteunen heeft een verbrandingsmotor een kleine aanpassing nodig. Dit is relatief eenvoudig en kan door middel van een ombouwkit bij vele

mechanisatiebedrijven. Bij alcoholische brandstoffen zoals ethanol en methanol is de beschikbaarheid van groene varianten op dit moment een knelpunt. Dit is een belangrijke voorwaarde omdat ethanol en methanol van fossiele aard nog altijd CO₂ uitstoten. De brandstof is voor gebruik in de agrarische sector op dit moment nog niet gangbaar waardoor het slecht verkrijgbaar is. Het zelf produceren van deze brandstoffen is ook een uitdaging vanwege het ingewikkelde chemische proces.



mechanisatiebedrijven. Bij alcoholische brandstoffen zoals ethanol en methanol is de beschikbaarheid van groene varianten op dit moment een knelpunt. Dit is een belangrijke voorwaarde omdat ethanol en methanol van fossiele aard nog altijd CO₂ uitstoten. De brandstof is voor gebruik in de agrarische sector op dit moment nog niet gangbaar waardoor het slecht verkrijgbaar is. Het zelf produceren van deze brandstoffen is ook een uitdaging vanwege het ingewikkelde chemische proces.

Bij gasvormige brandstoffen zoals biomethaan ligt er een kans om deze op te wekken op het agrarisch bedrijf, met name in de veehouderij. Dit gas wordt geproduceerd in een vergistingsinstallatie met als grondstof mest of biomassa en is geschikt voor gebruik in een gasmotor. Bij deze route is het belangrijk met de sector een goede overeenstemming te bereiken waaraan de grondstoffen voor de hernieuwbare brandstoffen moeten voldoen. De optie om landbouwwerktuigen te voorzien of aan te schaffen met gasmotor en als brandstof groen gas uit eigen productie te gebruiken is kansrijk op korte termijn, met name voor werktuigen boven de vermogensklasse van 120 pk.

6.2.2 Batterij-elektrisch

De route batterij-elektrisch kan worden onderverdeeld in twee categorieën: vermogens tot 55 pk en vermogens boven 55 pk. De vermogens tot 55 pk zijn in de vroege marktintroductiefase omdat deze dieselvarianten vrij gemakkelijk kunnen worden omgebouwd. Ook is het gebruik van een elektrische tractor van 55 pk gelijk aan het werk van een dieselvariant waardoor het relatief makkelijk is om het gebruik ervan te stimuleren, net zoals

is gebeurd met de elektrische heftruck en elektrische shovel. Deze elektrische machines worden nu ook volop gebruikt nadat het gebruik door subsidies werd aangespoord.

Voertuigen boven de 55 pk zijn in de ontwikkelingsfase. Er zijn nog weinig van deze elektrische voertuigen werkzaam in de agrarische sector. Dit komt omdat een accupakket een trekker momenteel twee keer zo duur maakt. Tractoren met veel vermogen kunnen nu moeilijk geëlektrificeerd worden omdat accu's op dit moment nog niet toereikend zijn qua batterijduur. Agrariërs voeren vaak de hele dag (zware) werkzaamheden uit op het land waardoor de accu vaak opgeladen moet worden. Het moeten onderbreken van de werkzaamheden om op te laden sluit niet aan op de wensen van ondernemers, waardoor zij geen positieve houding hebben ten opzichte van elektrische tractoren. Om deze weerstand te doorbreken is het zinvol om onderzoek te doen naar hoe de capaciteit van de accu's zich in de toekomst zal ontwikkelen. Een andere mogelijkheid is het verspreiden van kennis om bestaande werkzaamheden met lichtere machines uit te voeren. In dat geval heeft elektrificatie een hogere slagingskans omdat er langer gewerkt kan worden op de accu. Ook verlagen lichtere machines de druk op de bodem wat positief werkt op de bodemkwaliteit.

De beperkte accucapaciteit is op dit moment een belemmering om alle werkzaamheden met een geëlektrificeerde tractor uit te voeren. Toch zijn de kansen voor de route elektrificatie groot, door de algemene inzet op elektrische mobiliteit door de overheid. Het gebruik

“De beperkte accucapaciteit is op dit moment een belemmering om alle werkzaamheden met een geëlektrificeerde tractor uit te voeren.”

van elektrische voertuigen wordt aangemoedigd en er wordt infrastructuur aangelegd om het gebruik van deze voertuigen te stimuleren. De ambitie voor het opwekken van groene stroom productie biedt veel kansen om het gebruik van elektrische landbouwwerktuigen aantrekkelijk te maken. Om de weerstand in de praktijk op te lossen wordt het aanbevolen om een netwerk en pilot op te zetten waarin praktijk ervaring wordt opgedaan met het werken met elektrische machines met veel vermogen.

6.2.3 Waterstof

De route waterstof bestaat uit twee paden: de brandstofcel en de verbrandingsmotor.

Beide onderdelen zitten in de ontwikkelingsfase.

Het zwaartepunt van de conclusies in dit hoofdstuk ligt op de brandstofcel als toepassing omdat deze efficiënter is dan de verbrandingsmotor. Het is allereerst belangrijk om te investeren in kennisontwikkeling van en kennisverspreiding over de brandstofcel in de agrarische sector. De brandstofcel is een kostbare technologie waarvan de werking op het boerenbedrijf nog niet geheel zeker is. Omdat de technologie als kwetsbaar wordt gezien en omgeving op het agrarisch bedrijf robuust is, is het belangrijk om te onderzoeken hoe een tractor met brandstofcel zich verhoudt op het bedrijf. Er zijn een aantal onderzoeken in het zwaar transport maar nauwelijks naar het gebruik van een machine met brandstofcel op het agrarisch bedrijf. De projecten die er zijn hebben vaak óf een voertuig met brandstofcel óf een elektrolyser. Om te begrijpen wat de kansen zijn van waterstof in de agrarische sector is het zinvol om beide delen te combineren.

Het is ook belangrijk om experimenten (financieel) te ondersteunen. Dit geldt niet alleen voor de machine maar ook voor de mogelijkheid om waterstof op te wekken op het eigen bedrijf, als individu of als collectief. Vanuit de praktijk wordt dit als grote kans gezien om de agrarische sector te verduurzamen maar ervaringen zijn er nog niet. De PPS landbouw & energie gaat in het najaar van 2023 beginnen om waterstof op te wekken. Zinvol is om dit project verder uit te breiden en een netwerk van ondernemers hier aan te verbinden.

“Er zijn een aantal onderzoeken in het zwaar transport maar nauwelijks naar het gebruik van een machine met brandstofcel op het agrarisch bedrijf.”

Tot slot is het belangrijk om personeel op te leiden die een tractor met brandstofcel kunnen onderhouden. De techniek is relatief nieuw dus om voorbereid te zijn op toekomstig gebruik is dit essentieel.



6.2.4 Robotisering

De route robotisering is erg breed en bevindt zich tussen de ontwikkelings- en vroege marktintroductie fase. Er worden al enkele robots commercieel verkocht, maar de brede toepassing blijft nog uit. Dit komt met name door de hoge aanschaffingsprijs en de onzekerheid omtrent de noviteit van de technologie. Om draagvlak bij ondernemers te creëren is het belangrijk om aan te tonen dat robots dusdanig zijn ontwikkeld dat deze positief bijdragen aan de bedrijfsvoering van de boer. Dit kan bijvoorbeeld door pilots of fieldlabs op te zetten bij agrariërs die een voorbeeldfunctie hebben in de omgeving. Dit draagt ook bij aan kennisverspreiding en ontwikkeling wat goed is voor de verdere ontwikkeling van de technologie.

“Robotisering is een zeer kansrijke route die ook bijdraagt bij aan het behalen van meerdere maatschappelijke opgaven.”

Ook is het belangrijk om de marktvorming te ondersteunen, bijvoorbeeld door subsidies voor de onrendabele top. Ondanks dat er subsidies mogelijk zijn voor zowel de ontwikkeling als aanschaf van de robot, zijn er een aantal hiaten waar ondernemers tegenaan lopen. De subsidies rondom ontwikkeling zijn beschikbaar voor het begin van een innovatie en niet voor de doorontwikkeling ervan. Meermaals werd er in de praktijk aangegeven dat er geen nieuwe technologieën ontwikkeld hoeven te worden maar moet wat er nu is moet doorontwikkeld worden – de robots moeten

‘leren’ door ze in te zetten in de praktijk. Hier schieten subsidies tekort. Aan de kant van aanschafsubsidies worden ook problemen ervaren. Omdat deze subsidies vaak worden overschreven stellen ondernemers die een robot willen de aankoop uit. Hierdoor ontwikkelen de robots minder snel door en vertraagt de transitie. Betere financieringsinstrumenten zouden de aanschaf en doorontwikkeling kunnen stimuleren en het zogenoemde kip-en-eiprobleem doorbreken.

Robotisering is een zeer kansrijke route die ook bijdraagt bij aan het behalen van meerdere maatschappelijke opgaven. Deze route kan voor een integrale oplossing zorgen. De route biedt de mogelijkheid voor de vermindering van chemische gewasbescherming door mechanische onkruidbestrijding. Dit sluit ook aan op het dreigende arbeidstekort en stijgende loonkosten, vooral in de biologische landbouw. Ook zijn de machines over het algemeen lichter dan tractoren waardoor er minder druk komt op de bodem. Door de route robotisering verder te ontwikkelen ligt er de mogelijkheid meerdere maatschappelijke opgaven tegelijkertijd aan te pakken.



6.2.5 Gedragsverandering

De route gedragsverandering verschilt van de technologische routes omdat er geen MIS-analyse is uitgevoerd. De aanbevelingen voor deze route bestaan uit aandachtspunten die de andere routes kunnen versnellen. Gedrag is van invloed op iedere transitieroute. Er zijn een aantal factoren die een transitie kunnen vereenvoudigen: hoe makkelijk is het nieuwe gedrag te implementeren, (financiële) aantrekkelijkheid, de timing van de verandering en de mate waarin het nieuwe gedrag sociaal geaccepteerd is.

Ook draagt het verspreiden van kennis bij aan het veranderen van gedrag. Agrariërs maken vaak deel uit van een groter netwerk en binnen deze netwerken is er een uitstekende manier om gedragsverandering aan de orde te stellen. Het uitzetten van pilots en het uitlechten van ‘best practices’ binnen deze netwerken is een uitstekende manier om gedrag te veranderen. Daarbij is het ook zinvol om netwerken op te zetten van ondernemers die willen veranderen of al veranderd zijn. Deze netwerken stimuleren het gewenste gedrag en bevorderen het ontstaan van nieuwe gebruiken en/of technologieën.



6.3 Conclusie

Een belangrijk geluid uit de sector is dat er technisch gezien geen belemmeringen zijn om landbouwwerktuigen te verduurzamen. Toch zijn er nog maar weinig duurzame landbouwwerktuigen in gebruik in de praktijk. De hogere prijs, onzekerheid over de nieuwe technologieën en gedrag zijn over het algemeen de grootste factoren die de transitie tegenhouden. Daarbij komt het feit dat de huidige dieselmotoren erg efficiënt zijn ingericht en een verandering hierin als negatief wordt ervaren. Diesel is momenteel in alle opzichten de goedkoopste optie tenzij een boer zijn of haar eigen stroom opwekt en dit kan gebruiken. Gebaseerd op de gedragstheorie omschreven in hoofdstuk 4.5 is het belangrijk om te beginnen met veranderingen die relatief makkelijk te implementeren zijn, sociaal geaccepteerd worden en (financieel) aantrekkelijk zijn. Ook is het belangrijk dat er druk komt vanuit de overheid op het uitfasen van diesel en tegelijkertijd het stimuleren van duurzame opties. Deze druk kan bijvoorbeeld komen in de vorm van een heldere doelstelling of het belonen van het gebruik van duurzame opties.

Nederland is een van de eerste landen die inzet op de transitie naar duurzame landbouwwerktuigen. Hierdoor zijn er veel mogelijkheden om een sterke positie te creëren in deze sector. Er komen steeds meer startups en mechanisatie bedrijven die gespecialiseerd zijn in het bouwen van robots of (de ombouw naar) elektrische en waterstof aangedreven voertuigen. Er ligt een grote kans voor Nederland om koploper te worden en een sterke marktpositie op internationale schaal in te nemen. Om dit te bereiken is er een goede coördinatie en sturing vanuit de overheid nodig om richting te geven aan de ontwikkeling die gaande is.

Echter de Nederlandse markt voor landbouwwerktuigen is klein, ondanks een grote landbouw productie, dus of buitenlandse fabrikanten meegaan richting fossielvrije werktuigen is de vraag als dit alleen voor de Nederlandse markt is. We zullen of zelf innovatief en creatief moeten zijn of tevens moeten kijken naar meer Europese uniformiteit op dit gebied, onderzoeken wat er gebeurt in de landen om ons heen, samen optrekken in Europa voor duurzame landbouwwerktuigen.

De koppeling van duurzame landbouwwerktuigen met de ambitie om energie op te wekken op het agrarisch bedrijf brengt veel kansen met zich mee. Door middel van (financiële) ondersteuning, kennisontwikkeling en communicatie kan er richting gegeven worden aan de energietransitie. Tevens sluiten de mogelijkheden voor het opwekken van energie aan op de transitieroutes voor duurzame landbouwwerktuigen. Verwacht wordt dat de inzet in de opwek van energie de transitie naar duurzame landbouwwerktuigen gaat versterken en vice versa.

Stappen voorwaarts kunnen worden genomen als erkend wordt dat verduurzaming van landbouwwerktuigen grote kansen biedt voor klimaat door reductie van CO₂ (door geen gebruik fossiele diesel), minder invloed op natuur, milieu/omgeving door uitstoot minder schadelijke stoffen door de uitlaat (door geen verbranding fossiele diesel). Maar tevens kan deze ontwikkeling een grote invloed hebben op andere beleidsthema's binnen de landbouw, zoals gewasbescherming, bodembescherming en arbeid. De landbouw ondernemers, loonwerkers, fabrikanten, onderwijs, onderzoek en brancheorganisaties willen hier graag de schouders onder zetten. Deze transitie kan voordelen opleveren voor alle partijen mits goed gefaciliteerd met frankerend beleid plus stimulering voor onderzoek, ketenontwikkeling, doorontwikkeling plus dekking van de onrendabele top bij aanschaf! Een programma duurzame landbouwwerktuigen met sector, onderzoek, onderwijs en overheid zou een aanjaag middel zijn voor adequate stappen richting fossiel vrije landbouwwerktuigen.

“De koppeling van energie productie lokaal (groene elektra/biogas) en dit als aandrijfmiddel voor duurzame landbouwwerktuigen is een kans met een gouden randje als je de som der overeenkomsten optelt!”



Twee voorbeelden hoe de routes er in de praktijk uit kunnen zien

1. Melkveehouder met voeren vers gras en robot maaier

Landbouwmachinefabrikant Lely heeft kort geleden een autonome maaier en voerrobot op de markt gebracht. De elektrisch aangedreven machine werkt op basis van GPS en past binnen een redelijk groot melkveehouderij bedrijf. De robot weegt 3.400 kg en kan 12 kuub gras meenemen. Ook kan de machine direct na het maaien kunstmest doseren – dit scheelt een werkgang voor de boer.

De werkzaamheden rondom grasland verzorging vinden vooral in het voorjaar en de zomer plaats (wanneer opwek van zonne-energie het hoogst is). Volgens van der Voort et al. (2019) wordt er gemiddeld 10 keer per jaar gemaaid. Met de bijbehorende werkzaamheden komt dit neer op 10 keer maaien en wiersen en 20 maal schudden. Bij het voeren van vers gras met een elektrisch aangedreven machine vallen bovenstaande werkzaamheden inclusief diesilverbruik weg. Als je ervan uitgaat dat het maaiproces ongeveer 40% is van het totaal aan werkzaamheden kan er 10.608 kg CO₂ (bij een verbruik van 10.000 liter diesel per jaar) per jaar worden bespaard. Volgens Lely duurt een ronde maaien, transport, lossen en stroom laden zo'n 2 uur en kost 4 tot 5 kilowattuur aan stroom. Bij het opwekken van eigen (groene) stroom kan er dus ook bespaard worden op brandstofkosten.

Het voeren van vers gras met een autonome machine kan bijdragen aan de volgende punten:

- Arbeidsbesparing;
- Minder diesilverbruik en CO₂-uitstoot omdat de machine elektrisch wordt aangedreven;
- Omdat er minder werkgangen zijn wordt de bodem minder vaak belast.

2. Waterstof opwekken in coöperatie verband

Een elektrolyser is erg kostbaar waardoor het bijna niet rendabel is om op ieder bedrijf een installatie neer te zetten. Het vormen van een coöperatie met een groep lokale ondernemers zou daarom een goede optie kunnen zijn. Door op een decentrale locatie een windmolen of zonnepanelen neer te zetten en deze aan te sluiten op een elektrolyser kan de energie worden opgeslagen in waterstof. Deze waterstof kan in tanks worden opgehaald of worden vervoerd naar de aangesloten boeren. Deze waterstof kan vervolgens gebruikt worden in een tractor met brandstofcel of een gasmotor waar waterstof in gebruikt kan worden. Ook kan de waterstof die niet door de leden wordt gebruikt verkocht worden aan andere gebruikers, bijvoorbeeld aan transportbedrijven.

Het opwekken van waterstof in het verband van een coöperatie kan bijdragen aan de volgende punten:

- Groene waterstof heeft geen CO₂-uitstoot;
- Waterstof is een goede energiedrager waardoor deze breed ingezet kan worden;
- De overheid zet veel in op het gebruik van waterstof. Op dit moment zijn er nog weinig tankinstallaties waardoor de ontwikkeling niet heel snel gaat. Door als groep een investering te doen liggen de kosten per bedrijf lager en kan er ook geld worden verdient door de verkoop aan partijen die ook inzetten op het gebruik van waterstof maar nog geen goede toevoer hebben van de brandstof (Friesland Campina en Cosun zetten bijvoorbeeld ook in op waterstofproductie bij de boer voor hun transport);
- Energie opslaan in waterstof kan de druk op het energienet verlagen op piekmomenten.

Referenties

Blasch, J., van der Kroon, B., van Beukering, P., Munster, R., Fabiani, S., Nino, P., & Vanino, S. (2022). Farmer preferences for adopting precision farming technologies: a case study from Italy. *European Review of Agricultural Economics*, 49(1), 33-81.

Bromet, L. & Thijssen, J., Kamerstuk 36 XIV, nr. 50 (2022). Den Haag: Tweede Kamer der Staten-Generaal.

CBS. (2023). Emissies door de landbouw. *Centraal Bureau voor de Statistiek*

CEMA. (2023). *Tractor registrations remain high in 2022, though down on the previous year, despite price and supply chain challenges.*

Chappin, M., Hekkert, M., van Leeuwen, M., & Both, D. (2018). *Innovatiesysteem analyse voor beleidsanalisten*

Elzinga, R., Negro, S. O., Janssen, M. J., Wesseling, J. H., & Hekkert, M. P. (2020). Het Missie-gedreven Innovatiesysteem: Uitbreiding 'Technologisch Innovatie Systeem'-raamwerk ter monitoring van de Circulaire Economie.

Hekkert, M. P., & Wesseling, J. H. (2018). Missie-gedreven innovatiebeleid voor energie-en klimaatambities.

Herbert, Z., van der Kolk, J.-P., & Koopmans, C. (2023). *Incentives voor het voorkomen van bodemverdichting.* Louis Bolk Instituut.

Keller, T., & Or, D. (2022). Farm vehicles approaching weights of sauropods exceed safe mechanical limits for soil functioning. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(21), e2117699119.

Looman, R. (2022, 18 januari). *Aantal geregistreerde trekkers overtreft verwachtingen - Trekker.* Trekkeronline. Geraadpleegd op 6 april 2023.

Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2023). *Routekaart energieopslag.*

Merkelbach, I. (2022). *Gedragsdoeboek.* BIG Rotterdam.

Nationaal Waterstof Programma. (2022). *Routekaart waterstof.* Nationaal Programma Waterstof.

PBL. (2022). *Klimaat- en Energieverkenning 2022.*

PBL. (2023). *Beleidsoverzicht en factsheets beleidsinstrumenten.* Achtergronddocument bij de Klimaat- en Energieverkenning 2022.

Sanderink, J. (2022). *Waterstof in de agrologistiek.* New Energy Coalition.

Rijksoverheid (2019). *Klimaatakkoord.* Den Haag.

Rijksoverheid. (2023). *Dashboard Klimaatbeleid.* Geraadpleegd op 6 juni 2023, van dashboardklimaatbeleid.nl.

Van der Voort, M.P.J., Timmerman, M., (2019). *Energie & Landbouw; Modelbedrijven.* Wageningen Research, Rapport WPR-784.

Van der Voort, M.P.J., Schoorlemmer, H.B., Kamp, J.A.L.M., Veldhuisen, B., Booi, J., (2020). Economische verkenning strokenteelt met vaste rijpaden; SMARAGD - Werkpakket 1 - modellering. Wageningen Research, Rapport WPR-WPR-850.

Verstand, D., Schaap, B., Schoorlemmer, H., de Wolf, P., van Balen, D., Verhagen, J., (2020). *Klimaatadaptatie in de open teelten.* Inventarisatie van klimaatrends, risico's en adaptatiemaatregelen voor boeren-bedrijven in de open teelten. Wageningen Research, rapport WPR 824.

Visser, A.J., Bos, A.P., Gollenbeek, L., Migchels, G., Stortelder, J., Veefkind, W., Voort, M.P.J. van der, (2020). *Zonder netverzwaring maximaal hernieuwbare energie produceren; Ontwerpen voor melkveehouderij en akkerbouw om meer hernieuwbare energie te produceren door energieproductie op het eigen bedrijf flexibel te benutten.* Wageningen Research, Rapport WPR-842.

WUR. (2022). *Netto energiegebruik land- en tuinbouw licht gestegen.* Agrimatie.





Bijlage 1

TABEL 3 | Vergelijking tussen de routes met betrekking tot CO₂ uitstoot, machine kosten, brandstofkosten en subsidie mogelijkheden

Bedrijf, gemiddeld 10.000 L diesel (incl. loonwerk); de CO₂ uitstoot is tank-to-wheel (TTW); gemiddeld bedrijf = 60 ha

	kg CO ₂ */bedrijf	kg CO ₂ /ha	Aanschafkosten machine [^]	Brandstof kosten	Subsidie (ja/nee) + welke
Diesel	26.520	442	€ 250.000	€ 12.554 ⁽¹⁾	Nee
Waterstof ⁽²⁾			€ 420.000		D3422 (27% mia 75% vamil): dual fuel trekker H2, G3424 (45% mia): waterstof gedreven mobiel werktuig, 240618 [W] eia. Brandstofcel in transportmiddelen, 270402 waterstof opslag, 270403 waterstof productie elektrolyse.
(groen)	0	0		€ 34.144 ⁽⁴⁾	
(grijs)	0	0		€ 34.144 ⁽⁴⁾	
Elektrisch ⁽⁵⁾			€ 500.000		G3413 (45% mia), G3425 (45% mia): elektrisch gedreven werktuigdrager, 270106 mobiel elektrisch werktuig. Kan ook voor oplaadpunt.
(groen)	0	0		€ 0 ⁽⁶⁾	
(grijs)	556	9		€ 410 ⁽⁷⁾	
Robot (elektrisch)			€ 150.000 – € 250.000		Horizon 2020
HVO	320	5	€ 250.000	€ 20.200 ⁽⁸⁾	Nee
Bio methanol			€ 250.000 + ombouwkits motor €30.000		Nee
Bio ethanol	280	4	€ 250.000 + ombouwkits motor €30.000		Nee
Biogas (CNG) ⁽⁹⁾	190	3	€ 300.000	€ 2.873 ⁽¹⁰⁾	Nee
Bio LNG ⁽¹¹⁾	792	13	€ 250.000 + ombouwkits motor €30.000	€ 9.810 ⁽¹²⁾	Nee
Synthetische diesel & biodiesel	310	5	€ 250.000	€ 15.064 ⁽¹³⁾	Nee

*) op basis van kerngetallen cozemissiefactoren.nl

(3) bij grijze waterstof well-to-wheel = 20.025 kg CO₂

(6) op basis van gebruik eigen energie

(10) 1 kg bio cng € 1,69 op 13-7 (og cleanfuels)

Information is unknown

^) machine van ± 200 pk (nieuw model)

(4) prijs waterstof volgens RVO in eerste kwartaal 2023 € 21,34 per kg; onduidelijk of waterstof groen of grijs is, daarom is de prijs voor waterstof hetzelfde in beide categorieën

(7) gemiddelde stroomprijs juni 2023 € 0,41/ kWh

(11) 1 L diesel = 0,45 kg LNG

Het is onduidelijk hoeveel energie er nodig is om de werkzaamheden met een robot uit te voeren. Daarom is dit vlak leeggelaten.

(1) prijs diesel op 13-7 € 125,54/100L via LTO ledenvoordeel

(8) prijs HVO (excl. BTW) € 202 op 13-7 (dcb energy)

(12) 1 kg bio LNG € 2,18 op 13-7 (og cleanfuels)

(2) 1 L diesel = 0,16 kg waterstof → 10.000 x 0,16 = 1.600 kg waterstof staat gelijk aan 10.000 L diesel

(5) 1 L diesel = 10 kWh → 1.000 kWh

(9) 1 L diesel = 0,17 kg CNG

(13) synthetische diesel is (inclusief correctie voor minder energie per L diesel) +/- 20% duurder dan diesel (X)

→ Bijlage 2

Geïnterviewden & Stakeholder bijeenkomsten

TABEL 4 | Personen die zijn geïnterviewd voor de expert interviews

Wie	Van
Andries Visser	WUR
David Meijvogel	WUR
Maurice Steinbush	Cumela
Adinda Lodders	BO Akkerbouw
Paul Nooijen	Arenared
Paul Sinnige	RVO
Bart Hellings	RVO
Erik Pekkeriet	WUR
Jochen Hemming	WUR
Mart van der Valk	Abemec
Hans Quint	Abemec
Thieu Berkens	Farmertronics
Aantal ambtenaren	LNV (afdeling PAV)
Geert Hermans	Pixelfarming
Egide Vandeveld	CNH
Erwin Haveman	LTO

TABEL 5 | Aanwezigen bij de input bijeenkomst op 17-4-2023

Thieu Berkens	Techniek en/of mechanisatie ontwikkelaar
David Meijvogel	Kennisinstituut
Wouter Veeffkind	Belangenorganisatie
Erwin Haveman	Belangenorganisatie
Ton van Korven	Belangenorganisatie
Adinda Lodders	brancheorganisatie
Maurice Steinbusch	Belangenorganisatie
Dirk Reedijk	Techniek en/of mechanisatie ontwikkelaar
Harry Kager	Gebruiker (duurzame) landbouwwerktuigen, beleidsexpert klimaat & energie in de landbouw
Paul van Ham	Techniek en/of mechanisatie ontwikkelaar
Mart van der Valk	Verkoper (duurzame) landbouwwerktuigen, Techniek en/of mechanisatie ontwikkelaar
ir. W.J.T.H. Luijten	Techniek en/of mechanisatie ontwikkelaar
Peter Cremer	Techniek en/of mechanisatie ontwikkelaar
Jur Jakobs	Verkoper (duurzame) landbouwwerktuigen, Techniek en/of mechanisatie ontwikkelaar
Harry Koster	Techniek en/of mechanisatie ontwikkelaar
Michel Voorwinde	brancheorganisatie; techniek en/of mechanisatie ontwikkelaar
Dammie van der Poel	Gebruiker (duurzame) landbouwwerktuigen “Belangenorganisatie”
Thomas Hieltjes	Verkoper (duurzame) landbouwwerktuigen, “Techniek en/of mechanisatie ontwikkelaar”
Willem Eriks	Kennisinstituut, “Techniek en/of mechanisatie ontwikkelaar”
Ron Houweling	Branche organisatie
Bart Kuiten	Overheid

→ Bijlage 2

Geïnterviewden & Stakeholder bijeenkomsten

TABEL 6 | Bestuursvergadering Cumela op woensdag 7-6-2023

Toelichting rapport, peiling stemming en ophalen informatie door Wilko Wisse.

Aanwezigen	Van
Dammie van der Poel (vz)	Gebr. Van der Poel B.V.
John Hoedemakers	Hoedemakers B.V.
Twan Gubbels	Gubbels Agro
Gert-Jan Joossen	Loonbedrijf Joossen V.O.F.
Marcel Verhoeven	Verhoeven Gewasverzorging B.V.
Herbert Markvoort	Loonbedrijf Markvoort B.V.
Corné Vinke	Corné Vinke Dienstverlening
Ard-Jan Oomen	Oomen Landbouw & Loonwerk
Gerwin Bongers	Loonbedrijf Bongers B.V.
Maurice Steinbusch	Cumela, Nijkerk
Manon Jansen (secretaraat Cumela)	Cumela, Nijkerk



TABEL 7 | Vergadering Netwerk Trekkers en Verreikers op 20-6-2023

Toelichting rapport, peiling stemming en ophalen informatie door Wilko Wisse samen met Laura van den Doorn.

Aanwezigen	Van
Hans Quint	Abemec
Raymond Helsdingen	CaselH & Steyr Brands of CNH Industrial
Tjörven van de Velde	CaselH & Steyr Brands of CNH Industrial
Ron Houweling	Fedecom
Kitty Goseling (secretariaat)	Fedecom
Mats Arts	Kamps de Wild
Sjors van Deursen	Kraakman
Walter Ruiterkamp	Kverneland Benelux
Ronald van Hattem	Mechan
Didier Vogels	Merlo Benelux/ de Lille
Egide van de Velde	New Holland
David Ceuleers	C vd Pols & Zn
René Herlaar	C vd Pols & Zn
Ferdinand van Genderen	SDF Benelux
Jacob Boeder	Jacotech B.V.



→ Bijlage 3

Bijdrage WUR (Wageningen University & Research)

Nederland staat voor de opgave om in 2050 alleen maar energie uit duurzame bronnen te gebruiken. Om dit voor elkaar te krijgen moet de productie van groene energie uit wind, zon en biomassa nog flink toenemen. De landbouw heeft de potentie om hier een flinke bijdrage aan te leveren en tegelijkertijd de eigen bedrijfsvoering te verduurzamen. Ook in het klimaatakkoord zijn ambities beschreven om het platteland voor 30% van de groene stroom te laten zorgen.

Deze ambitie is belangrijk en is ook een aanjager voor deze ontwikkeling, maar stuit op de beperkingen van de bestaande netinfrastructuur aangezien deze op het platteland niet is aangelegd en ingericht om grote hoeveelheden stroom terug te voeren naar het net. Het landelijke laagspanning net (LS) is in grote delen van het platteland nu al onvoldoende toegerust om hernieuwbare opwek te verwerken. Op veel plaatsen is het al niet meer mogelijk om energie terug te leveren of nieuwe aansluitingen te realiseren. Toch is het ondanks deze beperkingen nog steeds interessant voor ondernemers om hernieuwbare energie op te

wekken en te benutten. In deze bijlage worden een aantal voorbeelden gegeven die hier invulling aan geven.

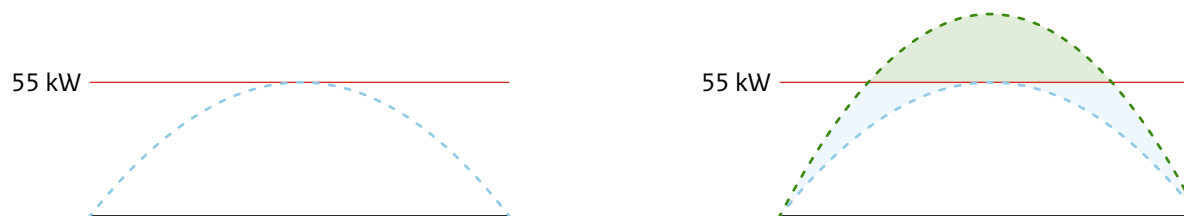
Zon-pv op daken.

Allereerst is het belangrijk te vermelden dat bij een kleinverbruikersaansluiting (kleiner dan 3 x80A) altijd energie geleverd mag worden aan het net. Dit geldt voor veel agrarische bedrijven. In die situatie is het altijd interessant om zonnepanelen te plaatsen. De energie markt is erg wisselvallig op het moment maar een terugverdientijd tussen de drie en vijf jaar is zeer reël. Bij een 3 x80A aansluiting kan maximaal 55kW aan het net geleverd worden ($3 \times 80A = 240A * 230V$ levert een max vermogen van 55 kW). Door de pv installatie te maximeren op 55 kW Piek (ongeveer 170 panelen

van 320 Wpiek) kun je altijd al je geproduceerde stroom leveren. (zie Figuur 1, de lichtblauwe stippellijn).

Het is echter interessanter om meer zonnepanelen te plaatsen dan je aansluitwaarde (Figuur 1, de groene stippellijn), je levert dan meer aan het net op momenten door de dag en het jaar dat er minder zon is (het blauwe deel in de grafiek). Een deel van de extra geproduceerde energie kun je niet afzetten (het groene deel). Dat deel kan echter wel gebruikt worden in je bedrijfsvoering. Door het energie gebruik in de bedrijfsvoering af te stemmen op deze momenten van overschot wordt de pv installatie nog rendabeler en verduurzaam je tegelijkertijd je bedrijfsvoering.

FIGUUR 1 | Visualisatie energielevering aan het net bij over dimensionering van de pv-installatie. Het blauwe deel wordt extra geleverd ten opzichte van de situatie links, het groene deel kan niet geleverd worden maar wel gebruikt in de bedrijfsvoering.





Optimaliseren van het energiesysteem van het agrarische bedrijf

Om het energie gebruik op een landbouwbedrijf te verduurzamen en af te stemmen op beschikbare eigen geproduceerde energie zijn de volgende stappen van belang:

1. Waar mogelijk het eigen elektrisch energiegebruik verschuiven naar momenten van piekproductie (11 -15 uur). Dit kan met processen die niet perse op een vast moment moeten plaatsvinden (mest mixen, melk voorcoelen, bewaring extra koelen etc.)
2. Elektrificeren van processen (vervangen diesel: bv elektrisch beregenen, elektrische heftruck, elektrische voermengwagen)
3. Toevoegen van processen (b.v. Grasdrogen, mest koelen, stal koelen, H² productie, verwerken van producten)

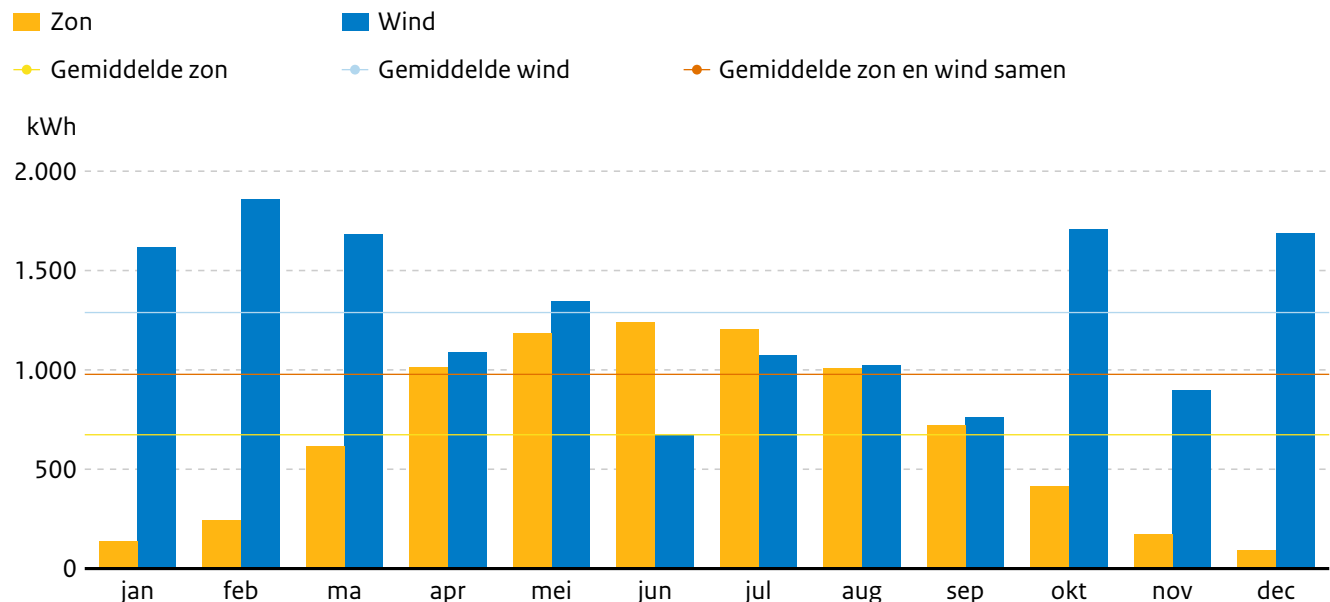
Op deze manier wordt er zoveel mogelijk flexibel vermogen binnen de bedrijfsvoering georganiseerd die ingezet kan worden als er teveel stroomproductie is. Hoe beter dit lukt, hoe rendabeler de zon-pv installatie. Uitgewerkte voorbeelden van processen hierboven genoemd zijn te vinden in de publicatie: [‘Zonder netverzwaring maximaal hernieuwbare energie produceren’](#).

Wind en zon combinatie ideaal voor eigen energiegebruik

Om het energiegebruik van een landbouwbedrijf goed te matchen met zelf geproduceerde groene energie is de combinatie van wind energie en zonne energie belangrijk. Beide profielen vullen elkaar goed aan (zie Figuur 2). Dit kan gerealiseerd worden met kleine windmolens tot een hoogte van maximaal 25 meter. Niet overal is de plaatsing van deze windmolens toegestaan maar er zijn steeds meer gemeentes die kleinschalige windproductie op boerenerven willen toestaan omdat het bijdraagt aan de beleidswens om zoveel mogelijk energie lokaal te produceren en te benutten.

Door wind te combineren met zon kan de benutting van eigen geproduceerde energie op een akkerbouwbedrijf oplopen van 20% met alleen pv naar 53% bij de combinatie zon en wind. Bij een veehouderijbedrijf loopt dit op van 27% naar 66%. In tabel 1 staan de gegevens van 2 voorbeeldbedrijven weer gegeven. Meer info over de combinatie kleinschalige wind en zon is te vinden in de publicatie: [‘Bijdrage kleinschalige windenergie aan het gebruiksprofiel van landbouwbedrijven’](#).

Zon en wind per maand



FIGUUR 5 | Profielen zonne- en windenergie (bron: PPS ‘Landbouw als vliegwiel voor de energietransitie)



Productie combineren met opslag en met handel op de energiemarkt

Door de zon -pv installatie te combineren met een batterij en het slim in kopen en verkopen van energie op de onbalansmarkt (inkoop bij lage prijzen en verkoop bij hoge prijzen) is het rendement van de installatie nog verder te verbeteren. Zo kan bij het systeem waarbij meer vermogen op het dak wordt geplaatst dan de capaciteit van de aansluiting (zie boven bij het onderdeel zon-pv op daken) de hoeveelheid stroom die niet benut kan worden tijdens piekproductie worden gereduceerd tot ongeveer 10%. In de PPS landbouw & energie is een systeem ontwikkeld waarbij bij bedrijven met een 3x80A aansluiting 150 kW piek aan zonnepanelen wordt geplaatst met een batterij-opslagsysteem van 50kW/150 kWh en een energie-managementsysteem dat rekening houdt met de bedrijfsvoering, congestie op het net en de energiemarkten. De benodigde investering is in zes - acht jaar terugverdiend. Zie ook [‘Start project Achterhoek uitrol businessmodellen met energie’](#).

TABEL 1 | Energieproductie en gebruik op een voorbeeld akkerbouw en veehouderijbedrijf

	Akkerbouw Alleen 40 kWp PV	Akkerbouw PV en Wind	Veehouderij Alleen 40 kWp PV	Veehouderij PV en Wind
Elektrabehoefte	83.000 kWh	83.000	91.000	91.000
Zelf opgewekt en direct gebruikt	16.500	43.750	25.000	60.500
Percentage direct gebruikt	20%	53%	27%	66%
Elektra ingekocht bij het net	66.500	39.250	66.000	30.500
Elektra terug geleverd	16.000	34.250	7.000	40.500

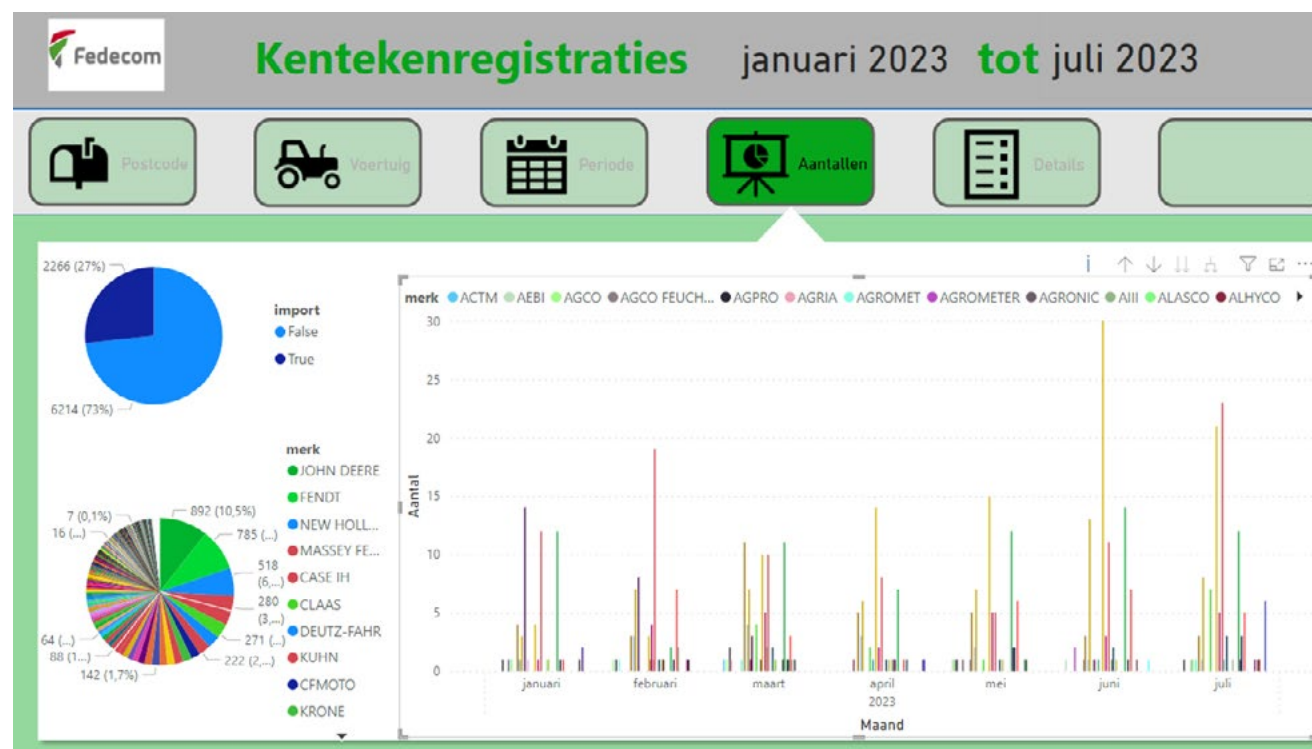
→ Bijlage 4

Fedecom | meer duiding cijfers en rapporten verduurzaming werktuigen

De branchevereniging Fedecom, die de belangen behartigt van fabrikanten, importeurs en dealers in de agrotechniek, veehouderijtechniek, groentechniek, tuinbouwtechniek en industrie & intern transport. Fedecom heeft bijna 1.000 leden met een gezamenlijke jaarmzet van ca. € 5,5 miljard, voortgebracht met ca. 16.500 medewerkers. Onze speerpunten zijn gericht op activiteiten in opleidingen, veiligheid van machines, informatievoorziening over de markt en innovatie, promotie van de branche, invloed op regelgeving en financiële ondersteuning.

Deze vereniging is tevens bezig met data en dataanalyse van tractoren, landbouwwerktuigen en andere werktuigen (met aandrijvingstechniek). De volgende grafieken zijn daar voorbeelden van:

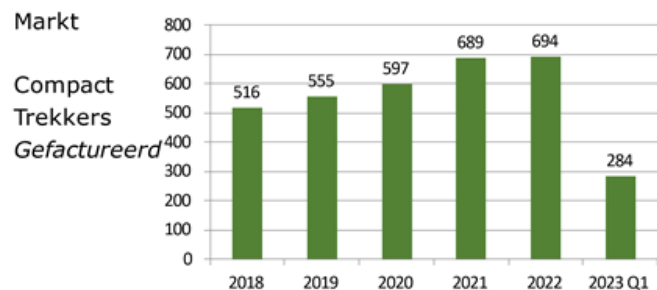
Grafiek met kentekenregistraties van de verschillende fabrikanten 2023 tot juli (ter voorbeeld):





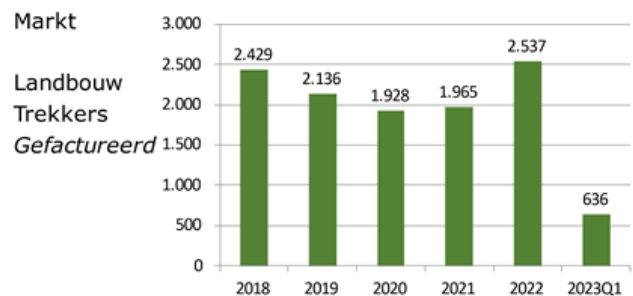
Grafiek met Compact tractoren verkocht tot maximaal 45 PK van 2018 tot maart 2023:

Landbouwtechniek, januari, februari, maart 2023



Grafiek met alle tractoren verkocht inclusief Compact van 2018 tot maart 2023:

Landbouwtechniek, januari, februari, maart 2023



Grafiek tractoren en de stage motor in aantallen met 347.000 als totaal:

Vergelijking van data over landbouwtrekkers in Nederland 2/2

Landbouwtrekkers in de RDW database Gekentekende Voertuigen:

Jaartal eerste registratie	Aantal	Inschatting Stage klasse
Vóór 1980	128 duizend	~ Stage 0
1980 - 1998	86 duizend	~ Stage 0
1999 - 2002	19 duizend	~ Stage I
2003 - 2006	20 duizend	~ Stage II
2007 - 2011	30 duizend	~ Stage III A
2012 - 2014	17 duizend	~ Stage III B
2015 - 2019	30 duizend	~ Stage IV
Vanaf 2020	17 duizend	~ Stage V
Totaal	347 duizend	

- Wij hebben de Stage klasse geschat op basis van het jaartal van de eerste registratie. De introductie van de meeste Stage klassen is niet gebonden aan een unieke datum, maar een geleidelijke introductie vond plaats afhankelijk van vermogensklasse. De introductie van Stage II vond bijvoorbeeld plaats tussen 2001 en 2004, waarbij nieuw verkochte werktuigen in de 75 – 130 kW groep per januari 2003 aan Stage III moesten voldoen. Verder was er een periode van maximaal 2 jaar (maar verschillend per lidstaat) waarin Stage I werktuigen die al geproduceerd waren, nog verkocht mochten worden.
- Uit de data wordt duidelijk dat 2/3 van de landbouwtrekkers vóór 2003 werd geregistreerd, dus ouder dan 20 jaar is
- We vermoeden dat oude landbouwtrekkers in het algemeen veel minder intensief gebruikt worden dan de nieuwste trekkers



[RDW open data]

Twee rapporten omtrent verduurzaming landbouwwerktuigen zijn tevens interessant gezien dit rapport en toekomstige stappen:

[CECE and CEMA: Optimising our industry 2 reduce emissions](#)

[Rapport Onderzoek Technologie \(oom.nl\)](#)



Bijlage 5

Meerkosten elektrische tractor ten opzichte van de vergelijkbare dieselvariant

In het rapport wordt melding gemaakt van meerkosten, bladzijde 22 staat 2,5 tot 3,5 maal zo duur, voor de tractor elektrisch versus de diesel tractor als deze wordt omgebouwd. In deze bijlage geven we meer onderbouwing van deze meerkosten. Alles ter indicatie en met onderbouwde schattingen.

Onderstaande tabel zijn inschattingen van de markt over de meerkosten van de elektrische variant qua trekker met vergelijkbaar vermogen bij ombouw van de dieseltractor naar elektrische aangedreven tractor.

Tractor PK	Diesel variant (markt)	Elektrische variant (markt/ontwikkelaars)
55/90 PK	90.000 tot 110.000 euro	240.000 tot 260.000 euro
120 PK	130.000 tot 150.000 euro	480.000 tot 520.000 euro
200 PK	200.000 tot 220.000 euro	750.000 tot 850.000 euro

Uitleg tabel: de elektrische variant trekker met een vergelijkbaar vermogen als de diesel variant is in aanschaf 2,5 tot 3,5 maal duurder. Dit wordt met name bepaald door de hoge prijs voor Li-ion accu 's. die Daarnaast zijn het nu allemaal Nederlandse ombouw-tractoren die op

maat worden gemaakt in plaats van standaard productie van de grote fabrikanten. Verder moet je rekening houden met kosten voor een acculader voor de trekker en/ of acculaadstation, en bijbehorende netverzwaring bedrijfsaansluiting, fors toegenomen verzekeringspremie (vast % van aanschafbedrag) en elektriciteitsprijzen die op dit moment gelijkwaardig zijn aan de kWh prijs van diesel (netto 4 kWh uit een liter diesel á € 1,60 = 40ct per kWh uit diesel).

Alternatieve berekening naast consultatie in de markt

Bij de subsidie "SSEB" is er een onafhankelijke bewerkingsmethode voor kosten aan accu. Daar geldt de formule dat de meerprijs voor een kWh accu € 700,- / kWh is in 2023. Pak als vuistregel dat een tractor bij vol gebruik 1 liter per 5 pk gebruikt en er volgt de volgende tabel voor alléén de accu.

Vermogen	Max. verbruik bij benadering	Verbruik bij gem. 30% van max. vermogen	Verbruik / dag (9 uur)	Accucapaciteit benodigd	Kosten aan accu
75 pk	15 liter / u	5 liter / u	45 liter	180 kWh	€ 125.000
130 pk	26 liter / u	8 liter / u	72 liter	288 kWh	€ 200.000
200 pk	40 liter / u	12 liter / u	108 liter	432 kWh	€ 300.000

Note: bedrag in de laatste kolom is exclusief onderstaande investeringen/ kosten bij ombouw. De eerstkomende jaren is de verwachting dat het ombouw is in plaats van nieuwbouw.

- Basismachine (diesel),
- Elektromotor(en),
- omvormers (die de dynamo vervangen),
- elektronische ventilator(en),
- nieuw koelpakket,
- elektronische luchtcompressor,
- elektrische hydrauliek pompen,
- on-board charger (oplader),
- Aanpassingen staalwerk,
- Spuiten,
- Homologatie / keuring en documentatie,
- Engineeringskosten, montage uren, garantie, marge etc.



Mogelijkheden en meerkosten van elektrificatie

- Het aanbod aan elektrisch materieel is de afgelopen jaren relatief genomen flink toegenomen, onder andere door het stikstofdebat en met name in de bouw/ grondverzet. Echter in absolute zin is het aantal totaal aantal elektrische machines t.o.v. dieselvarianten minimaal: minder dan 1%.
- Vooral van lichtere machines (zoals minigraafmachines) en machines die met een kabel kunnen worden gevoed (zoals overslagmachines) zijn steeds vaker elektrische versies beschikbaar.
- Er is weinig openbare prijsinformatie beschikbaar voor elektrische werktuigen - leveranciers publiceren geen “vanaf” prijzen
- Op basis van een beperkt aantal bronnen lijkt het dat tractoren en graafmachines met een vermogen van 73 – 130 kW op dit moment minstens 200-300 duizend Euro meer kosten dan vergelijkbare dieselversies
- De meerprijs is onder andere afhankelijk van het accupakket: Bij grotere bedrijfstijd is een grotere (soms

verwisselbare) accu nodig en zijn de meerkosten per werktuig ~400-500 duizend Euro

- De accu maakt de landbouwtrekkers zo'n 2.000 kilo zwaarder - dit beperkt het gebruik – en vereist sterke laadinfrastructuur

Aandachtspunt: bovenstaande beredenering is voor voertuigen met accu zoals een tractor met hierop een bestuurder, eventueel autonoom, maar vergelijkbaar met de huidige tractoren met dieselmotor. Het punt qua accu, grote van de machine en zwaarte van de werktuig wordt geheel anders bij robotisering/ automatisering. Dan ga je het werktuig in zijn geheel opnieuw ontwikkelen voor de gewenste toepassing(en).

Deze onderbouwing voor ombouw bestaande tractoren zou ook gemaakt moeten worden in een vervolg voor waterstof met de brandstofcel, trekker met biogasmotor, robots versus dieselwerktuigen, brandstofmotor met waterstof, etc.

De vergelijking zou ook kunnen met nieuwbouw van de elektrische, brandstofcel, biogasmotor tractor of robots voor bepaalde werkzaamheden, etc.

Verduurzaming landbouwwerktuigen *Routes voor de Transitie*



Disclaimer

Deze brochure is met grote zorgvuldigheid samengesteld. Om de leesbaarheid te bevorderen zijn juridische zinsneden vereenvoudigd weergegeven. Soms betreft het ook delen van of uittreksels van wetteksten. Aan deze brochure en de daarin opgenomen voorbeelden kunnen geen rechten worden ontleend. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland is niet aansprakelijk voor de gevolgen van het gebruik ervan. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Verduurzaming landbouwwerktuigen

Routes voor de Transitie



Dit is een publicatie van

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland

Prinses Beatrixlaan 2 | 2595 AL Den Haag

Postbus 93144 | 2509 AC Den Haag

T +31 (0) 88 042 42 42

M+31 (0) 6 15 54 24 88

F +31 (0) 88 602 90 23

E wilko.wisse@rvo.nl

www.rvo.nl

Auteurs: Wilko Wisse, RVO, team Agro Food Ketens

Laura van der Doorn, stagiaire vanuit

Wageningen University & Research

Dit rapport is tot stand gekomen door
het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | oktober 2023

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving.

RVO werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie. RVO is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat.



Wilko Wisse op een shovel/laadschop met gas brandstofmotor speciaal voor biogas.