

for your Information

FYI

LANDGEWINN
INSIGHTS 



Elektrische Antriebe in der
Landwirtschaft: Klimaschutz und
erneuerbare Energieversorgung koppeln

Was Akteure aus der Praxis bewegt

*Autor*innen: Elmar Zozmann, Johannes Rupp, Rosalin Blessing, Hannes Bluhm*

LANDGEWINN

Durch elektrische Landmaschinen können Dieselkraftstoffe in der Landwirtschaft in verschiedenen Anwendungsfeldern ersetzt werden. Neben der Reduktion von CO₂-Emissionen verbessert sich dadurch im Innenbereich die Tier- und Mitarbeitendengesundheit durch weniger Lärm- und Schadstoffbelastung. Außerdem kann selbst erzeugter, erneuerbarer Strom verwendet werden und durch intelligentes Laden entstehen neue Schnittstellen zwischen Landwirtschaft und Energiewirtschaft. Aktuell marktreif und verfügbar sind elektrische Landmaschinen für leichte Arbeiten nahe beim Hof. Doch welche technischen und ökonomischen Grenzen hat eine Elektrifizierung von Landmaschinen? Was sind zukünftige Nutzen und Potenziale für landwirtschaftliche Betriebe? Können elektrische Landmaschinen netzdienlich im Energiesystem Einsatz finden? Und welche Hemmnisse verlangsamen die weitere Verbreitung von elektrischen Landmaschinen?

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Landgewinn“ ([s. Information auf Seite 11](#)) haben wir uns zu diesen Fragen in einer Online-Diskussion am 4. Juli 2023 mit verschiedenen Akteuren aus der Praxis ausgetauscht. Zu den insgesamt neun Teilnehmenden gehörten Landwirte mit Erfahrungswissen zu elektrischen Landmaschinen sowie Vertreter*innen von Landmaschinenherstellern, eines Lohnunternehmens, eines Energieversorgers, aus der Verwaltung, aus der angewandten Forschung und von einer Interessensvertretung.¹

In diesem Info-Sheet stellen wir die aus der Diskussion gewonnenen Erkenntnisse und Sichtweisen dieser Akteure auf die Elektrifizierung von Landmaschinen dar und geben Empfehlungen für die weitere Entwicklung. Der erste Teil widmet sich verschiedenen Potenzialen sowie der Verfügbarkeit, den Anwendungsfeldern und den technischen Grenzen einer Elektrifizierung von Landmaschinen. Der zweite Teil befasst sich mit den Bedingungen zur Realisierung dieser Potenziale aus finanzieller und gesellschaftlicher Perspektive. Darauf aufbauend werden Bedarfe und Handlungsmöglichkeiten für verschiedene Akteure abgeleitet. Am Ende des Info-Sheets werden weitere Hintergrundinformationen zu den Treibhausgasemissionspotenzialen und zur Entwicklung von unterschiedlichen Antriebsarten bzw. Leistungsklassen gegeben. Diese Informationen sollen Entscheidungsträger*innen in Politik und Praxis, verbunden mit dem Aufzeigen von derzeitigen Hemmnissen und möglichen Lösungsansätzen, bei der zukünftigen Gestaltung der Rahmenbedingungen unterstützen.

¹ Zur besseren Lesbarkeit werden im Folgenden teilweise die teilnehmenden Vertreter*innen von Unternehmen / Institutionen nur noch als solche benannt, z.B. wird ein „Vertreter eines Landmaschinenherstellers“ als „Landmaschinenhersteller“ bezeichnet.

Potenziale für Klimaschutz, Land- und Energiewirtschaft

Elektrische Landmaschinen können schon heute zum Klimaschutz beitragen indem sie leichte, dieselbetriebene Traktoren und Landmaschinen auf dem Hof (z. B. Radlader) ersetzen. An der Schnittstelle zur Energiewirtschaft gibt es in Kombination mit erneuerbarer Stromerzeugung das Potenzial zur Optimierung des hofeigenen Eigenverbrauchs und perspektivisch auch zur Bereitstellung systemdienlicher Flexibilität für das Stromnetz. Allerdings ist der Einsatz zur Zeit noch auf Aufgaben im niedrigen Leistungsbereich begrenzt (s. [Exkurs auf Seite 4](#)).

Klimaschutz und Verbesserung von Tierwohl und menschlicher Gesundheit

Unter Verwendung von erneuerbarem Strom trägt die Elektrifizierung von Landmaschinen zur CO₂-Reduktion und damit zum Klimaschutz bei, da die Treibhausgasemissionen einer vollelektrischen Landmaschine geringer im Vergleich zu einer vergleichbaren Landmaschine mit Dieselantrieb (Stöhr et al. 2015) sind. Gemäß den Erfahrungen von mehreren Teilnehmenden wird in der gesellschaftlichen Debatte trotzdem noch der ökologische Mehrwert von Elektromobilität in Frage gestellt, da in der Herstellungsphase der Batterie und durch den aktuellen Strommix CO₂-Emissionen entstehen. Da der fossile Strom allerdings langfristig durch erneuerbaren Strom ersetzt werden kann, ist dieses Argument laut einem Landmaschinenhersteller nicht zielführend und die Nutzung und Erzeugung von erneuerbaren Energien sollten parallel voranschreiten. Neben der Verbesserung der hofeigenen Klimabilanz zeigt sich in der Praxis eines teilnehmenden Landwirtes eine deutliche Verbesserung des Tierwohls und der Mitarbeitendengesundheit durch elektrische Landmaschinen in der Innenwirtschaft. Die Ruhe im Stall und der Wegfall von Abgasemissionen führt beim teilnehmenden landwirtschaftlichen Betrieb nicht nur zu mehr und besserer Milch, sondern in Verbindung mit einer automatisierten Fütterung auch zu einer verbesserten Arbeitsqualität.²

Hofinterne Eigenverbrauchsoptimierung

Ökologisch und finanziell vorteilhaft sind elektrifizierte Landmaschinen vor allem in Kombination mit eigener erneuerbarer Stromerzeugung. Zwischen den Teilnehmenden wurde kontrovers diskutiert, inwieweit mit mobilen elektrischen Landmaschinen eigener erneuerbarer Strom genutzt werden kann. Laut Aussage der Interessenvertretung sind Landmaschinen im Vergleich zu privater E-Mobilität Arbeitsmittel, die zu gewissen Zeitpunkten eingesetzt werden müssen. Je nach erneuerbarer Stromerzeugungstechnologie passen deshalb Nutzungs- und Ladezeitraum ggf. nicht zusammen, beispielsweise bei Solarstromerzeugung in der Mittagszeit.³ Andererseits hat sich bei einem beteiligten Landwirt der Einsatz eines KI-gesteuerten, hofinternen Energiemanagementsystems bereits bewährt, das

² Laut Aussage des Landwirtes führten die Elektrifizierung in Kombination mit einer Automatisierung zu einer gleichmäßigeren Fütterung und zu sozialverträglicheren Arbeitszeiten, da der Fütterungsautomat nur einmal am Tag befüllt werden muss. Zusammen mit mehr Ruhe und Wegfall der Abgasemissionen erhöht sich Tier- und Mitarbeitendengesundheit, Qualität und Quantität der Milch sowie die Arbeitsplatzattraktivität.

³ Während die Erzeugungsspitze von PV-Anlagen in der Mittagszeit auftritt, haben Windkraftanlagen zwar unregelmäßige, aber kontinuierlich verteilte Erzeugungsprofile. Biogasanlagen wiederum können bedarfsgerecht eingesetzt werden.

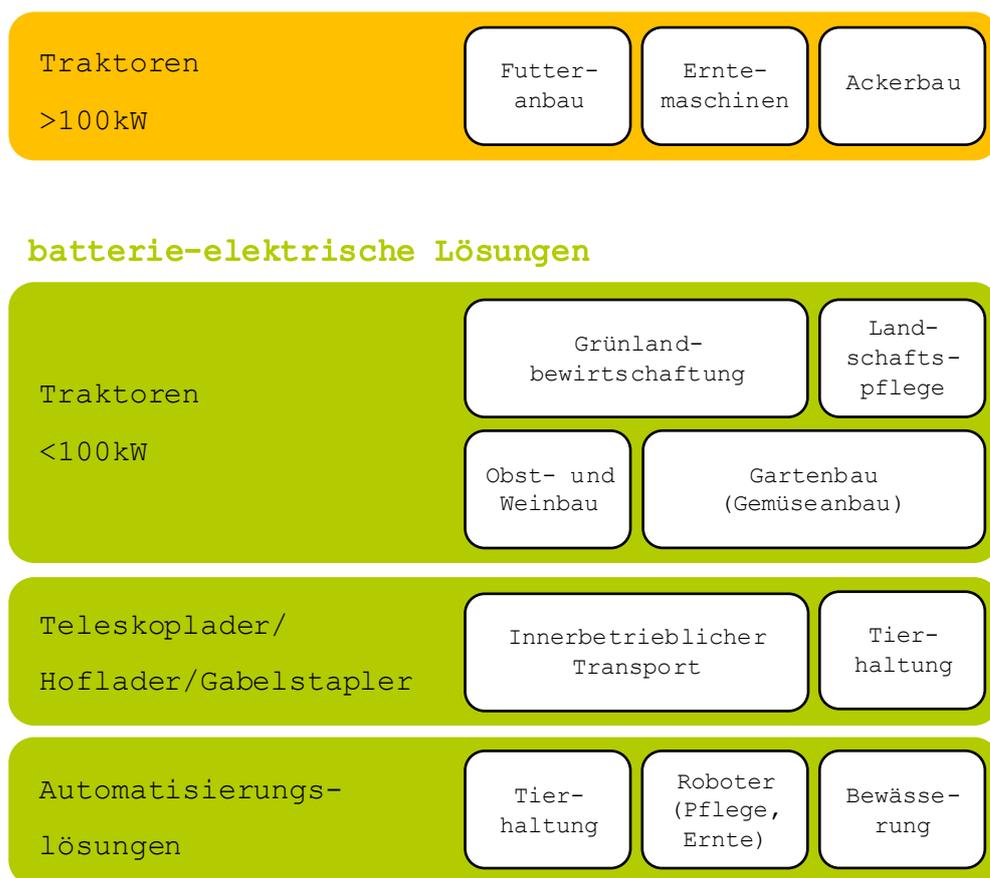
automatisch zwischen unterschiedlichen Verbrauchern und Erzeugern priorisiert und so den hofinternen Eigenverbrauch maximiert.⁴

Bereitstellung netzdienlicher Flexibilität

Die Speicherkapazitäten von batterie-elektrischen Landmaschinen werden langfristig mittels bidirektionalem Laden systemdienlich ins Stromnetz ein- und ausspeisen können. Gemäß einem teilnehmenden Landwirt hat ein Traktor 1.000 bis 1.500 Betriebsstunden im Jahr und könnte in den Standzeiten für bidirektionales Laden zur Verfügung stehen. Hofseitig kann das beim Landwirt installierte Energiemanagementsystem bereits flexible Leistung bereitstellen, allerdings besteht noch deutlicher Handlungsbedarf in Bezug auf die organisatorische, technische und rechtliche Ausgestaltung der Schnittstelle zwischen Verteilnetzbetreiber und Energiemanagementsystem. Nach Einschätzung des Energieversorgers wird sich eine Umsetzung von bidirektionalem Laden zuerst auf Haushaltsebene etablieren, um anschließend auf landwirtschaftliche Betriebe ausgeweitet zu werden. Sprungbrett für das bidirektionale Laden in der Landwirtschaft können dynamische Strompreistarife sein, die ab 2025 breitflächig eingeführt werden sollen.

nicht batterie-elektrische Lösungen

Abbildung 1: Anwendungsbereiche batterie-elektrischer Landmaschinen.
Quelle: Eigene Darstellung basierend auf den Erkenntnissen aus der Online-Diskussion.



⁴ Zur erfolgreichen Umsetzung eines Energiemanagementsystems siehe Bernhardt (2023)

Exkurs: Verfügbarkeit, Anwendungen und technische Grenzen von elektrischen Landmaschinen

Die aktuelle und erwartbare Verfügbarkeit von elektrischen Landmaschinen unterscheidet sich nach Anwendungsbereich. Abbildung 1 gibt einen Überblick über mögliche Anwendungsbereiche basierend auf den Ergebnissen der Online-Diskussion. Zusätzlich werden die langfristige Perspektive unterschiedlicher Antriebsarten bis 2045 für unterschiedliche Arbeitsbereiche in Abbildung dargestellt (s. Hintergrundinformationen auf S.10).

Bereits heute sind elektrifizierte Landmaschinen für die Innenwirtschaft im niedrigen Leistungssegment (<70 kW) marktreif. Diese können konventionell angetriebene Maschinen komplett ersetzen. Praxisbeispiele der teilnehmenden Landwirte sind Radlader oder Futtermischwägen. Gemäß den Erfahrungen der Landmaschinenhersteller eignen sich für eine Elektrifizierung insbesondere unterbrochene Arbeitsabläufe mit geringen Leistungen und kurzen Wegen zur Ladeinfrastruktur. Je weiter die Einsatzstelle einer Landmaschine von der Ladeinfrastruktur entfernt ist und je länger die Einsatzdauer ist, desto geringer ist die Eignung für eine Elektrifizierung. Im Ackerbau werden Zug- und Erntemaschinen mit hohen Leistungen im saisonalen Dauerbetrieb benötigt. Da die aktuelle Leistungsobergrenze für batterie-elektrische Maschinen aufgrund des notwendigen Batterievolumens bei ca. 100kW liegt, wird es in diesem Segment zeitnah keine batterie-elektrischen Lösungen geben. Nach Einschätzung der Landmaschinenhersteller könnte sich bis 2045 diese Leistungsgrenze durch Konzepte wie kabelgebundene Traktoren oder Sprünge in der Batterietechnik nach oben verschieben. Gleichzeitig wird in diesem Leistungssegment über Alternativen zur Elektrifizierung nachgedacht (s. dazu auch Hintergrundinformationen auf Seite 10).

Je näher die elektrische Maschine am Einsatzort geladen werden kann, desto besser lässt sie sich in den Betriebsablauf integrieren. Sollte keine eigene Erzeugung vorliegen, stellt das Bereitstellen einer ausreichenden Ladeleistung durch den Verteilnetzbetreiber nach Aussage des Energieversorgers eine Herausforderung dar.⁵ Gemäß den Erfahrungen eines Landmaschinenherstellers können elektrische Landmaschinen bei 2/3 der Betriebe mit kleineren Anpassungen im Betriebsablauf eingesetzt werden, bei 1/3 müssten größere Eingriffe in Betriebsabläufe erfolgen. Dazu gehört beispielsweise eine Ladungsplanung inklusive Anpassung von Einsatzzeiträumen sowie zusätzliche technische Einrichtungen im Bereich Ladeinfrastruktur und Wechselbatterie.

Die Verfügbarkeit kleiner, autonom arbeitender Landmaschinen (sog. „Feldschwärme“) ist insbesondere in den Bereichen Gemüsebau, Sonderkulturen und in Gewächshäusern denkbar. Große Betriebe mit Ackerbau brauchen aus Produktivitätsgründen leistungsstarke Landmaschinen. Ab 2035 könnten im Ackerbau autonome, miteinander agierende Feldschwärme verfügbar sein, die allerdings leistungsstarke Maschinen nicht vollständig ersetzen.

⁵ Bei einem „Tankinhalt“ von 4.000 kWh müsste mit 400 kW geladen werden, was je nach örtlichem Netzbetreiber nicht ohne weiteres durch klassische Energieversorger zur Verfügung gestellt werden kann.

Bedingungen zum Heben der Potenziale

Von den Teilnehmenden wurden verschiedene Bedingungen zum Heben der beschriebenen Potenziale diskutiert. Nach Aussage der Interessensvertretung werden landwirtschaftliche Betriebe Traktoren kaufen, die sich im Einsatz bewähren und die sich finanziell rechnen. Entsprechend müssen sich einerseits Erfahrungswerte über die Praxistauglichkeit elektrischer Landmaschinen verbreiten, andererseits müssen landwirtschaftliche Betriebe finanziellen Spielraum und Anreize erhalten, um die aktuell noch höheren Investitionskosten tragen zu können. Ein teilnehmender Landwirt führte aus, dass durch einen Strukturwandel in der Landwirtschaft hin zu kleineren Betrieben ein Potenzial für mehr Elektrifizierung entsteht, da kleinere Höfe tendenziell mit Landmaschinen in einem niedrigeren Leistungssegment auskommen.

Finanziell

Gemäß der Teilnehmenden aus der angewandten Forschung sind die Anschaffungskosten einer elektrischen Landmaschine gegenüber einer vergleichbaren dieselbetriebenen Maschine aktuell um ca. ein Drittel höher. Sollte aufgrund betrieblicher Abläufe eine Wechselbatterie oder durch Alterungseffekte eine Ersatzinvestition in die Batterie notwendig sein, entstehen deutliche Mehrkosten. Zusätzlich entstehen bei elektrischen Landmaschinen Kosten für die notwendige Ladeinfrastruktur.

Nach Aussage der Teilnehmenden können die aktuell höheren Anschaffungskosten für marktreife elektrische Maschinen nicht oder kaum über Preissteigerungen von landwirtschaftlichen Produkten an die Endverbraucher*innen weitergegeben werden.⁶ Aus Sicht der Teilnehmenden können gezielte politische Förderprogramme für elektrische Landmaschinen eine Lösung darstellen. Die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) fördert unter anderem elektrische Landmaschinen und andere alternative Antriebssysteme mit dem *Bundesprogramm zur Förderung der Energieeffizienz und CO₂-Einsparung in Landwirtschaft und Gartenbau*.⁷ Laut der Teilnehmerin aus der Verwaltung war eine Inanspruchnahme der Förderung für landwirtschaftliche Betriebe in der Vergangenheit durch ein kompliziertes Antragsverfahren teilweise erschwert, da unter anderem die Differenzkosten zu konventionellen Maschinen berechnet werden mussten. Laut den Teilnehmenden ist für den Erfolg politischer Förderprogramme in der Landwirtschaft deshalb eine unbürokratische Umsetzung und ein verlässlicher langfristiger Rahmen unerlässlich.⁸

Gesellschaftlich

Die mediale Berichterstattung zur E-Mobilität war laut den Teilnehmenden der Online-Diskussion lange sehr negativ. In der Landwirtschaft gibt es deshalb Vorbehalte gegenüber der Praxistauglichkeit von elektrischen Landmaschinen. Sorgen über Kostensteigerungen sowie mangelnde Erfahrungen zu Wiederverkaufswerten und der Langlebigkeit der Batterie stellen insbesondere bei langfristigen Investitionen wie Traktoren ein Hemmnis dar. Laut einem Landwirt sind Landwirt*innen in der Praxis trotz anfänglicher Skepsis beim Ausprobieren von elektrischen Landmaschinen begeistert. Entsprechend können über Praxiserfahrungen

⁶ Eine Ausnahme stellt nach Aussage eines Landmaschinenherstellers der Weinbau dar, in dem Mehrkosten über geeignetes Marketing weitergegeben werden können.

⁷ Für eine Auflistung der förderfähigen Maßnahmen, siehe: https://www.ble.de/DE/Projektfoerderung/Foerderung-Auftraege/Bundesprogramm_Energieeffizienz/Richtlinie-A/Einzelmassnahmen/Einzelmassnahmen_node.html

⁸ Als Positivbeispiel für eine gelungene Ausgestaltung eines Förderprogramms wurde in der Online-Diskussion das KfW-Förderprogramm 440 (Förderung für Wallbox-Ladeanschlüsse für E-Autos) genannt.

Vorbehalte abgebaut und die Akzeptanz gesteigert werden. Laut einer Teilnehmerin aus der angewandten Forschung kann die öffentliche Hand hier eine Vorbildfunktion erfüllen: Beispielsweise werden auf bayerischen Staatsgütern elektrische Landmaschinen eingesetzt, die für zwei bis drei Wochen ausgeliehen werden können. Auch Maschinenringe können nach Aussage des Lohnunternehmens als Bereitsteller von elektrischen Landmaschinen eine Vorreiterfunktion einnehmen.

Bedarfe und Handlungsmöglichkeiten zentraler Akteure

Anhand der Diskussionsbeiträge haben wir Bedarfe und Handlungsmöglichkeiten von verschiedenen Akteursgruppen für die weitere Entwicklung und Verbreitung von elektrischen Landmaschinen identifiziert (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Bedarfe und Handlungsmöglichkeiten zentraler Akteure. Quelle: Eigene Darstellung basierend auf den Erkenntnissen aus der Online-Diskussion.

Akteure	Bedarfe der Akteure für die Anwendung von elektrischen Landmaschinen	Handlungsmöglichkeiten der Akteure
Landwirtschaftliche Betriebe	<ul style="list-style-type: none"> - Investitionsanreize für elektrische Landmaschinen, bspw. durch einen langfristigen und unkomplizierten Förderrahmen - Erfahrungswerte zur Praxistauglichkeit elektrischer Landmaschinen, zu Wiederverkaufswerten und zur Langlebigkeit der Batterie - Verfügbarkeit von marktreifen, elektrischen Landmaschinen für weitere Anwendungsfelder - Informationen über die Einbindung von elektrischen Landmaschinen im Betrieb - Praxistaugliche Energiemanagementsysteme zur Integration von elektrischen Landmaschinen mit eigener Erzeugung 	<ul style="list-style-type: none"> - Eigene Anwendung von elektrischen Landmaschinen und Verbreitung der gesammelten Erfahrungen/Best-Practices
Hersteller von elektrischen Landmaschinen	<ul style="list-style-type: none"> - Verbesserung der Kommunikation über elektrische Landmaschinen gegenüber landwirtschaftlichen Betrieben 	<ul style="list-style-type: none"> - Adressierung der Schnittstellenproblematik zwischen neuen, elektrischen Landmaschinen und auf konventionelle Landmaschinen ausgelegte Geräte - Forschung und Entwicklung zu Landmaschinen mit höheren Leistungen, bspw. kabelgebundene Systeme - Umsetzung von bidirektionalem Laden mit elektrischen Landmaschinen
Lohnunternehmen	<ul style="list-style-type: none"> - Anreize für Investitionen in elektrische Landmaschinen 	<ul style="list-style-type: none"> - Verbreitung der Technologie als Multiplikatoren durch Verwendung im eigenen Maschinenpark
Energieversorger	<ul style="list-style-type: none"> - Innovationsspielräume für die Umsetzung von bidirektionalem Laden in der Energiewirtschaft als hochregulierte Branche 	<ul style="list-style-type: none"> - Bereitstellung ausreichender Netzinfrastruktur zum Laden - Anbieten von dynamischen Stromtarifen als Sprungbrett für gesteuertes und bidirektionales Laden - Umsetzung von bidirektionalem Laden
Politik/Verwaltung	<ul style="list-style-type: none"> - K.A. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bereitstellung eines Förderrahmens für eine beschleunigte Elektrifizierung im marktreifen Segment - Ermöglichen von Praxiserfahrungen mit elektrischen Landmaschinen, bspw. über mehrwöchiges Ausleihen

Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Online-Diskussion hat gezeigt, dass marktreife, elektrische Landmaschinen vor allem für hofnahe Arbeiten im niedrigen Leistungssegment verfügbar sind. Dort können sie konventionell betriebene Maschinen ersetzen, CO₂-Emissionen reduzieren und Tier- und Mitarbeitendengesundheit erhöhen. Für leistungsstarke Zug- und Erntemaschinen wird es zeitnah keine batterie-elektrischen Lösungen geben, stattdessen wird an anderen Antriebsalternativen geforscht ([s. dazu auch Hintergrundinformationen auf Seite 10](#)). Langfristig kann die Landwirtschaft im Zuge einer Elektrifizierung und intelligenten Vernetzung mit dem Stromsystem systemdienlich in das Stromnetz ein- und ausspeisen. Allerdings sind die Anschaffungskosten einer elektrischen Landmaschine aktuell gegenüber einer vergleichbaren dieselbetriebenen Maschine ca. ein Drittel höher und es existieren noch Vorbehalte gegenüber der Praxistauglichkeit elektrischer Landmaschinen.

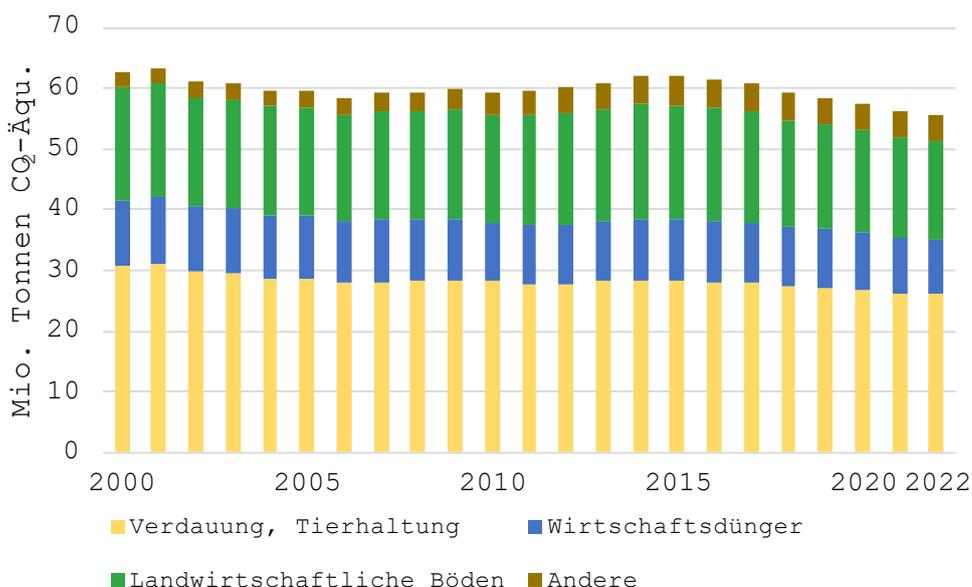
Aus den gewonnenen Erkenntnissen und den Sichtweisen der Akteure empfehlen wir deshalb für eine weitere Verbreitung von elektrischen Landmaschinen in der Landwirtschaft:

- ⇒ Mit einem unbürokratischen und langfristigen Förderrahmen für elektrische Landmaschinen und der notwendigen Ladeinfrastruktur können die aktuell noch höheren Anschaffungskosten für landwirtschaftliche Betriebe abgefangen werden. Deshalb sollte bis zur Wettbewerbsfähigkeit von elektrischen Landmaschinen ein derartiges Förderprogramm aufgebaut werden. Das *Bundesprogramm Energieeffizienz und CO₂-Einsparung in Landwirtschaft und Gartenbau* der BLE stellt einen sinnvollen Ansatzpunkt dar.
- ⇒ Die stufenweise Erhöhung der Bepreisung von CO₂ sollte wie geplant fortgeführt werden, um die Nutzung von erneuerbar produziertem Strom und elektrischen Landmaschinen im Vergleich zu fossil betriebenen Landmaschinen attraktiver zu machen. Gleichzeitig sollte Beratung und Informationen zu praxistauglichen Energiemanagementsystemen inklusive der Integration von elektrischen Landmaschinen in Betriebsabläufe für landwirtschaftliche Betriebe zur Verfügung gestellt werden.
- ⇒ Über die Vorbildfunktion der öffentlichen Hand können niedrigschwellige Praxiserfahrungen für landwirtschaftliche Betriebe ermöglicht werden, um die Praxiseignung von elektrischen Landmaschinen erlebbar zu machen. Der Einsatz und die Ausleihmöglichkeit von elektrischen Landmaschinen auf bayerischen Staatsgütern kann ein Vorbildmodell für andere Regionen sein.
- ⇒ Bestehende Vorbehalte gegenüber elektrischen Landmaschinen sollten mit Beratung und Information zu bestehenden Best-Practices weiter abgebaut werden und der Austausch von Erfahrungswerten zu elektrischen Landmaschinen sollte gefördert werden.
- ⇒ Die Möglichkeit, dass landwirtschaftliche Betriebe mit elektrischen Landmaschinen über bidirektionales Laden systemdienlich ins Stromnetz ein- und ausspeisen, sollte weiter erforscht und eine regulatorische Umsetzung ermöglicht werden.
- ⇒ Weitere Forschungsprojekte sollten die Entwicklung von leistungsstärkeren, elektrischen Landmaschinen für weitere Anwendungsbereiche unterstützen.

Hintergrundinformationen zu alternativen Antrieben in der Landwirtschaft

Die landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen entstehen primär durch nicht-verbrennungsbedingte Emissionen aus Tierhaltung, Düngemitteln sowie Bodenbewirtschaftung. Sie betragen 55,5 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente im Jahr 2022 (siehe Entwicklung in Abbildung 2). Das entspricht etwa 7,4 Prozent der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland.

Abbildung 2: Treibhausgas-Emissionen der Landwirtschaft nach Kategorien.
Quelle: Eigene Darstellung nach UBA (2023)



Die verbrennungsbedingten Emissionen aus dem Verbrauch von Brennstoffen in der Landwirtschaft sind in dieser Statistik nicht erfasst, werden aber im Bundes-Klimaschutzgesetz dem Sektor Landwirtschaft angerechnet (Common-Reporting-Format 1.A.4.c) und unterliegen entsprechend den gesetzlich verankerten Minderungszielen. In der deutschen Land- und Forstwirtschaft werden jährlich rund zwei Mrd. Liter für Dieselmotoren verbraucht. Abzüglich eines geschätzten Anteils von 12 Prozent Kraftstoffverbrauch aus der Forstwirtschaft sind dem Dieselmotorenverbrauch der Landwirtschaft jährlich mindestens 3,8 Mio. Tonnen CO₂-Äquivalente zuzuordnen. Dies entspricht ca. 0,5 Prozent der deutschen Treibhausgasemissionen. Die Treibhausgasemissionen von den zum 1. Januar 2022 rund 340.000 landwirtschaftliche Zugmaschinen und den durchschnittlich rund 32.000 jährlichen Neuzulassungen müssen gemäß Klimaschutzgesetz bis zur Treibhausgasneutralität im Jahr 2045 auf Netto-Null reduziert werden (UBA 2023; KTBL 2023). Folglich stellt die Substitution von Dieselmotoren in der Landwirtschaft ein relevantes Handlungsfeld für den Klimaschutz dar. Neben der Realisierung von Einsparpotenzialen existieren verschiedene Optionen zur Substitution dieser Landmaschinen.

Potenziale zur Substitution dieselbetriebener Landmaschinen

Zur Substitution von fossilem Kraftstoff durch erneuerbare Antriebstechnologien stehen verschiedene Optionen mit unterschiedlichen Reifegraden zur Verfügung.

Im leichten Arbeitsbereich kann durch eine Elektrifizierung landwirtschaftlicher Maschinen die notwendige Antriebsenergie bereitgestellt werden, entweder durch selbst erzeugten erneuerbaren oder aus dem Netz bezogenen Strom. Aufgrund der höheren Effizienz von elektrischen Maschinen im Vergleich zu Dieselmotoren kann durch eine Elektrifizierung der notwendige Energiebedarf für landwirtschaftliche Maschinen um 22 bis 33 Prozent reduziert werden.

Für mittelschwere bis schwere, und insbesondere zeitintensive Arbeiten ist eine Elektrifizierung aktuell technisch schwer umsetzbar ([s. dazu Exkurs auf S.4](#)). Grund ist die geringe, massebezogene Energiedichte von Lithium-Ionen-Akkus. In diesem Arbeitsbereich sind nach heutigem Stand der Technik verschiedene alternative Kraftstoffe denkbar. Dazu gehören Pflanzenölkraftstoffe sowie Biodiesel als Reinkraftstoff auf Basis von eigenen Agrarroh- und -reststoffen. Ebenfalls möglich sind der Einsatz paraffinischer Dieselmotoren wie Hydrotreated-Vegetable-Oil-Diesel (HVO-Diesel) und Fischer-Tropsch-Diesel aus Biomasse (Biomass-to-Liquid) oder aus elektrischer Energie (Power-to-Liquid). Weiterhin sind erneuerbares komprimiertes Methan (CNG) oder erneuerbares verflüssigtes Methan (LNG) eine Option. Abbildung gibt einen Überblick über die langfristige Perspektive unterschiedlicher Antriebsarten für unterschiedliche Arbeitsbereiche (KTBL 2023).

Antriebsleistung	Zeithorizont	Energieträger Antriebsform	TRL ⁹	Wirkungsgrad [%]	Leichte Arbeiten		Mittelschwere Arbeiten		Schwere Arbeiten	
					≤ 80 kW	≥ 80 kW	40 - 200 kW	≥ 200 kW	2030	2045
Regenerativer Strom Batterie (Li-Ionen-Akku) und Elektromotor			11	81 (hoch)	Grün	Grün	Orange	Grün	Grün	Grün
Pflanzenöl Verbrennungsmotor			11	32 (mittel)	Orange	Grün	Orange	Grün	Orange	Grün
Biodiesel Verbrennungsmotor			11	32 (mittel)	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
HVO-Diesel Verbrennungsmotor			9 bis 11	32 (mittel)	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün	Grün
FT-Diesel Verbrennungsmotor			6 bis 7	32 (mittel)	Grün	Grün	Orange	Orange	Orange	Grün
CNG (Methan) Verbrennungsmotor			6 bis 7	24 (niedrig)	Grün	Grün	Orange	Orange	Orange	Orange
LNG (Methan) Verbrennungsmotor			6 bis 7	24 (niedrig)	Grün	Grün	Orange	Orange	Orange	Orange
Wasserstoff Brennstoffzelle und Elektromotor			9 bis 11	49 (mittel)	Grün	Grün	Orange	Orange	Orange	Orange

⁹ Das Technology-Readiness-Level (TRL) ist eine Skala zur Bewertung des Entwicklungsstandes von neuen Technologien auf der Basis einer systematischen Analyse.

Erläuterung der Farbmarkierung

Abbildung 3: Langfristige Perspektive unterschiedlicher Antriebsarten für verschiedene Arbeitsbereiche der Landwirtschaft, Zeithorizont 2030 bis 2045.
Quelle: Eigene Darstellung nach KTBL (2023)



Umsetzbare bevorzugte Optionen:	Maschine und Energieträger sind am Markt verfügbar, eignen sich für die jeweiligen landwirtschaftlichen Arbeiten, sind kostengünstig, der Ressourceneinsatz ist effizient. Eine regionale Bereitstellung der Energieträger ist möglich.
Umsetzbar:	Maschine und Energieträger sind am Markt verfügbar und eignen sich für die jeweiligen landwirtschaftlichen Arbeiten.
Teilweise umsetzbar:	Maschine und Energieträger sind am Markt unter optimistischen Annahmen verfügbar, die Eignung für die jeweiligen landwirtschaftlichen Arbeiten ist teilweise gegeben.
Umsetzbar:	Es sind besser geeignete Alternativen verfügbar.
Geeignete erneuerbare Energieträger und dazu passende Antriebe sind nicht verfügbar.	

Das Projekt Landgewinn

Das Forschungsprojekt ‚Landgewinn‘ bewertet die Interaktion des deutschen Landwirtschaftssektor mit anderen Sektoren des Energiesystems. Neben elektrischen Landmaschinen untersucht der Forschungsverbund die Agri-Photovoltaik, sowie die Herstellung und Anwendung von Pflanzenkohle als Negativemissionstechnologie. Für beide Technologien sind auf der Projektwebsite Info-Sheets veröffentlicht worden. Die Leitung des Forschungsprojekts liegt bei der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Medien Offenburg, in Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) in Freiburg im Breisgau, der Hochschule für öffentliche Verwaltung Kehl und dem Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) in Berlin. Gefördert wird das Vorhaben durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms.

Alle Publikationen und weitere Informationen finden Sie auf www.fyi-landgewinn.de.

Literatur

- Bernhardt, Heinz (2023): Digitales Energiemanagement im Milchviehbereich. *Informatik Spektrum* 46, Nr. 1: 3–7.
- KTBL (2023): Verwendung erneuerbarer Antriebsenergien in landwirtschaftlichen Maschinen. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL).
- UBA (2023): Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgasemissionen. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft> (aufgerufen am 20.03.2024).
- Stöhr, Michael, Sandra Giglmaier und Roland Berlet (2015): Folgenabschätzung zum Einsatz batteriebetriebener vollelektrifizierter Landmaschinen. Teilvorhabenbericht SESAM - Entwicklung eines vollelektrifizierten Traktors (FKZ: 01ME12124).

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Herausgeber:

**Institut für ökologische
Wirtschaftsforschung (IÖW) GmbH,
gemeinnützig**

Potsdamer Str. 105

D-10785 Berlin

Tel. +49-30-884594-0

Fax +49-30-8825439

www.ioew.de

Autor*innen:

Elmar Zozmann, Johannes Rupp,
Rosalin Blessing, Hannes Bluhm

Kontakt:

Elmar.zozmann@ioew.de

Datum:

Mai 2024



| i | ö | w

INSTITUT FÜR
ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG