



Pflanzenöltraktor aus dem Projekt „ResiTrac“ beim Kartoffelroden

Foto: Martin Speiseder, TFZ

## Erneuerbare Antriebsenergien in der Landwirtschaft

Das sind die Perspektiven bis 2030 und 2045

In der deutschen Land- und Forstwirtschaft werden jährlich rund 2,1 Mrd. l Kraftstoff verbraucht. Dabei wird nahezu ausschließlich konventioneller Dieselmotorkraftstoff eingesetzt. Mit der Dieselmotorkraftstoffverbrennung sind jährlich etwa 5,8 Mio. t CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden, die dem deutschen Treibhausgasinventar Landwirtschaft zugeordnet werden. Diese Emissionen müssen spätestens bis zum Jahr 2045, dem Zieljahr für eine bundesweite Treibhausgasneutralität, auf null reduziert werden. Aber nicht nur der Klimaschutz an sich ist ein Grund, sich rechtzeitig mit Alternativen zum Dieselmotorkraftstoff auseinanderzusetzen, sondern auch die zunehmenden Anforderungen der Lebensmittelindustrie hinsichtlich eines geringen CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks, zum Beispiel bei Milch und anderen Agrarprodukten.

Zudem erfordern schwankende Dieselpreise aufgrund volatiler Mineralölpreise sowie Besteuerung und CO<sub>2</sub>-Abgaben und nicht zuletzt die Abhängigkeit von Mineralölimporten, den Blick nach vorn, auf Erneuerbare Antriebsenergien zu richten.

### Einsatzprofile landwirtschaftlicher Maschinen

Zu den mobilen Maschinen, die in der Land- und Forstwirtschaft eingesetzt werden, zählen zum Beispiel Zugmaschinen wie Traktoren oder selbstfahrende Arbeitsmaschinen wie Mähdrescher, Maishäcksler, Forstharvester, Rückefahrzeuge, Teleskop- und Hoflader sowie Futtermischwagen. Die Einsatzintervalle und -zeiten der Maschinen variieren zwischen täglich und saisonal sowie von einmal oder mehrmals wenigen Minuten am Tag bis zum 24-Stunden-Dauereinsatz. Das

jeweilige Einsatzprofil bestimmt die erforderlichen Betankungsintervalle mit Kraftstoffen beziehungsweise die Ladeintervalle mit elektrischem Strom und somit die praxisgerechten Einsatzmöglichkeiten alternativer Antriebsoptionen.

### Antriebsenergien im Vergleich

Als Antriebsenergie für land- und forstwirtschaftliche Maschinen kommen die in der Tabelle aufgeführten Kraftstoffe und elektrischer

Strom infrage. Die Kraftstoffe unterscheiden sich deutlich in ihrem technologischen Reifegrad (Technology Readiness Level beziehungsweise Fuel Readiness Level – TRL, FRL), in den in Deutschland und Europa zur Verfügung stehenden Produktionskapazitäten sowie im Umfang der Gefahren, die von den Kraftstoffen für den Anwender und die Umwelt ausgehen. Für alle Kraftstoffe stehen Anforderungsnormen zur Verfügung, die ein verlässliches Be-

Tabelle: Erneuerbare Kraftstoffe und Erneuerbarer Strom für den Antrieb land- und forstwirtschaftlicher Arbeitsmaschinen – Anforderungsnormen, Entwicklungsstand (Technology und Fuel Readiness Level – TRL und FRL), Produktionskapazitäten in Deutschland und in der EU sowie Klassifizierung als Gefahrstoff

Energieträger/-form Norm	Entwicklungsstand (TRL/FRL)		Anlagenkapazität in PJ		Klassifizierung als Gefahrstoff
			D	EU	
Strom (Batterie) –	11		894	5.344	
Pflanzenöl DIN 51605 (Rapsölkraftstoff), DIN 51623	11		188	677	–
Bioethanol (E85) DIN EN 15293	11 8	(Saccharide) (Lignozellulose)	23 < 1	202 3	
Biodiesel (FAME) DIN EN 14214	11 4	(Pflanzenöle, Abfallöle ...) (Algen)	144 –	714 –	–
paraffinischer Diesel (HVO) DIN EN 15940	9-11 4-9	(Pflanzenöle, Abfallöle ...) (Algen, Pyrolyseöl ...)	– –	149 –	
paraffinischer Diesel (Fischer-Tropsch) DIN EN 15940	6-7	(BtL, PtL)	< 1	< 1	
Methan DIN EN 16723-2	9-11 6-7	(anaerob/Biogas) (BtG, PtG)	36 < 1	68	
Wasserstoff DIN EN 17124	9-11 5-8	(Elektrolyse/PtG) (BtG)	< 1 –	< 1 –	
Referenz: Diesel DIN EN 590	11		unbekannt		

BtL: Biomass to Liquid – synthetische Flüssig-Kraftstoffe aus Biomasse, PtL: Power to Liquid – synthetische Flüssig-Kraftstoffe aus Erneuerbarem Strom und einer Kohlenstoffquelle, BtG: Biomass to Gas – synthetische gasförmige Kraftstoffe aus Biomasse, PtG: Power to Gas – synthetische gasförmige Kraftstoffe aus Erneuerbarem Strom  
Quelle: nach Eckel et al. 2023



Flüssige Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren in landwirtschaftlichen Maschinen Foto: Kaspar Obermaier, TFZ

triebs- und Emissionsverhalten der freigegebenen Maschinen gewährleisten sowie den Handel mit diesen Kraftstoffen ermöglichen.

Während in Deutschland für die Erzeugung von Pflanzenölen und von Biodiesel große Anlagenkapazitäten zur Verfügung stehen,

wird beispielsweise der paraffinische Dieselkraftstoff HVO nicht in Deutschland produziert. Der Entwicklungsstand von Verfahren zur Erzeugung von Synthese-Kraftstoffen oder auch für die Nutzung alternativer Rohstoffe, zum Beispiel Algen, ist häufig noch auf der Stu-

fe von Entwicklung und Demonstration. Produktionsanlagen bestehen noch keine.

Von den Kraftstoffen Fettsäuremethylester (Biodiesel) und Pflanzenölkraftstoff gehen keine nennenswerten Gefahren für Anwender und Umwelt aus.

Des Weiteren unterscheiden sich die Kraftstoffe hinsichtlich ihrer chemisch-physikalischen und kraftstofftechnischen Eigenschaften. Ein wichtiges Kriterium ist dabei die volumetrische und gravimetrische Energiedichte von Kraftstoffen und in Batterien gespeichertem Strom, siehe hierzu Abbildung 1.

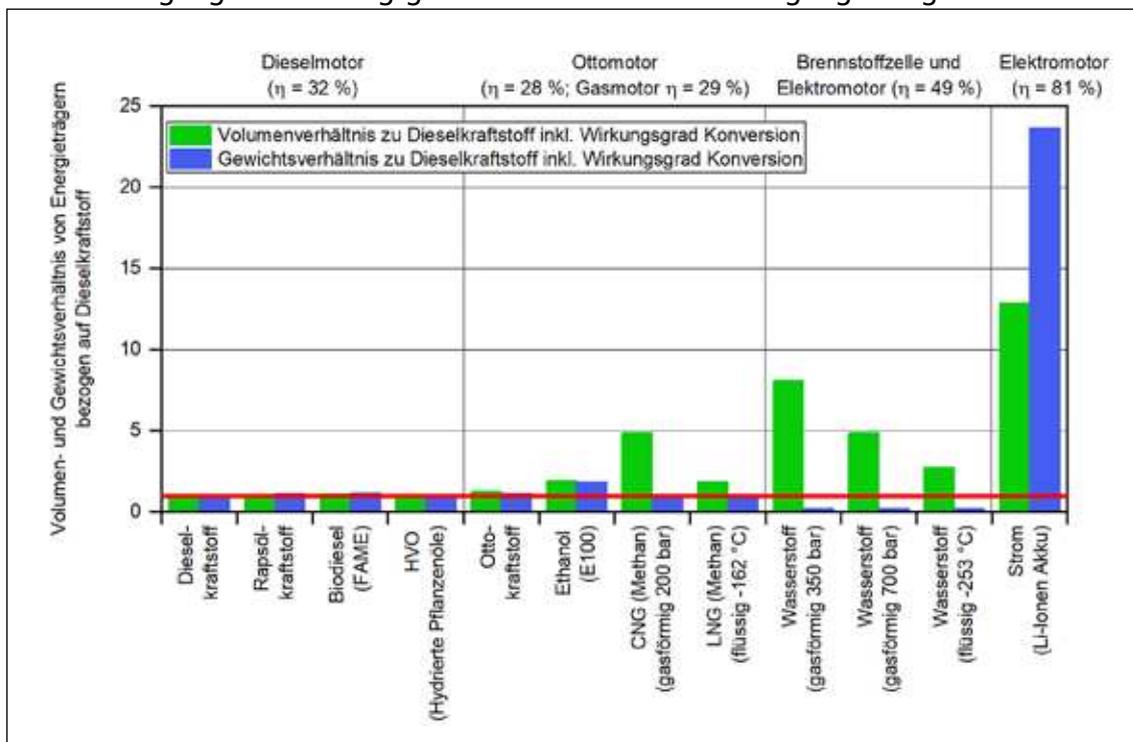
Bei begrenztem Bauraum und maximal tolerierbarem Gewicht der Maschinen lassen sich von diesen beiden Kenngrößen die üblichen Einsatzzeiten der Maschinen zwischen Betankungs- oder Ladevorgängen ableiten. Es wird deutlich, dass insbesondere das hohe Gewicht der Batterien, das auch zu unerwünschtem Bodendruck führt, die Verwendung batterieelektrischer Antriebe in Maschinen für Land- und Forstwirtschaft sowie Gartenbau einschränkt.

### Technische Optionen für 2030 und 2045

Die technischen Optionen für den Antrieb landwirtschaftlicher Maschinen verschiedener Leistungskategorien mit Erneuerbarer Energie wurde von Experten-Arbeitsgruppen im Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) beschrieben und bewertet. Die technisch möglichen Antriebsoptionen perspektivisch für das Jahr 2030 und das Jahr 2045 für unterschiedliche Arbeitserfordernisse in der Land- und Forstwirtschaft zeigt Abbildung 2. In die Bewertung gingen folgende Kriterien ein:

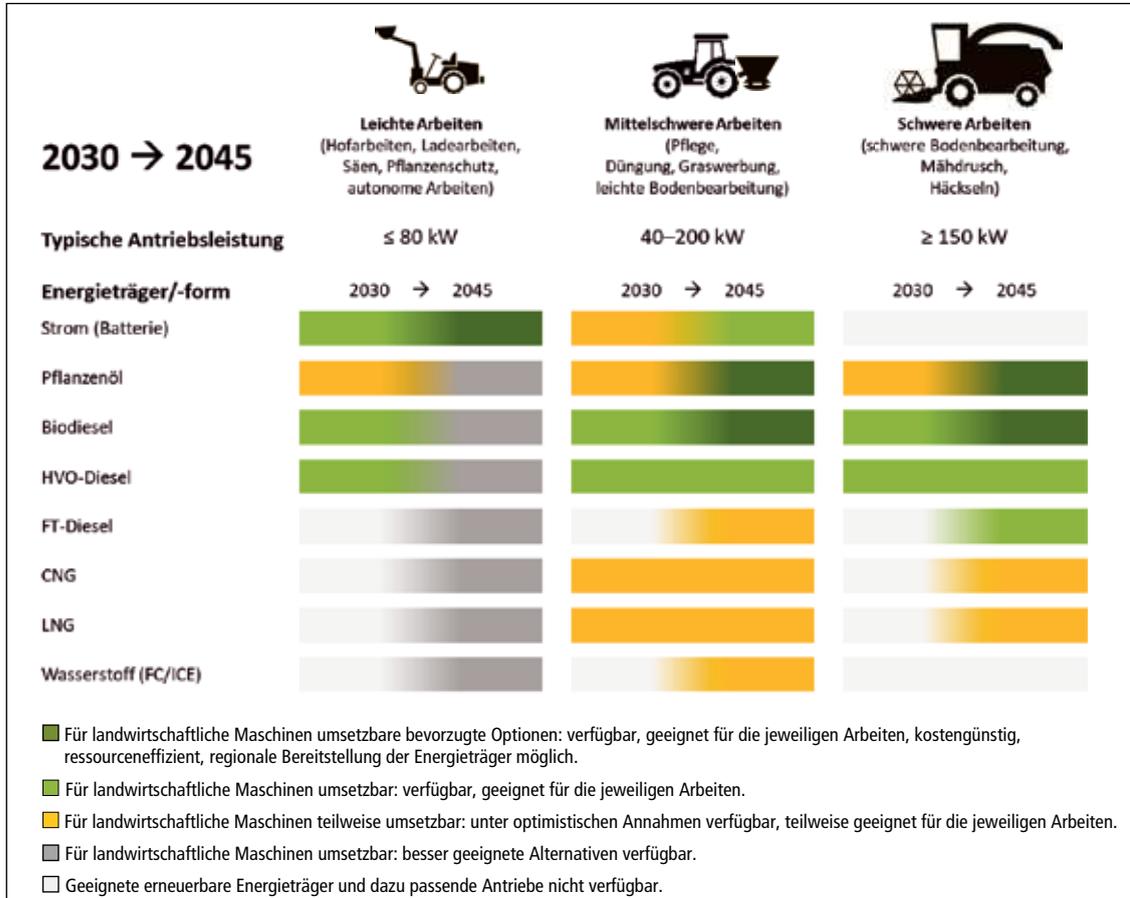
- chemische und physikalische Eigenschaften des Energieträgers,
- Rohstoffpotenzial/Potenzial für elektrische Energie,
- Verfügbarkeit einer Technologie für die Bereitstellung von Energieträgern,
- Verfügbarkeit des Energieträgers am Markt,
- Energieeffizienz der Energieträgerbereitstellung,
- Wirkungsgrad Antriebssystem,
- Infrastruktur für Betankung oder Laden,
- Betankung oder Ladevorgang,
- Energiespeicherkapazität,
- Verfügbarkeit der Maschinen am Markt,
- Investitions- und Betriebskosten sowie
- regionale Wertschöpfung und Selbstversorgung.

Abbildung 1: Volumen- und Gewichtsverhältnis verschiedener Energieträger und Strom für die Bevorratung am Fahrzeug – bezogen auf Dieselkraftstoff und unter Berücksichtigung des Wirkungsgrads der Konversion in Bewegungsenergie



Quelle: KTBL 2020/Emberger, P. TFZ 2025

Abbildung 2: Technisch mögliche Antriebsoptionen 2030 und 2045 für unterschiedliche Arbeitserfordernisse



HVO: paraffinischer Dieselkraftstoff nach DIN EN 15940 aus Pflanzenöl (Hydrotreated Vegetable Oil), FT: paraffinischer Dieselkraftstoff nach DIN EN 15940 aus Fischer-Tropsch-Synthese, CNG: Biomethan als Compressed Natural Gas, LNG: Biomethan als Liquefied Natural Gas, FC: Fuel Cell (Brennstoffzelle), ICE: Internal Combustion Engine (Verbrennungsmotor)  
 Quelle Eckel et al. 2023, Piktogramme: Radzko/stock.adobe.com

Die KTBL-Experten kamen zu dem Ergebnis, dass es im Jahr 2030 technisch möglich sein wird, leichte Arbeiten (Leistung maximal 80 kW, etwa Hof- und Ladearbeiten, Säen, Pflanzenschutz, autonome Arbeiten) mit Maschinen durchzuführen, die entweder mit Elektromo-

tor und elektrischem Strom oder auch mit Biodiesel und HVO in einem Verbrennungsmotor angetrieben werden. Teilweise werden auch in diesem Leistungsbereich Maschinen zur Verfügung stehen, die Pflanzenölkraftstoff nutzen können. Mittelschwere Arbeiten

(40 bis 200 kW, etwa Pflege, Düngung, Graswerbung, leichte Bodenbearbeitung) werden überwiegend mit Biodiesel und HVO-Kraftstoff verrichtet werden können. Auch die Nutzung von Pflanzenölkraftstoff, CNG, LNG sowie batterieelektrischen Antrieben wird un-

ter günstigen Bedingungen möglich sein. Für schwere Arbeiten (ab 150 kW, schwere Bodenbearbeitung, Mähdrusch, Häckseln) stehen Biodiesel und HVO zur Verfügung und eventuell auch Maschinen, die mit Pflanzenölkraftstoff angetrieben werden. Im Jahr 2030 stehen strombasierte Kraftstoffe, zum Beispiel aus Fischer-Tropsch-Synthese oder auch Grüner Wasserstoff, voraussichtlich nicht zur Verfügung.

Im Jahr 2045 dominiert als beste Option für leichte Arbeiten der batterieelektrische Antrieb. Für mittelschwere und schwere Arbeiten zeichnet sich als beste Option die Nutzung von Pflanzenöl und Biodiesel als Kraftstoff für Verbrennungsmotoren ab. Zum Teil können mittelschwere Arbeiten auch schon mit batterieelektrischen Antrieben bewerkstelligt werden. Auch HVO steht für mittelschwere und schwere Arbeiten zur Verfügung. Unter günstigen Umständen können auch Fischer-Tropsch-Diesel, CNG, LNG und Wasserstoff für mittelschwere Arbeiten genutzt werden. Für schwere Arbeiten kann Fischer-Tropsch-Kraftstoff gezielt zum Einsatz kommen. Unter günstigen Umständen, insbesondere wenn Betankungsmöglichkeiten in der Nähe vorhanden sind, können auch CNG und LNG genutzt werden. Batterieelektrische Antriebe und Wasserstoff als Energieträger werden für schwere Arbeiten in der Land- und Forstwirtschaft auch 2045 keine Option sein.

Dr. Edgar Remmele  
 Technologie- und Förderzentrum  
 im Kompetenzzentrum für  
 Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)

### Fazit

Die Elektrifizierung mobiler Maschinen im niedrigen und mittleren Leistungsbereich ist machbar und kann theoretisch Einsparungen von bis zu 1 Mrd. l Kraftstoff ermöglichen. Eine besondere Chance liegt darin, dass in der Landwirtschaft selbst erzeugte, kostengünstige elektrische Energie, zum Beispiel über die hofeigene Photovoltaikanlage, zum Einsatz kommen kann. Kraftstoffe mit hoher Energiedichte für den Antrieb von Verbrennungsmotoren sind aber auch 2045 noch erforderlich: Pflanzenölkraftstoffe und Biodiesel sind dabei

verlässlich verfügbare und gut geeignete Energieträger für den mittleren und hohen Leistungsbereich. Für den einen oder anderen Betrieb kann dabei von Interesse sein, Pflanzenölkraftstoff in der eigenen Ölmühle oder im Zusammenschluss mit weiteren Betrieben selbst zu erzeugen und den dabei anfallenden Presskuchen in der Rinderfütterung selbst zu verwerten. Paraffinische Dieselkraftstoffe in Form von HVO oder aus Fischer-Tropsch-Synthese sind gut geeignete, wenn auch teure Energieträger, zum Beispiel für die Verwendung in älteren

Bestandsfahrzeugen. Methan aus Erneuerbaren Quellen als CNG oder auch LNG kann insbesondere bei eigener Biogasanlage mit Methanaufbereitung oder nahe liegender Biomethananlage beziehungsweise -tankstelle eine sinnvolle Option sein. Wasserstoff ist aus heutiger Sicht bis zum Jahr 2045 noch keine bevorzugte Antriebsenergie für landwirtschaftliche Anwendungen. Damit in der Landwirtschaft aber die Umstellung von Dieselkraftstoff auf Erneuerbare Antriebsenergien gelingt, müssen viele Akteure zusammenwirken: Politik und Admi-

nistration, Wissenschaft und Bildung, Landtechnikunternehmen, Kraftstoffproduzenten, Stromversorger sowie die landwirtschaftliche Praxis und Dienstleister. Förderliche, verlässliche Rahmenbedingungen müssen geschaffen und das Henne-Ei-Problem von Angebot und Nachfrage muss gelöst werden. Nur in guter Zusammenarbeit ist die Transformation zur Zufriedenheit aller zu schaffen. Weitere Informationen unter: [www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de), [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de), [www.erneuerbar-tanken.de](http://www.erneuerbar-tanken.de)