



2020 | H. Eckel, R. Hörner, P. Pickel, J. Rathbauer, G. Reinhold, E. Remmele, R. Stirnimann, N. Uppenkamp

Kraftstoffnutzung in der Landwirtschaft

Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Klimaschutz und Kraftstoffnutzung.....	3
3	Kraftstoffverbrauch und Treibhausgasemissionen.....	5
4	Rahmenbedingungen für die Kraftstoffnutzung.....	6
5	Fazit.....	8
	Literatur.....	9
	Abkürzungen.....	11
	Autoren.....	11

1 Einleitung

Für die Energieversorgung mobiler Maschinen in der Landwirtschaft wird bisher fast ausschließlich fossiler Dieselmotorkraftstoff eingesetzt. Damit besteht eine hohe Abhängigkeit der landwirtschaftlichen Produktion von Energieimporten und eine damit verbundene hohe Krisenanfälligkeit. Die Verwendung von Dieselmotorkraftstoff ist darüber hinaus mit vielfältigen schädlichen Umweltwirkungen verbunden. Hohe und stark schwankende Preise für Kraftstoffe stellen zusätzlich ein wirtschaftliches Risiko für landwirtschaftliche Betriebe dar.

Eine erhebliche Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs von mobilen Maschinen und den damit verbundenen Treibhausgasemissionen kann aus heutiger Sicht nicht mehr alleine durch schrittweise Verbesserungen bestehender konventioneller Antriebstechnologien erreicht werden. Notwendig ist ein grundlegender Systemwandel. Ein Ansatz dafür ist der Übergang von fossilen auf erneuerbare Kraftstoffe. Ein anderer ist der Einsatz von elektrischen Maschinen als Primärtriebe oder als Komponenten zur Leistungsübertragung.

Wenn erneuerbare Kraftstoffe oder regenerativer Strom fossilen Dieselmotorkraftstoff als Antriebsenergie in Traktoren und anderen mobilen Maschinen ablösen, können diverse Vorteile entstehen. An erster Stelle steht eine Verbesserung der Energieversorgungssicherheit und damit die Sicherstellung der Nahrungsmittelproduktion. Außerdem können Treibhausgasemissionen vermindert, die regionale Wertschöpfung optimiert, der vorbeugende Boden- und Gewässerschutz verbessert und lokale Schadstoffemissionen reduziert werden (Remmele et al. 2014).

Nachdem die Landwirtschaft heute schon in großem Maßstab Rohstoffe für die Kraftstoffproduktion erzeugt (pflanzliche Öle, Zucker, Stärke, Lignozellulose), Kraftstoffe herstellt (Biodiesel, Rapsölkraftstoff, Ethanol und Biomethan) und selbst Strom produziert (Fotovoltaik, Windkraft, Biogas-Strom), ist es naheliegend, bei der Nutzung von Antriebsenergie auf die eigenen Ressourcen zurückzugreifen.

Um die oben genannten Vorteile von alternativen Antriebssystemen ausschöpfen zu können, sind im Interesse der Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Landwirtschaft im internationalen Vergleich kostengünstige Lösungen und passende rechtliche Rahmenbedingungen erforderlich.

2 Klimaschutz und Kraftstoffnutzung

Im Klimaschutzabkommen von Paris vom 12. Dezember 2015 haben sich die beteiligten Staaten auf das Ziel geeinigt, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur gegenüber der Temperatur im vorindustriellen Zeitalter auf 2 °C, wenn möglich auf 1,5 °C, zu begrenzen (Vereinte Nationen 2016). Um dies zu erreichen, müssen insbesondere die Industrieländer ihren Ausstoß an Treibhausgasen schnell und radikal senken. Die Landwirtschaft, die durch den lokal oft deutlich höheren Temperaturanstieg und durch die zunehmenden Extremwetterereignisse, wie Dürreperioden und Starkniederschläge, in hohem Maße vom Klimawandel betroffen sein wird, ist aufgefordert, ihren Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen zu leisten. Dies kommt sowohl im Klimaschutzgesetz der Bundesregierung (KSG 2019) als auch im sogenannten „Green Deal“ der Europäischen Kommission zum Ausdruck (COM Mittl. 640 final 2019). Die Landwirtschaft ist dabei sowohl als Treibhausgasemissionsquelle als auch als -senke zu sehen.

Das Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 der Bundesregierung aus dem Jahr 2014 (BMUB 2014) nennt als bedeutende Treibhausgasquelle der Landwirtschaft die Emissionen aus der Tierhaltung, aus dem Düngemittelmanagement und dem Kraftstoffeinsatz. Die Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft betragen im Jahr 2017 insgesamt 72,6 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente, das sind rund 8 % der Treibhausgasemissionen in Deutschland (UBA 2019). Damit liegen die Treibhausgasemissionen etwa um 18 % unter dem Niveau des

Bezugsjahres 1990. Wesentliche Rückgänge fanden in den Jahren 1990 bis 1994 statt und sind überwiegend mit dem Strukturwandel in den neuen Bundesländern zu erklären. Seit dem Jahr 2008 ist kein weiterer Rückgang der Emissionen zu verzeichnen (Abb. 1).

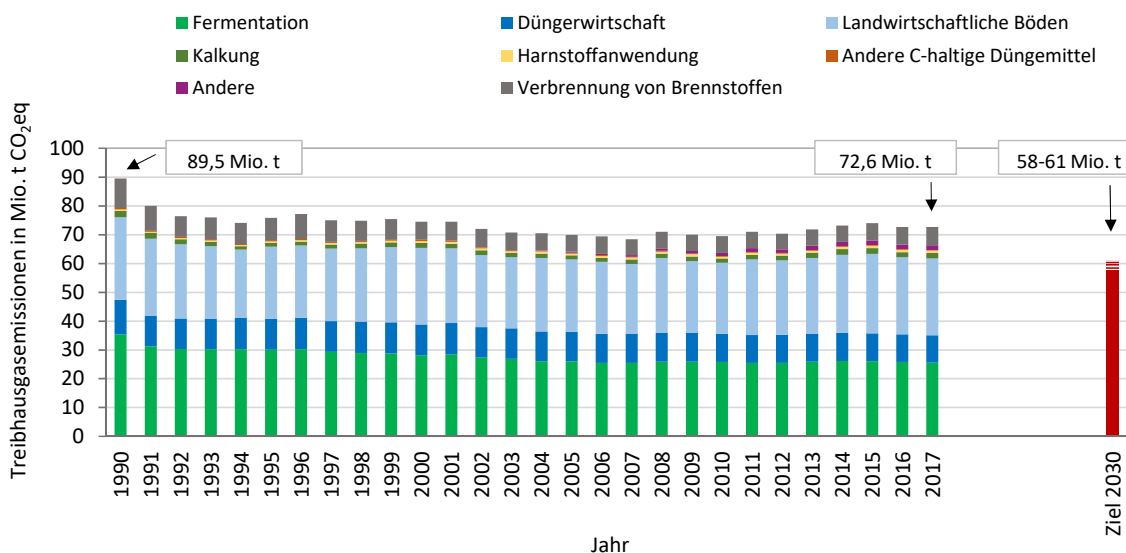


Abb. 1: Entwicklung der THG-Emissionen in der Landwirtschaft nach Quellkategorien laut Klimaschutzplan 2050 (Dressler und Remmele 2019b); Datenquelle: UBA 2019

Im Klimaschutzplan 2050 (BMUB 2016) konkretisiert die Bundesregierung die Ziele zur Treibhausgasmin- derung für einzelne Sektoren: Gemäß dem Zwischenziel für das Jahr 2030 müssen die Treibhausgasemissi- onen der Landwirtschaft auf ein Niveau von 58 bis 61 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente gesenkt werden, was einer Reduzierung um 31 bis 34 % gegenüber dem Bezugsjahr 1990 entspricht bzw. einer Reduzierung von 11 bis 14 Millionen Tonnen ausgehend vom Emissionsniveau 2014. Zum Erreichen dieses Zieles wurden vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft zehn Maßnahmen in die Diskussion eingebracht (BMEL 2019), die in das Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung (Bundesregierung 2019) einge- gangen sind. Im Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG 2019) sind die nationalen Klimaziele sowie die THG-Min- derungsziele für einzelne Sektoren, u. a. auch der Landwirtschaft, verbindlich festgeschrieben. Wesentliches Merkmal ist auch die jährliche Erfolgskontrolle und die Pflicht zum Nachsteuern im Fall der Zielverfehlung.

Durch die Maßnahme „Erhöhung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft und im Gartenbau“ wird eine energiebedingte Emissionsreduktion von 1,1 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente erwartet. Energiebeding- te Treibhausgasemissionen können jedoch nicht nur durch Einsparung oder Steigerung der Klimateffizienz bestehender Anlagen und Verfahren (Decker 2017) verringert werden, sondern auch durch Umstellung auf klimaschonende Energieträger.

Neben der Minderung der Emissionen in der Tierhaltung und im Pflanzenbau (KTBL 2017) muss es daher auch Ziel sein, den in der Landwirtschaft eingesetzten Dieselmotorkraftstoff durch klimaschonende, regenerative Antriebsenergien zu ersetzen.

3 Kraftstoffverbrauch und Treibhausgasemissionen

In der Land- und Forstwirtschaft werden jährlich rund zwei Milliarden Liter beziehungsweise 1,7 Millionen Tonnen Kraftstoffe für Dieselmotoren verbraucht (Abb. 2). Der Anteil Dieselmotorkraftstoff beträgt dabei im Mittel der Jahre 2014 bis 2017 rund 99,9 Prozent, der Anteil der Reinkraftstoffe Biodiesel und Pflanzenöl summiert sich auf 0,1 Prozent. Der jährliche Energieverbrauch durch den Kraftstoffeinsatz in der Land- und Forstwirtschaft stieg bis 2014 an und stagniert seitdem bei rund 74 PJ (Abb. 2).

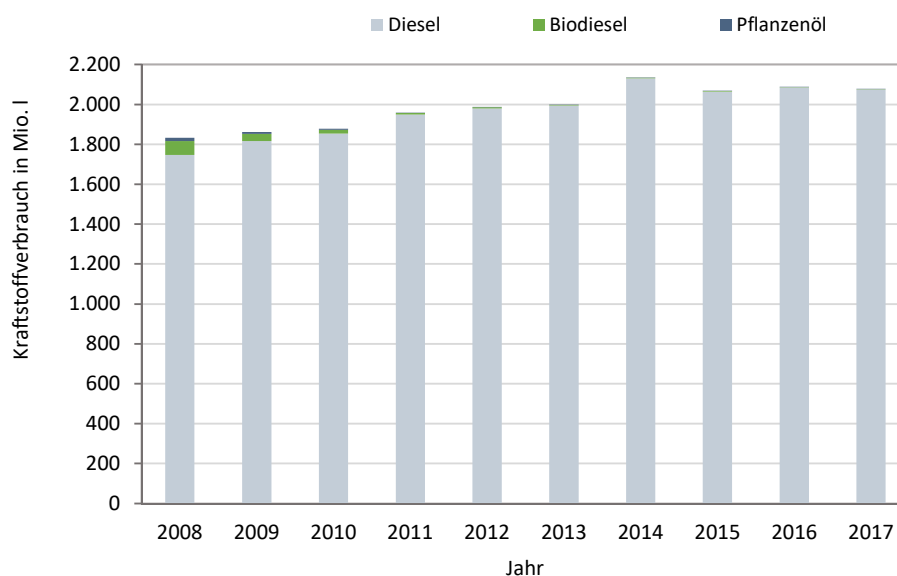


Abb. 2: Kraftstoffverbrauch der deutschen Land- und Forstwirtschaft auf Basis der Kraftstoffmenge, für die eine Energiesteuerrückerstattung nach § 57 Energiesteuergesetz (EnergieStG 2018) beantragt wurde (Remmele 2019); Datenbasis: Generalzolldirektion Neustadt, Daten 2017 vorläufig

In der Bundesrepublik Deutschland lag 2017 der gesamte Dieselmotorkraftstoffverbrauch bei rund 43 Mrd. Liter (BMVI 2019). Der Anteil für die Land- und Forstwirtschaft beträgt damit rund 5 %. Durch den Kraftstoffeinsatz in der Land- und Forstwirtschaft werden jährlich rund 7 Millionen Tonnen Treibhausgase emittiert. Diese Berechnungen basieren auf den Kraftstoffverbrauchsdaten der Generalzolldirektion Neustadt (Remmele 2019) und dem Emissionsfaktor von 94 Gramm Kohlenstoffdioxid-Äquivalent pro Megajoule für Dieselmotorkraftstoff nach der Erneuerbaren-Energien-Richtlinie (EU RL 2018/2001 2018). Der Emissionsfaktor enthält sowohl die direkten CO₂-Emissionen durch die Verbrennung des Kraftstoffs als auch die Emissionen, die durch Ölförderung, Kraftstoffherstellung und -transporte entstehen (Well-to-Wheel). Werden nur die Emissionen aus der Verbrennung berichtet, wie das im Nationalen Emissionsinventar der Fall ist (Tank-to-Wheel), ergeben sich Treibhausgasemissionen in Höhe von 5,4 Mio. Tonnen. Dies entspricht einem Anteil von 7,5 % an den Gesamt-Treibhausgasemissionen des Sektors Landwirtschaft.

Die Treibhausgasemissionen lassen sich durch eine Verbesserung der Maschineneffizienz (Motor, Getriebe, Hydraulik usw.), durch die Erhöhung der Prozesseffizienz der Produktionsverfahren, durch eine optimierte Maschinenbedienung sowie durch den Einsatz regenerativer Energieträger verringern (CECE und CEMA 2011, Götz und Köber-Fleck 2019).

4 Rahmenbedingungen für die Kraftstoffnutzung

Die Nutzung von Kraftstoffen ist sowohl auf europäischer als auch nationaler Ebene reguliert. Beispiele hierfür sind das Inverkehrbringen der Kraftstoffe, die technischen Mindestanforderungen an die Kraftstoffe und die Quote zur Treibhausgasvermeidung, die Luftreinhaltung und die nachhaltige Bereitstellung der Biokraftstoffe. Die Nachfrage nach bestimmten Kraftstoffen bzw. erneuerbaren Energien wird außerdem durch eine unterschiedlich hohe Besteuerung der Energieprodukte beeinflusst. Zudem wird für Kraftstoffe, die in der Land- und Forstwirtschaft Verwendung finden, eine Energiesteuerrückerstattung in unterschiedlicher Höhe, je nach Kraftstoffart, gewährt.

Schadstoffemissionen

Sowohl für konventionellen Dieselmotorkraftstoff als auch für erneuerbare Energieträger muss sichergestellt sein, dass bei der Nutzung möglichst geringe gesundheits- und umweltgefährdende partikel- und gasförmige Emissionen entstehen. Die Entwicklung neuer Motorgenerationen für Traktoren und andere mobile Maschinen wurde in den letzten Jahren maßgeblich durch die Minderung der Abgasemissionen bei gleichzeitigem Erhalt der Effizienz und Betriebssicherheit geprägt.

Die Typgenehmigung von land- und forstwirtschaftlichen Zugmaschinen erfolgt nach der EU-Verordnung 167/2013 (EU VO Nr. 167 2013). Dabei wird bei der Regulierung der Schadstoffemissionen für Motoren bis zur Abgasstufe IV auf die EU-Richtlinie 97/68/EG (EG RL 68 1997) verwiesen. Aufgrund der Einführung der Abgasstufe V wurde die EU-Richtlinie 97/68/EG durch die EU-Verordnung 2016/1628 (EU VO 1628 2016) ersetzt. Abbildung 3 zeigt die Grenzwerte der darin limitierten Emissionskomponenten Stickstoffoxide (NO_x), Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC) und Partikelmasse (PM). Insbesondere für die NO_x- und Partikelmasse-Emissionen wurden die gesetzlichen Vorgaben in den letzten Jahren erheblich verschärft. Sonstige umweltgefährdende Stoffe und Treibhausgasemissionen unterliegen bislang keinen Beschränkungen.

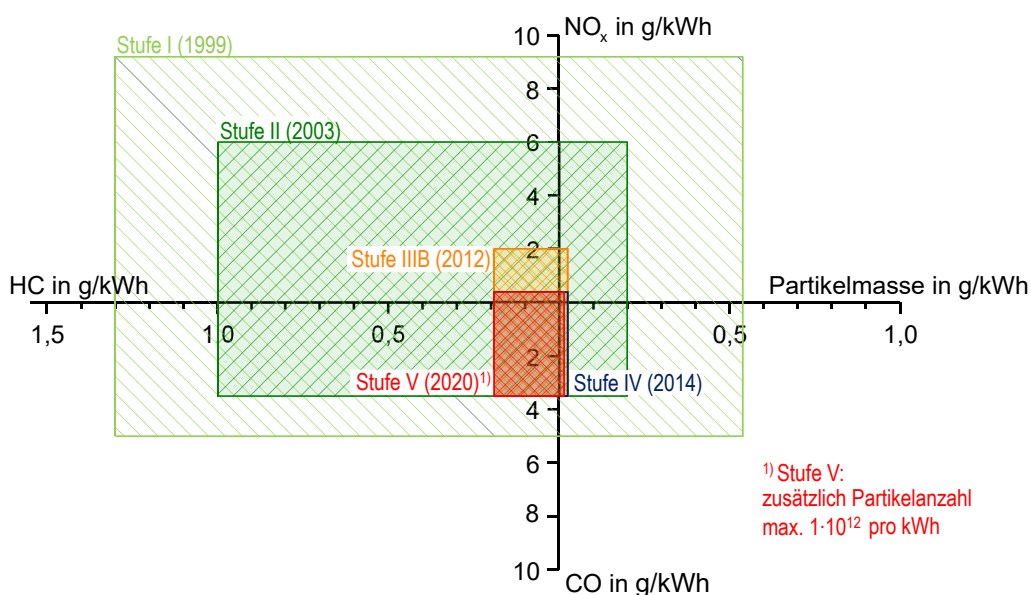


Abb. 3: Emissionsgrenzwerte nach EU-Richtlinie 97/68/EG sowie EU-Verordnung 2016/1628 für Dieselmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen, Abgasstufen I bis V der Leistungsklasse 130 kW ≤ P ≤ 560 kW

In der EU-Richtlinie 97/68/EG und EU-Verordnung 2016/1628 sind zudem für die Motorenhersteller geltende Prüfzyklen zur Bestimmung der Abgasemissionen im stationären und transienten Betrieb beschrieben. Der stationäre Prüfzyklus NRSC (Non-Road-Steady-Cycle) ist für alle Abgasstufen durchzuführen und besteht aus acht Prüfphasen für unterschiedliche Betriebspunkte des Motors, die in einer festgelegten Reihenfolge eingestellt und unterschiedlich gewichtet werden. Ab der Abgasstufe IIIB ist zusätzlich der NRTC (Non-Road-Transient-Cycle) mit sekundlich wechselnden Drehzahl- und Drehmomentvorgaben im Kalt- und Warmstart vorgeschrieben. Der Motortyp oder die Motorenfamilie muss die festgelegten Abgasemissionsgrenzwerte für alle spezifizierten Kraftstoffe – also auch für Biokraftstoffe – und Kraftstoffmischungen, die von einem Motorenhersteller in einen Antrag auf EU-Typgenehmigung aufgenommen werden, einhalten. Abseits der gesetzlichen Prüfung am Motorenprüfstand können die Emissionen von mobilen Maschinen im tatsächlichen Betrieb stark variieren. Unterschiedliche Umweltbedingungen (z. B. Luftdruck und -temperatur), Betriebsprofile des Motors im Alltagsbetrieb und der Einfluss zusätzlicher Hilfs- und Nebenaggregate sowie fahrzeugspezifische Getriebeverluste können hierfür ursächlich sein. Der Gesetzgeber verlangt daher in den EU-Verordnungen 2017/655 (EU VO 655 2017) und 2018/987 (EU VO 987 2018), mit dem „In-Service-Monitoring“, ab der Abgasstufe V vom Hersteller einen Bericht der Emissionsergebnisse im realen Fahrzeugbetrieb. Verpflichtende Emissionsgrenzwerte sind jedoch nach wie vor nur für die Messungen im NRSC und NRTC am Motorenprüfstand definiert.

Die emissionsseitigen Regelungen für mobile Maschinen dürfen dabei nicht mit den Abgasvorschriften für Straßenfahrzeuge (EURO 1 bis 6) verwechselt werden, auch wenn an mobile Maschinen nach EU Stufe IV und V ähnlich hohe Anforderungen an den Schadstoffausstoß gestellt werden wie bei EURO-6-Straßenfahrzeugen.

Treibhausgase und Landnutzungskonflikte

Neben der Luftreinhaltung muss sichergestellt sein, dass durch die Verwendung von Biokraftstoffen tatsächlich in einem bestimmten Maß Treibhausgasemissionen reduziert werden und dass es zu keinen Konflikten bei der Landnutzung für Nahrungsmittel-, Futtermittel- und Rohstoffproduktion sowie dem Umweltschutz kommt. Dies und anderes regelt die EU-Richtlinie 2018/2001 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen „EU RED II“ (EU RL 2018/2001 2018) bzw. die nationale Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV 2018). Eine analoge Nachhaltigkeitsverordnung für fossile Kraftstoffe oder die Gewinnung Seltener Erden für die Herstellung von Batterien hingegen existiert nicht. Auch Strom als Energieträger ist nicht per se klimaschonend und sollte daher, wenn er mit dem Ziel der Reduktion von Treibhausgasemissionen eingesetzt wird, aus regenerativen Quellen stammen.

Kosten

Schließlich wird die Wahl des Kraftstoffes bzw. des Antriebssystems vor allem durch die Kosten bestimmt. Diese enthalten sowohl die Aufwendungen für den Kraftstoff bzw. den Strom als auch die Aufwendungen für die Beschaffung der Maschine und nicht zuletzt Aufwendungen für Lager-, Speicher-, Betankungs- oder Ladeinfrastruktur. Die Kraftstoffkosten werden wesentlich durch die Besteuerung bestimmt, die im Falle des Dieselkraftstoffes und der dieselähnlichen Kraftstoffe mehr als die Hälfte des Preises ausmacht.

5 Schlussbetrachtung

Die Verwendung von fossilen Kraftstoffen in der Landwirtschaft setzt erhebliche Mengen klimaschädlicher Treibhausgase frei. Diese klimaschädlichen Emissionen ließen sich vergleichsweise schnell und mit geringem Kostenaufwand durch die Verwendung regenerativer Energieträger vermeiden. Durch den Einsatz dieser Dieselsubstitute könnte bereits zum „Meilenstein 2030“ ein bedeutsamer Beitrag zur Erreichung der im Klimaschutzplan 2050 (BMUB 2016) festgelegten Zielvorgaben für die Landwirtschaft geleistet werden.

Als alternative Antriebskonzepte stehen heute schon mehrere praxisnahe Optionen zur Verfügung: Biodiesel, Rapsöl- bzw. Pflanzenölkraftstoff und CNG als Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren und regenerativer Strom in batterieelektrischen Antriebssystemen. Während Biodiesel und Rapsölkraftstoff für nahezu jedes heute in der Landwirtschaft gebräuchliche Fahrzeug als Dieselsubstitut in Frage kommen, kann CNG aufgrund der geringeren Energiedichte hauptsächlich in Maschinen mit einer Leistung unter 100 kW oder in Maschinen mit höherer Leistung, aber kürzeren täglichen Einsatzzeiten eingesetzt werden. Außerdem sollte eine Betankungsmöglichkeit für CNG in der Nähe des Betriebsortes des Fahrzeugs zur Verfügung stehen. Paraffinische Kraftstoffe, zum Beispiel hydrierte Pflanzenöle, sind aus technisch-verbrennungsmotorischer Sicht ebenso ein ausgezeichnetes Dieselsubstitut. Batterieelektrische Systeme sind mit dem aktuellen Entwicklungsstand der Batteriespeicher prädestiniert für Fahrzeuge, die nur kurze Zeit am Tag zum Einsatz kommen oder die nur geringe Leistung vorhalten müssen. Der besondere Zusatznutzen batterieelektrischer Antriebe liegt darin, dass am Ort ihres Einsatzes keine Schadstoffemissionen entstehen, was zum Beispiel in der Innenwirtschaft von Interesse sein sollte.

Biodiesel, Rapsöl- bzw. Pflanzenölkraftstoff, regeneratives Methan und regenerativer Strom können regional erzeugt werden. In der Regel ist die Landwirtschaft an der Biomasseerzeugung für die Kraftstoffe beteiligt, zum Teil auch an der Herstellung der Kraftstoffe und der Verwertung der Koppelprodukte. Auch regenerativer Strom wird oft von landwirtschaftlichen Betrieben selbst bereitgestellt. Somit entstehen eine regionale Wertschöpfung und kleinräumige Energie- und Stoffkreisläufe. Hydriertes Pflanzenöl (HVO) hingegen wird in industriellen Anlagen aus technischen Gründen bevorzugt aus gesättigten Pflanzenölen, häufig Palmöl, sowie aus Altspisefetten und Reststoff-Fettsäuren hergestellt; daher ist die Teilhabe der heimischen Landwirtschaft an der Wertschöpfung gering.

Der Beitrag von regenerativem Strom zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen ist kaum umstritten, jedoch wird die Klimaschutzleistung von Biokraftstoffen immer wieder hinterfragt. Der größte Beitrag zum Klimaschutz ist zu erwarten, wenn Kraftstoffe aus ungenutzten Reststoffen erzeugt werden können, eine geringe Verarbeitungstiefe zugrunde liegt, kurze Transportwege zu überwinden sind oder wenn bei der Kraftstoffproduktion wertvolle Koppelprodukte entstehen, die selbst einen Beitrag zum Klimaschutz leisten, z. B. durch Vermeidung von Landnutzungsänderungen beim Sojaanbau. Anforderungen an eine nachhaltige Produktion von Biokraftstoffen und ein Minimum für die Einsparung von Treibhausgasemissionen sind durch den Gesetzgeber geregelt.

Der Einsatz von Biokraftstoffen und regenerativem Strom in Maschinen der Land- und Forstwirtschaft ist daher aus Gründen des Klima-, Umwelt- und Ressourcenschutzes sowie des volkswirtschaftlichen Nutzens sinnvoll. Letzteres ist insbesondere mit Bezug auf Beschäftigungseffekte und die Vermeidung von Folgeschäden aufgrund der Nutzung fossiler Energieträger relevant.

Derzeit werden jedoch nur sehr wenige Landmaschinen, die den Einsatz regenerativer Energieträger anstelle von Dieselmotoren erlauben, von der Landmaschinenindustrie am Markt angeboten bzw. von den Landwirten nachgefragt.

Was bleibt festzuhalten?

- Dem Klimawandel entgegenzutreten liegt im Eigeninteresse der Land- und Forstwirtschaft.
- Die Land- und Forstwirtschaft ist sowohl Quelle als auch Senke für Treibhausgasemissionen.
- Der Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung legt fest, dass bis zum Zwischenziel 2030 die Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft um 31 bis 34 % gegenüber dem Bezugsjahr 1990 gesenkt werden müssen.
- Durch den Kraftstoffeinsatz emittiert die Landwirtschaft jährlich etwa 5,4 Millionen Tonnen Treibhausgase (Tank-to-Wheel). Dies entspricht etwa 7,5 % der gesamten Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft. Durch Einsparung und den Einsatz regenerativer Energieträger ließe sich dieser Anteil deutlich verringern oder sogar vollständig vermeiden.
- Die Grenzwerte für gesundheits- und umweltgefährdende Motoremissionen werden immer strenger. Verbrennungsmotoren und Abgasnachbehandlungssysteme werden daher stetig weiterentwickelt.
- Im Gegensatz zu fossilen Kraftstoffen muss für Biokraftstoffe nachgewiesen werden, dass sie nachhaltig erzeugt wurden und tatsächlich Treibhausgasemissionen reduzieren.
- Die Nachfrage nach Kraftstoffen oder Strom als Antriebsenergie wird wesentlich durch die Kosten der Energieträger und die Anschaffungskosten der Maschinen bestimmt.

Literatur

- Biokraft-NachV (2018): Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung vom 30. September 2009 (BGBl. I S. 3182), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 26. Juni 2018 (BGBl. I S. 872) geändert worden ist
- BMEL (2019): Pressemitteilung Nr. 77 vom 10.04.19: Klöckner: „Die Land- und Forstwirtschaft leistet ihren Beitrag zum Klimaschutz“. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
- BMUB (2016): Klimaschutzplan 2050. Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 1. Aufl.
- BMUB (2014): Aktionsprogramm Klimaschutz 2020. Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, 1. Aufl.
- BMVI (2019): Verkehr in Zahlen 2018/2019. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
- Bundesregierung (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050
- CECE; CEMA (2011): Optimising our industry 2 reduce emissions. Brussels, Committee for European Construction Equipment; European Agricultural Machinery
- COM Mittl. 640 final (2019): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, 11.12.2019
- Decker, M. (2017): Effiziente Kraftstoffnutzung in der Agrartechnik – EKOtech. In: Jahrbuch Agrartechnik 2016, Hg. Frerichs, L., Braunschweig, S. 1–8

- Dressler, D.; Remmele, E. (2019b): Treibhausgas-Minderungspotential der Rapserzeugung und -verwendung ausschöpfen - Systemgrenzen überdenken und Anreize schaffen. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 25.09.2019, Berlin, https://www.ufop.de/files/9015/7017/8603/2_3_Perspektivforum_2019_Dressler.pdf, Zugriff am 10.10.2019
- EG RL 68 (1997): Richtlinie 97/68/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1997 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte. ABl. L 59 vom 27.02.1998, S. 1–86
- EnergieStG (2018): Energiesteuergesetz vom 15. Juli 2006 (BGBl. I S. 1534; 2008 I S. 660, 1007), das zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 26. Juni 2018 (BGBl. I S. 888) geändert worden ist
- EU RL 2018/2001 (2018): Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung). ABl. L 328 vom 21.12.2018, S. 82–208
- EU VO 167 (2013): Verordnung (EU) 167/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. Februar 2013 über die Genehmigung und Marktüberwachung von land- und forstwirtschaftlichen Fahrzeugen. ABl. L 60 vom 02.03.2013, S. 1–51
- EU VO 655 (2017): Delegierte Verordnung (EU) 2017/655 der Kommission vom 19. Dezember 2016 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2016/1628 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Überwachung der Emissionen gasförmiger Schadstoffe von in Betrieb befindlichen Verbrennungsmotoren in nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten. ABl. L 102 vom 13.04.2017, S. 334–363
- EU VO 987 (2018): Delegierte Verordnung (EU) 2018/987 der Kommission vom 27. April 2018 zur Änderung und Berichtigung der Delegierten Verordnung (EU) 2017/655 zur Ergänzung der Verordnung (EU) 2016/1628 des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Überwachung der Emissionen gasförmiger Schadstoffe von in Betrieb befindlichen Verbrennungsmotoren in nicht für den Straßenverkehr bestimmten mobilen Maschinen und Geräten. ABl. L 182 vom 18.07.2018, S. 40–45
- EU VO 1628 (2016): Verordnung (EU) 2016/1628 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. September über die Anforderungen in Bezug auf die Emissionsgrenzwerte für gasförmige Schadstoffe und luftverunreinigende Partikel und die Typgenehmigung für Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte, zur Änderung der Verordnungen (EU) Nr. 1024/2012 und (EU) Nr. 167/2013 und zur Änderung und Aufhebung der Richtlinie 97/68/EG. ABl. L 252 vom 16.09.2016, S. 53–117
- Götz, C.; Köber-Fleck, B. (2019): Mehr Ertrag, weniger CO₂. Diesel sparen mit innovativer Landtechnik. VDMA
- KSG (2019): Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), <http://www.gesetze-im-internet.de/ksg/BJNR251310019.html>, Zugriff am 24.03.2020
- KTBL (2017): Klimaschutz in der Landwirtschaft. Emissionsminderung in der Praxis. KTBL-Heft 119, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- Remmele, E. (2019): Kraftstoffverbrauch in der Land- und Forstwirtschaft. Straubing, Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
- Remmele, E.; Eckel, H.; Widmann, B. (2014): Regenerative Energieträger und alternative Antriebskonzepte für mobile Arbeitsmaschinen. Landtechnik 69(5), S. 256–259, <https://www.doi.org/10.15150/lt.2014.619>
- UBA (2019): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2019. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2017. Climate Change 23/2019, Dessau-Roßlau, Umweltbundesamt
- Vereinte Nationen (2016): Übereinkommen von Paris. ABl. L 282 vom 19.10.2016, S. 4–18

Abkürzungen

C	Kohlenstoff
CNG	Compressed Natural Gas – komprimiertes Methan aus Erdgas oder Biogas
CO _{2eq}	Kohlen(stoff)dioxid-Äquivalente
THG	Treibhausgase

Autoren

Henning Eckel, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt
Roland Hörner, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V. (DLG), Frankfurt am Main
Prof. Dr.-Ing. Peter Pickel, John Deere GmbH & Co. KG, European Technology Innovation Center, Kaiserslautern
Dr. Josef Rathbauer, HBLFA Francisco Josephinum (FJ-BLT), Wieselburg (Österreich)
Dr.-Ing. Gerd Reinhold, Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR), Jena
Dr. Edgar Remmele, Technologie- und Förderzentrum (TFZ), Straubing
Prof. Roger Stirnimann, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), Zollikofen (Schweiz)
Dr. Norbert Uppenkamp, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster

Der Beitrag ist ein Auszug aus der KTBL-Schrift 519 „Alternative Antriebssysteme für Landmaschinen“.