

Mit Energie in die Zukunft

Strom, Wärme und Kraftstoffe
in der Landwirtschaft

KTBL-Tagung
vom 2. bis 3. März 2020
in Mannheim





Mit Energie in die Zukunft

Strom, Wärme und Kraftstoffe in der Landwirtschaft

KTBL-Tagung vom 2. bis 3. März 2020
in Mannheim

Herausgeber

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL) | Darmstadt



Fachliche Begleitung

Programmausschuss

Henning Eckel | Christoph Gers-Grapperhaus | Stefan Hartmann | Josef Neiber |
Prof. Dr. Peter Pickel | Dr. Edgar Remmele

© KTBL 2020

Herausgeber und Vertrieb

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt
Telefon +49 6151 7001-0 | E-Mail ktbl@ktbl.de |
vertrieb@ktbl.de | Telefon Vertrieb +49 6151 7001-189
www.ktbl.de

Herausgegeben mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Titelfoto

www.stock.adobe.com | Fokussiert



Vorwort

Die verlässliche Versorgung von landwirtschaftlichen Betrieben mit Strom, Wärme und Kraftstoffen ist für die Produktion von entscheidender Bedeutung. Steigende und zum Teil auch stark schwankende Preise bei den Energieträgern, die heute überwiegend zugekauft werden, stellen eine ökonomische Herausforderung für die Betriebe dar. Gleichzeitig erfordert der Klimaschutz die Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Quellen mit möglichst geringen Umweltwirkungen.

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, die Energieversorgung umweltverträglicher und häufig auch kostengünstiger zu gestalten, ohne die Versorgungssicherheit zu gefährden. Konzepte zur Eigenversorgung in den Bereichen Strom, Wärme und Kraftstoffe für die Mobilität werden zunehmend diskutiert. Dazu zählen die Stromerzeugung mittels Fotovoltaik- oder Windkraftanlagen, die Bereitstellung von Strom und Wärme mittels Kraft-Wärme-Kopplung oder der Einsatz von Biokraftstoffen. Auch die Elektrifizierung von landwirtschaftlichen Maschinen kann eine Option zur umweltverträglichen Gestaltung von Produktionsprozessen sein. Nicht zuletzt spielt auch der effiziente Einsatz von Energie eine wesentliche Rolle in diesem Zusammenhang.

Dieser Tagungsband enthält die Kurzfassungen der Vorträge zur KTBL-Tagung „Mit Energie in die Zukunft – Strom, Wärme und Kraftstoffe in der Landwirtschaft“. Bei der zweitägigen Veranstaltung wurden verschiedene Möglichkeiten der Energieversorgung landwirtschaftlicher Betriebe vorgestellt und diskutiert.

Kuratorium für Technik und Bauwesen
in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)



DR. MARTIN KUNISCH
Hauptgeschäftsführer

Darmstadt, März 2020

Inhalt

Energie als Produktionsfaktor – Perspektiven einer sicheren Versorgung JOACHIM MATTHIAS	7
BMEL-Klimamaßnahmen in der Land- und Forstwirtschaft ANDREAS TÄUBER	10
Regenerativer Strom, selbst gemacht und selbst verbraucht THEODOR REMMERSMANN	15
Strombedarf und Eigenversorgung in der Nutztierhaltung JOSEF NEIBER	18
Entwicklung eines On-Farm Energie Management Systems für Milchviehlaufställe JÖRN STUMPENHAUSEN, HEINZ BERNHARDT, MARTIN HÖHENDINGER	21
Nutzung von Biobrennstoffen – Möglichkeiten und Grenzen CARSTEN BRÜGGEMANN	24
Möglichkeiten der Wärmebereitstellung in der Landwirtschaft ELMAR BRÜGGER	27
Der Landwirt als Wärmelieferant: Entscheidungshilfen und Erfolgskriterien WOLFRAM SCHÖBERL	31
EKoTech – Effiziente Kraftstoffnutzung der Agrartechnik LUDGER FRERICHS	33
Erneuerbare (Bio-)kraftstoffe – Status und Perspektiven FRANZISKA MÜLLER-LANGER, KATHLEEN MEISEL, KARIN NAUMANN, MARKUS MILLINGER. . .	37
Biodiesel, Rapsöl und Methan als Kraftstoff für Traktoren EDGAR REMMELE, HENNING ECKEL	42
Elektrifizierung von mobilen Maschinen – wo steht die Landtechnik? ROGER STIRNIMANN	48
Ackerbauliche Elektromobilität – mobile Maschinen am Netz PETER PICKEL	50
Mitwirkende	59

Energie als Produktionsfaktor – Perspektiven einer sicheren Versorgung

JOACHIM MATTHIAS

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster

Per Definition sind Produktionsfaktoren alle materiellen und immateriellen Mittel und Leistungen, die an der Produktion von Gütern mitwirken, also auch die Energie. Dabei ist die Vokabel „auch“ in diesem Zusammenhang vermutlich eine gewaltige Untertreibung. Die heutige landwirtschaftliche Produktion mit hoch entwickelter Landtechnik in der Außen- und in der Innenwirtschaft ist auf die sichere Versorgung mit Strom, Wärme und Kraftstoff angewiesen. Dabei hat die Forderung nach Versorgungssicherheit hier noch einen höheren Stellenwert als in anderen Bereichen. Bei dem Blick auf die Innenwirtschaft steht das Wohl der Tiere an oberster Stelle. Somit sind Stallklimatisierung, Fütterung oder Melktechnik als Beispiele für die besondere Situation in der Landwirtschaft zu nennen. In der Außenwirtschaft ist die Situation vergleichbar. Von der Bodenbearbeitung über Bestellung bis hin zur Ernte stehen für alle Arbeitsschritte begrenzte Zeitfenster, die mit immer höherer Effizienz genutzt werden, zur Verfügung. Würde die Energie nicht passend zur Verfügung stehen, kann der Produktionsschritt nicht einfach verschoben oder wiederholt werden. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Sicherheit der Produktion von Lebensmitteln eine hohe gesellschaftliche Relevanz hat.

An dieser Stelle sei aber auch in aller Deutlichkeit unterstrichen, dass der Tenor dieser Tagung nicht der „Autarkiegedanke“ in der Energieversorgung eines landwirtschaftlichen Betriebes ist. Dennoch darf hier nicht die Tatsache unerwähnt bleiben, dass es wohl kaum einen anderen Bereich gibt, der mit solch umfangreichen Möglichkeiten der Energieerzeugung (Strom, Wärme und Kraftstoff) ausgestattet ist wie die Landwirtschaft. Große Dachflächen sind für die Installation von PV-Anlagen vorhanden. Eigennutzungspotenziale werden je nach Vergütung des Stroms bereits genutzt oder sind die Zukunft der Anlage nach dem Ende der EEG-Förderung. Wer über Windkraft nachdenkt, benötigt ebenso wie für die Erzeugung von Biomasse Fläche. Ein großes Potenzial der Landwirtschaft. Biomasse kommt aber nicht nur von den Flächen, sondern fällt auch bei der Tierproduktion als Gülle und Mist an. Ein hoch spannendes Potenzial zur energetischen Nutzung bei gleichzeitiger Reduktion von Treibhausgasemissionen. Schon diese wenigen Beispiele untermauern die „Einzigartigkeit“ des landwirtschaftlichen Betriebes im Hinblick auf Energieverbrauch und -erzeugung.

Um die Potenziale einer Eigenversorgung mit Energie richtig einschätzen zu können, muss der Energiebedarf der Produktionszweige in Summe und über der Zeitachse als Lastgang bekannt sein. Mit dieser Kenntnis kann an der Reduktion des Energiebedarfs durch Effizienzverbesserung gearbeitet werden. Auch stellt dieses Wissen die Grundlage für eine optimierte Eigennutzung z. B. von PV-Strom dar. Ziel ist die möglichst gute Übereinstimmung von Energieangebot und Energiebedarf. Ein Mittel zur Umsetzung dieses Ziels ist die Speicherung von Energie. Dabei geht es aber nicht nur um Strom, sondern auch um Kälte-, Wärme- und Arbeitsspeicher (z. B. Getreideschrot).

Das KTBL hat in mehreren Schriften Energiebedarfswerte zu landwirtschaftlichen Produktionsverfahren veröffentlicht. Für die folgende Ableitung des Gesamtenergiebedarfs der Landwirtschaft seien hier insbesondere die KTBL-Hefte „Energiebedarf in der Milchviehhaltung“ (KTBL 2014a) und „Energiebedarf in der Schweine- und Hühnerhaltung“ (KTBL 2014b) aufgeführt.

Diese Schriften bieten, über die oben beschriebenen einzelbetrieblichen Betrachtungen hinausgehend, auch die Basis für die Abschätzung des Energiebedarfs der Landwirtschaft als Ganzes. Der so ermittelte Bedarf kann dem Gesamtbedarf an Strom, Wärme und Dieselmotorkraftstoff in Deutschland gegenübergestellt werden. Diese Betrachtung ist deshalb so interessant, weil diese Energiebedarfswerte für die Landwirtschaft in den vorliegenden Statistiken so nicht verfügbar sind.

Dazu werden im ersten Schritt die Anbauflächen und die Tierbestände aus der Agrarstatistik herangezogen. Im zweiten Schritt werden den Anbauflächen für die verschiedenen Kulturen die Dieselmotorkraftstoffwerte des KTBL für eine Abschätzung des Kraftstoffbedarfs zugeordnet und ausmultipliziert. Mit grundsätzlich gleicher Systematik wird der Energiebedarf für Schweine, Rinder und Geflügel auf der Basis der Durchschnittswerte des KTBL berechnet.

Als Ergebnis zeigt sich, dass der Anteil des Energiebedarfs der Landwirtschaft am Gesamtbedarf bei Strom mit 0,74 % und bei Wärme mit 0,11 % sehr gering ist. Anders sieht es beim Dieselmotorkraftstoff mit rund 5 % aus. Auf der anderen Seite darf aber auch nicht der erhebliche Handlungsbedarf hinsichtlich der Methan- und Lachgasemissionen in der Landwirtschaft unberücksichtigt bleiben. In Summe beutet dies, dass diese Zahlen auf keinen Fall dazu führen dürfen, dass die Anstrengungen zur Reduktion des Energiebedarfs, der möglichst hohen Abdeckung des Energiebedarfs aus regenerativen Quellen und die strategischen Überlegungen zur Minderung von Treibhausgasemissionen reduziert werden. Jeder Schritt zählt!

Die bisherigen Betrachtungen haben sich nur mit den direkten Energieverbrauchswerten, wie sie sozusagen auf dem Zähler stehen, auseinandergesetzt. An den Beispielen „Zuckerrüben mineralisch“ versus „Zuckerrüben Biogasproduktion“ soll der kumulierte Energieaufwand (KEA) für diese produzierten Güter (Zuckerrüben) vergleichend betrachtet werden. Im Gegensatz zu der bisherigen Betrachtung der direkten Energieverbrauchswerte wird bei der Betrachtung des kumulierten Energieaufwandes (KEA) die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands, der zur Herstellung des Gutes entsteht, betrachtet. Als Quelle für diese Betrachtung wurde die Online-Anwendung „Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau“ des KTBL genutzt (KTBL 2020). Der KEA-Wert setzt sich in dieser Datenquelle aus den Bereichen Betriebsstoffe (z.B. Dieselmotorkraftstoff), Betriebsmittel (z.B. Düngemittel) und Maschinen, Anlagen und Gebäude zusammen. Da bei diesen Betrachtungen in der Regel die mineralischen Düngemittel und der Diesel mit ihren hohen KEA-Werten von rund 20 MJ je kg bzw. 50 MJ je Liter den kumulierten Energieaufwand wesentlich beeinflussen, konzentriert sich die vergleichende Betrachtung der zwei gewählten Verfahren der Zuckerrübenproduktion auch auf diese Faktoren.

Für die Produktion von „Zuckerrüben mineralisch“ wird in der Datenquelle ein Dieselmotorkraftstoffbedarf von 97 Litern je Hektar ausgewiesen, was bei dem spezifischen Energiegehalt von 36 MJ je Liter im Dieselmotorkraftstoff einem Energiebedarf von 3.517 MJ/ha entspricht. Wird dieser mit dem unter der Überschrift „Betriebsstoffe“ ausgewiesenen KEA-Wert von 4.805 verglichen, wird der einleitend beschriebene Unterschied zwischen der alleinigen Betrachtung der Inputenergie und dem KEA-Wert deutlich. Werden nun die Summen der KEA-Werte der hier betrachteten Verfahren „Zuckerrübe mineralisch (24.486 MJ/ha)“ und „Zuckerrübe Biogasproduktion (12.092 MJ/ha)“ vergleichend nebeneinandergestellt, zeigt sich ein rund doppelt so hoher Energiebedarf bei der Variante „Mineralisch“ als bei der Variante „Biogas“. Hier kommt die ebenfalls einleitend angeführte Bedeutung der mineralischen Düngung zum Tragen. Für die Düngung mit 400 kg Kalkammonsalpeter (KAS), 500 kg PK-Dünger und Kalimagnesia summieren sich 14.381 MJ/ha vom gesamten KEA-Wert für Betriebsmittel von 18.313 MJ/ha auf. Hier ist auch die Begründung für den so deut-

lich geringeren KEA-Wert in der Variante „Biogas“ zu sehen. Durch den Einsatz von Gärrest reduziert sich der KEA-Wert für Betriebsmittel auf 3.886 MJ/ha.

Das Beispiel macht deutlich, dass zwischen den Verfahren gewaltige Unterschiede bestehen und bei den Betrachtungen zum Energiebedarf in der landwirtschaftlichen Produktion auch immer genau benannt werden muss, welche Bedarfswerte betrachtet werden.

Dass die Ausschöpfung des Einsparpotenzials durch effizienzverbessernde Maßnahmen immer der erste Schritt sein sollte, wird auch nachdrücklich durch das „Bundesprogramm zur Steigerung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft und im Gartenbau“ untermauert. Es stellt sich die Frage, warum dieses Potenzial ohne ein Förderprogramm bei entsprechend engagierter Beratung nur so schwer zu heben ist. Eine denkbare Antwort auf diese Frage liefert der Blick in die Betriebszweigauswertungen an den Beispielen Milchvieh, Ferkelproduktion und Mastschweine. Es zeigt sich, dass selbst in der vergleichsweise energieintensiven Ferkelproduktion die Energiekosten lediglich rund 7 % der Direktkosten ausmachen. Beim Milchvieh sind es 4,5 % und bei den Mastschweinen macht der Anteil nur knapp 3 % aus. Selbst wenn durch die Modernisierung der Lüftungsanlage über 40 % der elektrischen Energie eingespart werden können, ergibt sich eine sehr lange Amortisationszeit für diese Maßnahme. Hier setzt das Förderprogramm genau richtig an. Bei den Überlegungen und Beratungen zur Verbesserung der Energieeffizienz sollten neben den technischen Betrachtungen auch die Potenziale einer Optimierung des Managements nicht außer Acht bleiben.

Das Beispiel der Zuckerrübenproduktion „Biogas“ kann auch für eine Betrachtung der Auswirkung einer Preissteigerung für Dieselkraftstoff von 0,75 Euro je Liter um 0,30 Euro auf 1,05 Euro je Liter (beispielweise durch eine CO₂-Bepreisung) herangezogen werden. Ausgehend von spezifischen Arbeiterledigungskosten von 16,32 €/t macht der Diesel in der Ausgangsvariante 1,39 € oder 8,5 Prozent aus. Durch die beschriebene Preissteigerung steigen diese Werte auf 1,95 Euro beziehungsweise 11,5 % an. Im Verhältnis wohl auch hier bei der Betrachtung des Produktionsverfahrens als Ganzes eher eine untergeordnete Bedeutung.

Neben den bislang betrachteten Aspekten zum Energiebedarf und zur Energieeinsparung durch Effizienzsteigerung und der Eigenversorgung aus regenerativen Quellen soll abschließend der Blick auf die Nutzung von Gülle und Mist in Biogasanlagen geworfen werden. Zum einen besteht hier ein erhebliches Potenzial zur Minderung von Methanemissionen und zum anderen wird eine Einsparung von Kohlendioxid durch den erzeugten Strom und die erzeugte Wärme ermöglicht. Grund genug der Frage nachzugehen, wie dieses Potenzial zukünftig noch wesentlich intensiver genutzt werden könnte.

Literatur

KTBL (2020): Leistungs-Kostenrechnung Pflanzenbau, Online Anwendung, <https://www.ktbl.de/webanwendungen/kosten-leistung/>, Zugriff am 28.01.2020

KTBL (2014a): Energiebedarf in der Milchviehhaltung. KTBL-Heft 104, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

KTBL (2014b): Energiebedarf in der Schweine- und Hühnerhaltung. KTBL-Heft 105, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL)

BMEL-Klimamaßnahmen in der Land- und Forstwirtschaft

ANDREAS TÄUBER

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin

Der Bundestag hat am 15. November 2019 das sogenannte Klimapaket angenommen. Teil des Klimapakets ist der von CDU/CSU und SPD eingebrachte Entwurf des Klimaschutzgesetzes. Im Klimaschutzgesetz wurde ein Minderungsbedarf zur Erreichung der Klimaziele in der Landwirtschaft für das Jahr 2030 von 14 Mio. t CO₂-Äquivalenten bezogen auf das Jahr 2014 festgelegt. Das Klimaschutzgesetz ist am 18. Dezember 2019 in Kraft getreten. Die Land- und Forstwirtschaft ist gemäß diesem Gesetz ausdrücklich von der CO₂-Bepreisung ausgenommen. Es ist darauf hinzuweisen, dass mit den Maßnahmen im LULUCF-Bereich (Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft) kein verbindliches Minderungsziel erfüllt werden muss; dieser Sektor soll gemäß Klimaschutzplan 2050 und Klimaschutzgesetz als Kohlenstoffsенke erhalten bleiben. Eine nach EU-Vorgaben begrenzt mögliche Übertragung von Gutschriften aus diesem Sektor in andere Sektoren wurde im deutschen Klimaschutzgesetz ausdrücklich ausgeschlossen.

Zur Landwirtschaft hat die Bundesregierung im Klimaschutz-Maßnahmenprogramm 2030 beschlossen, dass die Fördermöglichkeiten für klimafreundliche Maßnahmen ausgeweitet werden, auch im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik (GAP).

Aus heutiger Sicht sind wir daher sehr zuversichtlich, dass wir mit unserem Maßnahmenpaket diese Minderung auch erreichen werden, wenn der Land- und Forstwirtschaft die CO₂-Erträge aus unseren Maßnahmen auch zugeschrieben werden.

Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) hat für das Klimaschutzprogramm 2030, das Teil des Klimapakets ist, zehn Klimamaßnahmen entwickelt. Diese beziehen sich vorwiegend auf die beiden Sektoren Landwirtschaft sowie Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft (LULUCF) und sollen sicherstellen, dass die Klimaziele 2030 in diesen Bereichen erreicht werden. Sie beinhalten auch Maßnahmen, die sich nicht unmittelbar auf die Treibhausgasemissionen auswirken, diesen Sektoren nach den Richtlinien der UN-Klimarahmenkonvention aber zugerechnet werden. Die Maßnahmen sind daher als Gesamtbeitrag des BMEL zum Klimaschutz zu sehen.

Das BMEL will die Klimaziele erreichen, indem Synergien zwischen Klimaschutz-, Klimaanpassungs-, Gewässerschutz- und Luftreinhaltemaßnahmen genutzt werden. Das BMEL knüpft dazu an bereits beschlossene bzw. in Arbeit befindliche Prozesse (Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Klimaschutzplan 2050, Zukunftsstrategie Ökologischer Landbau, Nationales Luftreinhaltungsprogramm, Ackerbaustrategie, Agenda zur Klimaanpassung, Charta für Holz 2.0) an.

Digitale Technologien und Präzisionslandwirtschaft werden zusätzlich dazu beitragen, die Emissionen aus der Landwirtschaft zu mindern. Wichtige Stellschrauben sind eine effiziente Ressourcennutzung und die biobasierte Kreislaufwirtschaft. Insofern ist der Klimaschutz für die Landwirtschaft eine Herausforderung, aber durchaus auch eine Chance effizienter zu wirtschaften. Wir haben nur dort ordnungsrechtliche Instrumente in den Maßnahmen genutzt, wo diese bereits aus anderen Gründen erforderlich sind, wie zum Beispiel die Änderungen des Düngerechts zur Erreichung der Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie oder Änderungen der TA-Luft zur Verbesserung der Luftqualität.

Der Landnutzungs- und Forstsektor ist der einzige Sektor, der als Senke von Treibhausgasen wirken kann und dies seit Jahrzenten auch tut. In seiner Bilanz kann er aber auch grundsätzlich eine Quelle von Treibhausgasen sein. Dies unterscheidet ihn wesentlich von allen anderen Sektoren, die lediglich eine Quelle von Treibhausgasen darstellen.

Angesichts der aktuellen dramatischen Schäden im Wald ist es eine vordringliche Aufgabe, die Waldschäden zu bewältigen. Bis 2030 sind die Wälder zudem effektiver an den Klimawandel anzupassen. Andernfalls ist der große Beitrag der Wälder zum Klimaschutz nicht zu halten und die gesetzten Klimaziele sind gefährdet. Außerdem muss als eng damit verbundene Klimaschutzmaßnahme die Holzverwendung gestärkt werden. Wenn Holz z. B. vermehrt zum Bauen von Wohnungen genutzt wird, kann damit Kohlenstoff, der sonst als CO₂ in die Atmosphäre entweichen würde, mittel- und langfristig gespeichert werden. Gleichzeitig können wir damit zur Lösung des Wohnungsproblems in Deutschland beitragen.

Wenn wir Klimaschutz wirklich ernst nehmen und die Menschen mitnehmen wollen, dann müssen wir stärker herausstellen, dass sich die Anstrengungen zum Klimaschutz auch lohnen. Unsere Maßnahmen werden sich nicht erst für künftige Generationen auszahlen, sondern schon heute zukunftsweisende Innovationen zum Ressourcenschutz anstoßen, die gerade in Zeiten der Konjunkturertrübung neue Perspektiven eröffnen. Wir müssen es schaffen, dass wir Klimaschutz so umsetzen, dass diese Umsetzung der Wirtschaft frische Impulse gibt, Innovationen freisetzt und neue Arbeitsplätze schafft.

Insgesamt stehen dem BMEL von 2020 bis 2023 ca. 1,3 Mrd. € zur Verfügung, die der Land- und Forstwirtschaft für erbrachte Klimaleistungen zugutekommen werden. Das BMEL arbeitet derzeit an der Umsetzung der zehn Klimamaßnahmen. Alle Maßnahmen im Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 und des Klimaschutzgesetzes haben von ihrer Grundausrichtung her einige gemeinsame Punkte. Mit den meisten Maßnahmen soll insbesondere die Umsetzung und Weiterentwicklung vorhandener Technologien zum Klimaschutz in der Praxis gefördert werden. Zu vielen Maßnahmen gehören auch die Förderung von Forschung und Entwicklung sowie Kommunikationsmaßnahmen, stehen aber in der Umsetzung der Forderungen des Deutschen Bundestages nicht an erster Stelle. Dies ist besonders in den Beratungen und Beschlüssen des Haushaltsausschusses zum Energie- und Klimafonds (EKF) deutlich geworden. Entscheidend wird die Erzielung realer Emissionsminderungen und der Erhalt des LULUCF-Sektors als Senke sein. Wichtig ist insbesondere für die Maßnahmen, die aus dem EKF finanziert werden, dass sie zu anderen Maßnahmen des BMEL-Haushalts und auch zu Maßnahmen anderer Ressorts klar abzugrenzen sind und einen erkennbaren Mehrwert für den Klimaschutz bewirken. Die einzelnen Fördertatbestände werden so zu gestalten sein, dass ein möglichst effizienter Mitteleinsatz unter Berücksichtigung der definierten Klimaziele erreicht wird.

Die Maßnahmen des BMEL im Einzelnen

1. Senkung der Stickstoffüberschüsse

Viel erreichen wir bereits durch die erfolgten rechtlichen Änderungen in der Düngegesetzgebung. Weitere Anpassungen sind in der Planung. Dadurch rechnen wir mit einer weiteren Senkung der Stickstoffüberschüsse – einschließlich der Minderung von Ammoniak- und Lachgasemissionen. Das Düngepaket soll zudem mit der Förderung gasdichter emissionsarmer Güllelager und emissionsmindernder Ausbringtechnik unterstützt werden. Hier sind auch die Länder in der Pflicht.

Minderungspotenzial: zwischen 1,9 und 7,5 Mio. t CO₂-Äquivalente jährlich

2. Energetische Nutzung von Wirtschaftsdüngern

Die zweite wichtige Maßnahme betrifft die energetische Nutzung von Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft und landwirtschaftlicher Reststoffe in Biogasanlagen. Der stärkere Einsatz von Wirtschaftsdüngern in Biogasanlagen und die gasdichte Lagerung von Gärresten sollen mit neuen Instrumenten flankierend zum Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) gefördert werden. Hier ist es besonders wichtig, dass wir sinnvolle Anschlussmöglichkeiten für die Anlagen finden, die derzeit im Rahmen des EEG gefördert werden.

Minderungspotenzial: zwischen 2,0 und 2,4 Mio. t CO₂-Äquivalenten jährlich

3. Ausbau des Ökolandbaus

Die Ausweitung der ökologisch bewirtschafteten Flächen ist auch eine Klimamaßnahme. Dies liegt in erster Linie an der Einsparung von Mineraldüngern, bei deren Herstellung Treibhausgase entstehen. Wir wollen Rechtsvorschriften zugunsten besonders umweltfreundlicher Verfahren wie dem ökologischen Landbau oder anderer besonders nachhaltiger Verfahren der Landbewirtschaftung weiterentwickeln und die rechtliche und finanzielle Förderung optimieren. Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) haben wir bereits im vergangenen Jahr deutlich aufgestockt.

Minderungspotenzial: zwischen 0,4 und 1,2 Mio. t CO₂-Äquivalenten jährlich

4. Emissionsminderungen in der Tierhaltung

In der Tierhaltung und Tierernährung wollen wir weiteres Einsparpotenzial realisieren. Neben Forschung und Züchtung wird es auf die künftige Entwicklung der Tierbestände ankommen. Fördermaßnahmen sollen mehr im Hinblick auf das Tierwohl ausgerichtet werden, unter Berücksichtigung der Umweltwirkungen und der Einsparungen von Emissionen.

Minderungspotenzial: zwischen 0,3 und 1,0 Mio. t CO₂-Äquivalenten jährlich

5. Erhöhung der Energieeffizienz

Die in der Landwirtschaft und im Gartenbau eingesetzte Technik kann hinsichtlich ihres Energiebedarfs weiter verbessert werden. Das Bundesprogramm für Energieeffizienz in Landwirtschaft und Gartenbau wird dafür fortgeführt und weiterentwickelt und der Einsatz erneuerbarer Energien gefördert.

Minderungspotenzial: zwischen 0,9 und 1,5 Mio. t CO₂-Äquivalenten jährlich

6. Humuserhalt und Humusaufbau im Ackerland

Wir müssen das Kohlenstoffspeicherpotenzial der Böden verstärkt aktivieren. Auf der Grundlage der Bodenzustandserhebung 2018 und einer zweiten Erhebung Mitte der 2020er-Jahre wird der Kohlenstoffvorrat in landwirtschaftlich genutzten Böden und seine Veränderungen erfasst. Maßnahmen zur Kohlenstoffanreicherung sollen u. a. in der Ackerbaustrategie berücksichtigt werden, die aktuell erarbeitet wird. Der Ausbau des ökologischen Landbaus trägt ebenfalls zur Kohlenstoffanreicherung bei. Auch die Anpflanzung von z. B. Hecken, Knicks und Alleen trägt zum Humusaufbau bei.

Minderungspotenzial: zwischen 1,0 und 3,0 Mio. t CO₂-Äquivalenten jährlich

7. Erhalt von Dauergrünland

Auch im Grünland sind hohe Kohlenstoffvorräte gespeichert. Der Erhalt von Dauergrünland ist daher ebenfalls eine wichtige Klimaschutzmaßnahme, die auch schon im Rahmen der GAP gefördert wird. Wir wollen Regelungen zum Grünlanderhalt fortführen und eine Grünlandstrategie zur Sicherung und Stärkung einer dauerhaften Grünlandnutzung entwickeln.

Minderungspotenzial: zwischen 0,0 und 1,6 Mio. t CO₂-Äquivalenten jährlich

8. Schutz von Moorböden/Reduktion von Torfeinsatz in Kultursubstraten

Wichtig ist auch die Treibhausgasemissionen in den Blick zu nehmen, die aus entwässerten Moorböden resultieren, auf denen Landwirtschaft betrieben wird. Gemeinsam mit dem Bundesumweltministerium und den Ländern wird an einer Bund-Länder-Zielvereinbarung gearbeitet. Da mit der Vernässung von Moorböden erhebliche Nutzungseinschränkungen und somit Eingriffe in Eigentumsrechte verbunden sind, geht dies nur auf freiwilliger Basis. Entsprechend sind finanzielle Anreize in erheblichem Umfang vorgesehen. Diese Maßnahme schließt auch die Reduzierung der Verwendung von Torf in Kultursubstraten mit ein; auch dazu entwickelt BMEL aktuell eine Strategie.

Minderungspotenzial: zwischen 3,0 und 8,5 Mio. t CO₂-Äquivalenten jährlich

9. Erhalt und nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder und Holzverwendung

Im Erhalt und der nachhaltigen Bewirtschaftung der Wälder und der Holzverwendung liegt ein enormes Klimaschutzpotenzial. Dieses unterliegt allerdings periodischen Schwankungen. Enorm wichtig ist, dass wir die Wälder und deren nachhaltige Bewirtschaftung langfristig erhalten und sichern. Dazu sind geeignete Maßnahmen der Anpassung an den Klimawandel notwendig. Gerade die Extremwetter des vergangenen Jahres haben gezeigt, dass der Wald Hilfe braucht, um seine Klimaschutzfunktion auch weiter so exzellent erfüllen zu können. Gleichzeitig werden wir die nachhaltige und ressourceneffiziente Holzverwendung fördern. Bei der Realisierung der Nutzungspotenziale von Holz, z. B. im Gebäudebereich, setzt das BMEL dabei auch auf die Unterstützung aus den anderen Ministerien.

Potenzial: Laut wissenschaftlichem Beirat für Waldpolitik haben Wald, nachhaltige Forstwirtschaft und die damit verbundene Holznutzung im Jahr 2014 rund 127 Mio. t CO₂ gebunden bzw. durch Substitutionseffekte reduziert.

10. Vermeidung von Lebensmittelabfällen

Wenn wir Lebensmittelabfälle vermeiden, hat dies mittelbar auch Auswirkungen auf die mit der Produktion von Lebensmitteln verbundenen Treibhausgase. Dazu muss die beschlossene Nationale Strategie zur Reduzierung der Lebensmittelverschwendung konsequent umgesetzt werden. Ein Indikator über die Lebensmittelabfälle und -verluste in Deutschland wird in die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie aufgenommen. Damit werden die Ergebnisse der Anstrengungen transparent und dokumentierbar. Für eine kontinuierliche Berichterstattung werden die entsprechenden finanziellen und personellen Ressourcen bereitgestellt.

Minderungspotenzial: zwischen 3,0 und 6,0 Mio. t CO₂-Äquivalenten jährlich

Regenerativer Strom, selbst gemacht und selbst verbraucht

THEODOR REMMERSMANN

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster

Die technischen Möglichkeiten zur dezentralen Stromerzeugung sind mittlerweile sehr vielfältig. Soll die Stromerzeugung aus regenerativen Quellen stammen, schränkt das die Möglichkeiten bereits ein. Generatoren bzw. KWK-Anlagen, die mit fossilen Energieträgern betrieben werden, fallen also aus der Betrachtung heraus.

„Selbst gemacht“ heißt hier, die Energiequelle soll auf dem landwirtschaftlichen Betrieb verfügbar sein. Nicht jede ersonnene Technik ist hinreichend praxistauglich, sodass sich auch aus diesem Grund Einschränkungen ergeben. Als weiteres Kriterium soll die Möglichkeit des Eigenverbrauchs betrachtet werden, die sich in erster Linie aus der Wirtschaftlichkeit ergibt. Nur wenn der erzeugte Strom zu vergleichbaren Kosten wie der Bezugsstrom herzustellen ist, macht der Eigenverbrauch Sinn. Unter diesen Gesichtspunkten sollen die aktuellen Möglichkeiten näher betrachtet werden.

Die Sonne ist eine jedem zur Verfügung stehende Energiequelle. Ihre Nutzung ist ein „Jedermannsrecht“, das ohne Konzessionen ausgeübt werden kann und somit zur Eigenversorgung auf dem landwirtschaftlichen Betrieb genutzt werden kann. Die Technik ist seit über 20 Jahren im praktischen Einsatz und erweist sich als überaus zuverlässig und langlebig. Die derzeitigen Erzeugungskosten liegen bei 6 bis 8 Cent/kWh, sodass alle Kriterien der hier durchgeführten Betrachtung (selbst erzeugt – praxistauglich – selbst verbraucht) erfüllt sind. Nicht umsonst sind kaum landwirtschaftliche Anwesen zu finden, die keine PV-Anlagen betreiben.

Bei der Windenergie stehen die Dinge bereits etwas anders, auch wenn das Recht der Windnutzung ebenfalls kostenfrei ist. Vom Grundsatz muss man zunächst zwei Kategorien von Windenergieanlagen (WEA) unterscheiden. Die als Klasse definierten kleinen Windenergieanlagen (KWEA) und die Großen, die planungsrechtlich als raumbedeutsame Anlagen dem § 35 Abs. 1 Nr. 5 des Baugesetzbuches zuzuweisen sind. KWEA sind für den landwirtschaftlichen Betrieb in dienender Funktion baurechtlich im Außenbereich genehmigungsfähig. Die Dienlichkeit ergibt sich aus dem möglichen Eigenverbrauch, der über der Hälfte der Erzeugung liegen muss. Weitere Bedingungen des Genehmigungsrechts können entgegenstehen. Das können beispielsweise Schallemissionen zur Wohnbebauung sein. Vielfach sind es aber naturschutzbedingte Einschränkungen aus dem Bereich Vogel- und Fledermausschutz. Mit KWEA ließe sich grundsätzlich für den landwirtschaftlichen Betrieb Strom erzeugen. Praxistaugliche Anlagen sind am Markt vorhanden. Wirtschaftlich ergibt sich nur in einem recht begrenzten Küstengebiet mit günstigen Windverhältnissen eine Rentabilität. Die Gestehungskosten können grob mit 15 bis 30 Cent/kWh beziffert werden und liegen somit beim 2,5- bis 5-Fachen des PV-Stroms.

Große WEA können in der Regel nur in Windkonzentrationszonen gebaut werden, die bereits räumlich nicht mehr dem Betrieb zuzuordnen sind. Die Stromgestehungskosten je kWh liegen in der Multimegawattklasse bei ca. 5 bis 7 Cent/kWh. Sie sind Standardmäßig auf die Volleinspeisung ausgelegt und eine Eigenversorgung ist nur in Ausnahmefällen denkbar.

Als dritte Möglichkeit regenerativen Strom zu erzeugen, wird die Kraftwärmekopplung betrachtet, da Kraftstoffe auf dem landwirtschaftlichen Betrieb selber erzeugt werden können. Hierfür ergeben sich aber bereits Einschränkungen. Ein BHKW kann mit selbst erzeugtem Pflanzenöl, in der Regel Rapsöl, betrieben werden. Die Aufbereitungstechnik in Form von Ölpresen ist kleinmaßstäblich verfügbar und kann als praxistauglich eingestuft werden. Lediglich die Wirtschaftlichkeit ist ein Problem. Für alle KWK-Anlagentypen besteht, sowohl vor dem Hintergrund des Gesamtnutzungsgrades und damit der Energieeffizienz als auch vor dem Hintergrund der Wirtschaftlichkeit, die Notwendigkeit die entstehende Wärme weitgehend nutzen zu müssen. Das ist wiederum bei nur wenigen Betriebstypen möglich. In erster Linie sind das Ferkelerzeuger, die einen ganzjährigen Wärmebedarf aufweisen. Für die Pflanzenöle bestehen gegenüber den verschiedenen fossilen Kraftstoffen wettbewerbliche Nachteile, sodass diese Möglichkeit kaum genutzt wird. Mit Änderungen bezüglich der Besteuerung der Kraftstoffe und der über das KWK-Gesetz geregelten Einspeisevergütung ließe sich hier einfach und schnell an der Wirtschaftlichkeitsschraube drehen.

Regenerativ sind ebenfalls Biodiesel und Bioethanol. Sie können aufgrund des aufwendigeren Herstellungsprozesses jedoch kaum selbst hergestellt werden und fallen somit als selbsterzeugte Kraftstoffquelle aus. Biomethan in Form von Biogas ist hingegen eine Möglichkeit, die von vielen Betrieben genutzt wird und somit auch die Praxistauglichkeit bewiesen hat. Beim Eigenverbrauch endet es jedoch in der Regel, da die Einspeisevergütung meist höher liegt als die Bezugsstromkosten. In Einzelfällen, die sich aus dem jeweils anzuwendenden EEG und der Betriebskonstellation ergeben, gibt es auch Selbstverbrauch. Perspektivisch sind hier für die Eigenversorgung kaum Möglichkeiten zu sehen, da die Gestehungskosten pro kWh zu hoch liegen. Auch ist vor dem Hintergrund der hier durchgeführten Betrachtung eine Aufbereitung des Biogases zu reinem Biomethan keine Alternative. Die Aufbereitung wird ja gerade mit dem Ziel verfolgt, das Gas über das Gasnetz an anderer Stelle zu verstromen. Als letztes ist die Holzvergasertechnik denkbar. Hier ist der Kraftstoff in Form von Holz auf vielen Betrieben vorhanden. Bezüglich der Praxistauglichkeit sind hier Einschränkungen zu machen, auch wenn Einzelanlagen mit viel Erfahrung und Gefühl des Betreibers stabil laufen. Die Wirtschaftlichkeit ist ebenfalls nur im Einzelfall darstellbar. Die regenerative Eigenstromerzeugung aus KWK-Anlagen lässt sich in Summe aktuell nicht als Option im breiten Maßstab darstellen.

Eine noch nicht betrachtete Technik ist der Batteriespeicher, sofern er überhaupt als Erzeugungsanlage betrachtet werden kann. Das EEG tut dieses zumindest. Somit ist jeder Speicher als separate Anlage im Marktstammdatenregister zu melden und der Strom unterliegt auch der EEG-Umlagepflicht. Bis zum EEG 2017 war sogar noch eine doppelte Umlagepflicht gegeben, da sie sowohl für den eingespeicherten als auch für den aus dem Speicher genutzten Strom verlangt wurde. In der hiesigen Betrachtung wäre der Strom nur als regenerativ zu betrachten, wenn der eingespeicherte Strom bereits regenerativ und eigenerzeugt ist. Als praxistauglich ist die Technik mittlerweile anzusehen. Die Wirtschaftlichkeit ist ohne Förderung jedoch noch nicht gegeben. Die Kosten der Speicherung können grob mit 16 bis 28 Cent angesetzt werden. Zuzüglich der Kosten von nicht realisierter Einspeisevergütung und der EEG-Umlage kann damit kein Geld verdient werden. Perspektivisch dürfte sich hier noch einiges tun. Insbesondere dürften mittelfristig „Second-Life-Speicher“ aus dem Mobilitätssektor kommen, die dann sehr günstig zu haben sind und deren stationäre Weiternutzung mit altersbedingt verringerter Kapazität sehr sinnvoll ist.

Als letzter Punkt soll die Sektorkopplung mit Strom aus PV-Anlagen betrachtet werden. Der Selbstverbrauch von PV-Strom ist nicht wie oben beschrieben uneingeschränkt sinnvoll. In Abhängigkeit der verschiedenen EEG ist hier zu unterscheiden. Bis zur Inbetriebnahme 2010 wäre Selbstverbrauch aufgrund der hohen Einspeisevergütung unsinnig gewesen und erst mit der Unterschreitung der Vergütung unter die Bezugsstromkosten in 2012 wurde er uneingeschränkt wirtschaftlich sinnvoll. Wir werden in naher Zukunft eine weitere Kategorie von PV-Anlagen haben. Es sind die aus der EEG-Förderung herausgefallenen, die dann in die Eigennutzung überführt werden. Hier bemisst sich der Eigenverbrauchs Vorteil in der Differenz Verkaufserlös zu Bezugsstromkosten abzüglich EEG-Umlage. Legt man für den Überschussstrom die Börsenpreise zugrunde, ergäbe sich ein Wert von unter 4 Cent/kWh, der unter den Kosten für fossile Wärmeenergie liegt. Unter der Prämisse steigender fossiler Energiekosten und sinkender EEG-Umlage wird die Wärmeerzeugung mit diesem Strom wirtschaftlich interessant. In erster Linie kommt die Brauchwasserbereitung dafür in Betracht, die im Sommer das höhere Stromangebot abschöpfen kann. Der technische Aufwand dafür ist überschaubar und somit sollten schon im Vorfeld des Endes der Förderung solche Überlegungen des Selbstverbrauchs angestellt werden. Die Gestehungskosten einer abgeschrieben PV-Anlage belaufen sich auf unter 2 Cent/kWh und machen auch die Einspeisung des nicht selbst verbrauchten „Reststroms“ noch interessant.

Strombedarf und Eigenversorgung in der Nutztierhaltung

JOSEF NEIBER

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising

Der wachsende Energiebedarf in den einzelnen Produktionsketten in der Landwirtschaft durch den vermehrten Einsatz energieintensiver Anlagen einerseits, wieder ansteigende Kraftstoffpreise und kontinuierlich zunehmende Strompreise andererseits, erfordern im Hinblick auf die wirtschaftliche Gesamtsituation mit stagnierenden Erzeugerpreisen einen äußerst effizienten Produktionsmitteleinsatz. Die Nutzung eigenerzeugter regenerativer Energien bietet für den landwirtschaftlichen Betrieb eine Möglichkeit, die Energiekosten zu reduzieren. Gerade bei der Stromerzeugung mit Fotovoltaikanlagen ist die Eigenstromnutzung seit dem Erreichen der Netzpreisparität im April 2012 empfehlenswert und mit den ersten Solarstromanlagen, die nun aus der EEG-Förderung herausfallen, ohne Einschränkungen ratsam. Aber auch gesellschaftliche Motive wie die Entlastung der Stromnetze und ökologische Motive wie die mögliche Einsparung von fossilen Energieträgern sprechen für einen hohen Eigenstromverbrauch.

Um regenerativ erzeugte Energie bestmöglich in das landwirtschaftliche Lastprofil einzubinden und zu nutzen, sind die Höhe des Stromverbrauchs und die Kenntnis der Verbrauchslastprofile sowie der Erzeugungsprofile des Betriebes in Abhängigkeit vom Produktionsverfahren ausschlaggebend. Mit zeitlich aufgelösten Verbrauchserfassungen können sowohl die Variabilität in der Betriebsausstattung als auch die zeitliche Variabilität des Energieverbrauchs berücksichtigt werden.

Verbrauch, Einsparung und Eigennutzung in der Milchviehhaltung

Die Höhe des Stromverbrauchs pro Milchkuh und Jahr beträgt in den meisten Betrieben zwischen 350 und 600 kWh. Er ist einerseits von der Milchleistung und andererseits von der technischen Ausstattung und vom Automatisierungsgrad bei der Milchgewinnung und den Haltungseinrichtungen abhängig. Hauptverbrauchsbereiche sind die Milchgewinnung und die Milchkühlung mit einem Anteil von bis zu 60 % des Gesamtstromverbrauchs.

Mit frequenzgeregelten Vakuumpumpen kann der Stromverbrauch bei der Milchgewinnung, durch stetige Anpassung der Drehzahl an den Leistungsbedarf, deutlich reduziert werden. Beim Kühlprozess kann der Energiebedarf mit Platten- oder Rohrvorkühlern durch die Absenkung der Milchttemperatur vor der Einleitung in den Milchtank halbiert werden. Weitere Einsparmöglichkeiten im Milchviehstall können z. B. durch den Einsatz von LED-Leuchten und mit energieeffizienten Motoren, Pumpen und sonstigen Antriebssystemen erzielt werden.

Das Tageslastprofil in milchviehhaltenden Betrieben ist abhängig vom Melkzyklus und dem vorhandenen Melksystem. Bei Betrieben mit konventionellen Melkständen treten die Leistungsspitzen gewöhnlich zu den Melkzeiten am Morgen und am Abend auf. Bei Betrieben mit automatischen Melksystemen hingegen ist die Leistung über den ganzen Tag verteilt.

Die mögliche Eigenstromnutzung in Melkroboterbetrieben ist aufgrund dieses gleichförmigen, über den ganzen Tag verteilten Lastprofils höher als bei Betrieben mit zwei oder drei Melkzeiten. Da auch bei letzteren oftmals zwei Melkzeiten in der dunklen Tageszeit liegen.

Verbrauch, Einsparung und Eigennutzung in schweinehaltenden Betrieben

Der Energiebedarf in Schweineställen wird im Wesentlichen durch die Lüftung, Stallbeleuchtung inklusive Licht im Deckbereich, der Fütterung und Futteraufbereitung bestimmt. Der Stromverbrauch kann in die Haltungsabschnitte Ferkelerzeugung, Ferkelaufzucht und Schweinemast unterteilt werden.

Bei der Ferkelerzeugung kann aufgrund verschiedenartiger Haltungsanforderungen und demzufolge abweichendem Strombedarf in Deck-/Wartebereich und Abferkelbereich unterschieden werden. Die Höhe des Stromverbrauchs in Praxisbetrieben liegt überwiegend zwischen 80 und 180 kWh pro Zuchtsau und Jahr. Der Anteil der Lüftungsanlage am Gesamtstromverbrauch liegt bei ca. 40 %, der der Stallbeleuchtung inklusive Stimulationsbeleuchtung im Deckbereich bei ca. 25 % und der der Infrarotlampen der Ferkelnester bei 10 bis 20 %. In der Ferkelaufzucht fallen insgesamt zwischen 15 und 30 kWh je Ferkelplatz und Jahr an. Bei Betrieben, die Wärmerückgewinnungsanlagen (Luft-Luft-Wärmetauscher) betreiben, ist der Stromverbrauch aufgrund von Druckverlusten etwas höher. Der Anteil der Lüftungsanlage beträgt meist zwischen 50 und 60 %. In der Schweinemast entsteht ein Stromverbrauch von durchschnittlich 30 bis 40 kWh pro Mastplatz und Jahr. Auf die Lüftungsanlage entfallen dabei über 50 %. In Schweinmastbetrieben, die eine Abluftreinigungsanlage betreiben, kann der Stromverbrauch um bis zu 30 kWh pro Mastplatz und Jahr wegen des Mehrverbrauchs für Umwälzpumpen und Druckverlusten bei der Lüftungsanlage höher liegen.

Die höchsten Energieeinsparmöglichkeiten in den Stallanlagen für die Schweinehaltung liegen somit bei den Lüftungssystemen. Mit optimaler Dimensionierung und strömungstechnisch günstiger Gestaltung der Luftführungen sowie mit dem Einsatz moderner Regelungstechnik, wie Frequenzregelung und EC-Technik, kann der Gesamtstromverbrauch um bis zu 60 % und mehr reduziert werden.

Da die Lüftungsanlage der größte Verbraucher in zwangsgelüfteten Ställen ist und die Höhe des Stromverbrauchs der Stallklimatisierung wesentlich von den Temperaturschwankungen über das Jahr beeinflusst wird, ist sie auch prägend für das Gesamtverbrauchsprofil dieses Betriebszweiges. Der Stromverbrauch in den Sommermonaten ist fast doppelt so hoch wie in den Wintermonaten. Regelmäßige Leistungsspitzen im Tagesverlauf bilden die Beleuchtungszeiten am Morgen und am Abend zur Tierkontrolle sowie der Energieaufwand für die Futteraufbereitung. Die Fütterungszeiten sind je nach Produktionsphase über den Tag verteilt. Weiterhin entstehen unregelmäßige Leistungsspitzen durch die Reinigung der Abteile, die ebenfalls dem Produktionsrhythmus unterworfen sind.

Eigenstromnutzung

Um die Höhe der Eigenstromnutzung annähernd genau bestimmen zu können, müssen sämtliche am Betrieb vorhandene Verbraucher mit einbezogen werden. Dazu zählen u. a. der Stromverbrauch in Werkstätten, Lagern, Trocknungsanlagen sowie weiteren Betriebszweigen der tierischen und pflanzlichen Produktion und auch der Stromverbrauch für die Wohngebäude.

Da die Höhe der Solarstromeigenutzung vorwiegend von nur wenig beeinflussbaren Faktoren wie z. B. dem Produktionsverfahren, den Arbeitsabläufen und dem Witterungsverlauf abhängt, ist die Anpassung der Fotovoltaikanlagengröße an den Stromverbrauch des Betriebes der erste Schritt, den Eigenverbrauch bestmöglich abzustimmen. Weitere Maßnahmen, um den Eigenverbrauch zu steigern, sind die Anpassung des Stromverbrauchs an die Stromerzeugung durch Lastverschiebungen oder die Montageausrichtung der PV-Anlage. Eine Ost-West-Ausrichtung verlängert z. B. die solaren Einstrahlungszeiten, dadurch kann eine bessere Anpassung an die Verbrauchsprofile von Milchviehbetrieben mit zwei Melkzeiten erreicht werden. Die Nutzungssteigerungen dieser Lastangleichungen sind jedoch begrenzt.

Der Einsatz von Speichersystemen ermöglicht den unter Tag erzeugten Solarstrom bedarfsbezogen zu nutzen. Neben stationären Batteriespeichern, auf Basis von Blei-Säure, Lithium-Ionen und weiteren Technologien, die aufgrund des schnellen Abrufs der Reserveleistung technisch sehr gut geeignet sind, Primärenergieregelleistung bereitzustellen, stehen vermehrt auch mobile Speicher auf den Betrieben zur Verfügung. Gerade durch die zunehmende Elektrifizierung von Arbeits- und Antriebsmaschinen für Arbeiten auf dem Betriebsgelände (elektrisch betriebene, mobile Futtermisch- und Verteilwagen, Hoftrucks, Spaltenroboter ...) und auf landwirtschaftlich genutzten Flächen (elektrische Pflegeschlepper und Transporter ...) sowie durch betrieblich und privat genutzte Elektroautos stehen auf den Betrieben zukünftig Akkumulatoren zur Verfügung, die in einem gewissen Rahmen zeitlich flexibel aufgeladen werden können. Technische Anlagen und Verfahren wie die Eiswasserproduktion für die Milchkühlung oder die Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen (Sektorenkopplung) bieten weitere Möglichkeiten, die selbst produzierte Energie vermehrt zu nutzen.

Die gesamtbetriebliche Erfassung von Daten- und Energieflüssen dient als Grundlage für eine künftige Steuerung von Energiebereitstellung und Energieverteilung. Gerade im Hinblick auf immer schnellere Entwicklungen und Innovationen im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnik einerseits, der Automatisierung und Elektrifizierung von landwirtschaftlichen Maschinen und Anlagen andererseits sind intelligente Energiemanagementsysteme mit bidirektionalem Informationsfluss entscheidend, um die Energieerzeugung, die Energienutzung und die lokale Energiespeicherung zu verbinden und abzustimmen sowie die Energieströme zu steuern.

Die optimale Ausnutzung von Energieträgern bei minimalen Emissionen und der Einsatz erneuerbarer Energien sind ein wesentlicher Bestandteil für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung.

Entwicklung eines On-Farm Energie Management Systems für Milchviehlaufställe

JÖRN STUMPENHAUSEN¹, HEINZ BERNHARDT², MARTIN HÖHENDINGER^{1, 2}

¹ Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Freising

² Technische Universität München, Freising

Einleitung und Problemstellung

Die gesellschaftlich aktuellen Forderungen nach einerseits modernen, nachhaltigen und tierwohl-orientierten Milchviehställen und nach andererseits einer regionalen ressourcenorientierten Energieversorgung stehen im Fokus der Forschungsinitiative „Stall 4.0“ von HSWT und TUM. Diese sieht vor, für Milchviehbetriebe eine integrierte Milch- und Energieproduktion (Integrated Dairy Farming) zu konzipieren und auf Pilotbetrieben zu installieren, wobei durch zielorientierte Vernetzung Synergiepotenziale optimal genutzt werden sollen.

Neue Ställe müssen gestiegenen Anforderungen hinsichtlich Arbeitswirtschaft, Ethologie, Ressourceneffizienz, Ökologie und Ökonomie gerecht werden. Dieses führt in der Praxis zu einem hohen Maß an Automatisierung (Melkroboter, Fütterungsroboter, Entsorgungstechnik, Klimaregelung ...) in der Milchviehhaltung. Gleichzeitig ist die landwirtschaftliche Tierhaltung wie kein zweiter Wirtschaftsbereich prädestiniert für die Erzeugung erneuerbarer Energien.

Aus der Vielschichtigkeit dieses Systems leitet sich die Forderung nach einer Kommunikation der Systemelemente untereinander ab, analog zu industriellen cyber-physischen Produktionssystemen (Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“). Die Besonderheiten der Milchproduktion bedingen dabei sehr spezifische technische Anforderungen an ein derart umfassendes Energie-Management-System unter besonderer Berücksichtigung der Tier-Technik-Mensch-Interaktionen. Darüber hinaus ist ein intelligentes Lastmanagement zu entwickeln, das die Einbindung in ein landwirtschaftlich-spezifisches Demand Side Management ermöglicht, sodass der landwirtschaftliche Betrieb als Energiequelle und -senke für regionale Versorger agieren kann und damit die Entwicklung einer dezentralen rekommunalisierten Stromerzeugung unterstützt.

Zielsetzung

Ziel des aktuellen Verbundforschungsvorhabens „CowEnergy“ von HSWT und TUM sowie den Industriepartnern BEDM GmbH und Hörmann GmbH & Co.KG ist es, ein autonomes On-Farm Energie- und Produktionsmanagementsystem (EMS) für Milchviehställe als industriellen Prototyp durch die Kombination von vorhandenen und noch zu verbessernden Technologien zu entwickeln.

Das Energie- und Produktionsmanagementsystem soll eine gleichzeitig ausgewogene und nachhaltige Produktion von Energie und Milch ermöglichen. Die damit erstellte Innovation in der Agrartechnik dient somit zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Über die Analyse der Daten vorhandener und neu zu integrierender Sensoren im Gesamtsystem sollen über die Big-Data-Datenanalyse Entscheidungsalgorithmen zur effektiven Steuerung des EMS erstellt werden. Im Rahmen der landwirtschaftlichen Produktion sollen dadurch sowohl Milch und Fleisch als auch regenerative Energie produziert werden. Diese Energie dient dabei einerseits der autarken Eigenversorgung und andererseits zur Bedarfsdeckung eines regionalen Energieversorgungsnetzes.

Erste Ergebnisse und Ausblick

Differenzierte Lastganganalysen aller relevanten Verbraucher im Stall sowie die Definition ihrer Versorgungspriorität und -flexibilität bilden die Grundlage für die interne Architektur des EMS. Die Energieverbräuche müssen im Projekt, anders als allgemein üblich, im 1-Sekunden-Takt erfasst werden und nicht im 15-Minuten-Takt, um das Energiemanagementsystem nicht durch hohe unerfasste Anlaufströme auszuhebeln. Im Bereich der Energieerzeugung werden ebenfalls mit entsprechend hoher Datenrate die Leistungsdaten von Biogas, Windkraftanlagen, Solarenergie, Erdwärme und Sonstigem erfasst. Daraus leiten sich die Bedarfe an kurz-, mittel- und langfristigen Speicherkapazitäten ab, die als virtuelle Batterie zusammengefasst werden. Da das Energieerzeugungspotenzial deutlich größer ist als der Strombedarf des Stalles und des Betriebes, stellt die Definition eines weitestgehend netzdienlichen Anschlusses an das regionale Versorgungsnetz einen weiteren Schwerpunkt der Forschungsarbeiten dar. Um im „Stall 4.0“ ein Höchstmaß an Tierwohl zu gewährleisten, ist es notwendig die spezifischen Tier-Technik-Interaktionen bei der Programmierung der Entscheidungsalgorithmen zu berücksichtigen. Einzelne Versuche hierzu wurden bereits abgeschlossen.

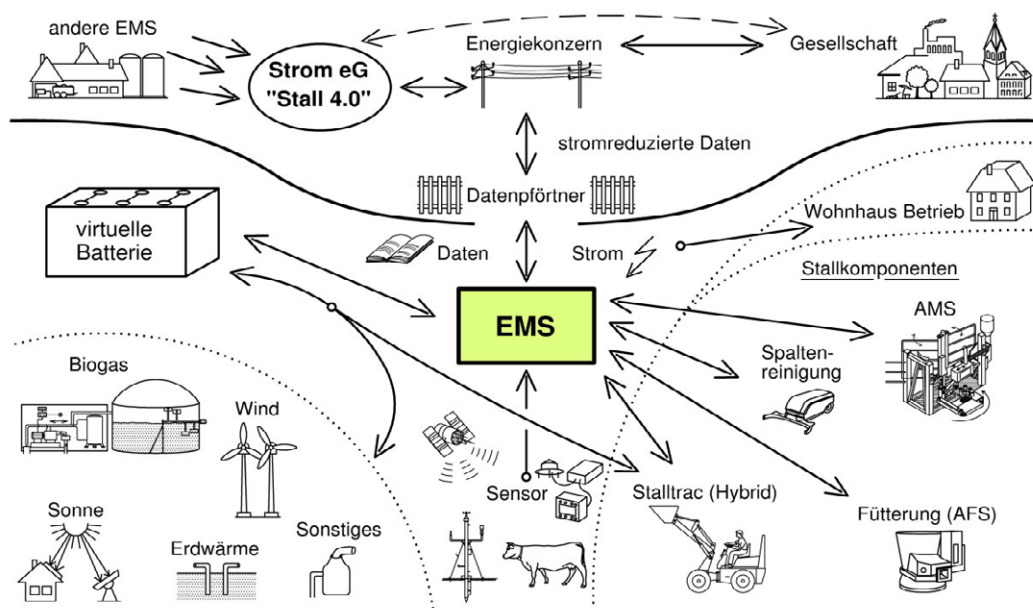


Abb. 1: Struktur des EMS (© TUM)

Mit den erarbeiteten Grundlagen war es möglich, einen ersten Praxisbetrieb auszustatten. Dort wurden 14 Smartmeter für die wichtigsten Energieverbraucher im Stall sowie acht Klimasensoren eingesetzt. Die vorhandenen Pedometer sowie zusätzlich installierte Videokameras und das Ubisense-Ortungssystem dienen der Erfassung der Bewegungsaktivität der Tiere. Dabei ging es nicht in erster Linie um die Erkennung krankheitsbedingter tierindividueller Verhaltensabweichungen, sondern um die Frage, inwiefern in einem weitgehend automatisierten Haltungssystem Änderungen des Verhaltensmusters der Herde Hinweise auf technisch bedingte Störungen des Normalverhaltens geben. Die Auswertungen zu den Versuchen sind noch nicht abgeschlossen und werden auf dem zweiten Praxisbetrieb fortgesetzt.

Die umfangreichen ersten praktischen Erfahrungen fließen ein in die weitere Programmierung des EMS hinsichtlich Lastregelung sowie Flexibilität bezogen auf das Tierverhalten und werden derzeit im zweiten Praxisbetrieb umgesetzt, dessen Stallneubau weitgehend abgeschlossen ist. Da dieser Betrieb bereits jetzt eine umfassende E-Mobilität nutzt (vollelektrischer Futtermischwagen, E-Hoflader, E-Radlader, 3 Elektro-PKW), soll hier insbesondere die mobile und stationäre Energiespeicherung integriert sowie in Absprache mit dem regionalen Energieversorger ein netzdienlicher Stromanschluss realisiert werden.

Die Elektroinstallation und die Kommunikation der Systemelemente für Erzeugung, Speicherung und Verbrauch von Elektroenergie sind in der geplanten Konstellation – zumindest für Milchviehhaltungssysteme – weitgehend Neuland. Die Voruntersuchungen auf dem ersten Praxis-Pilotbetrieb haben gezeigt, dass in der IT-Hierarchie innerhalb des Stalles eine Zwischenstufe einzufügen ist, die dezentral die vom Energie-Management-System kommenden Signale für die Steuerung der Verbraucher umsetzt. Dieses wird anhand innovativer frei programmierbarer Aktormodule realisiert (Abb. 2), mit denen betriebsspezifische und individuelle Anforderungen berücksichtigt werden können.

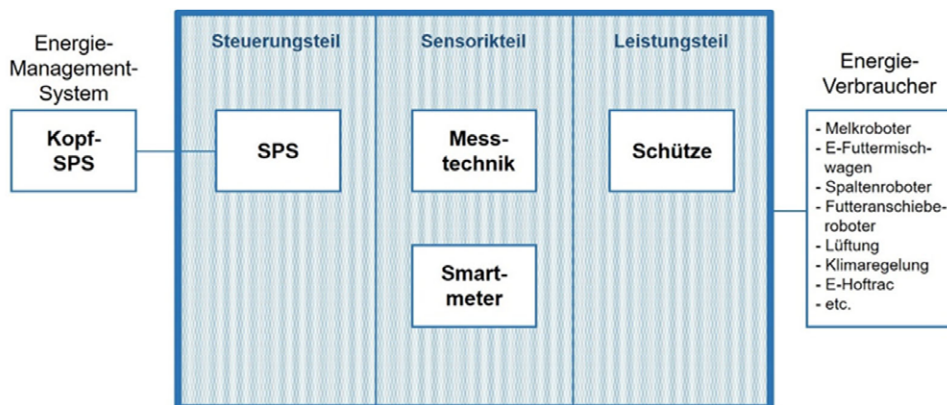


Abb. 2: Konstruktionsschema der Aktormodule für die interne Vernetzung

In diese Aktoren werden zusätzlich Smartmeter integriert, also digitale Stromzähler, die jederzeit den aktuellen Verbrauch erfassen und damit Voraussetzung für individuelle Steuerungen der Verbraucher mit intelligentem Lastmanagement sind. Im Sensorikteil der Aktoren können des Weiteren individuelle Messtechniken integriert werden, die z.B. aktuelle Werte von Klimasensoren oder den Füllstand der Gülle in den Güllekanälen erfassen und an das Zentrale Monitoring- und Steuerungsmodul des On-Farm EMS weiterleiten.

Bei der Entwicklung dieser Aktoren ist die individuelle Programmierbarkeit von großer Bedeutung – nicht nur für die störungsfreie Funktion der technischen Einrichtungen im Stall, sondern auch für differenzierte wissenschaftliche Untersuchungen, wie sie auf diesem Betrieb für die nächsten Jahre geplant sind.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Nutzung von Biobrennstoffen – Möglichkeiten und Grenzen

CARSTEN BRÜGGEMANN

Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover

In ländlichen Regionen ist der Brennstoff Holz weit verbreitet und häufig die erste Wahl, wenn es um erneuerbare Energien zur Bereitstellung von Wärme geht. Für Betriebe, die über eigene Waldflächen oder umfangreiche Knicks und Ackerrandstreifen verfügen, bestehen gute Möglichkeiten, den erforderlichen Wärmebedarf, zumindest teilweise, durch Holzbrennstoffe zu ersetzen.

Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, durch das Anpflanzen schnellwachsender Baumarten, sogenannter Kurzumtriebsplantagen, den Brennstoff auf eigenen Ackerflächen zu produzieren. Dies ist auch mit Pflanzen wie Chinaschilf (*Miscanthus*) möglich, was sich aber bisher nicht im nennenswerten Umfang durchgesetzt hat. Halmgutartige Biomassen wie Stroh, Heu oder *Miscanthus* weisen schlechtere Verbrennungseigenschaften auf als Holz. Bei einer Nutzung als Brennstoff sollten mögliche Probleme, wie Chlorkorrosionen, höhere Emissionen oder Verschlackungen der Asche berücksichtigt werden. Somit wird sich an dieser Stelle auf den unproblematischeren Brennstoff Holz beschränkt.

Für jede Form des Brennstoffes Holz, ob Scheitholz, Hackschnitzel oder Pellets, gibt es unterschiedliche, technisch ausgereifte Feuerungssysteme. Scheitholzkessel werden vorwiegend im Leistungsbereich bis 50 kW eingesetzt und fast ausschließlich manuell mit Brennstoff beschickt, Hackschnitzel- und Pelletfeuerungen arbeiten mit automatischer, bedarfsgerechter Brennstoffzufuhr. Scheitholzkessel sind preisgünstiger als automatische Feuerungen und stellen weniger große Anforderungen an die Brennstoffbereitung und -lagerung. Dafür ist manueller Aufwand für das Beschicken und Betreiben der Feuerung erforderlich. Bei einem Wärmebedarf von mehr als 50 kW oder einem Heizölverbrauch von jährlich mehr als 5.000 l sollte man über automatische Systeme nachdenken.

Scheitholzkessel

Die meisten Scheitholzkessel arbeiten heute nach dem Unterbrand- oder Vergasungsprinzip. Die Kessel sind als Spezialkessel nur für das Verbrennen von Scheitholz geeignet. Mithilfe elektronischer Regelungen und der Steuerung der Verbrennung über sogenannte Lambdasonden erreichen die Kessel gute Verbrennungsqualitäten und Wirkungsgrade. Da die dabei freigesetzte Energie häufig nicht direkt genutzt werden kann, sind ausreichend bemessene Wärmespeicher, also gut wärmegeämmte Wasserbehälter, einzusetzen. Die feuerungstechnischen Wirkungsgrade moderner Feuerungen liegen heute bei 90 % und darüber.

Holz hackschnitzel

Die homogene Form von Holz hackschnitzeln ermöglicht eine automatische und bedarfsgerechte Zufuhr des Brennstoffes; so werden gute Feuerungsqualitäten erreicht. Automatische Holz hackschnitzelfeuerungen holen sich den benötigten Brennstoff über Austrageinrichtungen bedarfsgerecht aus entsprechenden Vorratsbehältern. Da die Hackschnitzelgröße, abgesehen von gesiebter Ware, stark schwanken kann, sollten robuste Zuführelemente installiert werden, die auch längere Splitter sicher zuführen und nicht so schnell verklemmen. Sprinkleranlagen, Brandschutzklappen, Fall- oder Zellenradschleusen in den Zuführkanälen vermeiden Rückbrände aus den Feuerzonen in den Vorratsbereich.

Holz pellets

Während im land- und forstwirtschaftlichen Bereich eher eigene Brennstoffe wie Waldholz genutzt wird, bieten sich über Holz pellets auch für andere Bereiche Möglichkeiten, Holz als nachwachsenden Brennstoff in komfortablen Feuerungen zu nutzen. Zur Lagerung können Kellerräume, oftmals auch die bisherigen Heizöllagerräume genutzt werden. Pellets können als homogenes Schüttgut in recht kleinen Feuerungsanlagen mit automatischer Brennstoffzufuhr problemlos dosiert und verbrannt werden. Die Kessel oder Öfen sind meistens Spezialfeuerungen, die nur für Holz pellets geeignet sind.

Was ist bei der Installation zu bedenken?

Alte Heizkessel sind häufig überdimensioniert. Grundsätzlich sollte der Installateur die erforderliche Heizleistung der neuen Feuerung errechnen, da er dafür auch verantwortlich ist. Bei der Wahl des Standortes der Feuerung sollte berücksichtigt werden, dass die Anlage für die Transportfahrzeuge oder Geräte gut zugänglich ist. Eine Holzfeuerung erfordert größeren Wartungs-, Betreuungs- und Beobachtungsaufwand als Feuerungen für fossile Brennstoffe. Auch aus diesem Grunde sollte die Anlage nicht im hintersten Keller versteckt werden, sondern gut zugänglich sein.

Pellet- und Hackschnitzelfeuerungen werden zunehmend mit automatischen Zündungen angeboten. Der Kessel sollte möglichst über eine sogenannte Rücklaufanhebung in das Heizsystem eingebunden werden. So wird erreicht, dass der Kessel schnell auf Temperatur kommt und mangelhafte Verbrennungsqualitäten und Kondensatbildung während der Anheizphasen reduziert oder vermieden werden. Zudem kann kaltes Rücklaufwasser zu Spannungen im Material führen und so die Lebensdauer der Anlage mindern. Hochwertige Regelungen lassen gute Verbrennungsqualitäten erreichen. Lambdasonden im Rauchgasstrom messen die Sauerstoffkonzentration der Abgase. So kann die erforderliche Verbrennungsluft optimal dosiert und die Anlage mit geringen Emissionen gefahren werden. Eine separate Regelung von Primär- und Sekundärluft ist üblich.

Pufferspeicher, also größere Wasserbehälter zur Leistungsregelung zwischen Kessel und Heizsystem, zeigen bei jeder Biomassefeuerungen positive Wirkung. Besonders sinnvoll erscheint ein Speicher, wenn im Sommer auch die Brauchwasserbereitung eines Haushaltes über die Holzfeuerungen erfolgen soll. Dann können die Heizintervalle doch deutlich gestreckt und häufiger

Schwachlastbetrieb der Anlage mit entsprechend schlechteren Verbrennungsqualitäten umgangen werden. Ein Volumen von 30 l/kW ist bei automatischen Anlagen sicher ausreichend und wird auch in Förderprogrammen gefordert. Bei Scheitholzkesseln werden 50 l/kW gefordert, 80 l/kW sind empfehlenswert.

Emissionsgrenzwerte einhalten

Wie bisherige Erfahrungen zeigen, ist es kein großes Problem, einen neuen, sauberen Kessel mit gutem Brennstoff durch die Inbetriebnahmeprüfung zu bekommen. Kritischer wird es, wenn die Anlage zwei Jahre nach Inbetriebnahme gemessen werden soll. Wenn der Kessel dann verschmutzt ist, sich die Regelung vielleicht etwas verstellt hat und der Brennstoff nicht optimal ist, könnte es Probleme mit den geforderten Werten geben. So sollte vor dem Kauf mit dem Hersteller des Kessels geklärt werden, ob über einen entsprechenden Wartungsvertrag eine Garantie für spätere Messungen vereinbart und damit das Risiko des Betreibers gemindert werden kann. Unabhängig davon sollte die Anlage in regelmäßigen Abständen gereinigt werden, um den Verschleiß und somit die Instandhaltungskosten zu minimieren. Mittlerweile werden immer mehr neue Kessel mit elektrostatischen Filtern installiert, die bei manchen Herstellern schon im Kessel integriert sind.

Wirtschaftlichkeit

Neben den Investitionskosten und Fördermöglichkeiten sind die Brennstoffkosten von wesentlicher Bedeutung für den wirtschaftlichen Betrieb einer Anlage. Da Holz als Brennstoff im Vergleich zu anderen Energien recht preisgünstig ist, rechnen sich Holzfeuerungen, insbesondere Hackschnitzelfeuerungen, umso mehr, je größer der erforderliche Wärmebedarf ist. Staatliche Förderprogramme zur Unterstützung von Investitionen für Biobrennstoffe wurden im Rahmen des Klimapaketes der Bundesregierung deutlich aufgestockt. So kann z.B. eine Holzfeuerung als Ersatz für eine Ölheizung mit bis zu 45 % der Gesamtkosten bezuschusst werden. Weitere Informationen unter www.bafa.de oder www.kfw.de.

KWK-Anlagen für Holz

Holzvergasungsanlagen zur Erzeugung von Holzgas, das über ein BHKW zu Strom und Wärme umgewandelt wird, werden z.T. als technisch ausgereifte Aggregate angeboten. Ob ein wirtschaftlicher Einsatz in der Praxis zu empfehlen ist, sollte intensiv geprüft werden. Hier ist ein hoher Grad an Selbstnutzung des erzeugten Stromes sowie eine möglichst vollständige und sinnvolle Nutzung der anfallenden Wärme erforderlich. Bei Holzkesseln, die mit kleinen, integrierten Stromerzeugern angeboten werden, sollte man sich Referenzanlagen benennen lassen, bei denen eine längerfristige Funktionsfähigkeit erwiesen ist.

Möglichkeiten der Wärmebereitstellung in der Landwirtschaft

ELMAR BRÜGGER

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Münster

In der landwirtschaftlichen Produktion werden Wärme und Strom bislang überwiegend aus fossilen Quellen genutzt. Beim Strom wird zunehmend selbst erzeugte elektrische Energie aus der betriebseigenen Fotovoltaikanlage verwendet. Auch für die Versorgung mit Wärme bietet der landwirtschaftliche Betrieb einige interessante Eigenversorgungsmöglichkeiten. Neben der Nutzung von Holz aus forstwirtschaftlicher Quelle gibt es die Möglichkeiten des Anbaus von schnellwachsenden Hölzern auf landwirtschaftlicher Fläche, die Nutzung von Miscanthus auf betriebseigener Fläche bis hin zur energetischen Nutzung von Stroh. Darüber hinaus kann die elektrische Energie aus der Fotovoltaikanlage auch für den Betrieb einer Wärmepumpe genutzt werden. Als weitere Quelle sollte die Solarthermie nicht unbeachtet bleiben. Mit diesen regenerativen Quellen zur Bereitstellung von Wärme wird sich der folgende Beitrag auseinandersetzen.

Doch bevor die Energiequellen detaillierter betrachtet werden, einige Anmerkungen zum Wärmebedarf und der Auslegung der Heizungsanlage auf Basis der oben aufgeführten regenerativen Quellen.

Wer die Energieversorgung seines Betriebes, ganz gleich ob Wärme oder Strom, auf eine andere/regenerative Quelle umstellen möchte, muss im ersten Schritt seinen tatsächlichen Energiebedarf im Jahresgang kennen. Beim Strom ist die genaue Kenntnis des jährlichen Energieverbrauchs und – bei größeren Verbrauchern – durch die registrierende Lastgangmessung sogar der Jahresgang in der Regel Standard; auch kann durch die vergleichsweise einfache Installation von Zwischenzählern der Bedarf mit vertretbarem Aufwand ermittelt werden. Bei der Wärme sieht das anders aus! Häufig wird die Wärme noch aus Flüssiggas oder Heizöl erzeugt, daher kann der Verbrauch aus den betriebseigenen Energievorräten oft nicht kalenderscharf zugeordnet werden; eine Installation von Wärmemengennessern ist auch deutlich aufwendiger als die von Zwischenzählern für Elektrizität.

Daher wird bei der Neuplanung einer Heizungsanlage meistens versucht, mit unterschiedlichen Datenquellen zu arbeiten (wobei diese im Endergebnis möglichst schlüssig ausgewertet werden sollen):

1. Ermittlung der spezifischen Energiebedarfswerte in Kilowattstunden (kWh) pro Stallplatz.
2. Hinzuziehung der aus Erfahrungswerten der landwirtschaftlichen Beratung abgeleiteten Leistungsbedarfswerte je Stallplatz.
3. Die reale Abschätzung des tatsächlichen IST-Verbrauches aus vorliegenden Verbrauchsdaten.

Eine sehr wertvolle Arbeitshilfe bei der Umsetzung dieser Aufgabenstellung sind die KTBL-Hefte „Energiebedarf in der Milchviehhaltung“ (2014a) und „Energiebedarf in der Schweine- und Hühnerhaltung“ (2014b). In diesen Heften sind für definierte Modellställe systematisch die spezifischen Energiebedarfswerte für Wärme und Strom abgeleitet und zusammengestellt. Selbstverständlich sind die Stallbauformen in der Praxis weitaus größer als in diesen Heften beschrieben. Deshalb ermöglicht der schrittweise Aufbau aus einzelnen Verbrauchsgruppen für jeden Modellstall eine Anpassung an den tatsächlich vorliegenden Beratungsfall. Zusammenfassend bedeutet

dies, dass ausgehend von den Planungsdaten in kWh je Stallplatz und des Zustands der Wärmedämmung, der Belegungsdichte und der Lüftungsanlage usw. der tatsächliche Wärmebedarf für den betreffenden Stall nach Sanierungsmaßnahmen für eine neue Wärmeversorgungstechnologie aus regenerativen Quellen ermittelt werden kann. Dabei wird bei diesem Vorgehen vorerst nur der voraussichtliche Gesamtenergiebedarf thermisch für diesen Stall in Kombination mit der geplanten neuen Wärmeversorgung ermittelt. Jahresganglinien sind für verschiedene landwirtschaftliche Produktionszweige sehr wohl schematisch verfügbar, sind aber niemals mehr als eine Arbeitshilfe auf dem Weg zur Auslegung der betriebsspezifischen Anlage.

Da der Wärmebedarf in der Milchviehhaltung eine eher untergeordnete Rolle spielt und in den Bereichen Schweinemast und Hähnchenmast, im Prinzip nur zum Zeitpunkt der Aufstallung und während der ersten Wachstumsphasen eine Bedeutung hat, werden sich die weiteren Betrachtungen auf die wärmeintensive landwirtschaftliche Tierproduktion, die Sauenhaltung mit Ferkelerzeugung und Aufzucht, konzentrieren. Beispiel: Für einen landwirtschaftlichen Betrieb mit 330 produzierenden Sauen wird ein thermischer Energiebedarf von 300.000 kWh angenommen (1). Dann wird der notwendige Leistungsbedarf der Heizungsanlage auf Basis der Erfahrungswerte der produktionstechnischen Spezialberatung der Landwirtschaftskammer NRW ermittelt (2); hier werden für den Abferkelbereich 150 bis 300 Watt pro Bucht und im Ferkelaufzuchtbereich 50 bis 70 Watt pro Platz angesetzt. Aus den vorher genannten Daten ergibt sich neben der Jahresenergiemenge für diesen Beispielstall eine notwendige maximale Heizleistung um 120 kW (3).

Die dritte Größe ist ebenfalls ein Erfahrungswert aus der Beratungsarbeit. Bei der Auslegung einer Biomasseheizung in Kombination mit entsprechendem Pufferspeicher kann der Jahresenergiebedarf auf 2.500 Volllaststunden umgelegt und damit die Heizungsleistung ermittelt werden. Zum Vergleich: Würde die Heizung auf Basis fossiler Energieträger ausgelegt, kämen rund 1.500 Jahresvolllaststunden für die Auslegung zum Ansatz.

Für den so abgeleiteten Biomassekessel könnte die Energie beispielsweise aus Kurzumtriebsplantagen (KUP) vom Betrieb selbst bereitgestellt werden. Bei diesem Verfahren werden stockausschlagfähige Gehölze (vorrangig Pappeln und Weiden) auf landwirtschaftlicher Ackerfläche angepflanzt. Die Ernte erfolgt in relativ kurzen Zyklen (z.B. 3, 8 oder 15 Jahre) und es werden durchschnittliche Erträge von 8 bis 12 t atro pro ha geerntet. Zum Erntezeitpunkt (November bis März) hat das Holz noch einen hohen Wassergehalt von über 50 %. Somit ist eine Trocknung des Gutes erforderlich. Ausgehend von unserem Stallbeispiel und dem Ansatz, dass 2,5 kg Hackschnitzel 1 l Heizöl energetisch ersetzen können, würde für den Beispielbetrieb bei unterstelltem Ertrag von 10 t atro pro ha eine Fläche von 7,5 ha für die Wärmeversorgung des Sauenstalls benötigt. Diese Fläche zur Energieerzeugung steht somit in Konkurrenz zur Nahrungsmittel- oder Futtererzeugung. Die Erfahrung hat zudem gezeigt, dass gute Erträge auch nur auf guten Standorten erzielt werden. In 2018 wurden in Deutschland 6.600 ha Kurzumtriebsplantagen erfasst. Da der so erzeugte Energieträger den Holzhackschnitzeln entspricht, ist die Verbrennung weitestgehend problemlos.

Eine weitere Möglichkeit der Energieerzeugung auf landwirtschaftlicher Fläche ist der Anbau von Miscanthus. Dieses mehrjährige Gras erreicht nach einer Etablierungsphase ein Ertragsniveau von etwa 10 bis 20 t Trockenmasse pro ha. Bei der Ernte mit dem Maishäcksler ergibt sich bei der mittleren Lagerdichte des Häckselgutes von durchschnittlich 0,4 t pro m³ ein erheblicher Lagerbedarf. Wegen des etwas höheren durchschnittlichen Flächenertrages als bei den Kurzumtriebsplantagen könnte der Beispielstall mit etwa fünf Hektar Fläche thermisch versorgt werden.

Infolge der vergleichsweise geringen Schüttdichte und auch wegen der Brennstoffeigenschaften, die sich wesentlich vom Brennstoff Holz unterscheiden, resultiert die Notwendigkeit einer speziellen Verbrennungstechnik, welche in Form der sogenannten Biomassekessel am Markt verfügbar ist. 2018 wurden in Deutschland 4.600 ha Miscanthus registriert.

Ein immer wieder diskutierter Energieträger aus der landwirtschaftlichen Produktion ist das Stroh. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zum einen ausreichend Stroh für die Humusbilanz auf den Flächen verbleibt, der Bedarf an Einstreu für die Tierhaltung gedeckt werden muss, und nur die darüber hinaus zur Verfügung stehenden Mengen zur energetischen Nutzung relevant sind. Die Eigenschaften des Brennstoffs Stroh unterscheiden sich noch deutlicher vom Holz als die des Miscanthus. Ein hervorzuhebender Punkt ist dabei die Temperatur der Ascheerweichung. Während diese bei Holz 1.300 bis 1.400 °C beträgt, sind es bei Stroh und Miscanthus nur 900 bis 950 °C. Damit vor dem Hintergrund dieser Eigenschaft sowohl eine saubere Verbrennung als auch ein störungsfreier Betrieb gewährleistet werden, sind spezielle technische Anforderungen an den Kessel zu stellen.

Für die drei vorgestellten Energieträger von landwirtschaftlicher Fläche gilt zurzeit, dass die Auflagen hinsichtlich der Immissionen (1. BImSch VO 2010) und die derzeit vergleichsweise niedrigen Preise für fossile Energieträger die Etablierung dieser Technologien zur Wärmebereitstellung in den letzten Jahren auf ein Minimum haben reduzieren lassen.

Abschließend sollen noch die möglichen Wärmequellen Solarthermie und Wärmepumpe für diesen Beispielstall betrachtet werden. Der Einsatz von Wärmepumpen hat insgesamt betrachtet bei der Beheizung von landwirtschaftlichen Stallanlagen nur eine untergeordnete Bedeutung. Einige Betriebe arbeiten im Abferkelbereich mit Wärmepumpen. Vor dem Hintergrund der eingangs beschriebenen Zunahme der Eigenversorgung durch Fotovoltaikanlagen und den weiter sinkenden Kosten für Batteriespeicher kann auch die Wärmepumpe für spezielle Bereiche mit einem fast ganzjährigen, quasi einer Grundlast entsprechenden Wärmebedarf, eine Lösung sein. Dagegen ist die Wärmeversorgung im Spitzenlastbereich mit dieser Technologie deutlich ineffizienter. Ein Vergleich der Energieeffizienz des Heizsystems Wärmepumpe mit anderen Heizungssystemen kann über die Jahresarbeitszahl (JAZ) erfolgen. Die JAZ gibt das Verhältnis von zugeführter Energie und der tatsächlich erzeugten Heizwärme über die Dauer eines Jahres wieder. Je mehr kWh Wärme mit 1 kWh Strom erzeugt werden, umso effizienter und damit auch wirtschaftlicher kann die Wärmepumpe betrieben werden.

Bei der Solarthermie bleibt auch vor dem Hintergrund interessanter Förderprogramme und sich stetig weiterentwickelnder Technik die Grundproblematik bestehen, dass der Hauptwärmebedarf im Stall nicht in den Zeiten intensiver Sonneneinstrahlung besteht. Erschwerend kommt hinzu, dass die Dachflächen für die Installation einer solarthermischen Anlage mit denen einer Fotovoltaikanlage konkurrieren.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der landwirtschaftliche Betrieb eine breite Palette an möglichen Energiequellen zur Verfügung stellen kann. Neben verfahrenstechnischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten bleibt das zentrale Problem der Benennung des richtigen Energiebedarfs und diesen über der Zeitachse zuzuordnen. Hier fehlen Daten!

Literatur

1. BImSch VO (2010): Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen vom 26. Januar 2010 (BGBl. I S. 38), die zuletzt durch Artikel 2 der Verordnung vom 13. Juni 2019 (BGBl. I S. 804) geändert worden ist
- KTBL (2014a): Energiebedarf in der Milchviehhaltung, KTBL-Heft 104, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V
- KTBL (2014b): Energiebedarf in der Schweine- und Hühnerhaltung, KTBL-Heft 105, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V

Der Landwirt als Wärmelieferant: Entscheidungshilfen und Erfolgskriterien

WOLFRAM SCHÖBERL

C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing

Landwirtschaftliche Betriebe benötigen meist größere Mengen an Wärme, die in verschiedenen Gebäuden verbraucht werden. Der Gedanke liegt nahe, auch Gebäude der Nachbarschaft über ein Nahwärmenetz mitzuversorgen. Im Folgenden wird darauf eingegangen, unter welchen Rahmenbedingungen der Betrieb eines Wärmenetzes mit Hackschnitzelkessel und eventuell Holzvergasungsanlage sinnvoll ist und worauf in der Planungsphase geachtet werden muss.

Die Hauptkomponenten eines Wärmenetzes sind Leitungen, Hausübergabestationen sowie Steuerungs- und Regelungstechnik. Eine gute Auswahl sowie ein gutes Zusammenspiel dieser Komponenten sind mitentscheidend für möglichst geringe Netzverluste im späteren Betrieb. Netzverluste, also Abstrahlverluste der im Erdreich verlegten Wärmeleitungen, beeinflussen die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzes erheblich. Eine wichtige Kennzahl dafür ist die Wärmebelegungsichte. Dabei wird die jährlich im Netz verkaufte Wärmemenge ins Verhältnis zur Netzlänge gesetzt. Je niedriger die Wärmebelegungsichte ist, umso höher sind die relativen Verluste im Netz. Als Untergrenze wird üblicherweise $0,5 \text{ MWh/m} \cdot \text{a}$ angesehen. Ein weiterer wichtiger Aspekt in der Planung ist die passende Auslegung der Wärmeerzeuger. Werden z.B. Hackschnitzelkessel mit zu hohen Nennleistungen eingesetzt, führt das neben unnötig hohen Investitionskosten zu Effizienzverlusten und größeren Schadstoffemissionen im Betrieb. Bei der Dimensionierung muss mitberücksichtigt werden, ob das Wärmenetz zukünftig noch weiter ausgebaut werden soll, unnötige Überdimensionierungen sollten aber vermieden werden.

Die zentrale Versorgung von mehreren Gebäuden über ein Wärmenetz führt im Gegensatz zu einer Einzelversorgung zu einer signifikanten Wärmegrundlast. Unter gewissen Bedingungen kann es sinnvoll sein, eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage (KWK-Anlage) zu integrieren und neben Wärme auch Strom zu erzeugen. Da Holzvergasungsanlagen mit Hackschnitzeln betrieben werden können und auch in kleineren Leistungsklassen verfügbar sind, passen sie oft gut zu einem landwirtschaftlichen Betrieb. Dabei ist jedoch zu beachten, dass der Wartungsaufwand deutlich höher als bei einem Hackschnitzelkessel ist. Für Landwirte, die mit Motorentchnik vertraut sind, sollte das aber kein großes Hindernis darstellen. Die kleinste derzeit auf dem Markt erhältliche Anlage liefert 9 kW elektrische und 22 kW thermische Leistung bei einem elektrischen Wirkungsgrad größer 20 %. Besonders bei KWK-Anlagen ist die richtige Dimensionierung sehr wichtig. Hier liefert die Grundlast des Wärmenetzes den richtigen Anhaltspunkt, da KWK-Anlagen möglichst ganzjährig laufen sollten. Außerdem muss über einen ausreichend großen Pufferspeicher sichergestellt werden, dass die Anlage nur wenige Start-Stopp-Phasen im Jahr hat. Da der eingespeiste Strom nur mit knapp 13 Cent/kWh vergütet wird, ist für einen wirtschaftlichen Betrieb eine hohe Eigennutzung des erzeugten Stroms hilfreich.

Die Wirtschaftlichkeit eines Wärmenetzprojekts kann gut nach der Methodik der VDI-Richtlinie 2067 beurteilt werden. Dabei werden für ein durchschnittliches Jahr der Projektlaufzeit Kosten und Erlöse berechnet und daraus ein kalkulatorischer Jahresüberschuss ermittelt. Die Kosten werden in kapitalgebundene, bedarfsgebundene, betriebsgebundene und sonstige Kosten unterschieden. Diese Vorgehensweise eignet sich insbesondere zum Variantenvergleich, also zum Beispiel zum Vergleich eines Wärmenetzes mit einer reinen Eigenversorgung oder zum Vergleich von Varianten mit und ohne KWK-Anlage.

Wenn ein Landwirt als Wärmelieferant tätig werden will, sind auch einige rechtliche Aspekte zu beachten. Da durch den Wärmeverkauf zusätzliche Einnahmen entstehen, muss die Vorgehensweise auf jeden Fall mit dem Steuerberater abgestimmt werden. Ferner müssen mit den Kunden Wärmelieferverträge geschlossen werden, die mit der Verordnung über allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme (AVBFernwärmeV) konform sind. In die Verträge sollten Preisgleitklauseln integriert werden, die die reale Kostensituation des Wärmelieferanten abbilden. Der Preis setzt sich üblicherweise aus einem Grundpreis pro kW und einem Arbeitspreis pro kWh zusammen, dazu kann noch ein Messpreis für die Kosten der jährlichen Zählerablesung kommen. Wenn ein Landwirt nicht genügend Wald besitzt, um den benötigten Brennstoff selbst zu produzieren, ist es ratsam, einen längerfristigen Brennstoffliefervertrag abzuschließen. Nur so kann dann ein langjähriger wirtschaftlicher Betrieb sichergestellt werden.

Noch komplexer wird die Situation, wenn eine KWK-Anlage betrieben werden soll. In diesem Fall ist ein frühzeitiger Kontakt mit dem örtlichen Stromnetzbetreiber unerlässlich. Da im landwirtschaftlichen Umfeld davon ausgegangen werden kann, dass die elektrische Leistung der Anlage unter 150 kW liegt, ist eine Stromvergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) auch ohne Teilnahme an einer Ausschreibung sichergestellt. Für eigengenutzten Strom muss EEG-Umlage bezahlt werden, eine Ermäßigung auf 40 % ist möglich, wenn Erzeuger und Verbraucher personenidentisch sind. Daher sollte die KWK-Anlage von der (juristischen) Person betrieben werden, die auch vor Ort den höchsten Stromverbrauch hat. Das kann allerdings unter Umständen mit der steuerlichen Optimierung des Betriebs kollidieren.

Ein weiterer wichtiger Aspekt in der Planungsphase ist die Kommunikation mit den potenziellen Wärmekunden. Da sich diese durch einen Anschluss an das Wärmenetz langfristig an den Wärmelieferanten binden, ist der Aufbau eines Vertrauensverhältnisses unerlässlich. Voraussetzung dafür ist eine offene und ehrliche Kommunikation. Trotzdem sollten konkrete Wärmepreise nicht zu früh genannt werden, sondern höchstens Preisobergrenzen. Erst nach der Detailplanung sind genügend belastbare Daten vorhanden, um ein Preismodell zu entwerfen.

Viele Investitionen in einem Wärmenetzprojekt sind langfristiger Natur und können später nur sehr schwer geändert werden. Daher ist eine gute Planung ein wichtiger Erfolgsfaktor. Zur Unterstützung des Planenden in dieser wichtigen Phase hat C.A.R.M.E.N. e. V. im Jahr 2016 die Open-Source-Software „Sophena“ veröffentlicht. Sophena bietet die Möglichkeit, die technische und ökonomische Planung eines Wärmeversorgungsprojekts schnell und fundiert durchzuführen. Herzstück ist eine Kessel- und Pufferspeichersimulation, aus der Jahresdauerlinien und energetische Kennzahlen ermittelt werden. Dabei können neben Heizkesseln auch KWK-Anlagen und Wärmepumpen als Wärmeerzeuger berücksichtigt werden. Aufbauend auf diesen Berechnungen wird eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt. Weitere Ergebnisse sind unter anderem eine Treibhausgasbilanz und Effizienzkennzahlen des Projekts.

Mit Sophena wird eine Produktdatenbank zur Verfügung gestellt. Neben auf dem Markt erhältlichen realen Produkten sind dort auch von C.A.R.M.E.N. e. V. ermittelte „Standardprodukte“ enthalten, die für ihre jeweilige Produktklasse den Durchschnitt repräsentieren. Durch die Weiterentwicklungen der Version 2.0, die im April 2019 veröffentlicht wurde, ist Sophena noch flexibler einsetzbar. So können nun z. B. durch die Integration einer Schnittstelle zu Erzeugerlastgängen auch Solarthermieanlagen oder Abwärme von stromgeführten Biogas-BHKW betrachtet werden. Sophena kann nach einer Registrierung kostenlos von der Website von C.A.R.M.E.N. e. V. heruntergeladen werden.

EKoTech – Effiziente Kraftstoffnutzung der Agrartechnik

LUDGER FRERICHS

Technische Universität Braunschweig, Braunschweig

EKoTech, das ist die Abkürzung für das Verbundprojekt „Effiziente Kraftstoffnutzung in der Agrartechnik“. In diesem Forschungsprojekt wird der Kraftstoffbedarf in Verfahrensketten der Pflanzenproduktion und damit die Energieeffizienz des Maschineneinsatzes im landwirtschaftlichen Produktionsprozess umfassend wissenschaftlich untersucht. An dem vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) geförderten Projekt sind namhafte Hersteller, Forschungseinrichtungen und Verbände beteiligt.

Wesentliches Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, Optionen technologischer Maßnahmen zu definieren und zu analysieren, mit denen der Kraftstoffverbrauch in der Landwirtschaft verringert werden kann. Aufgrund des gewählten Ansatzes und der entwickelten Methoden kann das Potenzial bereits vorhandener und zukünftiger Technologien im Hinblick auf eine Verbesserung der Energieeffizienz und einer Verringerung von CO₂-Emissionen in unterschiedlichen Boden-Klima-Regionen quantifiziert werden. Die erarbeiteten Ergebnisse führen zu Handlungsempfehlungen für die Industrie, die Landwirtschaft und die Politik.

Die Ergebnisse des Projektes sind in einer vom VDMA herausgegebenen Broschüre zusammenfassend dargestellt. An dieser Stelle soll daraus das „Management Summary“ zitiert werden (Götz und Köber-Fleck 2019):

.....

Forschungsdesign

- Die EKoTech-Forscher haben 17 repräsentativ ausgewählte Landwirtschaftsbetriebe in Deutschland und Europa unter die Lupe genommen.
- Im Fokus der Untersuchung standen Maschinen und Prozesse für die Produktion von Weizen, Mais und Grünfutter.
- Mehr als 100 Experteninterviews, die mithilfe statistischer Untersuchungen validiert wurden, dienten der Datenerhebung.
- Über 2.500 Prüfberichte wurden ausgewertet und 120 Stunden Feldversuche wurden durchgeführt, um eine ausreichende Datenbasis für das Simulationsmodell zu ermöglichen.
- Ein komplexes mathematisches Simulationsmodell unterstützte die Definition und Bewertung der technologischen Effizienztreiber in mehr als 530 Simulationsdurchgängen.

Resultate

- Für den Zeitraum von 1990 bis 2030 prognostiziert das EKoTech-Team ein Einsparpotenzial der Kraftstoffverbräuche zwischen 35 und 40 Prozent.
- Eine hochkarätig besetzte Expertenrunde aus Industrie, Wissenschaft und Verbänden hat 27 konkrete, herstellerübergreifende Innovationen ausgewählt und sowohl qualitativ als auch quantitativ bewertet. Die Einsparpotenziale der einzelnen Innovationen liegen zwischen 2 und 42 Prozent.
- Die höchsten Kraftstoffverbräuche entstehen bei der Bodenbearbeitung und der Ernte von landwirtschaftlichen Produkten.
- 19 von 27 Einsparpotenzialen beziehen sich auf die Verfahrensschritte mit dem höchsten Kraftstoffverbrauch in der Produktionskette von landwirtschaftlichen Betrieben.
- Die höchsten Einsparungen können erreicht werden, indem die Verfahrensschritte der Grundbodenbearbeitung und der Aussaat miteinander kombiniert werden.

Zukunftsperspektiven

- Alternative Kraftstoffe und Antriebe, Fahrerassistenzsysteme und intelligente Formen des Maschinen- und Datenmanagements sind aktuelle Entwicklungsfelder und Potenzialträger für eine weitere Optimierung der landtechnischen CO₂-Bilanz, die das Fernziel der vollständigen Klimaneutralität stets im Auge behält.
- Der technologische Dreischritt reicht von der Assistenz über die Automation bis hin zur Autonomie. Daran arbeiten Industrie und Wissenschaft derzeit auf Hochtouren.

Politische Flankierung

- Gangbar ist dieser ambitionierte Effizienzpfad allerdings nur mit flankierenden politischen Maßnahmen; dazu gehören:
 - ... Investitionsanreize für klimafreundliche Landmaschinen und Traktoren
 - ... eine konsequente CO₂-Bepreisung, um die Attraktivität technologischer Innovationslösungen zu steigern
 - ... eine nachhaltige Forschungsförderungspolitik
 - ... Technologieoffenheit, damit sich die besten Lösungen im Innovationswettbewerb durchsetzen können
 - ... bildungspolitische Maßnahmen für einen beschleunigten Know-how-Transfer
 - ... kommunikationspolitische Kampagnen, um Akzeptanz für die Energiewende im Agribusiness zu schaffen

...“

Das Vorgehen unter Entwicklung und Nutzung eines ganzheitlichen Simulationsansatzes ist in Abbildung 1 dargestellt. Als Grundlage für die weitere Betrachtung wird eine Datenbasis geschaffen, welche die charakteristischen Daten der Modellbetriebe zu Anbauverfahren und eingesetzten Maschinen enthält. Enthalten sind auch die Entwicklungen der Energiebedarfe und Kraftstoffverbräuche seit 1990 sowie die bereits seit dieser Zeit verfügbaren herstellerübergreifenden Einsparpotenziale.

Dieses nutzend werden die Maschinen- und Verfahrensmodelle sowie ein Gesamtmodell entwickelt. Mit den Daten des KTBL und unter Einbezug von Experten der Praxis werden die Ergebnisse der Modellrechnungen plausibilisiert. Die Modellrechnungen ergeben damit valide betriebsbezogene und ertragsbezogene Kraftstoffbedarfe je Tonne Ertrag für verschiedene Verfahrensketten, Einzelinnovationen und Maschineneinstellungen.

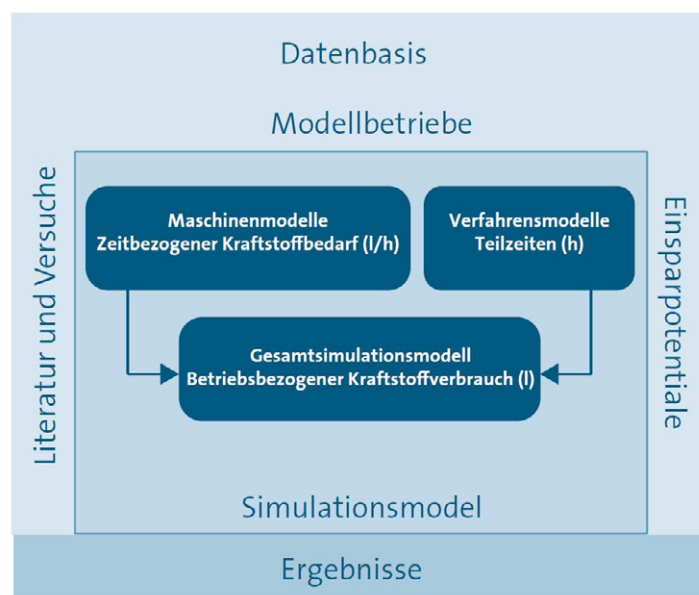


Abb. 1: Methodischer Ansatz für die Modellrechnungen (Götz und Köber-Fleck 2019)

In großem Umfang wurden insbesondere von den Herstellern die möglichen Maßnahmen für die Effizienzsteigerung zusammengetragen. Diese wurden nach diversen Kriterien, nicht zuletzt nach zeitlicher Umsetzbarkeit, geclustert. Die Top 10 der Maßnahmen mit den ermittelten ertragsbezogenen Kraftstoffeinsparpotenzialen zeigt Abbildung 2.

	Technologie	Einsparpotential
1	Kombinierte Grundbodenbearbeitung und Aussaat	42 Prozent
2	Stoppelbearbeitung mit Kurzscheibenegge	30 Prozent
3	ECO-Zapfwelle	20 Prozent
4	Steuerbare Arbeitshydraulik – „Volumenstrom nach Maß“	14 Prozent
5	Zugkraftverstärker	10 Prozent
6	Einsatzgerechte Typenwahl – Leichtbau, Ballastierung, Reifendruck	9 Prozent
7	Automatische Maschinenoptimierung mit Mess- u. Regeltechnik (MD)	5 Prozent
8	Leistungssteigerung	5 Prozent
9	Niedrigdrehzahlkonzept	5 Prozent
10	Effizient gesteuerte Nebenaggregate	5 Prozent

Abb. 2: Top 10 der effizienzsteigernden Maßnahmen mit den ertragsbezogenen Kraftstoffeinsparpotenzialen (Götz und Köber-Fleck 2019)

Die Ergebnisse des Projektes EKoTech zeigen auf, dass für den Landwirt bereits umfangreiche Möglichkeiten bestehen, die Effizienz in der Produktionskette der Pflanzenproduktion zu verbessern. Für die Hersteller stellt sich die Herausforderung, aber auch die Möglichkeit, diesen „Instrumentenkasten“ um wirksame Maßnahmen zu ergänzen. Die Politik kann und muss dieses mit ihren Mitteln unterstützen.

Literatur

- Decker, M. (2017): Effiziente Kraftstoffnutzung in der AgrarTechnik – EKoTech. In: Hg. Frerichs, L.: Jahrbuch Agrartechnik 2016. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge. <http://publikationsserver.tu-braunschweig.de/get/64166>, Zugriff am 19.2.2020
- Fleck, B.; Hanke, S. (2015): CO₂ quantification for agricultural machinery in the EU. In: Proceedings – Efficiency of Mobile Machines and their Applications – A Contribution to the Reduction of GHG – Symposium at the Institute of Mobile Machines and Commercial Vehicles – 10th/11th March 2015 in Braunschweig. <http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00059308>, Zugriff am 19.2.2020
- Frerichs, L.; Hanke, S.; Steinhaus, S.; Tröskén, L. (2017): EKoTech – A Holistic Approach to Reduce CO₂ Emissions of Agricultural Machinery in Process Chains. SAE Technical Paper 2017-01-1929. <https://doi.org/10.4271/2017-01-1929>
- Götz, C.; Köber-Fleck, B. (2019): Mehr Ertrag, weniger CO₂ – Diesel sparen mit innovativer Landtechnik. Broschüre VDMA Landtechnik 2019. <https://lt.vdma.org/viewer/-/v2article/render/45894767>; Zugriff am 25.1.2020
- Hanke, S.; Tröskén, L.; Frerichs, L. (2018): Entwicklung und Parametrierung eines objektorientierten Modells zur Abbildung von landwirtschaftlichen Verfahrensschritten. LANDTECHNIK 73(2). <https://doi.org/10.1515/lt.2018.3179>
- Nacke, E. (2013): CO₂- und energieeffiziente Landtechnik – Konflikt oder Lösungsbeitrag zur Erreichung der EU-Ziele? In: Energieeffizienz der Landtechnik – Potenziale zur CO₂ Reduktion – Symposium am Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge am 12. und 13. März 2013 in Braunschweig. <http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00059314>, Zugriff am 19.2.2020

Erneuerbare (Bio-)kraftstoffe – Status und Perspektiven

FRANZISKA MÜLLER-LANGER¹, KATHLEEN MEISEL¹, KARIN NAUMANN¹, MARKUS MILLINGER²

¹ DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH, Leipzig

² Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ, Leipzig

1 Einleitung

Der Verkehrssektor steht vor besonderen Herausforderungen in der Umsetzung von nachhaltiger und klimafreundlicher Mobilität. Die Renewable Energy Directive II (RED II) setzt seitens der EU einen Rahmen für den Ausbau von nachhaltigen erneuerbaren Energien. Der Beitrag zeigt auf, welche Kraftstoffoptionen perspektivisch eine Rolle spielen und wie diese technisch einzuordnen sind, aber auch inwiefern sie das Potenzial haben wettbewerbsfähig in Bezug auf Kosten und THG-Emissionen zu sein. Dabei ist keine Kraftstoffoption per se gut oder schlecht. Darüber hinaus werden beispielhafte Szenarien für die Umsetzung der RED II bzw. das Klimaschutzziel im Verkehr in Deutschland vorgestellt.

2 Hintergrund

Der jüngste Sonderbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) mahnt einmal mehr entschlossenes Handeln für einen Paradigmenwechsel insbesondere im Energiesektor, dem Verkehr und der Landwirtschaft an, um die vereinbarten Pariser Klimaziele zu erreichen. Ein Schlüssel hierfür liegt in der drastischen Reduzierung des Energieverbrauchs bei gleichzeitig massiver Erhöhung des Anteils nachhaltiger erneuerbarer Energieträger. Dies erfordert in den nächsten Jahren in weiten Bereichen eine technologische Revolution.

Der Verkehrssektor ist mit besonderen Herausforderungen konfrontiert, um Mobilität nachhaltig und klimaschonend zu ermöglichen. Hier steht Deutschland derzeit: Die Anzahl der Pkw ist von 2010 bis 2018 um 13 % auf ca. 47,1 Millionen gestiegen (davon ca. 0,1 % Elektrofahrzeuge, 0,2 % Erdgasfahrzeuge und 0,5 % Hybridfahrzeuge). Bei den Nutzfahrzeugen stieg der Fahrzeugbestand im selben Zeitraum um 24 % auf 5,4 Millionen Lastkraftwagen und Zugmaschinen. Die Gesamtfahrleistung wuchs allein von 2010 bis 2016 um 9 % auf ca. 770 Milliarden Kilometer. Im selben Zeitraum verbrauchte der Verkehrssektor ein Mehr an Gesamtenergie von 5 % auf 2.696 PJ (davon ca. 4 % Biokraftstoffe und 1,5 % elektrischer Strom). Dies ging einher mit um 8 % auf 167 Millionen Tonnen gestiegenen CO₂-Emissionen (gegenüber 1990 sind dies 2 % mehr) und dies, obwohl 7 Millionen Tonnen (4 %) CO₂ durch den Einsatz von nachhaltigen Biokraftstoffen mit einer mittlerweile durchschnittlichen spezifischen THG-Minderung von 81 % eingesetzt wurden. Eine Umkehr dieser Wachstumstendenzen, wie sie zwingend erforderlich wäre, ist nicht absehbar. Deutschland hat sich zu folgenden Zielen im Verkehrssektor verpflichtet: (1) Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien auf 10 % bis 2020, (2) Reduzierung des Endenergieverbrauchs um 10 % bis 2020 und 40 % bis 2050 (jeweils gegenüber 2005), (3) 4 bzw. 6 % Treibhausgasminderung (CO₂-Äquivalente) der in Verkehr gebrachten Energieträger ab 2017 bzw. 2020, (4) Reduzierung der THG-Emissionen um 40 bis 42 % bis 2030 (gegenüber 1990). Hinzu kommen verbindliche Vorga-

ben für fahrzeugseitige CO₂-Emissionen sowie Standards für limitierte und nicht limitierte Schadstoffemissionen für die verschiedenen Verkehrsträger (Naumann et al. 2019).

Einen wichtigen Rahmen für Klimaschutz und erneuerbare Energien im Verkehr stellt die Ende 2018 auf EU-Ebene verabschiedete RED II dar, deren konkrete nationale Umsetzung in Deutschland noch aussteht. Randbedingungen der RED II sind u. a. 14 % erneuerbare Energien im Verkehr bis 2030, dabei maximal 7 % konventionelle Biokraftstoffe bei gleichzeitig steigenden Anteilen von fortschrittlichen Kraftstoffen auf 3,5 %, 65 % spezifische Mindest-THG-Minderung bei gleichzeitiger Anhebung des fossilen Referenzwertes und die Möglichkeit von Mehrfachanrechnungen. Deutschland hätte die Möglichkeit, über die in der RED II gesetzten Ziele hinauszugehen, wird dies augenscheinlich jedoch nicht verfolgen (Naumann et al. 2019).

3 Technische Optionen und deren Einordnung

Der Anteil erneuerbarer Energieträger im Verkehr wird heute in erster Linie über biomassebasierte Kraftstoffe realisiert. Als Biokraftstoffe der heutigen (oder auch ersten) Generation gelten konventionelle Biokraftstoffe, die bereits in bedeutenden Mengen am Markt verfügbar sind. Ihr Technologiereifegrad (TRL/FRL) liegt bei 9. Die wichtigsten Biokraftstoffe sind Bioethanol aus zucker- und stärkehaltigen Pflanzenteilen (z. B. Zuckerrohr, Zuckerrübe, Getreide, Mais), Biodiesel/FAME (Fatty acid methyl ester) sowie in zunehmendem Maße HVO (hydrotreated vegetable oils) bzw. HEFA (hydrotreated esters and fatty acids), also mit Wasserstoff (hydro-) behandelte biogene Öle (maßgeblich Pflanzenöle aus Raps, Palm und Soja, Altspeiseöle/-fette oder tierische Öle/Fette) sowie Ester und Fettsäuren. In Deutschland spielt zudem reines (Raps-)Pflanzenöl als Kraftstoff eine, wenn auch derzeit stark abnehmende, Rolle. Zudem kommt Biomethan aus Biogas als Kraftstoff zum Einsatz, wenngleich in geringen Mengen. Die Produktionstechniken für Biokraftstoffe der heutigen Generation sind ausgereift und etabliert. Bei der Produktion dieser Biokraftstoffe auf pflanzlicher Basis fallen in der Regel Koppel-/Nebenprodukte an, die als Tierfutter, in der chemischen Industrie, als Düngemittel oder zur weiteren Energieerzeugung dienen können. Europaweit bestehen derzeit Produktionskapazitäten im Umfang von ca. 1.500 PJ/a, in Deutschland sind es mehr als 200 PJ/a (Naumann et al. 2019).

Als Biokraftstoffe der zukünftigen (oder auch zweiten und dritten) Generation werden Biokraftstoffe bezeichnet, deren Technologie zur Herstellung zwar theoretisch und teils in Pilot- und Demonstrationsanlagen bzw. in wenigen Anlagen im kommerziellen Umfeld verfügbar ist, die aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen (z. B. ökonomische) allerdings noch nicht im großen Umfang kommerziell produziert werden. Hierzu zählen z. B. Bioethanol und synthetische Kraftstoffe (wie Biomass to Liquid) auf der Basis fester Biomasse oder Abfall- und Reststoffen.

Biokraftstoffe entstammen unterschiedlichsten Produktionssystemen, die jedoch in der Regel die gekoppelte Bereitstellung von mehreren Produkten beinhalten. Weiterhin wurden Nachhaltigkeitsstandards und Zertifizierungssysteme in der Praxis implementiert; beide sind mittlerweile fester Bestandteil im Marktsystem. Die Erweiterung der Anwendung auf andere Energieträger aus Biomasse und anderen erneuerbaren Ressourcen (beispielsweise mit Bezug auf strombasierte Produkte) können hier einen entscheidenden Baustein für weiteren Klimaschutz liefern. Die schrittweise Weiterentwicklung von Bioraffinerien bietet beispielsweise ein großes Potenzial, die begrenzte Biomasse zielgerichtet für die Bereiche einzusetzen, wo durch Strom aus erneuerbaren Quellen

bisher nur sehr kostspielige Lösungen parat stehen. Entsprechende technische Weiterentwicklungen und Innovationen sind dafür unerlässlich. Bis dato nur unzureichend betrachtet sind die auf dem Weg hin zur erforderlichen klimaneutralen Kreislaufwirtschaft verbundenen Anforderungen an sogenannte „Null-Emissions-Technologien“, d.h. Synergien und integrative Ansätze, die sich aus dem Zusammenspiel der einzelnen erneuerbaren Edukte und Produkte ergeben. Dabei spielt die Unterstützung des Einstiegs in die Sektorenkopplung nicht nur für die Energiewende im Stromsektor eine wichtige Rolle, sondern auch in der Vernetzung mit dem Verkehrs- und stofflichen Sektor, wenn es gelingt, effiziente und perspektivisch wettbewerbsfähige sogenannte SynBioPTx-Produkte aus biomasse- und strombasierten Ausgangsstoffen für die stoffliche und energetische Verwertung auf den Weg zu bringen (Müller-Langer et al. 2016).

Bezüglich der Kraftstoffgestehungskosten der unterschiedlichen Optionen ergeben sich abhängig vom Technologiereifegrad, den standortspezifischen Anlagenkonzepten und damit verbundenen Kosten für Investition, Edukte und Anlagenbetrieb sowie der verwendeten Methodik bei der Kostenrechnung teils große Bandbreiten, die vom hohen einstelligen bis niedrigen dreistelligen Werten reichen. Diese geben daher nur eine Indikation, wo einzelne Optionen hinsichtlich ihrer Gestehungskosten einzuordnen sind. In der Regel sind neben den Investitionen die Rohstoffkosten respektive die häufig an Rohstoffpreise gekoppelten Preise für Koppel-/Nebenprodukte die entscheidenden Einflussgrößen. Die derzeitigen Preisniveaus für Biokraftstoffe, die innerhalb der in Deutschland geltenden THG-Quote (gemäß BImSchG) eingesetzt werden, liegen in einer Größenordnung von 22 bis 30 EUR/GJ für Bioethanol, 35 bis 40 EUR/GJ für Biodiesel/FAME (Naumann et al. 2019, Müller-Langer et al. 2016).

Erneuerbare Kraftstoffe können nur dann am Markt wettbewerbsfähig sein, wenn sie neben günstigen Kraftstoffgestehungskosten auch gesetzlich verankerte Nachhaltigkeitskriterien erfüllen und eine günstige THG-Bilanz mit hohen THG-Minderungen gegenüber der fossilen Referenz aufweisen. Analog zu den Kosten für Kraftstoffe ergeben sich für die Gegenüberstellung der Treibhausgasemissionen ebenso große Bandbreiten, die maßgeblich durch unterschiedliche Technologiereifegrade und je nach Option verschiedene standortspezifische Anlagenkonzepte beeinflusst werden. Dabei ist keine der Optionen per se besonders THG-freundlich oder nicht. Für alle (Neu-)Anlagen bindend ist, dass sie gemäß RED II nicht nur die Einhaltung von Nachhaltigkeitskriterien nachzuweisen haben, sondern gegenüber der fossilen Referenz mindestens 65 % THG einsparen müssen. Deutlich höhere THG-Minderungen werden bereits heute durch die im Rahmen der THG-Quote eingesetzten Biokraftstoffe erzielt. Sie lagen im Jahr 2017 in einer durchschnittlichen Größenordnung von 65 % für HVO/HEFA, 81 bis 83 % für Biodiesel/FAME und Bioethanol und 91 % für Biomethan/Biogas. Perspektivisch werden mit zunehmenden erneuerbaren Anteilen im Gesamtenergiesystem per se alle Optionen zunehmend THG-freundlicher (Naumann et al. 2019, Müller-Langer et al. 2016).

4 Beispielhafte Szenarien für erneuerbare Kraftstoffe in Deutschland

Jüngste Untersuchungen des DBFZ und UFZ zu Szenarien für die Entwicklung des Anteils von Biokraftstoffen und erneuerbaren Energieträgern am Endenergieverbrauch im Verkehr zeigen, dass im Fall der Umsetzung der RED-II-Ziele in Deutschland realistisch nur etwa 5 % an THG bis 2030 reduziert würden und im Fall der erfolgreichen Erreichung von 40-%-THG-Reduzierung bis 2030 nahezu alle nachhaltigen erneuerbaren Optionen zum Einsatz kommen müssen.

Untersucht wurden mögliche Auswirkungen der europäischen und nationalen Vorgaben auf die Ausgestaltung der deutschen THG-Quote. Basierend auf umfangreichen Daten verschiedener aus heutiger Sicht relevanten erneuerbaren Kraftstoffoptionen wurden im BioENERgieOPTimierungsmodell (BENOPT) unterschiedliche Szenarien für die Entwicklung der Energiebereitstellung bis zum Jahr 2030 modelliert (Millinger et al. 2019, Millinger 2019). Dabei fanden die Vorgaben der RED II (u. a. 7-%-Limitierung von konventionellen Kraftstoffen aus Rohstoffen, die auch den Nahrungs- und Futtermittelsektor bedienen können, Mindestquote für fortschrittliche Kraftstoffe, Mehrfachanrechnung für fortschrittliche Biokraftstoffe, Altspeise- und tierische Fette basierte Kraftstoffe, Stromnutzung auf Straße und Schiene), der in Deutschland geltenden Rahmenbedingungen (u. a. Ziele für Elektromobilität, Beschränkung der Anbaufläche in Deutschland für Energiepflanzen auf 2 Mio. ha) und ebenso kraftstoffbezogene Regelungen (z. B. Limitierungen der volumenbezogenen Beimischungen von erneuerbaren Kraftstoffen zu den fossilen Kraftstoffen unter Einhaltung der geltenden Kraftstoffstandards) Berücksichtigung. In die Modellierung einbezogen wurden auch die verfügbaren technischen Biomassepotenziale sowie teilweise Importe von Biomasse/Kraftstoffen, eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien im Strommix, eine Erhöhung des Gasanteils im Verkehr auf 3 % in 2030 sowie die Annahmen von nicht steigenden Rohstoff-, Hilfsstoff- und Nebenproduktpreisen. Im Modell erfolgte ein kostenminimierter Kraftstoffeinsatz, um die THG-Minderungsziele zu erfüllen, was einer Minimierung der THG-Vermeidungskosten entspricht, die hier als vereinfachter Indikator für die Wettbewerbsfähigkeit der Optionen untereinander dienen (Müller-Langer et al. 2019).

Die untersuchten Szenarien zeigen, dass bei strikter Umsetzung der RED-II -Mindestvorgaben in Deutschland bei kaum verändertem Endenergieverbrauch und gleichzeitigem Wachstum des Anteils an gasförmigen Kraftstoffen im Verkehr die 14 % erneuerbare Energien bis 2030 zu einer THG-Quote in einer Größenordnung von ca. 5 % führen würden, was noch nicht einmal der derzeit für 2020 bindenden THG-Quote von 6 % entspräche. Realisiert würde dies maßgeblich über Biomethan aus biogenen Rest- und Abfallstoffen sowie über konventionelles Bioethanol und in abnehmenden Anteilen über Dieselkraftstoffe auf der Basis von Altspeiseöl-/fetten (Müller-Langer et al. 2019).

Soll es gelingen, das Klimaziel von mindestens 40 % CO₂-Reduzierung im Verkehr bis 2030 zu erreichen, so zeigt ein weiteres Szenario, dass dies grundsätzlich gelingen kann, jedoch nur, wenn zum einen der Endenergieverbrauch stark reduziert wird und alle erneuerbaren Energieträger – d. h. neben sämtlichen konventionellen und fortschrittlichen Biokraftstoffen auch auf erneuerbarem Strom basierte PTx-Kraftstoffe – zum Einsatz kommen. Dafür bedarf es dringend der Schaffung von Randbedingungen, die den Bau und wettbewerbsfähigen Betrieb von kommerziellen Anlagen insbesondere für fortschrittliche und strombasierte Kraftstoffe (auch in Deutschland) ermöglichen (Müller-Langer et al. 2019).

Literatur

- Millinger, M.; Meisel, K.; Thrän, D. (2019): Greenhouse gas abatement optimal deployment of biofuels from crops in Germany Transport. Res. Part D-Transport. Environ. 69, pp. 265–275, <https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.02.005>
- Millinger, M. (2019): BioENergyOPTimisation model (Version 1.0). Zenodo, <http://doi.org/10.5281/zenodo.2812986>
- Müller-Langer, F.; Meisel, K.; Naumann, K. (2019): Importance of biofuels within the Renewable Energy Directive (RED II) as a contribution to climate protection in transport. 16th International Conference on Renewable Mobility, 21.01.2019, CityCube Berlin
- Müller-Langer, F.; Dietrich, R.-U.; van de Krol, R.; Arnold, K.; Harnisch, F. (2016): Erneuerbare Kraftstoffe für Mobilität und Industrie. FVEE-Themen
- Naumann, K.; Schröder, J.; Oehmichen, K.; Etzold, H.; Müller-Langer, F.; Remmele, E.; Thuneke, K.; Raksha, T.; Schmidt, P. (2019): Monitoring Biokraftstoffsektor. DBFZ-Report Nr. 11, Leipzig, DBFZ

Biodiesel, Rapsöl und Methan als Kraftstoff für Traktoren

EDGAR REMMELE¹, HENNING ECKEL²

¹Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing

²Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt

In der Land- und Forstwirtschaft werden jährlich rund 2 Mrd. Liter beziehungsweise 1,7 Mio. Tonnen Kraftstoffe für Dieselmotoren verbraucht. Der Anteil an Dieselmotorkraftstoff betrug dabei im Mittel der Jahre 2014 bis 2017 rund 99,9 %, der Anteil der Reinkraftstoffe Biodiesel und Pflanzenöl in Summe 0,1 % (eigene Berechnungen nach Statistiken der Generalzolldirektion IV). Der jährliche Energieverbrauch durch den Kraftstoffeinsatz in der Land- und Forstwirtschaft stieg bis 2014 an und stagniert seitdem bei rund 74 PJ. Der gesamte Dieselmotorkraftstoffverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland lag 2017 bei rund 43 Mrd. Liter (BMVI 2019). Der Anteil der Land- und Forstwirtschaft beträgt damit rund 5 %. Durch den Kraftstoffeinsatz in der Land- und Forstwirtschaft werden jährlich rund 7 Mio. Tonnen Treibhausgase (Well-to-Wheel, unter Berücksichtigung der CO₂-Emissionen durch die Verbrennung des Kraftstoffs, der Emissionen die durch Ölförderung, Kraftstoffherstellung und -transporte entstehen; Emissionsfaktor von 94 g/MJ CO₂eq für Dieselmotorkraftstoff) emittiert. 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.

Durch die Senkung des Kraftstoffverbrauchs und den Einsatz von Dieselsubstituten könnte bereits zum Meilenstein 2030 ein bedeutsamer Beitrag zur Erreichung der im Klimaschutzgesetz (KSG 2019) festgelegten Treibhausgasemissionsziele für die Landwirtschaft, nämlich einer Reduktion um 14 Mio. Tonnen CO₂eq (ausgehend vom Emissionsniveau 2016) geleistet werden. Die Treibhausgasemissionen aus der Kraftstoffnutzung 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, VDMA 2019).

Als alternative Antriebskonzepte stehen heute bereits mehrere praxisnahe Optionen zur Verfügung: Biodiesel, Rapsöl- bzw. Pflanzenölkraftstoff und regeneratives Methan (CNG) als Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren und regenerativer Strom in batterieelektrischen Antriebssystemen.

Biodiesel

Fettsäuremethylester bzw. Biodiesel (DIN EN 14214) wird meist durch chemische Umesterung von pflanzlichen Ölen hergestellt (Kaltschmitt et al. 2016). Als Rohstoffe kommen Rapsöl, Sojaöl, Sonnenblumenöl, Palmöl und Altspeiseöle zum Einsatz. Während die Nutzung von Altspeiseölen (Used Cooking Oils, UCO) in der gesellschaftlichen Diskussion hohe Akzeptanz erfährt, ist die Nutzung von Palmöl als Rohstoff für die Kraftstoffproduktion stark umstritten. Die Treibhausgasbilanz von Biodiesel ist wesentlich vom eingesetzten Rohstoff beeinflusst. Bei der chemischen Umesterung werden Triglyceride mit Methanol unter Einsatz von Katalysatoren zu Fettsäuremethylester und Glycerin umgesetzt.

Die Umesterung ist dabei eine Maßnahme, das Pflanzenöl, das sich zum Beispiel im Viskositäts- und Siedeverhalten deutlich von Dieseldieselkraftstoff unterscheidet, den Eigenschaften von Dieseldieselkraftstoff anzupassen. Die auf das Volumen bezogene Energiedichte ist im Vergleich zu Dieseldieselkraftstoff um etwa 9 % geringer. Die motorische Nutzung von Biodiesel (B100) wurde in umfangreichen Flottenversuchen mit Traktoren in mehrjährigem Einsatz unter Praxisbedingungen ab Mitte der 1980er-Jahre in Österreich und Deutschland untersucht. In den 1990er-Jahren bis etwa 2008 übernahmen viele Hersteller für ihre Traktoren auch Garantieleistungen für den B100-Betrieb; für Landwirte ein wichtiges Kaufargument. Anfängliche Probleme mit Materialunverträglichkeiten und damit verbundenen Kraftstoffleckagen wurden schnell beseitigt. Die zunehmende Verschärfung der Emissionsgrenzwerte bei Dieselmotoren hat auch im Non-Road-Bereich dazu geführt, dass Dieselmotorsysteme ab der EU-Abgasstufe IIIA mit Hochdruckeinspritzsystemen und Abgasnachbehandlungstechnologien, wie Abgasrückführung, Katalysatoren und Partikelfilter, ausgerüstet werden müssen. Die Abgasnachbehandlung hatte neben der Einhaltung der gesetzlich limitierten Abgasgrenzwerte den Effekt, dass unangenehme Gerüche („Pommesbude“) bei der Verbrennung von Biodiesel (wie auch bei Pflanzenölkraftstoff) nahezu komplett beseitigt wurden. Technische Herausforderungen entstanden bei der späten Nacheinspritzung von Kraftstoff zur Regenerierung des Rußpartikelfilters aufgrund des zu Dieseldieselkraftstoff abweichenden Siedeverhaltens von Biodiesel. Aufgrund veränderter ökonomischer und politischer Rahmenbedingungen, aber auch aufgrund der rückläufigen Herstellerfreigaben ging die Nutzung von B100 zurück. Hingegen fand Biodiesel vermehrt Verwendung als Beimischungskomponente in Dieseldieselkraftstoff „B7“. In Deutschland kam es in den letzten zehn Jahren zu einem starken Rückgang der B100-Tankstellen. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts „Betriebsverhalten von Industrie- und Landtechnikmotoren der Abgasstufe EU COM IV im Biodieselerbetrieb“ (Schümann et al. 2017) haben gezeigt, dass auch die neueste Motorgeneration mit B100 Kraftstoff betrieben werden kann. Dies führte zu einer Freigabe des TCD-Motorenprogramms der EU-Stufe IV für Fettsäuremethylester (B100) durch den Hersteller Deutz AG.

Biodiesel kann bedenkenlos in vielen älteren Bestandsmaschinen eingesetzt werden, da häufig noch herstellereitige Freigaben vorliegen, und kann dadurch sofort einen Beitrag zur Minderung der Treibhausgasemissionen aus der Kraftstoffnutzung im Sektor Landwirtschaft leisten. Das Verfahren der Biodieselerstellung ist ausgereift und Qualitätssicherungssysteme sind etabliert. Eine regionale Bereitstellung des Kraftstoffs aus dezentralen Anlagen ist machbar, derzeit sind allerdings keine Kleinanlagen in Betrieb. Biodiesel wird europaweit als Beimischung zu Dieseldieselkraftstoff genutzt und es existieren hohe Produktionskapazitäten. Ein Koppelprodukt der Biodieselerzeugung ist Glycerin, das je nach Aufbereitung von Roh- bis Pharmaglycerin für unterschiedliche Nutzungen nachgefragt wird. Werden Altspisefette als Rohstoff eingesetzt, sind hohe Treibhausminderungspotenziale über 90 % im Vergleich zu Dieseldieselkraftstoff möglich. Bei der Nutzung heimischer Ölsaaten, wie zum Beispiel Raps oder Sonnenblume, entstehen bei der Ölgewinnung als Koppelprodukt wertvolle Eiweißfuttermittel, die Sojaimporte ersetzen können. Die Handhabung von Biodiesel und die Bevorratung in Hoftankstellen sind unproblematisch. Aufgrund der besseren Umweltverträglichkeit im Vergleich zu Dieseldieselkraftstoff leistet Biodiesel einen Beitrag zum vorbeugenden Boden- und Gewässerschutz. Die Kraftstoffkosten sind unter Berücksichtigung der Steuerbefreiung mit Dieseldieselkraftstoff zu vergleichen. Biodiesel wie auch Pflanzenöl- oder Rapsölkraftstoff auf Basis pflanzlicher Öle, die als Nahrungsmittel dienen können, sind möglicherweise nach 2020 nicht mehr förderfähig.

Rapsölkraftstoff und Pflanzenölkraftstoff

Pflanzenöl- oder Rapsölkraftstoff wird in industriellen Ölmühlen durch mechanisches Abpressen bei hohen Temperaturen, Lösungsmittelextraktion und Raffination oder in dezentralen Ölmühlen durch schonende Kaltpressung und Nachbehandlung zur Reduzierung unerwünschter Elementgehalte erzeugt (Kaltschmitt et al. 2016, Remmele 2009).

Die Verwendung von Rapsöl- bzw. Pflanzenölkraftstoff als Dieselsubstitut in land- und forstwirtschaftlichen Maschinen ist vergleichsweise weit entwickelt und hat punktuell in die Praxis Einzug gehalten. Überwiegend wird Rapsölkraftstoff nach DIN 51605, seltener Sonnenblumenöl-, Sojaöl- oder auch Pflanzenölmischkraftstoff, z.B. mit Leindotteröl, gemäß DIN 51623 eingesetzt. Die Nachfrage nach Rapsölkraftstoff war in der Vergangenheit stark abhängig von der Kostenspreizung zwischen Pflanzenöl- und Dieselmotorkraftstoff. Mit rund 840.000 t Pflanzenölkraftstoff wurden in Deutschland im Jahr 2007 die bisher größten Mengen abgesetzt. Mehrere Forschungsvorhaben, darunter auch umfangreiche Flottentests (z.B. Ettl et al. 2019) beschäftigten sich seit 1990, bedingt durch die fortentwickelte Abgasgesetzgebung, mit Fragen des Betriebs- und Emissionsverhaltens der unterschiedlichen Motorgenerationen und den Umweltwirkungen (z.B. Dressler et al. 2016). Aufgrund der chemischen und physikalischen Eigenschaften von Rapsöl- bzw. Pflanzenölkraftstoff kann dieser Kraftstoff nicht ohne Anpassungen in auf Dieselmotorkraftstoff optimierten Motorsystemen eingesetzt werden. Die erforderlichen Anpassungen umfassen zum Beispiel das Niederdruckkraftstoffsystem, die Motorsteuerung und die Abgasnachbehandlung. Einen technologischen Überblick geben KTBL (2009) und Ettl et al. (2016). Ein Lösungsansatz, um das ungünstige Tieftemperaturverhalten von Pflanzenölkraftstoff zu umgehen ist, einen zweiten Kraftstoff, in der Regel Dieselmotorkraftstoff, in geringer Menge mitzuführen. Dieser wird zum Start, bei ungünstigen Betriebszuständen, wie z.B. lange Leerlaufphasen, sowie zum Spülen des Kraftstoffsystems vor dem Abstellen des Motors eingesetzt. Der Technologiesprung mit der Einführung der Common-Rail-Einspritztechnik (CR) ermöglicht auch bei Kaltstart sowie bei ungünstigen Betriebszuständen Pflanzenöl als Kraftstoff uneingeschränkt einzusetzen. Dominierten seit den 1990er-Jahren bis 2010 viele Anbieter von Umrüstkonzepten für Dieselmotoren den Markt, wurden ab 2008 auch direkt von den Landmaschinenherstellern John Deere, AGCO Fendt und Same Deutz-Fahr Traktoren der Abgasstufe IIIA, IIIB und auch IV ohne Einschränkungen bei Garantie und Gewährleistung angeboten. Die Nachfrage nach pflanzenöлтаuglichen Traktoren wie auch nach Biodieseltraktoren ist jedoch seit 2008 deutlich zurückgegangen, da gegenüber der Dieselmotorkraftstoffnutzung der Biokraftstoffeinsatz ökonomisch nicht permanent konkurrenzfähig ist.

Die Praxiserfahrungen mit entsprechend adaptierten Traktoren im Rapsölbetrieb waren durchweg positiv. Die Maschinen zeichneten sich durch eine hohe Zuverlässigkeit aus. Störungen beschränkten sich meist auf das Niederdruckkraftstoffsystem oder die Sensorik. Common-Rail-Injektoren waren auch nach über 6.000 Betriebsstunden Einsatzzeit voll funktionsfähig. Der Wirkungsgrad der Motoren ist auch über einen längeren Zeitraum stabil und auf vergleichbarem Niveau wie im Betrieb mit Dieselmotorkraftstoff. Anhand regelmäßiger Motorölanalysen konnte ein verschleiß- und wartungsarmer Betrieb der Traktoren mit CommonRailEinspritztechnik nachgewiesen werden. Der Kraftstoffmehrerverbrauch bei gleicher Leistung entspricht dem Heizwertunterschied zwischen Rapsöl- und Dieselmotorkraftstoff. Die Emissionen, gemessen sowohl am Prüfstand als auch im realen Betrieb, sind auf geringem Niveau.

Rapsöl- bzw. Pflanzenölkraftstoff ist im Vergleich zu anderen flüssigen Biokraftstoffen sehr kostengünstig. Er zeichnet sich durch seine hohe Energiedichte aus. Die sehr gute biologische Abbaubarkeit und im Vergleich zu anderen flüssigen Kraftstoffen geringe aquatische Toxizität bringen Vorteile beim präventiven Boden- und Gewässerschutz. Rapsöl- bzw. Pflanzenölkraftstoff kann sowohl in dezentralen Ölmühlen im Kaltpressverfahren als auch in industriellen Ölmühlen als sogenanntes Raffinat produziert werden, eine hohe Versorgungssicherheit ist damit gewährleistet. Als Koppelprodukt fällt bei der Verarbeitung von heimischem Raps ein regionales, gentechnisch nicht modifiziertes Eiweißfuttermittel als Rapsschrot bzw. Rapspresskuchen an. Für die Lagerung und Abgabe dieses Kraftstoffs können in der Regel die bestehenden Hoftankstellen genutzt werden.

Methan (CNG) als Kraftstoff

Methan kann aus fossilen Quellen stammen („Erdgas“) oder durch anaerobe Vergärung von Biomasse in Biogas- oder Kläranlagen erzeugt werden („Biomethan“). Biogas aus Anbaubiomasse oder aus Rest- und Abfallstoffen (Klärschlamm, Gülle, Bioabfall, Straßenbegleitgrün, Stroh usw.) enthält zwischen 50 und 65 % Methan. Weitere wesentliche Bestandteile sind Kohlendioxid und Wasserdampf. Auch Deponiegas steht als Methanquelle zur Verfügung. Zudem besteht die Möglichkeit in einem Power-to-Gas-Prozess sogenanntes synthetisches Methan zu erzeugen. Dies geschieht durch die Gewinnung von Wasserstoff mittels Elektrolyse unter Verwendung von regenerativem Strom und Reaktion des Wasserstoffs mit Kohlenstoffdioxid, zum Beispiel aus einer Biogasanlage, zu Methan. Das aus den jeweiligen Prozessen gewonnene Methan muss für eine Kraftstoffnutzung aufgereinigt werden, um die Anforderungen der DIN EN 16723-2 zu erfüllen, und zu CNG (Compressed Natural Gas) auf 200 bar komprimiert werden (Kaltschmitt et al. 2016). Erste Versuche, Traktoren auf den Betrieb mit Biogas umzurüsten, wurden Anfang der 1950er-Jahre unternommen. Eine große Herausforderung stellt damals wie heute die Speicherung des gasförmigen Kraftstoffes an den Traktoren dar.

In jüngerer Zeit wurden von den Herstellern New Holland, Valtra, Same Deutz-Fahr, Steyr und Traktornie Zavody Traktoren vorgestellt, die mit Methan betrieben werden können. Die Hersteller verfolgen dabei unterschiedliche Konzepte hinsichtlich Motorbrennverfahren und Unterbringung der Gastanks. Neben Dual-Fuel-Konzepten mit Diesel-Gasmotor kommen auch monovalente Konzepte mit einem Otto-Verfahren zum Einsatz. Die Nennleistung der Traktoren bewegt sich überwiegend in einem Bereich bis 100 kW, der Gas-Ottomotor von New Holland erreicht 132 kW. Die Anzahl der Gastanks variiert zwischen drei und neun, das Volumen der Gastanks zwischen 150 und 300 Liter, mit fixen oder austauschbaren Front- oder Heckanbauten bis 600 Liter. Die Gastanks werden seitlich unterhalb der Kabine, an den Holmen, im Dachbereich und im Front- und Heckbereich angebracht. Die Universität Rostock und die Deutz AG entwickelten auf Basis eines Landmaschinen-Dieselmotors einen monovalenten Gasmotor. Es wurde gezeigt, dass mit einem stöchiometrischen Brennverfahren und mit einer gekühlten, externen Abgasrückführung sowie Drei-Wege-Katalysator neben den Leistungsanforderungen eines Traktors auch die Abgasemissionsgrenzwerte der EU-Stufe IV eingehalten werden können (Prehn et al. 2016). Der neu entwickelte Gasmotor wurde anschließend in einen Prototyp Deutz-Fahr Traktor integriert und im Praxiseinsatz erprobt.

Ein besonderes Augenmerk muss bei der Nutzung von Methan als Kraftstoff auf die Vermeidung von Methanemissionen im Abgas aus unverbranntem Kraftstoff (Methanschlupf) gelegt werden, da die Klimawirkung von Methan etwa dem 25-Fachen von Kohlenstoffdioxid entspricht.

Die häufig noch großen Entfernungen zu einer CNG-Tankstelle und die im Vergleich zu Dieselmotoren geringere Energiedichte von CNG sind für Landwirte ein Hemmnis, vermehrt auf CNG als Kraftstoff umzusteigen. CNG-Tankstellen sind in der Errichtung deutlich teurer als Tankstellen für flüssige Kraftstoffe. Die Verflüssigung von Methan zu LNG (Liquefied Natural Gas) erhöht zwar die Energiedichte, jedoch sinkt die Energieeffizienz aufgrund des Energieaufwands für die Verflüssigung.

Durch die breite Rohstoffbasis für die Methanherzeugung ist ein hoher Grad an Versorgungssicherheit gegeben. Insbesondere die Verwertung von Rest- und Abfallstoffen ist aus ökologischer Sicht besonders vorteilhaft. Der Vergärung von Gülle kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da unerwünschte stark klimawirksame Methanemissionen aus der Güllelagerung vermieden werden und damit aus der Perspektive des Klimaschutzes ein doppelter Nutzen hervorgeht. Dieser Tatsache wird auch in der Erneuerbare-Energien-Richtlinie der EU Rechnung getragen, indem Gutschriften für die Emissionsvermeidung für Biomethan aus Gülle angesetzt werden. Neben großen Anlagen mit Kapazitäten von über 150 m³/h zur Einspeisung von Biomethan in das Erdgasnetz wurden erste Demonstrationsanlagen zur Aufbereitung von Biogas oder Deponiegas in Kleinanlagen errichtet. Die Verteilung von Methan zu öffentlichen Methantankstellen erfolgt üblicherweise über das Erdgasnetz, über das regeneratives CNG dann bilanziell dem Kunden geliefert wird.

Fazit

Während Biodiesel und Rapsöl- bzw. Pflanzenölkraftstoff 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. Sowohl Biodiesel, Rapsöl- bzw. Pflanzenölkraftstoff und regeneratives Methan können regional und dezentral 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, zum Beispiel in Form von eiweißreichem Viehfutter. Somit entstehen regionale Wertschöpfung im ländlichen Raum sowie kleinräumige Energie- und Stoffkreisläufe.

Literatur

- BMVI (2019): Verkehr in Zahlen 2018/2019. Berlin, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
- CECE; CEMA (2011): Optimising our industry 2 reduce emissions. Brussels, Committee for European Construction Equipment; European Agricultural Machinery
- Dressler, D.; Engelmann, K.; Serdjuk, M.; Remmele, E. (2016): Rapsölkraftstoffproduktion in Bayern. Analyse und Bewertung ökologischer und ökonomischer Wirkungen nach der ExResBio-Methode. Berichte aus dem TFZ 50, Straubing, Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
- Ettl, J.; Emberger, P.; Thuneke, K.; Remmele, E. (2016): Pflanzenöлтаugliche Traktoren der Abgasstufen I bis IIIB. Berichte aus dem TFZ 47, Straubing, Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
- Ettl, J.; Thuneke, K.; Emberger, P.; Remmele, E. (2019): Langzeitmonitoring pflanzenöлтаuglicher Traktoren der Abgasstufen I bis IV. Berichte aus dem TFZ 60, Straubing, Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe
- Kaltschmitt, M.; Hartmann, H.; Hofbauer, H. (Hg.) (2016): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. Berlin/Heidelberg, Springer Vieweg
- KSG (2019): Gesetz zur Einführung eines Bundes-Klimaschutzgesetzes und zur Änderung weiterer Vorschriften vom 12.12.2019
- KTBL (2009): Pflanzenöl als Kraftstoff in landwirtschaftlichen Maschinen. KTBL-Schrift 478, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.
- Prehn, S.; Wichmann, V.; Kaspera, M.; Lassak, T.D. (2016): Entwicklung und Untersuchung eines Gasmotors für Landmaschinen – Phase 1+2. Rostock, Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren der Universität Rostock
- Remmele, E. (2009): Handbuch Herstellung von Rapsölkraftstoff in dezentralen Ölgewinnungsanlagen. Gülzow, Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- Schumann, U.; Wichmann, V.; Flügge, E.; Sadlowski, T.; Harndorf, H.; Buchholz (2017): Betriebsverhalten von Industrie- und Landtechnikmotoren Abgasstufe EU COM IV im Biodieselbetrieb. Rostock, Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren der Universität Rostock
- VDMA (2019): Mehr Ertrag, weniger CO₂. Diesel sparen mit innovativer Landtechnik. Frankfurt am Main

Elektrifizierung von mobilen Maschinen – wo steht die Landtechnik?

ROGER STIRNIMANN

Berner Fachhochschule, Zollikofen (Schweiz)

Einleitung

Die Elektrifizierung von mobilen Maschinen (Nonroad Mobile Machinery, NRMM) und damit auch von Landmaschinen ist seit Jahren ein viel diskutiertes Thema. Trotz vieler Vorteile sind NRMM-Serienfahrzeuge mit Leistungselektrik im Antriebsstrang in der Praxis selten anzutreffen. In diesem Beitrag soll aufgezeigt werden, welche Antriebskonzepte es gibt und welche die Gründe für die bisher eher zurückhaltende Anwendung sein könnten.

Konzepte und Anwendungen

Für Antriebsstrangkonzepete mit Leistungselektrik in NRMM und insbesondere Traktoren bietet sich folgende Einordnung an:

- Generatorkonzepte
- elektrisch-mechanisch leistungsverzweigte Getriebekonzepte
- dieselelektrische Konzepte
- vollelektrische Konzepte

Beim Generatorkonzept wird ein klassischer mechanischer Antriebsstrang um einen Generator erweitert, der einen Teil der Verbrennungsmotorleistung in elektrische Leistung umwandelt. Hiermit werden externe Verbraucher (z.B. kleine Elektromotoren auf Anbaugeräten) und/oder Nebenaggregate auf dem Fahrzeug selber (z.B. Ventilator, Kompressor) angetrieben. Die Leistungsübertragung für den Fahrantrieb erfolgt weiterhin rein mechanisch. Typische Beispiele hierfür sind die E-Premium-Modelle 7430/7530 und die 6RE-Modelle von John Deere.

Elektrisch-mechanisch leistungsverzweigte Getriebekonzepte sind ähnlich aufgebaut wie ihre hydrostatisch-mechanischen Pendanten. Anstelle der Hydroeinheit (Pumpe/Motor) wird hier eine elektrische Einheit (Generator/Motor) in den variablen Zweig eingebaut. Ein aktuelles Beispiel ist das auf der Agritechnica 2019 vorgestellte eAutoPowr-Getriebe von John Deere. Die Generator-Motor-Einheit ist hier so dimensioniert, dass sie nicht nur die Funktion des variablen Stellgliedes in der leistungsverzweigten Getriebestruktur übernehmen, sondern zusätzlich bis zu 100 kW elektrische Leistung für externe Verbraucher bereitstellen kann.

Bei diesel-elektrischen Konzepten wird die gesamte Leistung des Verbrennungsmotors mittels Generator in elektrische umgewandelt. Damit können Elektromotoren für den Fahrantrieb und andere Antriebe versorgt werden. Eine mechanische Verbindung zwischen Verbrennungsmotor und Arbeitsantrieben gibt es nicht. Als typisches NRMM-Beispiel kann der Kettendozer Caterpillar D7E betrachtet werden. Die Dieselelektrik ersetzt hier Drehmomentwandler und Powershift-Getriebe und dient zur Darstellung eines stufenlosen Fahrantriebs. Serienbeispiele aus der Landtechnik sind nicht bekannt.

Vollelektrische Konzepte kommen ganz ohne Verbrennungsmotor aus, dieser wird hier durch einen oder mehrere Elektromotoren ersetzt. Anstelle eines Treibstofftanks gibt es eine Batterie, die aufgrund ihrer geringen Energiedichte die Einsatzdauer allerdings einschränkt. Batterie-elektrische Konzepte sind deshalb nur bei kleineren Fahrzeugen mit geringen Leistungsanforderungen zu finden. Beispiele hierfür sind der eHoftrac 1160 von Weidemann oder die Traktor-Prototypen Fendt e100 Vario und Rigitrac SKE 50.

In Kombination mit einer Traktionsbatterie lassen sich die drei erstgenannten Konzepte mit Leistungselektrik grundsätzlich zu parallelen, leistungsverzweigten und seriellen Hybriden erweitern.

Tab. 1: Antriebe und mögliche Erweiterungen zu hybriden Konzepten

Generatorkonzepte	Elektrisch-mechanisch leistungsverzweigte Konzepte	Diesel-elektrische Konzepte	Vollelektrisches Konzepte
+	+	+	
Traktionsbatterie	Traktionsbatterie	Traktionsbatterie	
=	=	=	
Parallel-Hybrid (P1)	Leistungsverzweigter Hybrid	Serieller Hybrid	

Diese drei Hybridgrundstrukturen können in zahlreiche Varianten unterteilt werden, darunter auch solche mit externen Lademöglichkeiten für die Batterie (Plug-in-Hybride). Je nach Struktur und installierter elektrischer Leistung können typische Hybridfunktionen wie Start-Stopp, Rekuperation, Boosten oder rein elektrisches Fahren dargestellt werden. In der Landtechnik gibt es bislang nur wenige „echte“ Hybridfahrzeuge, die in Serie gefertigt werden. Dazu gehört der Kleingeräte-träger Metron von Reform, der für den Fahrtrieb eine serielle Struktur aufweist. Auch aus anderen NRMM-Bereichen sind nur wenige Beispiele bekannt.

Herausforderungen: Beispiel Traktor

Aus den vorgenannten Beispielen geht hervor, dass elektrische und hybride Antriebskonzepte bei NRMM bisher noch keine große Verbreitung gefunden haben. Die Suche nach möglichen Gründen erfordert eine differenzierte Betrachtung nach Fahrzeugart und Antriebskonzept.

Bei Traktoren beispielsweise kann die Motorleistung bekanntlich über Räder, Zapfwelle und Hydraulikanschlüsse auf den Boden beziehungsweise auf Arbeitsgeräte übertragen werden. Die Leistungselektrik stände hier also noch für eine vierte Möglichkeit zur Leistungsübertragung, was das System Traktor noch komplexer und auch teurer machen würde. Um das zu vermeiden, müsste an anderer Stelle etwas „eingespart“ werden, was aufgrund der starken Integration von Zapfwelle und Hydraulik aber nicht einfach ist.

Eine wichtige Rolle spielen auch die Einsatzprofile. Bei schweren Zugarbeiten auf dem Feld könnte ein hybridisierter Traktor beispielsweise kaum von der Hybridfunktion „Rekuperation“ profitieren. Selbst bei Transportarbeiten dürften hieraus nur geringe Effizienzvorteile resultieren (abhängig u. a. von Topografie). Auch vollelektrische Konzepte „vertragen“ sich mit Traktoreinsätzen eher schlecht, weil die Leistungsanforderungen meistens hoch und die Einsatzzeiten lang sind. Weitere Herausforderungen stellen hier zudem die relativ langen Batterieladezeiten dar.

Ackerbauliche Elektromobilität – mobile Maschinen am Netz

PETER PICKEL

John Deere GmbH & Co. KG, Kaiserslautern

Einführung

Elektrisch angetriebene Landmaschinen haben eigentlich eine lange Geschichte. Die ersten Lösungen sind seit dem 19. Jahrhundert bekannt (Abb. 1). In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts verdrängten die aufkommenden Verbrennungsmotoren den elektrischen Antriebsstrang in mobilen Maschinen fast vollständig. Der herausragende Vorteil von Verbrennungsmotoren war damals die Kompaktheit des Motors und vor allen Dingen die einfache Energiespeicherung: der Kraftstofftank konnte in der Regel während eines ganzen Arbeitstages die für den Betrieb der Maschinen notwendige Energie liefern, ohne dass eine Betankung erforderlich war. Dies war eine Grundvoraussetzung für die immer weiter fortschreitende Mechanisierung im Ackerbau.

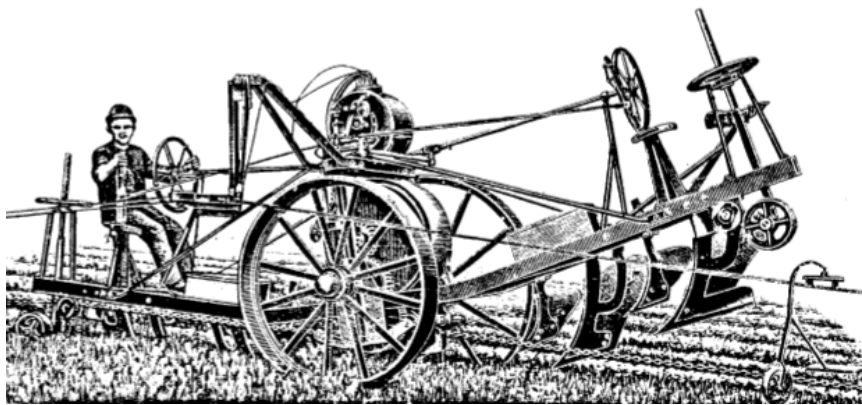


Abb. 1: Der Zimmermann-Pflug (kabel-elektrischer Pflug Ende des 19. Jh.) (© Conservatoire National)

Vor dem Hintergrund der zunehmenden gesellschaftlichen Anforderungen zur Eindämmung des Klimawandels muss der heute üblicherweise mit fossilen Treibstoffen betriebene Antriebsstrang der mobilen Maschinen durch effizientere und alternative Systeme zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen ersetzt werden. Diese politische bzw. gesellschaftliche Forderung ebnet den Weg zur Elektrifizierung. Elektrische Maschinen haben einen hohen Wirkungsgrad, eine hervorragende Regelbarkeit und ein sehr dynamisches Verhalten. Einzelantriebe können steuer- und regelungstechnisch einfach entkoppelt werden. Für die Präzisionslandwirtschaft sind elektrische Antriebe eine Schlüsseltechnologie. Elektrische Maschinen bieten ferner höchste Leistungsdichte. Allerdings sind Speicherkapazität und hohe Kosten von Batterien immer noch ein Problem auf dem Weg zur Elektromobilität. Lediglich kleinere Traktoren, kleine Roboter und Rasenmäher sind derzeit als rein batterie-elektrische Landmaschinen vorstellbar. Langfristig aber können elektrische Antriebssysteme den Landwirten den verstärkten Einsatz von erneuerbarer (elektrischer) Energie ermöglichen. Dies ist auch deswegen interessant, weil Landwirte in immer größerem Umfang (insbesondere elek-

trische) Energie selbst erzeugen. Als Energieerzeuger und -verbraucher haben Landwirte natürlicherweise das Bestreben, den Anteil des Eigenenergieverbrauchs in ihrem betrieblichen Energiemix zu maximieren.

Als wesentlicher anfänglicher Schritt auf dem Weg zu einer generellen Elektrifizierung von Landmaschinen kann die Traktor-Geräte-Elektrifizierung angesehen werden. Als neue Leistungsschnittstelle stellen Traktoren auf verschiedenen Leistungs- und Spannungsebenen Elektrizität (DC bzw. AC mit variabler Frequenz) für den Betrieb von Arbeitsgeräten zur Verfügung.

Der Beginn moderner Entwicklungen

Zu Beginn dieses Jahrhunderts belebten Fortschritte der Batterietechnologie, wie sie die Lithium-Ionen-Batterien bieten, eine breite Diskussion über die Potenziale der Elektromobilität. Damit kam auch das Thema der Elektrifizierung von Landmaschinen auf. Gallmeier (2009) verweist auf ein 2001 begonnenes Projekt namens MELA der STW GmbH von Fendt und von der Fachhochschule Regensburg. Ein Ziel von MELA war die Entwicklung eines Konzepts zur Stromversorgung für elektrische Arbeitsgeräte („power off-boarding“) am Traktor über einen 540-VDC-Stecker.

Wie im MELA-Projekt konzentrierten sich alle Aktivitäten zur Elektrifizierung von landwirtschaftlichen Maschinen zunächst nicht auf die Nutzung von Elektrizität als Fahrtrieb mobiler Maschinen. Im Jahr 2007 stellte John Deere auf der Messe Agritechnica in Hannover den Serien-tractor 7530 ePremium vor. Ein 20-kW-Asynchron-Kurbelwellengenerator versorgte mehrere Nebenantriebe (Lüfterantrieb zur Motorkühlung, Klimakompressor, Bremskompressor) elektrisch. Bei diesem Konzept wurde die elektrische Leistung über einen 700-VDC-Bus auf die Stromverbraucher (elektrische Maschinen mit je einem Wechselrichter) verteilt. Insgesamt wurden Kraftstoffverbrauchseinsparungen von bis zu 5 % erzielt.

Wie Prankl et al. im Jahr 2011 berichteten, wurden in den folgenden Jahren viele Konzepte für elektrische Antriebsstränge in Landmaschinen in Forschungsprojekten untersucht. Prankl selbst stellte ein Konzept für einen PowerTake-off-Generator (PTO) vor, der elektrische Energie von konventionellen, nicht elektrifizierten Traktoren für Arbeitsgeräte liefert.

Ebenfalls auf der Agritechnica 2007 präsentierte die Firma Rauch in Kooperation mit John Deere einen elektrischen Düngerstreuer, der durch einen modifizierten John-Deere-ePremium-Traktor

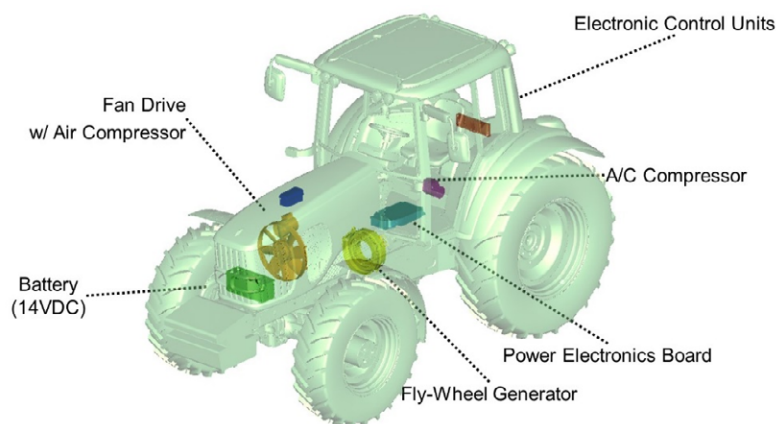


Abb. 2: John-Deere-ePremium-Traktor 2007 (©John Deere)

angetrieben wird. Im Gegensatz zum MELA-Konzept basierte die Stromabgabe an das Gerät auf einer prototypischen Wechselstromschnittstelle mit variabler Frequenz. Die Grundidee war, mehrere Wechselrichter auf dem Traktor für unterschiedliche Anwendungen auf verschiedenen Geräten nutzen zu können – also eine Mehrfachnutzung der kostenintensiven Wechselrichter zu ermöglichen („AC-Konzept“). Dies stellte eine technologische Analogie zur Nutzung von Proportionalventilen (auch SCVs genannt) bei hydrostatischen Steckdosen am Traktor dar.

Sowohl das AC- als auch das DC-Schnittstellenkonzept wurden in einem von der Agricultural Industry Electronics Foundation (AEF) vorangetriebenen Standard zusammengeführt. Während der Agritechnica 2011 stellte John Deere mit dem 6210RE (Nachfolgemodell des ePremium) einen Traktor vor, der eine frühe Version des AEF-Steckerkonzepts vorsah. Der 6210RE verwendet zwar den gleichen Asynchrongenerator wie die ePremium-Traktoren, aber die elektrische Leistung wird ausschließlich für den Geräteantrieb und nicht mehr für Nebenantriebe verwendet. Als Schnittstellenstecker wurde erstmals in einer Serienentwicklung der AEF-Leistungsstecker (Generation 2.x) verwendet. Wegen des weitgehenden Fehlens markteingeführter elektrischer Anbaugeräte konnte sich das Konzept der elektrischen AEF-Leistungsschnittstelle nach der Agritechnica 2011 zunächst nicht durchsetzen.

Effizienz

Eine primäre Motivation für die oben diskutierten Systeme und Entwicklungen war die Verbesserung der Energieeffizienz von Antriebssträngen, die ein inhärentes Merkmal elektrischer Leistungskomponenten ist. Renius (2019) gibt Wirkungsgrade für Umrichter nahe 100 % bei hohen Drehzahlen (7.000 U/min und höher) an.

Effizienzmessungen der Firma STW für eine 140-kW-Kombination von Umrichtern mit einer Permanentmagnet-Synchronmaschine (PMSM) ergaben einen Spitzenwirkungsgrad von 94 %, wobei ein Wert von 92 % für einen sehr weiten Betriebsbereich gilt. Dies bestätigt, dass große elektrische PMSM-Motoren in einem breiten Drehzahl- und Drehmomentbereich Wirkungsgrade von η nahe bei 95 % bieten können.

Bei Drehzahlverhältnissen von 1:2 bis maximal 1:3 kann ein Gesamtwirkungsgrad von Leistungselektronik und elektrischen Maschinen von über 90 % erreicht werden. Für Antriebsstränge in Elektromobilitätskonzepten macht dies einstellbare Übersetzungen (z.B. schaltbare Gänge) notwendig, wenn Volllast in größeren Geschwindigkeitsbereichen realisiert werden soll.

Steuer- und Regelbarkeit als Schlüsselfaktor für Precision Farming

Mit dem aufkommenden Bestreben, landwirtschaftliche Aufgaben höchstpräzise durchzuführen, entstehen neue Anforderungen an die Antriebe der Arbeitsorgane von Landmaschinen. Insbesondere die Anforderungen an die Steuer- und Regelbarkeit bzw. an das dynamische Verhalten steigen beträchtlich. Hier wird die Elektrifizierung wahrscheinlich eine zentrale Rolle einnehmen. Das John Deere ExactEmerge-System belegt diese These exemplarisch. ExactEmerge ist eine mehrreihige Einzelkornsämaschine, die Samen von Reihenkulturen (Mais, Zuckerrüben) mit einer Genauigkeit von etwa ± 1 cm bei Arbeitsgeschwindigkeiten bis nahe an 20 km/h ausbringt (Abb. 3). Um

eine hohe Arbeitsgeschwindigkeit bei gleichzeitig hervorragender Genauigkeit zu erreichen, werden in jeder Säeinheit (Säreihe) zwei elektrische Servomotoren benötigt – einer für die Saatgutvereinzelung, der andere für die Beschleunigung der Saatkörner entgegen der Fahrtrichtung, sodass im Ablagepunkt die Relativgeschwindigkeit zum Boden gleich null ist und die Körner nicht verrollen. Die unabhängige Steuerung aller Säeinheiten ermöglicht sogar die Erzeugung komplexer Muster, wie exemplarisch in Abbildung 3 für eine Ablage in einer Kurve dargestellt. Eine vergleichbare Funktionalität auf der Basis von mechanischen oder hydrostatischen Stellgliedern wäre technisch nicht realisierbar.



Abb. 3: John Deere ExactEmerge (© John Deere)

Derzeit wird der Strom für den Antrieb der Servomotoren von einem Zapfwellengenerator bereitgestellt. Der Betrieb der Säaggregate kann perspektivisch über die AEF-Steckdosen oder über eine 48-VDC-Schnittstelle erfolgen. In Zukunft werden sich wahrscheinlich beide Spannungsebenen für den Anschluss von Arbeitsgeräten etablieren – und zwar 48 VDC für Anwendungen mit geringer Leistung und der AEF-Stecker für Hochleistungsanwendungen bis 150 kW.

Elektromobilität in der Landwirtschaft – Zugang zu erneuerbaren Energien

Die Erzeugung, Bereitstellung und der Verbrauch von nachhaltig erzeugter Energie bzw. aus nachwachsenden Rohstoffen hat großes Potenzial für eine neben der Nahrungsmittelproduktion zusätzliche Wertschöpfung in der Land- und Forstwirtschaft zu sein. Obwohl Biokraftstoffe eine gewisse Bedeutung im landwirtschaftlichen Einsatz bei mobilen Maschinen haben können, ist das energetische Potenzial von erneuerbarer elektrisch gebundener Energie insgesamt weitaus höher einzuschätzen. Um dieses elektrisch vorhandene Potenzial vor Ort nutzbar zu machen, müssen geeignete innovative Wege zur wirtschaftlich tragfähigen und hocheffizienten Übertragung der elektrischen Energie von den stationären Erzeugungseinheiten auf die mobilen Maschinen entwickelt werden.

Der Einsatz von Batterien ist in diesem Zusammenhang nur eingeschränkt möglich, da Batterien für den mobilen Einsatz eine immer noch zu begrenzte Speicherkapazität aufweisen und zu teuer sind. John Deere entwickelte in mehreren staatlich geförderten Projekten funktionale Prototypen für Hybrid- und Grid-Plug-in-Hybridfahrzeuge mit begrenzter Batteriekapazität (Schrank 2011). Eine Kernidee war dabei eine Doppelnutzung der Batterie stationär und mobil, wobei die Batterie mobil beim Traktor im Front- oder Heckanbau anstelle eines Ballastgewichts mitgeführt wird. Im Jahr 2015 wurde dieses sogenannte BatteryBoost-System auf der SIMA-Messe in Paris gezeigt (Abb. 4) und mit einem Innovationspreis ausgezeichnet. Das Konzept sieht vor, Batterien und/oder Batteriepools für externe Dienstleistungen in die landwirtschaftliche Stromversorgung bzw. in Netze zu integrieren. In einem laufenden öffentlich geförderten Projekt Designetz wird die Idee der Bereitstellung von Netzdienstleistungen durch Batterien in landwirtschaftlichen Maschi-

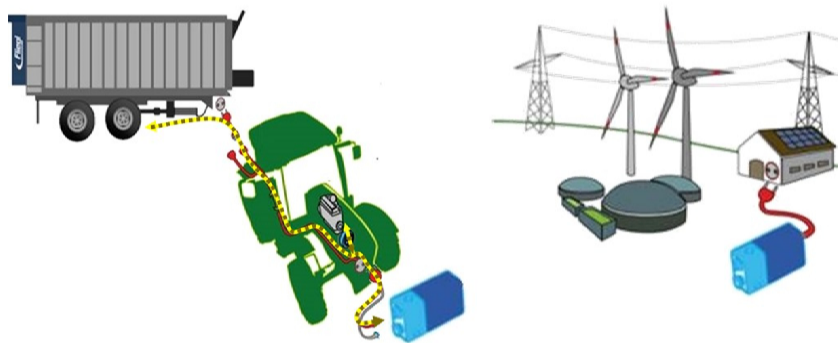


Abb. 4: Die BatteryBoost-Idee (© John Deere)

nen im Hinblick auf vorausschauendes Batterie- und Energiemanagement und -steuerung weiter untersucht (Konsortialprojekt Designetz, „Schaufenster-Projekt“ (BMWi), Teilprojekt SESAM-Farm, FKZ 03SIN217, 2018–2020. Projektkoordinator: Innogy, Teilprojektleitung John Deere).

Vollelektrische Traktoren

Ein erster voll funktionsfähiger, rein batterieelektrischer Traktor war John Deeres SESAM-Traktor. Der SESAM-Traktor hat eine Spitzenleistung von fast 400 PS. Die Lithium-Ionen-Batterie (rotes Oval in Abb. 5) hat eine Energiekapazität von 130 kWh, was für den allgemeinen Einsatz von Traktoren in dem genannten Leistungsbereich unbefriedigend ist, da ein Nachladen der Batterie nach weniger als 1 h Vollastbetrieb erforderlich wäre. Größe und Gewicht der Batterie stellen gewissermaßen ein inhärentes Problem für größere Elektrotraktoren bzw. mobile Arbeitsmaschinen dar.

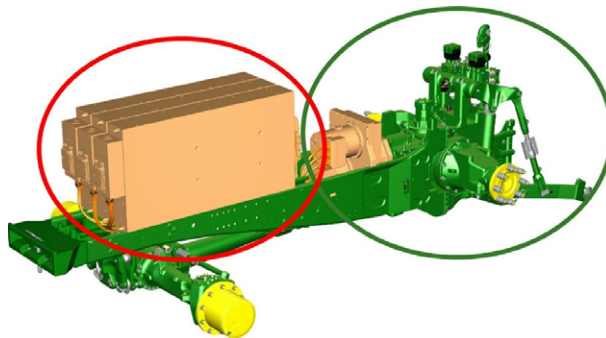


Abb. 5: Der SESAM-Traktor – Exponat SIMA 2017 (© John Deere)

Fendt stellte 2017 mit dem e100 Vario ebenfalls einen batterieelektrischen Traktor vor. Dieser Traktor hat zwei AEF-Steckdosen für Geräteantrieb mit Boost-Leistung bis zu 150 kW. Geladen wird die 100 kWh fassende Batterie über einen konventionellen CCS2-Stecker (AC-Teil). Der CCS2-Stecker wurde auch schon beim John Deere BatteryBoost-System propagiert. Dort wird allerdings derzeit der DC-Modus unterstützt. Der CCS2-Stecker eignet sich grundsätzlich hervorragend, um eine günstige Netzanbindung aufzubauen. Um das Fahrzeug oder seine Batterie allerdings stationär auch als Pufferbatterie – etwa an PV-Anlagen – und für Netzdienstleistungen einzusetzen, fehlt

noch eine Standardisierung für den bidirektionalen Energieaustausch. Im bereits erwähnten Projekt Designetz untersucht John Deere mit mehreren Projektpartnern Alternativen für die Netzanbindung solcher Maschinen-Batterien.

Um das Problem der Batteriekosten und der begrenzten Energiespeicherfähigkeit zu lösen, entwickelte John Deere im Forschungsprojekt GridCON (Konsortialprojekte GridCON und GridCON2, John Deere GmbH & Co. KG et al., gefördert durch BMWi (FKZ: 01ME14004A, 01ME17007A et al.), Projektträger DLR (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt), 2015 bis 2020) einen über Kabel mit elektrischer Energie versorgten Traktor, der erstmals 2017 vorgestellt wurde.



Abb. 6: Der GridCON-Traktor (© John Deere)

Erhöhung der Leistungsdichte durch Elektrifizierung

Wie oben dargestellt, begrenzen Gewicht und Volumen die Verwendung von Batterien in landwirtschaftlichen Maschinen. In Abbildung 5 (grünes Oval) sind zwei elektrische Maschinen an ein Standard-Traktorgetriebe angeschlossen, das seinerseits mit einer konventionellen Traktor-Hinterachse verbunden ist. Diese Kombination aus elektrischen Maschinen, Getriebe und Achse deckt die gesamte Funktionalität von Standardtraktoren (Antrieb, Hydrostatik, Zapfwelle, Dreipunktanbau) in einer sehr kompakten Form mit geringem Gewicht ab.

Auf der Agritechnica 2019 und der VDI-AgEng-Tagung LAND.technik 2019 stellten Pfaffmann et al. (2019) ein neues prototypisches Konzept (Abb. 7) vor, dass aus dem Projekt Feldschwarm (Wachstumskern Feldschwarm® – Verbundprojekte 2 and 4, John Deere GmbH & Co. KG et al., BMBF (FKZ: 03WKCW2E et al.), Projektträger PTJ, 2017–2020, Projektleitung TU Dresden) hervorgegangen ist.

Diese Feldschwarmereinheit wird über ein Kabel mit Strom versorgt. Sie verfügt aber nicht über eine Kabeltrommel – wie noch bei GridCON. Für die Versorgung der Einheit mit Leistung und Energie ist folglich eine separate Energieversorgungseinheit erforderlich. Eine solche Energieversorgungseinheit kann dann auch mehrere Maschinen (wie in Abb. 7) mit Strom versorgen. So entsteht ein „kontrollierter Schwarm“ („Platooning“-Prinzip). Damit werden im Vergleich zu heutigen Landmaschinen Kosten- und Gewichtsreduzierungen bei hoher Leistungsdichte angestrebt.

Das in Abbildung 7 dargestellte System verwendet eine neu konstruierte Traktor-Geräte-Anbindung, die die Lenkung nach dem Knicklenkungsprinzip ermöglicht.



Abb. 7: Autonomer elektrischer Feldschwarm-Traktor (© John Deere)

Zusammenfassung und Ergänzungen

Vier Hauptargumente sprechen für einen Fortgang der Elektrifizierung von Landmaschinen: Dies sind hohe Effizienz, sehr gute Steuer- und Regelbarkeit, hohe Leistungsdichte und der Zugang zu erneuerbarer Energie. Weitere Argumente sind:

- Beseitigung von toxischen Emissionen (wie Ruß, HC, CO oder NO_x)
- Signifikante Reduzierung von Lärmemissionen
- Beseitigung oder Reduzierung von Öl- und Fettaustritten
- Minimale Wartung oder wartungsfreie Antriebe

Künftige Diskussionen und Entwicklungen müssen sich auch mit problematischen Aspekten der Elektrifizierung befassen, wie z.B. mit Fragen der Sicherheit an den Hochvolteinrichtungen und spannungsführenden Komponenten der Maschinen oder mit obligatorischen Einführungen neuer Ausbildungsprofile von Werkstattpersonal (Stichwort Elektrofachkraft). Letztlich werden Kosten und Geschäftsmodelle über die Zukunft von Elektroantrieben entscheiden.

Ein weiterer wichtiger Nebenaspekt der Elektrifizierung ist die Informations- und Kommunikationstechnologie. Da die Elektrifizierung eine Schlüsseltechnologie ist, um hochpräzise Operationen in der Landwirtschaft zu ermöglichen, geht die Entwicklung von elektrifizierten Systemen Hand in Hand mit der Entwicklung einer intelligenten und digitalen Landwirtschaft.

Was kommt als Nächstes?

Auf der Agritechnica 2019 stellte John Deere ein neues Traktorgetriebe vor: das eAutoPowr, das erste mechanisch-elektrisch leistungsverzweigte, stufenlose Traktorgetriebe. Das eAutoPowr hat aufgrund des Wegfalls jeglicher Hydrostatik einen überragenden Wirkungsgrad. Darüber hinaus ermöglicht es den Betrieb von zwei externen E-Maschinen auf Arbeitsgeräten. Die elektrische Leistung wird über 2 AEF-Anschlüsse der 4. Generation am Traktorheck bereitgestellt.

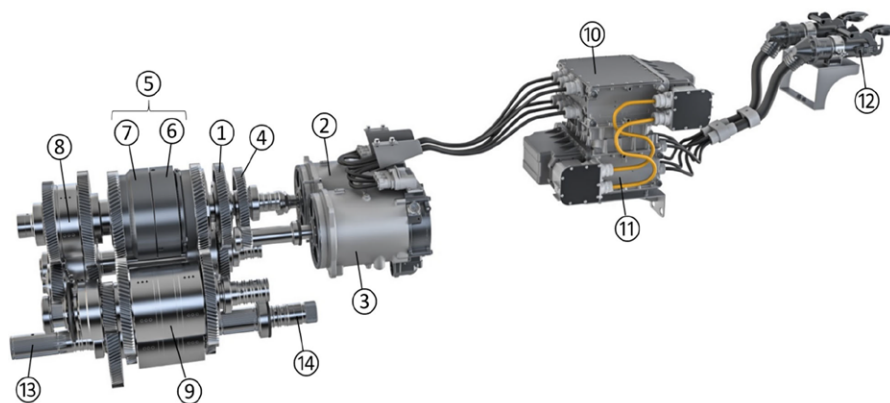


Abb. 8: Das neue eAutoPowr-Getriebe von John Deere (① Durchtrieb und Zahnradstufe vom Dieselmotor zu MG1, ② erste elektrische Maschine (MG1), ③ zweite elektrische Maschine (MG2), ④ Zahnradstufe von MG2 zum Doppelplanetengetriebe, ⑤ Doppelplanetengetriebe, ⑥ „LO“-Planetengetriebe mit Sonnen- und Ringantrieb, ⑦ „HI“-Planetengetriebe mit Träger- und Sonnenantrieb, ⑧ Wendeschaltung, ⑨ Schaltgruppenmodul, ⑩ Doppelumrichter für MG1 und MG2, ⑪ Doppelumrichter für externe Anbaugeräte, ⑫ Schnittstellen zur Kopplung von externen Anbaugeräten, ⑬ mechanischer Abtrieb Vorderachsdifferenzial, ⑭ mechanischer Abtrieb Hinterachsdifferenzial

(© John Deere)

Die Traktoren der Serie 8R mit eAutoPowr gehen demnächst in die Serienproduktion. Das eAutoPowr-Getriebe stellt damit einen Meilenstein in der Elektrifizierung von Landmaschinen und insbesondere in der Traktor-Geräte-Elektrifizierung dar (Power-Off-Boarding).

Die Entwicklungspartner John Deere und Joskin zeigten, wie mit dem eAutoPowr die Achsen eines Güllefasses als Unterstützung der Zugkraftübertragung genutzt werden können: Aus dem 4-Rad-Antrieb des Traktors wird ein 8-Rad-Antrieb des Systems Traktor und Anhänger. Der Kundennutzen liegt auf der Hand!

Sicher verkörpert das eAutoPowr-Getriebe noch keine umfassende Elektromobilität bei Traktoren, aber es ist wohl ein Kristallisationskeim für die weitere Elektrifizierung von Landmaschinen. Es ist vor allen Dingen zu erwarten, dass das elektrische Power-Off-Boarding über die elektrische AEF-Schnittstelle (inzwischen Standard nach Generation 4) von nun an deutlich an Bedeutung gewinnt.

Schlussthesen

1. Elektrische Antriebe sind wegen ihrer hohen Effizienz, ihrer exzellenten Steuer- und Regelbarkeit, wegen der hohen realisierbaren Leistungsdichte und wegen der potenziellen Nutzung umfangreicher Quellen erneuerbarer Energie eine Schlüsseltechnologie für mobile Arbeitsmaschinen.
2. In der Landwirtschaft ist die Traktor-Geräte-Elektrifizierung ein wichtiger Treiber für die Elektrifizierung mobiler Arbeitsmaschinen.
3. Hybride Antriebe auf mobilen Arbeitsmaschinen machen Sinn, wenn hohe Boost-Leistungen („Spitzenleistungen“) gewünscht werden. Rekuperation und die Funktionalität von „Range Extendern“ spielen eine untergeordnete Rolle.
4. Der Einsatz von Batterien auf mobilen Arbeitsmaschinen ist aufgrund der niedrigen Speicherdichte und wegen Wirtschaftlichkeit bzw. Kosten problematisch. Zur Deckung der hohen Investitionskosten müssen neue Geschäftsfelder für Batterien entwickelt werden, die den mobilen und stationären Einsatz der Batterien verbinden.
5. Neben der Verwendung der Batterien als Pufferspeicher im internen Netz zur Erhöhung des Eigenenergieverbrauchs von landwirtschaftlichen Betrieben kann die Erbringung von Netzdienstleistungen – etwa die Teilnahme am Primärregelenergiemarkt – ein neues sekundäres Geschäftsfeld in der Landwirtschaft werden.
6. Voraussetzung für die Einbindung von Fahrzeug- und Maschinenbatterien in Stromnetze ist ein Standard für den bidirektionalen Ladungsaustausch über die in Europa weit verbreitete CCS2-Steckdose zum Laden von Elektrofahrzeugen genauso unabdingbar wie weitere Informations- und Kommunikationstechnologien zur Steuerung von Netzen und Komponenten bzw. Anlagen im Netz.
7. Heute noch Vision, aber langfristig könnten Kabel eine alternative Netzanbindung für mobile Landmaschinen werden, um das Problem der Energiespeicherung auf der Maschine zu lösen.

Literatur

- Conservatoire National des Arts et des Métiers (1897): „Bulletin de la société d'encouragement pour l'Industrie nationale“ 1897, page 670. <http://cnum.cnam.fr/CGI/fpage.cgi?BSPI.96/684/120/1711/441/482>, Zugriff am 11.02.2020
- Gallmeier, M. (2009): Vergleichende Untersuchungen an hydraulischen und elektrischen Baugruppenantrieben für landwirtschaftliche Arbeitsmaschinen. Dissertation, Technische Universität München
- Prankl, H.; Nadlinger, M.; Demmelmayr, F.; Schrödl, M.; Colle, T.; Kalteis, G. (2011): Multi-Functional PTO Generator for Mobile Electric Power Supply of Agricultural Machinery. AgEng Conference 2011, Hannover, VDI-Berichte Nr. 2124, pp. 7–14
- Pfaffmann, S.; Tarasinski, N.; de Moraes Boos, F. (2019): Swarm Unit – Development of a Fully Electric Agricultural Machine with External Power Supply. In: 77th International Conference on Agricultural Engineering Land.Technik AgEng 2019. Düsseldorf, VDI Verlag
- Renius, K.-Th. (2019): Fundamentals of Tractor Design. Cham (Schweiz), Springer Nature
- Schrank, C.; Pickel, P.; Gugel, R.; Böhm, B.; Tarasinski, N. (2011): Electro-Mobility in Agriculture – A Contribution Towards a Safe and Sustainable Energy Supply. AgEng Conference 2011, Hannover, VDI-Berichte Nr. 2124, pp. 231–237

Mitwirkende

Prof Dr. Heinz Bernhardt
Technische Universität München
Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik
Freising

Carsten Brüggemann
Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Hannover

Elmar Brügger
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münster

Henning Eckel
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)
Darmstadt

Prof. Dr. Ludger Frerichs
Universität Braunschweig
Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge
Braunschweig

Martin Höhendinger
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Freising

Dr. Joachim Matthias
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münster

Dr. Kathleen Meisel
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Leipzig

Dr.-Ing. Markus Millinger
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ
Leipzig

Dr. Franziska Müller-Langer
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Leipzig

Karin Naumann
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Leipzig

Josef Neiber
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Freising

Prof. Dr.-Ing. Peter Pickel
John Deere GmbH & Co. KG
Kaiserslautern

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

Theodor Remmersmann
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Münster

Wolfram Schöberl
C.A.R.M.E.N. e. V.
Straubing

Prof. Roger Stirnimann
Berner Fachhochschule
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften
Zollikofen (Schweiz)

Prof. Dr. Jörn Stumpfenhausen
Hochschule Weihenstephan-Triesdorf
Freising

Dr. Andreas Täuber
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)
Berlin

