

Edgar Remmele, Henning Eckel und Bernhard Widmann

Regenerative Energieträger und alternative Antriebskonzepte für mobile Arbeitsmaschinen

Die Land- und Forstwirtschaft steht vor der Herausforderung ihre Maschinen künftig klimaschonend und regenerativ zu betreiben. In der Vergangenheit wurden von der Industrie alternative Energieträger und Antriebskonzepte vorgestellt, die sich bisher jedoch nicht gegen den dominierenden Antrieb Verbrennungsmotor mit Dieselmotorkraftstoff durchsetzen konnten. Zum einen handelt es sich dabei um Konzepte mit Verbrennungsmotoren und den Kraftstoffen Fettsäuremethylester „Biodiesel“, Rapsöl-/Pflanzenölkraftstoff, Hydrierte Pflanzenöle „HVO“ und Biomethan, zum anderen um elektrische Antriebe mit der Energiebereitstellung über Brennstoffzellen mit Wasserstoff oder über Akkumulatoren. In einem Fachgespräch mit Experten aus Industrie, Verbänden und Wissenschaft wurden die Alternativen nach 14 Kriterien diskutiert und bewertet. Derzeit ist die Verwendung von Rapsölkraftstoff und Biodiesel in Verbrennungsmotoren in land- und forstwirtschaftlichen Arbeitsmaschinen am vorteilhaftesten für mehr Klimaschutz und Ressourcenschonung und gleichzeitig rasch umsetzbar.

eingereicht 25. Juni 2014

akzeptiert 7. August 2014

Schlüsselwörter

Biokraftstoffe, alternative Antriebe, Traktoren, Verbrennungsmotor, Elektromotor

Keywords

Biofuel, alternative driving concept, tractors, combustion engine, electric motor

Abstract

Remmele, Edgar; Eckel, Henning and Widmann, Bernhard

Renewable fuels and alternative drive concepts for non-road mobile machinery

Landtechnik 69(5), 2014, pp. 256–259, 2 figures, 2 references

Agriculture and forestry face the future challenge of finding climate-friendly and regenerative methods of powering their

field and forest machinery. Alternative fuel and drive concepts have been presented by industry in the past but, so far, these have been unable to establish themselves against the dominating diesel-fuelled internal combustion engine. Such concepts involved internal combustion engines and the fuels fatty acid methyl ester “biodiesel”, rapeseed oil/vegetable oil fuel, “HVO” hydrogenated vegetable oils and biomethane, but also electrical drive with energy production via fuel cells with hydrogen or using accumulators. The alternatives were discussed and evaluated according to 14 criteria in a technical discussion with experts from industry, associations and scientific institutions. Currently, the use of rapeseed oil fuel and biodiesel in internal combustion engines for agricultural and forestry work machinery is most advantageous for more climate protection and resource saving and is simultaneously rapidly applicable.

■ Angesichts der Herausforderungen der Energiewende muss sich die Land- und Forstwirtschaft die Frage stellen, wie die Maschinen auf dem Feld und im Wald künftig klimaschonend und regenerativ betrieben werden können. Folgende Ziele stehen dabei im Vordergrund:

■ Den Verbrauch fossiler Ressourcen durch Einsparung und Effizienzsteigerung sowie durch den Einsatz regenerativer Energien zu senken,

- den Ausstoß an Treibhausgasen zu reduzieren und damit auch den „Carbon Footprint“ von Produkten aus der Land- und Forstwirtschaft zu verkleinern,
- die Versorgungssicherheit bei Nahrung und Rohstoffen durch die Verwendung krisensicherer Energieträger zu gewährleisten und
- die Wertschöpfung im ländlichen Raum durch Bereitstellung von Energieträgern und gegebenenfalls Koppelprodukten zu erhöhen.

Rahmenbedingungen

Alternative Antriebe stehen in Konkurrenz zum in der Land- und Forstwirtschaft dominierenden Antrieb Verbrennungsmotor mit Dieselmotorkraftstoff. Dabei begünstigt das deutsche Energiesteuergesetz die Nutzung von fossilem Dieselmotorkraftstoff in der Land- und Forstwirtschaft durch eine verbrauchsbezogene anteilige Rückerstattung der Energiesteuer und die Nutzung von Biodiesel und Rapsöl-/Pflanzenölkraftstoff durch eine komplette Rückerstattung der Energiesteuer. Die Differenz in der Höhe der Energiesteuer ergibt derzeit aber in der Regel noch keinen Wettbewerbsvorteil für die regenerativen Kraftstoffe Biodiesel und Rapsöl-/Pflanzenölkraftstoff.

Biokraftstoffe sind unterschiedlichen internationalen und nationalen Regelungen unterworfen, die zum Teil über die Anforderungen an Dieselmotorkraftstoff hinausgehen. So kommen beispielsweise auf EU-Ebene die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (2009/28/EG) und die Kraftstoffqualitätsrichtlinie (2009/30/EG) zur Anwendung, auf nationaler Ebene beispielsweise das Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), die Bundesimmissionsschutzverordnungen (BImSchV) und die Biokraftstoff-Nachhaltigkeitsverordnung (Biokraft-NachV). Demnach müssen Biokraftstoffe derzeit ein Treibhausgas-Minderungspotenzial von mindestens 35 % aufweisen. Ab 2017 sind 50 % Minderungspotenzial und ab 2018 60 % bei neuen Produktionsanlagen nachzuweisen. Andernfalls entfallen Energiesteuerbegünstigungen und die Anrechenbarkeit auf die Biokraftstoffquote. Bei der Energiewandlung im Verbrennungsmotor sind die Vorgaben für limitierte gasförmige und partikuläre Emissionen der Richtlinien 1997/68/EG bzw. 2004/26/EG (Nonroad-Richtlinie) einzuhalten. So bedeutet die ab 2014 gültige Regelung US Tier 4/EU Stufe IV gegenüber der Regelung im Jahr 1999 eine Reduktion der Partikelemissionen von 96,5% und der Stickoxide NO_x von 95,7%.

Insgesamt betrug der Dieselmotorkraftstoffverbrauch in der Land- und Forstwirtschaft in Deutschland im Jahr 2012 etwa 1,58 Millionen Tonnen [1]. Dadurch wurden rund 5,7 Millionen Tonnen CO_2 -Äquivalent an Treibhausgasemissionen emittiert. Der Einsatz von flüssigen und gasförmigen Biokraftstoffen sowie regenerativer elektrischer Energie kann den Dieselmotorkraftstoffbedarf und damit den Ausstoß von Treibhausgasen in der Land- und Forstwirtschaft senken. Die Prozessketten zur Bereitstellung der alternativen Energieträger sowie die zu deren Nutzung nötigen Antriebskonzepte sind jedoch zum Teil noch nicht für die Praxis verfügbar und befinden sich in unterschiedlichen Ent-

wicklungsstadien. Damit die Energiewende auch bei der Dieselmotorkraftstoff-Substitution in der Land- und Forstwirtschaft zügig vorangetrieben werden kann, ist es zunächst erforderlich, die bisher für dieses Nutzersegment von der Industrie präsentierten neuen Energieträger und Antriebskonzepte gegenüberzustellen und im Wesentlichen hinsichtlich ihrer Umweltwirkung, ihrer Wirtschaftlichkeit, ihres Entwicklungspotenzials sowie ihrer Praxistauglichkeit zu bewerten.

Fachgespräch und Expertenbefragung

Um den Status quo verschiedener regenerativer Kraftstoffe und Antriebssysteme aufzuzeigen und diese hinsichtlich verschiedener Kriterien zu diskutieren und zu bewerten, wurde vom Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. KTBL und dem Technologie- und Förderzentrum TFZ ein Fachgespräch [2] mit Vertretern aus Industrie, Wissenschaft und Verbänden initiiert. Rund 50 Experten nahmen am Fachgespräch teil, bei dem der Entwicklungsstand regenerativer Kraftstoffe und Antriebssysteme zunächst in Vorträgen und Statements beleuchtet wurde. Im Anschluss wurden die Teilnehmer gebeten, auf einem Fragebogen 14 vorformulierte Bewertungskriterien auf einer Skala von 1 (geringe Bedeutung) bis 3 (große Bedeutung) zu gewichten und sechs Antriebssysteme nach den einzelnen Kriterien auf einer Skala von 0 (ungünstig) bis 4 (sehr günstig) zu bewerten. Insgesamt konnten 24 Fragebögen der Teilnehmer des Fachgesprächs ausgewertet werden. Für einen abschließenden Vergleich zwischen den alternativen Energieträgern und Antriebssystemen – zusammenfassend über alle Kriterien – wurden die Einzelwerte mit einem Gewichtungsfaktor, auf Basis der zugesprochenen Relevanz, multipliziert, aufaddiert und durch die Anzahl der Bewertungskriterien dividiert. Die im Weiteren dargestellten Ergebnisse geben die Sichtweise der 24 Experten wieder. In einer abschließenden Diskussion wurden von den Teilnehmern die Schlussfolgerungen und der Handlungsbedarf abgeleitet.

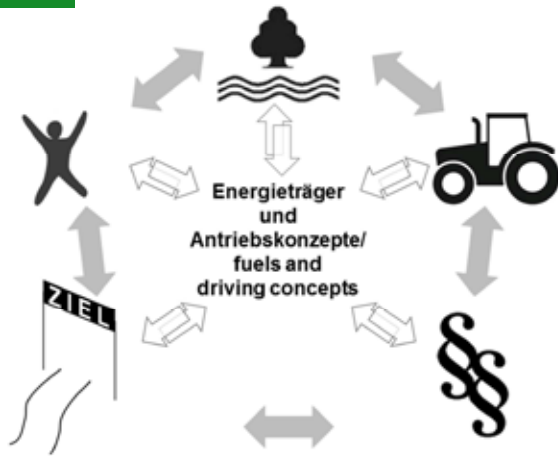
Bewertungskriterien

Die Bewertungskriterien für die Energieträger und Antriebssysteme (**Abbildung 1**) lassen sich aus den Anforderungen des einzelnen Menschen und der Gesellschaft, der Umwelt, des rechtlichen Rahmens, des spezifischen Einsatzes in der Land- und Forstwirtschaft („Off-Road“) sowie einer zeitnahen Realisierbarkeit ableiten.

Folgende wesentliche Kriterien, die die Bereitstellung und Nutzung der Energieträger umfassen, wurden für die Bewertung der Systeme herangezogen:

- (Rohstoff-)Potenzial und Verfügbarkeit
- Technologie der Energieträgerbereitstellung
- technische Reife, Stand der Forschung und Entwicklung bzw. Markteinführung
- Normung und Qualitätssicherung
- Infrastruktur der Energieträgerbereitstellung, Betankung
- Energieeffizienz
- Treibhausgasemissionen

Abb. 1



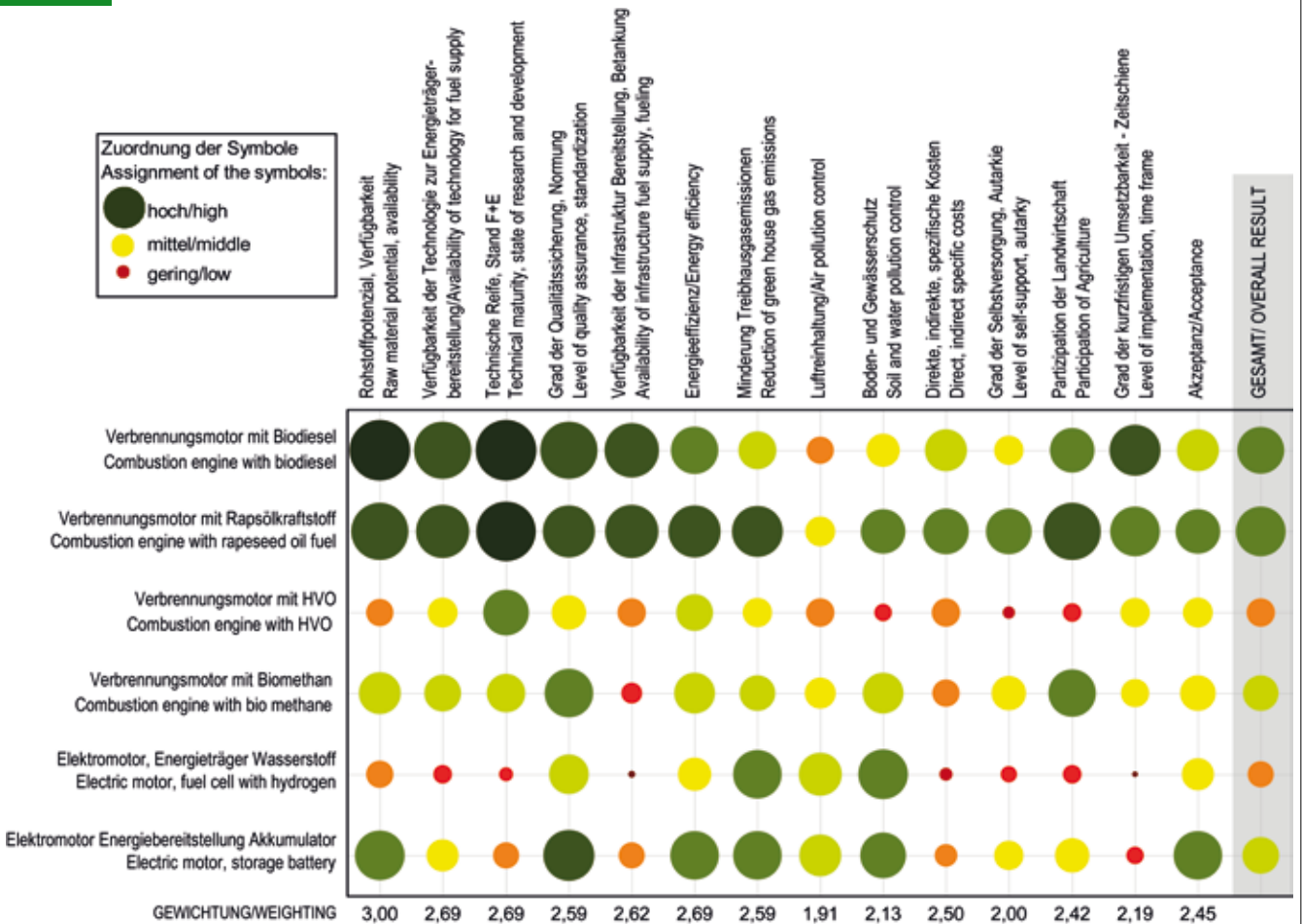
Anforderungen an Energieträger und Antriebskonzepte für den Einsatz in der Land- und Forstwirtschaft und deren Wechselwirkungen
 Fig. 1: Demands on fuels and driving concepts for agriculture and forestry and their interactions

- Luftreinhaltung
- Boden- und Gewässerschutz
- direkte, indirekte, spezifische Kosten
- Selbstversorgung, Autarkie
- Partizipation der Land- und Forstwirtschaft
- Umsetzbarkeit „Zeitschiene“
- Akzeptanz

Alternative Energieträger und Antriebskonzepte

Die im Fachgespräch diskutierten alternativen Energieträger und Antriebskonzepte sind von der Industrie in der Vergangenheit bereits für die Anwendung in der Land- und Forstwirtschaft vorgestellt worden. Zum einen handelt es sich um Konzepte mit Verbrennungsmotoren und den Kraftstoffen Fettsäuremethyl-ester „Biodiesel“, Rapsöl-/Pflanzenölkraftstoff, hydrierte Pflanzenöle (Hydrogenated oder Hydrotreated Vegetable Oil) „HVO“ und Biomethan, zum anderen um elektrische Antriebe (Elektromotor) mit der Energiebereitstellung über Brennstoffzellen mit Wasserstoff oder über Akkumulatoren.

Abb. 2



Bewertung von alternativen Energieträgern und Antriebssystemen für die Land- und Forstwirtschaft auf einer Skala von 0 bis 4 mit einer Gewichtung der Bedeutung des jeweiligen Kriteriums von hoch/mittel/gering (3/2/1) wie von den Teilnehmern des Fachgesprächs eingeschätzt (n = 24)

Fig. 2: Evaluation of fuels and driving concepts for agriculture and forestry machinery within a range from 0 to 4 with weighting of the criteria from high/middle/low (3/2/1) in the opinion of the participants of the symposium (n = 24)

Bewertung der alternativen Energieträger und Antriebskonzepte durch die Experten

Als wichtigste Bewertungskriterien für die Beurteilung der alternativen Energieträger und Antriebskonzepte wurden das Rohstoffpotenzial und die Verfügbarkeit des Energieträgers, die Energieeffizienz, die Technologie der Energieträgerbereitstellung sowie die technische Reife beziehungsweise der Stand von Forschung und Entwicklung identifiziert. Einen Überblick über die Gewichtung der Kriterien und die Einordnung der Antriebskonzepte gibt **Abbildung 2**. Das Rohstoffpotenzial und die Verfügbarkeit des Kraftstoffs wurden für Biodiesel am besten eingeschätzt. Auch die Technologie der Biodieselproduktion sowie die technische Reife und der Stand von Forschung und Entwicklung wurden für Biodiesel als am weitesten fortgeschritten bewertet. Hingegen wurden die vergleichsweise beste Energieeffizienz und das höchste Treibhausgasemissions-Minderungspotenzial der Herstellung und Verwendung von Rapsölkraftstoff zugesprochen. Außerdem wurden, in Bezug auf die Partizipation der Landwirtschaft bei der Umsetzung der Technologie, die größten Chancen bei der Nutzung von Rapsölkraftstoff eingeräumt. Rapsölkraftstoff erhielt bei fast allen Kriterien durchgehend günstige bis sehr günstige Bewertungen. Rapsölkraftstoff und Biodiesel werden demnach als die besten Alternativen zu Dieselmotoren in der Land- und Forstwirtschaft gewertet. Am ungünstigsten wurden elektrische Antriebe mit Wasserstoff-Brennstoffzellen eingeschätzt, da hohe Kosten, mangelnde technische Reife und die fehlende Infrastruktur gegen das Konzept sprächen. Bei den elektrischen Antrieben konzentriert sich die Forschung und Entwicklung derzeit im Wesentlichen auf den Antrieb von Nebenaggregaten. Auch hydrierte Pflanzenöle als Kraftstoff für Verbrennungsmotoren in land- und forstwirtschaftlichen Anwendungen wurden vergleichsweise schlecht bewertet, insbesondere in Bezug auf den Aspekt der Selbstversorgung. Für den Einsatz von Biogas als Kraftstoff in landwirtschaftlichen Maschinen ist die geringe Reichweite aufgrund der limitierten Tankgrößen als Hemmnis für die Praxistauglichkeit zu betrachten.

Schlussfolgerungen

Für die Bewertung von alternativen Energieträgern und Antriebskonzepten sind Systembetrachtungen notwendig, da Einzelaspekte die Anforderungen und Wechselwirkungen nur unzureichend abbilden. Für mehr Klimaschutz und Ressourcenschonung beim Kraftstoffeinsatz in der Land- und Forstwirtschaft ist derzeit die Verwendung von Rapsölkraftstoff und Biodiesel in Verbrennungsmotoren am vorteilhaftesten. Maschinen mit entsprechenden Freigaben sind zum Teil schon im Feld vorhanden, am Markt käuflich erwerbbar oder können kurzfristig produziert werden. Alle anderen Optionen sollten aber im Rahmen von Forschung und Entwicklung weiter verfolgt werden, da keines der Systeme nach derzeitigem Kenntnisstand ausgeschlossen werden kann. Dezentrale Konzepte, bei denen auf regionaler Ebene die gekoppelte Produktion von Kraftstoffen (Rapsölkraftstoff, zum Teil auch Biodiesel) und

Futtermitteln verwirklicht wird, sind kurzfristig realisierbar. Aufgrund der Rahmenbedingungen, insbesondere der Preisdifferenz von Agrardiesel zu Agrarbiokraftstoff, gibt es zurzeit aber keine stabile Nachfrage nach Bioreinkraftstoffen und dafür geeigneten Maschinen.

Der Einsatz von Rapsölkraftstoff und Biodiesel könnte bei vergleichsweise geringen Treibhausgasvermeidungskosten ein effizienter und schnell umsetzbarer Beitrag sein, um den Klima- und Ressourcenschutz im Sektor Land- und Forstwirtschaft zu erhöhen. Dafür ist es jedoch erforderlich, dass sich die Land- und Forstwirtschaft selbst das Ziel setzt, Dieselmotoren zu substituieren. Die Politik muss dafür langfristig tragfähige Rahmenbedingungen abstecken, sodass die Land- und Forstwirtschaft ohne ökonomische Nachteile Rapsölkraftstoff und Biodiesel einsetzen kann. Unter diesen Umständen kann die Landmaschinenindustrie klima- und ressourcenschonende Maschinen entwickeln, die dann auch kontinuierlichen Absatz finden.

Literatur

- [1] Mineralölwirtschaftsverband e.V. (2012): MWV Mineralölzahlen als Excel-Datei mit Daten zu Kapazitäten, zur Mineralölein- und -ausfuhr, zum Mineralölverbrauch, zu Preisen und zum Weltölmarkt (2012). http://www.mwv.de/upload/statistiken/info/MWV2012_5g7y0W5DKQ4R5L7.zip, Zugriff am 2.6.2014
- [2] Remmele, E.; Eckel, H.; Widmann, B. (2013): Alternative Energieträger und Antriebskonzepte für mobile Maschinen in der Land- und Forstwirtschaft. Zusammenfassung der Ergebnisse. KTBL/TFZ-Fachgespräch, 20. und 21. März, Straubing, <https://www.ktbl.de/inhalte/themen/energie/themen/alternative-energetraeger/>, Zugriff am 16.6.2014

Autoren

Dr. Edgar Remmele ist Leiter des Sachgebiets Biogene Kraft-, Schmier- und Verfahrensstoffe am Technologie- und Förderzentrum und **Dr. Bernhard Widmann** ist Leiter des Technologie- und Förderzentrums im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Schulgasse 18, 94315 Straubing, E-Mail: edgar.remmele@tfz.bayern.de

Henning Eckel ist Teamleiter Energie, Emissionen und Klimaschutz am Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Bartningstraße 49, 64289 Darmstadt

Hinweis

Der Beitrag gibt die Ergebnisse eines von KTBL und TFZ gemeinsam veranstalteten Fachgesprächs am 20. und 21. März 2013 am Technologie- und Förderzentrum Straubing wieder. Dabei wurde von Experten der Status quo verschiedener regenerativer Kraftstoffe und Antriebssysteme aufgezeigt und diese hinsichtlich verschiedener Kriterien diskutiert und bewertet.