

Klimafreundliche Maschinen im Dauertest

von DR. JOHANNES ETTL, DR. KLAUS THUNEKE und DR. EDGAR REMMELE: **Können Landmaschinen bereits heute mit Pflanzenölkraftstoff, Biodiesel, HVO oder Strom betrieben werden? Untersuchungen des Technologie- und Förderzentrums (TFZ) ergaben, dass diese Klimaschonenden Antriebe zumeist praxistauglich funktionieren. Die Abgasemissionen von Biokraftstofftraktoren der neuesten Abgasstufe V am Prüfstand sind auf einem geringen Niveau. Ein rapsöltauglicher Forstharvester hat auch nach fast 80 Prozent seiner theoretischen Lebensbetriebszeit niedrige Abgaswerte. Im Feldtest erweisen sich zudem elektrisch betriebene Kleinmaschinen, wie Hoflader, als praktikabel. Alternative Antriebe können in modernen Maschinen bereits jetzt zu einer deutlichen Reduzierung der Treibhausgasemissionen und zur Verminderung der Abhängigkeit von Mineralölimporten in der Land- und Forstwirtschaft genutzt werden.**

Alternative Antriebe

Deutschland macht sich mit dem Klimaschutzgesetz auf den Weg bis 2045 klimaneutral zu werden [1]. Durch die Umstellung von fossilen auf klimaschonende Kraftstoffe bzw. Antriebe kann ein wichtiger Beitrag zur Minderung von Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) in der Land- und Forstwirtschaft erreicht werden [2]. Neben dem Aspekt des Klimaschutzes wird so auch

die Abhängigkeit von erdöl- und erdgasfördernden Staaten verringert. Die bayerischen Staatsbetriebe der Landwirtschafts- und Justizverwaltung sollen bei der Verwendung von regenerativen Energieträgern nach dem Bayerischen Klimaschutzgesetz (BayKlimaG) eine Vorreiterrolle einnehmen [3]. Für elektrische Antriebssysteme in Landmaschinen sowie für alternative Kraftstoffe in modernen Traktoren der aktuellen Abgasstufe V liegen

Infobox 1: Klimafreundliche Antriebe und Kraftstoffe im Vergleich

Die Untersuchung konzentriert sich auf bereits am Markt verfügbare Energieträger. Nachfolgend werden die untersuchten Antriebsoptionen für Land- und Forstmaschinen kurz vorgestellt [3]:

- Die Verwendung von reinem **Rapsölkraftstoff (RK) nach DIN 51605** ist vielfach erprobt. Aufgrund abweichender Eigenschaften zum Diesel, wie z. B. Fließfähigkeit und Zündverhalten, kann Rapsölkraftstoff in Dieselmotoren nur nach Anpassungen des Kraftstoffsystems und der Motorsteuerung verwendet werden. Er ist biologisch schnell abbaubar und weitgehend unschädlich für Boden und Gewässer. Rapsölkraftstoff wird in industriellen oder dezentralen Ölmühlen produziert und liefert dabei als Koppelprodukt heimisches Eiweißfutter.
- Als **Biodiesel (B100) nach DIN EN 14214** werden Fettsäuremethylester, kurz FAME (Fatty Acid Methyl Esters) bezeichnet, die zumeist durch den chemischen Prozess der Umesterung pflanzlicher Öle hergestellt werden. Biodiesel ist ähnlich fließfähig wie Dieselmotoren und kann bei bestehender Freigabe als sogenanntes B100 im Fahrzeug eingesetzt werden. Daneben wird Biodiesel europaweit fossilem Dieselmotoren in der Regel bis zu 7 Prozent (B7) beigemischt.
- **Hydriertes Pflanzenöl (HVO)** wird aus Rest- und Abfallstoffen oder Pflanzenölen (bisher meist Palmöl) sowie Wasserstoff hergestellt. Der Kraftstoff ist als paraffinischer Dieselmotoren gemäß **DIN EN 15940** genormt und besitzt ähnliche Eigenschaften wie Diesel. Neumaschinen besitzen daher häufig eine Freigabe für HVO. Ab 2023 ist am deutschen Markt nur noch palmölfreies HVO zulässig. Der HVO-Reinkraftstoff ist nicht in der 10. BImSchV gelistet und darf deshalb in Reinform nicht an öffentlichen Tankstellen abgegeben werden, sondern ist nur für Eigenverbrauchstankstellen erhältlich.
- Mittlerweile sind auch Landmaschinen erhältlich, die mit **Strom** aus Batteriespeichern betrieben werden. Der Beitrag zum Klimaschutz hängt vom erneuerbaren Anteil im Ladestrom ab. Aufgrund der limitierten Speichermöglichkeit von Strom in Batterien sind derzeit Kleinmaschinen, wie z. B. Hoflader, Kleintraktoren, Einachsgeräteträger mit batterieelektrischem Antrieb zweckmäßig.

jedoch kaum Erfahrungen zum Betriebs- und Emissionsverhalten, insbesondere über längere Betriebszeiträume, vor. Ziel der Begleitforschung ist daher, Land- und Forstmaschinen mit Abgasnachbehandlungssystemen hinsichtlich Funktionalität, Verbrauch und Abgasverhalten im Feldeinsatz und am Traktorenprüfstand im Betrieb mit alternativen Antrieben zu untersuchen.

Mehr zum Thema alternative Antriebe und dem Projekt „Klimaschutz mit regenerativen Antriebssystemen auf staatlichen Versuchsgütern“ finden Sie auf der Website www.tfz.bayern.de oder direkt über den QR-Code (siehe Infobox 2).



■ Bild 1: Traktorenprüfstand zur Leistungs- und Emissionsmessung am TFZ (Fotos: TFZ)

Feldtest und Abgasmessungen

Im *Feldtest* werden insgesamt 27 biokraftstofftaugliche Maschinen auf staatlichen Betrieben des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten untersucht. Daneben sind auch drei Arbeitsmaschinen mit elektrischem Antrieb Teil der Untersuchungen. Anhand von Befragungen der Betreiber sollen die Zuverlässigkeit und mögliche technische Schwachstellen der Maschinen beurteilt werden. Zusätzlich fließen Aufzeichnungen aus Betriebstagebüchern und Datenloggern sowie Kraftstoff- und

Motorölanalysen in die Beurteilung der Praxistauglichkeit ein.

Am *Traktorenprüfstand* werden ausgewählte Biokraftstofftraktoren hinsichtlich ihres Emissions- und Leistungsverhaltens untersucht. Dabei durchlaufen die Traktoren acht stationäre Lastpunkte des Prüfzyklus Non-Road Steady Cycle (NRSC) in Anlehnung an die Abgasgesetzgebung nach EU-Verordnung 2016/1628. Die Drehmoment- und Drehzahlvorgaben der NRSC-Lastpunkte werden über eine Wirbelstrombremse an der Zapfwelle und über einen Gaspedalsteller geregelt. Dabei werden die Abgaskomponenten Stickstoffoxide (NO_x), Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Partikelmasse (PM) sowie Partikelanzahl (PN) erfasst. Das *Bild 1* zeigt einen Biokraftstofftraktor am Traktorenprüfstand.

Ferner erfolgt die Messung des realen Emissionsverhaltens mit einem *portablen Emissionsmesssystem (PEMS)*, wie in *Bild 2* am Beispiel eines rapsöltauglichen Forstharvesters John Deere 1470G (JD-SF) zu sehen ist. In dieser ausgewählten Messreihe soll das Emissionsverhalten nach circa 77 Prozent der theoretischen Lebensbetriebszeit von 10 000 Betriebsstunden der Maschine überprüft werden [4]. Die Auswertung basiert auf den EU-Richtlinien 2016/1628 und 2017/655. Eine



■ Bild 2: Portables Emissionsmesssystem im Heckanbau an einem Forstharvester John Deere 1470G im Rapsölkraftstoffbetrieb

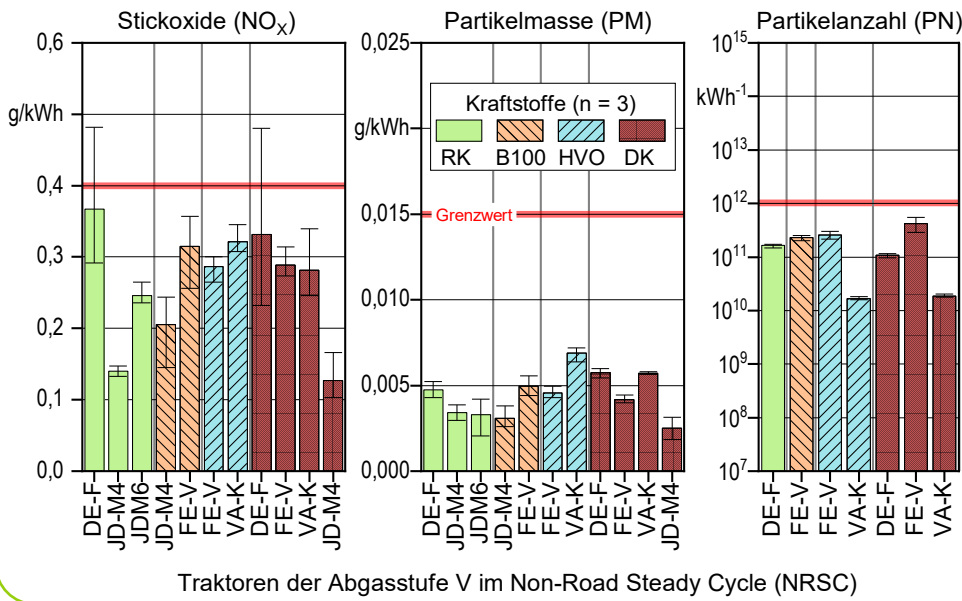


Abbildung 1: Stickoxide (NO_x), Partikelmasse (PM) und Partikelanzahl (PN) von Traktoren der Abgasstufe V mit Rapsölkraftstoff (RK), Biodiesel (B100), hydriertem Pflanzenöl (HVO) und fossilem Dieselmotorkraftstoff (DK)

Einzelmessung wird dabei in 3 000 bis 5 000 separate Emissionsfenster unterteilt. Für jedes Fenster wird ein Konformitätsfaktor (CF) berechnet. Der CF ist der Quotient aus den ermittelten Emissionswerten und dem Grenzwert, der für Prüfstandsmessungen gilt.

Funktionalität im Feldtest

Die 27 Land- und Forstmaschinen, die mit Rapsölkraftstoff, Biodiesel oder hydriertem Pflanzenöl (HVO) aus Rest- und Abfallstoffen arbeiten, absolvierten im Feldtest weitgehend problemlos mehr als 100 000 Betriebsstunden. Auftretende

Störungen konnten in Zusammenarbeit mit den Herstellern und Werkstätten behoben werden und waren meist auf das Niederdruckkraftstoffsystem begrenzt. So wurden am häufigsten Undichtigkeiten repariert sowie Kraftstoffvorförderpumpen, Umschaltventile und Teile der Vorwärmeinrichtungen getauscht. Die Betreiber sind insgesamt mit der Praxiseignung der biokraftstofftauglichen Maschinen zufrieden. Auch die zwei elektrisch angetriebenen Hoflader und das Transportfahrzeug werden hinsichtlich Zuverlässigkeit, Batteriereichweite und Arbeitsleistung überwiegend

als sehr gut bewertet. Kaufgründe für den Elektroantrieb waren die Vermeidung von Schadstoffemissionen bei Arbeiten in Gebäuden und die Reduzierung der Lärmemissionen. Allerdings vermissen die Nutzer an Tagen mit Arbeitsspitzen eine Schnellademöglichkeit der Batterie.

Ergebnisse am Prüfstand und im realen Betrieb

Die Emissionen der Traktoren mit der neusten Abgasstufe V im Betrieb mit Rapsölkraftstoff (RK), Biodiesel (B100) und hydriertem Pflanzenöl (HVO) fallen insgesamt sehr gering aus und unterscheiden sich nur geringfügig zur Dieselmotorkraftstoffvariante (DK). Dies zeigen die Messergebnisse am Traktorenprüfstand in *Abbildung 1*.

Die mittleren NO_x, PM- und PN-Emissionen der Traktoren Deutz-Fahr 6165.4 TTV (DE-F), John Deere 6135R (JD-M4) und 6250R (JD-M6), Valtra T214 Direct (VA-K) sowie Fendt 211 V Vario (FE-V) unterschreiten dabei die Grenzwerte der strengsten Abgasstufe V bei allen Messungen deutlich. Der Traktortyp hat tendenziell einen größeren Einfluss auf das Emissionsverhalten als die Kraftstoffart. Die

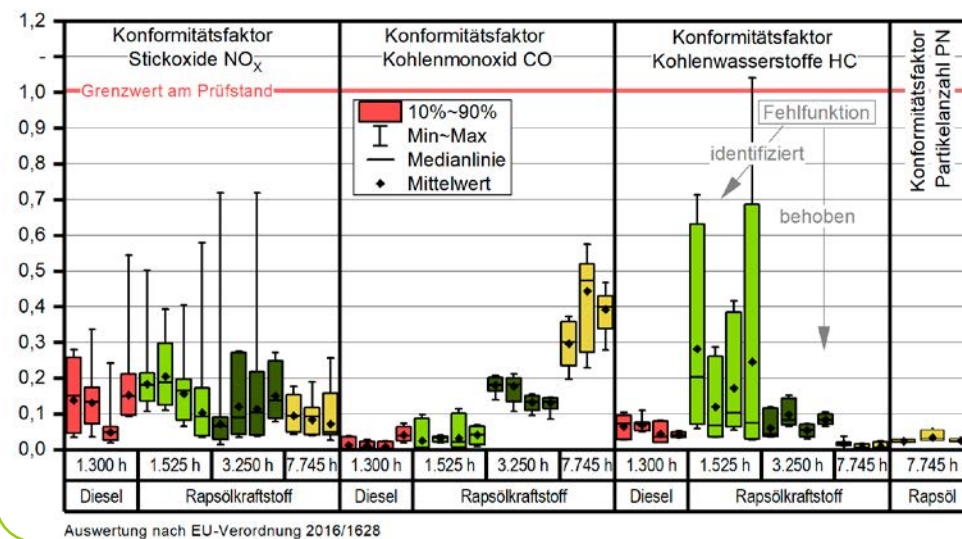


Abbildung 2: Realemissionen des Forstharvesters John Deere 1470G der Abgasstufe IV

CO- und HC-Emissionen liegen bei allen Messungen auf einem Niveau unter 0,01 g/kWh und daher deutlich unter den Grenzwerten von 3,5 g CO/kWh bzw. 0,19 g HC/kWh.

An einem rapsölbetriebenen Harvester wurden fernermithilfe von portablen Emissionsmessungen das reale Abgasverhalten sowie die Funktionstüchtigkeit des Motors und der Abgasnachbehandlung nach 7 745 Betriebsstunden überprüft. Die Verteilung der Realemissionswerte des John Deere 1470G der Abgasstufe IV sind in *Abbildung 2* zu sehen.

Die Konformitätsfaktoren aller NO_x-, CO- und PN-Messfenster fallen deutlich geringer aus als das zulässige Emissionsniveau für Messungen am Motorenprüfstand (CF = 1,0). Ein stufenweiser Anstieg der CO-Emissionen ist auf übliche Alterungseffekte der Abgaskatalysatoren zurückzuführen. Ein temporärer Anstieg der HC-Konformitätsfaktoren bei 1 525 Betriebsstunden wurde durch fehlerhafte Einstellungen der Abgasnachbehandlung ausgelöst. Die Fehleinstellungen der Prototyp-Maschine konnten durch die PEMS-Messungen identifiziert und nachweislich behoben werden.

Insgesamt bleibt festzustellen, dass der Harvester auch im realen Betrieb die Anforderungen der zugehörigen Abgasstufe IV und sogar der strengeren Abgasstufe V, auch nach einer Betriebszeit von 7 745 Stunden mit Rapsölkraftstoff, einhält.

Fazit

Biokraftstofftaugliche Land- und Forstmaschinen haben in der Untersuchung ihre Einsatztauglichkeit in der Praxis unter Beweis gestellt. Ferner sind die Abgasemissionen mit Biokraftstoffen in Traktoren der neuesten Abgasstufe V am Prüfstand und bei realen Einsatzfahrten auf einem sehr geringen Niveau. Im unteren Leistungssegment sind elektrisch

betriebene Maschinen zum Beispiel Hoflader eine praxisreife Option. Alternative Antriebe in moderner Land- und Forsttechnik können bereits jetzt zu einer deutlichen Reduzierung der Treibhausgasemissionen sowie zu einer von Mineralöl unabhängigeren Kraftstoffversorgung genutzt werden.

Literatur

- [1] Bundes-Klimaschutzgesetz vom 12. Dezember 2019 (BGBl. I S. 2513), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 18. August 2021 (BGBl. I S. 3905) geändert worden ist
- [2] KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT E. V. (2020): Alternative Antriebssysteme für Landmaschinen. KTBL-Schrift 519. 132 Seiten
- [3] REMMELE, E.; JAHRSTORFER, C.; ORTINGER, W. (2021): Klimaschutz durch erneuerbare Antriebe. Bewirtschaftung staatlicher land- und forstwirtschaftlicher Flächen in Bayern. In: „Schule und Beratung“ (3-4/2022), Seite 39 – 41
- [4] EMBERGER, P.; MAUTNER, S.; HINRICHS, M.; THUNEKE, K.; REMMELE, E. (2019): Rapsölkraftstoff als Energieträger für den Betrieb eines forstwirtschaftlichen Vollernters (Harvester). Berichte aus dem TFZ, Nr. 63. Straubing: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), 81 Seiten

Infobox 2: Informationen zum Thema

Mehr zum Thema alternative Antriebe und dem Projekt „Klimaschutz mit regenerativen Antriebssystemen auf staatlichen Versuchsgütern“ (<https://www.tfz.bayern.de/biokraftstoffe/projekte/199272/index.php>)



DR. JOHANNES Ettl
DR. KLAUS ThUNEKE
DR. EDGAR REMMELE
 TECHNOLOGIE- UND FÖRDERZENTRUM
 IM KOMPETENZENTRUM FÜR
 NACHWACHSENDE ROHSTOFFE
johannes.ettl@tfz.bayern.de
klaus.thuneke@tfz.bayern.de
edgar.remmele@tfz.bayern.de

