

Peter Emberger, Marco Landis, Kurt Krammer, Heinrich Prankl, Hermann Schaufler, Isidor Schiess und Klaus Thuneke

# Emissionsmessungen an einem Traktor – Ringversuch von ART, FJ-BLT und TFZ

Im Rahmen der Typgenehmigungsverfahren existieren Vorschriften zur Emissionsmessung an Traktormotoren am Motorprüfstand, aber eine einheitliche Vorgehensweise bei der Emissionsmessung von Traktormotoren im eingebauten Zustand gibt es nicht. Um die Vergleichbarkeit von Ergebnissen unterschiedlicher Messinstitute zu überprüfen, wurden von Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), Schweiz, Francisco Josephinum Biomass-Logistics-Technology (FJ-BLT), Österreich, und Technologie- und Förderzentrum (TFZ), Deutschland, Messungen an einem Traktor durchgeführt. Die Messergebnisse waren für den Kraftstoffverbrauch sowie für die Stickstoffoxid- und Kohlenmonoxid-Emissionen gut vergleichbar. Lediglich bei den Kohlenwasserstoff-Emissionen während des Betriebes des Traktors mit Rapsölkraftstoff kam es aufgrund der geringen absoluten Werte zu größeren relativen Abweichungen.

## Schlüsselwörter

Emissionsverhalten, Traktoren, Rapsölkraftstoff, Dieseldieselkraftstoff, Ringversuch

## Keywords

Emission characteristics, tractors, rapeseed oil fuel, diesel fuel, round robin test

## Abstract

Emberger, Peter; Landis, Marco; Krammer, Kurt; Prankl, Heinrich; Schaufler, Hermann; Schiess, Isidor and Thuneke, Klaus

## Measurement of emissions of a tractor – round robin test of ART, FJ-BLT and TFZ

Landtechnik 66 (2011), no. 1, pp. 56-59, 4 figures, 1 table, 9 references

Regulations for emission measurements on an engine test rig are existing for type-approval of tractor engines, but a uniform procedure for emission measurements with the engine installed on the tractor is not available. In order to determine the reproducibility of results of different research

institutes, Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), Francisco Josephinum Biomass-Logistics-Technology (FJ-BLT) and Technologie- und Förderzentrum (TFZ) performed measurements on one tractor. The results show, that for fuel consumption as well as for nitrogen oxide and carbon monoxide emissions a good reproducibility is given. Higher relative variations between the measurements could be observed only for the hydrocarbon-emissions during rapeseed oil operation due to a generally low absolute emission level.

Die Anforderungen und das Prüfverfahren zur Bestimmung des Emissionsverhaltens im Rahmen der Typgenehmigung von Traktormotoren werden in den Richtlinien 2000/25/EG [1] bzw. 97/68/EG [2] und den jeweiligen Folgerichtlinien definiert. Eine genaue Beschreibung des Prüfverfahrens erfolgt in der ISO 8178-1 [3]. Dabei werden die Emissionen am Motor im ausgebauten Zustand am Motorenprüfstand erfasst. In jüngster Zeit gewinnen Untersuchungen zum tatsächlichen Emissionsverhalten des Gesamtsystems „Traktor“ (mit eingebautem Motor und Leistungsabnahme an der Zapfwelle) zunehmend an Bedeutung [4; 5; 6; 7]. Der Prüfablauf erfolgt zumeist gemäß dem C1-Zyklus (8-Phasen-Zyklus) in Anlehnung an die ISO 8178-4 [8]; er kann auch für die Bestimmung der gasförmigen Emissionskomponenten bei der Typgenehmigung verwendet werden. Die Vergleichbarkeit solcher Messungen zwischen mehreren Prüfstellen unter Anwendung des

C1-Zyklus ist bislang fraglich, weil die Vorgehensweise nicht einheitlich festgelegt ist. Ziel der im Folgenden beschriebenen Versuche war es deshalb, die Vorgehensweisen und Ergebnisse von Emissionsmessungen an einem Traktor zwischen den Forschungsanstalten ART, FJ-BLT und TFZ zu vergleichen und Erkenntnisse zur Verbesserung und Vereinheitlichung von Emissionsmessungen von Traktormotoren im eingebauten Zustand zu gewinnen.

### Vorgehensweise

Die Vergleichsmessungen wurden an einem nicht serienmäßigen Prototyptraktor John Deere 6930 Premium „GreenPower“ durchgeführt, der sowohl mit Diesel- als auch mit Rapsölkraftstoff betrieben werden kann. Der Traktor wurde nacheinander zu den einzelnen Forschungsstellen transportiert. Die Untersuchungen wurden in Anlehnung an den C1-Prüfzyklus ISO 8178-4 (8-Phasen-Zyklus) durchgeführt. Als Kraftstoffe dienten Referenzdiesel der Qualität CEC RF-06-03 (DK) und eine vom Traktorenhersteller bereitgestellte einheitliche Charge Rapsölkraftstoff mit 0,1 % Additivzugabe (John Deere Biodiesel Protect 100) (RK), welche bis auf die Säurezahl die Anforderungen der DIN V 51605 erfüllte.

Die Forschungsanstalten waren mit unterschiedlichen Messgeräten ausgestattet, die mit den wichtigsten Messgrößen in **Tabelle 1** aufgeführt sind. Für die Berechnung der Massenströme der Emissionskomponenten wurde einheitlich der Abgasmassenstrom herangezogen. Der Abgasmassenstrom wurde an der ART anhand der Messung von Ansaugluftmasse und Kraftstoffverbrauch bestimmt; am FJ-BLT und am TFZ wurde der Abgasmassenstrom mithilfe einer Kohlenstoffbilanz anhand

der gemessenen Abgaskonzentrationen und des Kraftstoffverbrauchs berechnet. Die gasförmigen Emissionskomponenten Kohlenstoffmonoxid (CO), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) und Kohlenwasserstoffe (HC) wurden an jeder Prüfstation mindestens zweimal für jeden Kraftstoff gemessen. Gleichzeitig wurde der Kraftstoffverbrauch erfasst.

Die Ergebnisse wurden für jede der 8 Prüfphasen einzeln ausgewertet, um den Einfluss der Prüfphasen mitbestimmen zu können. Aus den 2 bzw. 3 Einzelmessungen je Messinstitut und Kraftstoffart wurden arithmetische Mittelwerte (MW) gebildet, die mit dem Gesamtmittelwert (GMW) der Ergebnisse aller 3 Messinstitute verglichen wurden. Die Streuung der Ergebnisse um den Mittelwert jeder der 8 Prüfphasen wurde durch die relative Standardabweichung zum Mittelwert (Variationskoeffizient) beschrieben. Als durchschnittlicher Variationskoeffizient (dVarK) wurde das arithmetische Mittel der Variationskoeffizienten aller 8 Prüfphasen bezeichnet. Entsprechend gab der maximale Variationskoeffizient (maxVarK) die größte relative Standardabweichung aller 8 Prüfphasen an.

Die Ergebnisse wurden im Vergleich zu den Ergebnissen eines Ringversuchs zur ISO 8178 von Stein und Herdan (1998) [9] eingeordnet. Die Angabe der Vergleichbarkeit zwischen den Prüfstationen bezog sich dabei auf den Variationskoeffizienten, ermittelt aus den gewichteten Gesamtzykluswerten von 28 Messinstituten mit 3 Motoren unterschiedlicher Leistung von 18 bis 190 kW. Der einfache Variationskoeffizient (VarK) betrug für die Messung von NO<sub>x</sub> ca. 5 %, für CO ca. 13 %, für HC ca. 17 % und für die Partikelmasse-Emissionen ca. 9 %.

Tab. 1

Verwendete Messgeräte zur Emissionsmessung der drei Messinstitute  
 Table 1: Measurement equipment used for the emission measurements by the three institutes

Messgröße/ Measured variable	ART	FJ-BLT	TFZ
Drehmoment und Drehzahl/ Torque and speed	Wassergekühlte Wirbelstrombremse Schenk W 700/ Water-cooled eddy current brake Schenk W 700	Wassergekühlte Wirbelstrombremse Schenk W 780/ Water-cooled eddy current brake Schenk W 780	Luftgekühlte Wirbelstrombremse Eggers PT 301/ Air-cooled eddy current brake Eggers PT 301
Kraftstoffverbrauch/ Fuel consumption	Kraftstoffwaage AVL 733S/ Fuel balance AVL 733S	DK: Pierburg PLU 401, RK: Endress&Hauser Promass 83 M/ Diesel: Pierburg PLU 401, Rapeseed oil: Endress&Hauser Promass 83 M	Waage Pesa WT BR 210/B3/ Balance Pesa WT BR 210/B3
Kohlenstoffmonoxid CO/ Carbon monoxide CO	Pierburg AMA 2000 (NDIR-Analysator)/ Pierburg AMA 2000 (NDIR-analyzer)	Horiba Mexa 7170D (NDIR-Analysator)/ Horiba Mexa 7170D (NDIR-analyzer)	Rosemount Binos 1001 (NDIR-Analysator)/ Rosemount Binos 1001 (NDIR-analyzer)
Kohlenwasserstoffe HC/ Hydrocarbons HC	Pierburg AMA 2000 (HFID-Analysator)/ Pierburg AMA 2000 (HFID-analyzer)	Horiba Mexa 7170D (FID-Analysator)/ Horiba Mexa 7170D (FID-analyzer)	Compur Multi-FID 100 (FID-Analysator)/ Compur Multi-FID 100 (FID-analyzer)
Stickstoffoxide NO <sub>x</sub> / Nitrogen oxides NO <sub>x</sub>	Pierburg AMA 2000 (CLD-Analysator)/ Pierburg AMA 2000 (CLD-analyzer)	Horiba Mexa 7170D (CLD-Analysator)/ Horiba Mexa 7170D (CLD-analyzer)	Beckmann Industrial 951A (CLD-Analysator)/ Beckmann Industrial 951A (CLD-analyzer)

## Ergebnisse und Diskussion

**Abbildung 1** zeigt den Kraftstoffverbrauch des Traktors für Diesel (graue Säulen) und Rapsölkraftstoff (orange Säulen) für jede Prüfphase. Die als Kreuze dargestellten Mittelwerte der 3 Messinstitute lagen nahezu deckungsgleich über dem Gesamtmittelwert, was auf eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse hindeutet. Dies wird auch durch die niedrigen durchschnittlichen Variationskoeffizienten (dVarK) von 1,4 % beim Betrieb mit Dieseldieselkraftstoff (DK) und 1,0 % beim Betrieb mit Rapsölkraftstoff (RK) deutlich. Die größten Abweichungen der Ergebnisse zwischen den einzelnen Instituten waren bei Prüfphase 4 zu verzeichnen, bei welcher Variationskoeffizienten von 2,6 (DK) bzw. 2,3 % (RK) ermittelt wurden.

## NO<sub>x</sub>-Emissionen

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen, die an den 3 Messinstituten ermittelt wurden, sind prüfphasenspezifisch in **Abbildung 2** dargestellt. Dabei zeigt sich, dass das FJ-BLT bei DK in 7 und bei RK in 6 von 8 Prüfphasen zu höheren NO<sub>x</sub>-Werten kam als ART und TFZ. Eine Ursache dafür könnte sein, dass bei den Messungen am FJ-BLT die Motorhaube nicht wie bei den beiden anderen Messinstituten geöffnet war. Die höheren Temperaturen im Motorraum, welche insbesondere bei den Prüfphasen 1, 2, 5 und 6 des oberen Lastbereichs zu verzeichnen sind, führen üblicherweise zu verstärkter thermischer NO<sub>x</sub>-Bildung. Diese Erklärung wird durch Untersuchungen der ART untermauert, wonach mit steigender Ansaugluft- und Motoröltemperatur die NO<sub>x</sub>-Emissionen deutlich zunehmen.

Sowohl für DK als auch für RK liegt der VarK des gewichteten NO<sub>x</sub>-Zykluswertes bei 9 % und damit um ca. 4 %-Punkte über den auf dem Motorenprüfstand ermittelten Werten in [9]. Ein Vergleich des NO<sub>x</sub>-Massenstroms zwischen Diesel- und Rapsölkraftstoff zeigt kaum signifikante Unterschiede. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass mit Rapsölkraftstoff eine geringere Leistung an der Zapfwelle erzielt wurde.

## CO-Emissionen

**Abbildung 3** zeigt eine gute Übereinstimmung der CO-Emissionen zwischen den Messinstituten. Dies wird anhand des durchschnittlichen Variationskoeffizienten (dVarK) bestätigt, welcher bei DK 8,4 % und bei RK 6,9 % beträgt. Der mit Abstand höchste VarK wurde bei beiden Kraftstoffen in Prüfphase 5 ermittelt. Mit 22,3 % (DK) und 12,9 % (RK) liegt dieser auf vergleichsweise hohem Niveau, zumal für alle anderen 7 (DK)- bzw. 6 (RK)-Prüfphasen der VarK unter 10 % liegt. Eine Erklärung für die höheren VarK in Prüfphase 5 könnte sein, dass beim Wechsel von Prüfphase 4 (Teillast 10 %) auf 5 (Volllast 100 %) die in der ISO 8178-1 vorgegebene Mindestdauer einer Prüfphase von 10 Minuten nicht immer ausreichte, um am Motor, der in den Traktor eingebaut war, stationäre Betriebsbedingungen mit einem konstanten Emissionsniveau zu erreichen. Einheitlich längere Verweilzeiten in dieser Prüfphase könnten die Vergleichbarkeit der Ergebnisse eventuell erhöhen.

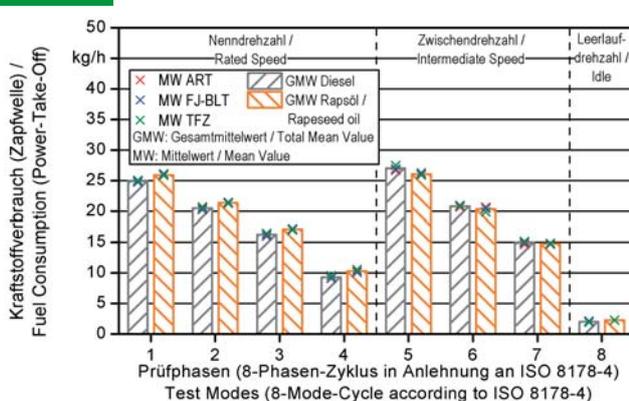
Die VarK der gewichteten Zykluswerte betragen für DK 5,9 % und für RK 3,1 % und liegen somit um mehr als 50 % unter dem zum Vergleich herangezogenen VarK, der im Ringversuch in [9] ermittelt wurde.

Beim Vergleich der CO-Emissionen zwischen DK und RK ergaben sich im Mittel um 7 % günstigere Werte für RK. Vorteile waren für RK jedoch nur bei den Prüfphasen mit mindestens 50 % Last zu verzeichnen, im Schwachlast- und Leerlaufbetrieb (Prüfphasen 4 und 8) lagen die CO-Emissionen im Dieseldieselbetrieb unter dem Niveau des Rapsölbetriebs.

## HC-Emissionen

Die HC-Emissionen sind in **Abbildung 4** dargestellt. Infolge der sehr geringen absoluten Emissionswerte, wie sie insbesondere beim Betrieb mit Rapsölkraftstoff zu verzeichnen sind, kam es erwartungsgemäß zu vergleichsweise größeren relativen Schwankungen zwischen den einzelnen Messungen. So betrug der dVarK für DK 13,4 % und für RK 40,0 %. Der maxVarK war mit 23,5 % (DK) und 50,1 % (RK) ebenfalls um ein Vielfaches

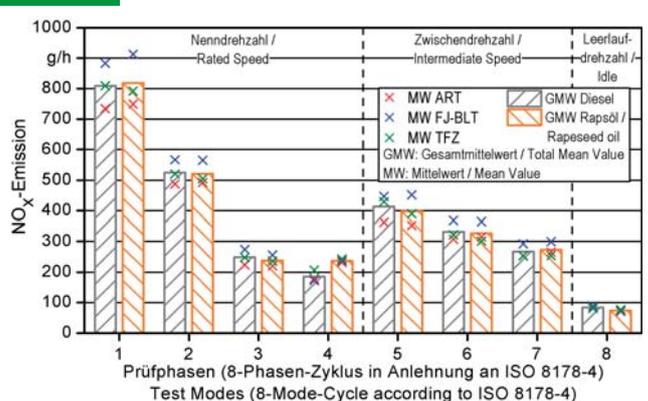
Abb. 1



Verbrauch von Diesel- und Rapsölkraftstoff für die einzelnen Prüfphasen

Fig. 1: Fuel consumption of diesel and rapeseed oil during the test modes

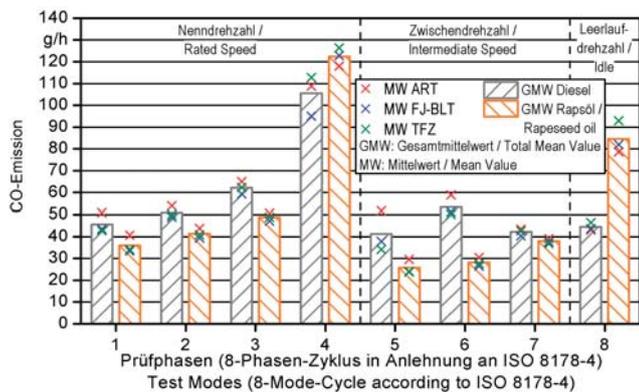
Abb. 2



NO<sub>x</sub>-Emissionen während der einzelnen Prüfphasen

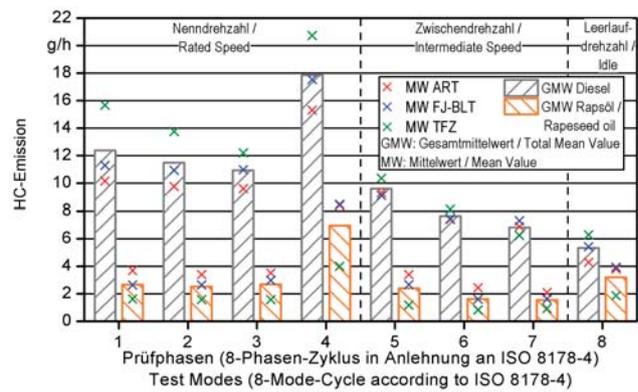
Fig. 2: NO<sub>x</sub>-emissions during the test modes

Abb. 3



CO-Emissionen bei den einzelnen Prüfphasen  
 Fig. 3: CO-emissions during the test modes

Abb. 4



HC-Emissionen während der Prüfphasen  
 Fig. 4: HC-emissions during the test modes

höher als bei  $\text{NO}_x$  und CO. Für die gewichteten HC-Zyklusergebnisse am Traktorenprüfstand betrug der VarK 12,6 % für DK und 35,3 % für RK. In [9] war am Motorenprüfstand ein VarK von 17 % für HC ermittelt worden.

Ein Vergleich der HC-Emissionen beider Kraftstoffe zeigt, dass beim Betrieb mit DK mit 4-21 g/h deutlich höhere Werte auftraten, als mit Rapsölkraftstoff (1-9 g/h). Dies ist auch aus einer Vielzahl weiterer Untersuchungen bekannt.

### Schlussfolgerungen

Die Vergleichsmessungen zeigen, dass die Ergebnisse der Emissionsmessungen am Traktor trotz unterschiedlicher Vorgehensweise und Messausrüstung zwischen den beteiligten Messinstituten eine gute Übereinstimmung aufweisen, welche sich im Bereich von am Motorenprüfstand ermittelten Werten bewegen. Dies gilt insbesondere für den spezifischen Kraftstoffverbrauch sowie für die  $\text{NO}_x$ - und CO-Emissionen. Lediglich die HC-Emissionen bei RK variierten stärker zwischen den Messungen, was in erster Linie an den niedrigen absoluten Konzentrationswerten lag.

Eine weitere Verbesserung der Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen verschiedenen Messinstituten könnte erreicht werden, wenn das Vorgehen bei den Emissionsmessungen präzisiert und vereinheitlicht werden würde. Dies könnten beispielsweise Vorgaben hinsichtlich des Aufbaus des Prüflings (offene oder geschlossene Motorhaube), des Ortes der Probenahme oder der genauen Verweildauer auf den einzelnen Prüfphasen sein.

### Literatur

- [1] Richtlinie 2000/25/EG des europäischen Parlaments und des Rates über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission gasförmiger Schadstoffe und luftverunreinigender Partikel aus Motoren, die für den Antrieb von land- und forstwirtschaftlichen Zugmaschinen bestimmt sind, und zur Änderung der Richtlinie 74/150/EWG (2000). ABl. Nr. L 173 vom 12.07.2000, zuletzt geändert durch Richtlinie 2005/13/EG (ABl. Nr. L 55 v. 01.03.2005) der Kommission
- [2] Richtlinie 97/68/EG des europäischen Parlaments und des Rates zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über Maßnahmen zur Bekämpfung der Emission von gasförmigen Schadstoffen und luftverunreinigenden Partikeln aus Verbrennungsmotoren für mobile Maschinen und Geräte (1997). ABl. Nr. L 59 vom 27.02.1998, zuletzt

geändert durch Richtlinie 2004/26/EG (ABl. Nr. L 225 vom 25.06.2004) des Europäischen Parlaments und des Rates

- [3] Deutsches Institut für Normung e. V. (2006): ISO 8178-1 Reciprocating internal combustion engines, Exhaust emission measurement - Part 1: Test-bed measurement of gaseous and particulate exhaust emissions
- [4] Hassel, E.; Prescher, K.; Berndt, S.; Flüge, E.; Golisch, J.; Harkner, W.; Schumann, U.; Sy, G.; Wichmann, V. (2005): Praxiseinsatz von serienmäßigen neuen rapsöлтаuglichen Traktoren. Abschlussbericht über die Begleitforschung zum Demonstrationsobjekt, Aktenzeichen: 00 NR 200. Hg. Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren der Universität Rostock
- [5] Rathbauer, J.; Krammer, K.; Kriechbaum, T.; Prankl, H.; Breinesberger, J. (2008): Rapsöl als Treibstoffalternative in der Landwirtschaft. BMLFUW-LE. 1.3.2/0037-II/1/2006, Forschungsprojekt 1337, Oktober 2003 bis September 2006, Projektverlängerung bis September 2008. Anhang Band I, Anhang Band II, Anhang Band III, Endbericht. Hg. HBLEFA Francisco Josephinum; BLT Biomass, Logistic, Technology, Wieselburg, St. Pölten
- [6] Rinaldi, M.; Stadler, E. (2002): Trends im Abgasverhalten landwirtschaftlicher Traktoren. Neue Modelle deutlich sauberer. FAT-Berichte, Nr. 577. Hg. Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon
- [7] Thuneke, K.; Gassner, T.; Emberger, P.; Remmele, E. (2009): Untersuchungen zum Einsatz rapsölbetriebener Traktoren beim Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Ökologischen Landbau und Tierhaltung Kringell. Berichte aus dem TFZ, Nr. 17. Hg. Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Straubing
- [8] Deutsches Institut für Normung e. V. (1996): DIN EN ISO 8178-4 Hubkolben-Verbrennungsmotoren, Abgasmessung. Teil 4: Prüfzyklen für verschiedene Motorverwendungen. Berlin, Beuth Verlag
- [9] Stein, H. J.; Herdan, T. (1998): Worldwide Harmonization of Exhaust Emission Test Procedures for Nonroad Engines Based on the International Standard ISO 8178. SAE Technical Paper Series 982034. Edit. Society of Automotive Engineers Inc., Warrendale

### Autoren

**Dipl.-Ing. (FH) Marco Landis** und **Isidor Schiess** sind Mitarbeiter der Forschungsgruppe Agrartechnische Systeme der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART), Tänikon 1, CH-8356 Ettenhausen, E-Mail: marco.landis@art.admin.ch

**Dipl.-Ing. Heinrich Prankl**, **Ing. Hermann Schaufler** und **Ing. Kurt Krammer** sind Mitarbeiter der Höheren Bundeslehr- und Forschungsanstalt Francisco Josephinum - BLT in Wieselburg (FJ-BLT), Rottenhauser Straße 1, A-3250 Wieselburg, E-Mail: hermann.schaufler@josephinum.at

**Dipl.-Ing. (FH) Peter Emberger** und **Dr. Klaus Thuneke** sind Mitarbeiter des Sachgebiets Biogene Kraft-, Schmier- und Verfahrensstoffe im Technologie- und Förderzentrum (TFZ), Schulgasse 18, D-94315 Straubing, E-Mail: peter.emberger@tfz.bayern.de

### Danksagung

Die Autoren danken den John Deere Werken Mannheim für die Bereitstellung des Prototyptraktors und die gute Zusammenarbeit sowie dem Forschungsnetzwerk Biogene Kraftstoffe (ForNeBiK) für die Unterstützung des Vorhabens.