

**Aus dem Institut für Technologie und Biosystemtechnik**

**Axel Munack  
Jürgen Krahl  
Hermann Speckmann**

**Biodieselsensorik**

Manuskript, zu finden in [www.fal.de](http://www.fal.de)

Published in: Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 239,  
pp. 87-92

**Braunschweig  
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)  
2003**

## Biodieselsensorik

Axel Munack<sup>1</sup>, Jürgen Krahl<sup>1,2</sup>, Hermann Speckmann<sup>1</sup>

### Zusammenfassung

Es ist heutzutage möglich, moderne Dieselmotoren mit Rapsölmethylester (RME, Biodiesel), fossilem Dieselkraftstoff (DK) oder beliebigen Mischungen beider Reinkraftstoffe zu betreiben, ohne die derzeit gültigen Abgasobergrenzen zu überschreiten. Zukünftig wird es erforderlich sein, den Motor an den Kraftstoff anzupassen, um die schärferen Abgasvorschriften zu erfüllen. Damit entsteht für den weiteren Einsatz von Biodiesel eine durchaus kritische Situation; speziell angepasste Motoren würden nämlich beträchtliche Mehrkosten verursachen. Die erforderliche Adaption ist jedoch ohne mechanische Eingriffe möglich; die moderne elektronische Motormanagementeinheit (EMU) kann benutzt werden, um dies zu erreichen. Allerdings benötigt die EMU die Information, welcher Kraftstoff (oder welches Kraftstoffgemisch) aktuell benutzt wird, um das adäquate Motormanagement einzuleiten (wie die Menge des eingespritzten Kraftstoffes, die Einspritzzeit oder den Einspritzverlauf). Sensorkonzepte, die in der Lage sind, diese Information zu liefern, sind in einem aktuellen Forschungsprojekt untersucht worden. Es zeigte sich, dass der Realteil der relativen Dielektrizitätszahl ( $\epsilon_r'$ ) einen exzellenten Indikator für den Kraftstoff darstellt;  $\epsilon_r'$  für Biodiesel ist nämlich mehr als 50 % höher als  $\epsilon_r'$  für DK.

Die Versuche, die im Folgenden vorgestellt werden, wurden auf einer breiten Grundlage durchgeführt (Kraftstoffzusammensetzung, Veränderung der Temperatur, Kraftstoffe von unterschiedlichen Herstellern, Sommer- und Winterqualitäten, Alterung, Wassergehalt, typische Verunreinigungen; darüber hinaus: verschiedene Sensoren, die sowohl im Frequenzbereich als auch im Zeitbereich arbeiten). Ergebnisse des Einsatzes eines in der FAL entwickelten Sensorprototyps in einem Audi A4 werden ebenfalls diskutiert.

*Schlüsselworte:* Biodiesel, RME, Dieselkraftstoff, Kraftstoffmischungen, Kraftstoffsensor, Dielektrizitätszahl

### Abstract

Today, it is possible to operate modern diesel engines on rapeseed oil methylester (RME, biodiesel), fossil diesel fuel (DF), or their blends, without violation of the actually valid exhaust limits. In the future, the engine must be adapted to the fuel in order to fulfill sharper exhaust gas regulations. This means that we are entering a critical phase for the further use of biodiesel. A special engine design for biodiesel would be quite costly. However, the required adaptation is possible without mechanical measures; the modern electronic engine management unit (EMU) can be used to achieve this. However: in order to switch to the adequate engine management (like amount of injected fuel as well as time and course of the injection), the EMU needs the information which fuel (or blend) is actually used. Sensor concepts which are able to provide this information have been studied in some depth in an actual research project. The real part of the relative dielectric number ( $\epsilon_r'$ ) turned out to be an excellent indicator. In fact,  $\epsilon_r'$  of biodiesel is more than 50 % higher than  $\epsilon_r'$  of DF.

The experiments that will be presented were carried out on a broad basis (fuel composition, temperature variation, fuels from different manufacturers, summer and winter qualities, aging, water content, typical contaminations; as well as different sensors operating in frequency domain and time domain). Results from the use of a prototype developed in the FAL in a real application (AUDI A4 passenger car) will be reported, too.

*Keywords:* Biodiesel, RME, diesel fuel, blends, fuel sensor, dielectric number

<sup>1</sup> Institut für Technologie und Biosystemtechnik, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig

<sup>2</sup> Fachhochschule Coburg, Friedrich-Streib-Str. 2, D-96450 Coburg

## Einleitung

Heutzutage werden Dieselmotoren hauptsächlich mit fossilem Dieselmotorkraftstoff (DK) betrieben. Alternative Kraftstoffe, wie Rapsölmethylester (RME) oder Ester anderer Pflanzenöle (z. B. Sojabohnenöl oder Palmöl) haben erst einen kleinen Anteil des gesamten verbrauchten Kraftstoffes erreicht. Die Öffentlichkeit wird jedoch in zunehmendem Maße auf die Alternativen aufmerksam. Schließlich ist es anzustreben, dass mittelfristig vermehrt Konzepte realisiert werden, die den Verbrauch an fossilen Kraftstoffen ersetzen oder zumindest verringern.

Weitere unterstützende Argumente für einen wachsenden Einsatz von RME bestehen in den verminderten Emissionen, die für viele der im Abgas zu findenden Komponenten beobachtet werden. Die Emission von Ruß reduziert sich auf etwa 50 % und die Emission von Partikeln verringert sich um 25 bis 35 %, jeweils verglichen mit DK. Wegen des Fehlens von Schwefel in RME kann das Potenzial von Abgasreinigungssystemen (z. B. Oxidationskatalysatoren) sehr effektiv genutzt werden. Dies reduziert die Emission einiger unerwünschter Substanzen im Abgas und der für Pflanzenölkraftstoffe typische Abgasgeruch – ähnlich dem von Pommes Frites – ist kaum mehr feststellbar.

Moderne Dieselmotoren zeichnen sich durch geringen Kraftstoffverbrauch und viel geringere Emissionen aus als ihre Vorgänger von vor etwa zehn Jahren. Dies beruht auf der Tatsache, dass die amerikanischen und europäischen Grenzwerte für Abgaskomponenten in mehreren Schritten herabgesetzt wurden und dass die Motorenhersteller in der Lage waren, diese verschärften Grenzwerte durch verschiedene Optimierungsmaßnahmen sicher einzuhalten. Optimierung führt jedoch im allgemeinen zu dem Problem, dass schon geringe Abweichungen der Kraftstoffzusammensetzung von dem Referenzkraftstoff, der für Entwurf und Feineinstellung benutzt wurde, zu Abgaskonzentrationen führen, die nicht mehr den Spezifikationen entsprechen.

Für den zukünftigen Einsatz von Biodiesel ergibt sich auf diese Weise ein Ernst zu nehmendes Problem. Heutzutage ist es möglich, die modernen Dieselmotoren mit RME, DK oder Gemischen der beiden Reinkraftstoffe zu betreiben, ohne die derzeit gültigen Abgasgrenzwerte zu verletzen. In der Zukunft muss jedoch der Motor auf den Kraftstoff eingestellt werden, um die schärferen Abgasbestimmungen zu erfüllen. Diese Anpassung ist ohne mechanische Maßnahmen möglich; die elektronische Motormanagementeinheit (EMU) kann benutzt werden, um dieses Ziel zu erreichen. Die EMU braucht jedoch die Information, welcher Kraftstoff (bzw. welches Gemisch) aktu-

ell verwendet wird, um ein adäquates Motormanagement, wie z. B. die richtige Menge des eingespritzten Kraftstoffes sowie den Einspritzzeitpunkt und den Einspritzverlauf zu realisieren. Diese Information kann ein Kraftstoffsensordaten liefern, der in der Kraftstoffzuleitung angeordnet ist, z. B. im Kraftstofffilter.

Im folgenden Beitrag werden die Messprinzipien beschrieben, die in unseren Experimenten eingesetzt wurden. Verschiedene Messergebnisse werden präsentiert, die in der Praxis auftretende Situationen wie sich ändernde Kraftstoffqualitäten, Verunreinigungen, Zusatz von Additiven usw. abbilden. Ergebnisse mit einem Sensorprototyp werden ebenfalls vorgestellt, die an einem Audi A4 1.9 TDI gewonnen wurden.

## Messprinzip

Sensorkonzepte, die in der Lage sind, die notwendigen Informationen zu liefern, sind in einem aktuellen Forschungsprojekt untersucht worden, das im Herbst des Jahres 2000 begann. Sie basieren auf Sensoren zur Messung der Bodenfeuchte und des Bodensalzgehaltes, wobei die komplexe Permittivität (Real- und Imaginärteil der Dielektrizitätszahl) sich als hervorragender Indikator herausstellte (Paul, 2000). RME und DK sollten sich in den Realteilen der Dielektrizitätszahl  $\epsilon$  unterscheiden, da ihre Moleküle unterschiedliche Strukturen aufweisen (RME besteht aus polaren Estern; DK setzt sich überwiegend aus nichtpolaren n-, iso- und zyklischen Kohlenwasserstoffen und aus Aromaten zusammen). Die grundlegende Gleichung lautet:

$$\epsilon(\omega) = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r(\omega) = \epsilon_0 \cdot [\epsilon_r'(\omega) - j \cdot \epsilon_r''(\omega)],$$

wobei  $\epsilon$  die absolute Dielektrizitätszahl ist,  $\epsilon_0$  die dielektrische Feldkonstante (im Vakuum) und  $\epsilon_r$  die relative Dielektrizitätszahl;  $j^2 = -1$ .  $\epsilon_r'$ , der Realteil von  $\epsilon_r$ , beschreibt das Speichervermögen eines dielektrischen Materials, wohingegen der negative Imaginärteil,  $\epsilon_r''$ , ein Maß für den Energieverlust darstellt. Im Falle von RME und DK ist der Realteil der relativen Dielektrizitätszahl, also  $\epsilon_r'$ , die Messgröße mit dem größten Informationsgehalt. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung zu Veröffentlichungen anderer Autoren, die z. T. andere Kraftstoffe untersucht haben (Schmitz et al., 1990; Tat und Van Gerpen, 2001). Es stellte sich heraus, dass  $\epsilon_r'$  für RME mehr als 50 % größer ist als  $\epsilon_r'$  für DK.

Die ersten Typen von Sensoren, die wir in unseren Experimenten eingesetzt haben, waren Bodenfeuchtigkeits- und Ionengehaltssensoren. Dabei handelte es sich um Sensoren des Typs MCM 101 vom IMAG-DLO (Hilhorst, 1997). Diese arbeiten im Frequenzbereich mit fest eingestellter Frequenz. Der Sensor, der in den meisten unserer Experimente zum Einsatz kam,

hatte eine Arbeitsfrequenz von 20 MHz. Die ausgegebenen Signale sind der Realteil von  $\epsilon_r$  und die Leitfähigkeit; sie stehen über eine RS232-Schnittstelle zur Verfügung. Der Messbereich für die Leitfähigkeit ist jedoch für Messungen im Boden ausgelegt, so dass im Falle von Kraftstoffen kein verwertbares Messsignal geliefert wird.

Unsere Erwartung war, dass Frequenzen existieren müssten, die bestmöglich geeignet wären, die zwei Kraftstoffe zu unterscheiden. Daher wurde ein Netzwerkanalysator hp 8753ET zur Messung eingesetzt, der einen Frequenzbereich von 300 kHz bis 3 GHz abdeckt. Für den unteren Frequenzbereich von 300 kHz bis 50 MHz wurde eine Messzelle hp 16452A im Transmissionsmodus eingesetzt, während für den höheren Frequenzbereich ein hp 8750C Sensor im Reflexionsmodus Verwendung fand.

Ein dritter getesteter Sensortyp war ein Kavlico-Ölsensor. Dessen zugrunde liegendes Messprinzip ist uns nicht bekannt; der Signalverlauf und die niedrige Messfrequenz von etwa 15 kHz legen jedoch die Vermutung nahe, dass der Sensor im Zeitbereich arbeitet. In diesem Falle wird die Antwort auf eine charakteristische Eingangsfunktion wie etwa eine Strom-Sprungfunktion oder Rampe mittels Spannungsmessung verfolgt. Das Messsignal muss dann noch in ein geeignetes Ausgangssignal umgesetzt werden. Das vom Sensor gelieferte Ausgangssignal war in diesem Fall ein analoges Spannungssignal im Bereich von 2,5 V (für DK) bis 4,7 V (für RME).

Alle oben angesprochenen Sensoren sind relativ teuer, wobei das kostenintensivste Gerät natürlich der Netzwerkanalysator ist. Aber auch die beiden anderen Sensoren werden zu Preisen angeboten, die über dem für einen Einbau in serienmäßige Automobile zur Verfügung stehenden Budget liegen.

Daher haben wir einen eigenen Prototyp für einen Zeitbereichskraftstoffsensor entwickelt. Er besteht aus einem Koaxialkondensator mit einigen analogen und digitalen Integrierten Schaltkreisen zur Gewinnung und Verarbeitung des Messsignals. Die Taktrate für die Messungen beträgt 1 kHz; das (analoge) Sensor-Ausgangssignal ist noch nicht in den zukünftigen Spannungsbereich transformiert. Derzeit wird eine Differenz von ungefähr 0,5 V für DK und RME erhalten. Dieser Sensor wurde auch in praktischen Straßenversuchen eingesetzt; dafür wurde er in den Kraftstofffilter eines Audi A4 1.9 TDI eingebaut.

## Ergebnisse

### Frequenzverhalten und Temperatureinfluss

Die Ergebnisse mit dem Netzwerkanalysator konnten unsere Erwartung, dass einige optimale Fre-

quenzen zur Unterscheidung zwischen RME und DK existieren, nicht erfüllen. Die Messungen für reinen RME und reinen DK (jeweils in Winterqualität) bei einer Temperatur von 25 °C sind in Abbildung 1 dargestellt. Die relativen Dielektrizitätszahlen zeigen einen relativ flachen Verlauf über der Frequenz.

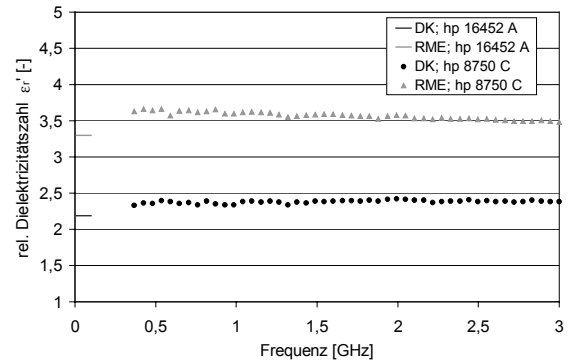


Abbildung 1:

Realteil  $\epsilon_r'$  der relativen Dielektrizitätszahl für reinen RME und reinen DK in Abhängigkeit von der Frequenz; hp 16452A Messzelle (ganz links) und hp 8750C Sensor (rechts); Temperatur: 25 °C

Unterhalb von 0,3 GHz werden die Messwerte mit dem hp 8750C Sensor sehr rauschbehaftet (nicht gezeigt), was auf dem sehr kleinen Nutzsignal in diesem Frequenzbereich beruht, das damit zu einem schlechten Signal/Rauschverhältnis führt. Dieser Sensor ist nicht geeignet für Messungen mit kleinem  $\epsilon_r'$  in diesem Frequenzbereich. Allerdings ergaben auch die Messungen mit der hp 16452A Messzelle im Bereich von 300 kHz bis 50 MHz keine "optimalen" Frequenzen; vgl. den linken Teil von Abbildung 1.

Die Messergebnisse zeigen eine kleinere Dielektrizitätszahl für den niedrigeren Frequenzbereich. Dies steht im Widerspruch zu theoretischen Überlegungen, die üblicherweise einen Abfall der Dielektrizitätszahl für höhere Frequenzen vorhersagen. Die Erklärung für dieses beobachtete Phänomen wurde noch nicht gefunden; derzeit gehen wir davon aus, dass es sich letztlich um Kalibrierfehler des Netzwerkanalysators für die in zwei unterschiedlichen Moden betriebenen Messzellen handelte. Die Kalibrierungsprozedur wird mit Luft, Wasser und Zellen-Kurzschluss durchgeführt. Wasser hat eine Dielektrizitätszahl, die weit über denjenigen der beiden eingesetzten Kraftstoffe liegt und muss daher als zwar wohl definiertes aber vom Bereich her nicht optimales Kalibriermedium angesehen werden.

Glücklicherweise sind die relativen Differenzen zwischen den beiden Kraftstoffen ausreichend hoch, so dass die beiden Kraftstoffe sehr gut durch die Messung der Dielektrizitätszahl unterschieden werden können.

Eine hohe Temperaturabhängigkeit wird ebenfalls beobachtet. Für höhere Temperaturen nimmt die Dielektrizitätszahl ab (vgl. Abbildung 2). Dieses Verhalten ist auch zu erwarten, da die elektrischen Dipolmomente dem elektrischen Feld nicht vollständig folgen können, wenn eine höhere Aktivierung durch höhere Temperatur stattfindet. Absolut gesehen ist die Temperaturabhängigkeit von  $\epsilon_r'$  für RME höher als diejenige für DK. Dies ist jedoch nicht der Fall, wenn man relative Änderungen betrachtet; in diesem Fall erscheint der Temperatureinfluss von  $\epsilon_r'$  für DK höher.

Das gleiche Verhalten kann auch beim Einsatz der anderen Sensoren beobachtet werden. Allerdings ist der Temperatureinfluss für reinen DK offensichtlich geringer, wenn Messungen mit den anderen Sensoren vorgenommen werden. Die Ursache für dieses Verhalten ist noch nicht geklärt. Der Ölsensor ist für reinen RME nicht geeignet; in diesem Fall liegen die Messwerte für alle Temperaturen im oberen Sättigungsbereich.

### Kraftstoffgemische

Ein nahezu lineares Verhalten von  $\epsilon_r'$  kann beobachtet werden, wenn Gemische der beiden Reinkraftstoffe gemessen werden. Dies gilt für alle Sensoren in unseren Untersuchungen mit der oben erwähnten Ausnahme für den Ölsensor, der die obere Sättigungsschwelle bei  $-15\text{ °C}$  für ein Gemisch mit 75 % RME-Anteil erreicht und dann in der Sättigung bleibt, wenn der RME-Anteil weiter erhöht wird.

Ein typischer Verlauf der Sensorsignale in Abhängigkeit vom RME-Anteil ist in Abbildung 2 gezeigt für den Sensor hp 16452A und in Abbildung 3 unter Benutzung unseres eigenen preiswerten Sensor-Prototyps.

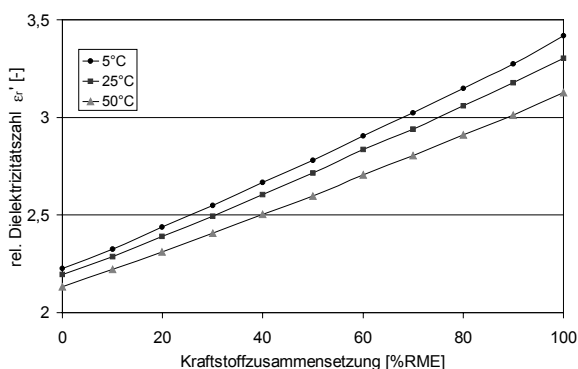


Abbildung 2:  
Relative Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r'$  in Abhängigkeit vom RME-Gehalt und der Temperatur; Netzwerkanalysator und hp 16452A Messzelle

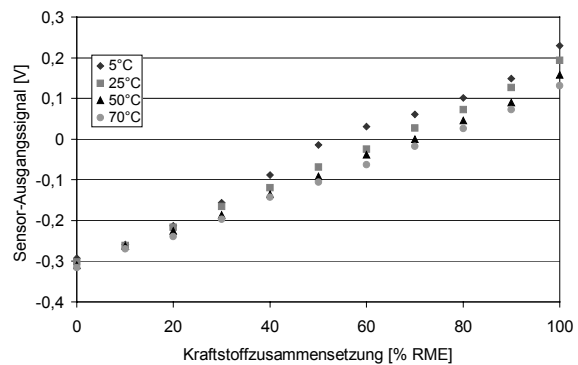


Abbildung 3:  
Ausgangssignal des FAL-Kraftstoffsensor-Prototyps in Abhängigkeit von RME-Gehalt und Temperatur

### Einfluss des Wassergehaltes und einiger Additive

In der Praxis enthalten Kraftstoffe Additive, beispielsweise im Winter, wenn zu garantieren ist, dass der Kraftstoff keine festen Aggregate bildet (oder sogar vollständig fest wird). Andererseits könnte im Sommer insbesondere bei RME der Wunsch bestehen, Antioxidanzien hinzuzufügen. Darüber hinaus ist bekannt, dass RME hygroskopisch ist, so dass ein merklicher Anteil von Wasser in dem Kraftstoff oder auch in Kraftstoffgemischen enthalten ist.

Daher muss der Einfluss dieser "Kontaminationen" auf die Dielektrizitätszahl bekannt sein. Um den Einfluss einer erhöhten Leitfähigkeit festzustellen, wurde in einem weiteren Experiment das zugesetzte Wasser mit NaCl gesättigt.

**Wassergehalt:** Der Wassergehalt wurde zwischen 0 und 3000 ppm variiert mit Kraftstoffgemischen von 0 %, 33 %, 66 % und 100 % RME-Anteil bei Temperaturen von  $5\text{ °C}$  bis  $50\text{ °C}$ . Wenn man einen linearen Einfluss von Wasser annimmt, hätte bei der höchsten Konzentration ein Anstieg von  $\epsilon_r'$  um 0,24 auftreten müssen. Der maximale gemessene Anstieg betrug jedoch nur 0,03. Offensichtlich sind die Wassermoleküle nicht in der Lage, sich frei im elektrischen Feld einzustellen. Die Zugabe von NaCl zum Wasser änderte nichts an dieser Beobachtung. Folglich kann der Effekt von Wasser im Kraftstoff auf  $\epsilon_r'$  vernachlässigt werden. Dies gilt für alle getesteten Sensoren.

**Additive:** Als Additive kamen ein BASF-Additiv und Costelan™ mit jeweils 10 ppm zum Einsatz. Es konnte keine signifikante Beeinflussung der Messungen beobachtet werden; die Abweichungen waren geringer als die Standardabweichung der Messfehler.

### Kraftstoffqualität

In naher Zukunft wird Dieselmotoren mit geringem Schwefelgehalt und niedrigem Anteil aromati-

scher Komponenten in den Markt eingeführt werden. Neben DK mit 250 ppm Schwefel wurden in unseren Versuchen Kraftstoffe mit weniger als 50 ppm Schwefel (derzeitiges am Markt verfügbares Produkt in Deutschland) oder weniger als 10 ppm Schwefel eingesetzt. Im Ergebnis kann festgestellt werden, dass die gemessenen Einflüsse auf  $\epsilon_r'$  unterhalb der Messgenauigkeit lagen.

Darüber hinaus wurde RME in Sommerqualität von zwölf verschiedenen Tankstellen erworben und zehn unterschiedliche Winterqualitäten von DK wurden auf gleiche Weise beschafft. Einige der RME-Proben erfüllten nicht die deutsche Norm E DIN 51606. Die relative Standardabweichung für  $\epsilon_r'$  betrug etwa 0,5 % für RME und 0,2 % für DK, jeweils gemessen bei Temperaturen von 5 °C, 25 °C und 50 °C. Die größte Abweichung eines Kraftstoffes vom Mittelwert betrug weniger als 1,2 % für RME und weniger als 0,4 % für DK bei allen Temperaturen. Dies zeigt, dass in der Tat ein Einfluss der Kraftstoffqualität auf die Dielektrizitätszahl existiert; der Einfluss ist jedoch nicht so hoch, dass falsche Messergebnisse im Hinblick auf die Kraftstoffzusammensetzung erhalten werden.

### Diskussion der Laborexperimente

Zusammenfassend ist zunächst zu bemerken, dass die präzisen Messungen mit dem Netzwerkanalysator eine nahezu lineare Beziehung von  $\epsilon_r'$  mit der Kraftstoffzusammensetzung ergaben. Mit Ausnahme der Sättigungseffekte des Ölsensors zeigten die anderen Sensoren dieses Verhalten ebenfalls. Die beobachteten Abweichungen, die durch Additive, Wassergehalt und Kraftstoffqualität hervorgerufen werden, waren im Allgemeinen unterhalb der Standardabweichung der Messwerte.

Der einzige signifikante Effekt, der bislang festgestellt wurde, ist der Abfall von  $\epsilon_r'$  bei steigenden Temperaturen, was auf physikalische Phänomene zurückgeführt werden kann. Für eine quantitative Messung der Kraftstoffzusammensetzung muss dieser Effekt in jedem Fall kompensiert werden. Möglichkeiten bietet eine Kompensation der analogen Messwerte oder eine Nachbearbeitung der Messdaten; in beiden Fällen ist eine zusätzliche Temperaturmessung erforderlich. Eine andere Möglichkeit besteht in einer physikalischen Kompensation des Effektes, indem eine weitere Substanz in das elektrische Feld eingebracht wird, die entgegengesetztes Temperaturverhalten aufweist. Dies ist jedoch nur für eine mittlere Betrachtung möglich, etwa für eine Mischung mit 50 % RME-Anteil, da die Reinkraftstoffe unterschiedliches Temperaturverhalten aufweisen, wie oben ausgeführt.

### Einbau des FAL-Sensor-Prototyps in einen Audi A4 1.9 TDI

Der Sensor wurde in den Kraftstofffilter eingebaut. Ziel war es, Erfahrungen zu sammeln mit schnell veränderlichen Umgebungsbedingungen (Temperaturen), die elektronischen Bauteile im Falle von mechanischen Schwingungen zu testen und einige Erkenntnisse über den Einfluss der Ablagerung von Kraftstoffverunreinigungen zu sammeln. Diese Tests sind noch im Gange. Zur Zeit, nach etwa 20.000 km, kann folgendes ausgeführt werden: Das analoge Messsignal ist in relativ starkem Umfang elektromagnetischen Störungen ausgesetzt, die von verschiedenen Aggregaten innerhalb des Fahrzeuges ausgehen. Dies bedeutet, dass die Abtastrate im Bereich von 1 Hz liegen sollte, was digitale Filterung und Elimination von Ausreißern ermöglicht.

Die Temperaturabhängigkeiten der Dielektrizitätszahlen der Kraftstoffe sind kritisch. Es wurden Änderungen der Kraftstofftemperatur von mehr als 60 K (-5 °C ... +55 °C) in unseren Winterexperimenten beobachtet. Der obere Wert wird im Sommer sogar noch erheblich höher liegen. Dies bedeutet, dass die Materialien und elektronische Schaltkreise des Sensors für diesen Temperaturbereich geeignet sein müssen und dass eine Temperaturkompensation des Sensor-Ausgangssignals ein wesentliches Element des Sensors darstellt.

### Schlussbemerkungen

Die Ermittlung der Kraftstoffzusammensetzung – hier das Mischungsverhältnis von RME und DK – ist ein essenzieller Schritt für ein kraftstoffbasiertes Motormanagement. Dies wird absolut notwendig sein, um zukünftige gesetzliche Anforderungen an die Abgabe zu erfüllen. Sensoren, die auf der Messung des Realteils der Dielektrizitätszahl des Kraftstoffes beruhen, haben sich unter verschiedenen möglichen Störeinflüssen als geeignet erwiesen. Ein Prototyp eines preiswerten Sensors für die Serienproduktion wurde entwickelt und getestet.

### Danksagung

Die Autoren danken der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., der Union zur Förderung von Öl- und Proteinpflanzen (UFOP) und der Volkswagen AG für die finanzielle Förderung der Untersuchungen. Darüber hinaus danken die Autoren P. Bittner, H.-J. Helke, H. Schönfeld, O. Schröder, J. Semmler, H. Stein und R. Wörner für ihre Beiträge zum Projekt.

**Literatur**

- Hilhorst, M.A.** 1997. Dielectric characterization of soil. Doctoral Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. Also available as: Publication no. 98-01, IMAG-DLO, Wageningen.
- Paul, W.** 2000. Permittivity measurements in soil for assessment of water flow, ion concentration and a pollution index. AgEng 2000, Warwick: pt. 2, pp. 367 - 368.
- Schmitz, G., R. Bartz, U. Hilger, and M. Sidentop.** 1990. Intelligent alcohol fuel sensor. SAE Paper No. 900231. Warrendale, Penn.: SAE.
- Tat, M.E., and J.H. Van Gerpen.** 2001. Biodiesel blend detection using a fuel composition sensor. ASAE Paper No. 01-6052. St. Joseph, Mich.: ASAE.