

Neue Dieseltreibstoffe

Richtungweisende ökologische Entwicklung

Ulrich Wolfensberger, Edwin Stadler und Isidor Schiess, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

An einem in der schweizerischen Landwirtschaft sehr typischen Traktormotor der Leistungsklasse 40 kW wurden mit unveränderter Einstellung die zwei Dieseltreibstoffe «Ganzjahres-Ökodiesel» und «Greenery» mit einem internationalen Referenzdiesel verglichen. Der Ökodiesel ist marktüblich und hat einen Schwefelgehalt $< 0,05\%$. Beim Greenery handelt es sich um einen neuen, in der Markteinführung

begriffenen, schwefelfreien Treibstoff, dessen Anwendung und Wirkung in Traktormotoren noch unbekannt sind.

Leistung und Verbrauch sind mit beiden Treibstoffen gleich. Technische Schwierigkeiten, insbesondere bezüglich Schmierfähigkeit, sind aufgrund der Analysenwerte nicht zu erwarten. Wegen der ungewöhnlich tiefen Filtrierbarkeitsgrenze des

Greenery-Diesels bietet sich dieser als besonders winterauglich an. Die Abgasemissionen, mit Ausnahme der Kohlenwasserstoffe (HC), liegen mit Ökodiesel rund 10% tiefer als mit bisherigem Diesel. Greenery verbessert die Werte um weitere 5%. Für eine umfassende Umweltbetrachtung müssten allerdings auch die vorgelagerten Prozesse zur Herstellung der Treibstoffe mit einbezogen werden.



Abb. 1. Die Filtrierbarkeitsgrenze von -31°C ist eine hervorragende Eigenschaft des neuen, schwefelfreien Dieseltreibstoffs «Greenery», die aussergewöhnliche Kaltstarteigenschaften verspricht.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Die Treibstoffe	2
Messgrössen und Versuchsanlage	3
Messprogramm	3
Resultate	4
Diskussion und Schlussfolgerung	5
Literatur	6

Problemstellung

Die Bemühungen um die Entwicklung von Treibstoffen (Benzin und Dieseltreibstoff), die weniger Emissionen verursachen, sind in letzter Zeit gross. Man spricht von «reformulated fuel», wobei beim Dieseltreibstoff versucht wird, insbesondere den Aromatengehalt (Benzol) und den Schwefelgehalt zu senken und die Cetanzahl zu erhöhen. Ausser den reduzierten direkten Schwefelemissionen und der Effizienzsteigerung von allfälligen Oxidationskatalysatoren wird durch diese Massnahmen auch eine Verringerung der Stickoxid- und vor allem der Partikelemissionen erwartet. Die kanzerogenen, an den Partikeln angelagerten PAH (polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe) sollen dadurch stark reduziert werden. Seit 1. Januar 1994 darf nur noch Dieseltreibstoff mit max. 0,05% Schwefelgehalt in die Schweiz im-

portiert werden. Nun erscheinen verschiedene Dieseltreibstoff-Sorten auf dem Markt mit immer geringerem Schwefelgehalt bis hin zu schwefelfreiem Treibstoff. Dabei werden ausser den weniger belastenden Emissionen auch ein geringerer Verbrauch und bessere Kaltstarteigenschaften versprochen. Andererseits warnen Fachleute vor Störungen an Einspritzpumpen und Düsen infolge verringerter Schmierfähigkeit des schwefelarmen Dieseltreibstoffs.

Häufige Anfragen aus der Praxis zeigten die Unsicherheit bezüglich Einsatz von schwefelfreiem Dieseltreibstoff in landwirtschaftlichen Traktoren auf. Messungen mit neuem Treibstoff im Vergleich zu normalem Diesel in Traktormotoren auf dem Prüfstand sollen Antworten geben.

normkonformen Dieseltreibstoff («Ganzjahres-Ökodiesel», vgl. die wichtigsten Analysenwerte in Tabelle 1). Der etwas zu tiefe «Flammpunkt» hat keine Auswirkungen auf die Resultate dieser Untersuchung.

Der geprüfte neue Dieseltreibstoff wird unter dem Markennamen «Greenergy»¹ gehandelt. Die Analysenwerte zeigen, dass er in allen Teilen die Anforderungen der Norm erfüllt (Tab. 1). Der Aromatengehalt ist deutlich tiefer und der Schwefelgehalt beträgt gar nur knapp 10% des handelsüblichen Diesels. Auffällig ist auch der tiefe CFPP-Wert (Filterbarkeitsgrenze) von -31 °C, was diesen Treibstoff besonders wintertauglich macht. Die geringere Dichte, die am unteren Grenzwert liegt und der praktisch gleiche gravimetrische Heizwert lassen eine geringfügig kleinere Motorleistung erwarten, weil die Treibstoffzuteilung im Motor volumetrisch erfolgt. Die Schmierfähigkeit ist eine in der Treibstoffnorm neu eingeführte Spezifikation, speziell wegen der stark entschwefelten Treibstoffe. Der Test simuliert den Gleitverschleiss in Einspritzpumpe und Düse. Der derzeit diskutierte, noch nicht definitiv festgelegte Grenzwert für den zulässigen Abrieb beträgt max. 0,46 mm, was der Greenergy-Treibstoff gut hält.

Beim Referenztreibstoff handelt es sich um den Typ RF 73-T-90, hergestellt durch Haltermann AG (1994), wie er auch im «European Programme on Emissions, Fuels and Engine Technologies, EPEFE» (1995) im Rahmen des Europäischen Auto-Oil-Programms verwendet wurde. Aus den Analysedaten ist ersichtlich, dass die Qualität der

Die Treibstoffe

In der Dieseltreibstoff-Norm (SN 181 160-1 vom 1.6.1995) sind die Qualitätsrichtlinien für zwei Klassen des Treibstoffs festgelegt, nämlich für Winter- und für Sommerqualität. Der Unterschied liegt in der Dichte, der Viskosität, der Filterbarkeitsgrenze (CFPP) und der Cetanzahl. Erfüllt ein

Treibstoff jeweils die strengere Anforderung der beiden Klassen bzw. liegt er bei der Dichte und Viskosität in der Schnittmenge der Bereichvorgaben, kann er als Ganzjahresdiesel eingesetzt werden (vgl. Tab. 1).

Der früher als Ökodiesel bezeichnete schwefelarme Treibstoff ist seit der Beschränkung des Schwefelgehalts Standard. Der im folgenden für den Vergleich verwendete Dieseltreibstoff entspricht diesem heute in der Landwirtschaft sehr häufig eingesetzten,

Tabelle 1. Analysenwerte der verwendeten Dieseltreibstoffe

Einheit	Einheit	Referenz-treibstoff	Ganzjahres-Dieseltreibstoff (Ökodiesel)	Greenergy	Norm SN 181 160-1 «Ganzjahres-Qualität»
Dichte	kg/m ³	841,6	830,8	821,3	820-845
Viskosität (40°C)	mm ² /s	2,89	2,2	2,16	2,0-4,0
Flammpunkt	°C	92	51	61	min. 55
CFPP	°C	-15	-20	-31	W: -20 / S: -10
Cetanzahl	-	49,6	49,2	50,5	min. 40
Heizwert	MJ/kg	42,53	42,82	42,93	
Schwefel	Mass. %	0,057	0,0454	0,0034	max. 0,05
Kohlenstoff	Mass. %	85,57	86,73	86,19	
Wasserstoff	Mass. %	13,91	13,44	14,37	
Olefine	Vol. %	4	0,9	1,1	
Aromaten	Vol. %	33,3	27,1	18,8	
Schmierfähigkeit	mm			0,31	max. 0,46

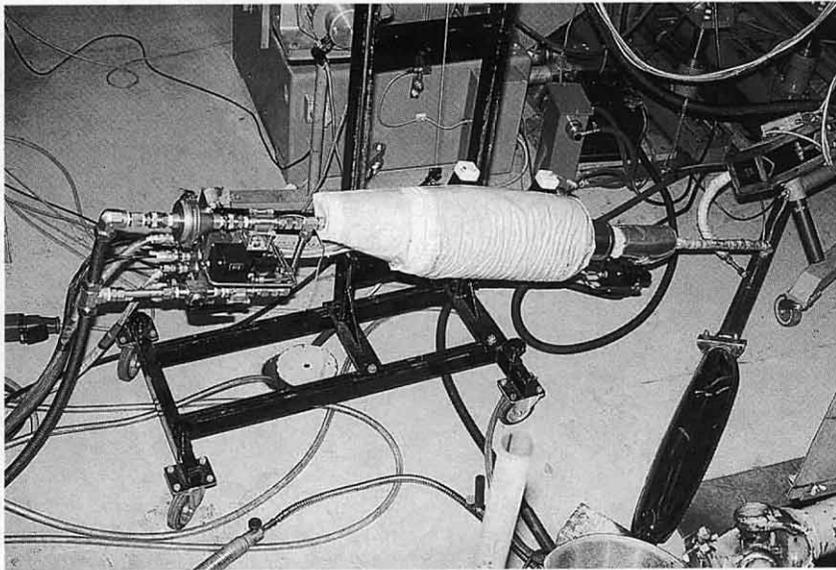


Abb. 2. Im Verdünnungstunnel der «Smart Sampler» Partikelmesseinrichtung wird ein Abgasteilstrom aus dem Auspuff mit Frischluft verdünnt und anschließend der Russ ausgefiltert.

heute üblichen Treibstoffe die damalige Referenz bereits übertrifft. Schwefel-, Olefine- und Aromatengehalt sind heute tiefer, die Wintertauglichkeit besser. Der Referenztreibstoff ist der schwerste der drei verwendeten Diesel, daher ist mit diesem die höchste Leistung zu erwarten.

Messgrößen und Versuchsanlage

Die Messungen erfolgten auf dem Motorprüfstand an einem 3-Zylinder-Motor von S.L.H., Typ 1000.3 W. Es ist dies ein direkteinspritzender, wassergekühlter Saugmotor von 3000 cm³ Hubvolumen und 40 kW Nennleistung bei 2500 min⁻¹. Die Motor- und Einspritzpumpeneinstellung blieb bei allen Messungen unverändert. Die gemessenen Motorparameter beschränkten sich auf die üblichen Größen Leistung und Treibstoffverbrauch. Der Schwarzrauch wurde mit der Filtermethode nach Bosch sowie als Trübungsmessung mit dem Opazimeter (AVL Lichtabsorptionsgerät) gemessen, beide Male bei Volllast. Die wohl wichtigsten Messgrößen bei der vorliegenden Untersuchung sind die sogenannten «limitierten Emissionen», obwohl es dafür bei landwirt-

schaftlichen Traktoren noch keine gültigen Vorschriften (die EU schlägt ISO 8178 C1 vor) und erst unverbindliche Vorschläge für Grenzwerte gibt. Die gasförmigen Komponenten CO (Kohlenmonoxid), HC (Kohlenwasserstoffe) und NO_x (Stickoxide) wurden mit der Messanlage Pierburg AMA 2000 gemessen: CO mit dem «nicht dispersiven Infrarotabsorptionsverfahren» (NDIR), NO_x mit dem beheizten «Chemolumineszenz-Detektor» (CLD) und die HC mit dem «Flammenionisations-Detektor» (FID). Um aus den gemessenen Konzentrationen (in ppm) die absolute Rohemissionsmenge (in g/h) zu rechnen, muss der genaue Abgasstrom bekannt sein, der aus Ansaugluftmenge und Treibstoffmenge besteht. Diese Emissionsmenge, mit dem Gewichtungsfaktor umgerechnet und auf die Leistung bezogen, stellt den Emissionsfaktor in g/kWh des entsprechenden Messzyklus dar. Für die Partikelmessung stellte die IVECO Motorenforschung AG, Arbon, eine ihrer «Smart Sampler» Partikelmess-Einrichtung zur Verfügung. Aus dem Auspuff wird vom Abgasstrom eine definierte Teilmenge in den Verdünnungstunnel geführt. Hier erfolgt die Vermischung mit einer genau gemessenen Menge sauberer Pressluft, so dass die Temperatur des Gemischs am Tunnelausgang 52 °C nicht übersteigt. Dieses Gemisch durchströmt während einer festgelegten Exposi-

tionszeit ein Filterpapier, das vor und nach der Messung bei konstanten klimatischen Bedingungen ausgewogen wird. Die Expositionszeit wird für jeden Messpunkt aufgrund der gewünschten Gewichtung dieses Betriebspunktes festgelegt. Die so gewogene Partikelmenge, hochgerechnet mit dem Verhältnis der Teilstrommenge zur gesamten Abgasmenge und bezogen auf die Motorleistung, ergibt den gewünschten Partikel-Emissionsfaktor in g/kWh.

Die Auswertung der Partikelfilter im klimatisierten Raum sowie die Partikelanalyse erfolgten bei der IVECO Motorenforschung AG. Von Interesse ist der Anteil der löslichen Menge der Partikel, welcher aus höheren Kohlenwasserstoffen vom Treibstoff und vom Schmieröl stammt. Dieser Anteil, der aus dem Schmieröl stammt, konnte bestimmt werden. Er hängt jedoch vorwiegend vom Motor und kaum vom Treibstoff ab und ist demzufolge in der vorliegenden Untersuchung von untergeordneter Bedeutung. Der restliche, unlösliche Anteil der Partikel besteht aus festem Kohlenstoff (Graphit). Es ist also eine Korrelation zum Schwarzrauch zu erwarten.

Messprogramm

Mit jedem der drei Treibstoffe wurde der ganze Messablauf zweimal durchgeführt, in der Reihenfolge «Referenz – Ökodiesel – Greenergy – Ökodiesel – Greenergy – Referenz».

Ein Messablauf dauerte einen Tag und beinhaltete folgende Messungen:

- Leistungs- und Verbrauchsmessung auf der Vollastkurve bei Drehzahlen zwischen 2500 und 1000 min⁻¹.
 - Vollast-Rauchmessung bei sechs Drehzahlen nach 72/306 EWG: Schwarzrauch nach der Filtermethode (SZ Bosch)
 - Abgastrübung nach der Absorbtiionsmethode (k-Wert)
 - Messung der gasförmigen Emissionen und Partikel nach ISO 8178 C1 (8-Stufen-Test)
 - Wiederholung der Emissions- und Partikelmessung
- Die Abfolge der einzelnen Arbeitsschritte inkl. Einfahren, Aufwärmen und Zwischenläufe war minutengenau

vorgegeben. Die Luft-, Wasser- und Treibstofftemperaturen wurden durch Kühlung in den vorgegebenen Toleranzgrenzen konstant gehalten. Der Luftdruck lag bei allen Messungen im Bereich von 956 bis 964 mbar und die relative Luftfeuchtigkeit, die zwischen 40% und 67% schwankte, wurde in den Emissionsberechnungen berücksichtigt.

Die Messergebnisse sind also bei jedem Treibstoff Mittelwerte aus zwei Messungen bei Leistung, Verbrauch und Rauch und aus vier Messungen bei gasförmigen Emissionen und Partikeln.

Resultate

Erwartungsgemäß ist der Dichte der beiden Testtreibstoffe entsprechend ein – allerdings sehr geringer – Leistungsabfall gegenüber dem Referenzdiesel festzustellen. Die durchschnittliche *Leistung* mit Ökodiesel beträgt 98,8% bezogen auf den Referenzdiesel, die Dichte 98,7%. Beim Greenergy lauten die entsprechenden Werte 98,0% für die Leistung bei einer Dichte von 97,6 %. Die Absolutwerte für Leistung und Verbrauch sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Beim *Volllastverbrauch* in g/kWh sind mit beiden Treibstoffen praktisch keine Unterschiede zum Referenzdiesel festzustellen, die Abweichungen liegen im Bereich von wenigen Zehntel Prozent. Nimmt man die Verbrauchswerte der Messpunkte aus dem 8-Stufen-Test und gewichtet sie auf gleiche Art wie die Emissionswerte, erhält man einen «mittleren Teillastverbrauch», analog zu den Emissionsfaktoren. Dieser mittlere Teillastverbrauch beträgt für Ökodiesel 100,6% und für Greenergy 99,5% vom Referenzdiesel.

Die Ergebnisse der *Rauchmessung* sind von beiden Messmethoden vergleichbar (Abb. 3). Grundsätzlich sind einzelne Rauchwerte mit > 5 SZ Bosch, bzw. > k-Wert 3.0 recht hoch, was aber motoren-, nicht treibstoffbedingt ist. Der Einfluss der Treibstoffe ist bei beiden Methoden gut sichtbar, nämlich eine deutliche Verbesserung von etwa 10% mit Ökodiesel gegenüber Referenzdiesel und nochmals

Tabelle 2. Leistung und Verbrauch bei Volllast mit verschiedenen Treibstoffen

Drehzahl	Leistung (kW)			Verbrauch (g/kWh)		
	Referenz	Ökodiesel	Greenergy	Referenz	Ökodiesel	Greenergy
2500 min ⁻¹	38,6	37,8	37,8	253,6	253,2	250,1
2200 min ⁻¹	38,3	37,7	37,5	249,5	246,0	240,5
2000 min ⁻¹	36,0	35,5	35,4	246,4	244,1	241,3
1600 min ⁻¹	31,0	30,8	30,6	230,6	232,3	229,1
1300 min ⁻¹	26,8	26,5	26,2	223,7	224,9	221,9
1100 min ⁻¹	22,1	21,8	21,6	240,5	236,1	233,4

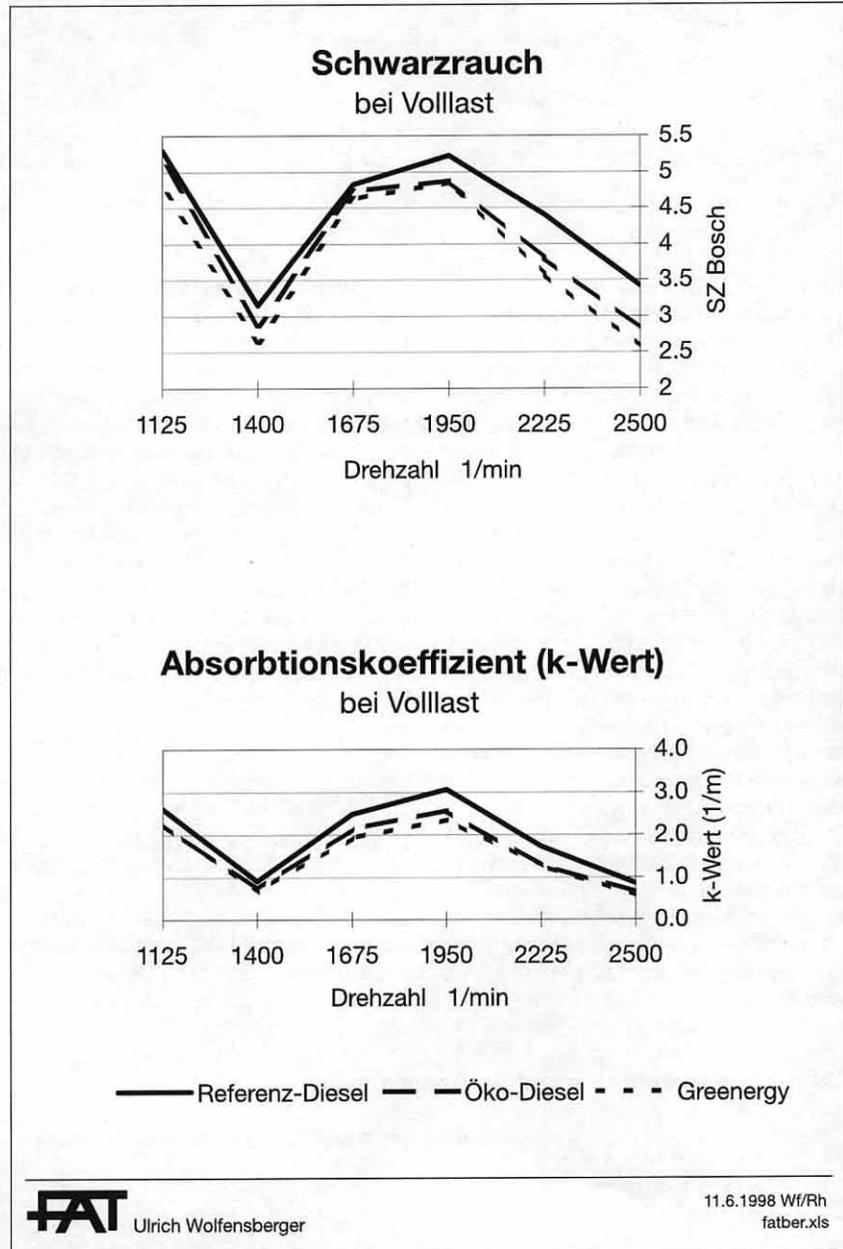


Abb. 3. Rauchmessung bei Volllast nach zwei Methoden.

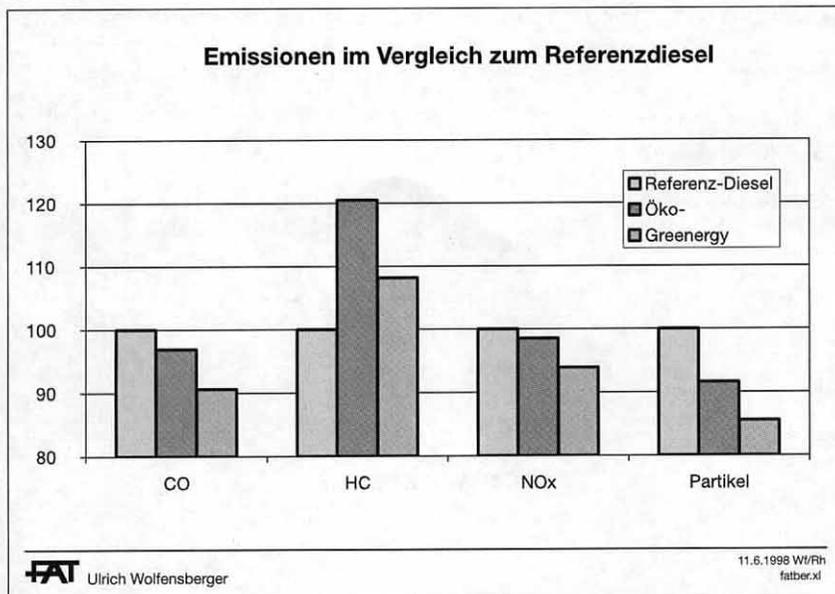


Abb. 4. Gasförmige Emissionen und Partikel relativ zu den Referenzwerten.

eine Reduktion von etwa 5% mit Greenergy gegenüber Ökodiesel.

Die Emissionsfaktoren sind in Abbildung 4 relativ zu den Referenzdiesel-Werten dargestellt. Bei Traktormotoren, gemessen nach dem 8-Stufen-Test, sind Emissionsverbesserungen mit den beiden Testtreibstoffen bei den CO, NO_x und Partikel festzustellen, jedoch eine Verschlechterung bei den HC. Andere Messungen zeigen, dass bei Nutzfahrzeugmotoren, gemessen nach dem 13-Stufen-Test, die CO-Werte nicht verbessert werden, die übrigen Emissionsfaktoren sich aber gleich verhalten. Bei Personenwagenmotoren, gemessen nach dem entsprechenden Fahrzyklus, verbessern sich alle Faktoren.

Die Verschlechterung um 20% bzw. 8% bei den HC-Emissionen ist insofern von untergeordneter Bedeutung, als diese (und die CO-) Emissionen bei Dieselmotoren vergleichsweise gering sind. Interessant ist hauptsächlich das Verbesserungspotential bei den NO_x und Partikeln.

Alle Emissionen sind mit Greenergy besser als mit Ökodiesel, die Verbesserungsraten betragen 5% bis 10%.

Aus den Filtern der Partikelmessung wurde der lösliche Anteil, also der Anteil der höherwertigen Kohlenwasserstoffe, die sich an die Russteilchen anlagern, analysiert. In Tabelle 3 ist ersichtlich, dass der unlösliche Partikelgehalt aus den Emissionen des Ökodiesels rund 11% geringer ist als mit Referenzdiesel und mit Greenergy nochmals etwa 2% weniger als mit Ökodiesel. Dies entspricht wie erwartet tendenzmässig dem Rauchverhalten.

Diskussion und Schlussfolgerung

In technischer Hinsicht ist ein hervorstechendes Ergebnis festzuhalten: Der extrem tiefe Wert der Filtrierbarkeitsgrenze beim neuen Dieseltreibstoff

Tabelle 3. Partikelmasse und Partikelanalyse

Partikel	Einheit	Referenz	Ökodiesel	Greenergy
Gesamtpartikelmasse	g/kWh	0,410	0,375	0,351
Löslicher Anteil	%	13	15,7	12
Unlöslicher Anteil	%	87	84,3	88
Unlösliche Partikelmasse	g/kWh	0,356	0,316	0,308

Greenergy, was auf eine sehr gute Wintertauglichkeit hinweist. Leistung und Verbrauch sind mit allen drei untersuchten Treibstoffen gleich. Bezüglich Schmierfähigkeit muss aufgrund der Analysenwerte nicht mit Problemen gerechnet werden.

In ökologischer Hinsicht (direkte Emissionen) schneidet Greenergy sowohl bezüglich Schwarzauch als auch bezüglich gasförmigen Emissionen und Partikel noch etwas besser ab als der Ökodiesel, der seinerseits bereits eine beachtliche Reduktion gegenüber dem Referenzdiesel aufweist. Eigentliche Sprünge im Sinn von Emissionsverminderung um Größenordnungen wurden jedoch nicht gemessen und waren auch nicht zu erwarten. Angesichts des erheblich tieferen Schwefel- und Aromatengehalts von Greenergy gegenüber Ökodiesel dürften einige wesentliche Komponenten der nicht-limitierten Emissionen – wie beispielsweise polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und flüchtige organische Verbindungen (VOC) – geringere Werte aufweisen, was sich für die Umwelt und für die Gesundheit der Personen im unmittelbaren Auspuffbereich positiv auswirkt. Für eine gesamtheitliche ökologische Betrachtung und Bewertung müssten allerdings auch die vorgelagerten Prozesse (Förderung, Transport, Produktion, Verteilung) der Treibstoffe berücksichtigt werden.

Die finanzielle Seite ist nur ansatzweise zu beziffern, da die Preise nicht festgelegt sind und von Fall zu Fall offeriert werden. Ein konkretes Angebot im logistisch gut erschlossenen Mittelland ergab einen Mehrpreis von acht Rappen pro Liter Greenergy bei Lieferung von 2000 Liter auf den Betrieb. In einer anderen, schlecht erschlossenen Region betrug der Preisunterschied nur noch ein bis zwei Rappen.

Der Ganzjahres-Ökodiesel ist Stand der Technik, heute in der Landwirtschaft sehr verbreitet. Der Greenergy-Diesel ist im Markt eingeführt, scheint in der Anwendung problemlos zu sein und mag als richtungweisend für die derzeitige Entwicklung auf dem Treibstoffmarkt gelten. Der heutige Mehrpreis kann vor allem in kalten Regionen gerechtfertigt werden.

Literatur

- ACEA Position 1997. Fuel Sulphur. Fuels and Lubricants no 49, Fuel Quality no 23, Brussels, 21. May 1997.
- Deger Ch. 1996. Das grosse Fressen. mot 26.
- Frei B. 1997. Bauer bleib' bei deinem Diesel. Thurgauer Zeitung, 26.4.1997.
- Jäger R. 1996. EPEFE – Resultate und Untersuchungen, Diesel. Vortrags- tagung SSM, Luzern, 22.1.1996.
- Juva, A. et al. 1997. Neste's Route to Reformulated Fuels, Vortrag 1st Internat. Colloquium «Fuels», TAE Esslingen (D).
- Röj, A. 1997. Environmental Class Fuels in Scandinavia in the Light of the European Auto-Oil Program. Vortrag 1st Internat. Colloquium «Fuels», TAE Esslingen (D).
- Signer M. 1996. Schwefelarmer Dieseltreibstoff, z.B. «Greenlife Diesel». Beratungsmandat der TK-SSM, Bern.
- Signer M. 1997. Einfluss der Dieseltreibstoff-Qualität auf die Abgasemissionen. Bericht der Iveco Motoren- forschung AG Arbon, 15.4.1997.