

NATOIL GmbH, München

Entwicklung eines Motorenöls auf der Basis der High-Oleic-Sonnenblume

Abschlußbericht über ein Forschungsprojekt gefördert unter dem
Az: 19686 von der Bundesstiftung Umwelt

Von

Diplom Kaufmann Otto Botz

Juli 2007

NATOIL GmbH, München

Entwicklung eines Motorenöls auf der Basis der High-Oleic-Sonnenblume

Abschlußbericht über ein Forschungsprojekt gefördert unter dem
Az: 19686 von der Bundesstiftung Umwelt

Von

Diplom Kaufmann Otto Botz

Juli 2007

10/97					
Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt					
Az	19686	Referat	24/0	Fördersumme	325.000 €
Antragstitel		Entwicklung eines Motorenöls auf Basis der High-Oleic-Sonnenblume			
Stichworte		Energie, nachwachsende Rohstoffe, Schmierstoffe, Öl			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
18 Monate	Juli 2003	12.2005			
Zwischenberichte	3				
Bewilligungsempfänger	NATOIL GmbH Theresienstraße 6-8 80333 München			Tel	+49 151 12112557
				Fax	+49 160 3838496
				Projektleitung	Herr Otto Heinrich Botz
			Bearbeiter		
Kooperationspartner	Meguin GmbH & Co. KG Mineralölwerke, Fraulautern, Rodener Str. 25, D-66740 Saarlouis				
<p>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</p> <p>In Deutschland werden jedes Jahr weit über 350.000 Tonnen Motorenöle auf Basis fossilen Ursprungs abgesetzt. Jährlich werden davon etwa 150.000 Tonnen verbraucht und belasten die Umwelt in Form von gesammeltem Altöl, durch Emission und „Auslaufen“. In dem vorliegenden Vorhaben wird der Einsatz nachwachsender Rohstoffe am Beispiel der High Oleic Sonnenblume als hauptsächlicher Grundölbestandteil in einer klassischen Motorenölformulierung untersucht. Der Einsatz eines biologisch abbaubaren Motorenöles böte entscheidende Vorteile hinsichtlich Kraftstoffersparnis, reduzierter Partikelemission, geringer Ökotoxizität und einer höheren Umweltverträglichkeit durch die biologische Abbaubarkeit. Im Vergleich zu den bisher eingesetzten synthetischen Estern, können die Verfahrens- und Energiekosten deutlich gesenkt werden. Die Hochtemperatur Scherviskosität liegt bei diesen Verfahren, bei gleichem Kraftstoffesparnungspotential bis zu 35 % höher. Dieser Ansatz würde es zum ersten Mal ermöglichen, einem ökologisch wertvollen Produkt den Nischencharakter zu nehmen und es aufgrund des marktgerechten Preisniveaus einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen.</p> <p>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</p> <p>Die HO-Sonnenblume scheint sich nach den bisher durchgeführten Verifikationstests hervorragend als Grundöl für die Produktion von Motorenölen zu eignen. Dies begründet sich besonders durch die in Motorentests erzielte Kolbensauberkeit sowie einem moderaten Viskositätsanstieges während der Testdauer. Aufbauend auf den bereits bestehenden Ergebnissen wurde eine optimierte Basisformulierung erarbeitet. Da es sich bei der zukünftigen Formulierung um ein so genanntes Mixed-Fleet handelt, also um ein Motorenöl, das sowohl in Diesel- als auch in Benzinmotoren eingesetzt wird, wurden im Rahmen des Projektes die technischen Machbarkeitsuntersuchungen sowohl für Diesel- als auch für Benzinmotoren untersucht.</p> <p>Die Dieselgetriebenen Aggregate stellen höhere Anforderungen an den Schmierstoff. Es ist daher sinnvoll und Kosten sparend, zuerst das Mixed-Fleet für die Diesel-Sequenzen zu formulieren. Nach Abschluss dieser komplexen Testreihen wird die Formulierung analog in Benzinmotor getriebenen Fahrzeugen getestet. Neben der Eignung des eingesetzten Schmierstoffes als Motorenöl stehen die direkten Einflüsse auf das Emissionsverhalten, die Fuel Economy, die Möglichkeit verlängerter Ölwechselintervalle sowie die Anforderungen durch die Euro IV und V Norm im Vordergrund der Untersuchungen.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					
Ergebnisse und Diskussion					

Aufbauend auf den bereits bestehenden Ergebnissen wurde in der Anfangsphase die Erarbeitung einer optimierten Basisformulierung angestrebt. In dieser Phase geht es um einschlägig bekannte Testverfahren und Labor-Arbeiten zur Optimierung eines Basisfluids. Im Rahmen der technischen Machbarkeits-Untersuchungen wurden in dem Vorhaben Testreihen sowohl für Diesel- als auch für Benzinmotoren vorgesehen. Diese Tests sollten Aufschluss über das Verhalten des Motorenöls in diversen Motorentypen in Bezug auf folgende Kriterien liefern und eventuelle Verbesserungsmodifizierungen in der Formulierung ermöglichen: Alterung und Oxidation; Verschleiß; Viskositätsveränderungen und die Beschaffenheit des Gebrauchtöls; Schlammabildung.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die anfänglichen Bedenken in Bezug auf die Oxidations- und Alterungsstabilität nicht zum Tragen gekommen sind. Insbesondere in den Prüfmotoren TU5JP und Sequence III G konnte nachgewiesen werden, dass die natürlichen Ester der „High-Oleic-Sonnenblume“ die Oxidations- und Alterungsstabilität nicht negativ beeinflussen. Die diesbezüglichen Resultate aus den vorangegangenen Labor- und Benchtests konnten durch die Prüfstandsergebnisse bestätigt werden.

Die Resultate in dem 200h dauernden Dieselmotorentest OM 602 LA zeigten auch die Vorteile der High-Oleic-Sonnenblume in Bezug auf die Oxidationsstabilität und die Kolbensauberkeit. Der Ölverbrauch lag hier im Vergleich zu dem eingesetzten Referenzöl bei nur 50%. Die Verschleißwertewaren waren an der Grenz, lagen aber noch im Rahmen der technischen Anforderungen. Die Fuel Economy Eigenschaften konnten im Prüfmotor M 111 FE unter Beweis gestellt werden. Zurzeit können diese Vorteile jedoch nur im Benzinmotor realisiert werden. Durch den Einsatz der High-Oleic-Sonnenblume konnte im Vergleich zu einem Leichtlaufmotorenöl der Klasse 10W-40 eine Absenkung der Schwefel-Bezogenen Emissionen von 30% erreicht werden.

Mit nur 50% biologischer Abbaubarkeit im OECD 301B Test konnte das geplante Ziel von 60% nicht erreicht werden. Allerdings liegt das erreichte Niveau ca. doppelt so hoch wie bei konventionellen Motorenölen. Aufgrund der neuen und stärkeren Anforderungen der Prüfmotoren ist ein größerer Anteil an nachwachsenden Rohstoffen als 30% zur Zeit noch nicht realisierbar. Da in konventionellen Motorenölen keine natürlichen nachwachsenden Rohstoffe zum Einsatz kommen, ist ein Zuwachs von absolut 30% oder analog 60% des gesetzten Zieles eine erste wichtige Basis für weitere Entwicklungen. Aufgrund der in den letzten Tests aufgetretenen Schwierigkeiten sind die Zielsetzungen nur zum Teil erreicht worden. Insbesondere das erhöhte Verschleißverhalten und der extreme Viskositätsanstieg im Diesel-Motor waren ausschlaggebend für den teilweisen Verzicht auf die weiterführende Entwicklung. Analog hierzu wurde der anfänglich anvisierte Betrag von förderfähigen Kosten nicht vollständig in Anspruch genommen. Die tatsächlich realisierten und geltend gemachten Kosten belaufen sich auf 289.960,44 € Dennoch lieferten die Prüfergebnisse aus dem Fördevorhaben wertvolle Erkenntnisse, die im Rahmen weiterführender Entwicklungen von großem Wert sein werden.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Vorträge:

- 1) Natürliche Ester im 4-Takt Benzin und Diesel Motor; Schweiz - Universität St. Gallen, 8.Juli 2002
- 2) Alternatives végétales; Frankreich - Boussens , jeudi 5 juin 2003
- 3) Application of refined High Oleic Sunflower oil in combustion engines; 8th International Scientific & Research Conference; Ukraine - Berdyansk , September 8th to 12th, 2003
- 4) Die High-Oleic-Sunflower als Neue Grundölkomponente; Eigenschaften und Anwendungsbereiche; Deutschland - Universität Hohenheim; 15.-17. März 2005
- 5) Die High-Oleic-Sunflower als Neue Grundölkomponente; Tagung Neue Brennverfahren; Deutschland - Berlin; 28. September 2006, Ernst Reuter Haus - Haus der Technik

Fazit

Die in dem Projekt erzielten Ergebnisse zeigen, dass der Einsatz der High-Oleic-Sonnenblume als Grundölkomponente in Motorenölen grundsätzlich möglich ist. Die angestrebten Eigenschaften und Ziele konnten teilweise mit großem Erfolg umgesetzt werden. Hervorzuheben sind die guten Ergebnisse in Bezug auf die Kolbensauberkeit und die Oxidationsstabilität. Negativ aufgefallen sind die zum Teil erhöhten Verschleiß- und Viskositätswerte in modernen Dieselmotoren. In Bezug auf die Fuel Economy Eigenschaften, konnten in zwei von drei offiziell international anerkannten Prüfmotoren überdurchschnittlich gute Ergebnisse erzielt werden.

Die zentrale Befürchtung, dass die High-Oleic-Sonnenblume nicht ausreichend Oxidationsstabil sei, konnte in mehreren Prüfmotoren widerlegt werden. Auch die bereits vor Förderbeginn zitierte ausgezeichnete Kolbensauberkeit hat sich in allen durchgeführten Prüfmotorläufen bestätigt. Es hat sich aber gezeigt, dass aufgrund des erhöhten Blow-By-Effekts in Dieselmotoren die Verbrennungsrückstände einen negativen Einfluss auf die High-Oleic-Sonnenblume ausüben und so das Verschleißverhalten verschlechtern. Ausgehend von den heutigen Erfahrungswerten und im Wissen um die Problematik bei Dieselfahrzeugen wäre es sinnvoll diesen Informationsgewinn in ein neues Projekt einfließen zu lassen. Das gestiegene Preisniveau bei konventionellen Motorenölen würde jetzt auch den Einsatz von leistungsfähigeren High-Oleic-Sonnenblumen Komponenten. Die bis dato erreichten Eigenschaften des Kandidatenöls könnten so noch einmal hinsichtlich der Umweltaspekte sowie der geforderten Performance deutlich verbessert werden.

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	7
2.	Einleitung	8
3.	Hauptteil	12
3.1.	Projektverlauf	12
3.1.1	Kick-Off - Meeting	12
3.1.2	Resultate der durchgeführten Prüfungen	12
3.2.1	Zweites Meeting	16
3.2.2.	Resultate der durchgeführten Prüfungen	17
3.3.1	Drittes Meeting	19
3.3.2	Resultate der durchgeführten Prüfungen	20
3.4	Bewertung der Resultate	23
4.	Fazit	25
	Anhänge	26-30

Abbildungsverzeichnis

Bild 1	Ergebnis des Panel Coker Tests nach Methode PSA; Quelle: ISP	13
Bild 2	Ergebnis des MTU Deposit Tests nach DIN 51 535	13
Bild 3	Ergebnisse des DKA Oxidationstest 160°C / 192h nach CEC L-48-A-00-B	14
Bild 4	Ergebnis des Peugeot TU5JP gemäß CEC L-88-02	15
Bild 5	Ergebnis des Sequence IIIG: Bestimmung der oxidativen Stabilität, der Kolbensauberkeit, des Verschleißes und des Viskositätsanspruchs.	18
Bild 6	Ergebnis des OM 602A gemäß CEC L-51-T-98 : Bestimmung des Nockenwellenverschleißes, Kolbensauberkeit, Bore Polishing.	19
Bild 7	Ergebnis des Peugeot TU5JP gemäß CEC L-88-02 (Dritter Lauf mit geänderter Formulierung)	21
Bild 8	Ergebnis nach der Durchführung von Sequence IIIG: Bestimmung der oxidativen Stabilität, der Kolbensauberkeit, des Verschleißes und des Viskositätsanspruchs (Dritter Lauf).	22
Bild 9	Ergebnis nach der Durchführung von PSA XUD 11BTE/L gemäß CEC L-56-T-98: Bestimmung des Viskositätsanstieges und der Kolbensauberkeit unter Einfluss von 3% Russeintrag (Erster Lauf).	23

1. Zusammenfassung

Aufgrund bereits positiver Voruntersuchungen und Feldteste in mehreren Fahrzeugen wurde im Rahmen des technisch orientierten Vorhabens zur Entwicklung eines Motorenöls auf Basis der High-Oleic-Sonnenblume untersucht, inwieweit sich die High-Oleic-Sonnenblume als Grundöl für ein typisches Motorenöl eignet. Zurzeit werden in den von den Automobilherstellern freigegebenen Motorenölen grundsätzlich Grundöle auf Basis fossiler Rohstoffe eingesetzt.

Der Einsatz der High-Oleic-Sonnenblume böte gleich mehrere Vorteile. Fossile Rohstoffe könnten durch nachwachsende Rohstoffe ersetzt werden und die biologische Abbaubarkeit könnte im Vergleich zu mineralisch basierten Ölen erhöht werden. Weiterhin wurde untersucht inwieweit die Fuel Economy Eigenschaften die Absenkung des Treibstoffverbrauches und dadurch indirekt die Reduktion der Abgasemissionen verringern könnten. Das Ziel des Vorhabens war, ein ökologisches Motorenöl zu entwickeln, welches sowohl den technischen Anforderungen der Automobilhersteller entspricht, als auch deutliche umweltrelevante Vorteile aufweist. Ein wichtiger Punkt der Untersuchungen war, das Motorenöl so zu formulieren, dass es in Bezug auf das Preisniveau den am Markt befindlichen Leichtlaufölen gleichgestellt sein wird. Das Öl sollte also ohne zusätzliche staatliche Subventionen großflächig vermarktbare sein. Aufbauend auf den bereits bestehenden Ergebnissen wurde in der Anfangsphase zunächst eine optimierte Basisformulierung erarbeitet.

Im Rahmen der Untersuchungen waren Testreihen sowohl für Diesel- als auch für Benzinmotor vorgesehen. Diese Tests sollten Aufschluss über das Verhalten des Motorenöls in diversen Motorentypen in Bezug auf folgende Kriterien liefern und ggf. eine Verbesserung der Formulierung ermöglichen:

- Alterung und Oxidation;
- Verschleiß;
- Viskositätsveränderungen und die Beschaffenheit des Gebrauchtsöls;
- Schlammabildung

Die angestrebten Eigenschaften und Ziele konnten teilweise erreicht werden. Hervorzuheben sind die guten Ergebnisse in Bezug auf die Kolbensauberkeit und die Oxidationsstabilität. Negativ aufgefallen sind die zum Teil erhöhten Verschleiß- und Viskositätswerte in modernen Dieselmotoren. In Bezug auf die Fuel Economy Eigenschaften konnten in zwei von drei offiziell international anerkannten Prüfmotoren überdurchschnittlich gute Ergebnisse erzielt werden.

Erwähnenswert ist darüber hinaus, dass sich in Feldversuchen gezeigt hat, dass der Einsatz des Motorenöls in Verbindung mit Aggregaten welche mit Pflanzenöl oder Biodiesel als Treibstoff betrieben werden, einen positiven Einfluss auf die Dauer der Ölwechselintervalle hat. Normalerweise müssen in mit Pflanzenöl oder Biodiesel betriebenen Blockheizkraftwerken oder Fahrzeugen die Ölwechselintervalle in mindestens halbiert werden. Klassische Mineralöle zersetzten sich aufgrund des Pflanzenöleintrages im Motorenöl deutlich schneller. Das Kandidatenöl zeigt hier eine sehr gute Verträglichkeit und erlaubt es dem Anwender, die Ölwechselintervalle wieder auf das normale Niveau auszudehnen.

Das technisch orientierte Vorhaben zur Entwicklung eines Motorenöls auf Basis der High-Oleic-Sonnenblume wurde durch die Natoil GmbH mit Sitz in München in Kooperation mit der Meguin GmbH & Co.KG Mineralölwerke mit Sitz in Saarlouis durchgeführt.

Das Projekt wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt „DBU“ unter dem Aktenzeichen AZ 19686 gefördert.

2. Einleitung

In Deutschland werden jedes Jahr weit über eine Million Tonnen Schmierstoffe abgesetzt, die derzeit noch zu etwa 96% auf fossilem, nicht regenerierbarem Mineralöl basieren.

Ein erheblicher Teil dieser Schmierstoffe, rund 350.000 Tonnen, sind Motorenöle von denen rund 90% in Diesel- Nutzfahrzeugen und Pkw sowie in Otto Motoren zum Einsatz kommen¹. Jährlich werden davon etwa 150.000 Tonnen verbraucht und belasten die Umwelt in Form von gesammeltem Altöl, durch Emission und Leckage. Bei Motorenölen ist der Marktanteil von Bio-Motorenölen auf Basis nachwachsender Ester mit weniger als 1% noch weitaus geringer als im gesamten Schmierstoffmarkt. Dies liegt im Wesentlichen an den außerordentlich hohen technischen Anforderungen an Motorenöle, die bislang für nicht mineralölbasierte Produkte als kaum zu erfüllen galten.

Die zahlreichen Untersuchungen im Rahmen der Grundlagenforschung des Antragstellers haben bereits im Vorfeld des Fördervorhabens belegen können, dass der Einsatz von Bio-Motorenölen auf Basis natürlicher Ester auch in dem technisch anspruchsvollen Bereich der Automobilindustrie möglich ist. Im Vordergrund des beantragten Förderprojekts stehen folglich die anwendungstechnischen Eigenschaften der Schmierstoffe bei einem maximal möglichen Anteil natürlicher Ester und nachwachsender Rohstoffe an der Gesamtformulierung. Die Zielsetzung des Vorhabens besteht in der Weiterentwicklung eines Bio-Motorenöls auf der Basis der High-Oleic-Sonneblume und umfasst in diesem Zusammenhang die notwendige Optimierung der Formulierung hinsichtlich qualitativer und technischer Anforderungen, sowie für die Erfüllung von Anforderungen nach den einschlägigen Normen und Standards.

Zusammenfassend bietet das Öl folgende wesentlichen anwendungstechnische Vorteile:

Deutliche Reduzierung der CO2 Emissionen – Fuel Economy

Der sehr hohe, natürliche Viskositätsindex und die hohe Polarität der Grundöle ermöglichen eine Formulierung von Mehrbereichsölen ohne die üblichen polymerhaltigen Viskositätsverbesserer (VII). Dies ermöglicht eine Kraftstoffersparnis in der Kaltlaufphase von bis zu 10% sowie rund 2% im durchschnittlichen Betrieb. Ein solcher reibungsmindernder Schmierstoff bringt über die Lebensdauer eines PKW 500 bis 1000 Liter Treibstoffersparnis und eine Emissionsminderung an umweltschädlichem Kohlendioxid (CO₂) von ca. 1.000 kg (L6).

Absenkung der Schwefel bezogenen Emissionen

Durch den Einsatz eines schwefelarmen Grundöls sowie möglichst schwefelarmer Trägeröle kann bereits eine Reduktion der Schwefelbelastung von bis zu 50% erreicht werden (L5, S.10)

Signifikante Reduktion der Partikelemissionen

Ein niedrigerer Verdampfungsverlust ermöglicht eine Reduktion der Partikelemissionen um bis zu 50% (L4, Quelle Fuchs). So kommen auch hier die Vorteile der Grundöl-Formulierung mit einem voraussichtlichen Verdampfungsverlust von lediglich ca. 3% zum Tragen. Im Jahr 2000 sind ca. 400.000 Tonnen an Partikeln (alle Größenklassen) in Deutschland emittiert worden. Hiervon entfielen auf den PKW und LKW Bereich ca. 40% oder 160.000 Tonnen. (L3).

Interessant ist besonders die Tatsache, dass der Anteil des Motorenöls an den Partikelemissionen um den Faktor 50 – 250 höher ist, als man es aufgrund der relativen Verbrauchsraten von Öl und Dieselmotoren erwarten würde. Die ausschlaggebenden Faktoren für den Anteil an der Partikelbildung sind der Ölverbrauch und die Verbrennungseffizienz des jeweiligen Motors (L2, S.56ff).

Optimierung der nachgeschalteten Abgasreinigungssysteme

¹ Die restlichen 10 % entfallen auf Zweitaktmotoren, sonstige Dieselaggregate sowie Aggregate in der Binnenschifffahrt und Luftfahrt

Schwefel sulfatisiert die Oberflächen und Phosphor schädigt die Oberflächen irreversibel. Auch Sulfatasche verursacht erhebliche Ablagerungen in Katalysatoren.

Deshalb führt die Reduzierung von Sulfatasche, Schwefel, Phosphor und Partikeln grundsätzlich zu einer Verbesserung der nachgeschalteten Systeme und dadurch zu einer Verbesserung der Abgasemissionsseite (L2, S.72 ff).

Eine Absenkung des Schwefelanteils im Motorenöl unter 0,3 % würde bei konventionellen Abgasbehandlungssystemen also auch zu einer Verlängerung der Katalysatorlebensdauer beitragen. Allerdings muss der Einsatz der neuen Speicherkatalysatoren problematisch gesehen werden, da hier bereits geringste Schwefelkonzentrationen zu einer schleichenden Katalysatorvergiftung führen und so das Einhalten der Abgasgrenzwerte über längere Zeiträume gefährden.

Umsetzung der Euro IV Kriterien - Kyoto Protokoll

Um die durch die ab 2005 in Kraft tretende Euro IV Norm definierte Emissionsgrenzwerte zu erfüllen, wurden folgende Richtwerte für Schmierstoffe definiert:

Sulfatasche	max. 1%
Schwefel	max. 0.2%
Phosphor	max. 0.05%

Um die zukünftigen Anforderungen an Euro IV Öle zu erfüllen, müssen also Sulfatasche, Schwefel und Phosphor signifikant reduziert werden. Dies ist jedoch nicht unproblematisch, da die Sulfataschebildenden Additive wie die metallhaltigen Detergentien sowie Phosphor und Schwefelverbindungen hauptsächlich der Verschleißminderung, der Verhinderung von Ablagerungen sowie als Korrosionsinhibitor dienen. Diese Zusätze wurden bislang genutzt, um die gewünschte Performance bei Schmierstoffen auf mineralischer und synthetischer Basis zu erreichen.

Die Umsetzung der Euro IV-Norm ist deshalb für die Mineralölindustrie eine Herausforderung, da durch eine Reduktion dieser Additive auch Performance Einbußen in Kauf genommen werden müssen (L1).

Neben den projektbezogenen ökologischen Vorteilen und Innovationen böte der verstärkte Einsatz von Bio-Motorenölen auch ökonomische und kommunikationpolitische Vorteile. Die in Deutschland formulierten bzw. produzierten Schmierstoffe gelten bereits weltweit als technischer und qualitativer Benchmark². Dies umfasst sowohl den technischen Reifegrad als auch die Entwicklung des kommerziellen Marktes für Bioschmierstoffe. Die Weiterentwicklung von Bio-Motorenölen würde somit die weitere Positionierung deutscher Öko-Technologien im internationalen Umfeld unterstützen.

Darüber hinaus fördert ein zunehmender Einsatz von Ökotechnologien in führenden deutschen Industrien bzw. Branchen auch den Bedarf bei der Produktion und Vermarktung nachwachsender Rohstoffe und bietet somit zusätzliche Chancen für die deutsche bzw. europäische Agrarwirtschaft.

In diesem Zusammenhang stellt das Projekt zusätzlich das Beispiel für ein nachhaltiges Wirtschaften dar.

Bereits 1993 wurde das erste Bio-Motorenöl mit konventioneller Additivierung in Feldtests erprobt. Im Vordergrund dieser Entwicklung stand die biologische Abbaubarkeit, die mit mehr als 80% in 21 Tagen (nach CEC-L-33-A-93 Test) bereits einen der zentralen Vorteile von Bio-Motorenölen zeigte (L4)

Weitergehende Kriterien der Umweltverträglichkeit wurden dann im Rahmen eines BML Projektes (96 NR-168-F) von der Firma Fuchs untersucht. Hier zeigten sich die chemisch-physikalischen Vorteile von synthetischen Esterölen, die nicht nur eine signifikante Verringerung des Kraftstoff-Verbrauchs und der Partikelemissionen (Dieselmotoren) ermöglichen, sondern auch durch eine wesentlich bessere Grenzschmierfähigkeit (im Vergleich zu Mineralölen) sowie eine Viskositätsabsenkung ohne Verschlechterung des Verschleißschutzes ermöglichen. Auch die Additivierung wurde hinsichtlich einer besseren Umwelt- und Aggregate-Verträglichkeit neu formuliert (ohne Zink, Polymere und mit geringerem Phosphor-Gehalt).

Des Weiteren wurden im Rahmen dieses Projekts auch Untersuchungen verschiedener Mineral- und Esterölprodukte hinsichtlich ihrer tribologischen Eigenschaften durchgeführt. Diese Untersuchungen bestätigten die hervorragenden tribologischen Eigenschaften von synthetischen Esterölen. Auch die Kälteeigenschaften erwiesen sich als akzeptabel (L4)

² vgl. Frost & Sullivan

Als großes Problem stellten sich allerdings die für eine konventionelle Umlaufschmierung nicht akzeptablen Alterungseigenschaften heraus. Aus diesem Grund wurden in einem von der FNR, Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe, geförderten und von Fuchs DEA durchgeführten Projekt (Ecomot/FNR) als Grundöle für Bio-Motorenöle hochalterungsstabile, gesättigte Ester auf Basis nachwachsender Rohstoffe eingesetzt. Diese Pflanzenöle wurden allerdings chemisch modifiziert, d.h. synthetisch hergestellt, um so dem hohen Temperatur- und Abgasniveau widerstehen zu können (L4).

Neben diesen Projekten wurden seit 1997 auch eine Reihe von Studien zum Einsatz von Pflanzenölen in Motorenölen durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gefördert und von der Firma Fuchs durchgeführt (L4)

In diesen Studien wurden neben Leistungstests mit Motorenölen auf Basis nachwachsender Rohstoffe bei Diesel- und Ottomotoren auch praktische Erprobungen neuer Verfahren zur Dieselmotorenschmierung unter Verwendung von Bio-Motorenölen vorgenommen.

Die insgesamt positiven und vielversprechenden Ergebnisse der skizzierten Forschungs- und Forschungsprojekte veranlassten die Firma Natoil zu eigenen, grundlegenden Voruntersuchungen und Testreihen zur Verifikation der Arbeitsergebnisse. Zielsetzung der Arbeiten war der Abbau bzw. die Beseitigung der noch vorhandenen Defizite von Bio-Motorenölen und die anschließende Entwicklung eines vermarktungsfähigen Bio-Motorenöls, welches ohne Modifikation der Motoren analog zu klassischen Motorenölen eingesetzt werden kann.

Aufgrund der zusätzlichen Produktionsschritte zur Herstellung synthetischer Ester und dem damit verbundenen, zusätzlichen Aufwand für Energie, Produktion und Transport, sollen für die Entwicklungen hauptsächlich gepresste und raffinierte Grundöle, d.h. natürliche Ester ohne chemische Modifikation eingesetzt werden. Dieses Vorgehen erlaubt auch eine marktgerechte Platzierung der zukünftigen Öle aufgrund der geringeren Produktionskosten des verwendeten Bio-Grundöls.

Die Voruntersuchungen des Antragstellers basieren auf der High-Oleic-Sonnenblume (HO-Sonnenblume). Sie ist eine junge, in der eingesetzten Qualität erst seit kurzem verfügbare, gentechnisch nicht veränderte Züchtung. Die HO-Sonnenblume kann in ausreichenden Mengen in Europa angebaut werden.

Im Vergleich zu anderen Ölpflanzen besitzt die HO-Sonnenblume einen außerordentlich hohen Anteil an einfach ungesättigten Fettsäuren C18:1. Der Anteil schwankt hier je nach Sorte zwischen 80% und 95%. Die klassische Sonnenblume hat nur einen Anteil von durchschnittlich 20%, Raps erreicht selten 60%. Der hohe Anteil dieser einfach ungesättigten Fettsäuren ist der Grund für die deutlich höhere Oxidationsstabilität dieses Öls. Auch ein Vergleich der mehrfach ungesättigten Fettsäuren verdeutlicht den Vorteil der HO-Sonnenblume. Mehrfach ungesättigte Fettsäuren sind weniger oxidationsresistent als einfach ungesättigte. Die klassische Sonnenblume erzielt ca. 66%, Raps weist ca. 29% dieser ungesättigten Anteile auf. Die eingesetzte HO-Sonnenblume liegt mit durchschnittlich nur 3% deutlich unter den Werten der klassischen Ölpflanzen.

Die HO-Sonnenblume scheint sich nach den zu Beginn durchgeführten Verifikationstests hervorragend als Rohstoff und Grundöl für die Produktion von Motorenölen, sowohl im praktischen Einsatz in Automobilen, als auch in anderen industriellen Anwendungsbereichen zu eignen. Dies begründet sich besonders durch die in Motorentests erzielte Kolbensauberkeit und durch den moderaten Viskositätsanstieg während der Testdauer, der auf die außerordentlich gute Alterungsstabilität des Öls hinweist.

Zur Realisierung des Fördervorhabens „Entwicklung eines Motorenöls auf Basis der High-Oleic-Sonnenblume“ wurden folgende Aufgabenstellungen festgelegt:

Aufbauend auf den bereits bestehenden Ergebnissen wurde in der Anfangsphase eine optimierte Basisformulierung erarbeitet. In dieser Phase geht es um einschlägig bekannte Testverfahren und Laborarbeiten zur Optimierung eines Basisfluids.

Im Rahmen der Untersuchungen waren dann Testreihen sowohl für Diesel- als auch für Benzinmotor vorgesehen. Diese Tests sollten Aufschluss über das Verhalten des Motorenöls in diversen Motorentypen in Bezug auf folgende Kriterien liefern und ggf. die Verbesserung der Formulierung ermöglichen:

- Alterung und Oxidation;
- Verschleiß;
- Viskositätsveränderungen und die Beschaffenheit des Gebrauchtsöls;
- Schlamm Bildung

Analog zu dem ausgearbeiteten Zeitplan wurde die erste Sequenz der Dieselmotorenprüfung mit 2 verschiedenen Volkswagenmotoren geplant. Es handelt sich hier um typische Dieselmotoren, welche im Vergleich zu anderen Testmotoren zu äußerst wirtschaftlichen Konditionen eine erste Grundeinstellung der Ölformulierung erlauben. Der anschließende Test in einem größeren Mercedesmotor gibt dann einen weiteren Einblick in das Potential der Ölformulierung für schwere Dieselmotoren. Gegebenenfalls müssen hier Änderungen der Formulierung vorgenommen werden. Anschließend waren Tests mit einem weiteren Mercedes Dieselmotor geplant. Dieses Testaggregat ist eines der wenigen, das den Einfluss des Motorenöls auf den Verschleiß der Kurbelwelle bewertet. Im Anschluss daran wird die Formulierung in schweren Dieselmotoren geprüft. Auch hier muss die Formulierung evtl. in Bezug auf Stabilität und Ablagerungen optimiert werden. Abschließend werden im Bereich Dieselmotoren, noch zwei Versuche in schweren Dieselmotoren mit längerer Laufzeit und erschwerten Bedingungen gefahren. Nach Abschluss dieser komplexen Testreihen war geplant, die Formulierung in Benzinmotor getriebenen Fahrzeugen zu testen. Diese Tests verlaufen analog zur Dieseltestreihe.

Auch hier war geplant, mit zwei typischen Benzinmotoren zu beginnen. Beide Maschinen stellen bereits hohe Anforderungen an die Alterungsstabilität der Öle. Aufgrund der vergleichsweise geringeren Testkosten können bei diesen Tests die Formulierung in Bezug auf die Mixed Fleet Tauglichkeit (Einsatz in Diesel und Benzinmotoren) optimiert werden. Der anschließende Test gibt Aufschluss über das Potential zur Reduktion der Schlamm Bildung. Nach dieser Reihe muss die Formulierung gegebenenfalls noch einmal optimiert werden. Danach waren im Arbeitsplan noch drei weitere Testreihen geplant, um die Schlamm Bildung bei verlängerter Laufzeit und „Stop and Go“ Betrieb zu prüfen und die Oxidationsstabilität in einem großvolumigen 6 Zylinder Motor zu prüfen.

Neben der Eignung des eingesetzten Schmierstoffes als Motorenöl stehen die direkten Einflüsse auf das Emissionsverhalten, die Fuel Economy und die Möglichkeit verlängerter Ölwechselintervalle im Vordergrund der Untersuchungen. Unter diesem Gesichtspunkt wurden nach Abschluss der allgemeinen Diesel und – Benzinmotorprüfungen umweltspezifische Untersuchungen geplant. Das Ziel dieser Untersuchungen war, die Formulierung in Bezug auf emissionsarme Motoren und verlängerte Ölwechselintervalle zu optimieren. Da diese Prüfungen sehr hohe Anforderungen an die Öle stellen und vergleichsweise deutlich höhere Investitionen nach sich ziehen, war es für sinnvoll, diese Prüfungen am Ende der Testreihen durchzuführen.

3. Hauptteil

3.1. Projektverlauf

3.1.1. Kick-Off - Meeting; 17.09.2003; Salzbergen

Teilnehmer:

Herr Heribert Nasch, Geschäftsführer; I.S.P. GmbH Institut für Kraft – und Schmierstoffprüfung, Salzbergen;
Herr Dr. Tono Nasch, I.S.P. GmbH Institut für Kraft – und Schmierstoffprüfung, Salzbergen
Herr Otto Botz; Geschäftsführer der NATOIL GmbH (Antragsteller);

Am 17.09.2003 fand ein erstes vorbereitendes Treffen bei der I.S.P. GmbH in Salzbergen mit den Herren Nasch statt. Zweck des Meetings war, die Vorgehensweise und den Zeitrahmen des Projektes detailliert zu definieren. Insbesondere die ersten anstehenden Laborprüfungen sowie die Motorenteste der Stufe 01 A und 01 B. Es wurde zu diesem Zeitpunkt vereinbart, nach Abschluss jeder Stufe die Ergebnisse mit den zuständigen Sachverständigen zu diskutieren und im Anschluss daran die notwendigen Schritte zu formulieren.

Folgende Prüfungen wurden während dieses Meetings gemeinsam festgelegt:

A Laborprüfungen - Optimierung Basispaket

- Eine umfassende Elastomer Verträglichkeitsprüfung incl. des neuen Opel Elastomers;
- Ein Hochtemperatur Ablagerungstest - TEOST -;
- Ein Ablagerungstest in Bezug auf Ablagerungen in Turboladern - MTU-MTV 5040;
- Ein Verschleißtest - Cam and Tappet Test - VW PV 5106;

B Stufe 01 der Motorentest Prüfungen

- Zur Kontrolle des Viskositätsanstieges und um eine Aussage in Bezug auf die Oxidationsstabilität zu machen, wird zuerst ein Test mit dem Motor Peugeot TU 5 gefahren.
- Im Anschluss daran sollen Kolbensauberkeit sowie Ringstecken überprüft werden. Hierzu wird ein Test im Volkswagen TDI2 Motor gefahren.
- Außerdem wurde ein aussagekräftiger Verschleiß Screening Test in Bezug auf den RNT Wear Test von Volkswagen geplant.

C Stufe 02 der Motorentest Prüfungen

- Zur Kontrolle der Schlammbildung, soll zuerst ein Test mit dem Motor Mercedes M 111 Sludge gefahren werden.
- Im Anschluss daran soll das Fuel Economy Potential überprüft werden. Hierzu wird ein Test im Mercedes M 111 FE gefahren werden.

3.1.2 Resultate der durchgeführten Prüfungen

A Laborprüfungen - Optimierung Basispaket

Sealtestergebnisse nach CEC L-39-T-96

- Elastomer RE1	Zugfestigkeitsänderung, relativ	-1.6%
	Zugdehnungsänderung relativ	-22.5%
	Volumenänderung -Median, relativ	0.4%
- Elastomer RE2	Zugfestigkeitsänderung, relativ	-3.9%
	Zugdehnungsänderung relativ	-16.4%
	Volumenänderung -Median, relativ	5.0%

- Elastomer VMQ	Zugfestigkeitsänderung, relativ	10.6%
	Zugdehnungsänderung relativ	-3.1%
	Volumenänderung -Median, relativ	7.9%
- Elastomer RE4	Zugfestigkeitsänderung, relativ	4.1%
	Zugdehnungsänderung relativ	-19.5%
	Volumenänderung -Median, relativ	3.9%

Die verschiedenen Sealtests zur Elastomer Verträglichkeitsprüfung (mit allen für die europäische Automobilindustrie maßgebenden Elastomeren inkl. des neuen kritischen Opel-Ealstomers) wurden mit der angesetzten Formulierung bestanden. Die für die Tests angesetzte Ölformulierung erfüllte somit die Elastomer-Anforderungen gemäß der ACEA 2004 Sequenzen.

Panel Coker Test nach Methode PSA

Erzielte Ergebnisse (Graphische Darstellung: Bild 1):

Varnish merit: 9.46 Punkte
 Carbon merit: 9.49 Punkte
 Total merit: 8.95 Punkte

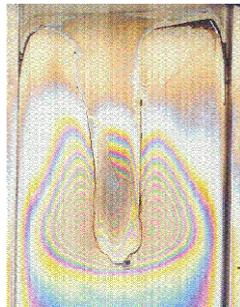


Bild 1: Ergebnis des Panel Coker Test nach Methode PSA; Quelle: ISP

Das in dem Panel Coker Test nach Methode PSA mit dem Kandidatenöl erzielte Ergebnis übertrifft die Mindestanforderungen von 8.0 Pkt.³

MTU Deposit Test nach DIN 51 535

Ablagerung Kandidat 1.Wert: 118 mg
 Ablagerung Kandidat 2.Wert: 97mg
 Mittelwert der Ablagerung Kandidat: 108 mg

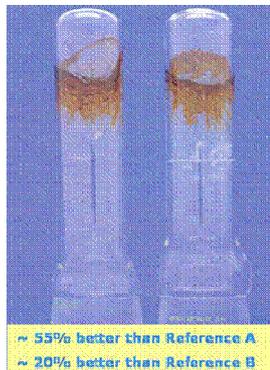


Bild 2: Ergebnis des MTU Deposit Tests nach DIN 51 535

³ Gemäß Peugeot

Die im Hochtemperaturen Ablagerungstest MTU Deposit Test nach DIN 51 535 mit den Kandidatenölen erzielte Ergebnisse haben deutliche Vorteile gegenüber den Referenzölen aufgewiesen. Verglichen mit den Referenzölen haben die angesetzten Formulierungen um ca. 55% (bzw. 20%) weniger Ablagerungen verursacht.

TEOST-MHT4 nach Tannas Hausmethode

Ablagerung am Heizstab:	2.5mg
Ablagerung im Filter:	4.8mg
Gesamt Ablagerungen:	7.3mg
Flüchtige Bestandteile:	2.23 g

Der Test *TEOST-MHT4 nach Tannas Hausmethode* ist ein weiterer Hochtemperatur-Ablagerungstest nach ILSAC Standard. Der maximal zulässige Ablagerungsgrenzwert für das ILSAC GF-4 Niveau liegt hier bei 35 mg. Die in dem Test mit dem Kandidatenöl erzielten Ergebnisse weisen einen deutlich besseren Wert von insgesamt 7.3 mg auf.

DKA Oxidationstest 160°C / 192h nach CEC L-48-A-00-B (Darstellung der Ergebnisse: Bild 3)

Änderung der Viskosität, kin. 40°C, relativ:	128.3%
Änderung der Viskosität, kin. 100°C, relativ:	41.40%
Delta Tan in mg KOH/g:	7.2 mg
Änderung der Viskosität, kin. 40°C, relativ:	41.40%
Änderung der Viskosität, kin. 100°C, relativ:	4.8%
Delta Tan in mg KOH/g:	2.1 mg
Änderung der Viskosität, kin. 40°C, relativ:	6.1%
Änderung der Viskosität, kin. 100°C, relativ:	0.48%
Delta Tan in mg KOH/g:	1.5 mg

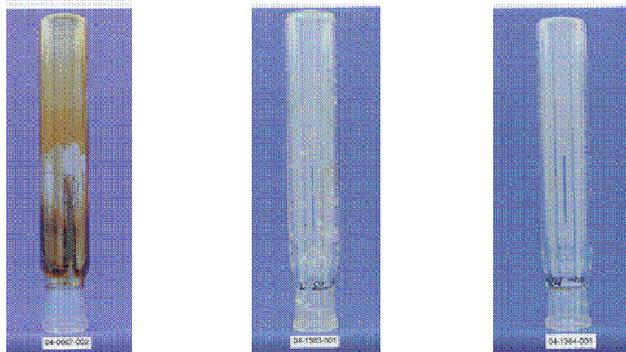


Bild 3: Ergebnisse des DKA Oxidationstest 160°C / 192h nach CEC L-48-A-00-B

TBN nach DIN ISO 3771

Basenzahl HClO4	12.4 mg
-----------------	---------

MRV Viskosität bei -25°C nach ASTM D 4684

Fließspannung:	Nein
Viskosität MRV bei -25°C:	< 5.000 mPa*s

Die weiteren oben aufgeführten Tests weisen Messwerte auf, die im zulässigen Bereich klassischer Motorenöle liegen.

B Stufe 01 der Motorentest Prüfungen

Erster Lauf Peugeot TU5JP gemäß CEC L-88-02: Bestimmung der oxidativen Stabilität, der Kolbensauberkeit und des Viskositätsanstieges. – Ergebnisse nur ausreichend. Problematisch gestaltete sich der mit dem Kandidatenöl erzielte zu starke absolute Viskositätsanstieg mit 300.2 mm²/s im Vergleich zu einem üblichen Referenzwert von 54.6 ²/s.

Erzielte Ergebnisse (vgl. Bild 4):

Absolute Viscosity Increase at 40°C:	300.2 mm ² /s
Relative Viscosity Increase at 40°C:	450.83%
Overall Piston Merit - CRC Rating:	7.0 points
Ring Sticking Merit 1 st ring (worst)	10.0 points
Oil consumption	3.340 gram
Oil consumption	46.4 gr./h



Bild 4: Ergebnis des Peugeot TU5JP gemäß CEC L-88-02

Zweiter Lauf Peugeot TU5JP gemäß CEC L-88-02 (geänderte Formulierung): Bestimmung der oxidativen Stabilität, der Kolbensauberkeit und des Viskositätsanstieges. – deutlich verbessertes Ergebnis weiteres Potential vorhanden.

Absolute Viscosity Increase at 40°C:	69.9 mm ² /s
Relative Viscosity Increase at 40°C:	110.78%
Overall Piston Merit - CRC Rating:	9.3 points
Ring Sticking Merit 1 st ring (worst)	10.0 points
Oil consumption	1.820 gram
Oil consumption	25.3 gr./h

Die mit der geänderten Formulierung erzielten Ergebnisse im zweiten Lauf des *Peugeot TU5JP gemäß CEC L-88-02* weisen deutliche Verbesserungen im Vergleich zu den ursprünglichen Defiziten auf. Neben der Verbesserung im Bereich des Viskositätsanstiegs konnte mit der neuen Formulierung eine deutliche Reduktion des Ölverbrauchs erzielt werden (Von 3340 Gramm auf 1820 Gramm).

Der erreichte Vorhabensstand weicht zu diesem Zeitpunkt nicht vom Arbeits-, Finanzierungsplan sowie dem Kostenplan ab. Die für das Gelingen notwendigen Prüfungen in Bezug auf die anwendungstechnischen Eigenschaften sind nach wie vor relevant.

Die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Berichtszeitraumes gegenüber dem geltenden Antrag haben sich dennoch aufgrund einer nicht erwarteten Blockade-Haltung seitens wichtiger Zulieferer verändert. Die Formulierungen konnten so nicht im geplanten Zeitrahmen

aufgemischt werden. Die damit verbundenen Prüfungen und Motorentests haben sich hierdurch deutlich verzögert. Die im Antrag definierten Ziele, insbesondere der Einsatz der High Oleic Sonnenblume als Basisölkomponekte, stehen jedoch nach wie vor im Vordergrund der Untersuchungen.

3.2.1 Zweites Meeting; 26.04.2004; Salzbergen

Teilnehmer:

*Herr Dr. Norbert Pelz; Daimler Chrysler;
Herr Heribert Nasch, Geschäftsführer; I.S.P. GmbH Institut für Kraft – und Schmierstoffprüfung, Salzbergen;
Herr Dr. Tono Nasch, Geschäftsführer; I.S.P. GmbH Institut für Kraft – und Schmierstoffprüfung, Salzbergen
Herr Otto Botz; Geschäftsführer der NATOIL GmbH (Antragsteller);*

Zweck dieses Meetings war, die im Kickoff Meeting vom 17.09.2003 festgelegten Prüfungen zu präsentieren und die Resultate mit den Experten von I.S.P und Daimler Chrysler (Dr. Norbert Pelz) zu diskutieren sowie die weitere Vorgehensweise und den Zeitrahmen des Projektes weiterhin zu definieren.

Wie bereits erwähnt wurde der Projektfortschritt zeitlich beeinträchtigt. Es handelte sich hier im Speziellen um die zu diesem Zeitpunkt noch neuen Performancepakete für die Aufmischung von so genannten „Low SAPs“ Formulierungen. Es konnte erst spät im I Quartal 2004 ein Zulieferer gefunden werden, der bereit war für das Projekt die gewünschten Komponenten zur Verfügung zu stellen.

Hinsichtlich der in der ersten Projektphase durchgeführten Tests lässt sich feststellen, dass besonders die durchgeführten Benchtests (TEOST, DKA, MTU...) aus technischer Sicht mit sehr guten Resultaten bestanden wurden. Allerdings korrelierten die im Motorentest „Peugeot TU 572“ erzielten Resultate nicht wie erwartet mit den Ergebnissen aus den Benchtests, wie dies erfahrungsgemäß bei konventionellen Ölen der Fall ist. Die technischen Anforderungen an den „Peugeot TU 572“ wurden nach Durchführung des zweiten Laufs zum Teil erfüllt. Anhand der aktuell vorliegenden Resultate ist eindeutig ein positiver Trend erkennbar. Aufgrund dieser Feststellungen wird zu diesem Zeitpunkt für die geplanten Prüfungen mit weiteren positiven Ergebnissen gerechnet.

In Bezug auf das praktische Vorgehen wurde, nach intensiver Diskussion mit Herrn Dr. Pelz und auf seine Anregung, beschlossen ein Öl zu formulieren, welches gehobenen Ansprüchen genügt, um dann in einem weiteren Schritt eine Formulierung für höchste Ansprüche zu entwickeln. Diese stufenweise Optimierung, erschien in dieser Phase des Projektes äußerst realistisch und sinnvoll.

Folgende Vorgehensweise wurde vereinbart:

Zur weiteren Kontrolle des Viskositätsanstieges und der Oxidationsstabilität wird ein ergänzender Motorentest gefahren. Der „Sequence IIIIG“ weist mit 100h eine noch längere Laufzeit als der „Peugeot TU 572“ auf und hat eine um 5°C erhöhte durchschnittliche Prüftemperatur (155°C).

Im Anschluss daran soll eine umfassende Prüfung des Fuel Economy Potentials stattfinden. Hierfür ist zuerst ein kurzer 24h Prüfstandtest „M111 FE“ vorgesehen. Bei positivem Resultat soll ein 96h Langzeittest gefahren werden, um den Einfluss der Ölalterung auf das Fuel Economy Verhalten zu untersuchen. Als Prüfmotor eignet sich hier der „Sequence VIB“. Dieser Test gibt gleichzeitig Aufschluss über die Alterungsstabilität.

Nach erfolgreichem Bestehen der vorgenannten Untersuchungen, soll abschließend für diese Phase ein 300h Test im Prüfmotor „OM 611 LA“ stattfinden. Dieser Test gibt weitreichend Aufschluss über das Verschleißverhalten und ist gleichzeitig eine weitere Hürde für die Alterungsstabilität des Motorenöls. Da auch von klassischen Motorenölen dieser noch sehr neue Test im ersten Lauf nur zu 48% bestanden wird, erwartete man hier nicht sofort einen Pass in allen Punkten. Entscheidend ist für den ersten Lauf, dass die geforderten Parameter durch ein Anpassen der Formulierung erreichbar bleiben.

Als realistischen Zeitrahmen bis zum Start des OM 611 LA wurden 3 Monate eingeplant. Die notwendige Basis für die oben genannten Prüfabläufe bildet eine sehr gute Oxidationsstabilität der Formulierung. Im

Anschluss an den OM 611 LA, soll in einer weiteren Diskussion mit Herrn Dr. Pelz und evtl. anderen Fachleuten des UBA⁴ das weitere Vorgehen diskutiert werden.

3.2.2 Resultate der durchgeführten Prüfungen

Der tatsächliche Vorhabensverlauf entwickelte sich wie folgt:

Da der Erste Versuch im Sequence IIIG nicht zufrieden stellend war, wurden umfangreiche „Inhouse Optimierungsarbeiten“ bei dem Kooperationspartner⁵ durchgeführt. Hierzu zählten auch Motorentest „Screener“ zur Trenderkennung und zur Abstimmung der einzelnen Additivkomponenten. Diese „so genannten Motorentests“ können aufgrund der großen Abweichungen keine offiziellen Prüfläufe ersetzen und sind auch nicht damit vergleichbar, sie liefern dennoch brauchbare Ergebnisse hinsichtlich der Formulierungsoptimierung.

Während dieser Arbeiten wurden die Komponenten besonders im Hinblick auf die Verbrennung im Dieselmotorbereich sowie auf den bei hohen Temperaturen durch Polymerisation auftretenden Viskositätsanstieg (Öleindickung) optimiert. Durch den zu starken Viskositätsanstieg im ersten Lauf des Sequence IIIG, wurden aufgrund der Risiko-Minimierung und zur Kostenersparnis die Prüfungen für den Fuel Economy Test M111 FE und Sequence VIB sowie für den sehr anspruchsvollen OM 611 LA ausgesetzt. Positive Screening Ergebnisse bei unserem Kooperationspartner waren ausschlaggebend für die Wiederaufnahme der Motorentests.

Der zweite Lauf im Sequence IIIG zeigte eine sehr deutliche Verbesserung hinsichtlich des Viskositätsanstieges. Die Polymerisation lag hier im Vergleich zum ersten Lauf fast auf dem Niveau vergleichbarer konventioneller Motorenöle. Die hier erreichten 155% lagen nur knapp über dem maximal zulässigen Wert von 150%. Im Anschluss an den zweiten Lauf des IIIG konnte so wie geplant ein M111 FE in Bezug auf die Fuel Economy Eigenschaften gefahren werden. Abschließend wurde als Prüfmedium anstelle des OM 611 LA der nach wie vor bestehende OM 602 LA ausgewählt. Dieses Vorgehen war im Hinblick auf eine Risiko- und Kostenoptimierung ratsam. Für die erweiterten Ergebnisse im Sequence VIB war der Zeitrahmen aufgrund des Testverlaufes zu kurz bemessen.

Durchgeführte Tests und Ergebnisse:

Erster Lauf Sequence IIIG: Bestimmung der oxidativen Stabilität, der Kolbensauberkeit, des Verschleißes und des Viskositätsanstieges. – Ergebnisse nur ausreichend

Erzielte Testergebnisse (Graphische Darstellung vgl. Bild 5):

Relative Viscosity Increase at 40°C:	9.300%
Cam + Lifter Wear:	50.8 points
Piston deposit	2.6 points
Oil consumption	4.15 L

⁴ Umweltbundesamt

⁵ Meguin GmbH & Co.KG Mineralölwerke



Bild 5: Ergebnis des Sequence IIIG: Bestimmung der oxidativen Stabilität, der Kolbensauberkeit, des Verschleißes und des Viskositätsanspruchs (erster Lauf)

Zweiter Lauf Sequence IIIG: Bestimmung der oxidativen Stabilität, der Kolbensauberkeit, des Verschleißes und des Viskositätsanstieges. – Ergebnisse nur ausreichend

Erzielte Ergebnisse:

Relative Viscosity Increase at 40°C:	155.6%
Cam + Lifter Wear:	49.8 points
Piston deposit	4.5 points
Oil consumption	2.16 L

M 111FE gemäß CEC L-54-T-96 : Bestimmung der Fuel Economy Eigenschaften

Erzielte Ergebnisse:

Fuel Economy:	2.14%
Baseline Reference Test using CEC RL 191:	779.93 gr.
Measurement, 3 Candidate Test :	763.21 gr.
Difference:	16.72 gr.

Die mit dem Kandidatenöl im *M 111FE gemäß CEC L-54-T-96* erzieltes Ergebnis von 2.14% übertrifft die Referenzwerte, die von Mercedes-Benz im Blatt 229.3 und 229.5 mit 1% bzw. 1.7% angesetzt werden.

OM 602A gemäß CEC L-51-T-98 : Bestimmung des Nockenwellenverschleißes, Kolbensauberkeit, Bore Polishing-

Erzielte Ergebnisse (graphische Darstellung; vgl. Bild 6):

Viskositätsanstieg:	51.5%
Nockenwellenverschleiß:	42.9 Punkte
Zylinderverschleiß:	7.8 Punkte
Bore Polishing:	0.5 Punkte
Schlammabildung:	9.3 Punkte

Kolbensauberkeit:
Ölverbrauch:

30.3 Punkte
5.190gr.

Der Test mit dem Kandidatenöl wurde in allen Kriterien bestanden. Dennoch befindet sich der mit dem Öl erzielte Wert für den Nockenwellenverschleiß nur knapp unterhalb des Referenzwertes von Mercedes-Benz (<45 µm). Hier besteht noch Optimierungsbedarf.

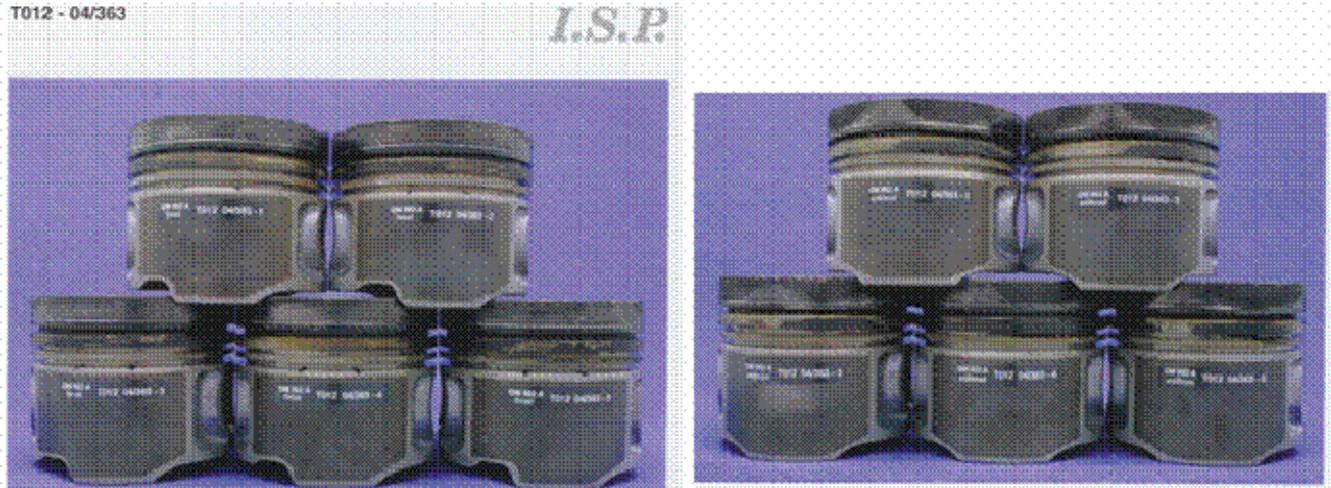


Bild 6: Ergebnis des OM 602A gemäß CEC L-51-T-98 : Bestimmung des Nockenwellenverschleißes, Kolbensauberkeit, Bore Polishing.

3.3.1. Drittes Meeting; 24.11.2004, Salzbergen

Teilnehmer

Herr Dr. Norbert Pelz; Daimler Chrysler – per Telefonkonferenz;
Herr Dr. Tono Nasch, Geschäftsführer; I.S.P. GmbH Institut für Kraft – und Schmierstoffprüfung, Salzbergen;
Herr Dirk Schötz, Deutsche Bundesstiftung Umwelt;
Herr Dr. Jaschinski; Umweltbundesamt;
Herr Otto Botz; Geschäftsführer der NATOIL GmbH (Antragsteller);

Zweck des Meetings war, die im Meeting vom 26.04.2004 festgelegten Prüfungen zu präsentieren und die Resultate mit den Experten von ISP, dem UBA und DC zu diskutieren sowie weitere Vorgehensweise und den zusätzlichen Zeitrahmen des Projektes zu definieren.

Zusammenfassend wurde festgestellt:

- *Die Ergebnisse im OM 602 LA übertrafen in fast allen Punkten die hohen Testanforderungen;
- *Das Resultat im M111FE lag mit 2.1% über den für ACEA A3/B4 Ölen geforderten Ansprüchen.
- *Der Testmittelwert für diese Typenklasse (ACEA A3/B4; HTHS > 3.5) erreicht ca. 1.4%.
- *Der zweite Lauf im Sequence IIIG zeigte eine Steigerung im Vergleich zum ersten Lauf. Das Resultat wurde als eigentlich gut eingestuft. Hier wurden die Anforderungen an Verschleiß und Kolbenablagerungen übertroffen. Lediglich beim Viskositätsanstieg wurden die Anforderungen um ca. 3% verfehlt.

Die Teilnehmer waren sich einig, aufgrund der vorliegenden Resultate weitere Untersuchungen durchzuführen.

Grundsätzlich wurde auch über die notwendigen Ziele und Erfolge eines solchen Vorhabens gesprochen. In der Diskussion mit Herrn Dr. Pelz von Daimler Chrysler und Herrn Dr. Jaschinski vom Bundesumweltamt

betonten die Fachexperten, dass für die Beurteilung des Motorenöls auf Basis der High-Oleic Sonnenblume im Verbrennungsmotor, zumindest eine einzige Herstellerfreigabe zwingend notwendig sei. Unter diesem Gesichtspunkt kann festgehalten werden, dass es im Hinblick auf die Weiterentwicklung des Bio-Motorenöls nicht sinnvoll sei nur partielle Motorentestsequenzen durchzuführen. Herr Dr. Pelz verwies weiterhin darauf, dass die Anteile an Schwefel, Phosphor und Asche nicht der Mercedes Spezifikation 229.31 entsprechen. Allerdings entsprechen diese Grenzwerte den Anforderungen der nach wie vor aktuellen Mercedes Spezifikation 229.3. Es ist hier geplant durch Substitution einer Komponente insbesondere den Ascheanteil in Bezug auf 229.31 noch abzusenken. Aufgrund der zu diesem Zeitpunkt neu erlassenen Prüfvorschriften für Motorenöle sowie der großen Dynamik der Anforderungen wurde folgende Vorgehensweise für den weiteren Verlauf des Projektes festgelegt:

- * Zur Optimierung der Oxidationsstabilität wurde ein weiterer Lauf im TU5 geplant;
- * Aufgrund des sehr knappen Resultates im Sequence IIIG wurde auch hier ein weiterer Lauf zur Kontrolle der Oxidationsstabilität vorgesehen.
- * Im Anschluss soll eine erweiterte Prüfung zur Fuel Economy im Sequence VIB stattfinden.
- * Um auch im Otto-Motorenbereich erste Resultate in Bezug auf den Verschleiß zu erhalten, wird im Anschluss ein TU3M durchgeführt.
- * Für die weitere Optimierung im Dieselmotorbereich wird ein XUD11BTE geplant um den Einfluss von Russeintrag auf die Formulierung zu prüfen.
- * Zur Kontrolle des Phänomens „Ringstecken“ ist geplant einen TDI2 zu fahren.
- * Abschließend und bei positivem Testverlauf wurde eine umfassende Verschleißprüfung im M271 geplant.

Gemäß der Information von Herrn Dr. Pelz wird zukünftig der Motorentests M111S durch den neuen M271 ersetzt werden. In Bezug auf die Prüfung der Fuel Economy Eigenschaften wird der M111FE kurzfristig noch nicht durch den M271 ersetzt werden. Die vorliegenden Werte aus dem M111FE sind somit relevant und aktuell.

In Anlehnung an die Aussagen der Fachexperten kann das anvisierte Vorgehen als ein zielführendes Vorgehen eingestuft werden.

3.3.2 Resultate der durchgeführten Prüfungen

Die Resultate im Peugeot TU5 waren bei allen Testkriterien sehr gut und die Anforderungen an die ACEA Vorschriften A3-B4/2004 wurden übertroffen.

Die Ergebnisse im dritten Lauf des Sequence IIIG übertrafen in Bezug auf die Kolbensauberkeit und die Oxidationsstabilität ebenfalls die Anforderungen der Vorschriften gemäß ILSAC GF-4. Allerdings waren die Werte für den Motorenverschleiß erhöht. Es wurde somit auch im dritten Lauf kein vollständiger „Pass“ erzielt.

Noch problematischer fielen die Ergebnisse im erweiterten Fuel Economy Test Sequence VIB aus. Hier konnten die Anforderungen sowohl an ILSAC GF-3 und GF-4 nicht erfüllt werden. Die sehr guten Fuel Economy Eigenschaften, die im Prüfmotor M111FE festgestellt werden konnten, scheinen sich mit der Einsatzdauer des Bio Motorenöls deutlich zu verschlechtern. Da hier die Ergebnisse erheblich von den zu erzielenden Werten abweichen, stellt sich die Frage, ob dieses Defizit durch eine zusätzliche Additivierung ausgeglichen werden kann.

Da sich bereits im Sequence IIIG Defizite bei den Verschleißwerten erkennbar zeigten, wurde in dieser Phase darauf verzichtet wie geplant eine spezielle Verschleißprüfung im Motor TU3 durchzuführen. Aus diesem Grund wurde es vorgezogen die nächste im festgelegten Plan anvisierte Prüfung in dem Dieselmotor Peugeot XUD11BTE vorzunehmen.

Im XUD11BTE wird neben der Kolbensauberkeit hauptsächlich geprüft, wie sich das Motorenöl bei starkem Russeintrag (3%) verhält. Die durchschnittliche Öltemperatur ist hier mit ca. 100°C eher moderat. Das aktuelle Referenzöl RL205 weist hier einen absoluten Viskositätsanstieg von 11,5 cts aus. Unser Kandidatenöl liegt hier mit einem Anstieg von 37,44 cts über dem derzeitigen Referenzwert.

Durchgeführte Tests und Ergebnisse:

Dritter Lauf Peugeot TU5JP gemäß CEC L-88-02 (geänderte Formulierung): Bestimmung der oxidativen Stabilität, der Kolbensauberkeit und des Viskositätsanstieges. – deutlich verbessertes Ergebnis weiteres Potential vorhanden.

Erzielte Ergebnisse (Graphische Darstellung; vgl. Bild 7):

Absolute Viscosity Increase at 40°C:	38.2 mm ² /s
Relative Viscosity Increase at 40°C:	66.00%
Overall Piston Merit - CRC Rating:	9.1 points
Ring Sticking Merit 1 st ring (worst)	10.0 points
Oil consumption	2.300 gram
Oil consumption	31.9 gr./h

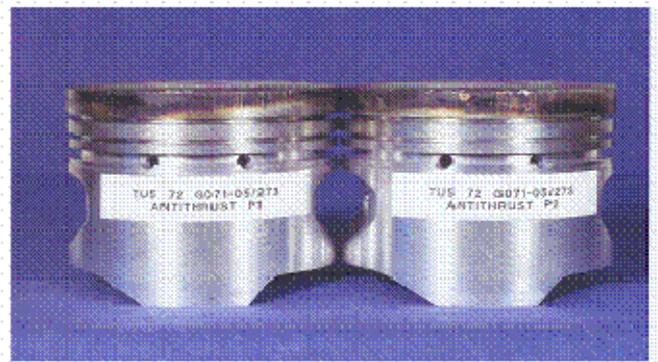


Bild 7: Ergebnis des Peugeot TU5JP gemäß CEC L-88-02 (Dritter Lauf mit geänderter Formulierung)

Dritter Lauf Sequence III G: Bestimmung der oxidativen Stabilität, der Kolbensauberkeit, des Verschleißes und des Viskositätsanstieges. – Ergebnisse nur ausreichend

Erzielte Ergebnisse (Graphische Darstellung; vgl. Bild 8):

Relative Viscosity Increase at 40°C:	142.1%
Cam + Lifter Wear:	71.0 points
Piston deposit	4.83 points
Oil consumption	2.18 L



Bild 8: Ergebnis nach der Durchführung von Sequence IIIG: Bestimmung der oxidativen Stabilität, der Kolbensauberkeit, des Verschleißes und des Viskositätsanstieges (Dritter Lauf)

Erster Lauf Sequence VIB: Bestimmung der erweiterten Fuel Economy Eigenschaften nach 96h. – Ergebnisse nicht ausreichend – der Biomotorenöl weist hier speziell nach einem längerem Einsatz eine Verschlechterung der Ergebnisse auf.

Erzielte Ergebnisse:

FEI Result, Phase I:	0.67%
FEI Result, Phase II:	-0.42%

Erster Lauf PSA XUD 11BTE/L gemäß CEC L-56-T-98: Bestimmung des Viskositätsanstieges und der Kolbensauberkeit unter Einfluss von 3% Russeintrag. – Ergebnisse nicht ausreichend

Erzielte Ergebnisse (Graphische Darstellung: vgl. Bild 9):

Absolute Viscosity Increase at 100°C:	37.44 mm ² /s
Piston merit	53.4 points



Bild 9: Ergebnis nach der Durchführung von PSA XUD 11BTE/L gemäß CEC L-56-T-98: Bestimmung des Viskositätsanstieges und der Kolbensauberkeit unter Einfluss von 3% Russeintrag (Erster Lauf)

Insgesamt ist festzuhalten, dass die anfänglichen Bedenken in Bezug auf die Oxidations- und Alterungsstabilität nicht zum Tragen gekommen sind. Insbesondere in den Prüfmotoren TU5JP und Sequence IIIB konnte nachgewiesen werden, dass die natürlichen Ester der „High-Oleic-Sonnenblume“ die Oxidations- und Alterungsstabilität nicht negativ beeinflussen. Die diesbezüglichen Resultate aus den vorangegangenen Labor- und Benchtests konnten durch die Prüfstandsergebnisse bestätigt werden.

Die Resultate in dem 200h dauernden Dieselmotorentest OM 602 LA zeigten auch die Vorteile der High-Oleic-Sonnenblume in Bezug auf die Oxidationsstabilität und die Kolbensauberkeit. Der Ölverbrauch lag hier im Vergleich zu dem eingesetzten Referenzöl bei nur 50%. Allerdings waren hier schon erhöhte Verschleißwerte erkennbar. Diese Werte lagen zwar noch im Rahmen der technischen Anforderungen, jedoch handelte es sich hier bereits um Grenzwerte.

Die Verschleißwerte waren auch im dritten Lauf des Sequence IIIG bereits leicht erhöht und lagen hier knapp außerhalb der technischen Anforderungen.

3.4 **Bewertung der Resultate**

Aufgrund der in den letzten Tests aufgetretenen Schwierigkeiten sind die im Rahmen der anvisierten Arbeitsschritte genannten Zielsetzungen nur zum Teil erreicht worden. Insbesondere das erhöhte Verschleißverhalten und der Viskositätsanstieg im Diesel-Motor PSA XUD 11BTE/L waren ausschlaggebend für den Verzicht auf die weiterführende Entwicklung. Signifikant verbesserte Ergebnisse in diesen Problembereichen würden weitreichende Veränderungen und eine kontinuierliche und aufwendige Anpassung in der Basisformulierung erfordern, die den zeitlichen Rahmen des vorliegenden Fördervorhabens übertreffen würde. Analog hierzu wurden im Rahmen des durchgeführten Vorhabens nicht die förderfähigen Kosten in Höhe von 1.121.440 € erreicht. Die tatsächlich realisierten und geltend gemachten Kosten belaufen sich auf 289.960,44 €.

Folgende Ziele wurden im Antrag skizziert:

- *Deutliche Reduzierung der CO2 Emissionen – Fuel Economy*

Die Fuel Economy Eigenschaften konnten im Prüfmotor M 111 FE unter Beweis gestellt werden. Nimmt man einen durchschnittlichen Verbrauch von 8 Litern Benzin je 100km an und rechnet diesen über eine durchschnittliche Lebensdauer von 200.000km hoch, so ergibt dies einen absoluten Benzinverbrauch von 16.000 Liter je Fahrzeug. Bei einer nachgewiesenen Einsparung von ca. 2% entspräche dies 320 Litern Benzin oder analog hierzu 520kg weniger an CO2 Emissionen (Quelle: BP/Völz 2001). Während dieser Laufzeit verbraucht das Fahrzeug ca. 50 Liter Motorenöl. Bei nur 1.000 Tonnen eingesetztem Motorenöl entspräche dies einer CO2-Ersparnis von ca. 10.000 Tonnen.

Aufgrund der aufgetreten Probleme im Dieselmotorbereich in Form der Verschlechterung der Ergebnisse nach längerem Öleinsatz könnten diese Vorteile zurzeit allerdings nur im Benzinmotor realisiert werden.

- *Absenkung der Schwefel bezogenen Emissionen*

Aufgrund des Einsatzes der High-Oleic-Sonnenblume konnte im Vergleich zu einem Leichtlaufmotorenöl der Klasse 10W-40 eine Absenkung der Schwefel-Bezogenen Emissionen von 30% erreicht werden

- *Signifikante Reduktion der Partikelemissionen*

Eine signifikante Reduktion der Partikelemissionen ist zurzeit noch nicht umsetzbar, da das Motorenöl noch nicht für Dieseltriebene Aggregate geeignet ist.

- *Optimierung der nachgeschalteten Abgasreinigungssysteme*
- *Umsetzung der Euro IV Kriterien – Kyoto Protokoll*

Die Optimierung der nachgeschalteten Abgasreinigungssysteme kann nur zum Teil umgesetzt werden. In Bezug auf die geforderten Obergrenzen von Phosphor und Schwefel erfüllt das Kandidatenöl die aktuellen Grenzwerte⁶. In Bezug auf die Asche bildenden Anteile, erfüllt das Öl mit 1,5mg zwar die aktuellen Anforderungen an Motorenöle, jedoch noch nicht die Anforderungen mit einer Obergrenze von 0.8mg für die Motorenöle der neuen „Katalysator Generation“.

- *Einsatz nachwachsender Rohstoffe versus fossile Rohstoffe*

Der Einsatz nachwachsender Rohstoffe, konnte nicht in dem geplanten Umfang von mindestens 50% umgesetzt werden. Auch hier war aufgrund der neuen und stärkeren Anforderungen der Prüfmotoren ein größerer Anteil als 30% noch nicht realisierbar. Da in konventionellen Motorenölen keine natürlichen nachwachsenden Rohstoffe zum Einsatz kommen, ist ein Zuwachs von absolut 30% oder analog 60% des gesetzten Zieles eine erste wichtige Basis für weitere Entwicklungen.

- *Biologische Abbaubarkeit*

Mit nur knapp 50% biologischer Abbaubarkeit im OECD 301B Test konnte aufgrund des reduzierten Anteils an nachwachsenden Rohstoffen folglich das geplante Ziel von 60% nicht erreicht werden. Allerdings liegt das erreichte Niveau bereits doppelt so hoch wie bei konventionellen Motorenölen.

- *Geringere Ökotoxikologie*

Aufgrund des Vorhabensverlaufes wurde auf weiterführende Ökotoxikologische Untersuchungen verzichtet. Die allgemein bekannten und sehr positiven Daten von Pflanzenölen führen auch in diesem Fall zu einer Entlastung von mindestens 30% im Vergleich zu herkömmlichen Motorenölen.

- *Marktgerechtes Preisniveau*

Die Rohstoff- und Produktionskosten lagen wie geplant im Bereich der am Markt erhältlichen Motorenöle. Aufgrund der im M 111 FE erzielten 2.2% Treibstoffersparnis, muss das Kandidatenöl mit so genannten Leichtlaufölen verglichen werden. Die typischen 5W-30 Öle der Klasse ACEA A3/B3 liegen hinsichtlich Benzineinsparung und Preis ungefähr auf dem Niveau des Kandidatenöles. Die steigenden Kosten der mineralischen Grundöle würden in naher Zukunft sogar verbesserte Formulierungsansätze für ein High-Oleic-Sonnenblume basiertes Motorenöl gestatten und somit ein höheres Leistungsniveau ermöglichen.

⁶ Phosphor kleiner 0.08mg und Schwefel kleiner 0.3mg

4. Fazit

Die mehrfache Änderung der Regularien während des Projektverlaufes erforderte eine ständige Anpassung der Basisformulierung. Die gewonnen Erfahrungswerte aus vorangegangenen Prüfmotoren konnten so nur bedingt für weitere Prüfläufe genutzt werden, da unter anderem die Basisformulierung mehrfach deutlich überarbeitet werden musste. Die in dem Projekt erzielten Ergebnisse zeigen dennoch, dass der Einsatz der High-Oleic-Sonnenblume als Grundölkomponente in Motorenölen grundsätzlich möglich ist. Die zentrale Befürchtung, dass die High-Oleic-Sonnenblume nicht ausreichend Oxidationsstabil sei, konnte in mehreren Prüfmotoren widerlegt werden. Auch die bereits vor Förderbeginn zitierte ausgezeichnete Kolbensauberkeit hat sich in allen durchgeführten Prüfmotorläufen bestätigt. Es hat sich aber gezeigt, dass aufgrund des erhöhten Blow-By-Effekts in Dieselmotoren die Verbrennungsrückstände einen negativen Einfluss auf die High-Oleic-Sonnenblume ausüben und so das Verschleißverhalten verschlechtern. Eine weitere unerwartete Entwicklung wurde in Zusammenhang mit dem Diesel Prüfmotor XUD 11 BTE festgestellt. Hier führte der starke Russeintrag zu einem ungewöhnlich hohen Viskositätsanstieg.

Aus den Fachexpertenberatungen, die im Rahmen des Fördervorhabens stattfanden konnten auch wertvolle Erkenntnisse hinsichtlich der Grundsatzüberlegungen zu Zielsetzung solcher Vorhaben gewonnen werden. In die Ergebnisdiskussionen und Beratungen wurden Fachexperten aus der Industrie und Politik einbezogen. So wurde sowohl seitens Herrn Dr. Pelz von Daimler-Chrysler als auch Herrn Dr. Jaschinski von dem Umweltbundesamt die Notwendigkeit der Erreichung einer kompletter Herstellerfreigabe zur Beurteilung des Biomotorenöls auf High-Oleic-Sonnenblume anstatt der Durchführung von einzelnen Motorentests betont. In diesem Zusammenhang soll auf die Tatsache hingewiesen werden, dass im zeitlichen Verlauf des Projektes die Kriterien zur Erfüllung der ACEA –Spezifikation eine deutliche Veränderung erfahren haben. In der neuen Version wird grundsätzlich auf die bisherige Unterscheidung zwischen den Diesel- und Benzin-Motorenölen verzichtet. Unter diesem Aspekt erscheint eine getrennte Betrachtung von Diesel- und Otto-Motoren als wenig sinnvoll.

Aufgrund des Verlaufs der Tests und der insbesondere in der letzten Phase erzielten Ergebnisse musste auf weiterführende Entwicklungen und Testverfahren mit dem Kandidatenöl verzichtet werden, da weitere Investitionen in andere Prüfmotoren im Hinblick auf eine Herstellerfreigabe aus wirtschaftlicher- und wissenschaftlicher Sicht, zu diesem Zeitpunkt nicht weiter zielführend sind. Die vorliegenden Ergebnisse machen deutlich, dass zum jetzigen Vorhabensstand eine grundsätzliche und umfassende Überarbeitung der Basisformulierung notwendig ist.

Ausgehend von den heutigen Erfahrungswerten und im Wissen um die Problematik bei Dieselfahrzeugen wäre es sinnvoll diesen Informationsgewinn in ein neues weiterführendes Projekt zur Optimierung der Basisflüssigkeit einfließen zu lassen.

Das gestiegene Preisniveau bei konventionellen Basisölen würde jetzt auch den Einsatz von leistungsfähigeren Komponenten auf Basis der High-Oleic-Sonnenblume erlauben ohne das wettbewerbsrelevante Preisniveau zu gefährden. Die bis dato erreichten Eigenschaften des Kandidatenöls könnten so noch einmal signifikant verbessert werden.

Anhang A1

Übersicht über die durchgeführten Motorentests

Test	Zielsetzung	Erzieltes Ergebnis
Peugeot TU5JP gemäß CEC L-88-02	Bestimmung der oxidativen Stabilität, der Kolbensauberkeit und des Viskositätsanstieges	<p>Erster Lauf: Absolute Viscosity Increase at 40°C: 300.2 mm²/s</p> <p>Relative Viscosity Increase at 40°C: 450.83%</p> <p>Overall Piston Merit - CRC Rating: 7.0 points</p> <p>Ring Sticking Merit 1st ring (worst) 10.0 points</p> <p>Oil consumption: 3.340 gram</p> <p>Oil consumption: 46.4 gr./h</p>
		<p>Zweiter Lauf: Absolute Viscosity Increase at 40°C: 69.9 mm²/s</p> <p>Relative Viscosity Increase at 40°C: 110.78%</p> <p>Overall Piston Merit - CRC Rating: 9.3 points</p> <p>Ring Sticking Merit 1st ring (worst) 10.0 points</p> <p>Oil consumption: 1.820 gram</p> <p>Oil consumption: 25.3 gr./h</p> <p>Dritter Lauf: Absolute Viscosity Increase at 40°C:</p>

		<p>38.2 mm²/s</p> <p>Relative Viscosity Increase at 40°C: 66.00%</p> <p>Overall Piston Merit - CRC Rating: 9.1 points</p> <p>Ring Sticking Merit 1st ring (worst) 10.0 points</p> <p>Oil consumption: 2.300 gram</p> <p>Oil consumption: 31.9 gr./h</p>
<p>Sequence III G:</p>	<p>Bestimmung der oxidativen Stabilität, der Kolbensauberkeit, des Verschleißes und des Viskositätsanstieges unter hohen Temperaturen</p>	<p>Erster Lauf:</p> <p>Relative Viscosity Increase at 40°C: 9.300%</p> <p>Cam + Lifter Wear: 50.8 points</p> <p>Piston deposit: 2.6 points</p> <p>Oil consumption: 4.15 L</p> <p>Zweiter Lauf:</p> <p>Relative Viscosity Increase at 40°C: 155.6%</p> <p>Cam + Lifter Wear: 49.8 points</p> <p>Piston deposit: 4.5 points</p> <p>Oil consumption: 2.16 L</p>
		<p>Dritter Lauf:</p>

		<p>Relative Viscosity Increase at 40°C: 142.1%</p> <p>Cam + Lifter Wear: 71.0 points</p> <p>Piston deposit: 4.83 points</p> <p>Oil consumption: 2.18 L</p>
M 111FE gemäß CEC L-54-T-96 :	Bestimmung der Fuel Economy Eigenschaften	<p>Erster Lauf: Fuel Economy: 2.14%</p> <p>Baseline Reference Test using CEC RL 191: 779.93 gr.</p> <p>Measurement, 3 Candidate Test: 763.21 gr.</p> <p>Difference: 16.72 gr.</p>
OM 602A gemäß CEC L-51-T-98	Bestimmung des Nockenwellenverschleißes, Kolbensauberkeit, Bore Polishing	<p>Erster Lauf: Viskositätsanstieg: 51.5%</p> <p>Nockenwellenverschleiß: 42.9 Punkte</p> <p>Zylinderverschleiß: 7.8 Punkte</p> <p>Bore Polishing: 0.5 Punkte</p> <p>Schlamm bildung: 9.3 Punkte</p> <p>Kolbensauberkeit: 30.3 Punkte</p> <p>Ölverbrauch: 5.190gr.</p>
Sequence VIB	Bestimmung der erweiterten Fuel Economy Eigenschaften nach 96h (low friction engine)	<p>FEI Result, Phase I: 0.67%</p> <p>FEI Result, Phase II: 0.42%</p>

PSA XUD 11BTE/L gemäß CEC L-56-T-98	Bestimmung des Viskositätsanstieges und der Kolbensauberkeit unter Einfluss von 3% Russeintrag	Erster Lauf: Absolute Viscosity Increase at 100°C: 37.44 mm ² /s Piston merit: 53.4 points

Anhang A2

Literaturverzeichnis

- L1 Boffa, A. B., Chevron Oronite Technology, Richmond USA : TAE 13th International Colloquium Tribology, Richmond 2002
- L2 Fraunhofer Institut Toxikologie und Aerosolforschung, FH-ITA (Hrsg.) : Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes zum Thema „Emissionsarmer Verkehr – Emissionsminderung durch schadstoffarme Schmierstoffe“, Juli 2001
- L3 Lenz, HP; Müller, St.: Aachener Kolloquium Fahrzeug und Motorentechnik, Aachen 2001
- L4 Luther, R.: Einsatz von Pflanzenölen in Motorenölen; in: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): Gülzower Fachgespräche: Statusseminar „Biologisch schnell abbaubare Schmier- und Verfahrensstoffe“; Mannheim, 1999
- L5 Pahlke, G., Umweltbundesamt Berlin sowie Keller, D., FH-ITA Hannover: Einflüsse von Additiven und Motorenöl auf spezifische Fahrzeugemissionen, 2002 Datum
- L6 Völtz, M.: Ökobilanz für Schmierstoffe – Grundlagen und Vorgehensweise; in: Bartz, W. J., Technische Akademie Esslingen (Hrsg.): 13th International Colloquium Tribology: Lubricants, Materials, and Lubrication Engineering; Esslingen 2002