

Jahresbericht 2001, 15. Dezember 2001

Pflanzenöleinsatz im schnellaufenden, direkteingespritzten PKW-Dieselmotor

Autor und Koautoren	Martin Meyer, Projektleitung
beauftragte Institution	SHL
Adresse	Länggasse 85, 3052 Zollikofen
Telefon, E-mail, Internetadresse	martin.meyer@shl.bfh.ch ; www.shl.bfh.ch
BFE Projekt-/Vertrag- Projekt Nummer	71'561
Dauer des Projekts (von – bis)	01. März 1999 bis 31. März 2002

ZUSAMMENFASSUNG

Das Projekt untersucht die Machbarkeit, das Eintreibstoffverfahren von Mahler auf den PKW-Motor zu übertragen. Die Brennraumlage im Zylinderkopf und zwei gegenüberliegende Einspritzdüsen pro Zylinder, erlauben laut Erfinder den verkokungsfreien Betrieb mit unveränderten Pflanzenölen. An dem von Ford Schweiz dem Projekt kostenlos überlassenen Escort TD Style, mit 1,8 l Endura-Motor, erfolgt der entsprechende Umbau des Zylinderkopfes. Aus Kostengründen wurde der Originalkopf abgestuft gekürzt und mit einer Platte wieder ergänzt, in die die gesamte Brennraumkonfiguration nach Mahler eingebaut ist (Bericht 2000). Als Fügeverfahren wurde die Klebung gewählt. Wegen einer Undichtheit nach der ersten Klebung, mit einem warmhärtenden Einkomponenten-Epoxidharz, musste diese Ende März 01 mit einem neuen Zylinderkopf wiederholt werden. Die zweite Klebung erfolgte mit dem hoch wärmefesten Zweikomponenten-Epoxidharz „*Belzona 1591*“, der kalt aushärtet und deshalb nach der Mischung innert 20 Minuten verarbeitet sein muss.

Während der Arbeiten am adaptierten Zylinderkopf wurde der ausgebaute Originalmotor an der *Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon*, auf dem Prüfstand für die Referenzmessungen im Dieselmotorbetrieb vorbereitet. Die Inbetriebnahme des vom Kabelstrang im Fahrzeug getrennten Motors erwies sich wegen den umfassenden elektronischen Regelungen und Wegfahrsicherheiten für alle Projektpartner als derartige Knacknuss, dass ihre Lösung bis anfangs Juli 01 beanspruchte und nur mit massiver Unterstützung durch *Ford* und den englischen Motorenhersteller möglich wurde. Parallel zu den Messungen in Tänikon, erfolgte an der *SIM Motoren AG Bern* und an der *SHL in Zollikofen* der äusserst aufwendige Aufbau des für den Rapsölbetrieb adaptierten Zylinderkopfes. Nach der Prüfung in Tänikon wurde der Originalmotor zerlegt und die speziell gefertigten Flachkolben eingepasst. Gegenwärtig werden am umgerüsteten Motor die restlichen Arbeiten zur Komplettierung der Schmieröl- und Kühlwasserkreise sowie zur Regelung des Motoröldruckes vorgenommen. Nach der anschliessenden Montage der Einspritzleitungen durch die *SIM Motoren AG Bern*, ist die ISO 8-Stufenprüfung im Pflanzenölbetrieb in Tänikon vorgesehen.

Unvermeidliche Verzögerungen und ein Unfall des Projektleiters veranlassten eine genehmigte Projektverlängerung bis 31.03.02. Sämtliche Entwicklungsschritte sind bildlich festgehalten und werden dem Schlussbericht im März 2002 als Dokumentation beigelegt.

Projektziele

Die Bedeutung des Projektes liegt in der Prüfung einer schweizerischen patentierten Entwicklung, die den störungsfreien Betrieb direkteingespritzter Dieselmotoren mit unveränderten Pflanzenölen ermöglichen soll. Das zentrale und einmalige der Entwicklung ist die Verlegung der Brennraumlage vom Kolben in den Zylinderkopf. Der Erfinder, Willi Mahler, hat bereits vor 10 Jahren ältere luftgekühlte Traktoren umgerüstet. Das Verfahren hat sich im rauen Praxisbetrieb bewährt. Die sonst bei nicht adaptierten Direkteinspritzern obligaten Verkokungsprobleme sind - auch beim häufigen Kaltstart- und Teillastbetrieb - nie aufgetreten, obschon die Versuchseinheiten zum Teil mit Gebrauchtölen aus dem Lebensmittelbereich, wie z.B. Sonnenblumenöl zum Transport von Feta-Oliven, betrieben werden.

Erschwert ist der Winterstart, der entsprechende Batteriekapazität verlangt. Der Besitzer der Versuchstraktoren gibt deshalb im Winter 10 bis 20 % Dieselöl zum Pflanzenöl. Ebenfalls weist er auf einen spürbaren Leistungsabfall im Pflanzenölbetrieb hin, der bspw. bei der Bodenbearbeitung die Wahl des nächsttieferen Ganges - verglichen mit dem Dieselmotor - verlangt.

Da der PKW-Betrieb ohne Anhänger nur die Fortbewegung der eigenen Fahrzeugmasse und keine zusätzliche Zugkraft verlangt, fällt eine Leistungsverminderung hier weniger ins Gewicht. Es erschien deshalb interessant, die Einsatzfähigkeit des Verfahrens Mahler im PKW-Motor zu prüfen und die Umbauaufwendungen darzustellen. Im Gegensatz zu den deutschen Vorschlägen, die Eingriffe am Originalmotor weitestgehend vermeiden, bedeutet das Verfahren Mahler in jedem Fall einen neuen Zylinderkopf und Kolben mit flachen Böden. Um die Kolbenform unter Belastung zu perfektionieren, bestehen im unbelasteten Zustand Ovalitäten. Aus diesem Grund stellt der Berichterstatter die vom Patentinhaber propagierte Lösung des Aufschweissens und Nachbearbeitens in Frage und hat im vorliegenden Fall neue Kolben bevorzugt.

Der moderne PKW-Motor ist zudem im unteren Bereich des Zylinderkopfes stark mit Zusatzaggregaten verbaut und die Motorenräume werden immer enger. Das Verfahren Mahler verlangt indessen gerade auf der Ebene des Zylinderkopfbodens den Freiraum, um die beiden horizontalen Einspritzdüsen pro Zylinder sowie die Druck- und Leckölleitungen aufnehmen zu können. Die Projektverantwortlichen waren deshalb von Beginn an auf einigen Aufwand gefasst, der sich dann mit fortschreitenden Arbeiten in noch weit verstärktem Umfang auch einstellte.

Der nun kurz vor der Vollendung stehende umgerüstete Motor ist alleine von den Abmessungen her derart „gewachsen“, dass ein Rückeinbau an seinen Originalplatz nicht mehr in Frage kommt. Folgende Gründe haben uns veranlasst, den angestrebten Prüflauf mit Pflanzenöl wenn immer möglich dennoch zu realisieren:

- Verwertung der sehr umfangreichen bisherigen Arbeiten, zur vollständigen und klaren Dokumentation der Schwierigkeiten, die das Verfahren Mahler für den modernen PKW-Motor im eng verbauten Motorenraum mit sich bringt.
- Hinweise auf das Emissionsverhalten, das beim parallel entwickelten Traktormotor (KTI/BFE-Projekt Pflanzenölmotor) sehr positiv ausfiel.
- Hinweise auf Einsatzperspektiven des nach Mahler umgerüsteten PKW-Motors als Alternativantrieb, wie für maritime Zwecke oder Klein-BHKW.
- Hinweise auf die Tauglichkeit des Klebeverfahrens an hochbeanspruchten Motorpartien.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Motoradaptation

- Bereitstellung eines neuen Zylinderkopfes, Versatzung fräsen und Vornahme des zweiten Fügeversuches der Adaptationsplatte mit dem kalthärtenden Zweikomponenten-Epoxidharz „Belzona 1591“. Zylinderkopf abpressen.
- Feinbearbeitung des geklebten Zylinderkopfes, zur Sicherstellung des Durchgangs aller betroffenen Bohrungen für Kühlung und Schmierung zwischen Adaptationsplatte und Rumpfkopf einerseits sowie zwischen Adaptationsplatte, Zylinderkopfdichtung und Motorblock andererseits.
- Planschleifen der Adaptationsplatte, Beschaffung, Bearbeitung und Einpassung neuer Ventile für den adaptierten Zylinderkopf.
- Kolbenspaltmass für Pflanzenölkolben bestimmen. Ölwanne und Kolben ausbauen. Demontage zur Wiederverwendung von Kolbenringen, Kolbenbolzen und Pleuel des Originalmotors.
- Kolbenboden auf Spaltmass drehen und Auslassventiltaschen fräsen. Einbau der Pflanzenölkolben und Fertigmontage des Motorblockes.
- Planschleifen des umgebauten Zylinderkopfes und Komplettieren mit den neuen Ventilen, Ventilstösseln und Nockenwelle. Einstellen des Ventilspiels.
- Anfertigung eines verlängerten Abgaskollektors, zur Schaffung der erforderlichen Platzverhältnisse für die Einspritzdüsen, den Turboladerbetrieb und die Abgasrückführung.
- Die probeweise Montage des adaptierten Zylinderkopfes zeigte, dass der Einbau der vorderen 3 Einspritzdüsen und die Verlegung der Einspritzleitungen auf der Pumpenseite nur nach einem Versetzen von Einspritzpumpe, Thermostatgehäuse und weiteren Elementen der Kühlwasserführung möglich geworden wäre. Nachdem zu diesem Zeitpunkt bereits klar absehbar war, dass die Pflanzenölversion des Escort-Motors von den umbaubedingten Abmessungen her nicht mehr im Motorraum Platz finden würde, entschieden wir uns, auf diese erneut zeitraubenden und teuren Eingriffe zu verzichten und die gesamte Einspritzung von der Kollektorseite her zu realisieren. Dazu baute uns die *Duap AG in Herzogenbuchsee* 4 Düsen ohne Kostenfolge von 1- auf 2-Loch um.
- Das Abdrücken der von *Duap AG in Herzogenbuchsee* umgebauten *Stanadyne-Einspritzdüsen* ergab ein sehr schlechtes Spritzbild. Die Düsen mussten deshalb nochmals zur Nachbearbeitung und Reinigung gegeben werden.
- Sehr aufwendig waren Beschaffung oder Eigenfertigung und Montage der erforderlichen Teile für Schmierung und Antrieb der versetzten Aggregate, wie z.B. eines passenden Zahnriemens für Ventiltrieb und Wasserpumpe sowie der Verschlüsse und Drosseln zur Aufrechterhaltung des richtigen Schmieröldruckes im adaptierten Kopf.

Referenzprüfung des Originalmotors

- Der Originalmotor wurde an der *Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik in Tänikon* der Rauchmessung 72/306/EWG und dem 8-Stufentest ISO 8178-C1 unterzogen. Mit dem ausgebauten Motor wählten wir diese, ansonsten für Traktoren und Offroadfahrzeuge angesetzten Verfahren, als geeigneten Vergleich vor und nach dem Umbau. Beide Prüfungen wurden mit einem Unterschreiten der Grenzwerte problemlos erfüllt. Die Resultate des ISO 8-Stufentests sind in den Tabellen 1 bis 3 auf den Seiten 3 und 4 dargestellt.

Die Prüfungen erfolgten bei einem Barometerstand von 718 mm Hg und 957 mbar. Die Dichte des verwendeten Dieselöls betrug 0,831 kg/l bei 15 ° C.

Die eher hohen Verbrauchswerte aus Tabelle 1 lassen den Kammermotor mit indirekter Einspritzung erkennen.

Tabelle 1: Die spezifischen und Gesamtverbrauchswerte beim ISO 8-Stufentest, als Referenzprüfung im Dieselmotorbetrieb.

Messpunkt	n	P	M	b _e	B	B	V _E
	[min ⁻¹]	[kW]	[Nm]	[g/kWh]	[kg/h]	[l/h]	[mm ³ /Hub]
1	4002.00	48.61	116.0	291.7	14.18	17.19	35.8
2	4003.00	36.47	87.0	316.6	11.55	14.01	29.2
3	4003.00	23.89	57.0	367.2	8.77	10.66	22.2
4	3999.00	5.03	12.0	1030.0	5.18	6.29	13.1
5	2500.00	34.82	133.0	261.1	9.09	11.05	36.8
6	2498.00	26.16	100.0	280.5	7.34	8.91	29.7
7	2498.00	17.79	68.0	294.2	5.23	6.36	21.2
8	971.00	0.41	4.0	1287.1	0.52	0.64	5.5

Tabelle 2: Die Resultate der Abgasprüfung, als effektiv gemessene Werte bei der Referenzprüfung im Dieselmotorbetrieb.

Messpunkt	n	P	B	HC	NO _x	CO
	[min ⁻¹]	[kW]	[kg/h]	[g/h]	[g/h]	[g/h]
1	4002	48.61	14.18	1.0	285.3	5.1
2	4003	36.47	11.55	0.8	230.2	3.8
3	4003	23.89	8.77	0.8	185.9	3.5
4	3999	5.03	5.18	1.2	118.4	8.4
5	2500	34.82	9.09	0.5	165.8	2.2
6	2498	26.16	7.34	0.4	73.8	1.5
7	2498	17.79	5.23	0.3	45.6	1.0
8	971	0.41	0.52	0.3	11.7	1.5

Tabelle 3: Die Resultate der Abgasprüfung als gewichtete Werte, bei der Referenzprüfung im Dieselbetrieb. Die ab 2002 für Stufe 2 geltenden Richtwerte für NOx, HC und CO, von 7.0, 1.3 und 5.0 g/kWh werden eingehalten.

Messpunkt	n	P	Gewicht	Leistung	B	HC	NOx	CO
	[min ⁻¹]	[kW]	[%]	[kW]	[kg/h]	[g/h]	[g/h]	[g/h]
1	4002	48.61	15.0	7.29	2.127	0.15	42.79	0.76
2	4003	36.47	15.0	5.47	1.732	0.12	34.53	0.56
3	4003	23.89	15.0	3.58	1.316	0.13	27.89	0.53
4	3999	5.03	10.0	0.50	0.518	0.12	11.84	0.84
5	2500	34.82	10.0	3.48	0.909	0.05	16.58	0.22
6	2498	26.16	10.0	2.62	0.734	0.04	7.38	0.15
7	2498	17.79	10.0	1.78	0.523	0.03	4.56	0.10
8	971	0.41	15.0	0.06	0.079	0.04	1.75	0.22
			100.0	24.79	7.937	0.67	147.31	3.38
Emission im Testzyklus in g/kWh						0.03	5.94	0.14

Nationale Zusammenarbeit

Der heutige Umrüstungsstand des komplexen Pflanzenölmotors ist das Resultat des Engagements folgender Institutionen:

- *Bundesamt für Energie*: Das BFE unterstützt uns in verdankenswerter Weise mit der Abdeckung der Materialkosten und Fremdaufwände.
- *Ford Motor Company (Switzerland) S.A. und Ford-Werke AG Köln-Merkenich*: Dank umfassender Hilfe durch die Herren Felix Ledergerber und Dr. Uwe Tielkes, wurden die Referenz-Prüfstandsmessungen mit dem ausgebauten Originalmotor möglich.
- *Mechanische Werkstätte Bernhard Steiner, Uttigen*: Herr Steiner hat die Adaptationsplatte gefertigt und war uns jederzeit für die heiklen Bearbeitungen am umgerüsteten Zylinderkopf verfügbar.
- *SIM Motoren AG Bern*: Die Herren Jakob Zumbrunnen, Walter Zwahlen und Ernst Egli unterstützten uns mit ihrer Erfahrung mit Spezialklebstoffen für die Fügung von Adapterplatte und Zylinderkopf, bei der Durchführung der Fügung sowie bei der Komplettierung des adaptierten Kopfes. Herr Zwahlen war verantwortlich für den Umbau des Pflanzenölmotors.
- *Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon*: Die Herren U. Wolfensberger, E. Stadler und I. Schiess haben ohne Kostenfolge für das Projekt die Referenzmessungen im Dieselbetrieb durchgeführt.
- *Betriebswerkstätten der Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft, Zollikofen*: Dank Herrn Armin Tschanz, Werkstattleiter, konnte für die zahlreichen Probleme immer wieder eine -

in vielen Fällen selbstgefertigte - Lösung gefunden und der Pflanzenölmotor trotz ernsthaften Hindernissen Schritt für Schritt zur Vollendung gebracht werden.

- *Duap AG, Herzogenbuchsee*: Nach dem aufwendigen Umbau der *Stanadyne-Düsen* erhielten wir durch Herrn Peter Affolter die erforderliche Unterstützung im Einspritzbereich ohne weitere Kostenfolge.
- *W. Mahler AG, Obfelden*: Für laufende Fragen stand uns der Erfinder des Verfahrens jederzeit mit Rat und Tat zur Verfügung.
- *Fachhochschule Aargau, PSI, ETH*: durch die Mitgliedschaft des Projektleiters im Projektteam *KTI/BFE-Pflanzenölmotor*, bestand während des gesamten Verlaufes der dargestellten Arbeiten enger Kontakt zu dieser Gruppe, die den Traktormotor optimierte.

Internationale Zusammenarbeit

Die internationale Zusammenarbeit konzentrierte sich auf folgende Unternehmen:

- *Ford-Werke AG Köln-Merkenich und Ford Motor Company England*: Wie vorerwähnt erfuhren wir von Herrn Dr. Uwe Tielkes, Koordinator Motorenentwicklung und seinen englischen Kollegen beeindruckendes Interesse an unserer Arbeit und entsprechende Unterstützung beim Aufbau unseres Motors auf dem Prüfstand in Tänikon. Unter anderem veranlasste Dr. Tielkes die Übersendung eines speziellen Prüfstandkabelstranges vom englischen Motorenhersteller.
- *Vereinigte Werkstätten für Pflanzenöltechnologie, Allersberg*: Dieser bedeutendste deutsche Umrüster vermeidet Eingriffe in den Serienmotor und konzentriert seine Umrüstmassnahmen auf die Korrektur von Viskositätsschwankungen des Pflanzenölkraftstoffes, im Vergleich zu Dieselöl.

Vor allem die wiederholten Platzprobleme bei der Verwirklichung des Mahler-Verfahrens am modernen PKW-Motor mit obenliegender Einspritzung einerseits sowie der Aufwand für einen adaptierten Zylinderkopf, die Kolben mit flachen Boden und deren Einbau, veranlasste das parallele und vergleichende Interesse des Projektleiters an der deutschen Alternative.

Zur Prüfung dieser Alternative und namentlich der Frage, ob die peripheren Massnahmen alleine auch den problemlosen Winterbetrieb erlauben, wurden deshalb im Sommer/Herbst 2001 – parallel zum vorliegenden Projekt, aber finanziell vollständig unabhängig - zwei von den VWP umgerüstete Golf TD sowie ein einjähriger Passat TDI mit Radialkolben-Verteilereinspritzpumpe importiert. Der Passat wird als Versuchsfahrzeug vom Projektleiter betrieben. Die beiden Golf laufen in privater Hand, indessen im Einflussbereich unserer Schule.

Die Erfahrungen mit dem Passat nach den ersten 10'000 km sind sehr überzeugend. Der Kaltstart des ausschliesslich mit Pflanzenöl betriebenen Motors war bei den bisherigen Temperaturen bis -2° C unproblematisch. Typische Werte sind: 0 ° C: 10,5 s Vorglühzeit, 1 s Anlasserdrehzeit. -2 ° C: 2 x Vorglühen, 2 s Anlasserdrehzeit, kurze Warmlaufphase von einer halben Minute.

Um die sonst bei Minustemperaturen übliche Zumischung von ca. 10 % Winterdiesel umgehen zu können, ist der Einbau eines in der Schweiz entwickelten, beheizbaren Filterelementes in Abklärung.

Weil die deutschen Umrüster nach dem Umbau auf Pflanzenölbetrieb keine zusätzlichen Abgasprüfungen durchlaufen müssen, werden die Wagen auf beste Leistung eingestellt.

Um die 5-6 % Nettoheizwerteinbusse von Pflanzen- gegenüber Dieselöl wettzumachen, besteht leider die generelle und „unbestrafte“ Tendenz, die Abgasrückführung zu drosseln, was sofort zu erhöhten NOx-Werten führt.

Dieser Umstand wurde am 11.12.2001 mit Herrn K. Maurer von der Universität Hohenheim besprochen und dringend angeregt, dass Deutschland in seinen Pflanzenölförderprogrammen

stets auch die Emissionsmessungen zur Pflicht macht. Herr Maurer befasst sich als Leiter der Landesanstalt für Maschinen- und Bauwesen seit Jahren federführend mit Pflanzenölprojekten und hat seine diesbezügliche Einflussnahme verbindlich zugesagt.

Mit den VWP verhandeln wir deshalb direkt über ein fahrzeugbezogenes, amtlich beglaubigtes Abgaszertifikat, das aus Deutschland importierten Fahrzeugen mitgeliefert und in der Schweiz anerkannt wird.

Es darf hier festgehalten werden, dass das optimierte Verfahren Mahler in der Traktormotorausführung auf den Prüfständen in Windisch und an der FAT die heute geltenden Abgasgrenzwerte erfüllt hat, auch wenn dies vorläufig noch mit einer deutlichen Leistungseinbusse gegenüber dem Dieselbetrieb verbunden ist, die es in einer Phase "Feldversuche" zu minimieren gilt.

Die deutschen Umrüstungen mit Direkteinspritzung sind diesen Beweis noch schuldig.

Bewertung 2001 und Ausblick 2002

Als Erfolge im Berichtsjahr werten wir:

- Die Tatsache, dass es dank einer Unterstützung die weit über das erwartbare Mass hinaus erfolgte gelang, den komplexen Umbau, der unsere zeitlichen Kräfte verschiedentlich zu übersteigen schien, bis zum Berichtstermin nahezu abzuschliessen.
- Das Interesse aller beteiligten Stellen an einer Prüfung, die normalerweise wesentlich mehr Kräfte und Mittel bindet und die Bereitschaft, uns in diesem schwierigen Vorhaben ohne Erfolgsgarantie finanziell und technisch durch dick und dünn die Stange zu halten.

Hier gilt unser grosser Dank Herrn Felix Ledergerber von der *Ford Motor Company Schweiz*, Herrn Dr. Tielkes von den *Fordwerken Köln*, dem Team von Ueli Wolfensberger, von der *Forschungsanstalt Tänikon*, für die kostenlose Motorenprüfung, dem Team von Herrn Jakob Zumbrunnen, von der *SIM Motoren AG Bern*, Herrn Bernhard Steiner, Uttigen, der Schulleitung der *Schweizerischen Hochschule für Landwirtschaft in Zollikofen*, für die Ermöglichung des hohen Umfanges an Eigenleistungen, speziell Herrn Armin Tschanz, Werkstatteleiter, für die enorme Geduld bei der Lösung der unzähligen Detailprobleme, Herrn Peter Affolter von der *Duap AG* sowie den Herren Binggeli, Hintermann und Rüeegsegger vom *BFE in Ittigen/Bern*.

- Die Summe der in- und ausländischen Kontakte und der gesammelten Erfahrungen in den Bereichen Werkstoffe, Fügen, Aggregateanpassung und Finden von Sonderlösungen.
- Dass unsere Arbeit Schritt für Schritt die Konsequenzen eines Einsatzes des Mahler-Verfahrens im modernen PKW aufzeigt und namentlich die Kollision zwischen benötigtem, aber bei den heutigen PKW-Motoren zunehmend verbauten Raum auf der Ebene des Zylinderkopfbodens darstellt.
- Dass parallel zu unserem Projekt das System Mahler erfolgreich als Traktorentriebwerk dargestellt werden konnte, das auf dem Prüfstand die Abgaswerte nach Euro 2 erfüllt.

Für uns unbefriedigend waren:

- Der unverhältnismässige Zeitaufwand für Konstruktion, Fertigung und Fügung der Adaptationsplatte mit dem Mahler-Verbrennungsverfahren. In diesem Fall wäre es richtig gewesen, wenn wir im Projektantrag die erforderlichen Mittel für eine giesstechnische Lösung ausgewiesen hätten, um den Versuchszylinderkopf – allenfalls im Silikongussverfahren in Aluminium – auf diese Weise herstellen zu können. Hier haben wir aus Gründen der Budgetschonung einen Fehlentscheid getroffen, der uns im Projektverlauf zeitlich sehr teuer zu stehen kam.

- Der Zeitverlust und Arbeitsaufwand um den ausgebauten Motor auf dem Prüfstand zum Laufen zu bringen. Die Lehre daraus: Da Motor und Fahrzeug immer mehr zur elektronisch verwalteten Einheit werden, erspart man sich perfide Schwierigkeiten, die selbst den Motorenherstellern Kopfzerbrechen bereiten, wenn sämtliche Prüfungen auf dem Rollenprüfstand vorgenommen werden, und zwar konsequent auch dann, wenn – wie in unserem Fall – der Motorausbau für die Umrüstung ohnehin erforderlich wird.
- Die langen Wartezeiten und die starke Budgetbelastung, die notgedrungen mit der Beschaffung von Sonderteilen für einen einzelnen Versuchsmotor verbunden sind.
- Die organisatorischen Probleme und zeitlichen Konsequenzen, wenn aus einem Kleinteam in einem komplexen Kleinprojekt z.B. der Projektleiter für längere Zeit ausfällt.

Referenzen

Wegen ihrem Umfang erscheinen die Referenzkontakte des Berichtsjahres, vielfach mündlich geschehen, nicht explizit im Text. Nachstehend sind die wichtigsten aufgeführt:

M. Saville; L. Routledge: **Zur Frage der Temperaturen im Bereich Abgaskanal im Zylinderkopf**, mündliche Angaben FMC England, im Juni 2001.

A. Dickinson: **Zur Frage der erforderlichen elektronischen Peripherie am ausgebauten Motor auf dem Prüfstand**, mündliche Mitteilungen FMC England, Juni 2001.

A. Urlaub: **Motorkühlung, Wärmeübergang vom Arbeitsgas an die Brennraumwände**. Verbrennungsmotoren, Verlag Springer (1995), S. 343 – 354.

J. Binks: **Zur Vorbereitung der Klebflächen und Bestimmung der Schichtdicke bei Fügungen mit Belzona 1591**, mündliche Angaben Belzona Polymerics Ltd., Harrogate, North Yorkshire, HG1 4AY, März 2001.

MTZ 2001: **Zur Entwicklung der Dieseleinspritztechnik**, alle Beiträge des laufenden Jahres.

U. Essers et al.: **Dieselmotorentechnik 98**, Expert Verlag (1998).

Der Projektleiter

M. Meyer

Zollikofen, 11. Dezember 2001 Me_{BFE}-JAHRESBERICHT 01 FORD.DOC