

Universität der Bundeswehr München

Fachbereich Maschinenbau

Fachhochschulstudiengang

Wissenschaftliche Einrichtung Thermische Maschinen und Geräte



Diplomarbeit

aus dem Gebiet der Verbrennungskraftmaschinen

Eignung von aufbereiteten Altfetten zum Betrieb eines Dieselmotors

Aufgabensteller und Betreuer:
Prof. Dipl.-Ing. Rudolf Sagerer

Verfasser
Oberleutnant Olaf Soyk

München, im Januar 1999

Erklärung

Ich erkläre hiermit, daß ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig verfaßt, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benützt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Neubiberg, den 14. Januar 1999

Olaf Soyk

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzfassung.....	1
2 Einleitung.....	2
3 Aufgabenstellung.....	5
4 Pflanzenkraftstoffe.....	6
4.1 Allgemeine Grundlagen von Pflanzenölen.....	6
4.2 Gebrauchte Pflanzenfette und –öle als Kraftstoff.....	8
4.3 Kraftstoffanalysen.....	10
<i>4.3.1 Bestimmung der Dichte.....</i>	<i>12</i>
4.3.1.1 Auswahl des Versuchsaufbaus.....	12
4.3.1.2 Versuchsbeschreibung.....	12
4.3.1.3 Ergebnisse.....	14
<i>4.3.2 Bestimmung der Säurezahl.....</i>	<i>15</i>
4.3.2.1 Versuchsaufbau nach DIN 53402.....	15
4.3.2.2 Ergebnisse	16
<i>4.3.3 Bestimmung der Heizwerte.....</i>	<i>17</i>
4.3.3.1 Versuchsbeschreibung.....	18
4.3.3.2 Ergebnisse.....	20
<i>4.3.4 Bestimmung der kinematischen Viskosität.....</i>	<i>23</i>
4.3.4.1 Versuchsaufbau nach DIN 51562.....	23
4.3.4.2 Ergebnisse.....	25
5 Versuchsfahrzeuge und Fahrzeugmessungen	27
5.1 Versuchsfahrzeuge.....	27
5.2 Fahrzeugmessungen.....	29
<i>5.2.1 Allgemeiner Versuchsaufbau.....</i>	<i>29</i>
5.2.1.1 Rollenprüfstand.....	29
5.2.1.2 Externer Kraftstofftank mit Volumenstrommesser.....	31
<i>5.2.2 Leistung und Schwärzungszahl nach Bosch.....</i>	<i>33</i>

5.2.2.1	Versuchsdurchführung.....	33
5.2.2.2	Vollastmessungen.....	35
5.2.2.3	Teillastmessungen.....	37
5.2.2.4	Auswertung.....	38
5.2.3	<i>Messung der Abgas-Emissionen</i>	42
5.2.3.1	Versuchsaufbau.....	43
5.2.3.1.1	Rollenprüfstand und Fahrprogramm.....	44
5.2.3.1.1.1	Bestimmung des Fahrwiderstands.....	44
5.2.3.1.1.2	Fahrprogramm.....	47
5.2.3.1.2	CVS-Anlage.....	49
5.2.3.1.3	Abgasanalyse-Einheit.....	50
5.2.3.2	Versuchsdurchführung.....	52
5.2.3.3	Auswertung.....	56
6	Analyse der Meßergebnisse	61
6.1	Vergleich der Kraftstoffe	61
6.1.1	<i>Leistung und Wirkungsgrad</i>	61
6.1.2	<i>Schwärzungszahl</i>	64
6.1.3	<i>Abgas-Emissionen und Kraftstoffverbrauch</i>	65
6.2	Einfluß der Kraftstofftemperatur auf die dieselmotorische Verbrennung	69
6.2.1	<i>Einfluß der Kraftstofftemperatur auf den Wirkungsgrad</i>	69
6.2.2	<i>Schwärzungszahl</i>	71
6.2.3	<i>Abgas-Emissionen und Kraftstoffverbrauch</i>	71
6.3	Langzeituntersuchungen	74
6.3.1	<i>Rieger-Fahrzeug</i>	74
6.3.2	<i>Kraft-Fahrzeug</i>	78
7	CO₂-Bilanz	79
7.1	Haben gebrauchte Pflanzenkraftstoffe eine Bereitstellungskette?	79
7.2	Der Einfluß des Startkraftstoffes auf die CO₂-Bilanz	80
7.3	Grundlagen zur Berechnung der CO₂-Bilanz	80
7.4	Berechnungstabelle zur CO₂-Bilanzerstellung	82
7.5	Ergebnis der CO₂-Bilanz	84

8 Ausblick und Verbesserungsvorschläge.....	85
9 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	87
10 Literaturverzeichnis.....	90
Anhang A: Normierungsvorschlag für Rapsöl.....	97
Anhang B: Berechnung der korrigierten Fahrwiderstände.....	98
Anhang C: Fahrzyklus-Simulationsprogramm.....	101
Anhang D: Abgasanalyse-Auswerteprogramm.....	128
Anhang E: Temperatureinfluß.....	136

1 Kurzfassung

In dieser Diplomarbeit wird die Eignung von gebrauchten Pflanzenölen und -fetten als Kraftstoff für Dieselfahrzeuge untersucht. Dazu standen drei Fahrzeuge zur Verfügung, die alle mit einem Umbausatz des Herrn Georg Lohmann ausgestattet waren. Als Kraftstoffe wurden zu dieser Diplomarbeit drei Pflanzenöle und -fette aus der Lebensmittelherstellung und ein Pflanzenöl aus einem medizinischen Anwendungsbereich verwendet. Diese Pflanzenkraftstoffe wurden auf ihre Eigenschaften hin untersucht. Dabei wurden Bestimmungen der Dichte, des Heizwertes, der Säurezahl und der kinematischen Viskosität durchgeführt.

Die Eignung der Pflanzenkraftstoffe als Dieselmotorsersatz wurde durch folgenden Untersuchungen überprüft:

- Abgas-Emissionsmessungen nach der EG-Richtlinie 70/220/EWG
 - Leistungsmessungen mit einer gleichzeitigen Bestimmung der Schwärzungszahl
- Weiterhin wurde der Einfluß der Kraftstofftemperatur auf die Verbrennung anhand von Leistungs- und Abgas-Emissionsmessungen untersucht.

Bei der anschließenden Analyse der Meßergebnisse stellte sich heraus, daß das Fahrzeug beim Betrieb mit Pflanzenkraftstoff eine höhere Leistung und eine höhere Schwärzungszahl als mit Dieselmotorsersatz hatte. Der Wirkungsgrad beim Betrieb mit Pflanzenölen war im unteren Drehzahlbereich schlechter und im oberen Drehzahlbereich besser als beim Betrieb mit Dieselmotorsersatz. Die Kohlenwasserstoff-Emissionen waren beim Betrieb mit allen Pflanzenkraftstoffen niedriger als mit Dieselmotorsersatz. Die Stickoxid-Emissionen waren beim Betrieb mit Pflanzenfetten besser und mit -ölen schlechter, als bei den Messungen mit Dieselmotorsersatz. Die Kohlenmonoxid-Emissionen und der Kraftstoffverbrauch waren bei den Messungen mit Pflanzenkraftstoff höher, als bei denen mit Dieselmotorsersatz. Bei den Messungen mit den verschiedenen Kraftstofftemperaturen hat sich für das Lohmann-Fahrzeug ein optimaler Bereich zwischen 60°C-70°C herausgestellt.

Mit dem Kraft- und dem Rieger-Fahrzeug wurde ein Langzeitversuch gestartet der über diese Diplomarbeit hinausgeht. Bis zum Abschluß dieser Arbeit traten keine Schäden am Motor auf, die mit dem Pflanzenkraftstoffbetrieb in Verbindung standen. Zum Schluß dieser Arbeit wurde für das Lohmann-Fahrzeug in vier verschiedenen Szenarien eine CO₂-Bilanz aufgestellt. Das Lohmann-Fahrzeug unterschritt dabei in zwei Szenarien den Grenzwert des 3-Liter-Autos deutlich.

2 Einleitung

„Die Menschheit steht an einem entscheidenden Punkt ihrer Geschichte. Wir erleben eine zunehmende Ungleichheit zwischen Völkern und innerhalb von Völkern, eine immer größere Armut, immer mehr Hunger, Krankheit und Analphabetentum sowie eine fortschreitende Schädigung der Ökosysteme, von denen unser Wohlergehen abhängt. Durch eine Vereinigung von Umwelt- und Entwicklungsinteressen und ihre stärkere Beachtung kann es uns jedoch gelingen, die Deckung der Grundbedürfnisse, die Verbesserung des Lebensstandards aller Menschen, einen größeren Schutz und eine bessere Bewirtschaftung der Ökosysteme und eine gesicherte, gedeihlichere Zukunft zu gewährleisten. Das vermag keine Nation allein zu erreichen, während es uns gemeinsam gelingen kann: in einer globalen Partnerschaft, die auf eine nachhaltige Entwicklung ausgerichtet ist.“ [1]

Dieses Zitat aus den Agenda 21 Präambel der Umweltkonferenz von 1992 in Rio de Janeiro zeigt, daß es an der Zeit ist für jeden von uns seinen Beitrag für die Umwelt zu entrichten. Seit dem 27.10.1994 [2] steht der Schutz der Umwelt als Staatsziel in der Verfassung (Art. 20 a GG). Dieser Schritt ist das Ergebnis der letzten 15-20 Jahre, in denen die Umweltbewegung immer mehr an Bedeutung gewann. Ein Bestandteil der heutigen Umweltproblematik sind die Treibhausgase, die für die Klimaveränderungen verantwortlich sind. Das am meisten produzierte Treibhausgas ist dabei das Kohlendioxid. Dieses entsteht hauptsächlich bei der Verbrennung von Kohle und Erdöl. Die Verminderung der Kohlendioxid-Emissionen ist also direkt mit einer Verminderung der Verbrennung dieser Produkte verbunden. Ein Ersatz für die Verbrennung von Kohle und Erdöl können nachwachsende Rohstoffe sein. Hierbei handelt es sich hauptsächlich um Holz und holzähnliche Produkte, sowie um Öle und Fette die aus Pflanzen und Tieren gewonnen werden. Diese Öle und Fette werden heute in der Hauptsache für die Lebensmittelindustrie angebaut und hergestellt. Daß sich diese Öle und Fette grundsätzlich für die Verbrennung in Dieselmotoren eignen, ist bekannt und wird auch heute in zwei verschiedenen Grundgedanken verwirklicht.

Der erste Grundgedanke befaßt sich dabei mit einer Anpassung des Kraftstoffes an den Motor. Darunter wird eine chemische Veränderung (umestern) der Öle und Fette

verstanden. Durch diese Umesterung wird hauptsächlich eine Verringerung der kinematischen Viskosität auf das Niveau von Dieseldieselkraftstoff erreicht und weiterhin wird die Zündfähigkeit des Kraftstoffes gesteigert. Dieser veränderte Pflanzenkraftstoff wird hier in Deutschland unter dem Namen Biodiesel vertrieben und in den meisten Fällen aus Rapsöl (⇒ Rapsölmethylester/RME) gewonnen.

Die zweite Möglichkeit einen Dieselmotor mit Pflanzenkraftstoffen zu betreiben, ist eine Anpassung des Motors an den Kraftstoff. Darunter wird die konstruktive Anpassung des Dieselmotors an die Bedürfnisse des Pflanzenkraftstoffes verstanden. Ein Beispiel dafür ist der Elsbett-Motor.

Das Pflanzenöl-Motorkonzept des Georg Lohmann, das in dieser Diplomarbeit die Hauptrolle spielt, versucht die Vorteile der einzelnen Möglichkeiten zu verknüpfen. Für den Erfinder standen ökologische Vorteile durch die Verwendung von nachwachsenden Rohstoffen, bauliche Einfachheit, Funktionalität und Wirtschaftlichkeit bei der Entwicklung seines Pflanzenöl-Motorkonzeptes im Vordergrund.

Der Grundstein für die bauliche Einfachheit sollte durch die Verwendung eines unveränderten Dieselmotors gewährleistet werden. Die Veränderungen, die an den Fahrzeugen vorgenommen wurden, beschränkten sich daher auf die Tank- und Kraftstoffaufbereitungsanlage. Das hat den Vorteil, daß ein Serienmotor eine sehr hohe Fertigungsgenauigkeit und daraus resultierend eine hohe Lebensdauer hat.

Nachteilig an der Verwendung eines unveränderten Serienmotors ist, daß dieser für den Dieseldieselkraftstoff-Betrieb optimiert ist. Dieser Nachteil wurde durch eine Anpassung des Pflanzenkraftstoffes an den Dieselmotor versucht auszugleichen. Diese Anpassung erfolgt hierbei nicht mit einer Umesterung, sondern durch die Erhöhung der Kraftstofftemperatur. Diese Erhöhung der Temperatur hatte - wie die Umesterung - die Verminderung der kinematischen Viskosität des Pflanzenkraftstoffes zur Folge. Weiterhin wurde durch die Erhöhung der Kraftstofftemperatur die Zündfähigkeit erhöht.

Die Funktionalität dieses Pflanzenöl-Motorkonzeptes sollte sich nicht wesentlich von dem eines gewöhnlichen Dieselmotors unterscheiden. Der größte Nachteil im Sinne der Funktionalität beim Betrieb eines Dieselmotors mit unverändertem Pflanzenöl ist das Kaltstartverhalten. Dieses Problem wurde, durch die Verwendung von Dieseldieselkraftstoff oder RME als Startkraftstoff, umgangen.

Die Wirtschaftlichkeit dieses Pflanzenöl-Motorkonzepts beruht nicht nur auf dem geringeren baulichen Aufwand durch die Verwendung eines Serienmotors, sondern wird auch durch die Verwendung von Altmaterialien als Kraftstoff unterstrichen. Hierbei stehen alte Fritier- und Bratfette im Vordergrund. Aber auch viele andere pflanzliche und tierische Öle und Fette können verwendet werden. Als Beispiel wäre hier vom Haltbarkeitsdatum her abgelaufene Speiseöle und -fette oder Öl und Fett aus ausgekochten Tierkadavern zu nennen. Diese gebrauchten Öle und Fette sind im Ankauf wesentlich günstiger als neues Pflanzenöl, RME oder Dieselkraftstoff. Nachteilig an diesen Altmaterialien sind die möglichen Inhaltsstoffe wie z.B. Salz, Kohlehydrate, Stärke, Wasser und Eiweiß und die damit verbundene teilweise erforderliche Aufbereitung.

3 Aufgabenstellung

In dieser Diplomarbeit sollte die Eignung von aufbereiteten Altfetten und –ölen zum Betrieb eines Dieselmotors nachgewiesen werden. Nachweise sollten in folgenden Gebieten auch auf langfristige Sicht erbracht werden:

- Umweltfreundlichkeit
- Haltbarkeit
- Wirtschaftlichkeit

Dazu sollten folgende Untersuchungen durchgeführt werden:

- Gleichmäßigkeit der Beschaffenheit der Altfette. Hierzu sollte der Weg der Pflanzenfette vom Frischzustand bis zur endgültigen Bereitstellung im Fahrzeugtank aufgezeigt werden.
- Messen der Abgas-Emissionen mit einer CVS-Anlage (HC, NO_x, CO, CO₂)
 - mit verschiedenen Kraftstoffen
 - bei verschiedenen Kraftstofftemperaturen
- Erstellen eines Auswerteprogramms für die Abgasanalyse
- Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs anhand der CO₂-Messung
- Erstellen einer CO₂-Bilanz mit Bezug auf das 3-Liter-Auto
- Messung der Leistung
 - mit verschiedenen Kraftstoffen
 - bei verschiedenen Kraftstofftemperaturen
- Ermittlung der Säurezahl der verschiedenen Kraftstoffe
- Langzeituntersuchung
- Entwicklung eines Kontrollsystems für die Langzeituntersuchung
- Messung der Leistung und der Abgas-Emissionen vor und nach dem Langzeittest

Als Erweiterungen des Auftrags, nach Beginn der Diplomarbeit, haben sich ergeben:

- Fahrwiderstandsbestimmung
- Messung der Schwärzungszahl parallel zur Leistungsmessung
- Verbrauchsmessung parallel zur Leistungsmessung
- Umprogrammierung des Fahrzyklusprogramms, das für die Abgasmessungen benötigt wurde
- Messung der Dichte, der kinematischen Viskosität und des Heizwertes der verwendeten Kraftstoffe

4 Pflanzenkraftstoffe

In diesem Kapitel werden die Pflanzenkraftstoffe und die an ihnen durchgeführte Untersuchungen vorgestellt.

4.1 *Allgemeine Grundlagen von Pflanzenölen*

Die Verwendung von Pflanzenöl als Energieträger geht zurück bis ins Altertum, als aus Oliven Lampenöl hergestellt wurde. Die Verwendung des Pflanzenöls als Kraftstoff für Verbrennungskraftmaschinen wurde durch Rudolf Diesel nachgewiesen. Pflanzenöle wurden aber durch den Dieselmotorkraftstoff aus wirtschaftlichen Gründen verdrängt. Sie erlebten erst 1973/74 bei der Ölkrise eine Wiedergeburt. Weitere Impulse erhielt die Pflanzenöl-Technik als Dieselerersatz in den 80ern, als die Landwirtschaft aufgrund von Überproduktion Flächen stilllegen mußte. Diese stillgelegten Flächen durften aber weiterhin zum Anbau von Ölsorten verwendet werden, ohne Ihre Stilllegungsprämien zu verlieren. Die Pflanzenöl-Technik bekam in den 90ern den wohl stärksten Schub, durch das größer werdende Umweltbewußtsein der Menschen. Begriffe wie Treibhauseffekt, Klimaveränderung, Saurer Regen und Waldsterben ließen die Menschen aufschrecken.

Eine Verminderung dieser Probleme kann im wesentlichen durch die Verwendung von Pflanzenöl erzielt werden.

Pflanzenöle werden in Ölmühlen, durch das Auspressen und Extrahieren der Früchte oder Samen der verschiedenen Ölpflanzen, gewonnen. Sie bestehen im wesentlichen aus zwei Komponenten, aus Glycerin als Grundträger und den an ihm angelagerten Fettsäuremolekülen, die sich unter Abspaltung von Wasser mit dem Glycerin verbunden haben. Diese Verbindung wird Triglycerid genannt.

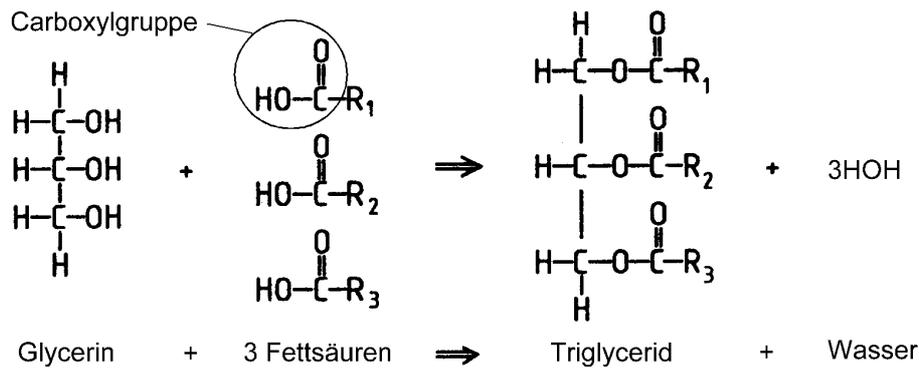


Abbildung 4.1 Bildung eines Fettmoleküls

Fette oder Öle bestehen hauptsächlich (97%) aus diesen Triglyzeridmolekülen [3]. Die restlichen 3% bestehen aus freien Fettsäuren, Vitaminen, Wasser, Phosphorverbindungen, sowie Spuren von Schwefel.

Öle und Fette unterscheiden sich hauptsächlich durch die prozentual verschiedenen angelagerten Fettsäuren. Diese Fettsäuren bestehen aus gradzahligen Kohlenwasserstoffketten (16-22 Kohlenstoffatome) mit einer Carboxylgruppe.

Fettsäuren unterscheiden sich durch die Anzahl der Kohlenstoffatome und die Anzahl der Doppelbindungen. Im Zusammenhang mit Doppelbindungen wird auch von gesättigten und einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren gesprochen. Diese Doppelbindungen haben grundsätzlich zwei für die Technik wichtige Eigenschaften. Je höher die Anzahl der Doppelbindungen, desto niedriger ist der Schmelzpunkt. Weiterhin kann festhalten werden, daß eine höhere Anzahl von Doppelbindungen den Ablauf einer Reaktion begünstigt. Das bedeutet, daß bei Fettmolekülen mit mehrfach ungesättigten Fettsäuren grundsätzlich die motorische Verbrennung besser ist.

Bei pflanzlichen Ölen und Fetten aus der Lebensmittelindustrie stehen andere Eigenschaften im Vordergrund. Die Fette und Öle die hier gebraucht werden -in der Hauptsache zum Fritieren- müssen über eine möglichst lange Zeit der thermischen Belastung standhalten. Je mehr Doppelbindungen vorliegen, desto höher ist das Risiko der chemischen Reaktion an diesen Doppelbindung. Durch diese Reaktionen können kanzerogene Stoffe entstehen. Deshalb werden in der Lebensmittelindustrie gern Fette und Öle mit gesättigten Fettsäuren zum Fritieren verwendet.

Pflanzenöle sollten, um als Kraftstoff eingesetzt zu werden, normiert werden. Hierzu gibt es aus dem LTV-Arbeitskreis Dezentrale Pflanzenölgewinnung Weihenstephan einen Normierungsvorschlag (Anhang A) zu Rapsöl [4]. Dieser Normierungs-

vorschlag läßt sich in Zukunft wahrscheinlich auch auf andere Pflanzenöle erweitern, da Rapsöl global gesehen nur einen geringen Anteil an der weltweiten Pflanzenölproduktion hat. Mit Einschränkungen läßt sich dieser Normvorschlag auch auf Recycling-Fette und -Öle anwenden.

Der Normierungsvorschlag für Rapsöl ist der Kraftstoffnorm für Dieselkraftstoff (EN 506) und Dieselkraftstoff aus Fettsäuremethylester (DIN E 51606) sehr ähnlich.

Als Erweiterung der Dieselkraftstoff-Norm kam hinzu:

- Neutralisationszahl
- Iodzahl
- Heizwert
- Gesamtverschmutzung
- Gesamtverschmutzung mit 5 µm-Filter
- Kälteverhalten
- Phosphorgehalt

Dafür wurden folgende Teilbereiche herausgenommen:

- Siedeverlauf
- Grenzwert der Filtrierbarkeit
- Chlorgehalt

Wenn die Öl- und Motorenhersteller ihre Erfahrungen mit dem Normvorschlag gesammelt haben, ist geplant diesen Vorschlag zur Norm zu erheben.

4.2 Gebrauchte Pflanzenfette und -öle als Kraftstoff

Die Verbrennung von gebrauchten Pflanzenfetten und -ölen in Dieselmotoren ist eine Alternative zur sonstigen Verwertung und Entsorgung dieser Abfallprodukte. Bei der Verwendung dieser Altmaterialien als Dieselkraftstoffersatz steht der wirtschaftliche Aspekt im Vordergrund. Je nach Zustand kosten diese zwischen 0-80 Pf pro Liter. Dabei kann grundsätzlich festgehalten werden, daß sich die geringeren Anschaffungskosten des Altmaterials meist in höhere Aufbereitungskosten niederschlägt.

Neben den wirtschaftlichen Aspekten kommen auch ökologische Aspekte zum

Tragen. Die Vorteile sind aber alle darauf beschränkt, daß in einem Dieselmotor Pflanzenkraftstoff an Stelle von Dieselkraftstoff verbrennt.

Das es sich bei den Pflanzenölen um Altmaterialien handelt, ist dabei nicht ausschlaggebend.

In dieser Diplomarbeit wurden vier Pflanzenkraftstoffe aus Altmaterial auf ihre Eignung als Dieselkraftstoffersatz untersucht. Als Referenz wurden neben den Untersuchungen mit den Pflanzenkraftstoffen auch Untersuchungen mit Dieselkraftstoff durchgeführt.

Diese Pflanzenkraftstoffe werden im folgenden Abschnitt vorgestellt:

- **Soja-Öl**

Das 100% Soja-Öl wurde als Fritieröl in Backstraßen, in denen Milchprodukte vorgebacken wurden (überwiegend überbackener Camembert), gebraucht. Hierbei wurde das Fett ständig auf eine Temperatur von 180°C - 200°C erhitzt. Der Wassergehalt in diesem Öl war aufgrund der hohen Temperaturen sehr gering. Der Aggregatzustand des Öles ist bei Raumtemperatur flüssig. Mögliche Verunreinigungen im Öl waren: Gewürze, Kohlehydrate, Stärke und Eiweiß. Das Öl wird vor der Abgabe vorgefiltert und kostet ab Recycler ca. 60 Pf pro Liter. Der Betrieb eines Dieselmotors ist mit diesem Öl nach einer weiteren Filtrierung möglich.

- **Sesam-Öl**

Das 100% Sesam-Öl wurde als Massage-Öl eingesetzt. Das Öl wurde einmal benutzt und anschließend wieder aufgefangen. Es wurde zur Tötung von Bakterien kurzzeitig auf 110°C erhitzt. Mögliche Verunreinigungen sind nur auf den Kontakt mit der Haut zurückzuführen. Sie beschränken sich daher auf Hautpartikel, Haare und Körperschweiß. Verunreinigungen waren deshalb, im Vergleich zu Fritier-Ölen, nur in sehr geringen Maßen vorhanden. Das Öl ist bei Raumtemperatur flüssig. Eine Filtrierung des Altmaterials ist durch den Recycler bis zu 50 µm möglich. Monatlich fallen von diesem Öl ca. 1500-2000 Liter an und werden ab Recycler für ca. 55 Pf pro Liter abgegeben. Eine weitere Nachbehandlung war für den Betrieb eines Dieselmotors nicht erforderlich.

- **Mc Donalds-Fett**

Das Mc Donalds-Fett besteht in seiner Ursprungsform aus 100% Raps. Dieses wurde zum Fritieren von Lebensmitteln eingesetzt. Dabei vermischte sich das Rapsöl im Laufe der Benutzung mit gehärtetem Pflanzenfett, in dem die Lebensmittel vorgebacken wurden. Daher ist auch der Aggregatzustand des Altmaterials bei Zimmertemperatur halbfest. Die Zubereitung der Lebensmittel fand bei einer Temperatur von 160°C bis 180°C statt. Die Länge des Gebrauchs war, je nach Fritiergutmenge und Temperatur, unterschiedlich. Dabei wurde das Fett zwischenzeitlich immer wieder aufbereitet. Die verwendeten Lebensmittel waren unter anderem mit Salz gewürzt. Von diesem Altmaterial fallen im Monat ca. 560 t an. Der Betrieb eines Dieselmotors war mit diesem Fett nach einer weiteren Filtrierung möglich.

- **Imbißbuden-Fett**

Dieses Fett wurde direkt von einer Imbißbude bezogen, wo es als Fritierfett eingesetzt wurde. Das Fett wurde bei einer Temperatur von ca. 35°C flüssig. Der Wassergehalt war aufgrund einer langen Zwischenlagerungszeit hoch. Über dieses Fett gibt es sonst keine belegten Angaben. Folgende Angaben beruhen daher auf Schätzungen:

Die Fett-Temperaturen waren zwischen 180°C und 220°C. Mögliche Verunreinigungen durch das Fritiermaterial könnten sein: Stärke, Kohlehydrate, Eiweiße und Gewürze. Das Fett kostet in dieser Form ca. 10-20 Pf pro Liter. Der Betrieb eines Dieselmotors war nach einer Filtrierung und einer Entwässerung des Fettes möglich.

4.3 Kraftstoffanalysen

Die Kraftstoffanalysen wurden durchgeführt, um für die verwendeten Kraftstoffe die nur teilweise in der Literatur vorhandenen Angaben zu ergänzen. Diese vorhanden Literaturangaben beziehen sich auf Frischöle oder -fette und weiterhin nur auf genormte Prüfverfahren. Hierbei störten speziell die genormte Prüftemperaturen, da diese nicht den in den Versuchen angewendeten Kraftstofftemperaturen

entsprachen.

Folgende Untersuchungen wurden durchgeführt:

- **Bestimmung der Dichte = $f_{(T)}$**

Die Dichte = $f_{(T)}$ wurde zur Berechnung des Gesamtwirkungsgrades bei den verschiedenen Kraftstofftemperaturen benötigt.

- **Bestimmung der Säurezahl**

Die Säurezahl wurde bestimmt, um die Aggressivität der Öle gegenüber Dichtungen und besonders gegenüber den Einspritzpumpenkolben nachzuweisen. Diese waren bei Langzeitversuchen mit tierischem Altfett in einer früheren Diplomarbeit [5] korrodiert. Diese Korrosion führte zum Ausfall des stationären Prüfmotors.

- **Bestimmung des Heizwertes**

Der Heizwert wurde für die Berechnung des Gesamtwirkungsgrades bestimmt.

- **Bestimmung der kinematischen Viskosität = $f_{(T)}$**

Die kinematische Viskosität wurde gemessen, weil sie einen Einfluß auf die Zerstäubung des Kraftstoffes bei der Einspritzung, sowie auf die Leckverluste in der Einspritzpumpe und somit auf die Einspritzmenge hat. Bei innendruckgesteuerten Einspritzpumpen hat die kinematische Viskosität des Kraftstoffes zusätzlich noch Einfluß auf den Einspritzbeginn.

Zusätzliche Untersuchungen wie Bestimmung des Asche-, Salz- und Phosphorgehaltes und der Koksrückstände der Altmaterialien hätten weitere Erkenntnisse über die Eignung dieser Altmaterialien für den Betrieb eines Dieselmotors geliefert. Eine Durchführung dieser Untersuchungen war aufgrund des

Fehlens der Prüfapparaturen nicht möglich.

4.3.1 Bestimmung der Dichte

4.3.1.1 Auswahl des Versuchsaufbaus

Die DIN 51757 beschreibt Verfahren zur Dichtebestimmung, welche aus folgenden Gründen nicht anwendbar waren:

Das unter A beschriebene Verfahren mit dem Aräometer schied wegen den hohen Prüftemperaturen aus, da die vorgeschriebenen Spindeln empfindlich auf Temperatur reagieren. Weiterhin bestand die Gefahr, daß die Spindeln durch die hohen Temperaturen beschädigt würden.

Das Verfahren B (Bestimmung der Dichte durch hydrostatische Wägung) war wegen der fehlenden Geräte nicht durchführbar.

Das Verfahren C war nicht durchführbar, da die vorhandenen Pyknometer nur ein Thermometer mit einer Skala bis maximal 40°C hatten.

Die Bestimmung der Dichte mit einem Schwingungsmeßgerät (Verfahren D) war ebenfalls wegen dem Fehlen des Prüfgeräts nicht durchführbar. Daher wurde ein Verfahren zur Dichtebestimmung entwickelt, welches im nächsten Kapitel näher beschrieben wird.

4.3.1.2 Versuchsbeschreibung

Geräte:

- Ein flüssigkeitsgefülltes Heizbecken mit einem Temperatureinstellungsbereich von 0,1°C.
- Zwei Meßzylinder mit einem Volumen von 10 ml, einer Ablesegenauigkeit von 0,05 ml und einem Skalen-Eichwert von 20°C. Der Meßfehler durch die Längen und Umfangsausdehnung des Meßzylinders beträgt bei 100°C 0,1%. Die Ablesegenauigkeit von 0,05 ml entspricht bei einem Meßvolumen von 9 ml einem Ablesefehler von 0,6 %.
- Eine Präzisionswaage mit einem Meßbereich von 10⁻⁶g.

Verfahren:

Die zwei Meßzylinder wurden beschriftet und leer gewogen. Als nächstes wurden sie bei Zimmertemperatur mit ca. 9 ml der ersten beiden Pflanzenkraftstoffe gefüllt und wiederum gewogen. Anschließend wurden die Meßzylinder in das Heizbecken gestellt und erhitzt. Nach Erreichender der untersten Prüftemperatur (50°C) durch die Heizflüssigkeit wurden die Proben in den Meßzylindern noch weitere 15 Minuten der Prüftemperatur ausgesetzt, damit sich diese auch in den Proben einstellen konnte. Dann wurde das Volumen der Pflanzenkraftstoffe an der Meßskala abgelesen und protokolliert. Anschließend konnten die Volumen der zwei Pflanzenkraftstoffe bei den anderen Prüftemperaturen (60°C, 70°C, 80°C, 90°C und 100°C) ebenfalls anhand dieses Verfahren ermittelt werden. Nachdem die ersten beiden Pflanzenkraftstoffe auf diese Art untersucht worden waren, wurden die Meßzylinder gespült und die Messungen mit den anderen beiden Pflanzenkraftstoffen nach dem selben Verfahren durchgeführt. Am Ende dieser Versuchsreihe wurde das Meßverfahren auf Dieselmkraftstoff bei Zimmertemperatur angewendet.

Auswertung:

Für die Auswertung wurde die folgende Formel verwendet:

$$\frac{m_{\text{Bruto}} - m_{\text{Tara}}}{V}$$

\Rightarrow Dichte g ml
 $m_{\text{Bruto}} \Rightarrow$ Gewicht des Meßzylinders incl. Kraftstoff g
 $m_{\text{Tara}} \Rightarrow$ Gewicht des leeren Meßzylinders g
 $V \Rightarrow$ Meßvolumen ml

(4.1)

4.3.1.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in der Abbildung 4.2 dargestellt:

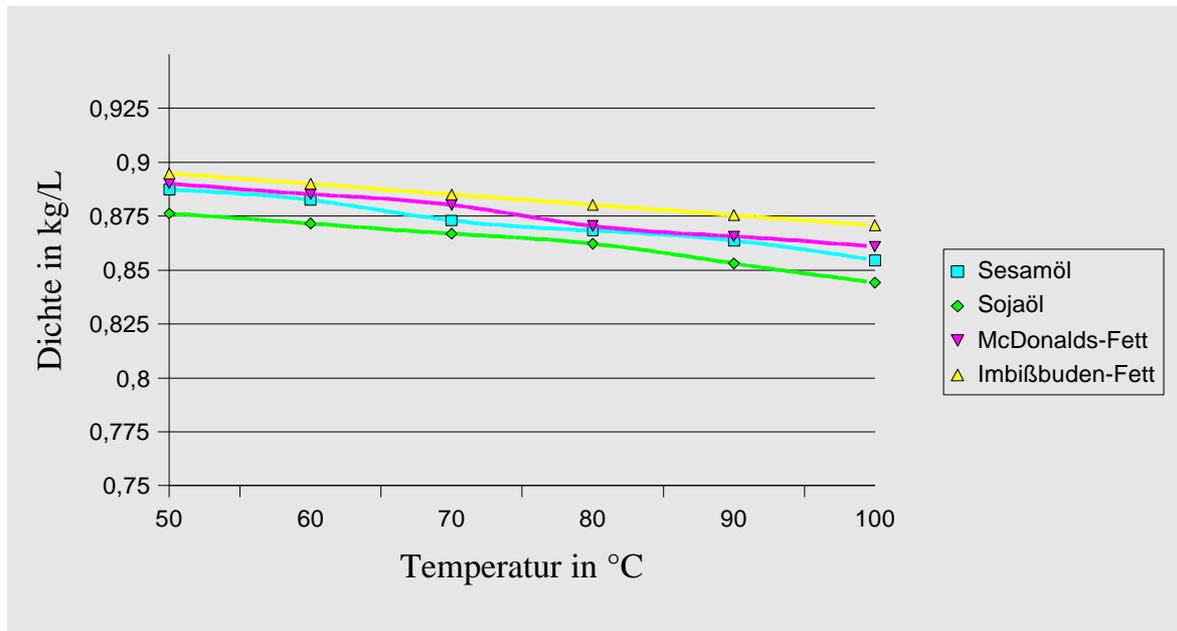


Abbildung 4.2 Kraftstoffdichte als Funktion der Temperatur

Wie aus Abbildung 4.2 ersichtlich, bewirkt eine Temperaturänderung von 50°C auf 100°C eine Änderung der Dichte um fast 4%. Würde bei der Wirkungsgradberechnung, welche die Dichte beinhaltet, der Temperatureinfluß vernachlässigt, würden die Wirkungsgrade beim Betrieb mit Pflanzenkraftstoff bei hohen Temperaturen einen höheren Zahlenwert und damit ein ungenaueres Ergebnis liefern.

Beim Vergleich der Ergebnisse ergab sich eine geringere Dichte bei den Ölen als bei den Fetten. Im Allgemeinen wurde festgestellt, daß die Temperaturkoeffizienten aller Pflanzenkraftstoffe sich sehr ähnlich waren.

Die Meßergebnisse sind jedoch alle niedriger ausgefallen, als in der Literatur angegeben. Diese Abweichung ist bei allen Meßergebnissen gleich vorhanden. Die Dichte ist bei der Wirkungsgradberechnung eine Verhältniszahl (siehe Kap. 5.2.2.4). Aus diesem Grund kommen rechnerisch die Meßergebnisse bei allen Wirkungsgradberechnungen gleichermaßen zum Tragen. Da keine Vergleiche mit außenstehenden Ergebnissen gemacht wurden, ist nur eine Verschiebung der Wirkungsgrade, jedoch keine Veränderung zueinander zu erwarten. Die in dieser Arbeit durchgeführten Vergleiche der Wirkungsgrade der verschiedenen Kraftstoffe

sind, basierend auf den oben genannten Einschätzungen, mit den Ergebnissen untereinander aussagefähig.

4.3.2 Bestimmung der Säurezahl

Die Bestimmung der Säurezahl wurde nach DIN 53402 durchgeführt. Die Säurezahl gibt Aufschluß darüber, wie viele freie Protonen in dem zu prüfenden Öl vorhanden sind. Sie ist also ein Maß für die Aggressivität der Pflanzenkraftstoffe gegenüber ihrer Umgebung. Der Begriff Säurezahl nach DIN 53402 gibt diejenige Menge Kaliumhydroxid in mg an, die unter festgelegten Bedingungen erforderlich ist, um 1g der zu untersuchenden Probe zu neutralisieren. Im Gegensatz zur Neutralisationszahl nach DIN 51558 können mit der Säurezahl nur saure und keine alkalischen Bestandteile nachgewiesen werden. Im Versuchsaufbau, sowie bei den verwendeten Prüfchemikalien bestehen zwischen der Säurezahl und der Neutralisationszahl starke Parallelen. Aus diesen Grund sind die Ergebnisse der beiden Prüfverfahren im sauren Bereich vergleichbar.

4.3.2.1 Versuchsaufbau nach DIN 53402

Für den Versuch mußten zuerst Reagenzien hergestellt werden. Als erstes wurde 0,1 mol/L Kaliumhydroxid (KOH) Lösung hergestellt. Dabei wurde das frische unverwitterte KOH auf 1 Liter mit dem Lösungsmittel n-Propanol aufgefüllt. Die Proben wurden in Erlenmeyerkolben 300 gefüllt, die auf einer genullten Analysenwaage standen. Es wurden hierbei ca. 10 g der Probe eingefüllt, da durch einen Vorversuch keine höheren Säurezahlen als 10 erwartet wurden. Die genaue Masse der Einwaage wurde notiert. Als nächstes wurden die abgewogenen Kraftstoffe in 50 ml n-Propanol gelöst. Beim Kraftstoff „Imbißbuden-Fett“ wurde, aufgrund der schlechten Löslichkeit des Fettes in n-Propanol, das stärkere Lösungsmittel Xylol verwendet. Danach wurden 8 Tropfen des farblosen Indikators in die Probenlösung dazu gegeben. Als nächstes wurde, unter ständigem Rühren, die 0,1 mol/L KOH-Lösung in die Proben-Lösung mit dem Indikator getropft. Wenn der Indikator einen ständigen Farbumschlag in Richtung rot hatte, wurde das Hineintropfen der Lauge beendet und die hineingetropfte Menge abgelesen. Diese wurde auf 0,1 ml genau abgelesen und notiert. Dieses Verfahren wurde mit jedem

Kraftstoff durchgeführt. Am Ende der Versuchsreihe wurde ein Blindedurchgang ohne Probe, also mit purem Lösungsmittel gemacht. Da die Durchführung der Versuche problemlos mit allen Kraftstoffen verlief, konnte auf eine potentiometrische Bestimmung (Anlegen einer Spannung in der Lösung) der Säurezahl verzichtet werden. Da weiterhin in den Pflanzenkraftstoffen keine Anhydriden vorhanden sind, konnte ebenfalls auf die Bestimmung der Gesamtsäurezahl verzichtet werden, da bei diesen Stoffen eine Bestimmung der partiellen Säurezahl ohne Anhydriden ausreichend ist.

Die Auswertung erfolgte nach dem in der DIN 53402 beschriebenen Verfahren. Es wurde dazu folgende Formel verwendet:

$$\text{Säurezahl} = \frac{a - b \cdot 5.611}{E}$$

a ⇒ Verbrauch an $0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ Kaliumhydroxidlösung bei der Titration ml
 b ⇒ Verbrauch an $0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}}$ Kaliumhydroxidlösung beim Blindversuch ml
 E ⇒ Einwaage g
 5,611 ⇒ Umrechnungsfaktor von ml g KOH Angaben des Laugenherstellers (4.2)

4.3.2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse wurden im folgendem Diagramm zusammen gefaßt. Das Meßergebnis der Säurezahl für den Rindertalg wurde aus einer früheren Diplomarbeit [5] entnommen.

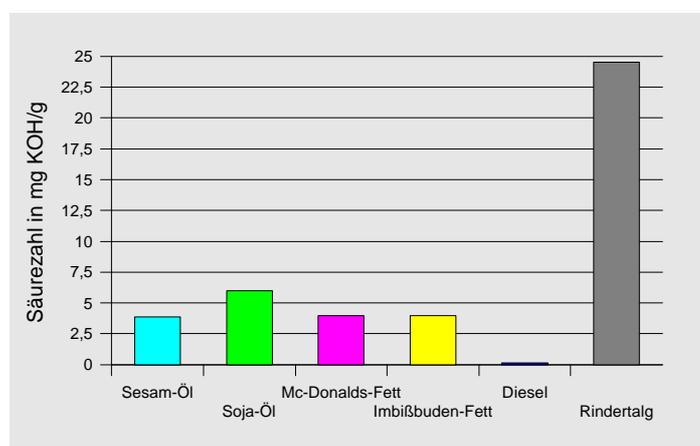


Abbildung 4.3 Säurezahl nach DIN 53402

Ergebnisse:

- Die Säurezahlen der Pflanzenkraftstoffe lagen, bis auf die Ausnahme Soja-Öl, bei 4 mg KOH/g.
- Soja-Öl lag um 50% höher, bei 6 mg KOH/g.
- Der Rindertalg, der durch seine hohe Säurezahl die Pumpenkolben der Einspritzpumpe des stationären Prüfmotors zerstörte [5], hatte im Vergleich eine bis zu 600% höhere Säurezahl.
- Das Risiko, daß eine Zerstörung durch Korrosion mit den verwendeten Pflanzenkraftstoffe auftritt, kann nicht ausgeschlossen werden. Dieses Risiko wird aber als sehr gering bewertet. Bis jetzt ist bei den umgebauten Fahrzeugen kein Fall von Schäden durch Korrosion bekannt. Der Dieselmotorkraftstoff besitzt nur innerhalb des Meßfehlers eine Säurezahl. Die Normvorschlagn für Rapsöl vom LTV-Arbeitskreis Dezentrale Pflanzenölgewinnung Weihenstephan vom 22.8.96 schreibt eine Obergrenze der Neutralisationszahl von 1,5 mg KOH/g vor. Diese wurde von allen Alternativkraftstoffen durchbrochen. Abschließend ist zu sagen, daß bei den Säurezahlen der in dieser Arbeit untersuchten Pflanzenkraftstoffe keine Verwendung von säurezahlensenkenden Additiven erforderlich ist.

4.3.3 Bestimmung der Heizwerte

Die Heizwertbestimmung der Kraftstoffe erfolgte mit einem Junkerskalorimeter. Dieses Kalorimeter arbeitet nach dem Prinzip, daß die bei der Verbrennung entstehende Wärme inklusive der Kondensationswärme an Kühlwasser abgegeben wird. Wenn die Lufteintrittstemperatur gleich der Abgasaustrittstemperatur, ist wird die ganze Verbrennungsleistung an den Kühlwasserstrom abgegeben. Diese abgegebene Wärmeleistung wird aus einer Messung der Temperaturdifferenz und des Massenstromes des Kühlwasserstromes bestimmt. Aus der abgegebenen Wärmeleistung kann, unter Zuhilfenahme des Brennstoff-Massenstromes, der Brennwert bestimmt werden. Aus der bekannten Kondensatmenge des Abgases wird der Heizwert rechnerisch bestimmt . [15]

4.3.3.1 Versuchsbeschreibung

Die folgende Abbildung zeigt den Versuchsaufbau zur Heizwertbestimmung.

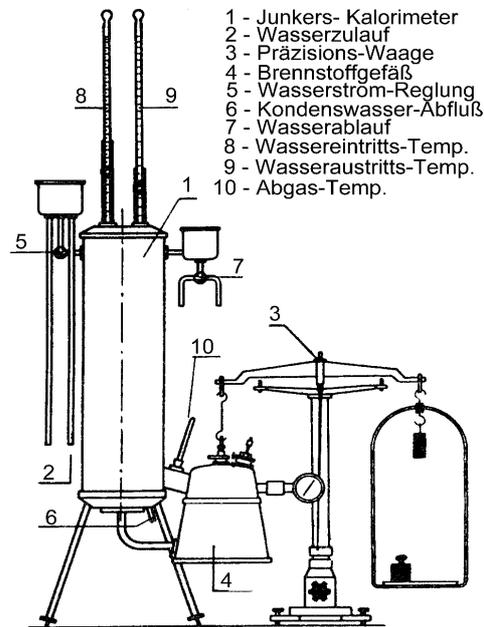


Abbildung 4.4 Aufbau der Versuchsstation zur Bestimmung des Heizwertes mit dem Junker-Kalorimeter

Versuchsablauf:

Zunächst wurde der Kühlwasserstrom eingestellt, der Brenner mit dem Versuchskraftstoff gezündet und in das Kalorimeter geschoben. Weiterhin wurden die Becher, die zum Auffangen des Kondenswassers, sowie des Kühlwassers bestimmt waren, leer gewogen. Nachdem ein stationärähnlicher Zustand der Wärmeübertragung erreicht wurde, wurden die Messungen gestartet. Es wurden die atmosphärischen Daten, sowie die Abgastemperaturen abgelesen und notiert. Die in der Abbildung 4.4 abgebildete Balkenwaage wurde durch eine elektronische Federwaage ersetzt und inklusive Brenner und Brennstoffbehälter auf Null geeicht. Gleichzeitig wurde eine Stoppuhr gestartet und der leere Becher zum Auffangen des Kondenswassers unter die dafür vorgesehene Abflußöffnung gestellt. Im Abstand von 30s konnten jeweils die Ein- und Austrittstemperaturen des Kühlwassers abgelesen werden. Die verwendeten Thermometer hatten eine Genauigkeit von $1/10^{\circ}\text{C}$. Die Messungen wurden 10 mal wiederholt. Nach Abschluß dieser

Messungen konnte die Messung des Kühlwasserstromes durchgeführt werden. Dazu wurde der gewogene Meßzylinder zum Auffangen des Kühlwassers unter einen Dreiwegehahn gestellt. Dieser Dreiwegehahn wurde für 30s geöffnet und das Kühlwasser in den Meßzylinder geleitet. Dadurch konnte der mit Kühlwasser gefüllte Meßzylinder wiederum gewogen werden. Zum Abschluß der Versuchsreihe wurde der Brennstoff-Massendurchsatz sowie der Kondenswasserstrom bestimmt. Dazu wurde wieder zeitgleich die vor den Messungen betätigte Stoppuhr angehalten, das Becherglas mit dem aufgefangenen Kondenswasser unter dem Abfluß weggenommen und die elektronischen Waage die Gewichtsabnahme des Brenners und Brennstoffbehälters abgelesen. Die beschriebene Meßreihe wurde dreimal wiederholt.

Auswertung [15]:

Aus den 10 Werten für die Ein- und Austrittstemperatur des Kühlwassers konnte das arithmetische Mittel gebildet werden aus den dabei gewonnenen Werten die Temperaturdifferenz berechnet. Aus der gemessenen Zeit und den Massen des Kondenswassers, sowie des Brennstoffverbrauchs konnte jetzt der Brennstoff- und Kondenswasserstrom mit folgender Formel berechnet werden:

$$m = \frac{m}{t}$$

$m \Rightarrow$ Massenstrom g min
 $m \Rightarrow$ Masse g
 $t \Rightarrow$ Zeit min

(4.3)

Der Kühlwasserstrom wurde ebenfalls nach der Formel (4.3) berechnet. Mit der folgenden Formel wurde der Brennwert bestimmt:

$$H_o = \frac{m_w c_w T}{m_{Br}}$$

$H_o \Rightarrow$ Brennwert kJ kg
 $m_w \Rightarrow$ Kühlwassermassenstrom g min
 $m_{Br} \Rightarrow$ Brennstoffmassenstrom g min
 $T \Rightarrow$ Temperaturdifferenz der gemittelten Ein- und Austrittstemp. °C

(4.4)

Als nächstes konnte der zur Bestimmung des Heizwertes erforderliche Erzeugungswärmestrom berechnet werden:

$$Q_k = m_k \cdot 2,5$$

$Q_k \Rightarrow$ Erzeugungswärmestrom kJ min
 $m_k \Rightarrow$ Kondenswassermassenstrom g min
 $2,5 \Rightarrow$ Kondensationswärme kJ gWasser

(4.5)

Die Bestimmung des Heizwertes erfolgte nach folgender Formel:

$$H_u = H_o + \frac{Q_k \cdot 10^3}{m_{Br}}$$

$H_o \Rightarrow$ Brennwert kJ kg
 $Q_k \Rightarrow$ Erzeugungswärmestrom kJ min
 $10^3 \Rightarrow$ Umrechnungsfaktor g \Rightarrow kg
 $m_{Br} \Rightarrow$ Brennstoffmassenstrom g min

(4.6)

Zum Abschluß wurden die Ergebnisse der drei Meßreihen arithmetisch gemittelt.

4.3.3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse lassen sich in die folgenden drei Gruppen unterteilen:

- Dieselkraftstoff
- Pflanzenöle
- Pflanzenfette

Dieselmkraftstoff:

Die Versuchsreihe ließ sich ohne Probleme durchführen, so daß an der Richtigkeit der Ergebnisse kein Zweifel besteht. Das arithmetische Mittel der drei Meßreihen ergab für Dieselkraftstoff folgenden Heizwert:

- ermittelter Heizwert für Dieselkraftstoff: 42,40 kJ/kg

Dieses Ergebnis entspricht auch den Literaturangaben [3] und [8] und wurde daher zur Berechnung des Wirkungsgrades in dieser Diplomarbeit eingesetzt.

Pflanzenöle:

Der Brenner konnte mit den Pflanzenölen nur mit folgendem Trick gestartet werden: Dazu wurde er mit Pflanzenöl gefüllt. Die ersten Zentimeter der Brennstoffzufuhr wurden mit Diesekraftstoff gefüllt, da die Pflanzenöle große Probleme mit der Verdampfung in den über der Flamme liegenden Heizspiralen hatten, die vor der eigentlichen Verbrennung stattfand. Durch die Verwendung des Diesekraftstoffes konnte die erstmalige Verdampfung der Pflanzenöle erreicht werden. Danach erzeugte die Verbrennung des Pflanzenöls eine für die weitere Verdampfung ausreichende Temperatur.

Das arithmetische Mittel der drei Meßreihen ergab für die Pflanzenöle folgende Ergebnisse:

- ermittelter Heizwert für Soja-Öl: 33,10 kJ/kg
- ermittelter Heizwert für Sesam-Öl: 33,48 kJ/kg

Diese Ergebnisse stimmen nicht mit den in der Literatur angegebenen Heizwerten überein. Dieses könnte an einer nichtvollständigen Verbrennung gelegen haben. Ein weiterer Grund könnte das Cracken der Pflanzenölmoleküle bei der Verdampfung gewesen sein. Hierfür gab es folgende Hinweise. An der Brennerdüse setzten sich schwarze Koksablagerungen ab. Weiterhin brannte die Flamme von der Größe her unregelmäßig. Die Flamme war aber vom Aussehen, bis auf die beschriebenen Schwankungen in der Größe, von der Dieselflamme nicht zu unterscheiden.

Für die in dieser Diplomarbeit durchgeführten Berechnungen fanden die ermittelten Heizwerte für die Pflanzenöle keine Anwendung, sondern die in der entsprechenden Literatur genannten :

- Literatur-Heizwert für Soja-Öl: 36,1-37,1 kJ/kg [4]
in dieser Diplomarbeit **verwendeter Heizwert für Soja-Öl: 36,5 kJ/kg**

Da Sesam-Öl eine sehr ähnliche Zusammensetzung der Fettsäuren wie Soja-Öl hat

[16], wurde aus Mangel an direkten Literaturangaben folgender Wert für die Berechnung des Wirkungsgrades für Sesam-Öl angewendet:

- in dieser Diplomarbeit **verwendeter Heizwert für Sesam-Öl: 36,5 kJ/kg**

Pflanzenfette:

Die Pflanzenfette mußten vor der Verbrennung erst verflüssigt werden. Dabei wurden sie auf über 100°C erhitzt. Trotz dieser Vorwärmung verstärkten sich die Probleme mit der Verdampfung. Selbst der Trick mit dem Dieselkraftstoff blieb ohne Erfolg. Der Brenner spuckte immer wieder kleine heiße brennende Kraftstofftröpfchen heraus, ohne sie vorher verdampft zu haben und die Flamme ruhte dabei sehr stark. Weiterhin setzte sich die Brennerdüse mit Koksrückständen zu. An dieser Stelle wurde die Heizwertbestimmung der Fette erfolglos abgebrochen. Für das Imbißbuden-Fett konnte, aus Mangel an Kenntnis der Zusammensetzung des Fettes, kein Heizwert aus der Literatur entnommen werden.

Das Mc Donalds-Fett besteht in der Ursprungsform aus 100% Raps. Aber je länger es in Gebrauch ist, desto mehr findet ein Austausch zwischen diesem Rapsöl und den gehärteten Fetten, die an den vorgebackenen Lebensmitteln waren, statt. Da aber das Mischungsverhältnis immer unterschiedlich gewesen ist und das Fett, das zum Vorbacken genommen wurde unbekannt war, konnte ebenfalls kein Heizwert aus der Literatur entnommen werden.

4.3.4 Bestimmung der kinematischen Viskosität

Die Bestimmung der kinematischen Viskosität erfolgte nach DIN 51562. Die in der DIN vorgeschriebene Meßmethode erfolgt mit einem Ubbelohde-Viskosimeter. Das Meßprinzip beruhte darauf, daß eine laminare Strömung mit der Prüfflüssigkeit in einer Kapillare erzeugt wurde. Die Oberflächenspannungen waren dabei mit diesem Gerät weitgehend niveaunabhängig.

4.3.4.1 Versuchsaufbau nach DIN 51562

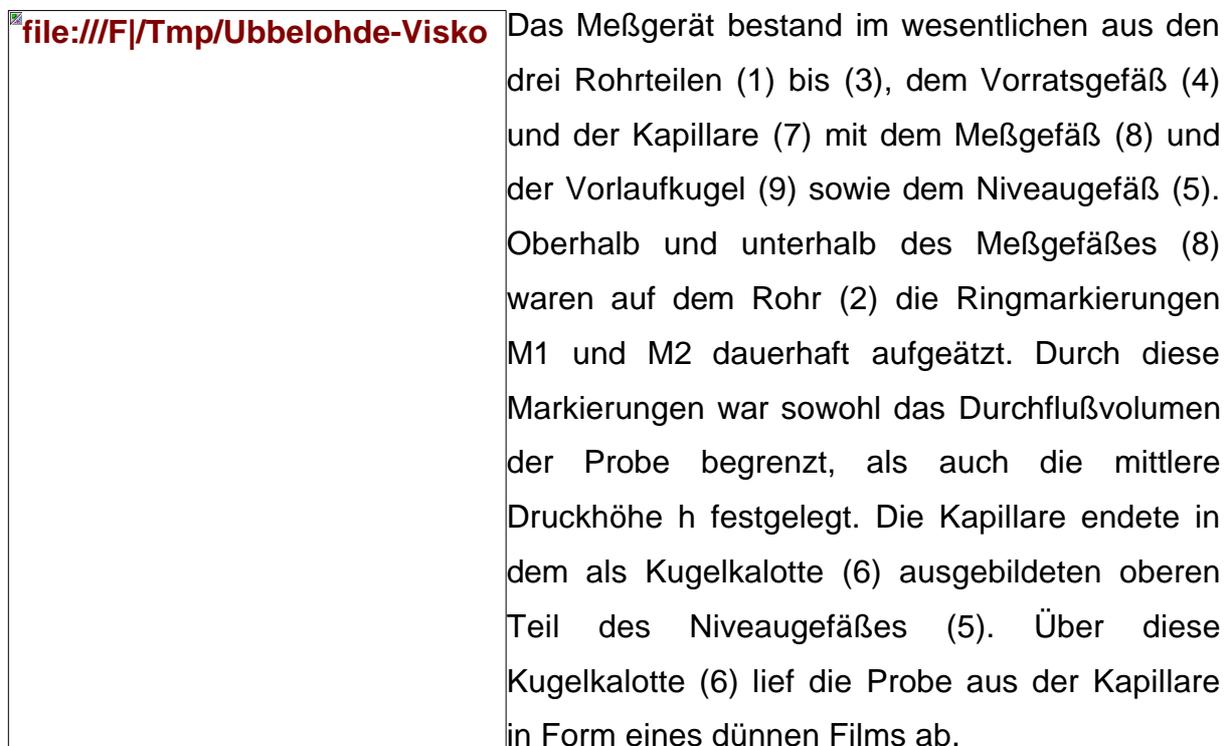


Abbildung 4.5 Ubbelohde-Viskosimeter

Das ganze Viskosimeter befand sich in einem durchsichtigen, beheizten Wasserbad. In diesem Wasserbad konnte die Temperatur bis auf $1/10^{\circ}\text{C}$ konstant gehalten werden.

Versuchsdurchführung:

Zunächst wurde das Wasserbecken beheizt und die Pflanzenfette in einem Wasserbad verflüssigt. Der erste flüssige Kraftstoff wurde in die Viskosimeter bis

zwischen die Markierungen M am Vorratsbehälter (4) gefüllt und in das beheizte Wasserbad gehängt. Nach 30 Minuten hatte der Kraftstoff die Temperatur des Wasserbads angenommen, damit war die Voraussetzung für die Messung erfüllt. Als Prüftemperaturen wurden 40°C und 90°C Wassertemperatur ausgewählt. Die untere Temperatur wurde durch die Verflüssigungstemperatur der Fette und die obere durch die Siedetemperatur des Wassers begrenzt. Mit einem Finger wurde die Rohrleitung (1) verschlossen und mit einem Schlauch, der auf die Rohrleitung (2) aufgesteckt wurde, die Prüfflüssigkeit bis über die Markierung M1 gesaugt. Nachdem die Prüfflüssigkeit den Vorratsbehälter (9) erreicht hatte, konnte das Saugen eingestellt werden und der Finger wieder von der Rohrleitung (1) genommen werden. Der Vorratsbehälter (5) entleerte sich schlagartig nach der Freigabe von Rohrleitung (1) und der Flüssigkeitsspiegel im Vorratsbehälter (9) sank langsam ab. Mit einer Stoppuhr wurde die Zeit, die der Flüssigkeitsspiegel zur Durchquerung des Raumes zwischen den Markierungen M1 und M2 brauchte, gemessen und notiert. Die Messung wurde nach dem Leerlaufen der Kapillare (7) mit identischen Kraftstoff und bei der selben Temperatur wiederholt. Diese Methode zur Messung der Durchlaufzeit wurde auf alle Kraftstoffe bei den Temperaturen 40°C und 90°C angewandt. Die Auswahl der Meßkapillare und damit der Gerätekonstanten erfolgte für die verschiedenen Kraftstoffe über Vorversuche.

Auswertung:

Die Auswertung erfolgt nach der DIN 51562.

Dabei wurde folgende Formel angewendet:

$$K \cdot t$$

\Rightarrow kin. Viskosität $mm^2 \cdot s$
 $K \Rightarrow$ Gerätekonstante $mm^2 \cdot s^2$
 $t \Rightarrow$ arithmetisches Mittel zweier Durchlaufzeitmessungen s

(4.7)

Nach der Formel (4.7) wurden für alle Kraftstoffe die kinematische Viskosität bei 40°C und 90°C berechnet. Danach erfolgte die Bestimmung der Richtungskonstante der Viskositäts-Temperatur-Geraden (VT-Gerade) nach DIN 51563. Die Richtungskonstante hat den Zweck, nach ihrer Bestimmung auch die Berechnung der

kinematische Viskositäten bei anderen Temperaturen ohne weitere Versuche zu ermöglichen.

Die Richtungskonstante berechnet sich nach folgenden Formeln:

$$m = \frac{W_1 W_2}{\lg T_2 \lg T_1}$$

$m \Rightarrow$ Richtungskonstante der VT Geraden 1
 $W_{1,2} \Rightarrow \lg \lg_{1,2} 0,8$
 $_{1,2} \Rightarrow$ Zahlenwert der kin. Viskosität mm^2/s
 $T_{1,2} \Rightarrow$ Prüftemperatur K

(4.8)

Nach der Bestimmung der Richtungskonstante wird die Formel (4.8) nach der kinematischen Viskosität umgestellt, um so kinematische Viskositäten in Abhängigkeit der Temperatur berechnen zu können:

$$x = 10^{10^m \lg T_2 \lg T_x W_2} 0,8$$

$x \Rightarrow$ ausgewählte Temperatur

(4.9)

4.3.4.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abbildung 4.6 dargestellt:

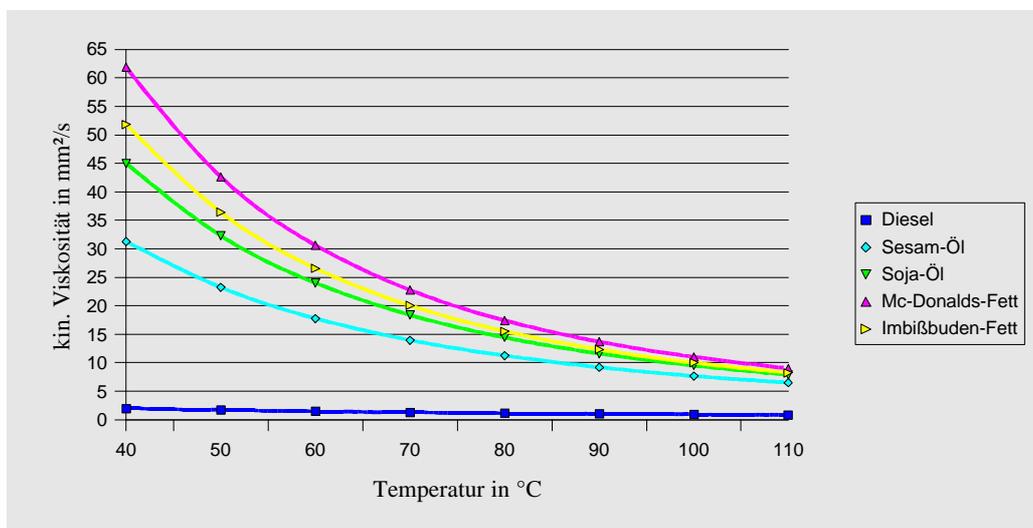


Abbildung 4.6 kinematische Viskosität der Kraftstoffe als Funktion der Temperatur

Hier wurde festgestellt, daß die Pflanzenkraftstoffe eine bis zu 30fach höhere kinematische Viskosität bei 40°C haben, als der Dieselkraftstoff.

Bei 90°C haben die Pflanzenkraftstoffe immer noch eine bis zu 13fach höhere Viskosität. Beim Vergleich des Dieselkraftstoffes bei Raumtemperatur mit den Pflanzenkraftstoffen bei höheren Temperaturen wird festgestellt, daß sich die kinematische Viskosität der Pflanzenkraftstoffe immer mehr der des Dieselkraftstoffes annähert. Die kinematische Viskosität des Dieselkraftstoffes beträgt bei Zimmertemperatur ungefähr 2-8 mm²/s (DIN 51601). Diese Werte werden von den Pflanzenkraftstoffen bei 110°C erreicht.

5 Versuchsfahrzeuge und Fahrzeugmessungen

5.1 Versuchsfahrzeuge

Die Versuchsfahrzeuge haben alle grundsätzlich den selben Umbausatz zum Betrieb mit Pflanzenkraftstoff. Dieser besteht aus folgenden Hauptgruppen:

- kühlwasserbeheizte Tank- und Leitungsanlage
- Filter mit Thermostat gesteuerter Kraftstoffheizung
- Magnetventil gesteuerte Umschaltvorrichtung Diesel-/Pflanzenkraftstoffbetrieb

Funktionsprinzip:

Das Fahrzeug startet im kalten Zustand mit Dieselkraftstoff oder Rapsölmethylester (RME). Sobald der Fahrzeugmotor und der Pflanzenkraftstoff im beheizten Tank ihre Betriebstemperatur erreicht haben, kann auf Pflanzenkraftstoffbetrieb umgeschaltet werden. Vor dem Abstellen des Motors muß das Einspritzsystem wieder mit Dieselkraftstoff oder RME gespült werden. Die Menge an Spülkraftstoff ist abhängig von den erwarteten Motortemperaturen beim Neustart. Dieser Spülvorgang erfolgt meistens in dem letzten Fahrtabschnitt, kann aber auch im Stand erfolgen. Der Betrieb mit Pflanzenkraftstoff ist für den Benutzer, bis auf das Umschalten und Spülen, ohne merklichen Unterschied gegenüber dem reinen Dieselbetrieb.

Die Fahrzeugdaten und die Daten zum Umbau auf Pflanzenkraftstoffbetrieb der einzelnen Fahrzeuge befinden sich in den folgenden Tabellen:

	„Lohmann“ (Allgemeine- Messungen)	„Kraft“ (Langzeitversuch)	„Rieger“ (Langzeitversuch)
--	--	--------------------------------------	---------------------------------------

Allgemein:

Hersteller	Opel	Opel	Opel
Fahrzeugtyp	Astra Caravan	Astra Caravan	Astra Caravan
Erstzulassung	April '94	April '97	Mai '98
Fahrzeuggewicht	1090 kg	1130 kg	1140 kg

Motordaten:

Typ	Vorkammermotor ohne Abgasturboaufladung	Vorkammermotor mit Abgasturboaufladung	Motor mit Direkteinspritzung und Abgasturboaufladung
Hubraum	1700 ccm	1700 ccm	1995 ccm
Leistung	44 KW	50 KW	66 KW
Einspritzpumpe	innendruckgeregelte, mechanische Verteiler-Einspritzpumpe	innendruckgeregelte, mechanische Verteiler-Einspritzpumpe	elektronisch geregelte, magnetventilgesteuerte Verteiler-Einspritzpumpe

Umbau auf Pflanzenkraftstoff:

Umbaudatum/- Kilometerstand	30.9.97 71.300 km	Febr. '98 ca. 40.000 km	28.8.98 7167 km
Abschlußdatum/- Kilometerstand	26.11.98 114.369 km	22.12.98 ca. 80.000 km	14.12.98 18.558 km
Pflanzenkraftstoff- Verbrauch	1860,5 L	420 L seit 1.9.98 (72.060 km)	305 L
Dieselmotorkraftstoff / RME-Verbrauch	130,5 L / 315,5 L	40 L /- seit 1.9.98 (72.060 km)	264 L / -
Fahrtstrecken	<ul style="list-style-type: none"> • täglich 7 km einfach zur Arbeit • viele längere Zusatzfahrten im Stadt- und Überlandbereich 	<ul style="list-style-type: none"> • hauptsächlich Autobahn-Langstrecken 	<ul style="list-style-type: none"> • täglich 38 km einfach zur Arbeit • kaum weitere Zusatzfahrten

Die Tatsache, daß nur Opel Astra Caravan untersucht wurden ist reiner Zufall. Der Umbausatz ist auf alle Dieselfahrzeuge anwendbar. Die Auswahl der untersuchten Fahrzeuge erfolgte nach folgenden Gesichtspunkten:

- ständige Verfügbarkeit für die Untersuchungen mit verschiedenen Kraftstoffen und Kraftstofftemperaturen (⇒ Lohmann-Fahrzeug)
- hohe Kilometerleistungen für die Langzeituntersuchungen (⇒ Kraft-Fahrzeug)
- Möglichkeit einer Langzeituntersuchung an einem neuen Dieselfahrzeug mit Direkteinspritzung (⇒ Rieger-Fahrzeug)

Unter diesen Gesichtspunkten wurden die oben beschriebenen drei Fahrzeuge als die Geeignetsten ausgewählt.

5.2 Fahrzeugmessungen

In diesem Kapitel werden die Messungen, die an den Fahrzeugen durchgeführt wurden, beschrieben. Diese Messungen werden in zwei Bereiche unterteilt.

Der erste Bereich befaßt sich mit der Leistungs- und Schwärzungszahlmessung, sowie der Bestimmung des Gesamtwirkungsgrades bei Voll- und Teillast und bei verschiedenen Kraftstofftemperaturen.

Der zweite Bereich umfaßt die Abgas-Emissionen der Fahrzeuge nach dem EG-Test mit verschiedenen Kraftstoffen und Kraftstofftemperaturen.

5.2.1 Allgemeiner Versuchsaufbau

Zu den allgemeinen Versuchsaufbauten gehören die Anlagenteile, die für alle Fahrzeugmessungen verwendet wurden. Dazu zählen der Rollenprüfstand und der externe Kraftstofftank mit Heizung und Volumenstrommesser.

5.2.1.1 Rollenprüfstand

Der Rollenprüfstand mit der Bezeichnung 364/30 sowie die daran angebrachte hydraulische Leistungsbremse mit der Bezeichnung U1-30 stammen von der Firma Schenk in Darmstadt.

Der Rollenprüfstand hat folgende technische Daten [18]:

- Maximal aufnehmbare Leistung: 220 KW
- Maximal aufnehmbare Zugkraft: 7500 N
- Maximal anzeigbare Zugkraft: 5000 N
- Maximal zulässige Prüfgeschwindigkeit: 220 km/h
- Zulässige Achsenlast auf den Rollen: 2000 kg
- Laufrollendurchmesser: 364 mm
- Laufrollenlänge: 2150 mm

Die Leistungsbremse ist an der vorderen Rolle des Prüfstandes angebracht. An einem Hebelarm der Leistungsbremse ist eine Kraftmeßdose montiert. Unter Berücksichtigung des Übersetzungsverhältnis Rollenradius zu Hebelarmlänge wird die Zugkraft, die am Fahrzeug anliegt, mittels einer Steuereinheit und der Kraftmeßdose berechnet und zur Anzeige gebracht. Gleichzeitig ist an der hinteren Rolle ein Geschwindigkeitsgeber angebracht. Die gemessene Geschwindigkeit wird ebenfalls durch die Steuereinheit zur Anzeige gebracht. Weiterhin berechnet die Steuereinheit aus diesen Daten nach der Formel

$$\begin{array}{l} P \quad F \quad v \\ P \Rightarrow \text{Leistung } W \\ F \Rightarrow \text{Zugkraft } N \\ v \Rightarrow \text{Geschwindigkeit } m \ s \end{array} \quad (5.1)$$

die Leistung und zeigt diese an. Die Bremse hat zwei Einstellmöglichkeiten zur Regulierung der Leistung:

Als erstes durch die Verdrehung des Schöpfrohres (Grobjustierung) und zweitens durch die Regulierung des Wasservolumenstromes (Feinjustierung). Diese Leistungsbremse kann aber trotz dieser zwei Einstellmöglichkeiten nur für einen Punkt einer Lastkurve geeicht werden.

Das folgende Diagramm zeigt eine willkürliche Lastkurve aus den Vorversuchen:

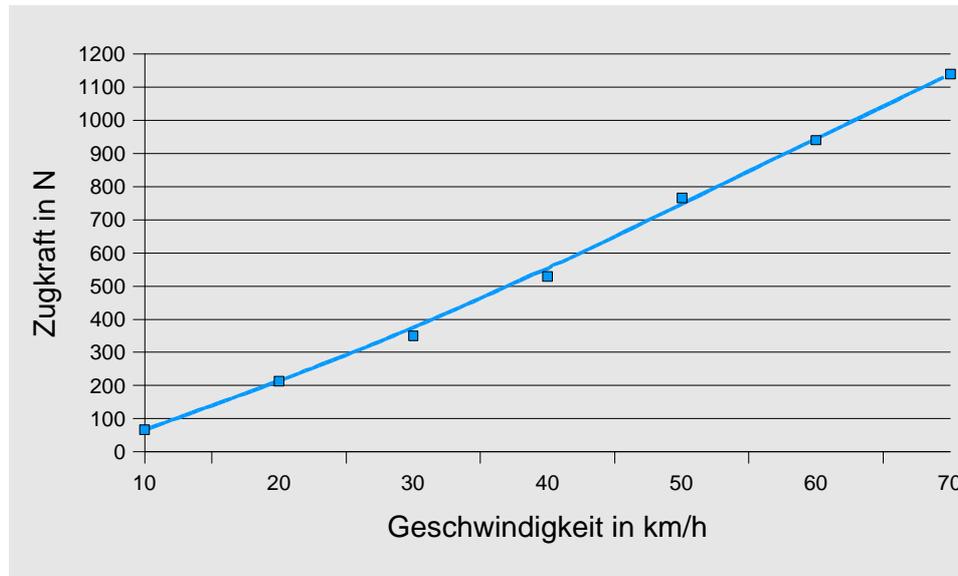


Abbildung 5.1 Bremskraft als Funktion der Geschwindigkeit

Das Diagramm 5.1 zeigt eine lineare Abhängigkeit der Bremskraft von der Geschwindigkeit. Diese Kurvenart entspricht aber nicht einer Fahrwiderstandskurve. Der Fahrwiderstand setzt sich aus den Komponenten Rollreibung und Luftwiderstand zusammen, wobei die Rollreibung nahezu konstant über der Geschwindigkeitsänderung ist, steigt der Luftwiderstand und damit die Widerstandskraft quadratisch mit der Geschwindigkeit an. Diese Abweichung der Fahrwiderstandskurve ist eine Fehlerquelle, die für die Abgasmessung relevant war. Auf die vorderen Rolle wirkt zusätzlich zur Leistungsbremse eine Schwungmasse, die eine Fahrzeugmasse von 1463 kg [17] simuliert. Diese Schwungmasse kann zur Leistungsmessung abgekoppelt werden. Der Rollenprüfstand hat ohne diese Schwungmasse ein Trägheitsmoment von $14,95 \text{ kg/m}^2$ [17] was einer simulierten Fahrzeugmasse von 451 kg entspricht.

5.2.1.2 Externer Kraftstofftank mit Volumenstrommesser

Tank:

Der verwendete externe Kraftstofftank wurde für frühere Diplomarbeiten [20], die die Eignung von tierischen Altfetten untersuchten, gebaut. Er besteht aus Edelstahl und hat ein Fassungsvermögen für ca. 20 L Kraftstoff. In Bodennähe sind elektrische

Heizspiralen angebracht, die thermostatgesteuert den Kraftstoff erhitzen. Die Temperatureaufnahme für das Thermostat erfolgte über einen PT 100 Meßwiderstand der in Höhe der Kraftstoffentnahmestelle angebracht war. Das Thermostat hatte einen Regelbereich von ca. $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Mit einer manuellen Regelung der Temperatur durch das Ein- und Ausschalten der Heizstäbe konnte eine Regelbereich von $\pm 3^{\circ}\text{C}$ eingehalten werden. Alle Messungen wurden daher mit der manuellen Regelung der Kraftstofftemperatur durchgeführt.

Volumenstrommesser:

Im Kraftstoffbehälter war ein Volumenstrommesser montiert. Dieser wurde ebenfalls für die Altfett-Untersuchungen früherer Diplomarbeiten [19] konstruiert und gebaut. Das Meßgerät besteht in der Hauptsache aus einem Rohr und einem Schwimmer mit einer Fahne, die eine Aussparung hat. Die Länge der Aussparung entspricht im Zusammenhang mit dem Rohrdurchmesser einem Meßvolumen von 50 ccm.

Der Volumenstrommesser hat drei Öffnungen. Eine Einspritzpumpenein- und ausgangsöffnung sowie eine Öffnung zum Kraftstoffbehälter, die durch ein Magnetventil verschlossen werden konnte.

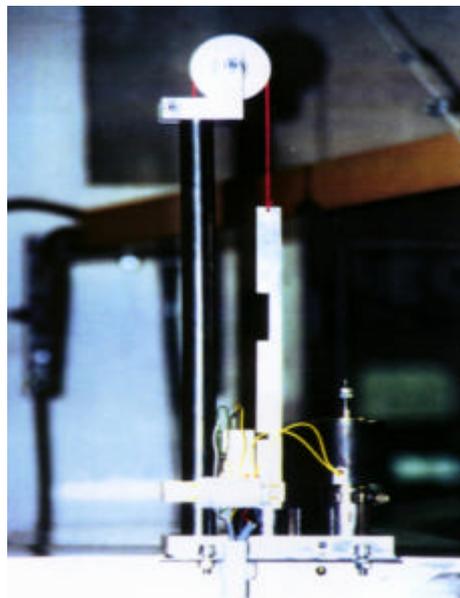


Abbildung 5.2 oberer Teil des Volumenstrommessers
mit Fahne und Aussparung

Die eigentliche Messung funktioniert nach folgendem Prinzip:

Bei geöffnetem Magnetventil war der Kraftstoffspiegel im Meßgerät genauso hoch wie im Kraftstoffbehälter. Der Schwimmer mit der Fahne schwamm auf dem Kraftstoff. Das Magnetventil wurde betätigt und somit die Verbindung zwischen Kraftstoffbehälter und Volumenstrommesser verschlossen. Der vom Dieselmotor verbrauchte Kraftstoff ließ den Kraftstoffspiegel und damit den Schwimmer mit der Fahne absinken. Die Aussparung an der Fahne öffnete und schloß dann eine Lichtschranke, die wiederum einen Timer aktivierte und deaktivierte. An diesem Timer konnte zum Schluß die Zeit, die für den Verbrauch von 50 ccm Kraftstoff vergangen war, abgelesen werden. Durch das Öffnen des Magnetventils nach der Messung floß wieder neuer Kraftstoff in das Meßgerät hinein und den Flüssigkeitsspiegel wurde wieder auf das Niveau des Kraftstoffbehälters angehoben.

5.2.2 Leistung und Schwärzungszahl nach Bosch

Die Leistungsmessung wurde durchgeführt, um die Eignung der Pflanzenkraftstoffe im Vergleich zum Dieselmotorkraftstoff nachzuweisen. Weiterhin wurde mit der Leistungsmessung im Teil- und Vollastbereich der Einfluß der Kraftstofftemperatur untersucht. Hierbei wurden Kraftstofftemperaturen von 50°C bis 100°C untersucht. Zusätzlich zur Leistung wurde immer parallel die Schwärzungszahl nach Bosch, sowie der Kraftstoffvolumenstrom gemessen.

5.2.2.1 Versuchsdurchführung

Leistung:

Die Versuchsdurchführung unterscheidet zwischen den Messungen, die bei Vollast und denen, die bei Teillast durchgeführt worden sind. Hierbei sollte die Leistung über den kompletten Drehzahlbereich gemessen werden. Es wurde in Schritten von ca. 500 U/min gemessen was im vierten Gang bei allen Fahrzeugen Schritten von ca. 15 km/h entspricht. Dieser erste Abgleich zwischen Drehzahl und gefahrener Geschwindigkeit im vierten Gang wurde mit einem externen Drehzahlmesser, der an der Einspritzleitung angeschlossen war, durchgeführt. Die Messungen wurden bei

1500 U/min (50 km/h) begonnen und ging bis 4500 U/min (140 km/h). Protokolliert wurde immer die Geschwindigkeit. Bei der Leistungsmessung wurde der Rollenprüfstand ohne zusätzliche Schwungmasse verwendet, da so die Trägheit und damit die Wahrscheinlichkeit eines Meßfehlers verringert werden konnte.

Alle Leistungsmessungen wurden aufgrund der großen Wärmeströme, die abgeführt werden mußten, mit geöffneter Motorhaube und einem leistungsstarken Gebläse (424 m³Luft/min u. 3,8 KW) vor dem Kühler durchgeführt.

Schwärzungszahl nach Bosch [21]:

Parallel zur Leistungsmessung wurde immer die Schwärzungszahl nach Bosch mitbestimmt. Diese Schwärzungszahl ist ein Maß für den Rußgehalt und damit für die vollständige Verbrennung des Gemisches bei Motoren. Dazu wurde ein Meßgerät mit der Bezeichnung Smoke Meter Typ 409 der Firma AVL-Deutschland verwendet.

Prinzip der Schwärzungszahlbestimmung:

Eine gerade Meßstrecke, die mit dem Auspuff verbunden war, diente zur Sondenaufnahme. Diese Meßstrecke hatte den selben Innendurchmesser wie das Auspuffrohr. Mittels der Sonde wurde vom Meßgerät eine bestimmte Menge Abgas (1 Liter) entnommen. Diese Abgasmenge wurde durch ein ein Quadratzentimeter großes Filterpapier, das vor jeder Messung automatisch erneuert wurde, geleitet. Auf dem Filterpapier setzten sich die Rußpartikel ab. Die dabei durch den Ruß verursachte Schwärzung des Papiers wurde durch Reflektionsphotometer (Lichtquelle und Photozelle) gemessen. Diese Schwärzung wurde als Schwärzungszahl nach Bosch zur Anzeige gebracht.

Beim Rieger-Fahrzeug konnte die Schwärzungszahl nicht gemessen werden. Aufgrund der niedrigeren Abgastemperaturen kondensierte das Wasser, das im Abgas vorhanden war, im Gerät. Diese niedrigen Abgastemperaturen beruhen auf dem guten Wirkungsgrad des Motors mit Direkteinspritzung und der Abgasturboaufladung. Das Wasser hat den Ruß gebunden und ist tropfenweise auf das Meßpapier gesprüht. Dies verfälschte die Meßergebnisse. Der Versuch zur Bestimmung der Schwärzungszahl wurde nach einer Reinigung des Geräts nochmals wiederholt. Im Meßgerät kondensierte aber wiederum das Wasser aus

dem Abgas. Die Messung der Schwärzungszahl blieb aus diesem Grund bei dem Rieger-Fahrzeug aus.

5.2.2.2 Vollastmessungen

Die Vollastmessungen wurden mit allen Kraftstoffen, sowie mit allen Temperaturen durchgeführt. Dabei wurde jeder Geschwindigkeitspunkt (50-140 km/h) angefahren. Durch die Schöpfradverstellung wurde die abgeführte Leistung der Bremse an die des Motors bei der bestimmten Geschwindigkeit grob angepaßt. Durch die Feinjustierung über die Veränderung des Kühlwasser-Volumenstromes der Leistungsbremse konnte die Leistung der Bremse an die des Motors angepaßt und protokolliert werden. Nach der Einstellung der Bremslast wurde der Volumenstrommesser aktiviert. Nach dem Durchlaufen des Prüfvolumens von 50 ccm konnte die Durchlaufzeit notiert werden. Parallel dazu wurde die Schwärzungszahl (SZ) gemessen. Diese Messung der SZ wurde, aufgrund der ständigen hohen Abweichungen, jeweils drei mal durchgeführt und protokolliert. Das beschriebene Meßverfahren ließ sich auf jeden Geschwindigkeitspunkt, jeden Kraftstoff, sowie jede Kraftstofftemperatur anwenden.

Die Abbildung auf der nächsten Seite zeigt ein Meßprotokoll einer solchen Vollastleistungsbestimmung:

Schwärzungszahl und Leistungsmessung

Datum: 16.10.98

Fahrzeug: Opel Astra (Lohmann)

Geriebegang: 4.

Kraftstoff: Soja

Kilometerstand: 109573

Atmosphärische Daten:

Lufttemperatur in °C: 19

rel. Luftfeuchtigkeit in %: 71

Luftdruck in mbar: 956

Drehzahl	Geschwindigkeit		Leistung	Kraftstoff- durchlauf	Kraftstoff- temp.	SZ 1	SZ 2	SZ 3
[1/min]	[km/h]		[KW]	[s/50cm ³]	[°C]	[l]	[l]	[l]
ca. 1500	50	50	13,6	27,48	70,2	8,0	7,4	7,2
ca. 2000	66	65	18,7	19,00	71,4	8,4	8,6	8,4
ca. 2500	80	80	23,6	16,24	70,9	7,4	7,6	7,4
ca. 3000	95	95	27,1	13,28	72,0	7,4	7,2	7,4
ca. 3500	110	110	30,7	11,28	70,0	7,8	7,0	7,8
ca. 4000	125	125	31,5	10,00	67,3	8,2	7,2	7,2
ca. 4500	140	140	33,2	9,44	71,0	5,4	5,2	5,6

Abbildung 5.3 Meßprotokoll einer Leistungsbestimmung

5.2.2.3 Teillastmessungen

Die Teillastversuche fanden nur in Verbindung mit den Messungen zur Temperaturanalyse mit dem Lohmann-Fahrzeug statt. Die Messungen wurden bei den verschiedenen Lastzuständen 50%, 67% und 84% gefahren. Dabei wurden die Teillasteinstellungen, unter Zuhilfenahme der Meßprotokolle mit Soja-Öl bei Vollast, bestimmt. Die Werte wurden dabei immer auf 0,5 KW gerundet.

Die folgende Tabelle zeigt die bei Teillast verwendeten Einstellungen:

Geschwindigkeit	100% Last (Ausgangswert)	84% Last	67% Last	50% Last
50 km/h	12,4 KW	10,0 KW	8,0 KW	6,0 KW
65 km/h	18,4 KW	15,0 KW	12,0 KW	9,0 KW
80 km/h	23,4 KW	19,0 KW	15,5 KW	11,5 KW
95 km/h	27,0 KW	22,5 KW	18,0 KW	13,5 KW
110 km/h	29,9 KW	25,0 KW	20,0 KW	15,0 KW
125 km/h	31,3 KW	25,5 KW	20,5 KW	15,5 KW
140 km/h	32,1 KW	27,0 KW	21,0 KW	16,0 KW

Abbildung 5.4 Ausgangswerte der vorgegebenen Leistung für die Messungen bei Teillast

Für die Messungen bei Teillast stellte der Fahrer, nach dem Einregeln der richtigen Kraftstofftemperatur, durch die Verstellung des Schöpfrades und des Volumenstromes der Leistungsbremse, den vorgegebenen Wert für die Leistung und die Geschwindigkeit ein. Nach der Anpassung der Leistung an die Geschwindigkeit behielt der Fahrer den vorgegebenen Zustand durch die Variation des Gaspedals bei. Dieses war um so schwieriger, je länger die Messung dauerte. Nachdem der vorgegebene Zustand erreicht war, wurde die Volumenstrommessung und die Bestimmungen der Schwärzungszahlen durchgeführt. Protokolliert wurde anschließend die während den Messungen vorgelegene Leistung, die Zeit, die zum Verbrauch der 50 ccm Kraftstoff benötigt wurde und die Werte der Schwärzungszahlmessung. Das Protokollblatt entspricht dem der Vollastmessung. Dieses beschriebene Verfahren konnte auf alle Geschwindigkeiten, Lastzustände und Kraftstofftemperaturen angewendet werden.

Kleinere Lastzustände als 50% wurden aufgrund des hohen Meßfehlers im

Zusammenhang mit der Volumenstrommessung nicht durchgeführt. Die Begründung lag darin, daß bei kleinen Lasten der Verbrauch des Kraftstoffes immer mehr zurück ging. Damit stieg die Zeit, die zum Verbrauch des Meßvolumens von 50 ccm benötigt wurde und in der der Fahrer die Last und Geschwindigkeit konstant halten mußte, gleichermaßen an. Dieses Konstanthalten war über eine lange Zeitspanne nur sehr schwer möglich und gelang nur innerhalb eines Fensters. Je länger der Zeitraum zum Verbrauch des Meßvolumens war, desto größer war das Fenster und desto ungenauer wurden die Meßergebnisse.

5.2.2.4 Auswertung

Die Auswertung aller Leistungsmessungen erfolgte mit dem Tabellenkalkulationsprogramm StarCalc 5.0. Zuerst wurden die Daten des Protokollblattes in das Programm übertragen. Berechnet wurden dann die reduzierte Leistung nach DIN 70020, die indizierte Leistung, der effektive Wirkungsgrad, sowie der Mittelwert der Schwärzungszahlen. Die für die Berechnung notwendigen Stoffeigenschaften Dichte und Heizwert wurden im Kap. 4.3 beschrieben. Für die Berechnungen wurden folgende Formeln angewendet:

- **reduzierte Leistung nach DIN 70002**

$$P_{\text{redu}} = P_{\text{gem}} \frac{p_{\text{gem}}}{p_{\text{norm}}} \frac{T_{\text{Norm}}^{0,5}}{T_{\text{gem}}}$$

P_{redu} ⇒ reduzierte Leistung KW

P_{gem} ⇒ am Prüfstand abgelesene Leistung KW

p_{gem} ⇒ während der Messung vorgelegener Luftdruck mbar

p_{norm} ⇒ Normluftdruck von 1013 mbar

T_{gem} ⇒ während der Messung vorgelegene Temperatur K

T_{norm} ⇒ Normtemperatur von 293 K

(5.2)

- **indizierte Leistung**

$$P_{ind} = m H_u V H_u \frac{H_u}{t_{Durch}} 0,05 m^3$$

P_{ind} \Rightarrow indizierte Leistung KW

m \Rightarrow Massenstrom kg s

H_u \Rightarrow Heizwert KJ kg

\Rightarrow Dichte kg m³

V \Rightarrow Volumenstrom m³ s

t_{Durch} \Rightarrow Durchlaufzeit des Meßvolumens s

0,05 m³ \Rightarrow 50 ccm Meßvolumen

(5.3)

- **Gesamtwirkungsgrad**

$$P_{ges} = \frac{P_{gem}}{P_{ind}}$$

P_{ges} \Rightarrow Gesamtwirkungsgrad 1

P_{gem} \Rightarrow am Prüfstand abgelesene Leistung KW

P_{ind} \Rightarrow indizierte Leistung KW

(5.4)

- Die **mittlere Schwärzungszahl** ist das arithmetische Mittel der Einzelmessungen.

Die Messungen wurden im Bereich der Kraftstoffanalyse zweimal durchgeführt. Nach der Auswertung wurden die zwei Ergebnisse arithmetisch gemittelt. Bei der Temperaturanalyse wurden die Messungen nur einmal durchgeführt, so daß die Bildung des Mittelwertes entfiel.

Nach der Berechnung konnten folgende Meßdaten als Diagramm ausgegeben werden:

- reduzierte Leistung als Funktion der Geschwindigkeit
- Gesamtwirkungsgrad als Funktion der Geschwindigkeit
- Schwärzungszahl nach Bosch als Funktion der Geschwindigkeit

Die folgenden Abbildungen zeigt eine Beispiel-Auswertung mit den Meßdaten des Beispiels aus Kap. 5.2.2.2 :

Leistungsmessung und Messung der Schwärzungszahl

Datum: 16.10.98
Fahrzeug: Opel Astra Caravan 1,7l D (Lohmann)
Kilometerstand: 110 Tkm

Atmosphärische Daten:
 Lufttemperatur in °C: 19
 Rel. Luftfeuchte in %: 71
 Luftdruck in mbar: 956

Prüfgestaltung:
 Kraftstoff: Soja-Öl
 Kraftstofftemp.: 70
 Last in %: 100
 Gangwahl: 4
 Heizwert in MJ/kg: 36,5
 Dichte in kg/m³: 867

v	P _{gem}	P _{red}	t _{durchfluß}	P _{ind}	η _{ges}	SZ 1	SZ 2	SZ 3	SZ _{mit}
0	0	0	0	0					
50	13,6	12,86	27,48	57,58	0,236	8	7,4	7,2	7,53
65	18,7	17,68	19	83,28	0,225	8,4	8,6	8,4	8,47
80	23,6	22,31	16,24	97,43	0,242	7,4	7,6	7,4	7,47
95	27,1	25,62	13,28	119,15	0,227	7,4	7,2	7,4	7,33
110	30,7	29,02	11,28	140,27	0,219	7,8	7	7,8	7,53
125	31,5	29,78	10	158,23	0,199	8,2	7,2	7,2	7,53
140	33,2	31,39	9,44	167,61	0,198	5,4	5,2	5,6	5,4

Berechnung der reduzierten Leistung:
$$P_{redu} = P_{gem} \frac{P_{gem}}{P_{norm}} \frac{T_{Norm}^{0,5}}{T_{gem}}$$

Berechnung der indizierten Leistung:
$$P_{ind} = m H_u V H_u \frac{H_u}{t_{Durch}} 0,05 m^3$$

Berechnung des Gesamtwirkungsgrad:
$$\eta_{ges} = \frac{P_{gem}}{P_{ind}}$$

Abbildung 5.5 Auswertung der Vollastleistungsmessung
mit 70°C warmen Sojakraftstoff

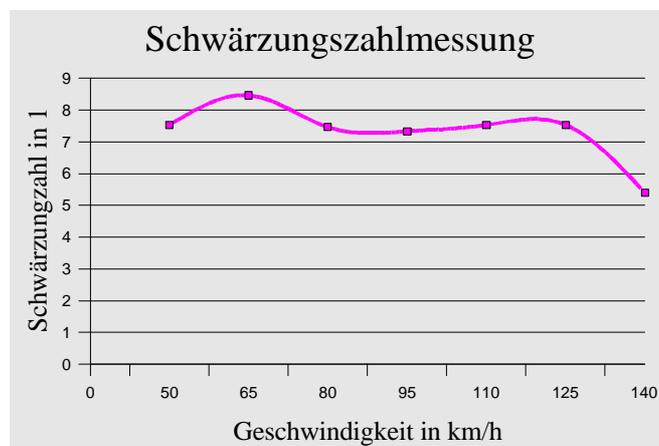
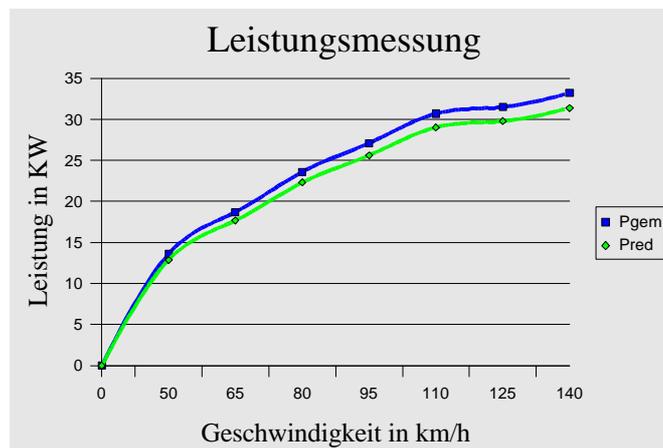
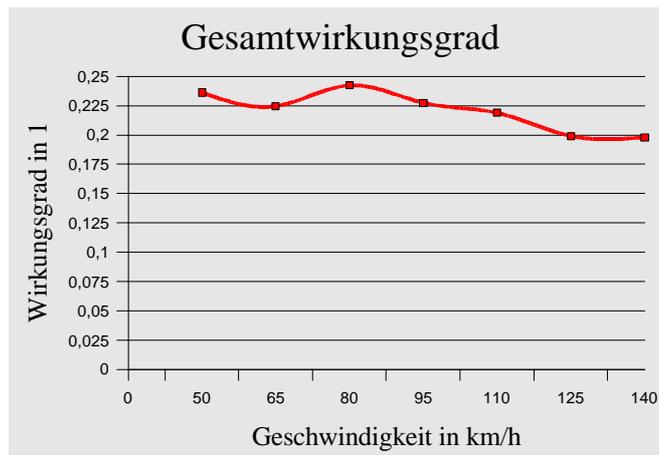


Abbildung 5.6 Diagramme zur Vollastmessung mit 70°C warmen Sojakraftstoff

5.2.3 Messung der Abgas-Emissionen

Abgas-Emissionen sind für die Beurteilung eines Motorkonzepts von großer Bedeutung. Dabei wird zwischen den vom Gesetzgeber limitierten und den unlimitierten Abgas-Emissionen unterschieden.

Zu den **limitierten Abgas-Emissionen** gehören:

- Kohlenwasserstoffe (HC)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Stickoxide (NO_x)
- Partikel (bei Dieselmotoren)

Zu den wichtigsten **unlimitierten Abgas-Emissionen** gehören:

- Kohlendioxid (CO₂)
- Aldehyde und Ketone
- Polyzyklische aromatisch Kohlenwasserstoffe (PAH)

Während dieser Diplomarbeit konnten mit der Anlage CO, CO₂, NO_x und HC gemessen werden. Diese Abgaskomponenten wurden angelehnt an die EG-Richtlinie 70/220/EWG Typ I gemessen. Diese Richtlinie wurde in manchen Bereichen aus Gründen, die mit den Meßaufbau oder mit dem Fahrzeug zusammenhängen nicht eingehalten. Die Abweichungen von der Richtlinie wurden in den einzelnen Unterkapiteln beschrieben und begründet.

Die Richtlinie findet normalerweise im Rahmen der Prüfungen für die Typenzulassung von Kraftfahrzeugen ihre Anwendung.

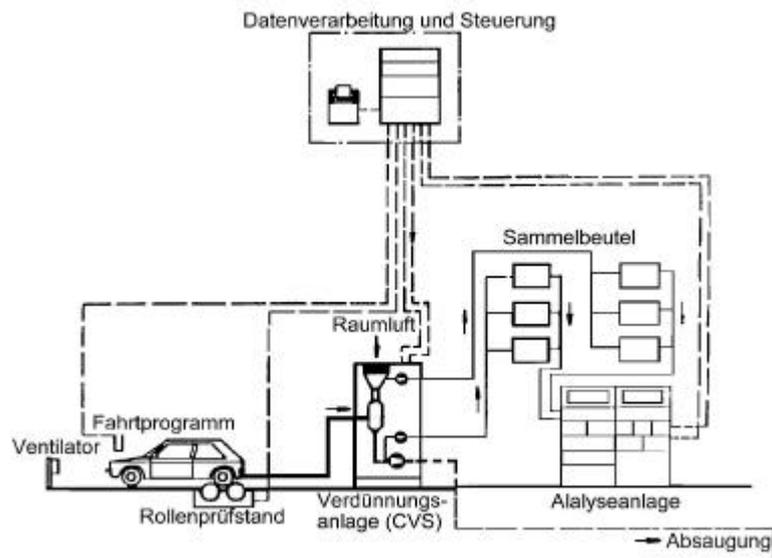
Kurze Versuchsbeschreibung:

Abbildung 5.7 Schema der verwendeten Anlage zur Abgas-Emissionsmessung

Bei der Abgasanalyse nach der EG-Richtlinie 70/220/EWG Typ I wurde ein bestimmter Fahrzyklus von dem zu prüfenden Kfz. auf einem Rollenprüfstand durchfahren. Dieser Fahrzyklus bestand aus vier Abschnitten, die den Stadtverkehr simulierten und einem Abschnitt der eine Überlandfahrt simulierte. Die Abgase, die dabei emittierten, wurden im „Constant Volume Sampling Verfahren“ (CVS-Verfahren) mit Umgebungsluft verdünnt. Aus dem verdünnten Abgas wurden fortlaufend Proben entnommen und in einem Beutel gesammelt. Zusätzlich zu dem verdünnten Abgas wurden auch fortlaufend Proben aus der Luft, die zur Verdünnung verwendet wurde, in einem anderen Beutel gesammelt. Nachdem der Fahrzyklus beendet war, konnten die beiden Beuteln analysiert werden. Es war möglich, anhand der gewonnenen Daten die Abgas-Emissionen die während des Fahrzykluses emittiert wurden, mit einem eigens dafür geschriebenen Programm zu berechnen.

5.2.3.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau zur Abgasanalyse bestand aus drei Hauptbestandteilen:

- Rollenprüfstand und Fahrprogramm
- CVS-Anlage zur Abgasverdünnung und Sammlung

- Abgas-Analyseeinheit

5.2.3.1.1 Rollenprüfstand und Fahrprogramm

Der Rollenprüfstand wurde im Kap. 5.2.1.1 beschrieben.

Der Rollenprüfstand entsprach mit der ausgeführten Leistungsbremse nicht der EG-Richtlinie 70/220/EWG, da sie nur für eine Geschwindigkeit justierbar war. Weiterhin zeigte die Leistungsbremse einen linearen Zusammenhang zwischen der Bremskraft und der Geschwindigkeit. Dies entspricht nicht der Realität eines Fahrzeuges. Beim Fahrzeug besteht im Gegensatz dazu ein proportionaler Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und Bremskraft. Dies bedeutet, daß bei einer Justierung der Leistungsbremse bei 80 km/h die Bremskraft im unteren Geschwindigkeitsbereich (kleiner 80 km/h) zu hoch eingestellt war und im oberen Bereich (größer 80 km/h) zu niedrig eingestellt war. Die Werte für die Justierung der Leistungsbremse entsprechen dem Fahrwiderstand des Fahrzeuges. Da die Fahrwiderstände nicht bekannt waren, wurde eine Fahrwiderstandsbestimmung durchgeführt.

5.2.3.1.1.1 Bestimmung des Fahrwiderstands

Die Bestimmung des Fahrwiderstands wurde nach der EG-Richtlinie 70/220/EWG Typ I bei 80 km/h durchgeführt. Als Fahrstrecke für die Fahrwiderstandsbestimmung wurde der Taxi-Way des ehemaligen Flughafens Neubiberg ausgewählt. Die in der Richtlinie beschriebenen Rahmenbedingung wurden bei der Messung erfüllt. Die Messung der Geschwindigkeit und der Zeit erfolgte mit einem Peisselerrad, das am Heck des Fahrzeuges montiert war und dem dazugehörigen Auswertegeräte.

Versuchsablauf:

Nach der Montage des Peisselerrad und dem Überprüfen und Einstellen der Rahmenbedingungen, sowie der Überführung auf die Meßstrecke, wurde das Fahrzeug auf 90 km/h beschleunigt und dann ausgekuppelt. Anschließend wurde das Meßgerät gestartet. Das Fahrzeug mußte bis unter 75 km/h ausrollen. Das Meßprotokoll aus dem Auswertegerät konnte entnommen werden. Die beschriebene Messung wurde in jede Richtung des Taxi-Way zweimal durchgeführt. Aus den

Meßprotokollen wurde anschließend die Zeit, die zwischen 85 und 75 km/h vergangen war, herausgelesen.

Auswertung:

Die Auswertung erfolgte ebenfalls nach der EG-Richtlinie 70/220/EWG. Aus den vier Meßzeiten wurde das arithmetische Mittel gebildet. Anschließend wurde mit der folgenden Formel der Fahrwiderstand bei 80 km/h bestimmt:

$$P_{Fahr} = M v \frac{v}{500 T}$$

P ⇒ Fahrwiderstandsleistung KW

M ⇒ Bezugsmasse kg

v ⇒ Prüfgeschwindigkeit m s

v ⇒ Abweichung der Geschwindigkeit von der Prüfgeschwindigkeit m s

500 ⇒ Umrechnungsfaktor

T ⇒ mittlere Verzögerungszeit s

(5.5)

Zur Abgas-Emissionsmessung wurde ein Rollenprüfstand verwendet, der eine feste Schwungmasse von $m=1463$ kg hatte [17]. Die verwendeten Fahrzeuge hatten aber alle ein geringeres Bezugsgewicht. Dieser Fehler wurde versucht, durch eine Veränderung des Fahrwiderstands, zu kompensieren. Dabei lagen folgende physikalischen Gesetzmäßigkeiten zugrunde:

$$P_{Schw} = F v = m a v = m_{Fahrzeug} m_{Prüfstand} a v$$

P_{Schw} ⇒ Änderung der Fahrwiderstandsleistung KW

$m_{Fahrzeug}$ ⇒ Bezugsmasse des Fahrzeugs kg

$m_{Prüfstand}$ ⇒ vom Prüfstand simulierte Masse kg

a ⇒ aus dem Fahrzyklus gemittelte Beschleunigung $m s^{-2}$

v ⇒ Prüfgeschwindigkeit m s

(5.6)

Ein Fahrzyklus besteht aus Phasen konstanter Geschwindigkeit, sowie Beschleunigungs-, Verzögerungs- und Stillstandsphasen. Eine falsche Schwungmasse hat nur auf die Beschleunigungsphase Einfluß. Ein Ausgleich der falschen Schwungmasse, durch die Veränderung des Fahrwiderstands, hat auf die

Beschleunigungsphase und auf die Phase der konstanten Geschwindigkeit Einfluß. Das heißt, daß eine direkter Ausgleich der Schwungmasse, durch eine Fahrwiderstandsveränderung, nicht ohne das Einbringen eines Fehlers für die Phase der konstanten Geschwindigkeit möglich ist. Wenn aber neben den Beschleunigungsphasen auch die Phasen der konstanten Geschwindigkeit mit in die Berechnung der mittleren Beschleunigung einfließt, ist eine Kompensation dieses Fehlers möglich.

Die mittleren Beschleunigung wurde aus diesem Grund mit der folgenden Formel berechnet:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n a_i t_{\text{Beschl., } i} \text{ Stadt} + 4 \sum_{i=1}^n a_i t_{\text{Beschl., } i} \text{ Überland}}{\sum_{i=1}^n t_{\text{Beschl., } i} + \sum_{i=1}^n t_{\text{konst. Geschw., } i} \text{ Stadt} + 4 \sum_{i=1}^n t_{\text{Beschl., } i} + \sum_{i=1}^n t_{\text{konst. Geschw., } i} \text{ Überland}}$$

a ⇒ mittlere Beschleunigung $m s^{-2}$
 a_i ⇒ Beschleunigung nach dem EG Zyklus während der Phase i $m s^{-2}$
 $t_{\text{Beschl., } i}$ ⇒ Zeit der Beschleunigungszeit während der Phase i s
 4 ⇒ Faktor für die viemalige Wiederholung des Stadtzykluses
 $t_{\text{konst. Geschw., } i}$ ⇒ Zeitspanne der konst. Geschwindigkeitphasen während der Phase i s

(5.7)

Die Berechnung der korrigierten Fahrwiderstände erfolgte nach der folgenden Formel:

$$P_{\text{korr}} = P_{\text{Fahr}} + P_{\text{Schw}}$$

P_{korr} ⇒ korrigierte Fahrwiderstandsleistung KW
 P_{Fahr} ⇒ Fahrwiderstandsleistung KW
 P_{Schw} ⇒ Korrekturanteil, verursacht durch eine falsche Schwungmasse KW

(5.8)

Die Meßergebnisse sowie die einzelnen Berechnungsschritte befinden sich im Anhang B.

Für die einzelnen Fahrzeuge ergaben sich folgende Ergebnisse:

- Lohmann:
5,1 KW (bei den Messungen wurde 5,0 KW als Bremsleistung eingestellt)
- Kraft:
5,3 KW (es wurden bis jetzt keine Abgasmessungen durchgeführt)
- Rieger:
5,0 KW (geschätzt, da keine Fahrwiderstandsbestimmung durchgeführt)

Diese Ergebnisse konnten bei der Abgasuntersuchung auf dem Rollenprüfstand verwendet werden.

5.2.3.1.1.2 Fahrprogramm

Das Fahrprogramm dient zur Simulation des Fahrzykluses nach der EG-Richtlinie 70/220/EWG.

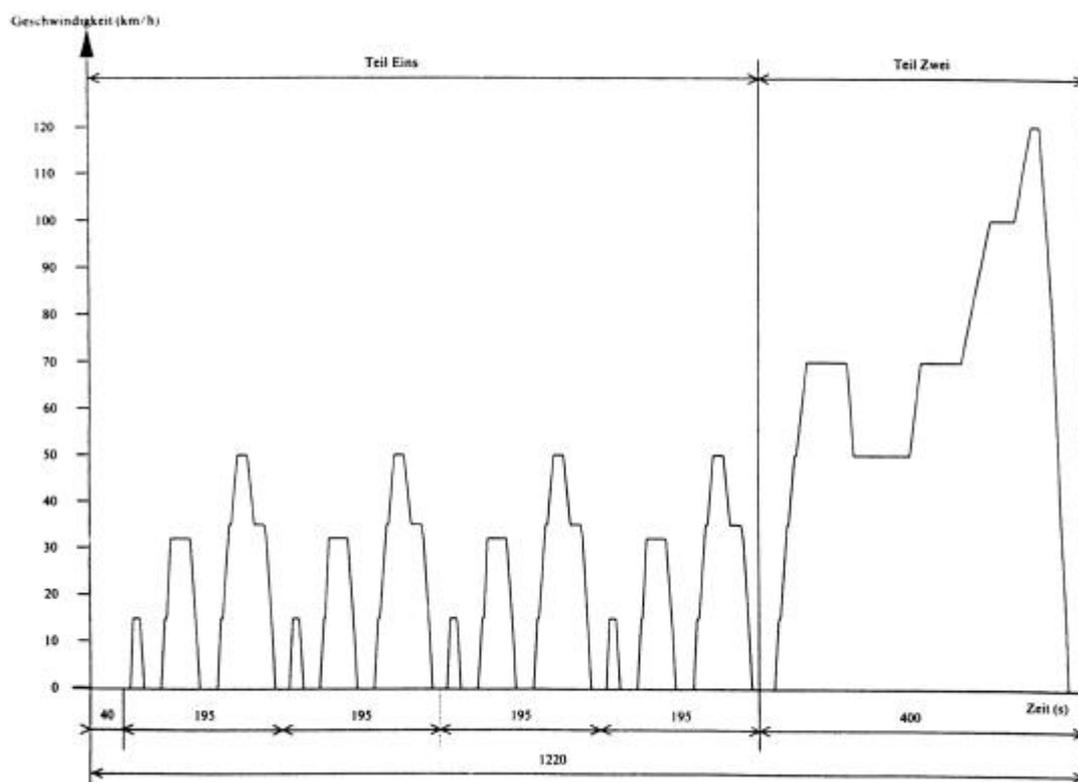


Abbildung 5.8 Fahrzyklus nach der EG-Richtlinie 70/220/EWG Teil I

Der Fahrzyklus wurde durch ein Programm, das auf einem Standard-PC installiert war, simuliert. Der Bildschirm war dabei so angebracht, daß der Fahrer ihn gut einsehen konnte. Das Programm simulierte dabei eine Fahrkurve und ein Cursor, der die aktuelle Geschwindigkeit darstellte. Die Stellung des Cursors auf dem Bildschirm wurde dabei ständig über eine Schnittstelle, die mit dem Geschwindigkeitsgeber an der hinteren Prüfstandsrolle verbunden war, aktualisiert. Der Fahrer hatte die Aufgabe das Fahrzeug so zu steuern, daß der Cursor sich immer auf der dargestellten Fahrkurve befand.

Die zur Verfügung stehende Software war in folgenden Bereichen fehlerhaft und mußte daher korrigiert werden:

- Die Fahrkurve war fehlerhaft.
 - Berichtigung der Datenfelder im Programm, die den Fahrzyklus nach der EG-Richtlinie 70/220/EWG darstellten.
 - Entfernung des FTP-75 Zyklus aus dem Programm.
- Der Ablauf der Simulation war nicht zeitsynchron.
 - Programmierung eines Programmteils, der ständig eine Synchronisation zwischen dem Programmablauf und der Systemuhr durchführt.
- Das Programm war nicht in der Lage, Geschwindigkeiten über 110 km/h darzustellen.
 - Anpassung der Spannung, die von der Schnittstelle des Geschwindigkeitsgebers kam, an den 12-Bit-Code des Analog-Digital-Wandlers.
- Die Darstellung des Geschwindigkeitscursor wich von der realen Geschwindigkeitsmessung um 15% ab.
 - Justierung des Cursors für die Geschwindigkeitsdarstellung.

Zusätzlich wurden noch Hilfestellungen in Form von Anweisungen für den Fahrer und den Person, die die Meßtechnik bediente, eingeflochten.

Der Programm-Code des geänderten Programms befindet sich Anhang C. Das Programm selbst befindet sich als CVS-FAHR.PAS und als ausführbare Datei mit dem Namen CVS-FAHR.EXE auf der der Diplomarbeit beigefügten CD. (Bei dieser Version ist zu beachten, daß sich die Standard-Grafiktreiber, die zur Programmiersprache Pascal gehören in dem Verzeichnis „c:\tp\bgi“ befinden)

5.2.3.1.2 CVS-Anlage

Die CVS-Anlage, die in den USA bei der Firma AMI (Air Monitoring Incorporated) hergestellt wurde, arbeitet nach dem CFV-CVS Verfahren (Verdünnungssystem mit Venturirohr und kritischer Strömung). Dieses Verfahren entspricht der EG-Richtlinie 70/220/EWG. Diese Anlage dient zur Verdünnung und zur Sammlung eines geringen Teiles des verdünnten Abgases. Dies hat den Grund, daß bei unverdünnter Sammlung der Abgase die Möglichkeit der Kondensation des Wassers aus dem Abgas besteht und sich dieses Wasser mit den Stickoxiden aus dem Abgas zu Salpetersäure verbindet.

Funktionsprinzip:

Das Abgas, das während des Fahrzykluses entsteht, wird in einem Sammelschlauch abgesaugt und mit Luft verdünnt. Dieses verdünnte Abgas wird durch ein Venturi-Rohr gesaugt. In diesem Venturi-Rohr herrscht eine kritische Strömung, die in Abhängigkeit von Druck und Temperatur des durchströmenden Mediums, sowie der Düsenkonstante des Venturi-Rohrs nur einen konstanten Volumenstrom durchläßt. Der Flow-Computer berechnet aus den gemessenen Werten Temperatur und Druck und aus der abgespeicherten Düsenkonstante den Volumenstrom. Aus diesem Volumenstrom berechnet er durch Integration das durchgeflossene Volumen. Weiterhin rechnet er das Volumen auf Normalbedingung um und bringt es zur Anzeige. Aus dem verdünnten Abgas und der Luft, die zur Verdünnung genommen wurde, werden konstante Volumenströme entnommen und in verschiedenen Beuteln gesammelt. Diese, über den gesamten Zyklus gesammelten Proben, können anschließend mit der Abgasanalyse-Einheit auf ihre Abgasbestandteile hin analysiert werden.

Das Venturirohr der verwendeten Anlage hat einen Luftdurchsatz von ca. 4 m³/min. Diese Durchsatzrate ist für das Messen von NO_x-Emissionen bei Motoren über 1000 ccm ungeeignet [17], da für größere Motoren eine zu geringen Verdünnung vorliegt. Diese zu geringe Verdünnung ist verantwortlich dafür, daß das Wasser im Abgas kondensiert und sich mit dem NO_x zu Salpetersäure verbindet.

Durch eine schnelle Probenanalyse wurde versucht die Bildung von Salpetersäure und die damit verbundene Reduzierung von NO_x im Abgas klein zuhalten. Als

weitere Fehlerquelle ist bei dieser CVS-Anlage die mangelnde Kalibrierung zu nennen. Diese wurde das letzte Mal vor der Montage an der Universität der Bundeswehr 1993 bei BMW durchgeführt. Diese beiden Faktoren und die im Kap. 5.2.1.1 beschriebene falsche Schwungmasse, sowie die falsche Leistungskurve lassen keine Vergleiche der gemessenen Ergebnisse mit Ergebnissen von außenstehenden Messungen zu.

5.2.3.1.3 Abgasanalyse-Einheit

Die Abgasanalyse-Einheit besteht aus fünf 19-Zoll-Schränken der Firma Hartmann und Braun [18]. In den Schränken sind die Meßgeräte zur Abgasanalyse, die Steuerung für die Gaszufuhr zu den Meßgeräten, sowie die Steuerung für die CVS-Anlage untergebracht. Zusätzlich zu der Technik, die sich in den Schränken befindet, gehören auch die Kalibriergase, die sich in einem Extraraum befinden, zur Abgasanalyse-Einheit.

Meßgeräte zur Abgasanalyse:

- **Flamenionisationsdetektor (FID) zur Messung der Kohlenwasserstoffe [18]**

Der FID vom Typ RS55 wurde von der Firma Ratfisch Instrumente hergestellt und besitzt vier Meßbereiche, die eine Spanne von 0-10000 ppm Kohlenwasserstoff abdecken. Als Kalibriergas wurde ein Propan-Stickstoff-Gemisch verwendet.

Die Funktionsweise eines FID:

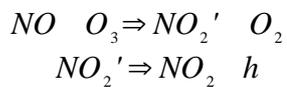
An einer Flamme aus reinem Wasserstoff und synthetischer Luft wird ein elektrisches Feld angelegt. Dadurch entsteht ein meßbarer Ionenstrom im Detektorelement. Dieses Detektorelement besteht aus einer Elektrode, an der eine Spannung anliegt. Werden der Wasserstofflamme jetzt Kohlenwasserstoffe zugesetzt, so steigt der Ionenstrom an. Dies geschieht proportional zu der Zahl der pro Zeiteinheit zugeführten Kohlenwasserstoffmoleküle. Die sehr geringen Ionenströme, die zwischen ca. 10^{-14} und 10^{-8} A liegen, werden elektronisch verstärkt und zur Anzeige gebracht. Dieses Verfahren läuft in einem Ofen bei ca. 180°C ab um eine Kondensation von Wasser zu vermeiden.

- **Chemilumineszenzanalysator zur Messung der Stickoxide [18]**

Der Chemilumineszenzanalysator vom Typ Modell 44 wurde von Thermo Electron Corporation hergestellt und kann mit seinen 12 Meßbereichen eine Spanne von 0-10000 ppm Stickoxid abdecken. Dabei wurde ein Stickstoffmonoxid-Stickstoff-Gemisch als Kalibriergas verwendet.

Die Funktionsweise des Chemilumineszenzanalysator:

Das Verfahren beruht auf der Freisetzung von Licht-Emissionen durch eine chemische Reaktion. Dabei lautet die chemische Grundreaktion:



Stickstoffmonoxid wird mit Ozon zur Reaktion gebracht. Hierbei entsteht Sauerstoff und ein angeregtes Molekül Stickstoffdioxid. Dieses geht aus dem angeregten Zustand unter Abgabe von Licht in Stickstoffdioxid über. Die freigesetzte Lichtmenge wurde mittels einer Photozelle gemessen und über einen Verstärker zur Anzeige gebracht. Damit alle NO_x (nicht nur NO) gemessen werden konnten, mußten diese zuerst in einem integrierten Konverter in NO umgewandelt werden. Das benötigte Ozon wurde ebenfalls in einem Konverter aus synthetischer Luft gewonnen.

- **2 Infrarotgasanalysatoren zur Messung von Kohlenmonoxid und -dioxid [18]**

Die Infrarotgasanalysatoren vom Typ AIA - 300 wurden von Horiba hergestellt und sie können über vier Meßbereiche 0-4000 ppm CO und 0-16 Vol% CO₂ messen und darstellen. Als Kalibriergas wurde ein Kohlenmonoxid-Stickstoff-Gemisch sowie ein Kohlendioxid-Stickstoff-Gemisch verwendet.

Die Funktionsweise der Infrarotgasanalysatoren:

Das Meßprinzip beruht auf der Eigenschaft der Gase, Infrarotstrahlen zu absorbieren. Die von zwei Infrarotstrahlern ausgesandte Strahlung wird durch ein Blendenrad kontinuierlich unterbrochen. Dadurch entstehen Strahlungsimpulse, welche durch verschiedene Kammern in den Empfänger gelangen. Die Abgasprobe strömt durch eine Analysenkammer und absorbiert hierbei

Infrarotstrahlen. Die Vergleichskammer ist mit neutralem Gas (hier Argon) gefüllt, das keine Infrarotstrahlen absorbiert. Der Empfänger ist mit einem Meßgas gefüllt und besteht aus zwei durch eine gespannte Membran getrennten Kammern, vor denen Absorbtionsfilter angebracht sind. Das Meßgas absorbiert die Strahlung und erwärmt sich dadurch. Weil in der Analysenkammer bereits ein Teil der Strahlung von der Sampleprobe absorbiert wurde, wird das Meßgas in der zweiten Kammer wärmer als in der ersten. Der Temperaturunterschied bewirkt eine Druckdifferenz und die Membran wird durchgebogen. Dies geschieht im Rhythmus der Drehzahl des Blendrades. Die Membranschwingung erzeugt eine Wechsellspannung, die gleichgerichtet, verstärkt und dann angezeigt wird. Der Unterschied zwischen der Ausführung CO und CO₂ besteht in der unterschiedlichen Auslegung des Absorbionsfilters, das auf das zu messende Gas ausgelegt ist.

Kalibrier- und Arbeitsgase [22]:

- | | | |
|---------------------|---|--------------------|
| • Synthetische Luft | 20% O ₂ Rest N ₂ | Brenn- und Nullgas |
| • Wasserstoff | 100% H ₂ | Brenngas |
| • Kohlenmonoxid | 500 ppm CO in N ₂ | Endgas |
| • Kohlendioxid | 2% CO ₂ in N ₂ | Endgas |
| • Stickstoff | 100% N ₂ | Nullgas |
| • Stickstoffmonoxid | 100 ppm NO in N ₂ | Endgas |
| • Propan | 200 ppm C ₃ H ₈ in N ₂ | Endgas |

Diese Gase sind in Druckflaschen in einem separaten Raum untergebracht. Über Teflonschläuche sind die Flaschen, die mit Druckminderern verschraubt sind, mit der Abgasanalyse-Einheit verbunden.

5.2.3.2 Versuchsdurchführung

In diesem Kapitel wird an einem Beispiel der Ablauf einer Abgas-Emissionsmessung nach dem EG-Zyklus vorgestellt:

Das Ziel dieser Messung sollte eine Abgasanalyse mit Dieseldieselkraftstoff sein.

Als erstes wurden die Meßgeräte in Betrieb genommen und mit den Eichgasen

kalibriert. Es folgte die Inbetriebnahme des Rollenprüfstandes. Dazu wurde die Wasserversorgung für die Leistungsbremse eingeschaltet, sowie die Stromversorgung für Teile des Rollenprüfstandes (Geschwindigkeitsgeber, Kraftmeßdose, Bremslastverstellung, elektrische Steuerung und Anzeigeeinstrumente) sichergestellt. Als nächstes folgte die Inbetriebnahme der CVS-Anlage. Zu diesem Zweck wurde das Sauggebläse eingeschaltet, die elektrische Steuerung mit Strom versorgt, die Volumenströme der Probenentnahme kontrolliert und falls erforderlich neu justiert und die Auffangbeutel mit Frischluft gespült und anschließend evakuiert. Jetzt konnte das Fahrzeug auf den Rollenprüfstand gefahren und ausgerichtet werden. Nach Überprüfung des Reifenluftdrucks wurde am Fahrzeug die externe Tankanlage angeschlossen. Anschließend konnte der Kraftstoff in den externen Tank gefüllt und auf die richtige Temperatur gebracht werden. In diesem Beispiel handelte es sich um nichtvorgewärmten Dieselmotorkraftstoff. Jetzt wurde mit dem Fahrzeug die Bremslast bei 80 km/h eingestellt. Eine detaillierte Beschreibung der einzustellenden Bremslast befindet sich in Kap. 5.2.3.1.1.1. Dazu wurde das Fahrzeug auf der Rolle auf 80 km/h beschleunigt, um dann mit der Schöpfradverstellung und der Volumenstrom-einstellung der Leistungsbremse die Bremsleistung von 5,0 KW einzustellen. Diese Fahrt diente auch dazu, das Einspritzsystem vollständig mit dem Prüfkraftstoff zu spülen und das Fahrzeug auf Betriebstemperatur zu bringen. Der PC, mit der Fahrzyklus-Simulation, wurde hochgefahren und für den Fahrer gut sichtbar in Position gebracht. Weiterhin folgte das Plazieren und Einschalten des Ventilators vor dem Kühler. Nachdem alles aufgebaut und justiert war und das Fahrzeug auf Betriebstemperatur war, konnte mit der Messung begonnen werden.

Das Starten der Messung mit einem betriebswarmen Motor entspricht nicht der EG-Richtlinie 70/220/EWG. Diese schreibt sogar einen kalten Motor vor. Es wurde davon aus folgendem Grund abgewichen:

Das Motorkonzept sieht einen Kaltstart mit Dieselmotorkraftstoff oder RME vor. Erst nach dem Erreichen der Betriebstemperatur des Motors und des Pflanzenkraftstoffes wird auf den Alternativkraftstoff umgeschaltet. Die Durchführung der Messung mit diesem Verfahren hätte die Ergebnisse für die Pflanzenkraftstoffe verfälscht. Aus diesem Grund wurde, wegen der Vergleichbarkeit bei allen Kraftstoffen, auf einen Kaltstart verzichtet und statt dessen ein kontrollierter Warmstart (Kühlwassertemperatur = Kühlwasserthermostat-Öffnungstemperatur) durchgeführt.

Zum Versuchsbeginn erfolgte zeitgleich der Start des betriebswarmen Motors und des Fahrzyklus-Programmes. Nach dem Ablauf von 40 s wurde die Proben-

entnahme aus dem verdünnten Abgas und aus der Verdünnungsluft gestartet. Während der Fahrzyklus gefahren wurde, erfolgte eine Überprüfung der Befüllung der Probenbeutel, sowie die Erfassung der atmosphärischen Daten. Am Ende des Fahrzykluses wurde die Probenentnahme gestoppt. Das auf Normalbedingung reduzierte Volumen des verdünnten Abgases konnte anschließend am Flow-Computer abgelesen und protokolliert werden. Weiterhin wurden die Proben in den Beuteln durch die Meßgeräte analysiert und auf das Meßprotokoll übertragen. Zum Abschluß konnte nach einer weiteren Überprüfung der Kalibrierung der Meßgeräte der Versuchsaufbau entweder wieder abgebaut oder erneut verwendet werden. Die Auswertung dieses Versuchs ist im nächsten Kapitel beschrieben. Das Meßprotokoll für dieses Beispiel ist auf der folgenden Seite abgebildet:

Meßprotokoll

Datum: <u>30.9.98</u>		Uhrzeit: <u>11:20</u> h					
Fahrzeugtyp: <u>Opel Astra Caravan 1700 (Lohmann)</u>							
Leistung: <u>44</u> kW		Hubraum: <u>1700</u> ccm					
Getriebe (Auto/Hand): <u>H</u>		Reifenluftdruck: <u>2,1/2,5</u> bar					
Bremsleistung: <u>5,0</u> kW bei <u>80</u> km/h und <u> </u> kW bei <u> </u> km/h							
Raumtemperatur: <u>21</u> °C		Rel. Luftfeuchtigkeit: <u>53</u> %					
Luftdruck: <u>942</u> mbar							
Fahrzyklus: <u>Teil I</u>		Gefahrene Strecke: <u>11,0</u> km					
Phase 1:	Dauer: <u> </u> s	Volumen: <u>2584</u> ft ³	Strecke: <u> </u> km				
Phase 2:	Dauer: <u> </u> s	Volumen: <u> </u> ft ³	Strecke: <u> </u> km				
Bemerkung <u>Kraftstoff: Diesel</u>							
<u>Warmstart mit 65 °C Motoröl</u>							
<u>Kraftstoffverbrauch: 621,8 g</u>							
		HC ppm	NO _x ppm	CO ₂ SKT Vol. %		CO SKT ppm	
Air 1	Messung 1	<u>1,7</u>	<u>0,1</u>	<u>14</u>		<u>0</u>	
	Messung 2						
	Mittelwert →	<u>1,7</u>	<u>0,1</u>	<u>14</u>	<u>0,035</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
Sample 1	Messung 1	<u>35</u>	<u>34</u>	<u>625</u>		<u>110</u>	
	Messung 2						
	Mittelwert →	<u>35</u>	<u>34</u>	<u>625</u>	<u>1,56</u>	<u>110</u>	<u>110</u>
Air 2	Messung 1						
	Messung 2						
	Mittelwert →						
Sample 2	Messung 1						
	Messung 2						
	Mittelwert →						
Fahrer: <u>Hoffmann</u>		Meßtechniker: <u>Sogler</u>					

Abbildung 5.9 Beispiel eines Meßprotokolls zur Abgasanalyse nach dem EG-Zyklus

5.2.3.3 Auswertung

Die Auswertung der Meßergebnisse erfolgt nach der EG-Richtlinie 70/220/EWG. Für diese Auswertung wurde ein Programm in der Programmiersprache BASIC in einer früheren Diplomarbeit [18] entwickelt. Dieses Programm wertete Abgasmeßdaten für Fahrzeuge mit Fremdzündungsmotoren nach dem FTP-75 Zyklus aus. Um auch Meßdaten für Fahrzeuge mit Kompressionszündungsmotoren nach dem EG-Zyklus auswerten zu können, mußten folgende Veränderungen vorgenommen werden:

- Reduzierung des Programmteils, der zur Eingabe von 3 Phasen des FTP-75 Zykluses auf 1 Phase des EG-Zykluses verantwortlich war.
- Programmierung der für den EG-Zyklus vorgeschriebenen Formeln.
- Änderung des Programmteils, der für die Ausgabe der Meßdaten, sowie der berechneten Abgas-Emissionen verantwortlich war.

Der Programm-Code des geänderten Programms befindet sich im Anhang D.

Das Programm heißt CVS-AUSW.BAS und ist mit dem Compiler Q-BASIC 4.0 verwendbar. Es befindet sich auf der Diplomarbeit beigelegten CD.

In diesem geänderten Programm wurden folgende Formeln nach der EG-Richtlinie 70/220/EWG integriert:

verwendete Formelzeichen:

C_{CH}CH Konzentration im verdünnten Abgas [ppm]

C_{CO}CO Konzentration im verdünnten Abgas [ppm]

C_{CO_2}CO₂ Konzentration im verdünntem Abgas [Vol%]

C_dgemessene Konzentration des Schadstoffes i in der Verdünnungsluft [ppm]

C_egemessene Konzentration des Schadstoffes i im verdünnten Abgas [ppm]

C_ikorrigierte Konzentration des Schadstoffes i im verdünnten Abgas [ppm]

d.....Länge der Fahrstrecke [km]

D.....Dichte des Dieselkraftstoffes (Mittelwert nach EN 590: D=0,84 kg/L)

DF.....Verdünnungsfaktor [-]

FC.....Dieselkraftstoff äquivalenter Verbrauch [L/100km]

H.....absolute Feuchte [g Wasser / kg trockene Luft]

k_HFeuchtigkeitskorrektur für NO_x (für alle anderen Schadstoffe ist $k_H = 1$) [-]

M_iemittierte Schadstoffmenge i (CO , CO_2 , NO_x und HC) [g/km]

P_BLuftdruck im Prüfraum [kPa]

P_dSättigungsdampfdruck bei Umgebungstemperatur [kPa]

Q_iDichte des Schadstoffes bei Normalbedingung [g/L]

R_arelative Feuchte der Umgebungsluft [%]

VVolumen der verdünnten Abgase [ft^3 /Prüfung]

V_{mix}auf Normalbedingung korrigiertes Volumen der verdünnten Abgase [L]

- **Allgemeine Bestimmung:**

$$M_i = \frac{V_{\text{mix}} Q_i k_H C_i 10^6}{d} \quad (5.9)$$

- **Volumenbestimmung:**

$$V_{\text{mix}} = V \cdot 28,3169 \frac{\text{l}}{\text{ft}^3} \quad (5.10)$$

- **Berechnung der korrigierten Konzentration von Schadstoffen im Auffangbeutel:**

$$C_i = C_e \cdot C_d \cdot 1 \cdot \frac{1}{DF} \quad (5.11)$$

$$DF = \frac{13,4}{C_{\text{CO}_2} \cdot C_{\text{CH}} \cdot C_{\text{CO}} \cdot 10^4} \quad (5.12)$$

- **Berechnung des Feuchtigkeitskorrektur für NO :**

$$k_H = \frac{1}{1 - 0,0329 \cdot H \cdot 10,71} \quad (5.13)$$

$$H = \frac{6,211 R_a P_d}{P_n P_d R_a 10^2} \quad (5.14)$$

- Die Berechnung des Dieselkraftstoff äquivalenten Verbrauchs erfolgte nach der EG-Richtlinie 80/1268/EWG:

$$FC = \frac{0,1155}{D} \cdot 0,866 HC + 0,429 CO + 0,273 CO_2 \quad (5.15)$$

Die Abgasmessungen wurden im Bereich der Kraftstoffanalyse zweimal durchgeführt. Nach der Auswertung wurden die zwei Ergebnisse arithmetisch gemittelt. Bei der Temperaturanalyse wurden die Abgasmessungen nur einmal durchgeführt, so daß die Bildung des Mittelwerts entfallen konnte.

Der aus den Abgasen berechnete Dieselkraftstoff-Verbrauch wurde zweimal, durch eine reale Verbrauchsmessung während der Abgas-Emissionsbestimmung, überprüft. Bei diesen Messungen wurde mit einer Waage, mit einer Genauigkeit von 1/10 g, der Dieselkraftstoff-Verbrauch gemessen. Anschließend wurde dieser in L/100km umgerechnet. Die dabei verwendete Dichte von 0,84 kg/L entspricht der Dichte, die auch in dem Auswertungs-Programm verwendet wurde.

	<i>realer Kraftstoffverbrauch [g]</i>	<i>realer Kraftstoffverbrauch [L/100km]</i>	<i>aus den Abgasen berechneter Verbrauch [L/100km]</i>
Messung 1	621,7	6,7	7,73
Messung 2	621,8	6,7	7,57

Daraus resultiert eine mittlere Abweichung von 14%.

Die folgenden Seiten zeigen ein Beispiel für die Ausgabe des Auswerteprotokolls des unter Kap. 5.2.3.2 beschriebenen Beispiel-Meßprotokolls mit dem geänderten BASIC-Programm:

Auswerteprotokoll
Versuch 4
Seite 1

Datum 30.9.98

Atmosphärische Daten:

Raumtemperatur in Grad Celsius:	21
*** Grenzwert erfüllt ***	
rel. Luftfeuchte in %:	53
abs. Feuchte in g H ₂ O/kg Luft:	8.701
*** Grenzwert erfüllt ***	
Luftdruck in mbar:	942
Sättigungsdampfdruck für Wasser bei Raumtemp. in bar:	0.02485

Teilvolumina je Phase:

Volumen in ft ³ :	2584
------------------------------	------

Gefahrene Strecke:

Strecke in km:	11.0
----------------	------

Schadstoffkonzentration der Beutelproben:

HC-Konz. Air 1 in ppm:	1.700
NO _x -Konz. Air 1 in ppm:	0.100
CO ₂ -Konz. Air 1 in %:	0.035
CO-Konz. Air 1 in ppm:	0.000
HC-Konz. Sample 1 in ppm:	35.000
NO _x -Konz. Sample 1 in ppm:	34.000
CO ₂ -Konz. Sample 1 in %:	1.560
CO-Konz. Sample 1 in ppm:	110.000

Abbildung 5.10 erste Seite des Auswerteprotokolls zur Abgas-Emissionsmessung

Auswerteprotokoll

Versuch 4

Seite 2

Datum 30.9.98

Schadstoffkonzentration je Phase:

HC in g/Phase :	1.517
NOx in g/Phase :	4.789
CO2 in g/Phase :	2197.447
CO in g/Phase :	10.061

Schadstoffemissionen in g/km bezogen auf den Gesamtzyklus:

Kohlenwasserstoffe im Abgas: 0.138 g/km

*** Grenzwert erfüllt ***

Stickoxide im Abgas: 0.435 g/km

*** Grenzwert erfüllt ***

Kohlendioxid im Abgas: 199.77 g/km

Dieselmotorkraftstoffverbrauch: 7.57 l/100km

Kohlenmonoxid im Abgas: 0.915 g/km

*** Grenzwert erfüllt ***

Abbildung 5.11 zweite Seite des Auswerteprotokolls zur Abgas-Emissionsmessung

6 Analyse der Meßergebnisse

Im ersten Teil dieses Kapitels wurden die Messungen, die sich mit den verschiedenen Pflanzenkraftstoffen als Dieselkraftstoffersatz befaßt haben, analysiert. Der zweite Teil analysiert die Messungen, die für die Untersuchung des Kraftstofftemperatureinflusses durchgeführt wurden. Der letzte Teil ist eine Gegenüberstellung der Langzeituntersuchungen, welche an verschiedenen Terminen stattfanden.

6.1 Vergleich der Kraftstoffe

Dieses Kapitel dient dem Vergleich der Meßergebnisse der Pflanzenkraftstoffe untereinander und Dieselkraftstoff als Referenz.

6.1.1 Leistung und Wirkungsgrad

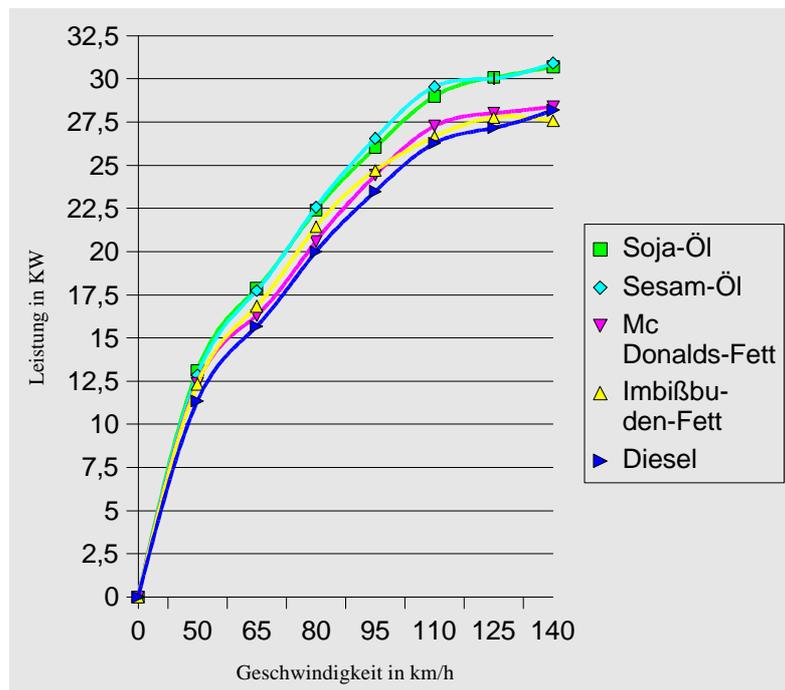


Abbildung 6.1 Leistungs-Kraftstoff-Vergleich

Bei den Rollenprüfstand-Untersuchungen wurden die fünf verschiedenen Kraftstoffe und deren Einfluß auf die maximale Leistung untersucht. Grundsätzlich ließ sich feststellen, daß mit den pflanzlichen Ölen eine bis zu 10% höhere Leistung, als mit Dieselkraftstoff, erzielt werden konnte. Dabei lagen die Leistungen mit den

Pflanzenölen über denen der Pflanzenfetten.

Die Leistung eines Motors ist von zwei Faktoren abhängig. Erstens von der durch den Kraftstoff eingebrachten Leistung und zweitens der Fähigkeit des Motors diese indizierte Leistung umzusetzen. Die eingebrachte Leistung ist ein Produkt des Heizwertes, der Dichte und des Volumenstromes. Die pflanzlichen Kraftstoffe haben einen geringeren Heizwert als der Dieselkraftstoff. Dieser geringere Heizwert wird teilweise durch die höhere Dichte kompensiert. Aber selbst der volumetrische Heizwert ist immer noch geringer, als der des Dieselkraftstoffes. Eine Erklärung für die höhere Leistung kann in den geringeren Leckverlusten der Einspritzpumpe beim Betrieb mit Pflanzenkraftstoff liegen. Diese geringeren Leckverluste beruhen auf der wesentlich höheren kinematischen Viskosität der pflanzlichen Kraftstoffe. Die geringeren Leckverluste wurden auch durch den höheren gemessenen Kraftstoffdurchfluß der Pflanzenöle bestätigt. Dieser erhöhte Kraftstoffdurchfluß ergab insgesamt eine höhere Einspritzmenge pro Arbeitsspiel und damit eine höhere indizierte Leistung als beim Dieselkraftstoff. Der Unterschied zwischen den Ölen und Fetten beruht auf zwei Faktoren. Grundsätzlich haben Fette einen etwas geringeren volumetrischen Heizwert. Weiterhin besitzen die Fette weniger ungesättigte Fettsäuren und somit weniger reaktionsfördernde Doppelbindungen. Die Verbrennung ist aus diesem Grund mit den Fetten etwas schlechter.

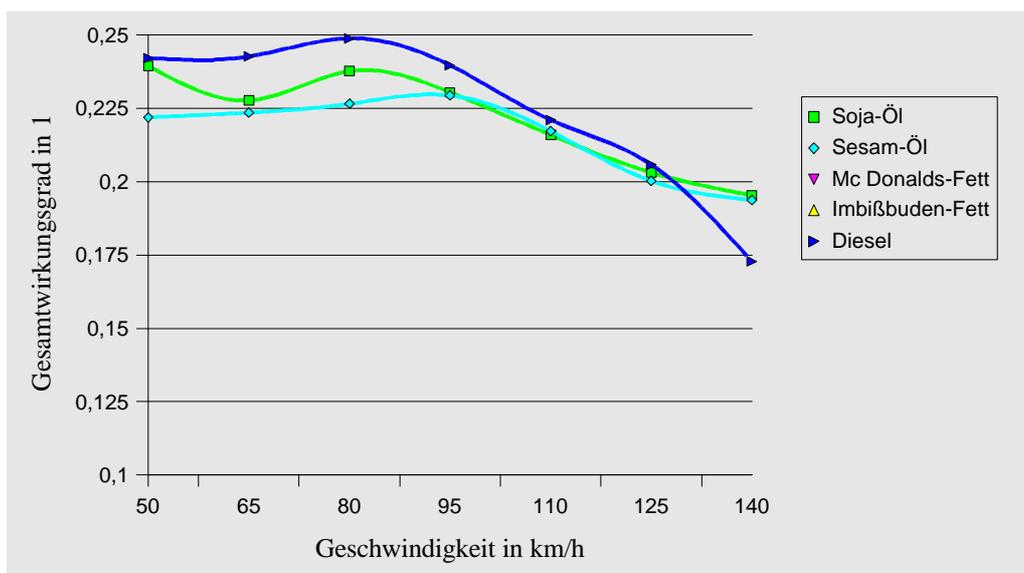


Abbildung 6.2 Vergleich des Wirkungsgrades der verschiedenen Kraftstoffe

Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis zwischen der gemessenen Leistung und der

indizierten Leistung. Der zur Berechnung der indizierten Leistung benötigte Volumenstrom wurde während der Leistungsmessung mitbestimmt. Da keine zuverlässige Möglichkeit zur Heizwert-Bestimmung der Pflanzenkraftstoffe vorlag und auch die Literaturrecherche nur Heizwerte für Pflanzenöle hervorbrachte, mußte beim Wirkungsgradvergleich auf die Pflanzenfette verzichtet werden.

Beim Betrieb mit Dieselkraftstoff hatte der Motor im unteren und mittleren Drehzahlbereich bei Vollast einen um bis zu 2%-Punkte höheren Wirkungsgrad. Im oberen Drehzahlbereich aber einen um 2%-Punkte niedrigeren Wirkungsgrad.

Die bei diesem Fahrzeug verwendete Einspritzpumpe ist eine mechanische Verteilerpumpe der Firma Bosch. Diese Pumpe ist innendruckgesteuert [14]. Das bedeutet, daß der Innendruck der Pumpe den Spritzversteller, und damit auch den Einspritzbeginn, regelt. Je höher der Innendruck, desto früher ist der Einspritzbeginn. Die interne Förderpumpe erzeugt einen drehzahlproportionalen Druck. Die Höhe des Druckes, bei gleicher Drehzahl, wird durch eine Ausgleichsbohrung gesteuert. Der Innendruck steigt mit der kinematischen Viskosität, bei bleibendem Bohrungsdurchmesser, an. Die kinematische Viskosität hat somit Einfluß auf den Einspritzbeginn. Für den Betrieb bedeutet das, daß die höhere kinematische Viskosität der Pflanzenkraftstoffe einen früheren Einspritzbeginn zu Folge hat. Dieser frühere Einspritzbeginn verbessert die Verbrennung der Pflanzenkraftstoffe, da sie im Gegensatz zu Dieselkraftstoff einen größeren Zündverzug haben. Der größere Zündverzug ist begründet durch die höheren Siedetemperaturen der Pflanzenkraftstoffe, durch die schlechtere Zerstäubung und eine niedrigere Cetan-Zahl. Die schlechtere Zerstäubung ist Folge der höheren kinematischen Viskosität. Diese frühere Einspritzung der Pflanzenkraftstoffe kann eine Erklärung für das Wirkungsgradverhalten im oberen Drehzahlbereich sein, wo der Motor mit Dieselkraftstoff stärker im Wirkungsgrad abfällt, als mit Pflanzenöl.

6.1.2 Schwärzungszahl

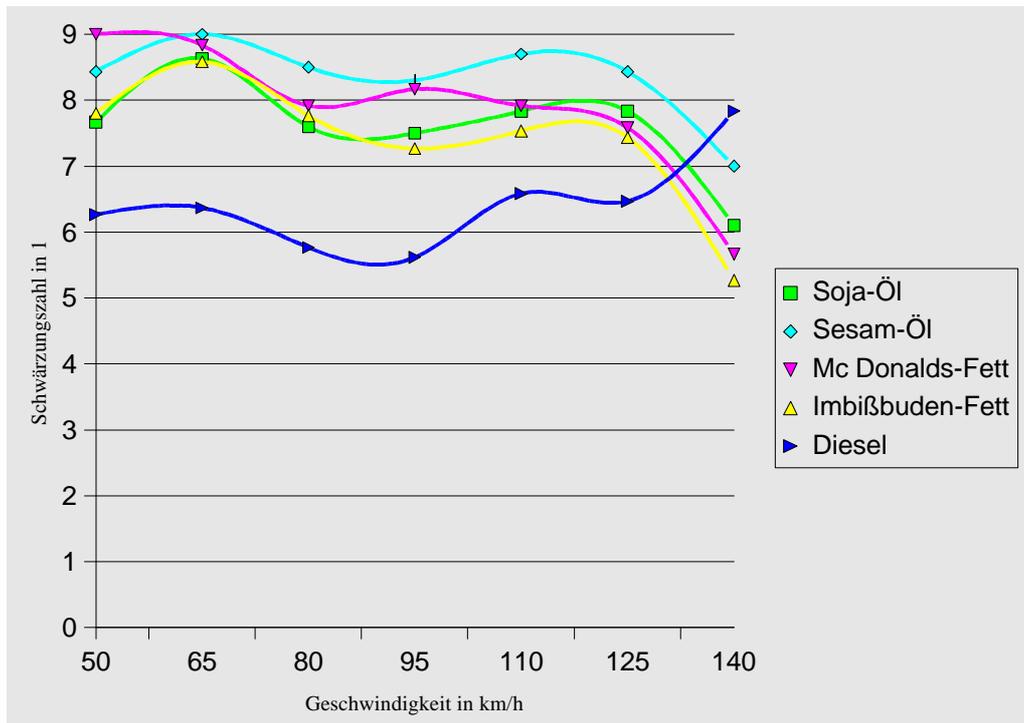


Abbildung 6.3 Vergleich der Schwärzungszahlen der verschiedenen Kraftstoffe

Die Messung der Schwärzungszahl erfolgte parallel zur Leistungsmessung. Die Schwärzungszahlen der Pflanzenöle und -fette lagen grundsätzlich über denen des Dieselkraftstoffes. Dies erklärte sich aus der höheren eingebrachten Kraftstoffmenge, dem daraus resultierenden niedrigeren Luftverhältnis λ und der etwas schlechteren Verbrennung der Pflanzenöle. Unerklärlich war das Verhalten der Schwärzungszahlen der Pflanzenkraftstoffe bei hohen Drehzahlen. Die Schwärzungszahlen der Pflanzenkraftstoffe fielen alle im oberen Drehzahlbereich ab. Erwartungsgemäß sollten aber die Schwärzungszahlen, durch den schlechteren Wirkungsgrad im oberen Drehzahlbereich und damit der schlechteren Verbrennung, ansteigen. Der Regler der Einspritzpumpe wirkte den geringeren Leckverlusten und damit der erhöhten Kraftstoffzufuhr bei höheren Drehzahlen entgegen, was für das Verhalten der Pflanzenöle, die Verringerung der Schwärzungszahl, als Erklärung dienen könnte.

Eine weitere Erklärung könnte das frühzeitige Eingreifen des Enddrehzahlreglers sein. Beim Dieselkraftstoff erhöhte sich aber die Schwärzungszahl im max. Drehzahlbereich. Die bei den Pflanzenölen angebrachten Erklärungen wurden mit

dem Dieselkraftstoff widerlegt und sind als Begründung nicht mehr aussagekräftig. Es ist hier zu untersuchen, ob ein Zusammenhang zwischen der Kraftstoffart und dem mechanischen Regler der Einspritzpumpe oder dem Enddrehzahlregler besteht. Die Erhöhung der Schwärzungszahl von Dieselkraftstoff könnte darin begründet sein, daß für die vollständige Verbrennung im oberen Drehzahlbereich weniger Zeit zur Verfügung stand. Diese Annahme wurde auch durch den niedrigen Wirkungsgrad des Motors beim Betrieb mit Dieselkraftstoff im oberen Drehzahlbereich bestätigt. Gegen diese Annahme spricht jedoch, daß die Pflanzenöle zur vollständigen Verbrennung, aufgrund ihrer schlechteren Gemischaufbereitung (höhere Siedetemperaturen, schlechtere Zerstäubung und niedrigere Cetanzahl) mehr Zeit benötigten als Dieselkraftstoff. Deshalb wäre eine höhere Schwärzungszahl, als beim Dieselkraftstoff, zu erwarten. Die sich für den oberen Drehzahlbereich wiederholenden Meßergebnisse konnten deshalb nur ansatzweise erklärt werden. Die größere kinematische Viskosität der Pflanzenkraftstoffe erhöht den Innendruck und bewirkt, über den Spritzversteller, einen früheren Einspritzbeginn. In wieweit das einen Einfluß auf die Schwärzungszahl-Abnahme im oberen Drehzahlbereich hat, ist in weitergehenden Untersuchungen zu überprüfen.

6.1.3 Abgas-Emissionen und Kraftstoffverbrauch

Abgas-Emissionen sind, neben dem Wirkungsgrad und der Leistung, weitere wichtige Kriterien für den Betrieb eines Dieselmotors. Die verschiedenen Abgas-Emissionen der verschiedenen Pflanzenöle wurden in den folgenden Unterpunkten untereinander und mit Dieselkraftstoff verglichen.

- **Kohlenwasserstoff-Emissionen**

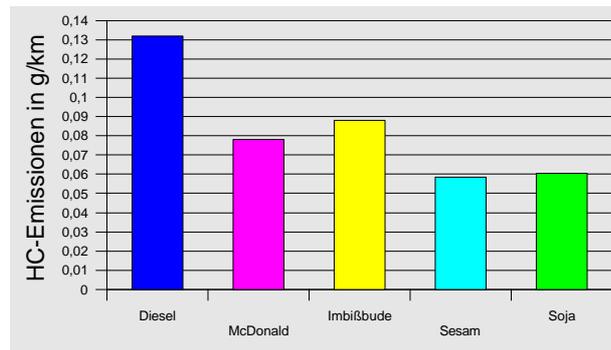


Abbildung 6.4 Einfluß der Kraftstoffart auf die Kohlenwasserstoff-Emissionen

Die HC-Emissionen der Pflanzenöle und -fette sind mit bis zu 55% deutlich niedriger, als die des Dieselkraftstoffes. Beim Vergleich der Pflanzenkraftstoffe untereinander wurde festgestellt, daß die Fette höhere Emissionen aufweisen als die Öle. Die erhöhten HC-Emissionen dieser Fette, sind durch die niedrigere Anzahl an reaktionsfördernde Doppelbindungen bei den Fettsäuren im Vergleich mit den Ölen, sowie durch eine höhere Siedetemperatur der Fette begründet.

- **Stickoxid-Emissionen**

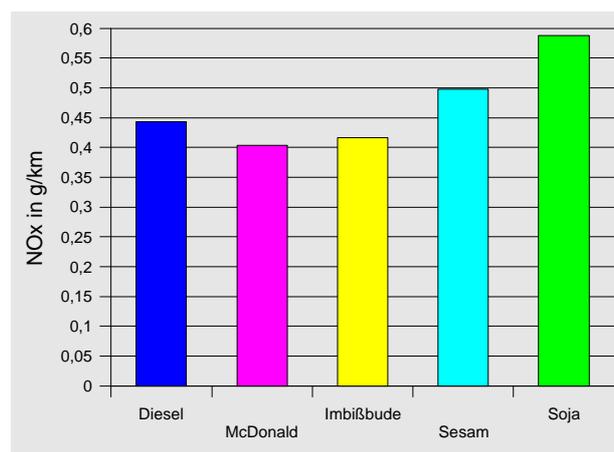


Abbildung 6.5 Einfluß der Kraftstoffart auf die Stickoxid-Emissionen

Stickoxide entstehen bei hohen Verbrennungstemperaturen mit Luftüberschuß, sowie einer bestimmten Verweildauer bei diesen Temperaturen. Das heißt, je höher

die NO_x -Emissionszunahme, desto höher waren unter anderem die örtlichen Verbrennungstemperaturen und desto besser war die örtliche Verbrennung im Brennraum. Grundsätzlich sind hohe Stickoxid-Emissionen ein Indiz für einen guten Wirkungsgrad.

Die Pflanzenfette hatten, bei den Messungen, bis zu 9% weniger Stickoxide emittiert als Dieselkraftstoff, was durch die schlechtere Reaktionsfähigkeit aufgrund von weniger vorhandenen Doppelbindungen des Kraftstoffes im Verbrennungsraum begründet war. Die Pflanzenöle hatten bis 32% höhere Emissionen als Dieselkraftstoff, was auf örtlich höhere Verbrennungstemperaturen, eine bessere örtliche Verbrennung, sowie mehr vorhandene Doppelbindungen der Öle hinweist.

• Kohlenmonoxid-Emissionen

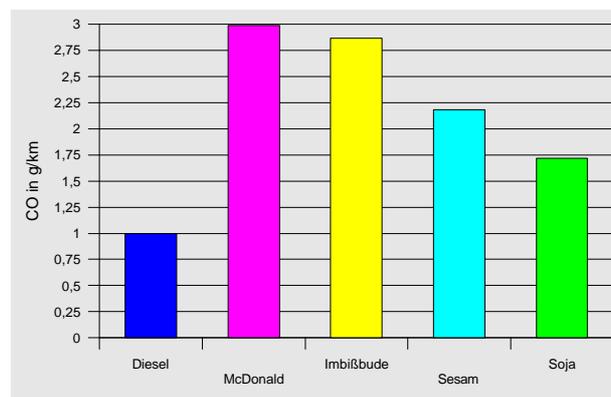


Abbildung 6.6 Einfluß der Kraftstoffart auf die Kohlenmonoxid-Emissionen

Die Kohlenmonoxid-Emission ist, zusammen mit den Partikel- oder Ruß-Emissionen, ein Indiz für die Unvollständigkeit der Verbrennung. Dies kann grundsätzlich zwei Gründe haben.

Erstens, die Kohlenstoffatome hatten während des Verbrennungsablaufs nicht genügend Zeit, um vollständig zu CO_2 zu verbrennen. Dieses weist auf eine zu lange Aufbereitungszeit hin.

Zweitens, konnte durch eine nicht genügende Vermischung ein örtlicher Sauerstoffmangel entstehen, so daß das Kohlenstoffatom nicht vollständig zu CO_2 verbrennen konnte. Das bedeutet für den Diesel-Pflanzenkraftstoff-Vergleich, daß die Pflanzenkraftstoffe durch die höhere kinematische Viskosität und die höheren Siedetemperaturen sich nicht so schnell zu einer brennfähigen Mixtur mit der Luft

vermischt hatten. Es lag der Kraftstoff also erst später aufbereitet vor und war auch teilweise nur örtlich konzentriert vorhanden. Diese Eigenschaften des Pflanzenölkraftstoffes bei der Gemischaufbereitung führten zwangsläufig zu höheren CO-Emissionen. Diese lagen bei den Ölen bis zu 112% über denen des Dieselmotors und bei den Fetten bis zu 199%. Werden die Pflanzenkraftstoffe nur für sich betrachtet, so wird festgestellt, daß die CO-Emissionen sich genau umgekehrt wie die NO_x-Emissionen verhalten. Das bestätigt die Theorie, daß mit der NO_x-Erhöhung auch die Verbrennung besser wird.

Die CO-Emissionen sind der große Nachteil dieses Motor-Pflanzenöl-Konzepts. Die Verminderung dieser Emissionen kann nur durch eine bessere Vermischung des Kraftstoffes und eine schnellere Aufbereitung erzielt werden. Dies kann im kleinen Bereich durch die Variation des Förderbeginns (Pumpeninnendruck) in Richtung früher teilweise kompensiert werden. Eine Verminderung des CO-Ausstoßes auf das Maß des Dieselmotors würde jedoch einen Eingriff in die Brennraumgestaltung, sowie in das Einspritzsystem erfordern. Diese schwerwiegenden Eingriffe, die auch das Erlöschen der Allgemeinen Betriebserlaubnis zu Folge hätten, widersprechen aber den Grundsätzen dieses Motor-Pflanzenöl-Konzepts. Also werden auch in der Zukunft die CO-Emissionen ein Problem bleiben, wenn nicht durch die Weiterentwicklung der "Originalmotoren" Verbesserungen erzielt werden.

• Dieselkraftstoff äquivalenter Verbrauch

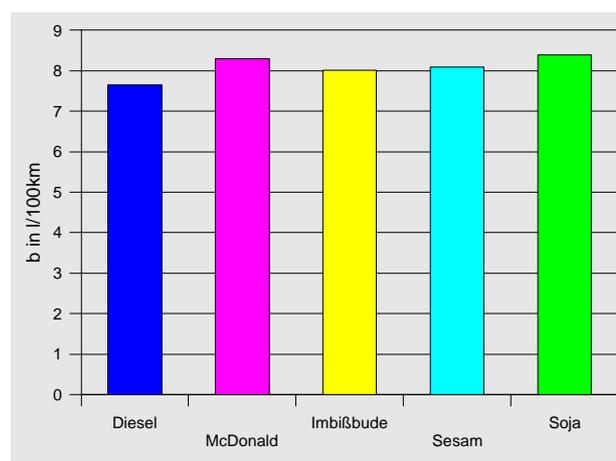


Abbildung 6.7 Einfluß der Kraftstoffart auf den Dieselkraftstoff äquivalenten Verbrauch

Der Kraftstoffverbrauch berechnete sich aus den Abgas-Emissionen HC, CO, und,

als Hauptbestandteil, aus CO₂, die während des EG-Zyklus gemessen wurden.

Die Pflanzenkraftstoffe hatten einen bis zu 10% höheren Kraftstoffverbrauch. Der Hauptgrund liegt aber in den Pflanzenkraftstoffen selbst. Diese haben in einem Anteil von ca. 11% [4] Sauerstoff gebunden. Der gebundene Sauerstoff spiegelt sich auch in den Heizwerten wieder. Der Heizwert ist um ca. 15-17% [4] [7] geringer als der des Dieselkraftstoffes. Der volumetrische Heizwert der Pflanzenkraftstoffe ist noch um ca. 7% unter dem des Dieselkraftstoffes.

Unter Berücksichtigung dieser Erkenntnisse ist der höhere Verbrauch der Pflanzenkraftstoffe relativiert.

6.2 Einfluß der Kraftstofftemperatur auf die dieselmotorische Verbrennung

Die Verminderung der kinematischen Viskosität ist bei der Verwendung von Pflanzenöl als Dieselkraftstoffersatz ein Ziel. Erreicht wurde dieses bisher durch die Umesterung der Pflanzenöle. Diese Umesterung der Pflanzenöle erforderte weitere Prozeßenergie, die die CO₂-Bilanz der Pflanzenöle senkte. Eine Alternative war bis jetzt ein Eingriff in die Einspritzung und die Brennraumgestaltung oder eine Beschränkung auf großvolumige Vorkammermotoren. Eine Möglichkeit zur Senkung der Viskosität ist die Erhöhung der Kraftstofftemperatur. Diese Erhöhung der Kraftstofftemperatur ist für das Verflüssigen der Pflanzenfette, sowie auch für die Öle im Winter, von vornherein nötig. Bei den untersuchten Pflanzenkraftstoffen lag die kinematische Viskosität erst bei 110°C im Bereich von Dieselkraftstoff bei 20°C. Für die Untersuchung des Temperatureinflusses wurde der Kraftstoff ausgewählt, der beim Kraftstoffvergleich die besten Ergebnisse erzielt hatte (Soja-Öl).

6.2.1 Einfluß der Kraftstofftemperatur auf den Wirkungsgrad

Um den Temperatureinfluß auf das Leistungs- und Wirkungsgradverhalten zu überprüfen, wurden Meßreihen bei 50°C-100°C Brennstofftemperatur gefahren. Diese wurden bei den Laststellungen 50%, 67%, 84% und 100% durchgeführt. Die Ergebnisdiagramme liegen im Anhang E bei. In den Teillastbereichen 50%, 67% und 84% waren große Schwankungen in den gemessenen Daten festzustellen. Diese Meßfehler nahmen mit der Höhe der Laststellung ab. Die Erklärung für diese

Abweichung ist die lange Durchlaufzeit des Volumenstrommessers. Für den Zeitraum von bis zu einer Minute mußte die Leistung und die Drehzahl konstant gehalten werden. Dies gelang nur innerhalb eines Fensters. Je höher die Laststellung wurde, desto geringer wurde der Schwankungsbereich im Zusammenhang mit der geringeren Durchlaufzeit.

Die Meßergebnisse lassen sich in zwei Bereiche unterteilen, Teillast und Vollast.

Die im Teillastbereich erzielten Ergebnisse von 50%, 67% und 84% unterschieden sich nur im Schwankungsbereich. Hierbei zeichnete sich ein optimaler Bereich zwischen 60°C und 70°C ab, wo die Wirkungsgrade des Motors am Besten waren. Daß die besten Wirkungsgrade sich nicht bei den höchsten Temperaturen eingestellt hatten, kann wie folgt begründet werden.

Durch die Erhöhung der Kraftstofftemperatur sinkt die kinematische Viskosität, was für die schnellere Verdampfung, sowie für eine bessere Zerstäubung gut ist. Diese niedrige Viskosität hat aber bei diesem Fahrzeug zur Folge, daß der Kraftstoff schneller durch die Ausgleichsbohrung strömen kann und somit der Pumpeninnendruck fällt. Dieser niedrigere Druck bewirkt über den druckgesteuerten Spritzversteller, daß der Einspritzbeginn sich in Richtung später verstellt. Die Vorteile, die der heißere Kraftstoff, bezogen auf den kürzeren Zündverzug hat, können sich durch den späteren Einspritzbeginn aufheben und sogar in Nachteile umgewandelt werden. Dieses erklärt, daß der optimale Betriebspunkt im Teillastbereich nicht wie erwartet bei der höchsten Temperatur liegt, sondern zwischen 60°C und 70°C.

Im Vollastbereich ergab sich, daß mit zunehmender Temperatur auch der Wirkungsgrad anstieg. Diese Abweichung zum Teillastbereich erklärte sich folgendermaßen:

Der Motor ist im Vollastbereich für Dieselkraftstoff, für ein Luftverhältnis λ von ungefähr von 1,2 ausgelegt. Durch die Verwendung von Pflanzenkraftstoffen und deren höhere kinematische Viskosität und den daraus resultierenden geringeren Leckverlusten, erhöhte sich die Kraftstoffzufuhr. Diese erhöhte Kraftstoffzufuhr hatte zur Folge, daß das Luftverhältnis λ sank und der Motor nicht mehr im optimalen Bereich arbeitete. Durch die Erhöhung der Kraftstofftemperatur sank die kinematische Viskosität und die Leckverluste stiegen. Weiterhin sank mit der Erhöhung der Kraftstofftemperatur die Dichte des Kraftstoffes, was eine geringere

Energiedichte des eingebrachten Kraftstoffes zur Folge hatte. Diese geringere Energiedichte erhöhte wiederum das Luftverhältnis λ so, daß sich der Motor wieder seinem Auslegungspunkt von $\lambda=1,2$ näherte. Zusammen mit diesem beschriebenen Vorteil für heiße Kraftstoffe und denen beim Teillastbetrieb beschriebenen Vor- und Nachteilen ergab sich für den Vollastbetrieb eine Verschiebung des optimalen Betriebspunktes in die höchsten untersuchten Temperaturen.

6.2.2 Schwärzungszahl

Bei der Schwärzungszahl waren die Meßergebnisse ähnlich wie beim Wirkungsgrad. Auch hier ließen sich die Ergebnisse in die zwei Bereiche Teil- und Vollast einteilen. Im Teillastbereich zeichnete sich, wie bei der Wirkungsgradbestimmung, ein optimaler Temperaturbereich von 60°C - 70°C ab. Auch im Vollastbereich widersprachen sich die Ergebnisse von Wirkungsgrad und Schwärzungszahl nicht. Die besten Ergebnisse wurden auch hier bei der höchsten Temperatur von 100°C erzielt. Wiederum wurde auch hier beobachtet, daß die Schwärzungszahlen bei den Messungen mit Pflanzenöl zum Drehzahlbereichsende abnahm. (vgl. 6.1.2)

6.2.3 Abgas-Emissionen und Kraftstoffverbrauch

• Kohlenwasserstoff-Emissionen

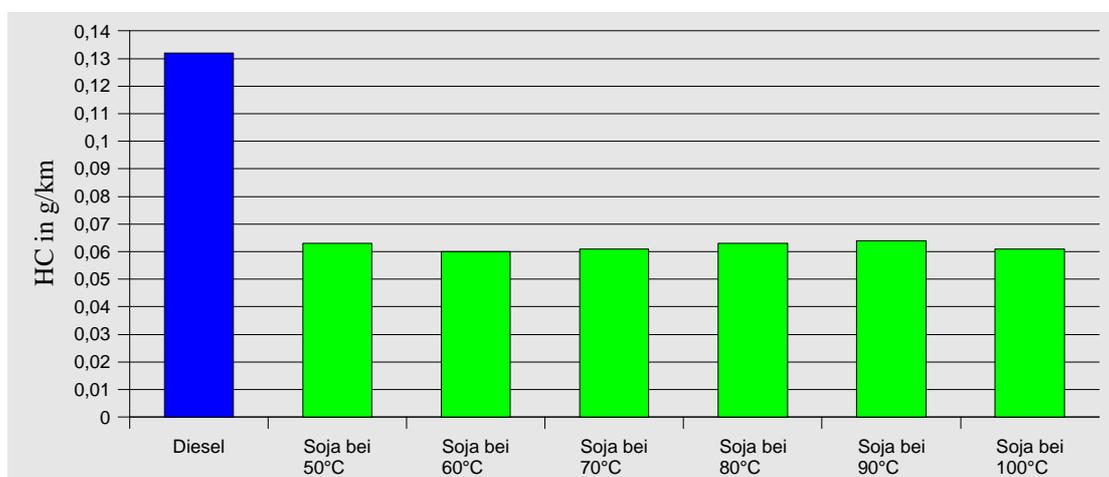


Abbildung 6.8 Temperatureinfluß auf die Kohlenwasserstoff-Emissionen

Bei der Emission der unverbrannten Kohlenwasserstoffe zeichneten sich zwei optimale Temperaturbereiche heraus. Der erste optimale Bereich lag bei 60°C und der zweite bei 100°C.

Hier konnten, durch die richtige Einstellung der Temperatur, Verbesserungen von 6% (bezogen auf den schlechten HC-Emissionswert bei 90°C) erreicht werden.

- **Stickoxid-Emissionen**

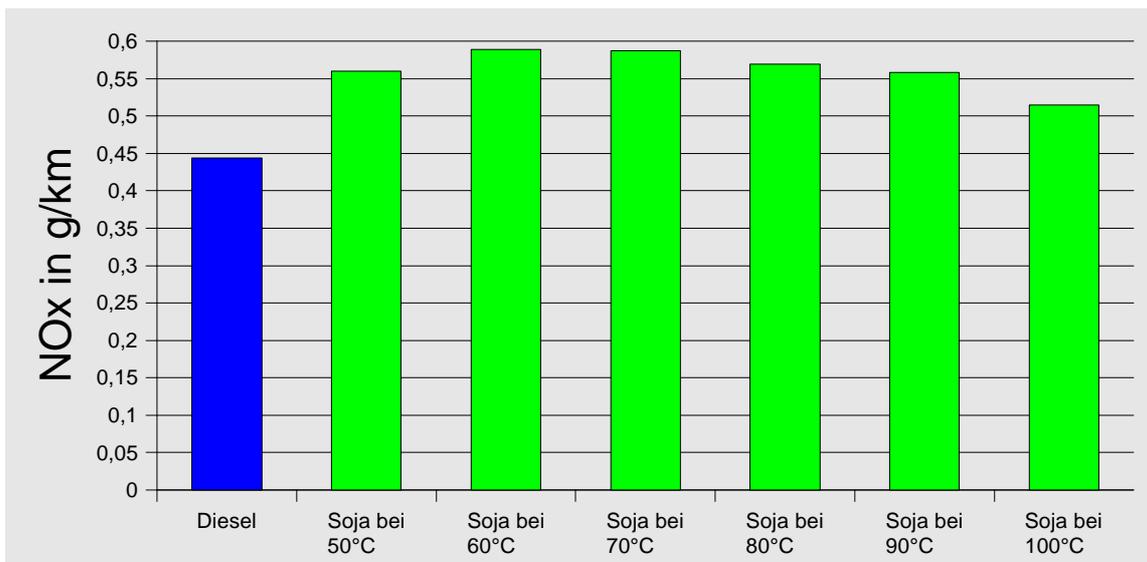


Abbildung 6.9 Temperatureinfluß auf die Stickoxid-Emissionen

Bei den Stickoxiden gab es einen optimalen Bereich bei 100°C. Dieser liegt, im Vergleich zum schlechtesten Meßwert bei 60°C, um 13% besser. Wobei festgehalten werden muß, daß hohe Stickoxid-Emissionen bei hohen Verbrennungstemperaturen entstehen und auf eine gute Verbrennung hinweisen. Es läßt sich daraus schließen, daß die höchsten Verbrennungstemperaturen bei 60°C erreicht wurden.

- **Kohlenmonoxid-Emissionen**

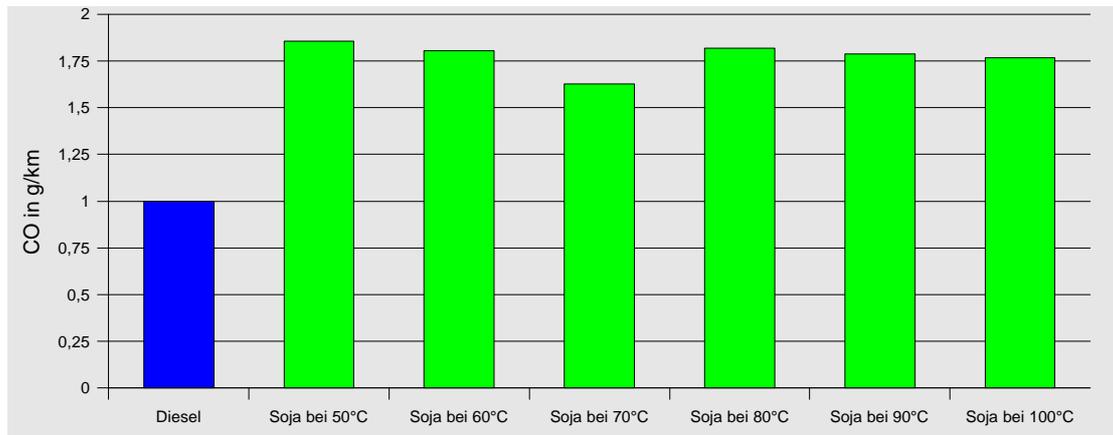


Abbildung 6.10 Temperatureinfluß auf die Kohlenmonoxid-Emissionen

Die Kohlenmonoxid-Emissionen haben ein Minimum bei 70°C. Dies brachte, im Vergleich zum schlechtesten Meßwert bei 50°C, eine Verbesserung von 12%. Trotzdem ist der Kohlenmonoxid-Ausstoß, im Verhältnis zum Dieseldieselkraftstoff, immer noch um 63% schlechter.

- **Dieseldieselkraftstoff-äquivalenter-Verbrauch**

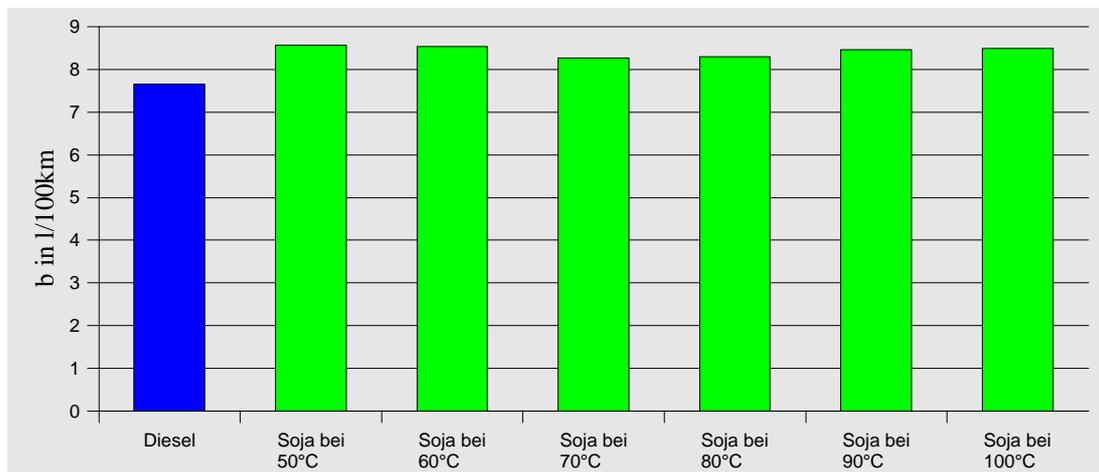


Abbildung 6.11 Temperatureinfluß auf den Dieseldieselkraftstoff-äquiv. Verbrauch

Der Kraftstoffverbrauch, der sich aus den Abgas-Emissionen berechnet, hatte ein Minimum bei 70°C. Wobei die Unterschiede zwischen dem bestem und schlechtesten Meßwert beim Pflanzenöl nur 4% betragen. Der Unterschied zum Dieseldieselkraftstoff relativiert sich unter Berücksichtigung des geringeren Heizwertes.

6.3 Langzeituntersuchungen

Für die Langzeituntersuchungen standen das Rieger- und das Kraft-Fahrzeug zur Verfügung. Diese Fahrzeuge wurden schon in Kap. 5.1 beschrieben. Die Untersuchungen, die mit den Fahrzeugen durchgeführt wurden, waren unterschiedlich und werden in den folgenden Kapiteln beschrieben.

6.3.1 Rieger-Fahrzeug

Mit dem Rieger-Fahrzeug wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

vom 23.10.98 bis 30.10.98 bei einem Kilometerstand von ca. 13.000 km

- Abgas-Emissionsmessung mit Dieseldieselkraftstoff
- Abgas-Emissionsmessung mit Soja-Öl bei 50°C
- Abgas-Emissionsmessung mit Soja-Öl bei 70°C
- Abgas-Emissionsmessung mit Soja-Öl bei 90°C
- Leistungsmessung mit Dieseldieselkraftstoff
- Leistungsmessung mit Soja-Öl bei 60°C
- Motor-Endoskopie

vom 15.12.98 bis 16.12.98 bei einem Kilometerstand von 18.500 km

- Abgas-Emissionsmessung mit Dieseldieselkraftstoff
- Leistungsmessung mit Dieseldieselkraftstoff
- Motor-Endoskopie

Bei dieser zweiten Meßreihe konnten, aufgrund eines Defekts, keine Messungen mit dem Alternativkraftstoff durchgeführt werden.

Weiterhin konnte bei beiden Meßzeiträumen keine Bestimmung der Schwärzungszahl, aufgrund der Kondensation des Abgases im Meßgerät, durchgeführt werden.

Vergleich der beiden Meßzeiträume:**• Allgemein**

Die einzige Änderung, die durchgeführt wurde, war die Änderung der Bereifung auf Winterreifen, womit das Fahrzeug einen etwas höheren Rollwiderstand hatte.

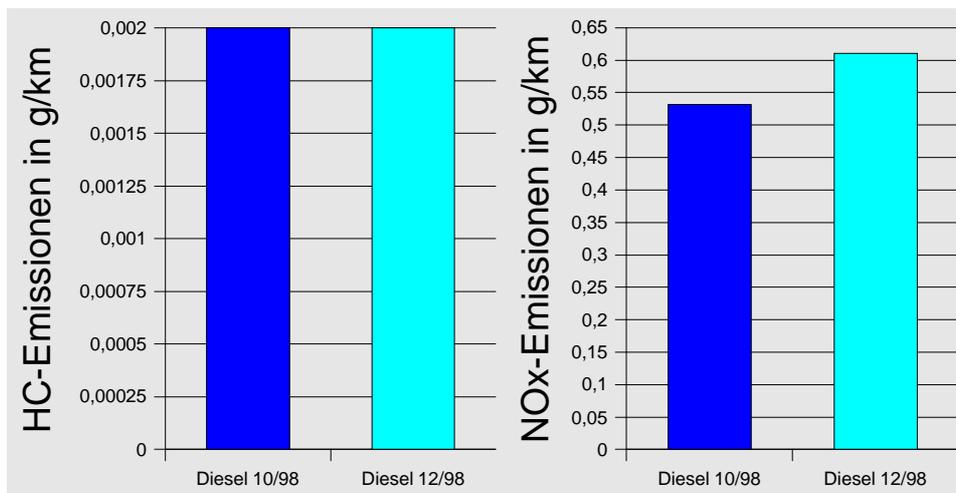
• Abgas-Emissionen mit Dieselkraftstoff

Abbildung 6.12 Vergleich der HC und NO_x-Emissionen der beiden Meßzeiträume

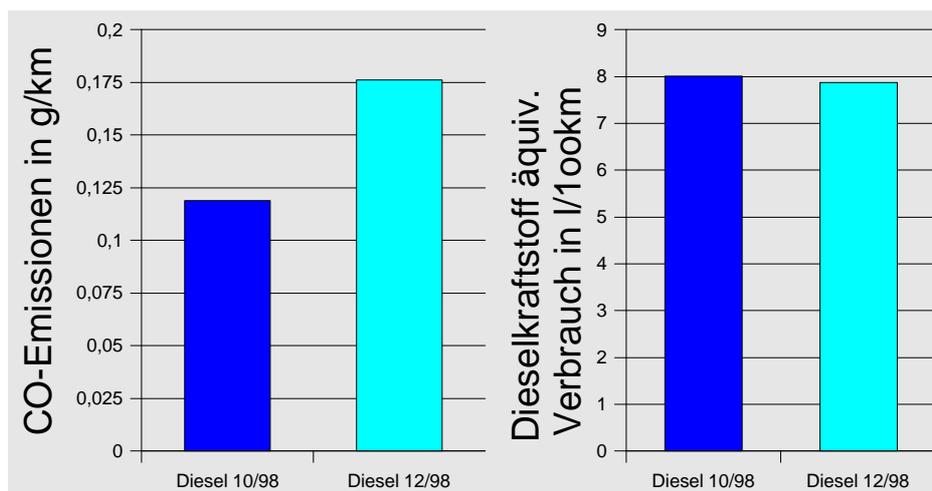


Abbildung 6.13 Vergleich CO-Emissionen und des Dieselkraftstoff äquivalenten Verbrauchs

Bei den HC-Emissionen gab es zwischen der ersten und zweiten Messung keinen Unterschied. Bei den NO_x-Emissionen gab es eine Erhöhung um 15% und bei den CO-Emissionen um 48%. Der Kraftstoffverbrauch, der sich aus den Abgas-Emissionen berechnete, sank um 2%.

• Leistungsentwicklung mit Dieselkraftstoff

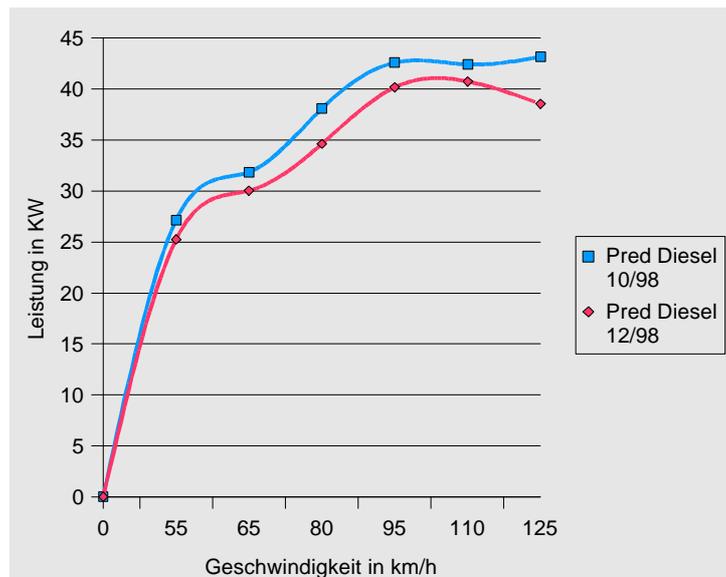


Abbildung 6.14 Vergleich der Leistungskurven

Bei der Leistung zeigte sich ein durchschnittlicher Abfall der Kurve von 7%.

• Endoskopie

Endoskopie vom 29.10.98	Endoskopie vom 16.12.98
Km-Stand:13.416	Km-Stand:18.650
letzter Kraftstoff: -007 km Diesel	letzter Kraftstoff: -11,1 km Diesel
Beobachtungen:	
1. Glühkerzen: <ul style="list-style-type: none"> dünne Ablagerungsschicht mit bräunlicher bis schwarzer Farbe keinen besonderen Anzeichen der Fettverbrennung 	1. Glühkerzen: <ul style="list-style-type: none"> keine sichtliche Veränderung zur letzten Endoskopie

<i>Endoskopie vom 29.10.98</i>	<i>Endoskopie vom 16.12.98</i>
2. Einspritzdüsen: <ul style="list-style-type: none"> • dünne Ablagerungsschicht mit bräunlicher Farbe • keine besondere Anzeichen der Fettverbrennung 	2. Einspritzdüsen: <ul style="list-style-type: none"> • Im Vergleich zur letzten Endoskopie haben sich um die Einspritzdüsenlöcher runde schwarze Ablagerungen gebildet, die sich noch nicht abheben.
3. Kolbenboden: <ul style="list-style-type: none"> • dünne Ablagerungsschicht mit kleineren Ausbrüchen und schwarzbrauner Farbe • keine besonderen Anzeichen der Fettverbrennung 	3. Kolbenboden: <ul style="list-style-type: none"> • keine sichtliche Veränderung zur letzten Endoskopie
4. Ventilsitze: <ul style="list-style-type: none"> • metallisch blank • keine besonderen Anzeichen der Fettverbrennung 	4. Ventilsitze: <ul style="list-style-type: none"> • keine sichtliche Veränderung zur letzten Endoskopie
5. Ventile: <ul style="list-style-type: none"> • Einlaßventil <ul style="list-style-type: none"> • Oberseite metallisch blank • Unterseite dünne Ablagerungsschicht mit bräunlicher Farbe • Auslaßventil <ul style="list-style-type: none"> • auf beiden Seiten ist eine dünne Ablagerungsschicht mit bräunlicher Farbe • keine besonderen Anzeichen der Fettverbrennung 	5. Ventile: <ul style="list-style-type: none"> • Einlaßventil <ul style="list-style-type: none"> • Die Oberseite des Einlaßventils hat schwarze zerklüftete und brüchige Verkrustungen • Auslaßventil <ul style="list-style-type: none"> • keine sichtliche Veränderung zur letzten Endoskopie
Sonstiges:	
<p>Es wurde ein Motorölverlust (Markierung am Ölpeilstab bei min.) festgestellt, was einer Motorölverdünnung entgegenspricht.</p>	

Zusammenfassung:

Bis auf die HC-Emission und den Kraftstoffverbrauch, zeigte sich in allen Bereichen eine Verschlechterung der Meßergebnisse. In wieweit das aussagekräftig ist, ist aus folgenden Gründen fraglich:

Es fehlt der Vergleich mit einem Motor, der mit reinem Dieselkraftstoff betrieben wurde. Weiterhin läßt sich bei zwei Messungen keine Aussage über den Schwankungsbereich machen. Daraus folgt, daß für eine vollständige Bewertung der Langzeitversuche die nächsten Meßzeiträume mit einzubeziehen sind.

6.3.2 Kraft-Fahrzeug**Beim Kraft-Fahrzeug wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:**

1.9.98 bei einem Kilometerstand von 72.060 km

- Messung der Leistung mit Soja-Öl
- Messung der Schwärzungszahl mit Soja-Öl

Die Messung der Abgas-Emissionen konnte zu diesem Termin wegen dem Fehlen von Prüfgasen nicht durchgeführt werden.

Dez '98 bei einem Kilometerstand von ca. 80.000 km

- Das Fahrzeug ist mit einem Abriß des Zahnriemens ausgefallen. Dieser Schaden ist von der Adam Opel AG auf Kulanz übernommen worden, weil er nicht mit dem Pflanzenölbetrieb in Verbindung gebracht werden konnte. Bei der Demontage des Zylinderkopfs konnten keine negativen Anzeichen des Pflanzenölbetriebes gefunden werden. Das Fahrzeug stand aus diesem Grund, für eine für diese Arbeit abschließende Zwischenuntersuchung, nicht zur Verfügung.

7 CO₂-Bilanz

Für das Erstellen einer CO₂-Bilanz können verschiedene Ansätze getroffen werden. An dieser Stelle sollen verschiedene Gedankenansätze ohne Bewertung vorgestellt werden. Dabei spielen zwei Grundgedanken eine entscheidende Rolle.

7.1 Haben gebrauchte Pflanzenkraftstoffe eine Bereitstellungskette?

Der Ansatz zur Beantwortung dieser Frage ist eine weitere Frage: Was passiert mit den Altfetten, wenn sie nicht durch Fahrzeuge verbrannt werden?

- Weiterverarbeitung in der Fettindustrie
- Verfütterung an Tiere
- Sonderabfallverbrennung
- Deponierung (Diese ist in absehbarer Zeit jedoch nicht mehr möglich)

Alle diese Nutzungsvarianten [6] haben eines gemeinsam:

Kurz- oder langfristig zerfallen oder verbrennen diese Altfette in ihre Grundbestandteile CO₂ und H₂O. Dieses kann auch über einen oder mehrere Zwischenschritte z.B. Faulgase geschehen. Es kann also festgehalten werden, daß, egal ob das Altmaterial im Fahrzeugmotor verbrannt wird oder nicht, es wird daraus wieder CO₂ entstehen. Die Bereitstellungskette dieser Altmaterialien beschränkt sich also nur auf den Transport und die Aufbereitung. Die Bereitstellungskette von der Pflanze bis zum ersten Nutzer, z.B. der Lebensmittelindustrie, geht auf das Konto dieses Nutzers. Die Begründung liegt darin, daß, egal ob es nun Abnehmer für das Altmaterial geben würde oder nicht, dieses anfällt und damit in den CO₂-Kreislauf zurückkehrt und der erste Nutzer durch seinen Bedarf für die Herstellung der Fette bzw. Öle verantwortlich ist.

Aus diesem Grundgedanken ergeben sich zwei Ansätze:

- **Altfette haben, bis auf den Transport und die Aufbereitung, keine Bereitstellungskette**
- **Altfette haben, neben dem Transport und der Aufbereitung, zusätzlich noch eine Frischölbereitstellungskette**

7.2 Der Einfluß des Startkraftstoffes auf die CO₂-Bilanz

Als Startkraftstoff kommen zur Zeit zwei Alternativen zum Einsatz. Da wäre als erstes Dieselmotorkraftstoff nach EN590 und als zweites Dieselmotorkraftstoff aus Fettsäuremethylester (FAME) nach DIN51606. Aus technischer Sicht hat der FAME Vorteile in der Mischbarkeit mit den Pflanzenkraftstoffen. Diese bessere Mischbarkeit ist begründet auf der ähnlichen Dichte von FAME und den Pflanzenkraftstoffen, wohin gegen sich der Dieselmotorkraftstoff durch seine niedrigere Dichte immer ein wenig absetzt. Daraus resultiert eine längere Spülzeit vor dem Abstellen des Motors. Das Verhältnis zwischen Startkraftstoff und Betriebskraftstoff hängt von den folgenden Faktoren ab:

- Starttemperatur (Sommer oder Winter)
- Kraftstoffart (Fett oder Öl)
- Fahrtstrecke (Langstrecke oder Kurzstrecke)
- Heizleistung des Kühlwasserstromes (Wirkungsgrad des Motors)

Das Verhältnis unterscheidet sich je nach Fahrzeug, Kraftstoff und Einsatzgebiet. Diese Parameter lassen sich nicht verallgemeinern und sind von Fall zu Fall neu zu prüfen.

7.3 Grundlagen zur Berechnung der CO₂-Bilanz

Für das Erstellen der CO₂-Bilanz wurden vier Szenarien ausgewählt. Diese unterscheiden sich in den angesprochenen Problematiken, ob Altmaterialien eine Bereitstellungskette haben oder nicht und welcher Startkraftstoff verwendet wurde.

Szenario 1:

- Altfette haben, neben dem Transport und der Aufbereitung, zusätzlich noch eine Frischölbereitstellungskette.
- Als Startkraftstoff wurde Dieselmotorkraftstoff verwendet.

Szenario 2:

- Altfette haben, neben dem Transport und der Aufbereitung, zusätzlich noch eine Frischölbereitstellungskette.
- Als Startkraftstoff wurde FAME verwendet.

Szenario 3:

- Altfette haben, bis auf den Transport und die Aufbereitung, keine Bereitstellungskette.
- Als Startkraftstoff wurde Dieselmotorkraftstoff verwendet.

Szenario 4:

- Altfette haben, bis auf den Transport und die Aufbereitung, keine Bereitstellungskette.
- Als Startkraftstoff wurde FAME verwendet.

Zur Berechnung der CO₂-Bilanz mußten einige Vereinfachungen und Schätzungen vorgenommen werden:

- Diese Bilanz hat nur für das unter dem Kap. 5.1 beschriebene Lohmann-Fahrzeug Gültigkeit.
- Die Messungen der Abgas-Emissionen wurden mit den im Kapitel 5.2.3 beschriebenen Einschränkungen durchgeführt.
- Es wurde zur Berechnung der CO₂-Bilanz der schlechteste (216,1 g/km) und beste (198,8 g/km) Pflanzenkraftstoff bei der CO₂-Emission, als Ausgangswert genommen.
- Das Verhältnis zwischen Startkraftstoff und Fahrkraftstoff ergibt sich aus den Daten des Fahrtenbuchs, die im Kap. 5.1 zusammengefaßt wurden.
- Für die CO₂-Minderung der Pflanzenkraftstoffe als Fahrkraftstoff wurden die Prozentzahlen von Rapsöl eingesetzt (45%-65%). [11]
- Die Prozentzahlen für die CO₂-Erhöhung durch die Reinigung des Kraftstoffes wurden geschätzt. (0,1% wenn das Material nur gefiltert werden muß; 3% wenn

das Material auch von Chloriden, Phosphaten sowie von einem zu hohen Wassergehalt befreit werden muß).

- Die Prozentzahl für die CO₂-Erhöhung durch den Transport der Altmaterialien zum Endverbraucher wurde der des Dieselkraftstoffes gleichgesetzt (0,6%). [11]
- Für die CO₂-Minderung der FAME als Startkraftstoff wurden die Prozentzahlen von RME eingesetzt (35%-60%). [11]

7.4 Berechnungstabelle zur CO₂-Bilanzerstellung

• Abkürzungen:

CO _{2, gem}	: gemessene CO ₂ -Emission nach dem EG-Zyklus	[g/km]
b _{Fahr}	: Anteil des Fahrkraftstoffes am Gesamtverbrauch	[%]
CO _{2, Fahr}	: CO ₂ -Emissionen verursacht durch den Fahrkraftstoff	[g/km]
CO _{2, Pflanzen}	: Reduzierung der CO ₂ -Emissionen durch die Verwendung von Pflanzenöl	[%]
CO _{2, Reinigung}	: Erhöhung der CO ₂ -Emissionen durch die Reinigung des Altmaterials	[%]
CO _{2, Transport}	: Erhöhung der CO ₂ -Emissionen durch den Transport des Altmaterials	[%]
CO _{2, ges, Fahr, %}	: Gesamtreduzierung der CO ₂ -Emissionen für den Fahrkraftstoff	[%]
CO _{2, ges, Fahr, g/km}	: reduzierte CO ₂ -Emissionen des Fahrkraftstoffes	[g/km]
b _{Start}	: Anteil des Startkraftstoffs am Gesamtverbrauch	[%]
CO _{2, Start}	: CO ₂ -Emissionen verursacht durch den Startkraftstoff	[g/km]
CO _{2, FAME}	: Reduzierung der CO ₂ -Emissionen durch die Verwendung von FAME	[%]
CO _{2, ges, Start, %}	: Gesamtreduzierung der CO ₂ -Emissionen für den Startkraftstoff	[%]
CO _{2, ges, Start, g/km}	: reduzierte CO ₂ -Emissionen des Startkraftstoffes	[g/km]

- Die Berechnungen wurden mit folgenden Formeln durchgeführt:

$$CO_{2, Fahr} = \frac{CO_{2, gem} \cdot b_{Fahr}}{100} \quad (7.1)$$

$$CO_{2, ges, Fahr, Prozent} = CO_{2, Pflanzen} + CO_{2, Reinigung} + CO_{2, Transport} \quad (7.2)$$

$$CO_{2, ges, Fahr, g km} = \frac{CO_{2, Fahr} \cdot 100 \cdot CO_{2, ges, Fahr, Prozent}}{100} \quad (7.3)$$

$$CO_{2, Start} = \frac{CO_{2, gem} \cdot b_{Start}}{100} \quad (7.4)$$

$$CO_{2,ges, Start, Prozent} \cdot CO_{2,FAME} \quad (7.5)$$

$$CO_{2,ges, Start, g km} \cdot \frac{CO_{2, Start} \cdot 100 \cdot CO_{2,ges, Start, Prozent}}{100} \quad (7.6)$$

$$CO_{2,ges} \cdot CO_{2,ges, Fahr, g km} \cdot CO_{2,ges, Start, g km} \quad (7.7)$$

- **Berechnung des Fahrkraftstoff- Verbrauchsanteils:**

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
CO _{2, gem.} [g/km]	198,8-216,1	198,8-216,1	198,8-216,1	198,8-216,1
b _{Fahr} [%]	80,7	80,7	80,7	80,7
CO _{2, Fahr} [g/km]	160,4-174,4	160,4-174,4	160,4-174,4	160,4-174,4
CO _{2, Pflanzen} [%]	-45-65	-45-65	-100	-100
CO _{2, Reinigung} [%]	0,1-3	0,1-3	0,1-3	0,1-3
CO _{2, Transport} [%]	0,6	0,6	0,6	0,6
CO _{2, ges, Fahr, %} [%]	-41,4-64,3	-41,4-64,3	-96,4-99,3	-96,4-99,3
CO _{2, ges, Fahr, g/km} [g/km]	57,3-102,2	57,3-102,2	1,1-6,3	1,1-6,3

- **Berechnung des Startkraftstoff-Verbrauchsanteils:**

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
CO _{2, gem.} [g/km]	198,8-216,1	198,8-216,1	198,8-216,1	198,8-216,1
b _{Start} [%]	19,3	19,3	19,3	19,3
CO _{2, Start} [g/km]	0	38,4-41,7	38,4-41,7	38,4-41,7
CO _{2, FAME} [%]	0	-35-60	0	-35-60
CO _{2, ges, Start, %} [%]	0	-35-60	0	-35-60
CO _{2, ges, Start, g/km} [g/km]	38,4-41,7	15,4-27,1	38,4-41,7	15,36-27,1

- **Berechnung der Gesamt CO₂-Emission:**

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4
CO _{2, ges, Fahr, g/km} [g/km]	57,3-102,2	57,3-102,2	1,1-6,3	1,1-6,3
CO _{2, ges, Start, g/km} [g/km]	38,4-41,7	15,36-27,1	38,4-41,7	15,4-27,1
CO _{2, ges} [g/km]	95,7-143,9	72,7-129,3	39,5-48,0	16,5-33,4

7.5 Ergebnis der CO₂-Bilanz

Zur Beurteilung der Ergebnisse gibt es zwei Kriterien. Das „3-Liter-Auto“ mit einem CO₂-Ausstoß von 90 g/km und das „5-Liter-Auto“ mit 120 g/km. [12]

Dabei erfüllte das Szenario 1 mit seinem unteren Grenzwert die Kriterien des 5-Liter-Autos. Das Szenario 2 erfüllte mit seinem unteren Grenzwert die Kriterien des 3-Liter-Autos und die Szenarien 3 und 4 erfüllen mit ihren oberen und unteren Grenzwerten die Kriterien des 3-Liter-Autos.

Im Kapitel 5.2.3.3 wurde eine Abweichung zwischen dem realen Kraftstoffverbrauch und dem, der aus den Abgas-Emissionen berechnet wurde, beschrieben. Diese Abweichung hat ebenfalls Auswirkung auf die CO₂-Emission, da diese Emission der Hauptbestandteil bei der Verbrauchsberechnung war. Die Anwendung dieser Abweichung auf die CO₂-Bilanz würde diese um 14% absenken.

Die N₂O-Emission (Lachgas) der Pflanzen beim Anbau und deren Auswirkung auf die Atmosphäre, wurde hier nicht berücksichtigt, da die öffentliche Diskussion über die mögliche Größe der Emission von N₂O beim Anbau von Ölpflanzen nicht abgeschlossen ist. [11] [13]

8 Ausblick und Verbesserungsvorschläge

Dieses Kapitel unterteilt sich in zwei Abschnitte. Der erste Abschnitt befaßt sich mit der Weiterführung der Langzeitversuche und über weitere Forschungsmöglichkeiten im Bereich der Altfettverwertung und der Pflanzenölverbrennung in Dieselmotoren. Der zweite Abschnitt befaßt sich mit Verbesserungsvorschlägen beim Prüfstands-aufbau.

Langzeitversuche:

Die Langzeitversuche sollten auch in Zukunft weiter betreut werden. Dazu werden folgende Intervalle vorgeschlagen:

- Für das Rieger-Fahrzeug (Direkteinspritzmotor) ist ein Intervall von 200L Alternativkraftstoffverbrauch angemessen. Dieser Intervall kann bei einer Stabilisierung der Ergebnisse auf 400L und später auf 600L angehoben werden. Bei den Überprüfungen sind vorrangig die Abgas- und Leistungsmessungen mit Soja-Öl und Dieselmotorkraftstoff, sowie die Motor-Endoskopie durchzuführen.
- Für das Kraft-Fahrzeug (Vorkammermotor) ist sofort ein Intervall von 600L Alternativkraftstoffverbrauch angemessen, da dieses Fahrzeug bereits 40.000 km im umgebauten Zustand ohne Probleme, die auf den Betrieb mit Pflanzenkraftstoff zurückzuführen wären, betrieben wurde. Bei diesem Fahrzeug stehen Abgas- und Leistungsmessungen sowie die Bestimmung der Schwärzungszahl mit Soja-Öl im Vordergrund.

Weiterer Forschungsbedarf:

Weiterführende Forschungsmöglichkeiten ergeben sich aus der Erkenntnis, daß der Kraftstoff-Temperatureinfluß nicht zu vernachlässigen ist. Bei dieser Arbeit wurden nur Motoren mit Einspritzpumpen verwendet, bei denen es einen Einfluß der Kraftstofftemperatur auf den Einspritzbeginn gab. Um die Einflüsse des Einspritzbeginns und der Kraftstofftemperatur auf den Wirkungsgrad zu trennen, sollten neue Versuche mit einem Motor durchgeführt werden bei dem es keinen Zusammenhang zwischen der Kraftstofftemperatur und dem Einspritzbeginn gibt. Dabei sollte nicht die Leistungsoptimierung sondern die Wirkungsgrad- und Emissionsoptimierung im

Vordergrund stehen.

Weiterhin sollten moderne Dieselmotoren wie z.B. Direkteinspritzmotoren mit Common-Rail-Einspritzsystem auf ihre Eignung für den Betrieb mit Pflanzenkraftstoff untersucht werden. Dabei steht die bessere Gemischaufbereitung, die in diesen Motoren erreicht wurde, im Vordergrund.

Ein weiterer Punkt, bei dem ein Forschungsbedarf besteht, ist bei Entwicklung von kleineren Aufbereitungsanlagen für gebrauchte Pflanzenöle und -fette. Hier sollte folgender Gedanke im Vordergrund stehen. Dort wo das gebrauchte Pflanzenöl oder -fett anfällt, wird es gereinigt und in kleinen Blockheizkraftwerken verbrannt oder in Fahrzeugen verfahren. Dieses hätte den Vorteil, daß es keinen Transportaufwand gäbe und der Hersteller des „Abfalls“ diesen noch energetisch nutzen kann. Diese Anlagen sollten den Kraftstoff entwässern und von Fremdstoffen wie Salz, Kohlehydraten, Stärke oder Eiweiß befreien.

Verbesserungsvorschläge:

Die Verbesserungsvorschläge beziehen sich auf den stationären Meßaufbau.

Das Problem der nicht veränderbaren **simulierten Schwungmasse** bei der Abgasmessung nach dem EG-Zyklus könnte durch den Einbau eines hydraulischen Getriebes behoben werden. Danach könnte die Schwungmasse individuell an jedes Fahrzeug angepaßt werden, da bei der Verwendung eines hydraulischen Getriebes eine stufenlose Verstellung möglich wäre.

Das Problem der falschen **Fahrwiderstandskurve** kann nur durch einen Austausch der Leistungsbremse erfolgen. Die neue Leistungsbremse sollte so regelbar sein, daß sie eine Fahrwiderstandskurve simulieren kann, die der EG-Richtlinie 70/220/EWG entspricht.

Weiterhin sollte eine **Kalibriereinrichtung für die Venturidüse** gebaut werden, um somit eine Grundlage für den Einbau einer größeren Düse zu gewährleisten.

Da mit dieser Anlage in Zukunft noch mehrere Dieselfahrzeuge geprüft werden, sollte die Anschaffung einer **Einrichtung zur Partikelmessung** während des EG-Zyklus in Erwägung gezogen werden.

9 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Zusammenfassung der Ergebnisse unterteilt sich in die Bereiche:

- Kraftstoffvergleich
- Temperaturanalyse
- Langzeituntersuchungen
- CO₂-Bilanz

Kraftstoffvergleich

Es wurden vier gebrauchte Öle und Fette auf ihre Eignung als Dieselmotorkraftstoffersatz untersucht. Dazu wurden Abgasuntersuchungen nach dem EG-Test sowie Leistungs- und Schwärzungszahlmessungen bei Vollast durchgeführt. Dabei kam es zu folgenden Ergebnissen:

- Die gemessenen Leistungen der Pflanzenkraftstoffe lagen bis zu 10% über denen des Dieselmotorkraftstoffes.
- Der Wirkungsgrad beim Betrieb mit Pflanzenöle lag im unteren und mittleren Drehzahlbereich um bis zu 2%-Punkte unter dem mit Dieselmotorkraftstoff. Im oberen Drehzahlbereich lag der Wirkungsgrad des Motors beim Betrieb mit Pflanzenöl bis zu 2%-Punkte über dem mit Dieselmotorkraftstoff.
- Die Schwärzungszahlen lagen bei den Pflanzenkraftstoffen über denen des Dieselmotorkraftstoffes. Das schlechte Verhalten des Dieselmotorkraftstoffes und das gute Verhalten der Pflanzenkraftstoffe im oberen Drehzahlbereich wiederholte sich bei der Schwärzungszahl.
- Die HC-Emissionen der Pflanzenkraftstoffe lag bis zu 55% unter denen des Dieselmotorkraftstoffes.
- Die NO_x-Emissionen der Pflanzenöle lagen um bis zu 32% höher, die der Fette um bis zu 9% niedriger als die des Dieselmotorkraftstoffes.
- Die CO-Emissionen lagen bei den Ölen bis zu 112% und bei den Fetten bis zu 199% über denen des Dieselmotorkraftstoffes.
- Der Verbrauch der pflanzlichen Kraftstoffe lag aufgrund des niedrigeren Heizwertes, um bis zu 10% über dem Dieselmotorkraftstoff.

Temperaturanalyse

An Soja-Öl wurde der Kraftstoff-Temperatureinfluß auf die Verbrennung untersucht. Dazu wurden Abgasuntersuchungen nach dem EG-Test sowie Leistungs- und Schwärzungszahlmessungen bei 50%, 67%, 84% und 100% Last durchgeführt. Dabei ergaben sich folgende Ergebnisse:

- Bei Teillast stellte sich ein optimaler Wirkungsgrad und eine optimale Schwärzungszahl zwischen 60°C und 70°C ein.
- Bei Vollast stellte sich ein optimaler Wirkungsgrad und eine optimale Schwärzungszahl bei der höchsten gefahrenen Temperatur von 100°C ein.
- Bei den Abgas-Emissionen und beim Kraftstoffverbrauch stellte sich der optimale Bereich, bis auf die Stickoxide, bei 60°C-70°C ein.
- Die Stickoxide hatten einen optimalen Bereich bei der höchsten gefahrenen Kraftstofftemperatur von 100°C.

Langzeituntersuchungen

Bei den Langzeituntersuchungen wurde ein erster Abschnitt absolviert. Dabei konnte aber nur beim Rieger Fahrzeug eine Wiederholungsmessung durchgeführt werden. Dabei zeigten sich nach 6.000 km Pflanzenkraftstoffbetrieb (gesamt 11.000 km Pflanzenkraftstoffbetrieb) folgende Ergebnisse:

Bei den HC--Emissionen gab es zwischen der ersten und zweiten Messung keinen Unterschied. Bei den NO_x-Emissionen gab es eine Erhöhung um 15% und bei den CO-Emissionen eine Erhöhung um 48%. Der Kraftstoffverbrauch, der sich aus den Abgas-Emissionen berechnet, sank um 2%.

Bei der Leistung zeigte sich ein durchschnittlicher Abfall von 7%.

Bei der Motor-Endoskopie waren Veränderungen erkennbar.

CO₂-Bilanz

Bei der CO₂-Bilanz zeigte sich eine starke Bandbreite zwischen den Ergebnissen der vier Szenarien. Diese waren hauptsächlich in den verschiedenen Gedankenmodellen begründet, die diesen Szenarien zu Grunde lagen. Dabei stand

die Frage, ob Altmaterialien eine Bereitstellungskette haben oder nicht im Vordergrund. Es ergaben sich folgende Ergebnisse:

CO₂-Emission in g/km

- Szenario 1: 95,7 - 143,9
- Szenario 2: 72,7 - 129,3
- Szenario 3: 39,5 - 48,0
- Szenario 4: 16,5 - 33,4

Hierbei erfüllte das Szenario 1 mit seinem unteren Grenzwert die Kriterien des 5-Liter-Autos. Das Szenario 2 erfüllte mit seinem unteren Grenzwert die Kriterien des 3-Liter-Autos und die Szenarien 3 und 4 erfüllen mit ihren oberen und unteren Grenzwerten die Kriterien des 3-Liter-Autos deutlich.

10 Literaturverzeichnis

[1] Übersetzung der AGENDA 21

Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
1992 (liegt auf der CD als Dokument bei)

[2] Klimaschutz in Deutschland / Zweiter Bericht der Regierung der Bundesrepublik Deutschland nach dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
1997 (liegt auf der CD als Dokument bei)

[3] Energetische Nutzung von Pflanzenölen

Fachtagung am 20.10.1998 in Wackersdorf
Bayrisches Landesamt für Umweltschutz
1998

[4] Öle und Fette als Kraftstoff

Robert Spath
Diplomarbeit, Universität der Bundeswehr München
1994

[5] Langzeitstabilität beim Betrieb eines Dieselmotors mit Fett

Roberto Alt
Diplomarbeit, Universität der Bundeswehr München
1997

[6] VDI-Bericht 1126 / Pflanzenöle als Kraftstoffe für Fahrzeugmotoren und Blockheizkraftwerke

Fachtagung am 4./5. Juli 1994 in Würzburg
VDI-Verlag
1994

-
- [7] **Untersuchung der Eignung von Pflanzenölen als Kraftstoff für Dieselmotoren und Vorstellung eines neuen Pflanzenöl-Motor-Konzeptes**
Dipl.-Ing. Christian Matthias Birkner
genehmigte Dissertation
1995
- [8] **VDI-Bericht 794 / Energie aus nachwachsenden Rohstoffen und organischen Reststoffen**
Fachtagung am 8. März 1990 in Darmstadt
VDI-Verlag
1990
- [9] **MTZ-Motortechnische Zeitung 9/97**
Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH
1997
- [10] **Experimentelle Untersuchung zur Nutzung von Pflanzenölen in Dieselmotoren**
Porsche AG - Entwicklungszentrum Weissach
Abschlußbericht
1991
- [11] **Ökologische Bilanz von Rapsöl bzw. Rapsölmethylester als Ersatz von Dieselkraftstoff (Ökobilanz Rapsöl)**
Umweltbundesamt
1993
- [12] **Beschluß der Bundesregierung zum Klimaschutzprogramm der Bundesrepublik Deutschland auf der Basis des Vierten Berichts der Interministeriellen Arbeitsgruppe "CO₂-Reduktion" (IMA "CO₂-Reduktion")**
1997 (liegt auf der CD als Dokument bei)

-
- [13] **Bericht des Bundes und der Länder über nachwachsende Rohstoffe**
Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
1995
- [14] **Handbuch Dieselmotoren**
Klaus Mollenhauer
Springer-Verlag
1997
- [15] **Wärmetechnisches Meßpraktikum**
Prof. Dr.-Ing. B. Oberle
Praktikumsmanuskript
1995
- [16] **Brockhaus Enzyklopädie Siebter Band**
F. A. Brockhaus Leipzig-Mannheim
1996
- [17] **Optimierung eines Abgasrollenprüfstandes**
Christian Liebhardt
Diplomarbeit, Universität der Bundeswehr München
1995
- [18] **Entwicklung eines Rollenprüfstandes für Abgasmessungen**
W. Skoda
Diplomarbeit, Universität der Bundeswehr München
1993
- [19] **Bestimmung der optimalen Einspritzbedingungen beim Betrieb eines Motors mit tierischen Fetten**
Sven Steinlein
Diplomarbeit, Universität der Bundeswehr München
1995

-
- [20] Betrieb eines Motors mit tierischen Fetten**
H. Jung
Diplomarbeit, Universität der Bundeswehr München
1993
- [21] Bedienungsanleitung Smoke Meter Typ 409**
AVL-Gesellschaft für Verbrennungskraftmaschinen und Meßtechnik
1983
- [22] Eichzertifikate der Prüfgase**
Linde Deutschland AG
- [23] Entwicklung eines rechnergestützten Fahrerleitsystems**
Martin Raaben
Diplomarbeit, Universität der Bundeswehr München
1995
- [24] Taschenbuch der Physik**
Horst Kuchling
Fachbuchverlag Leipzig - Köln
1995
- [25] VDI Bericht 1093 / Kumulierte Energie- und Stoffbilanzen und ihre Bedeutung für Ökobilanzen**
Fachtagung vom 30.11.-1.12.93 in München
VDI-Verlag
1993
- [26] VDI-Bericht 943 / Energiehaushalten und CO₂-Minderung: Einsparpotentiale im Sektor Verkehr**
Fachtagung vom 25.-26.3.1992 in Würzburg
VDI-Verlag
1992
- [27] Pflanzliche Öle im chemisch-technischen Sektor**

- Fachtagung vom 12.-13.11.1990 in Bonn
Bundesamt für Ernährung und Forstwirtschaft
1990
- [28] 5 Jahre Nachwachsende Rohstoffe 1993-1997**
Bericht des BML
Köllen Druck+Verlag GmbH
1998
- [29] DIN 51757 Bestimmung der Dichte**
Deutsche Norm
Beuth Verlag GmbH
1984
- [30] DIN 1342 Viskosität**
Deutsche Norm
Beuth Verlag GmbH
1986
- [31] DIN 51550 Bestimmung der Viskosität**
Deutsche Norm
Beuth Verlag GmbH
1978
- [32] DIN 51562 Messung der kinematischen Viskosität mit dem Ubbelohde-
Viskosimeter**
Deutsche Norm
Beuth Verlag GmbH
1983
- [33] DIN 51563 Bestimmung des Viskosität-Temperatur-Verhaltens**
Deutsche Norm
Beuth Verlag GmbH
1976
- [34] DIN 53402 Bestimmung der Säurezahl**

- Deutsche Norm
Beuth Verlag GmbH
1990
- [35] DIN 51558 Bestimmung der Neutralisationszahl**
Deutsche Norm
Beuth Verlag GmbH
1979
- [36] DIN 51606 Dieselkraftstoff aus Fettsäuremethylester (Entwurf)**
Deutsche Norm
Beuth Verlag GmbH
1997
- [37] DIN 51601 Dieselkraftstoff**
Deutsche Norm
Beuth Verlag GmbH
1984
- [38] EWG-Richtlinie 70/220/EWG**
Lose Blatt Sammlung
Kirschbaum Verlag Bonn
1998
- [39] EWG-Richtlinie 80/1268/EWG**
Lose Blatt Sammlung
Kirschbaum Verlag Bonn
1998
- [40] EWG-Richtlinie 80/1269/EWG**
Lose Blatt Sammlung
Kirschbaum Verlag Bonn
1998
- [41] EWG-Richtlinie 88/77/EWG**

Lose Blatt Sammlung
Kirschbaum Verlag Bonn
1998

[42] ECE-Regelung ECE 15

Lose Blatt Sammlung
Kirschbaum Verlag Bonn
1997

[43] ECE-Regelung ECE 24

Lose Blatt Sammlung
Kirschbaum Verlag Bonn
1997

[44] ECE-Regelung ECE 83

Lose Blatt Sammlung
Kirschbaum Verlag Bonn
1997

Anhang A: Normierungsvorschlag für Rapsöl

		LTV-Arbeitskreis <i>Dezentrale Pflanzenölgewinnung</i> Weihenstephan		
		Vorläufiger Qualitätsstandard für Rapsöl als Kraftstoff (RK-Qualitätsstandard) (Fassung vom 22.08.1996)		
Eigenschaften/ Inhaltsstoffe	Einheit	Grenzwert		Prüfverfahren
		min.	max.	
Dichte (15 °C)	g/ml	0,90	- 0,93	ISO 3675
kin. Viskosität (40 °C)	mm ² /s		38	ISO 3104
Flammpunkt nach Pensky-Martens	°C	300		ISO 2719
Heizwert H _u	kJ/g	35		DIN 51 900 T3
Zündwilligkeit (Cetanzahl)	-	38		ISO 5165
Koksrückstand (nach Conradson)	Masse-%		0,03	ISO 10370
Kälteverhalten	°C	noch festzulegen		DIN V 51 608
Gesamtverschmutzung	mg/kg		25	DIN 51 419
Gesamtverschmutzung mit 5 µm-Filter	mg/kg	noch festzulegen		in Anlehnung an DIN 51 419
Asche	Masse-%		0,02	ISO 6245
Wassergehalt	mg/kg		1000	ASTM D 1744
Phosphorgehalt	mg/kg		25	DIN 51 363 T1
Schwefelgehalt	Masse-%		0,03	ASTM D 5453
Neutralisationszahl	mg KOH/g		1,5	DIN 51 558 T1
Iodzahl	g/100 g		120	DIN 53 241

Anhang B: Berechnung der korrigierten Fahrwiderstände

Berechnung der mittleren Beschleunigung des EG-Fahrzykluses

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n a_i t_{\text{Beschl., } i} \text{ Stadt} + 4 \sum_{i=1}^n a_i t_{\text{Beschl., } i} \text{ Überland}}{\sum_{i=1}^n t_{\text{Beschl., } i} + \sum_{i=1}^n t_{\text{konst. Geschw., } i} \text{ Stadt} + 4 \sum_{i=1}^n t_{\text{Beschl., } i} + \sum_{i=1}^n t_{\text{konst. Geschw., } i} \text{ Überland}}$$

a \Rightarrow mittlere Beschleunigung $m s^{-2}$
 a_i \Rightarrow Beschleunigung nach dem EG Zyklus während der Phase i $m s^{-2}$
 $t_{\text{Beschl., } i}$ \Rightarrow Zeit der Beschleunigungszeit während der Phase i s
 4 \Rightarrow Faktor für die viemalige Wiederholung des Stadtzykluses
 $t_{\text{konst. Geschw., } i}$ \Rightarrow Zeitspanne der konst. Geschwindigkeitphasen während der Phase i s

Stadtzyklus

a_i	$t_{\text{Beschl., } i}$	$t_{\text{konst. Geschw., } i}$	$a_i t_{\text{Beschl., } i}$
1,04	4	8	4,16
0,83	5	2	4,15
0,94	5	24	4,7
0,83	5	2	4,15
0,62	9	2	5,58
0,52	8	25	4,16
Σ	36	63	26,9

Überlandzyklus

a_i	$t_{\text{Beschl., } i}$	$t_{\text{konst. Geschw., } i}$	$a_i t_{\text{Beschl., } i}$
0,83	5	2	4,15
0,62	9	2	5,58
0,52	8	2	4,16
0,43	13	119	5,59
0,43	13	50	5,59
0,24	35	30	8,4
0,28	20	10	5,6
Σ	83	205	39,07

Nach der obigen Formel und den dazugehörigen Zahlen werten ergibt sich eine mittlere Beschleunigung:

$$\hat{a} = 0,2144 \text{ m/s}^2$$

Bestimmung der Bremslast für einen Opel Astra Caravan (Lohmann)

Messung der Geschwindigkeitsabfalles in Sek von 85km/h auf 75km/h beim Ausrollen

Datum: 1.9.98

Ort der Messung: Taxi-Way des ehemaligen Flughafens in Neubiberg

1. Messung	2. Messung	3. Messung	4. Messung
11,6	8,54	11,36	8,76

Die Messungen wurden jeweils in jede Richtung des Taxi-Ways einmal wiederholt

mittleren Verzögerungszeit:

$$T_{\text{mittel}} \text{ in sek} = 10,07$$

Widerstandsleistung gemäß EWG-Richtlinie:

$$P_{\text{Fahr}} = M \cdot v \cdot \frac{v}{500T}$$

M=Bezugsmasse(Fahrzeugmasse(1090kg) –75 kg +100 kg)
 M=1115 kg
 v=Prüfgeschwindigkeit
 V=80 km/h = 22.22 m/s
 Δv =Abweichung der Geschwindigkeit von der Geschwindigkeit v
 Δv =5 km/h=1.39 m/s
 T=mittlere Verzögerungszeit
 T=10,07s

$$P_{\text{Fahr}} = 6.8 \text{ KW}$$

Bestimmung der Leistung zum Schwungmassenausgleich

Die mittlere Beschleunigung des Fahrzyklus nach 70/220/EWG Teil I
(Fahrstrecken mit konstanter Geschwindigkeit einbezogen)

$$a = 0,2144 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Berechnung der bei 80 km/h zusätzlich einzustellenden Leistung zum Schwungmassenausgleich

$$P_{\text{Schw}} = F \cdot v = m_{\text{Fahrzeug}} \cdot m_{\text{Prüfstand}} \cdot a \cdot v = 1115 \text{ kg} \cdot 1463 \text{ kg} \cdot 0,2144 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 22,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$P_{\text{Schw}} = -1.7 \text{ KW}$$

Die am Prüfstand bei 80 km/h einzustellende Bremsleistung

$$P_{\text{Brems}} = P_{\text{Fahr}} - P_{\text{Schw}}$$

$$P_{\text{Brems}} = 5,1 \text{ KW}$$

Bestimmung der Bremslast für einen Opel Astra Caravan (Kraft)

Der Versuch des Fahrwiderstandsbestimmung wurde schon mit dem Lohmann-Fahrzeug durchgeführt. Der einzige Unterschied ist ein größerer Tank, eine Klimaanlage und der aufgeladene Motor. Daraus resultiert ein Gewichtsunterschied von 40 kg. Der Fehler bei der Übernahme des Fahrwiderstands in die Berechnung der Bremslast ist daher minimal.

Übernommener Wert des Fahrwiderstandsleistung bei 80 km/h

$$P_{\text{Fahr}} = 6,8 \text{ KW}$$

Bestimmung der Leistung zum Schwungmassenausgleich

Die mittlere Beschleunigung des Fahrzyklus nach 70/220/EWG Teil I (Fahrstrecken mit konstanter Geschwindigkeit einbezogen)

$$a = 0,2144 \frac{m}{s}$$

Berechnung der bei 80 km/h zusätzlich einzustellenden Leistung zum Schwungmassenausgleich

$$P_{\text{Schw}} = F v = m_{\text{Fahrzeug}} + m_{\text{Prüfstand}} a v = 1155 \text{ kg} + 1463 \text{ kg} \cdot 0,2144 \frac{m}{s} \cdot 22,22 \frac{m}{s}$$

$$P_{\text{Schw}} = -1,5 \text{ KW}$$

Die am Prüfstand bei 80 km/h einzustellende Bremsleistung

$$P_{\text{Brems}} = P_{\text{Fahr}} - P_{\text{Schw}}$$

$$P_{\text{Brems}} = 5,3 \text{ KW}$$

Anhang C: Fahrzyklus-Simulationsprogramm

Programm-Code des Fahrzyklus-Simulationsprogramms:

```
PROGRAM CVS_Fahrzyklen;
```

```
USES
```

```
CRT, GRAPH, DOS;{Benutzte Bibliotheken(UNITS)}
```

```
VAR
```

```
cZyklus      : Char;
```

```
cLinie       : Char;
```

```
cGetriebe    : Char;
```

```
cWiederholung : Char;
```

```
xR           : Integer;
```

```
input_address : Integer;
```

```
output_address : Integer;
```

```
na,nv,K,yy   : Integer;
```

```
i,m,n        : Integer;
```

```
Time,Z       : Integer;
```

```
ADC_Faktor   : Integer;
```

```
Linienlaenge : Shortint;
```

```
Zyklus       : Shortint;
```

```
Timeout      : STRING;
```

```
xx : ARRAY [1..4000] OF Integer;
```

```
t_h, t_m, t_s, t_hund : Word; {Variablen fuer Zeitmessungen}
```

```
t_h_ref, t_m_ref  : Word;
t_s_ref, t_hund_ref : Word;
```

```
LABEL START;
```

```
{-----}
```

```
CONST {Es folgen die konstanten Geschwindigkeitswerte fuer die Zyklen}
```

```
a : ARRAY [1..1221] OF real= {Geschwindigkeitswerte fuer Pruefzyklus Typ I
                             Schaltgetriebe -> mit Schaltverzoegerungen }
```

```
{40 s Leerlauf}
```

```
( 0,
```

```
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
```

```
{Kumulierte Zeit: 40 s}
```

```
{Anfang Grund-Stadtfahrzyklus 4x195 s}
```

```
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3.8, 7.5, 11.3, 15.0,
15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 12.0, 9.0, 6.0, 3.0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 3.0, 6.0, 9.0, 12.0, 15.0, 15.0, 15.0, 18.4, 21.8, 25.2, 28.6,
32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0,
32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 29.1, 26.2, 23.3, 20.4, 17.5,
14.6, 11.7, 8.8, 5.9, 3.0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3.0, 6.0, 9.0,
12.0, 15.0, 15.0, 15.0, 17.2, 19.4, 21.7, 23.9, 26.1, 28.3, 30.6, 32.8, 35.0, 35.0, 35.0,
36.9, 38.8, 40.6, 42.5, 44.4, 46.3, 48.1, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0,
```

50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,48.1,46.3,44.4,42.5,40.6,38.8,36.9,35.0,35.0,35.0,
35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,32.1,29.2,26.3,23.4,
20.5,17.6,14.7,11.8, 8.9, 6.0, 3.1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,

{Kumulierte Zeit: 235 s}

0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3.8, 7.5,11.3,15.0,
15.0,15.0,15.0,15.0,15.0,15.0,15.0,15.0,12.0, 9.0, 6.0, 3.0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 3.0, 6.0, 9.0,12.0,15.0,15.0,15.0,18.4,21.8,25.2,28.6,
32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,
32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,29.1,26.2,23.3,20.4,17.5,
14.6,11.7, 8.8, 5.9, 3.0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3.0, 6.0, 9.0,
12.0,15.0,15.0,15.0,17.2,19.4,21.7,23.9,26.1,28.3,30.6,32.8,35.0,35.0,35.0,
36.9,38.8,40.6,42.5,44.4,46.3,48.1,50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,
50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,48.1,46.3,44.4,42.5,40.6,38.8,36.9,35.0,35.0,35.0,
35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,32.1,29.2,26.3,23.4,
20.5,17.6,14.7,11.8, 8.9, 6.0, 3.1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,

{Kumulierte Zeit: 430 s}

0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3.8, 7.5,11.3,15.0,
15.0,15.0,15.0,15.0,15.0,15.0,15.0,15.0,12.0, 9.0, 6.0, 3.0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 3.0, 6.0, 9.0,12.0,15.0,15.0,15.0,18.4,21.8,25.2,28.6,
32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,
32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,29.1,26.2,23.3,20.4,17.5,
14.6,11.7, 8.8, 5.9, 3.0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3.0, 6.0, 9.0,
12.0,15.0,15.0,15.0,17.2,19.4,21.7,23.9,26.1,28.3,30.6,32.8,35.0,35.0,35.0,
36.9,38.8,40.6,42.5,44.4,46.3,48.1,50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,
50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,48.1,46.3,44.4,42.5,40.6,38.8,36.9,35.0,35.0,35.0,
35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,32.1,29.2,26.3,23.4,
20.5,17.6,14.7,11.8, 8.9, 6.0, 3.1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,

{Kumulierte Zeit: 625 s}

0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3.8, 7.5, 11.3, 15.0,
15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 12.0, 9.0, 6.0, 3.0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 3.0, 6.0, 9.0, 12.0, 15.0, 15.0, 15.0, 18.4, 21.8, 25.2, 28.6,
32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0,
32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 29.1, 26.2, 23.3, 20.4, 17.5,
14.6, 11.7, 8.8, 5.9, 3.0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3.0, 6.0, 9.0,
12.0, 15.0, 15.0, 15.0, 17.2, 19.4, 21.7, 23.9, 26.1, 28.3, 30.6, 32.8, 35.0, 35.0, 35.0,
36.9, 38.8, 40.6, 42.5, 44.4, 46.3, 48.1, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0,
50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 48.1, 46.3, 44.4, 42.5, 40.6, 38.8, 36.9, 35.0, 35.0, 35.0,
35.0, 35.0, 35.0, 35.0, 35.0, 35.0, 35.0, 35.0, 35.0, 35.0, 35.0, 32.1, 29.2, 26.3, 23.4,
20.5, 17.6, 14.7, 11.8, 8.9, 6.0, 3.1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,

{Kumulierte Zeit: 820 s}

{Ausserstaedtischer Fahrzyklus ;Dauer: 400 s}

0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 3.0, 6.0, 9.0, 12.0, 15.0, 15.0, 15.0, 17.2, 19.4, 21.7,
23.9, 26.1, 28.3, 30.6, 32.8, 35.0, 35.0, 35.0, 36.9, 38.9, 40.6, 42.5, 44.4, 46.3,
48.1,
50.0, 50.0, 50.0, 51.5, 53.1, 54.6, 56.2, 57.7, 59.2, 60.8, 62.3, 63.9, 65.4, 66.9,
68.5,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
70.0,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
70.0,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
70.0,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 67.5, 65.0, 62.5, 60.0, 57.5, 55.0, 52.5, 50.0,
50.0,

50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0,
50.0,
50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0,
50.0,
50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0,
50.0,
50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 51.5, 53.1, 54.6, 56.2, 57.7, 59.2,
60.8,
62.3, 63.9, 65.4, 66.9, 68.5, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
70.0,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
70.0,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
70.0,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.9, 71.7, 72.6,
73.4,
74.3, 75.1, 76.0, 76.9, 77.7, 78.6, 79.4, 80.3, 81.1, 82.0, 82.9, 83.7, 84.6, 85.4,
86.3,
87.1, 88.0, 88.9, 89.7, 90.6, 91.4, 92.3, 93.1, 94.0, 94.9, 95.7, 96.6, 97.4, 98.3,
99.1,

100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,10
0.0,100.0,

100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,10
0.0,100.0,

100.0,101.0,102.0,103.0,104.0,105.0,106.0,107.0,108.0,109.0,110.0,111.0,112.0,11
3.0,114.0,

115.0,116.0,117.0,118.0,119.0,120.0,120.0,120.0,120.0,120.0,120.0,120.0,120.0,12
0.0,120.0,
120.0,117.5,115.0,112.5,110.0,107.5,105.0,102.5,100.0, 97.5, 95.0, 92.5, 90.0,

87.5, 85.0,

82.5, 80.0, 76.3, 72.5, 68.8, 65.0, 61.3, 57.5, 53.8, 50.0, 45.0, 40.0, 35.0, 30.0,
25.0,

20.0, 15.0, 10.0, 5.0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0);

{Kumulierte Zeit: 1220 s}

{-----}

aa : ARRAY [1..1221] OF real= {Geschwindigkeitswerte fuer Pruefzyklus Typ I
Automatikgetriebe -> ohne Schaltverzoegerungen}

{40 s Leerlauf}

(0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,

{Kumulierte Zeit: 40 s}

{Anfang Grund-Stadtfahrzyklus 4x195 s}

0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3.8, 7.5, 11.3, 15.0,
15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 15.0, 12.0, 9.0, 6.0, 3.0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 2.7, 5.3, 8.0, 10.7, 13.3, 16.0, 18.7, 21.3, 24.0, 26.7, 29.3,
32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0,
32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 32.0, 29.1, 26.2, 23.3, 20.4, 17.5,
14.6, 11.6, 8.7, 5.8, 2.9, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1.9, 3.9, 5.8,
7.7, 9.6, 11.5, 13.5, 15.4, 17.3, 19.2, 21.2, 23.1, 25.0, 26.9, 28.9, 30.8, 32.7, 34.6,
36.5, 38.5, 40.4, 42.3, 44.2, 46.2, 48.1, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0,

20.5,17.6,14.7,11.8, 8.9, 6.0, 3.1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,

{Kumulierte Zeit: 625 s}

0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 3.8, 7.5,11.3,15.0,
15.0,15.0,15.0,15.0,15.0,15.0,15.0,15.0,12.0, 9.0, 6.0, 3.0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 2.7, 5.3, 8.0,10.7,13.3,16.0,18.7,21.3,24.0,26.7,29.3,
32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,
32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,32.0,29.1,26.2,23.3,20.4,17.5,
14.6,11.6, 8.7, 5.8, 2.9, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1.9, 3.9, 5.8,
7.7, 9.6,11.5,13.5,15.4,17.3,19.2,21.2,23.1,25.0,26.9,28.9,30.8,32.7,34.6,
36.5,38.5,40.4,42.3,44.2,46.2,48.1,50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,
50.0,50.0,50.0,50.0,50.0,48.1,46.3,44.4,42.5,40.6,38.8,36.9,35.0,35.0,35.0,
35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,35.0,32.1,29.2,26.3,23.4,
20.5,17.6,14.7,11.8, 8.9, 6.0, 3.1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,

{Kumulierte Zeit: 820 s}

{Auáerstaedtischer Fahrzyklus ;Dauer: 400 s}

0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 1.7, 3.4, 5.1, 6.8, 8.5, 10.2, 12.0, 13.7, 15.4, 17.1,
18.8, 20.5, 22.2, 23.9, 25.6, 27.3, 29.0, 30.7, 32.4, 34.2, 35.9, 37.6, 39.3, 41.0,
42.7,
44.4, 46.1, 47.8, 49.5, 51.2, 52.9, 54.6, 56.3, 58.1, 59.8, 61.5, 63.2, 64.9, 66.6,
68.3,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
70.0,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
70.0,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
70.0,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 67.5, 65.0, 62.5, 60.0, 57.5, 55.0, 52.5, 50.0,

50.0,
50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0,
50.0,
50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0,
50.0,
50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0,
50.0,
50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0,
50.0,
50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 51.5, 53.1, 54.6, 56.2, 57.7, 59.2,
60.8,
62.3, 63.9, 65.4, 66.9, 68.5, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
70.0,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
70.0,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0,
70.0,
70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.0, 70.9, 71.7, 72.6,
73.4,
74.3, 75.1, 76.0, 76.9, 77.7, 78.6, 79.4, 80.3, 81.1, 82.0, 82.9, 83.7, 84.6, 85.4,
86.3,
87.1, 88.0, 88.9, 89.7, 90.6, 91.4, 92.3, 93.1, 94.0, 94.9, 95.7, 96.6, 97.4, 98.3,
99.1,

100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,10
0.0,100.0,

100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,100.0,10
0.0,100.0,

100.0,101.0,102.0,103.0,104.0,105.0,106.0,107.0,108.0,109.0,110.0,111.0,112.0,11
3.0,114.0,

115.0,116.0,117.0,118.0,119.0,120.0,120.0,120.0,120.0,120.0,120.0,120.0,120.0,12
0.0,120.0,

```
120.0,117.5,115.0,112.5,110.0,107.5,105.0,102.5,100.0, 97.5, 95.0, 92.5, 90.0,
87.5, 85.0,
82.5, 80.0, 76.3, 72.5, 68.8, 65.0, 61.3, 57.5, 53.8, 50.0, 45.0, 40.0, 35.0, 30.0,
25.0,
20.0, 15.0, 10.0, 5.0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0);
```

```
{-----}
```

```
PROCEDURE Init_Grafik;{Initialisiert das Grafikpaket und setzt einen Grafikmodus}
```

```
VAR
```

```
grafiktreiber , grafikmodus, grafikfehler : Integer;
```

```
BEGIN
```

```
grafiktreiber:=9;{VGA-Treiber}
```

```
grafikmodus :=1; {Auf"sung 640*350}
```

```
Initgraph (grafiktreiber, grafikmodus,'c:\tp\bgi'); {Pfad zum Grafiktreiber}
```

```
grafikfehler := graphresult;
```

```
IF grafikfehler = graph.grok
```

```
THEN BEGIN
```

```
graph.setbkcolor (0) ;{Hintergrundfarbe : Schwarz}
```

```
graph.setcolor (15);{Linienfarbe : Weiss}
```

```
END
```

```
ELSE BEGIN
```

```
Writeln ( 'Abbruch -> Grafikfehler');
```

```
Delay(2500);
```

```
Readln;
```

```
HALT ;
```

```
END;
```

```
END;
```

```
{-----}
```

```
PROCEDURE Geschwind_Skalela;
```

```
BEGIN
```

```
  settextstyle(0,horizdir,2);
```

```
  graph.setcolor(14);{Linienfarbe : Gelb}
```

```
{ moveto(0,15);lineto(550,15);}
```

```
  moveto(7,10);lineto(7,20);
```

```
  moveto((70+7),10);lineto(70+7,20);
```

```
  moveto((140+7),10);lineto(147,20);
```

```
  moveto((210+7),10);lineto(217,20);
```

```
  moveto((280+7),10);lineto(287,20);
```

```
  moveto((350+7),10);lineto(357,20);
```

```
  moveto((420+7),10);lineto(427,20);
```

```
  outtextxy(12,7,'0');
```

```
  outtextxy((70+12),7,'10');
```

```
  outtextxy((140+12),7,'20');
```

```
  outtextxy((210+12),7,'30');
```

```
  outtextxy((280+12),7,'40');
```

```
  outtextxy((350+12),7,'50');
```

```
  outtextxy((420+12),7,'60');
```

```
  outtextxy((540+12),7,'km/h');
```

```
ADC_Faktor:=30;{Faktor fuer die Umrechnung des Spannungssignal von Rolle}
```

```
graph.setcolor(15);{Linienfarbe : Weiss}
```

END;

{-----}

PROCEDURE Geschwind_Skalelb;

BEGIN

IF Zyklus = 1 THEN

```
setviewport(0,0,615,20,clipon);
clearviewport;
settextstyle(0,horizdir,0);
graph.setcolor(10);{Linienfarbe : Hellgruen}
{ moveto(0,15);lineto(515,15);}
moveto(7,10);lineto(7,20);
moveto(47,10);lineto(47,20);
moveto(87,10);lineto(87,20);
moveto(127,10);lineto(127,20);
moveto(167,10);lineto(167,20);
moveto(207,10);lineto(207,20);
moveto(247,10);lineto(247,20);
moveto(287,10);lineto(287,20);
moveto(327,10);lineto(327,20);
moveto(367,10);lineto(367,20);
moveto(407,10);lineto(407,20);
moveto(447,10);lineto(447,20);
moveto(487,10);lineto(487,20);
outtextxy(12,7,'0');
outtextxy(52,7,'10');
outtextxy(92,7,'20');
outtextxy(132,7,'30');
outtextxy(172,7,'40');
outtextxy(212,7,'50');
outtextxy(252,7,'60');
```

```
outtextxy(292,7,'70');
outtextxy(332,7,'80');
outtextxy(372,7,'90');
outtextxy(412,7,'100');
outtextxy(452,7,'110');
outtextxy(492,7,'120');
outtextxy(517,7,'km/h');
```

```
ADC_Faktor:=53;{Faktor fuer die Umrechnung des Spannungssignal von Rolle}
graph.setcolor(15); {Linienfarbe : Weiss}
setviewport(0,21,519,349,clipon);
```

```
END;
```

```
{-----}
```

```
PROCEDURE Falsche_Eingabe;
```

```
BEGIN
```

```
Clrscr;
gotoxy(2,10);
Writeln('Falsche Eingabe ! Bitte korrigieren !');
Sound(800);
Delay(300);
Nosound;
Delay(2000);
Clrscr;
```

```
END;
```

```
{-----}
```

```
FUNCTION WarteaufEingabe (Prompt: string; x,y: integer): char;
```

VAR

cc : Char;
h : Integer;

BEGIN

gotoxy (x,y);

FOR h := 1 TO length (Prompt) DO

Write (' ');
gotoxy (x,y);
Write (Prompt);
cc := readKey;
gotoxy (x,y);

FOR h := 1 TO length (Prompt) DO

Write (' ');
WarteaufEingabe := cc;

END;

{-----}

PROCEDURE Menue ; {Auswahl der Zyklen und Berechnung}

LABEL SPRUNG;

BEGIN

SPRUNG :
HighVideo;
Textmode(Lo(LastMode)) ;

```
Textcolor(2);{Textfarbe : Gruen}
Gotoxy(1,3);
Writeln('Welcher Prüfzyklus soll gefahren werden? ');
Writeln;
Textcolor(14);{Textfarbe : Gelb}
Writeln;
cZyklus := WarteaufEingabe
('Prüfzyklus Typ I -> (1)',1,6);

CASE cZyklus OF

'1':BEGIN

Writeln;
Write ('Gewählt : Prüfzyklus Typ I');
Delay(500);
Writeln;
cGetriebe := WarteaufEingabe
('Schaltgetriebe -> (1) Automatikgetriebe -> (2)',1,10);

CASE cGetriebe OF

'1':BEGIN

Writeln;
Writeln('Gewählt : Schaltgetriebe');
Zyklus:=1;
K:=1;

FOR i := 1 TO 820 DO BEGIN

xx[k]:=Round(7+(7*a[i]));
Inc(k);
xx[k]:=Round(7+(7*(a[i]+a[i+1])/2));
Inc(k);
```

```
END;

K:=1641;

FOR I := 821 TO 1220 DO BEGIN

    xx[K]:=Round(7+(4*a[i]));
    Inc(K);
    xx[K]:=Round(7+(4*(a[i]+a[i+1])/2));
    Inc(K);

END;

END;

'2':BEGIN

    Writeln;
    Writeln('Gewaeht : Automatikgetriebe');
    Zyklus:=1;
    K:=1;

    FOR I := 1 TO 820 DO BEGIN

        xx[K]:=round(7+(7*aa[i]));
        Inc(K);
        xx[K]:=Round(7+(7*(aa[i]+aa[i+1])/2));
        Inc(K);

    END;

    K:=1641;

    FOR I := 821 TO 1220 DO BEGIN
```

```
xx[K]:=Round(7+(4*aa[i]));
Inc(K);
xx[K]:=Round(7+(4*(aa[i]+aa[i+1])/2));
Inc(K);

END;

END;

ELSE

Falsche_Eingabe;

GOTO SPRUNG;{Sprung zurück zur Prozedur 'Menue'}

END;

END;

ELSE

Falsche_Eingabe;

GOTO SPRUNG;{Sprung zurück zur Prozedur 'Menue'}

END;

END;

{-----}

PROCEDURE Linie_Breite;

BEGIN
```

```
Textcolor(2);{Farbe : Gruen}
Gotoxy (1,14);
Writeln('Wahl der Linienbreite :');
Textcolor(14);{Farbe : gelb}
cLinie := WarteaufEingabe
('Normal ->(1)  Dick ->(2)',1,16);
```

```
CASE cLinie OF
```

```
'1' :BEGIN
```

```
    Init_Grafik;
    Setlinestyle(solidln,0,normwidth);
```

```
END;
```

```
'2' :BEGIN
```

```
    Init_Grafik;
    Setlinestyle(solidln,0,thickwidth);
```

```
END;
```

```
ELSE
```

```
    Falsche_eingabe;
    Menue;
```

```
END;
```

```
END;
```

```
{-----}
```

```
PROCEDURE Geschwind_Skale;
```

```
BEGIN
```

```
    Geschwind_Skalela
```

```
END;
```

```
{-----}
```

```
PROCEDURE Ende_Zyklus;
```

```
BEGIN
```

```
    Graph.setcolor(14);
```

```
    IF Zyklus = 1 THEN BEGIN
```

```
        Settextstyle(0,horizdir,2);
```

```
        outtextxy(100,260,'Ende des Fahrzyklus !');
```

```
        outtextxy(100,280,'Motor abstellen !');
```

```
        Delay(7000);
```

```
        Closegraph;
```

```
        EXIT;
```

```
    END;
```

```
END;
```

```
{-----}
```

```
PROCEDURE ZEIT;
```

```
BEGIN
```

```
    graph.setcolor(7);
```

```
Settextstyle(0,horizdir,2);
Time:=Z;
Str(time:4,timeout);
outtextxy(450,200,timeout);
Inc(Z);
graph.setcolor(15);
```

```
If Z = 41 THEN
  outtextxy(119,310,'Test beginnt jetzt!');
```

```
IF cGetriebe = '1' THEN
BEGIN
```

```
IF Z = 1193 THEN
  outtextxy(119,310,'Auskuppeln in 2 Sekunden!');
IF Z = 1194 THEN
  outtextxy(119,310,'Auskuppeln in 1 Sekunde!');
IF Z = 1195 THEN
  outtextxy(119,310,'Jetzt Auskuppeln!!!');
END;
```

```
IF Z = 821 THEN
```

```
  Geschwind_Skalelb;
```

```
IF Z = 1221 THEN
```

```
  Ende_Zyklus;
```

```
END;
```

```
{-----}
```

```
PROCEDURE ADC12_OPEN (port_no : integer);
```

VAR

printer_port_table : ARRAY [1..4] OF integer ABSOLUTE \$0040:0008;

BEGIN

IF (port_no < 1) OR (port_no > 4) THEN

port_no := 1;

output_address := printer_port_table [port_no];

IF output_address = 0 THEN

output_address := printer_port_table [1];

input_address := output_address + 1;

port [output_address] := \$FE;

END;

{-----}

FUNCTION ADC12_Wert : integer;

VAR

Wert : integer;

i : integer;

BEGIN

Wert := 0;

port [output_address] := \$FC;

FOR i := 1 TO 12 DO

```
BEGIN
```

```
port [output_address] := $FD;
```

```
port [output_address] := $FC;
```

```
IF (port [input_address] AND $80) <> 0 THEN
```

```
Wert := (Wert SHL 1)
```

```
ELSE
```

```
Wert := (Wert SHL 1)+1;
```

```
END;
```

```
port [output_address] := $FE;
```

```
ADC12_Wert := Wert;
```

```
END;
```

```
{-----}
```

```
PROCEDURE ADC_Umwandlung_I;
```

```
BEGIN
```

```
l:=1;
```

```
REPEAT
```

```
Graph.setcolor(0);{Farbe : Schwarz}
```

```
outtextxy(xR,300,(#29));
```

```
Graph.setcolor(8);{Farbe : dunkelgrau}
```

```
xR:=(Round(ADC12_Wert/(ADC_Faktor/10)));
```

```
moveto((0),(306));lineto(650,306);  
Graph.setcolor(10);{Farbe : hellgrün}  
outtextxy(xR,300,(#29));  
Delay(40);  
Inc(I);
```

```
UNTIL I=10;
```

```
Graph.setcolor(15);{Farbe : Weiss}
```

```
END;
```

```
{-----}
```

```
PROCEDURE ADC_Umwandlung_II;
```

```
BEGIN
```

```
Graph.setcolor(0);{Farbe : Schwarz}  
outtextxy(xR,300,(#29));  
Graph.setcolor(14);{Farbe : Gelb}  
xR:=(Round(ADC12_Wert/(adc_Faktor/10)));  
outtextxy(xR,300,(#29));  
Graph.setcolor(15);{Farbe : Weiss}
```

```
END;
```

```
{-----}
```

```
PROCEDURE Zeichnen;
```

```
BEGIN
```

```
yy:=306;  
Z:=(0);{Startwert für Zeitanzeige}
```

```
Linienlaenge:=7;
n:=0;
m:=49;
na:=1;{Startwerte fuer aktive (na)}
nv:=0;{und visuelle (nv) Grafikseite}
setviewport(0,21,630,349,clipon);

FOR k:= n TO m DO BEGIN

    moveto ((xx[k]),yy);
    lineto ((xx[k+1]),(gety-Linienlaenge));
    dec (yy,Linienlaenge);

END;

Graph.setcolor(10); {Farbe : Hellgruen}
settextstyle(0,horizdir,0);
outtextxy(120,265,'Motor starten');
outtextxy(120,280,'Zum Programm-Start [RETURN]-Taste drücken !');
outtextxy(120,295,'Programmabbruch mit [ESC]-Taste !');
Graph.setcolor(15); {Farbe : Weiss}
Readln;
Clearviewport;
Settextstyle(0,horizdir,2);
outtextxy(519,200,['t/sec']);
Inc(n);
Inc(m);
yy:=306;
Setactivepage(na);

FOR K:=n TO m DO BEGIN

    Moveto ((xx[k]),yy);
    Lineto ((xx[k+1]),(gety-Linienlaenge));
    Dec (yy,Linienlaenge);
```

END;

na:=(na+1)mod 1;

Setviewport(0,21,519,349,clipon);

ADC12_OPEN (1);{Initialisiert den AD-Wandler an LPT 1}

yy:=306;

{Referenzzeitmessung}

GetTime(t_h_ref,t_m_ref,t_s_ref,t_hund_ref);

REPEAT

Setvisualpage(nv);

ADC_Umwandlung_II;

ZEIT;

SetActivepage(na);

FOR K:=n TO m DO BEGIN

Moveto ((xx[k]),yy);

Lineto ((xx[k+1]),(gety-Linienlaenge));

Dec (yy,Linienlaenge);

END;

Inc(n);

Inc(m);

na:=(na+1)mod 1;

nv:=(nv+1)mod 1;

ADC_Umwandlung_I;

Setvisualpage(nv);

```
ADC_Umwandlung_II;
```

```
Setactivepage(na);
```

```
FOR K:=n TO m DO BEGIN
```

```
  Moveto ((xx[k]),yy);
```

```
  Lineto ((xx[k+1]),(gety-Linienlaenge));
```

```
  Dec (yy,Linienlaenge);
```

```
END;
```

```
Inc(n);
```

```
Inc(m);
```

```
yy:=306;
```

```
ADC_Umwandlung_I;
```

```
REPEAT
```

```
  {geht nur, wenn die Systemuhr waehrend Programmlauf nicht 24:00 Uhr  
erreicht!}
```

```
  GetTime(t_h,t_m,t_s,t_hund);
```

```
  t_h := t_h - t_h_ref;
```

```
  t_m := t_m - t_m_ref;
```

```
  t_s := t_s - t_s_ref;
```

```
  t_hund := t_hund - t_hund_ref;
```

```
UNTIL (t_h*3600+t_m*60+t_s) >= Z;
```

```
Clearviewport;
```

```
UNTIL keypressed;
```

```
END;
```

```
{-----}
```

BEGIN

START: Menue;

Linie_Breite;

Geschwind_Skale;

Zeichnen;

Closegraph;{Beendet das Grafikpaket und schaltet in Textmodus}

Delay(500);

WriteIn;WriteIn;

Textcolor(14);{Farbe : gelb}

Write('Soll ein weiterer Zyklus gefahren werden (j/n) ? ');

ReadIn(cWiederholung);

IF (cWiederholung = 'j') OR (cWiederholung = 'J') THEN GOTO Start

ELSE

EXIT

END.

Anhang D: Abgasanalyse-Auswerteprogramm

Programmcode des geänderten Abgasanalyse-Auswerteprogramms:

```
100 SCREEN      0: COLOR 14, 1, 5: DIM DA AS STRING * 10
    GOSUB RAH
    LOCATE  5, 12: PRINT "Programm zur Berechnung der von DIESEL-Fahrzeugen"
    LOCATE  7, 12: PRINT "      ausgestossenen Schadstoffmengen",
    LOCATE  9, 12: PRINT "      und deren Kraftstoffverbrauch"
    LOCATE 20, 16: INPUT "Weiter mit >>> RETURN <<< "; C$
105 GOSUB RAH
    LOCATE  5, 10: PRINT "Eingabe von Messwerten      = 1"
    LOCATE  7, 10: PRINT "Ausgabe von Messwerten     = 2"
    LOCATE 10, 10: INPUT "Ihre Wahl"; ABC
    IF ABC < 1 OR ABC > 2 GOTO 105: IF ABC = 2 GOTO 300
110 GOSUB RAH
    LOCATE  5, 12: INPUT "Versuchsnummer (1-999):      "; B
    BB = B + 1000
    LOCATE  7, 12: INPUT "Datum                          "; DA
    LOCATE 11, 12: INPUT "Raumtemperatur in øC:          "; GC
    LOCATE 13, 12: INPUT "rel. Luftfeuchtigkeit in % :    "; RA
    LOCATE 15, 12: INPUT "Luftdruck in mbar:             "; PB
    LOCATE 17, 12: PRINT "Sättigungsdampfdruck von Wasser in bar"
    LOCATE 18, 12: PRINT "bei einer Temperatur von"; GC; : PRINT "øC:", INPUT PDB
115 LOCATE 22, 12: INPUT "Eingabe in Ordnung (J/N)      "; A$:
    IF A$ = "N" OR A$ = "n" THEN 110: IF A$ = "J" OR A$ = "j" THEN 120
    CLS
    LOCATE  8, 12: PRINT "Bitte nur mit J oder N antworten"
    GOTO 115
120 GOSUB RAH
    LOCATE  5, 10: INPUT "Volumen in ft^3:              "; V1
    LOCATE  9, 10: INPUT "Gesamtstrecke in km:         "; KM
125 LOCATE 22, 12: INPUT "Eingabe in Ordnung (J/N)      "; A$:
    IF A$ = "N" OR A$ = "n" THEN 120: IF A$ = "J" OR A$ = "j" THEN 130
    GOSUB RAH
    LOCATE  8, 12: PRINT "Bitte nur mit J oder N antworten"
    GOTO 125
130 GOSUB RAH
    LOCATE  5, 10: INPUT "HC-Konz.   Air 1 in ppm:      "; ACH1
    LOCATE  7, 10: INPUT "NOx-Konz.  Air 1 in ppm:      "; ANO1
```

```
LOCATE 9, 10: INPUT "CO2-Konz. Air 1 in % : "; AKO1
LOCATE 11, 10: INPUT "CO-Konz. Air 1 in ppm: "; ACO1
LOCATE 13, 10: INPUT "HC-Konz. Sample 1 in ppm: "; SCH1
LOCATE 15, 10: INPUT "NOx-Konz. Sample 1 in ppm: "; SNO1
LOCATE 17, 10: INPUT "CO2-Konz. Sample 1 in % : "; SKO1
LOCATE 19, 10: INPUT "CO-Konz. Sample 1 in ppm: "; SCO1
135 LOCATE 22, 12: INPUT "Eingabe in Ordnung (J/N) "; A$:
IF A$ = "N" OR A$ = "n" THEN 130: IF A$ = "J" OR A$ = "j" THEN 200
CLS
LOCATE 8, 12: PRINT "Bitte nur mit J oder N antworten"
GOTO 135
200 CLS
LOCATE 10, 10: PRINT "Soll das Protokoll abgespeichert werden"
LOCATE 12, 10: PRINT "Ja = 1 Nein = 5"
PRINT : PRINT : PRINT : INPUT " Ihre Wahl"; S$
IF S$ = "5" THEN 750: IF S$ = "1" THEN 250
GOTO 200
250 F$ = "A:" + RIGHT$(STR$(BB), 4)
ON ERROR GOTO 200
OPEN F$ FOR OUTPUT AS #5
WRITE #5, B, DA, GC, RA, PB, PDB, V1, KM, ACH1
WRITE #5, ANO1, AKO1, ACO1, SCH1, SNO1, SKO1, SCO1
CLOSE #5: GOTO 750
300 LOCATE 10, 10: PRINT "Welches Protokoll soll eingelesen werden ?"
LOCATE 15, 10: INPUT "Versuch Nr. "; B
BB = B + 1000
F$ = "A:" + RIGHT$(STR$(BB), 4)
OPEN F$ FOR INPUT AS #5
INPUT #5, B, DA, GC, RA, PB, PDB, V1, KM, ACH1
INPUT #5, ANO1, AKO1, ACO1, SCH1, SNO1, SKO1, SCO1
CLOSE #5

REM ***** Änderung von Werten (Versuch 1) *****

750 CLS
REM Umrechnung der Umgebungstemperatur auf Kelvin
TP = GC + 273.15
REM Umrechnung der Drücke auf kPa
PBX = PB / 10
PDBX = PDB * 100
REM Berechnung der absoluten Feuchte
AF = RA * PDBX * 10 * 287.2 / (461.5 * PBX)
REM Umrechnung der Luft auf Normalbedingungen und in Liter
```

```

VM1 = V1 * 28.31685
REM Berechnungen nach 70/220/EWG
REM allgemein
H = (6.221 * RA * PDBX) / (PBX - PDBX * RA * .01)
KH = 1 / (1 - .0329 * (H - 10.71))
DF1 = 13.4 / (SKO1 + (SCH1 + SCO1) * .0001)
REM HC
CHC1 = SCH1 - ACH1 * (1 - 1 / DF1)
MHC1 = VM1 * .619 * CHC1 * .000001
MHC = (MHC1) / (KM)
REM CO
CCO1 = SCO1 - ACO1 * (1 - 1 / DF1)
MCO1 = VM1 * 1.25 * CCO1 * .000001
MCO = (MCO1) / (KM)
REM NOx
CNO1 = SNO1 - ANO1 * (1 - 1 / DF1)
MNO1 = VM1 * 2.05 * CNO1 * .000001 * KH
MNO = (MNO1) / (KM)
REM CO2
CKO1 = SKO1 - AKO1 * (1 - 1 / DF1)
MKO1 = VM1 * 1.964 * CKO1 * .01
MKO = (MKO1) / (KM)
REM Kraftstoffverbrauch
FC = (.1155 / .84) * ((.866 * MHC) + (.429 * MCO) + (.273 * MKO))

PRINT : PRINT
PRINT USING "   HC in g/Phase : #####.###"; MHC1: PRINT
PRINT USING "   NOx in g/Phase : #####.###"; MNO1: PRINT
PRINT USING "   CO2 in g/Phase : #####.###"; MKO1: PRINT
PRINT USING "   CO  in g/Phase : #####.###"; MCO1: PRINT

LOCATE 25, 12: INPUT "Weiter mit >>> RETURN <<< "; C$
CLS
LOCATE  3, 10: PRINT USING "Kohlenwasserstoffe im Abgas:##.#####"; MHC; : PRINT" g/km"
IF MHC <= .7  THEN GOTO 1560
1550 LOCATE  5, 10: PRINT "**** Grenzwert von 0.7 g/km überschritten ****"
      GOTO 1600
1560 LOCATE  5, 10: PRINT "**** Grenzwert erfüllt ****"

1600 LOCATE  7, 10: PRINT USING "Stickoxide im Abgas:          #####"; MNO; : PRINT " g/km"
IF MNO <= .7  THEN GOTO 1610
LOCATE  9, 10: PRINT "**** Grenzwert von 0.7 g/km überschritten ****"
      GOTO 1620

```

```
1610 LOCATE 9, 10: PRINT "**** Grenzwert erfüllt ****"
1620 LOCATE 11, 10: PRINT USING "Kohlendioxid im Abgas:      ####.##"; MKO; : PRINT " g/km"
      LOCATE 13, 10: PRINT USING "Dieselkraftstoffverbrauch:  ##.###"; FC; : PRINT " l/100 km"
      LOCATE 15, 10: PRINT USING "Kohlenmonoxid im Abgas:   ##.####"; MCO; : PRINT " g/km"
      IF MCO <= 1 THEN GOTO 1670
      LOCATE 17, 10: PRINT "**** Grenzwert von 1 g/km überschritten ****"
      GOTO 1671
1670 LOCATE 17, 10: PRINT "**** Grenzwert erfüllt ****"
1671 LOCATE 19, 10: PRINT USING "absolute Feuchte:      ##.###"; AF; : PRINT " g Wasser/kg Luft"
      IF AF > 12 THEN GOTO 1672
      IF AF < 5 THEN GOTO 1673
      LOCATE 20, 10: PRINT "**** Grenzwert erfüllt ****"
      GOTO 1674
1672 LOCATE 20, 10: PRINT "**** Grenzwert von 12 g/kg überschritten ****"
      GOTO 1674
1673 LOCATE 20, 10: PRINT "**** Grenzwert von 5 g/kg unterschritten ****"
1674 LOCATE 22, 10: PRINT USING "Raumtemperatur:      ##"; GC; : PRINT " Grad Celsius"
      IF GC > 30 THEN GOTO 1675
      IF GC < 20 THEN GOTO 1676
      LOCATE 23, 10: PRINT "**** Grenzwert erfüllt ****"
      GOTO 1680
1675 LOCATE 23, 10: PRINT "**** Grenzwert von 30 Grad Celsius überschritten ****"
      GOTO 1680
1676 LOCATE 23, 10: PRINT "**** Grenzwert von 20 Grad Celsius unterschritten ****"
1680 LOCATE 25, 12: INPUT "Weiter mit >>> RETURN <<< "; C$
      CLS : LOCATE 15, 7:
1685 INPUT "Sollen die Werte auf Drucker ausgegeben werden (J/N) "; A$
      IF A$ = "N" OR A$ = "n" THEN 9999
      IF A$ = "J" OR A$ = "j" THEN 1690
      CLS
      LOCATE 8, 12: PRINT "Bitte nur mit J oder N antworten"
      GOTO 1685
      LOCATE 25, 12: INPUT "Weiter mit >>> RETURN <<< "; C$

      REM ***** Drucker *****

1690 WIDTH "LPT1:", 220
      CLS : LOCATE 10, 12: PRINT " Bitte Papier einlegen"
      LOCATE 14, 12: INPUT " Weiter mit >>> RETURN <<<"; A$
      LPRINT CHR$(27); CHR$(64)
      LPRINT " ";
      LPRINT CHR$(14);
      LPRINT CHR$(27); CHR$(119);
```

```
LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
LPRINT "      Auswerteprotokoll"
LPRINT
LPRINT "      Versuch "; : LPRINT B
LPRINT
LPRINT "      Seite 1 "
LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT "      Datum "; : LPRINT DA
LPRINT : LPRINT
LPRINT "      Atmosphärische Daten:"
LPRINT "" : LPRINT "      ";
LPRINT USING "      Raumtemperatur in Grad Celsius:  ##"; GC;
LPRINT
LPRINT "      ";
IF GC > 30 THEN GOTO 2000
IF GC < 20 THEN GOTO 2100
LPRINT "      *** Grenzwert erfüllt ***"
GOTO 2200
2000 LPRINT "      *** Grenzwert von 30 Grad Celsius überschritten ****"
      GOTO 2200
2100 LPRINT "      *** Grenzwert von 20 Grad Celsius unterschritten ****"
2200 LPRINT
      LPRINT "      ";
LPRINT USING "      rel. Luftfeuchte in %:      ####"; RA;
LPRINT : LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT USING "      abs. Feuchte in g H2O/kg Luft: ##.###"; AF;
LPRINT
LPRINT "      ";
IF AF > 12 THEN GOTO 3000
IF AF < 5 THEN GOTO 3100
LPRINT "      *** Grenzwert erfüllt ***"
GOTO 3200
3000 LPRINT "      *** Grenzwert von 12 g/kg überschritten ****"
      GOTO 3200
3100 LPRINT "      *** Grenzwert von 5 g/kg unterschritten ****"
3200 LPRINT
      LPRINT "      ";
LPRINT USING "Luftdruck in mbar:      ####"; PB;
LPRINT : LPRINT
LPRINT "      Sättigungsdampfdruck für "
LPRINT "      " ;
```

```

LPRINT USING " Wasser bei Raumtemp. in bar: #.#####"; PDB;
LPRINT : LPRINT
LPRINT " Teilvolumina je Phase:"; LPRINT
LPRINT " ";
LPRINT USING "Volumen in ft^3: #####"; V1
LPRINT : LPRINT
LPRINT " Gefahrene Strecke: ": LPRINT
LPRINT " ";
LPRINT USING "Strecke in km: ###.#"; KM
LPRINT : LPRINT
LPRINT " Schadstoffkonzentration der Beutelproben:"; LPRINT
LPRINT " ";
LPRINT USING " HC-Konz. Air 1 in ppm: ####.###"; ACH1
LPRINT " ";
LPRINT USING " NOx-Konz. Air 1 in ppm: ####.###"; ANO1
LPRINT " ";
LPRINT USING " CO2-Konz. Air 1 in %: ####.###"; AKO1
LPRINT " ";
LPRINT USING " CO-Konz. Air 1 in ppm: ####.###"; ACO1
LPRINT
LPRINT " ";
LPRINT USING " HC-Konz. Sample 1 in ppm: ####.###"; SCH1
LPRINT " ";
LPRINT USING " NOx-Konz. Sample 1 in ppm: ####.###"; SNO1
LPRINT " ";
LPRINT USING " CO2-Konz. Sample 1 in % : ####.###"; SKO1
LPRINT " ";
LPRINT USING " CO-Konz. Sample 1 in ppm: ####.###"; SCO1
LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT

```

7000 CLS

```

LOCATE 10, 12: PRINT " Bitte neues Papier einlegen"
LOCATE 14, 15: INPUT " Weiter mit >>> RETURN <<<"; A$
LPRINT : LPRINT " ";
LPRINT CHR$(14);
LPRINT CHR$(27); CHR$(119);
LPRINT CHR$(27); CHR$(45); CHR$(1);
LPRINT : LPRINT : LPRINT
LPRINT " Auswerteprotokoll"
LPRINT
LPRINT " Versuch "; : LPRINT B
LPRINT

```

```
LPRINT "      Seite 2 "
LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT "      Datum "; : LPRINT DA
LPRINT
LPRINT "      Schadstoffkonzentration je Phase:" : LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT USING " HC in g/Phase :      ###.###"; MHC1
LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT USING " NOx in g/Phase :      ###.###"; MNO1
LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT USING " CO2 in g/Phase :      ####.###"; MKO1
LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT USING " CO in g/Phase :      ###.###"; MCO1
LPRINT : LPRINT : LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT "Schadstoffemissionen in g/km bezogen auf den Gesamtzyklus:"
LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT USING "Kohlenwasserstoffe im Abgas  ##.###"; MHC; : LPRINT " g/km": LPRINT
IF MHC <= .7 THEN GOTO 2510
LPRINT "      *** Grenzwert von 0.7 g/km überschritten! ***"
GOTO 2530
2510 LPRINT "      *** Grenzwert erfüllt ***"
2530 LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT USING "Stickoxide im Abgas:      ##.###"; MNO; : LPRINT " g/km": LPRINT
IF MNO <= .7 THEN GOTO 2600
LPRINT "      *** Grenzwert von 0.7 g/km überschritten! ***"
GOTO 2620
2600 LPRINT "      *** Grenzwert erfüllt ***"
2620 LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT USING "Kohlendioxid im Abgas:      #####.##"; MKO; : LPRINT " g/km": LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT USING "Dieselkraftstoffverbrauch:      #####.##"; FC; : LPRINT " l/100km"
LPRINT : LPRINT : LPRINT : LPRINT
LPRINT "      ";
LPRINT USING "Kohlenmonoxid im Abgas:      ##.###"; MCO; : LPRINT " g/km": LPRINT
IF MCO <= 1 THEN GOTO 2690
```


Anhang E: Temperatureinfluß

