

Hannes Wippel

SCHMIERMITTELEINFLUSS AUF DIE  
VORENTFLAMMUNGSNEIGUNG BEI HOCH  
AUGELADENEN PKW DI-OTTOMOTOREN

Masterarbeit



Fakultät für Maschinenbau & Wirtschaftswissenschaften

Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik  
Technische Universität Graz

**Institutsvorstand:**

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Helmut Eichlseder

**Betreuer:**

Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Grabner

Graz, Dezember 2012



# Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources/resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

Graz, am 23. November 2012

Hannes Wippel





# Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen eines Forschungsprojekts der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. und wurde an der Technischen Universität Graz durchgeführt. Mein Dank gilt zunächst Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Helmut Eichlseder, Leiter des Instituts für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik an der Technischen Universität Graz, für die Ermöglichung dieser Abschlussarbeit. Des weiteren danke ich meinem Betreuer Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Grabner, sowie Dipl.-Ing. Reinhard Luef, die mir stets mit Rat und Tat zur Seite standen. Ich möchte mich auch bei Herrn Michael Barth für die ausgezeichnete Zusammenarbeit am Prüfstand bedanken. Ebenso gilt der Dank meinen Eltern, die mir nicht nur das Studium ermöglicht, sondern mich auch bei allen meinen Abenteuern und Vorhaben unterstützt haben. Zu guter Letzt danke ich meiner Freundin Katrin dafür, dass sie es schon all die Jahre mit mir aushält.

Graz, Dezember 2012

Hannes Wippel



## Kurzfassung

Vorentflammungen sind ein Phänomen, welches seit geraumer Zeit wieder verstärkt in den Fokus der Forschung gerückt ist. Da die Ziele der notwendigen Verbrauchs- und Emissionsreduktion bei den meisten Herstellern über den Weg des Downsizing – reduzieren des Hubraums bei gleichzeitiger Aufladung – erreicht wird, werden bei eben solchen Motoren höchst bauteilschädigende Ereignisse aufgezeichnet. Diese Vorentflammungen treten stochastisch auf und erreichen Zylinderspitzen drücke von teilweise bis zu 300 bar oder auch darüber. Die Ursachen für diese Vorentflammungen zu erforschen, ist das Ziel einer Vielzahl von Forschungsarbeiten. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf den Einfluss des Schmiermittels auf die Vorentflammungsneigung eines hoch aufgeladenen PKW DI-Ottomotors eingegangen. Zu diesem Zweck wurde am Prüfstand ein Einzylinder-Forschungsmotor eingesetzt und, nach einer umfassenden Basisvermessung, das zu untersuchende Schmiermittel in Kleinstmengen, entsprechend eines realen Ölverbrauchs, durch Übertrag über die Kolbenringe bzw. die Ventilschaftdichtungen sowie über den Abgasturbolader in das Saugrohr eindosiert.



## Abstract

Pre-ignition is a phenomena, which got more and more attention by the engine development. Many OEM's try to meet the goals of decreasing the fuel consumption as well as emissions by using downsized engines. This means reducing the displacement and in most of the cases using turbocharging at the same time. Especially at this kind of engine a new phenomena was observed. These so called pre-ignitions occur extremely stochastic and can reach cylinder pressures up to about 300 bar. A lot of research was done to understand these pre-ignitions. The goal of this work is to identify the influence of the used engine oil on the occurrence of pre-ignitions. Therefore a single cylinder research engine was operated on an engine test bench and after basic investigations different test oils were injected into the intake manifold to analyse the addiction to pre-ignition of the injected oil.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Allgemeines</b>	<b>1</b>
1.1	Einleitung . . . . .	1
1.2	Downsizing . . . . .	3
1.2.1	Allgemeines . . . . .	3
1.2.2	Reduzierung des Motorhubvolumens . . . . .	5
1.2.3	Mitteldrucksteigerung . . . . .	6
1.3	Aufladung . . . . .	7
1.4	Gemischbildung . . . . .	8
1.5	Verbrennungsanomalien . . . . .	10
1.5.1	Klopfen . . . . .	10
1.5.2	Glühzündung . . . . .	11
1.5.3	Vorentflammung . . . . .	12
1.6	Schmierung von Verbrennungskraftmaschinen . . . . .	13
1.6.1	Aufgaben und Anforderungen . . . . .	13
1.6.2	Aufbau von Schmiermitteln . . . . .	15
<b>2</b>	<b>Prüfstandsaufbau</b>	<b>21</b>
2.1	Prüfstandstechnik . . . . .	22
2.1.1	Leistungsbremse . . . . .	22
2.1.2	Konditionierung . . . . .	22
2.1.3	Aufladeaggregat . . . . .	22
2.1.4	Ansaugluftvorwärmung . . . . .	23
2.2	Forschungsmotor . . . . .	24
2.2.1	Allgemeine Daten . . . . .	24
2.2.2	Kolben und Pleuel . . . . .	25
2.2.3	Steuerzeiten . . . . .	25
2.2.4	Kraftstoffeinbringung . . . . .	25
2.3	Messtechnik . . . . .	26
2.3.1	Allgemeine Messtechnik . . . . .	27
2.3.2	Indiziermesstechnik . . . . .	28
2.3.3	Abgasanalyse . . . . .	31
2.3.4	Messung des Luftverhältnisses . . . . .	32
2.4	Schmiermitteleindosierung . . . . .	33
2.4.1	Peristaltische Pumpe . . . . .	33

2.4.2	Injektoreinheit . . . . .	35
<b>3</b>	<b>Kriterien zur Erkennung von Vorentflammungen</b>	<b>36</b>
3.1	Eingeführte Kriterien . . . . .	36
3.2	Beispiel einer durchgeführten Analyse . . . . .	37
<b>4</b>	<b>Basisuntersuchungen</b>	<b>39</b>
4.1	Randbedingungen – gewählter Betriebspunkt . . . . .	39
4.2	Anfahren des Betriebspunktes . . . . .	41
4.3	Variation der Ladelufttemperatur . . . . .	42
4.4	Variation des Ladeluftdrucks . . . . .	43
4.5	Variation der Kühlmitteltemperatur . . . . .	44
4.6	Variation der Schmiermitteltemperatur . . . . .	45
4.7	Variation der Verdichtung . . . . .	46
<b>5</b>	<b>Untersuchungen bei gedrehter Injektorlage</b>	<b>47</b>
5.1	Variation der Kühlmitteltemperatur . . . . .	48
5.1.1	Verifikation der Messung mit gedrehter Injektorlage . . . . .	48
5.2	Variation der Schmiermitteltemperatur . . . . .	49
<b>6</b>	<b>Schmiermitteleindosierung in den Ansaugkanal</b>	<b>50</b>
6.1	Einleitung . . . . .	50
6.2	Ölverbrauch . . . . .	50
6.3	Optische Untersuchung . . . . .	50
6.3.1	Randbedingungen . . . . .	51
6.3.2	Ergebnis . . . . .	52
6.4	Randbedingungen . . . . .	53
6.5	Auswertung der Vorentflammungen . . . . .	53
6.6	Testprozedere . . . . .	54
6.7	Untersuchte Schmiermittel . . . . .	55
6.7.1	Erste Reihe von Versuchsölen . . . . .	55
6.7.2	Zweite Reihe von Versuchsölen . . . . .	58
6.7.3	Dritte Reihe von Versuchsölen . . . . .	60
6.7.4	Gebrauchtöle . . . . .	63
<b>7</b>	<b>Vorentflammungen nach Kolbenwechsel</b>	<b>65</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>67</b>
8.1	Zusammenfassung . . . . .	67
8.2	Ausblick . . . . .	68



<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>69</b>
9.1	Aufgetretene Schäden . . . . .	69
9.1.1	Klauenkupplung . . . . .	69
9.1.2	Ölpumpe . . . . .	70
9.1.3	Benzin-Hochdruckpumpe . . . . .	70
9.1.4	Kolben . . . . .	71
9.1.5	Radial-Wellendichtring . . . . .	71
9.2	Datenblätter zu den eidosierten Testölen . . . . .	72
 <b>Literaturverzeichnis</b>		 <b>111</b>

# Formelzeichen, Indizes und Abkürzungen

## Lateinische Formelzeichen

$D$	Bohrungsdurchmesser in mm
$f$	Gewichtungsfaktor
$H_G, \overline{H_G}$	Gemischheizwert in MJ/m <sup>3</sup>
$H_u$	unterer Heizwert in MJ/kg
$i$	Faktor für Vier- oder Zweitaktprinzip
$I$	Strom in A
$L_{st}$	stöchiometrischer Luftbedarf in kg <sub>L</sub> /kg <sub>Br</sub>
$M$	Drehmoment in Nm
$m$	Masse in kg
$m_B$	zugeführte Brennstoffmasse in kg
$m_E$	insgesamt einströmende Gasmasse in kg
$m_{Fr}$	Frischladungsmasse in kg
$m_L$	Luftmasse in kg
$M_{Max}$	maximales Drehmoment in Nm
$m_{Rg}$	Restgasmasse in kg
$m_{Sp}$	Spülmasse in kg
$m_{VG}$	Masse der ausströmenden Verbrennungsgase in kg
$n$	Drehzahl in min <sup>-1</sup>
$p$	Druck in bar
$P_e$	effektive Leistung in kW
$p_L$	Ladeluftdruck in bar
$P_{max}$	maximale Leistung in kW
$p_{mess}$	gemessene Druckerhöhung in bar
$p_{me}$	effektiver Mitteldruck in bar
$p_{mi}$	indizierter Mitteldruck in bar
$p_{Zyl}$	Zylinderdruck in bar
$p_{Zyl,max}$	Zylinderspitzenndruck in bar
$R$	elektrischer Widerstand in $\Omega$
$s$	Hub in mm
$S$	Schädigungspotential
$T$	Temperatur in K oder °C

$T_{KM}$	Temperatur des Kühlmittels in °C
$T_L$	Temperatur der Ladeluft in °C
$T_{ÖL}$	Temperatur des Motoröls in °C
$U$	Spannung in V
$V$	Volumen in m <sup>3</sup>
$V_H$	Hubvolumen des gesamten Motors in m <sup>3</sup>
$V_h$	Hubvolumen eines Zylinders in m <sup>3</sup>
$W_e$	effektive Arbeit in kW
$z$	Zylinderanzahl

## Griechische Formelzeichen

$\alpha$	Gaspedalstellung in %
$\eta$	effektiver Wirkungsgrad in %
$\eta_i$	innerer Wirkungsgrad in %
$\eta_m$	mechanischer Wirkungsgrad in %
$\varepsilon$	Verdichtung
$\lambda$	Luftverhältnis
$\lambda_a$	Luftaufwand
$\lambda_{1,L}$	Liefergrad des luftansaugenden Motors
$\rho_L$	Dichte der Luft in kg/m <sup>3</sup>
$\sigma$	Standardabweichung

## Indizes und Abkürzungen

AGR	Abgasrückführung
ATL	Abgasturboaufladung
aw	anti wear
BStd.	Betriebsstunden
C	Kohlenstoff
Ca	Calcium
CH <sub>4</sub>	Methan
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
COV	Coefficient of Variation
DI	Direct Injection
DOHC	Double Overhead Camshaft

---

EÖ	Einlass öffnet
ep	extreme pressure
ES	Einlass schließt
FM	Friction Modifier
FSN	Filter Smoke Number
H <sub>2</sub> O	Wasser
HC	Kohlenwasserstoff
KW	Kurbelwinkel
LET	Low-End-Torque
LLK	Ladeluftkühler
MFB1	1%-Umsatzpunkt (Mass-Fraction-Burned)
MFB50	50%-Umsatzpunkt (Mass-Fraction-Burned)
Mg	Magnesium
MoS	Molybdän-Sulfat
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
O <sub>2</sub>	Sauerstoff
OT	oberer Totpunkt
PKW	Personenkraftwagen
VKM	Verbrennungskraftmaschine
VL	Volllast
ZOT	Zünd-OT
ZZP	Zündzeitpunkt



# 1 Einleitung und Allgemeines

In diesem Kapitel sollen allgemeine Zusammenhänge sowie das Ziel dieser Arbeit erläutert werden.

## 1.1 Einleitung

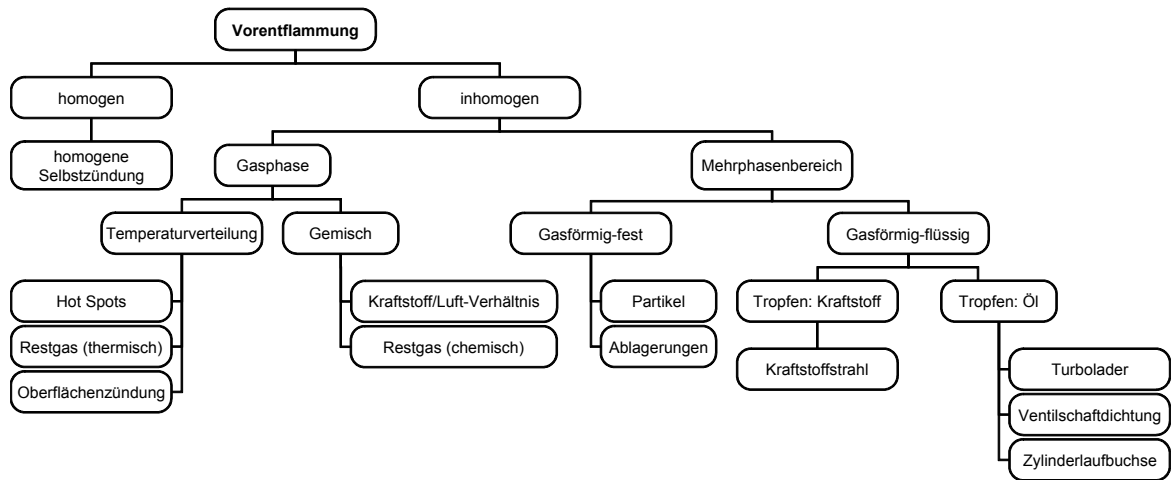
Mit der Erhöhung des LET (Low-End-Torque) bei PKW DI-Ottomotoren tritt vermehrt ein neues bauteilschädigendes Phänomen auf. Diese sogenannte Vorentflammung tritt äußerst stochastisch und mit Zylinderspitzen drücken von teilweise bis zu 300 bar auf.

Um die geforderte Verbrauchs- und Emissionsreduktion zu realisieren und die Kundenwünsche nach mehr Drehmoment im unteren Drehzahlbereich zu erfüllen, wurde beim Ottomotor die Abgasturboaufladung eingeführt.

Dazu wurden Downsizing-Konzepte angewandt, bei denen der Hubraum verringert und gleichzeitig der Motor aufgeladen wird; somit kann bei kleinerem Hubraum die selbe Leistung abgerufen werden. Gleichzeitig umgeht man den verbrauchssuboptimalen Bereich der Teillast und verschiebt die Lastpunkte zu verbrauchsgünstigeren, hochlastigeren Punkten.

Die bauteilschädigenden Vorentflammungen begrenzen den maximal möglichen Aufladegrad von modernen Ottomotoren. Um dennoch eine LET-Steigerung zu ermöglichen gilt es, die Ursache für Vorentflammungen zu erforschen, was auch in einigen Arbeiten [1, 2, 3, 18, 22] bereits begonnen wurde.

Eine grundlegende Erforschung des Themas erfolgte in [3], wo mögliche Auslösemechanismen identifiziert wurden, siehe Abbildung 1.1.



**Abbildung 1.1:** Mögliche Mechanismen zur Vorentflammung [3]

Im Rahmen dieser Arbeit wird auf den rechten unteren Teil von Abbildung 1.1, den Tropfen Öl, genau eingegangen. In Zusammenarbeit mit dem Öl- und Gasunternehmen OMV, das neben der FVVe.V. ein wesentlicher Finanzierungspartner im Projekt ist, wurde eine Reihe von Versuchsölen zusammengestellt und anschließend ins Saugrohr eindosiert.

Es wird angenommen, dass Öltropfen das Luft-Kraftstoff-Gemisch bereits vor Eintreten der elektrischen Funkenzündung entflammen können, was zu hohen Spitzendrücken im Brennraum führen kann. Die frühzeitige Verbrennung kann, muss aber nicht in einer heftig klopfenden Verbrennung enden.

Ziel dieser Arbeit ist dabei, mit Hilfe der eigens modellierten Versuchsöle, die schädlichen Bestandteile des Öles zu identifizieren, sodass zukünftige Motoröle so formuliert werden können, dass im Idealfall keine Vorentflammungen im normalen Motorbetrieb auftreten.

Im Rahmen dieses FVV-Vorhabens wird parallel an der Technischen Universität Wien auf die Einflüsse des verwendeten Kraftstoffs hinsichtlich der Vorentflammungsneigung eingegangen.

## 1.2 Downsizing

### 1.2.1 Allgemeines

„Downsizing“ wird in der Motorenentwicklung als Reduzierung des gesamten Motorhubvolumens bezeichnet. Da eine reine Reduktion des Hubvolumens aber eine Verringerung der maximalen Leistung und des maximalen Drehmoments bewirkt, werden als logischer Schritt Maßnahmen getroffen um den Leistungsverlust zu kompensieren. „Downsizing-Konzepte“, mit geringem Hubraum und hohem Leistungsvermögen, weisen demzufolge eine sehr hohe Leistungsdichte auf. Die Leistungsdichte bzw. spezifische Leistung ist definiert als:

$$\frac{P_e}{V_H} = i \cdot n \cdot p_{me} \quad (1.1)$$

Der Faktor  $i$  berücksichtigt dabei den Unterschied in der Anzahl der Arbeitsspiele pro Umdrehung für Zweitakt ( $i = 1$ ) oder Viertakt Motoren ( $i = 0.5$ ).

Um die Leistungsdichte zu erhöhen kann man entweder die Nenndrehzahl oder den effektiven Mitteldruck erhöhen. Ersteres wird als Hochdrehzahlkonzept bezeichnet und ist bei Ottomotoren verhältnismäßig einfach möglich. Bei Letzterem spricht man von Hochlastkonzepten. Das spezifische Drehmoment (Drehmomentdichte) lässt sich hingegen nur durch anheben des effektiven Mitteldrucks steigern, siehe 1.2.

$$\frac{M}{V_H} = p_{me} \cdot \frac{i}{2\pi} \quad (1.2)$$

Zur besseren Darstellung der Leistungs- bzw. Mitteldrucksteigerung wird der Downsizing-Grad eingeführt. Er dient als Vergleich des neuen Konzeptes zur Basis.

Das Downsizing kann so erfolgen, dass bei reduziertem Motorhubvolumen die selbe Ausgangsleistung, oder bei gleichbleibendem Motorhubvolumen, eine höhere Ausgangsleistung erzielt wird. Je nach Konzept dient somit ein anderer Parameter als Basis zur Bestimmung des Downsizing-Grades.

$$\gamma_{DS, P_{max}} = \left( \frac{V_{H,1} - V_{H,2}}{V_{H,1}} \right)_{P_{max}=\text{const}} \quad (1.3)$$

$$\gamma_{DS, P_{max}}^* = \left( \frac{P_{max,2} - P_{max,1}}{P_{max,2}} \right)_{V_H=\text{const}} \quad (1.4)$$

Mittels Downsizing lässt sich die Baugröße der Motoren verringern und gleichzeitig ist dabei eine Kraftstoffreduktion im Vergleich zu konventionellen Motorkonzepten, durch eine Lastpunktverschiebung, möglich.

Daher wird das Downsizing heutzutage eingesetzt, um Motoren zu entwickeln, die eine hohe Leistungsdichte bei geringem Verbrauch aufweisen, siehe Abbildung 1.2.

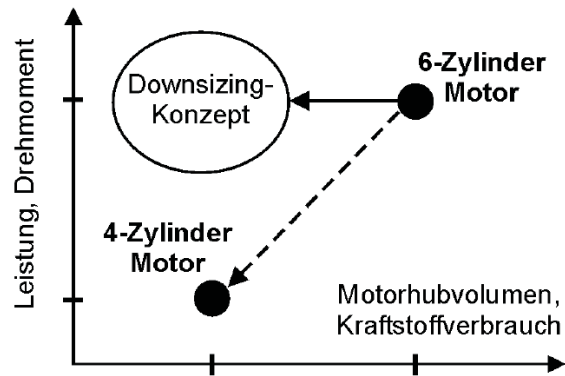


Abbildung 1.2: Hauptziele des Downsizing [7]

Durch die Reduzierung des Motorhubvolumens erfolgt eine Verlagerung der Betriebspunkte im Motorkennfeld. Bei einem Hochleistungskonzept erfolgt dies in Richtung höherer Last wohingegen bei einem Hochdrehzahlkonzept die Verschiebung des Betriebspunktes hin zu höheren Drehzahlen erfolgt.

In Abbildung 1.3 ist eine Aufstellung von maximalem Mitteldruck und Nenndrehzahl aktueller PKW-Ottomotoren zu sehen (Stand 2005).

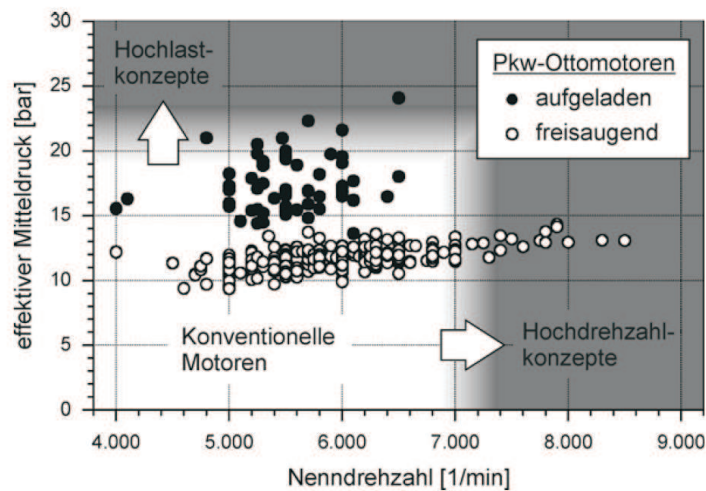


Abbildung 1.3: Maximaler Mitteldruck und Nenndrehzahl aktueller PKW-Ottomotoren (Stand 2005) [7]

Beide Konzepte haben Vor- und Nachteile, wie in Tabelle 1.1 ersichtlich [7]. Daraus erkennt man, dass für eine Verbrauchsreduktion nur ein Hochlastkonzept in Frage kommt.



**Tabelle 1.1:** Vor- und Nachteile von Hochdrehzahl- und Hochlastkonzept [7]

	Hochdrehzahlkonzept	Hochlastkonzept
Vorteile	einfach umzusetzen  leichtere Bauweise	geringer spezifischer Verbrauch durch Lastpunktverschiebung  bei geeigneter Turbolader-Auslegung keine Einbußen im Fahrkomfort  durch intensivere Gemischbildung ist eine Reduzierung der limitierten Schadstoffe möglich
Nachteile	Wirkungsgradabsenkung bei gleichbleibender Last und höherer Drehzahl durch steigende Reibung  im kundenrelevanten Fahrtrieb Abstriche beim Fahrkomfort und der Akustik  fehlendes Drehmoment bei geringerer Drehzahl	höheres Gewicht  mehr Platzbedarf für Turbolader  höhere Bauteilbelastung infolge höherer Mitteldrücke

### 1.2.2 Reduzierung des Motorhubvolumens

Wie bereits erwähnt handelt es sich beim Downsizing um eine Reduzierung des Motorhubvolumens.

Das gesamte Motorhubvolumen  $V_H$  lässt sich wie folgt berechnen:

$$V_H = z \cdot V_h = z \cdot \frac{D^2 \cdot \pi \cdot s}{4} \quad (1.5)$$

Somit gibt es zwei Möglichkeiten das Motorhubvolumen zu senken. Einerseits durch Reduzieren der Zylinderanzahl  $z$  oder durch Verkleinern des Zylinderhubvolumens  $V_h$ . Entscheidet man sich für die Reduktion der Zylinderanzahl, so kann man das Baukastenprinzip anwenden und die Kosten bleiben verhältnismäßig im Rahmen. Weitere Vorteile sind die geringeren Wandwärme- und Reibungsverluste bei größeren Zylinder volumina. Nachteilig ist hingegen die eventuelle Laufunruhe, die mittels Ausgleichswellen kompensiert werden muss.

Wird jedoch das Zylinderhubvolumen verringert, so bedeutet dies eine komplette Neuentwicklung des Motors und demnach einen hohen Investitionsaufwand. Des Weiteren

sind höhere Einzelverluste in Kauf zu nehmen.

Wird bei der Motorauslegung der Weg eingeschlagen, das gesamte Motorhubvolumen zu reduzieren, so spricht man von **statischem Downsizing**.

Beim **dynamischen Downsizing** wird jedoch das „aktive“ Motorhubvolumen dem aktuellen Drehmomentbedarf angepasst. Durch Zylinderabschaltung erfolgt die Energieumsetzung nur in Teilbereichen des Motors.

### 1.2.3 Mitteldrucksteigerung

Der Mitteldruck ist eine wichtige Größe zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit einer Verbrennungskraftmaschine. Zur Herleitung des Mitteldrucks wird zunächst von der effektiven Arbeit innerhalb eines Zylinders ausgegangen:

$$W_e = p_{me} \cdot V_h = m_B \cdot H_u \cdot \eta_i \cdot \eta_m \quad (1.6)$$

Die in den Zylinder eingebrachte Kraftstoffmasse berechnet sich aus:

$$m_B = \frac{m_L}{\lambda \cdot L_{st}} \quad (1.7)$$

Für den luftansaugenden Motor ergibt sich der Luftaufwand aus der tatsächlich eingebrachten Luftmasse zur theoretisch möglichen Luftmasse:

$$\lambda_a = \frac{m_E}{\rho_L \cdot V_h} \quad (1.8)$$

Unter Verwendung von 1.7 und 1.8 in 1.6 ergibt sich der effektive Mitteldruck des luftansaugenden Motors zu:

$$p_{me,L} = \rho_L \cdot \frac{H_u}{L_{st}} \cdot \frac{1}{\lambda} \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \lambda_a = H_G \cdot \eta_e \cdot \lambda_a \quad (1.9)$$

Daraus kann man erkennen, dass zum Erreichen eines hohen effektive Mitteldrucks ein hoher Gemischheizwert, ein hoher effektiver Wirkungsgrad sowie ein hoher Luftaufwand nötig sind. Für einen hohen Gemischheizwert sollte das Luftverhältnis möglichst gering sein, dies ist aber beim Ottomotor unter Verwendung eines 3-Wege-Katalysators nur geringfügig realisierbar. Auch die Steigerung des effektiven Wirkungsgrads erweist sich als äußerst schwierig. Somit ist der Luftaufwand  $\lambda_a$  der Parameter mit der höchsten Stellmöglichkeit.

## 1.3 Aufladung

Zum Verdichten der Ansaugluft werden, wie bereits erwähnt, Aufladeaggregate eingesetzt. Man unterscheidet hier zwei Arten von Aufladung. Die Erste ist die mechanische Aufladung, wobei der Lader von der VKM über ein festes oder variables Übersetzungsverhältnis angetrieben wird. Der Lader kann nach dem Verdrängerprinzip (Roots-Gebläse, Hubkolbenlader) oder als Strömungsmaschine (Radial- oder Axialgebläse) ausgelegt werden.

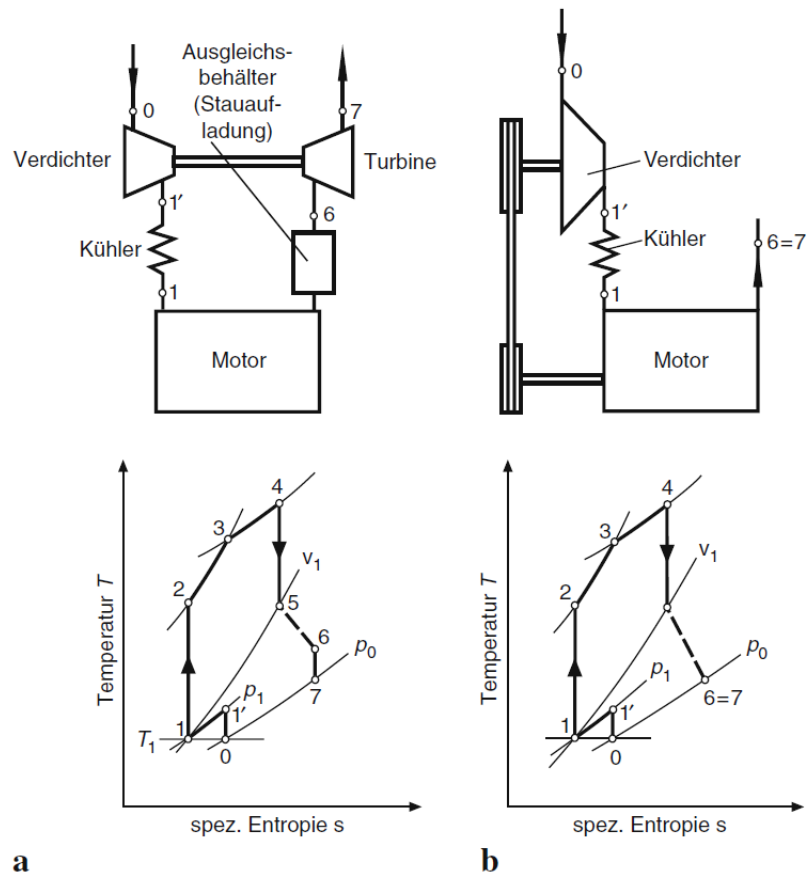
Die zweite Variante der Aufladung ist die Verwendung von Abgasturboladern, wo eine Turbine vom Abgasstrom beaufschlagt wird und über eine Welle den Verdichter antreibt. Dies hat den Vorteil, die noch im Abgas steckende Energiereserve zu nutzen. Des Weiteren ist der Ladedruck nicht unmittelbar von der Motordrehzahl abhängig. Es bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten die Turbine zu betreiben:

- Stauaufladung
- Stoßaufladung

Bei Mehrzylindermotoren sind die Ausschiebevorgänge der einzelnen Zylinder zeitversetzt. Dies kann zur Folge haben, dass sich die Zylinder untereinander beeinflussen. Die Stauaufladung unterbindet dies, indem die Krümmer zu einem Ausgleichsbehälter zusammengeführt werden und somit die Turbine gleichmäßig beaufschlagt wird. Die Stoßaufladung nutzt hingegen die Druckwellen im Abgasstrom als zusätzlichen Antrieb für die Turbine. Dazu werden zum Beispiel bei „Twin-Scroll“-Ladern die Auspuffkrümmer bei 4-Zylindermotoren paarweise getrennt direkt an das Turbinenrad geführt, um so die Überschneidung der Abgastrakte zu minimieren.

Einen Vergleich zwischen mechanischer Aufladung und Abgasturboaufladung liefert Abbildung 1.4. Wie in Abbildung 1.4 ersichtlich, wird eine Ladeluftkühlung verwendet, um die dem Motor zugeführte Luft zusätzlich abzukühlen. Dies hat einige Vorteile:

- mehr Leistung durch eine größere Luftmasse im Zylinder, was unter Erhaltung des Luftverhältnisses eine Steigerung der eingebrachten Brennstoffmasse ermöglicht
- geringere thermische Belastung durch kühlere Ansaugluft und dadurch niedrigerer Temperatur während des gesamten Arbeitsspiels
- durch geringere Temperaturen auch geringere  $\text{NO}_x$ -Emissionen



**Abbildung 1.4:** Einstufige Aufladekonzepte, Schema und Ts-Diagramm. **a** Abgasturboaufladung, **b** mechanische Aufladung. 0, Zustand vor Verdichter; 1', Zustand nach Verdichter und im Einlassbehälter; 1, Zustand nach Ladeluftkühler; 6, Zustand vor Turbine und im Auslassbehälter; 7, Zustand nach Turbine [4]

## 1.4 Gemischbildung

Grundsätzlich wird zwischen innerer und äußerer Gemischbildung unterschieden. Die äußere Gemischbildung wird aufgrund ihrer geringen Flexibilität immer mehr von der inneren Gemischbildung abgelöst.

Die ersten Ziele der Benzin-Direkteinspritzung lagen in der Leistungssteigerung von homogenen Brennverfahren. Mittlerweile erzielt man durch drosselfreien Betrieb und Ladungsschichtung eine Verbrauchsverbesserung, insbesondere im Teillastbetrieb.

Abbildung 1.5 zeigt unterschiedliche Betriebsmodi bei Direkteinspritzung. Erfolgt die Einspritzung im Ansaugtakt, nennt man dies homogenen Betrieb. Wird erst relativ

„spät“ (in der Verdichtungsphase) einmal oder mehrfach eingespritzt, so handelt es sich um Schichtbetrieb, welcher luft-, wand- oder strahlgeführt erfolgen kann.

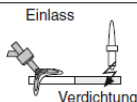

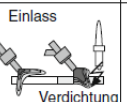
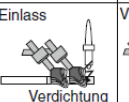
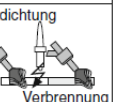
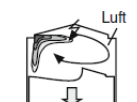
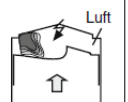
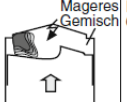
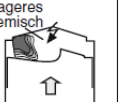
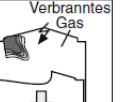
Betriebsart	Einfacheinspritzung		Mehrfacheinspritzung		
	homogen	geschichtet	homogen-geschichtet	geschichtet-geschichtet	geschichtet-homogen
Einspritzung					
Mischungs-vorgang					
Luftzahl	0,8 ÷ 1,0	> 1,4	0,8 ÷ 1,2	> 1,1	1,0 ÷ 1,4
Ziel	Leistung	Verbrauch	Kat-Heizen, Klopfreduktion	Verbrauch	Kat-Heizen

Abbildung 1.5: Unterschiedliche Betriebsmodi bei Direkteinspritzung [4]

Homogene Brennverfahren mit Direkteinspritzung bringen Vorteile in der Leistungsausbeute und im Ansprechverhalten. Diese Vorteile resultieren einerseits aus einer Steigerung des Liefergrads durch das Ansaugen von reiner Frischluft und andererseits aus der Innenkühlwirkung des im Brennraum verdampfenden Kraftstoffes. Die kühlere Ladungstemperatur hat einen positiven Einfluss auf die polytrope Verdichtungsphase durch eine geringere Endtemperatur und begünstigt somit auch die Verbrennung hinsichtlich der Klopfneigung. Meist wird jedoch der Vorteil der inneren Ladungskühlung genutzt um das Verdichtungsverhältnis anzuheben und dadurch eine Wirkungsgradsteigerung zu erzielen. Beim Homogenbetrieb ist es wichtig, für eine geeignete Gemischbildung und -aufbereitung zu sorgen, da sonst der eingebrachte Kraftstoff die Berandungen des Brennraums treffen kann. Dies hätte hohe HC-Emissionen und eine Ölverdünnung zur Folge.

Um Vorteile im Teillastbetrieb zu erreichen, werden geschichtete Brennverfahren eingesetzt. Bei wandgeführten Brennverfahren wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch über eine eigens ausgelegte Kolbenmulde zur Zündquelle geleitet. Bei luftgeführten Brennverfahren erfolgt die Einspritzung direkt in Richtung der Zündquelle. Durch beide Verfahren erreicht man eine zündfähige Gemischzusammensetzung an der Zündquelle. Diese Schichtverfahren der ersten Generation müssen durch eine gezielte Ladungsbewegung (Drall oder Tumble) unterstützt werden.

Schichtverfahren der zweiten Generation, strahlgeführte Brennverfahren, verfügen über einen größeren einsetzbaren Bereich der Schichtung und bringen weitere Vorteile hinsichtlich Verbrauch und Emissionen. Bei einem strahlgeführten Brennverfahren sind die Zündquelle und der Injektor unmittelbar nebeneinander positioniert und eine Kolbenmulde unterstützt die Gemischaufbereitung. Eine gezielte gassseitige Ladungsbe-

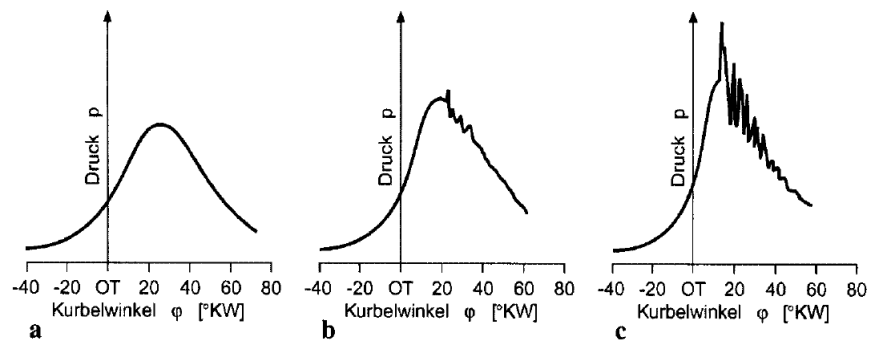
wegung ist nicht erforderlich, da die Zündquelle nahe am Einspritzstrahl liegt [4]. Die Zündung erfolgt noch während oder kurz nach dem Einspritzvorgang, dadurch ergibt sich eine kurze Brenndauer und ein optimaler Umsatzpunkt, was sich in einem gesteigerten Wirkungsgrad niederschlägt.

## 1.5 Verbrennungsanomalien

Der Verbrennungsablauf kann neben der vom Zündfunken ausgelösten, normalen Verbrennung noch andere, unerwünschte Formen annehmen.

### 1.5.1 Klopfen

Als Klopfen bezeichnet man bei der ottomotorischen Verbrennung eine Selbstzündung des, noch nicht von der Flammenfront erreichten, Gemisches (Endgas). Zur Selbstzündung kommt es, da der thermodynamische Zustand ( $p, v, T$ ) im Endgas den Ablauf der Vorreaktionen derart beschleunigt, dass diese bereits vor Eintreffen der Flammenfront abgeschlossen sind. Bei der darauffolgenden Detonation wird schlagartig eine große Energiemenge in Form eines starken Druck- und Temperaturanstiegs freigesetzt. Zusätzlich breiten sich im Brennraum Druckwellen mit hohen Amplituden aus, welche die Grenzschicht an den Brennraumwänden zerstören und den Wärmeeintrag lokal erhöhen.



**Abbildung 1.6:** Druckverläufe: **a** normale Verbrennung **b** leicht klopfende Verbrennung **c** stark klopfende Verbrennung [16]

Zur Entstehung und zum Ablauf der klopfenden Verbrennung gibt es drei Theorien [16].

Die **Verdichtungstheorie**: An Stellen, wo die Gemischzusammensetzung und Temperatur eine geringe Zündenergie erfordert, wird der Selbstzündungszustand durch die Kolbenverdichtung und die Kompressionswirkung der Flammenfront erreicht [16]. Von

diesen Zündherden gehen schwache Druckwellen aus, die eine plötzliche Verbrennung des Endgases bewirken.

Die **Detonationstheorie**: Ausgehend von der sich ausbreitenden Flammenfront entstehen durch das Aufsteilen der Druckwellen Stoßwellen. In der Stoßfront werden Selbstzündungsbedingungen erreicht, so dass das Endgas zündet [16].

Die **Kombinationstheorie**: Hierbei handelt es sich um eine Kombination der Verdichtungs- und Detonationstheorie. Ausgehend von Selbstzündung im Endgas kommt es zu einer schnellen Flammenausbreitung und bei stärker klopfenden Arbeitsspielen entstehen Stoß- und Detonationswellen [16].

Das Klopfen lässt sich mit der Verschiebung des Zündzeitpunktes kontrollieren, wodurch die Temperatur im Endgas sinkt und die Vorreaktionen langsamer ablaufen.

### 1.5.2 Glühzündung

Von einer Glühzündung spricht man bei einer Entzündung des Luft-Kraftstoff-Gemisches an heißen Bauteilen oder heißen Ablagerungen.

Durch den klopfenden Betrieb können sich Kanten und Ecken durch den erhöhten Wärmeeintrag stark erhitzen und als Zündherd fungieren, sobald die Bauteiltemperatur lokal die Selbstzündungstemperatur des eingespritzten Kraftstoffs überschreitet [5]. Dies hat zur Folge, dass das Gemisch noch früher zündet, das Klopfen beschleunigt und die gesamte Struktur im Brennraum sich noch weiter aufheizt.

Wenn sich das System weiter aufschaukelt, kann der Brennbeginn bereits so früh stattfinden, dass das gesamte Gemisch verbraucht ist, bevor eine Selbstzündung im Endgas stattfinden kann. Die dadurch nicht klopfende Verbrennung erreicht dennoch höhere Brennraumdrücke und -temperaturen mit Bauteilschädigungspotential.

Als häufigste Glühzündungsherde werden die Zündkerze, die Auslassventile, der Kolbenboden sowie die Quetschkante genannt [5]. Bei der Zündkerze wird die kritische Temperatur zuerst an der Spitze der Isolierung an der Mittelelektrode erreicht [5]. Das oft beobachtete Abschmelzen der Masselektrode ist demnach nur eine Folgeerscheinung des Glühzündungsvorganges. Abhilfe kann ein geeigneter Wärmewert der Zündkerze sowie eine gute Wärmeabfuhr vom Kerzensitz bzw. vom Gewinde an das Kühlmittel schaffen.

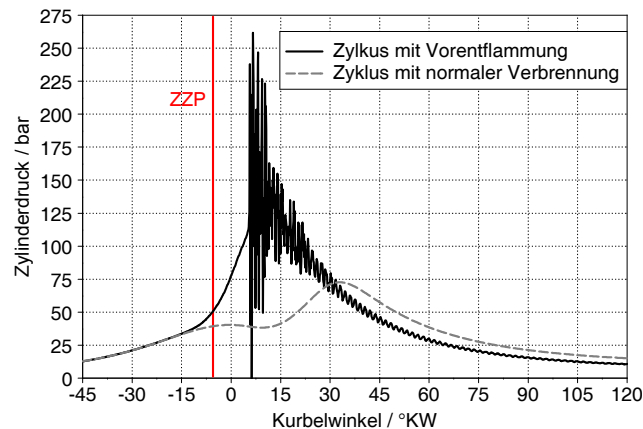
Ein weiterer Glühzündungsherd sind von der Brennraumberandung (Kolben, Zylinderlaufbahn oder Zylinderkopf) gelöste, glühende Ablagerungen, die das Gemisch unerwünscht und unkontrolliert entzünden.

### 1.5.3 Vorentflammung

Bei der Vorentflammung handelt es sich um ein Phänomen, das insbesondere in hoch aufgeladenen Motoren, bei niedrigen Drehzahlen und hohen Ladedrücken auftritt.

Ähnlich wie bei der Glühzündung findet eine Entflammung bereits vor der elektrischen Zündung statt, jedoch wurde bei einer Vorentflammung noch kein selbsterhaltendes oder selbstverstärkendes Verhalten beobachtet.

Ihr Vorkommen wird als äußerst stochastisch vermerkt und die auftretenden Druckamplituden sind äußerst motorschädigend. Durch ihr stochastisches Auftreten (eine einzige Vorentflammung gefolgt von Zyklen mit normaler Verbrennung) können sie durch den Zündwinkel nicht beeinflusst werden.



**Abbildung 1.7:** Beispiel eines Druckverlaufs bei Vorentflammung, resultierend in einer heftig klopfenden Verbrennung, und bei normaler Verbrennung

Um das Entstehen von Vorentflammungen zu verstehen, wurden in den letzten Jahren schon unterschiedlichste Untersuchungen durchgeführt. So zum Beispiel am Institut für Kolbenmaschinen an der Technischen Universität Karlsruhe, wo mögliche Ursachen für die Entstehung von Vorentflammungen aufgelistet wurden, siehe Abbildung 1.1.

Hier wird zwischen einer homogenen Selbstzündung, wie beim HCCI Verfahren, und inhomogener Selbstzündung unterschieden. Bei Letzterem kann die Zündung im Gas erfolgen, ähnlich dem Klopfen, wo die Vorreaktionen durch erhöhte Temperaturen im Endgas (durch z. B. heißes Restgas), oder an heißen Bauteilen, sogenannte „hot spots“, schon vorzeitig abgeschlossen sind.

Im Mehrphasenbereich wird zwischen der Entzündung durch heiße Ablagerungen und durch Tröpfchen, entweder Kraftstoff oder Öl unterschieden. Im Falle einer Entzündung durch heiße Ablagerungen wird in [14] eine Zündung des Gemisches von heißen kohlenstoffhaltigen Ablagerungen erwähnt, die durch ihren starken Druckanstieg weitere Ablagerungen loslösen können. Verbleiben diese losgelösten Ablagerungen im



Brennraum, so werden sie im nächsten Arbeitstakt erhitzt und können im übernächsten Takt zu einer erneuten Vorentflammung führen. Dies würde die charakteristische Abfolge von Vorentflammungen erklären, bei der auf eine Vorentflammung immer ein Arbeitstakt mit normaler Verbrennung folgt.

Kommt es zu einer Zündung ausgehend von Gemischinhomogenitäten, so wird in [5] von einer Wandanlagerung mit Kraftstoff ausgegangen, die sich im Laufe des Betriebs aufbaut und in einem Arbeitstakt eine Vorentflammung auslöst.

Im Falle einer Zündung des Gemischs durch heiße Öltröpfen kann von unterschiedlichen Quellen ausgegangen werden. Einerseits kann das Schmiermittel mitangesaugt werden – Ölwurf vom Turbolader, Leckage an den Ventilschäften oder Öltröpfen/-nebel vom ins Saugrohr eingeleitetem Blow-By – oder Schmiermitteltropfen werden von der Zylinderwand losgelöst. Bei Letzterem kann ein Zusammenspiel von der Wandbenetzung durch Kraftstoff und dem Loslösen von Öltröpfen durch eine Verdünnung des Öls erfolgen [3].

## 1.6 Schmierung von Verbrennungskraftmaschinen

Das Schmiermittel hat in der Verbrennungskraftmaschine noch einige andere Aufgaben zu erfüllen als lediglich die Reibung zu verringern. Was diese Aufgaben sind und wie die hohen Anforderungen an das Schmiermittel erfüllt werden, wird auf den folgenden Seiten erklärt.

### 1.6.1 Aufgaben und Anforderungen

Die Aufgaben des Schmiermittels sind in [13] wie folgt zusammengefasst:

- schmieren
- kühlen
- Kräfte übertragen
- abdichten
- reinigen
- schützen

Für den Verbrennungsmotor ergeben sich noch detailliertere Anforderungen, siehe Tabelle 1.2.

Um all diese hohen Anforderungen zu erfüllen, werden dem Grundöl Additive beigegeben.

**Tabelle 1.2:** Anforderungen an das Schmiermittel und zugehörige Eigenschaften [13]

Anforderungen	Eigenschaften
Verminderung der Reibung zwischen sich relativ zueinander bewegenden Teilen und Verringerung des an den Schmierstellen auftretenden mechanischen Verschleißes	Ausreichende Viskosität bei Betriebstemperatur und Verbesserung der Tragfähigkeit durch Friction Modifier und Extreme Pressure Zusätze.
Abführung der an den Reibstellen entstehenden Wärme (ausreichende Kühlwirkung)	Ausreichende Öldurchflussmenge gewährleisten und Öltemperatur beachten; geringe Verdampfungsneigung und gute thermische Stabilität
Ausreichende Sauberkeit des Motors (Abführung von Verschleißteilen aus der Reibstelle sowie Aufnahme von Schmutz)	Entsprechende Detergent-Dispersant Wirkung
Abdichtung an engen Spalten zwischen sich relativ zueinander bewegenden Teilen (insbesondere zwischen Kolbenring und Zylinderlaufbuchse)	Ausreichende Viskosität bei Betriebstemperatur
Korrosionsschutz an den Lagern und Rostschutz an den weiteren, nicht ständig vom Schmiermittel benetzten Metalloberflächen	Korrosionsschützende Wirkung durch geeignete Additivierung
Verhinderung des, durch die sauren Verbrennungsprodukte auftretenden, korrosiven Verschleißes	Öl mit genügend alkalischer Reserve und der richtigen Additivierung
Keine negative Beeinflussung des Verbrennungsprozesses	Möglichst niedriger Aschegehalt des Öles, Oxidationswiderstand
Ausreichendes Startverhalten des Öles	Tiefer Stockpunkt und gutes Viskositäts-Temperatur-Verhalten (hoher Viskositätsindex); geeignete Viskositätslage bei tiefen Temperaturen
Gleichbleibendes Viskositäts-Temperatur-Verhalten über einen bestimmten Zeitraum bei Mehrbereichsölen	Möglichst scherstabiles Verhalten der Viskositäts-Index-Verbesserer, Oxidationswiderstand
Möglichst lange Schmierstoffeinsatzdauer	Gute Alterungsbeständigkeit und guter Oxidationswiderstand des Grundöles, verstärkt durch Oxidationsinhibitoren; geringe Schaumbildungsneigung; geringe Verdampfungsneigung

### 1.6.2 Aufbau von Schmiermitteln

Ein Schmiermittel besteht im Prinzip aus einem Grundöl als Basis und einer Vielzahl von Additiven. Im folgenden Teil wird auf diese Bestandteile näher eingegangen.

#### Grundöl

Beim eingesetzten Grundöl kann es sich um ein Mineralöl, ein auf Mineralöl basierendes Syntheseöl oder ein vollsynthetisches Öl handeln [20].

##### *Mineralische Grundöle*

Diese Mineralöle sind Produkte des Raffinationsprozesses und bestehen aus Kohlenwasserstoffen, die in verschiedenen Arten gebunden sein können. Die Molekülstruktur ist dabei ausschlaggebend für grundlegende Eigenschaften, wie das Verdampfungsverhalten oder das Verhalten bei tiefen Temperaturen.

##### *Synthetische Grundöle auf Mineralölbasis*

Die verschiedenen Molekülstrukturen haben jeweils ihre Vor- und Nachteile. Erfahrungen zeigten, dass manche Strukturen aufgrund ihrer Eigenschaften zu bevorzugen sind. Dies macht es wünschenswert, ein Basisöl herzustellen, das rein aus Molekülgruppen mit der selben Struktur besteht (z. B. Isoparaffine oder Alkyларомaten). Die Ausgangsstoffe kommen hier aus Mineralölen, die in spezieller Weise weiterverarbeitet werden.

##### *Vollsynthetische Grundöle*

Vollsynthetische Öle können in ihren Eigenschaften nahezu beliebig geformt werden. Sie werden mittels Hydrogenerierung und Oligomersation von Olefinen hergestellt und sind dabei qualitativ hochwertiger als reine Mineralöle. Als Beispiel sei hier Ethylen als Basis zur Herstellung verschiedener synthetischer Basisöle, z. B. Ester, genannt.

### **Additive**

Additive sind chemische Wirkstoffe, die dem Grundöl beigemischt werden um:

1. vorhandene Eigenschaften des Grundöls zu verändern (z. B. Viskositätsverbesserer),
2. unerwünschte Eigenschaften des Grundöls zu unterdrücken (z. B. Schauminhibitoren) oder
3. dem Grundöl neue Eigenschaften zu verleihen (z. B. Detergents/Dispersants).

Sie sind ölfremde, meist öllösliche Stoffe mit einer Dichte, welche jener des Grundöls entspricht.

Im folgenden Abschnitt wird auf die einzelnen Aufgaben, Funktionen und Wirkungsweisen der wichtigsten Additive eingegangen.

### **Detergents und Dispersants**

Die beim ottomotorischen Prozess entstehenden Verbrennungsprodukte können zu kleinen Teilen über das sogenannte Blow-By ins Kurbelwellengehäuse gelangen und somit ins Schmieröl eingetragen werden. Diese Verbrennungsprodukte verursachen Schlamm- und Lackbildung, die Bildung einer Lackschicht und auch Ablagerungsaufbau auf etwaigen Metalloberflächen. Um dies zu verhindern werden dem Grundöl Detergents und Dispersants beigemischt.

Detergents haben die Aufgabe, Schlamm und Lackbildner zu lösen und im Schmiermittel schwebend zu halten. Sie haben somit eine reinigende Wirkung und halten den Motor sauber. Ca- und Mg-Sulfonate, Phenolate und Salicylat sind typische Vertreter von Detergents.

Dispersants verteilen und zerstreuen die Schmutzteilchen, welche ins Öl eingetragen wurden und verhindern eine Kumulierung derselben. Beispiele für Dispersants sind Polyisobutylen, Ethylen-Propylen oder Oligomere mit Stickstoff und/oder Sauerstoff als Funktionsgruppe.

Die Funktion und Wirkungsweise der Detergents und Dispersants kann in 3 Gruppen aufgeteilt werden [20]:

- Peptisierung
- Solubilisierung
- Neutralisation

*Peptisierung*

Bei der Peptisierung werden feste Partikel von aschelosen Dispersants oder Metalldetergents umhüllt.

Dies verhindert das Absetzen dieser Schmutzpartikel an metallischen Oberflächen und des Weiteren wird ein Agglomerieren der Teilchen zu ö unlöslichen Bündeln verhindert. Eine schematische Darstellung dieses Vorganges ist in Abbildung 1.8 ersichtlich.

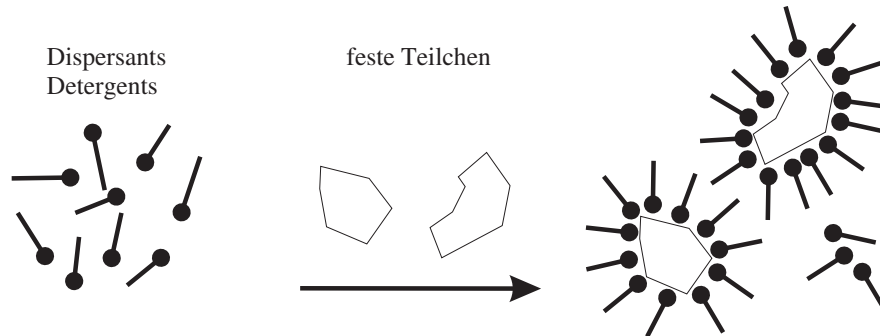


Abbildung 1.8: Peptisierung [20]

*Solubilisierung*

Bei der Solubilisierung werden flüssige, ö unlösliche Bestandteile, ähnlich wie bei der Peptisierung, vom aschelosen Dispersant eingeschlossen und somit ihre negative Wirkung verhindert, siehe Abbildung 1.9.

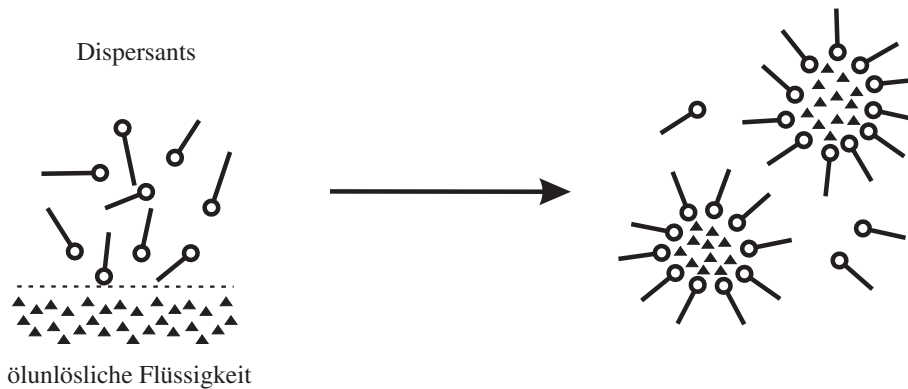


Abbildung 1.9: Solubilisierung [20]

*Neutralisation*

Im Gegensatz zu den vorherigen zwei Mechanismen, welche mechanischer Natur sind, ist die Neutralisation ein rein chemischer Prozess. Dabei werden saure Bestandteile des Öles mittels Detergents zu Salzen umgewandelt, die entweder im Öl löslich oder unlöslich sein können, siehe Abbildung 1.10.

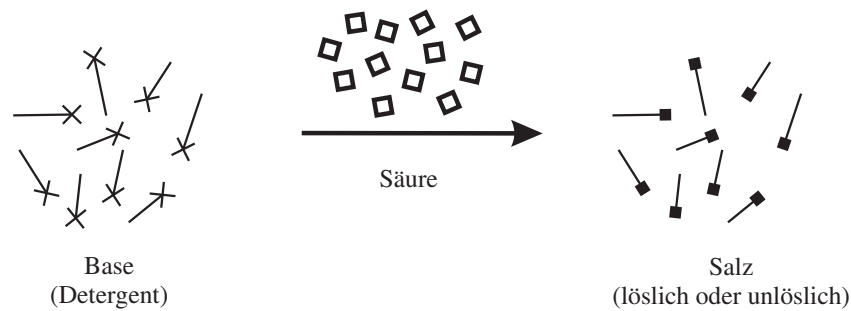


Abbildung 1.10: Neutralisation [20]

### Viskositätsverbesserer

Die in der Verbrennungskraftmaschine eingesetzten Schmiermittel sind einem weiten Temperaturbereich ausgesetzt unter dem sie ihre Funktionalität gewährleisten müssen. So ist es notwendig, dass auch bei tiefsten Temperaturen das Motoröl noch dünnflüssig genug ist, um einen Kaltstart des Motors zu ermöglichen. Dies erfordert meist Öle mit geringer Viskosität, was wiederum bei hohen Temperaturen zu höheren Verdampfungsverlusten führt.

Viskositätsverbesserer haben also die Aufgabe, die Viskosität des Öles bei hohen Temperaturen anzuheben, ohne die Eigenschaften des Öles bei niedrigen Temperaturen negativ zu beeinflussen. Durch die höhere Viskosität bei hohen Temperaturen bleibt der Schmierfilm auch dort erhalten.

### Oxidations- und Korrosionsinhibitoren

Ist ein Schmiermittel hohen Temperaturen unter der Anwesenheit von Sauerstoff ausgesetzt, so nennt man die auftretende chemische Veränderung Oxidation.

Bei dieser chemischen Veränderung entstehen saure Reaktionsprodukte, welche die Bildung von Lack- und Ablagerungsschichten hervorrufen. Ursprünglich verfügten die Rohöle von Haus aus über Antioxidantien, diese verflüchtigen sich allerdings bei der Raffination des Öls, mit dem Ziel, einen höheren Viskositätsindex zu erlangen. Um den Alterungsprozess bzw. die Oxidation zu verzögern, werden deswegen dem Schmiermittel synthetische Antioxidantien zugesetzt, z. B. Phenole oder Phosphonate.

Das selbe gilt für die Eigenschaft des Schmiermittels, die Metalloberfläche vor Korrosion zu schützen. Nach dem Raffinationsprozess verfügt das Produkt über keine oder wenig natürliche Inhibitoren gegen Korrosion. Daher gelingt es Wasser- und Sauerstoffmolekülen durch das Schmiermittel zur Metalloberfläche zu diffundieren. Durch den Zusatz von geeigneten Korrosionsinhibitoren, welche eine dünne, für Wasser und Sauerstoff undurchlässige Schicht an der Metalloberfläche ausbilden, kann dies verhindert werden.

### Stockpunktverbesserer

Der Stockpunkt einer Flüssigkeit ist jener Punkt, an dem die Viskosität des Fluids so hoch ist, dass es nicht mehr fließt. Dies kann, je nach chemischem Aufbau des Öles, unter der Bildung von Kristallen erfolgen, was jedoch nicht immer der Fall ist.

Die eingesetzten Additive haben also die Aufgabe, den Stockpunkt hin zu niedrigen Temperaturen, welche in der Praxis so gut wie nicht vorkommen, zu verschieben.

### Schaumdämpfer

Die Schaumbildung ist in der Verbrennungskraftmaschine als negativ zu bewerten, da sie dem Motorbetrieb schaden kann. Die Haupteinflussfaktoren auf die Neigung zur Schaumbildung sind die Oberflächenspannung und die Viskosität des Schmieröles.

Beim Schmieröl unterscheidet man zwischen Oberflächenschaum, welcher durch geeignete Additive unterbunden werden kann, und im Öl eingeschlossene Luftblasen (Aeroemulsionen), welche von Additiven nicht beeinflusst werden können.

Ein Schaumdämpfer hat also die Aufgabe, die Oberflächenspannung des Schmiermittels zu erhöhen und somit eine mögliche Schaumbildung zu unterbinden, dazu werden z. B. flüssige Silikone eingesetzt.

### Hochdruckzusätze und Verschleißschutz-Additive

Verschleiß ist der unerwünschte Materialabtrag infolge der auftretenden Reibung bei einer Relativbewegung zweier Oberflächen zueinander.

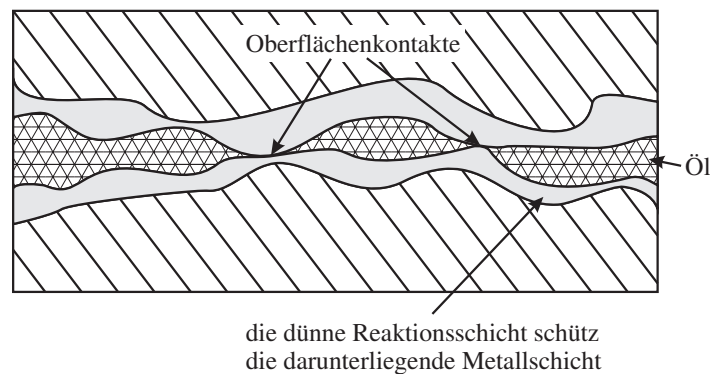
Man unterscheidet vier Hauptverschleißmechanismen [20]:

- *Abrasion*: Materialabtrag durch ritzende Beanspruchung (z. B. Sand). Diese Verschleißart lässt sich durch Additive nicht beeinflussen, lediglich der Einsatz von Öl- und Luftfilter schafft Abhilfe.
- *Tribochemische Reaktion*: Chemische Reaktion zwischen den drei beteiligten Gruppen (Grundkörper, Gegenkörper und angrenzendes Medium)
- *Adhäsion*: Kaltverschweißen und anschließendes Wiederauftrennen der zwei Reibpartner
- *Oberflächenzerrüttung*: Rissbildung und Ermüdung der Oberfläche infolge von Wechselbeanspruchungen.

Die drei zuletzt genannten Mechanismen lassen sich durch gezielten Einsatz von Additiven im Schmiermittel positiv beeinflussen.

Zur Adhäsion kommt es, wenn die Bauteiloberflächen unter Belastung direkt in Kontakt miteinander stehen. Durch die lokal hohen Drücke und Temperaturen kommt es zur Verformung und Verschweißung der Stahloberflächen. Von hier rührt auch der Begriff Hochdruckzusatz (Extreme Pressure Additive), aber auch die Bezeichnung Verschleißschutz-Additive (Anti Wear Additive) wird verwendet.

Diese Additive (Metalldithiophosphate oder Carbonate) bewirken durch chemische Vorgänge, dass sich auf der Metalloberfläche eine Reaktionsschicht ausbildet, welche das Verschweißen der Reibpartner verhindert, siehe Abbildung 1.11.



**Abbildung 1.11:** Reaktionsschicht [20]

### Friction Modifier

Friction Modifier (FM) werden eingesetzt, um im Bereich der Mischreibung den Anteil der Festkörperreibung zu verringern. Dies kann mechanisch oder chemisch erfolgen. Bei ersterem werden Festkörperschmierstoffe die im Schmiermittel verteilt sind verwendet, bei letzterem werden öllösliche Moleküle verwendet, welche an der Metalloberfläche absorbiert werden oder, ähnlich wie Hochdruckzusätze, eine dünne Schutzschicht aufbauen.

Der Unterschied zu Hochdruck- und Verschleißzusätzen liegt allerdings darin, dass diese erst beim kompletten Versagen des Schmierfilms zum Tragen kommen.

FM's dagegen sollen schon bei gewöhnlichen Betriebsbedingungen, der „milden Mischreibung“, Wirkung zeigen.

Typische Vertreter der FM's sind MoS-Verbindungen, Alkohole, Ester und Fettsäureamide.



## 2 Prüfstands Aufbau

Nachfolgend wird auf den Prüfstands Aufbau sowie die verwendete Meßtechnik eingegangen. Des Weiteren wird das System zum Eindosieren des Schmiermittels ins Saugrohr vorgestellt.

Einen allgemeinen Überblick über den Prüfstands Aufbau liefert Abbildung 2.1.

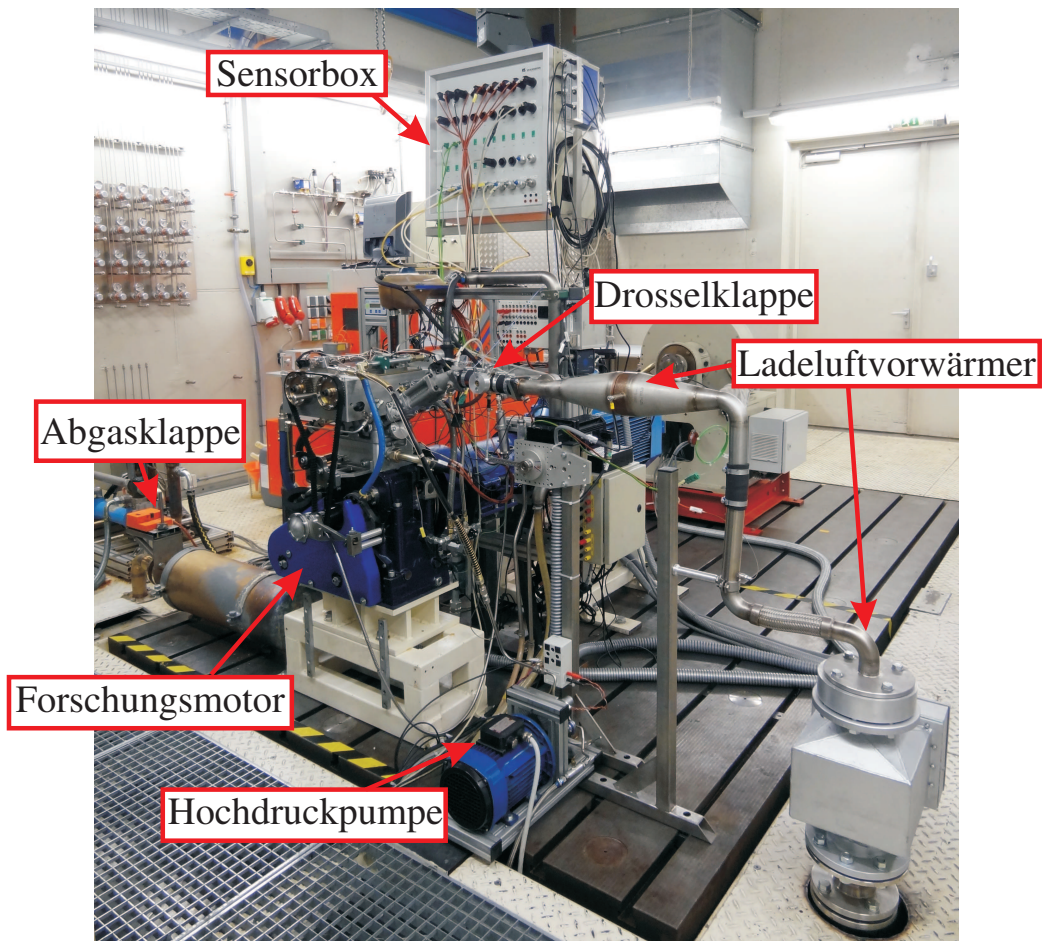


Abbildung 2.1: Prüfstands Aufbau

## 2.1 Prüfstandstechnik

In diesem Kapitel wird auf die gesamte Prüfstandstechnik eingegangen. Als Prüfstandsprogramm zur Steuerung des gesamten Prüfstands wurde ein Produkt der Firma Kristl-Seibt-Engineering mit dem Namen Tornado verwendet. Es ermöglicht die Steuerung und Regelung aller Aktoren, der Leistungseinheit und die Erfassung von Messdaten.

### 2.1.1 Leistungsbremse

Bei der verwendeten Leistungsbremse handelt es sich um eine Asynchronmaschine der Firma ABB. Mit ihr war es möglich, den Motor sowohl zu schleppen als auch zu bremsen. Die beim Bremsen gewonnene Energie wurde ins Netz eingespeist.

### 2.1.2 Konditionierung

Der Einzylinder-Forschungsmotor verfügt hinsichtlich der Betriebsmittel über keinerlei Eigenperipherie. Deswegen ist es notwendig, ihn mit solchem zu versorgen. Hierzu, aber auch um die Betriebsmittel getrennt zu konditionieren, wurden Konditionieranlagen für Kühlmittel und Motoröl gefertigt, siehe Abbildung 2.2 und Abbildung 2.3.

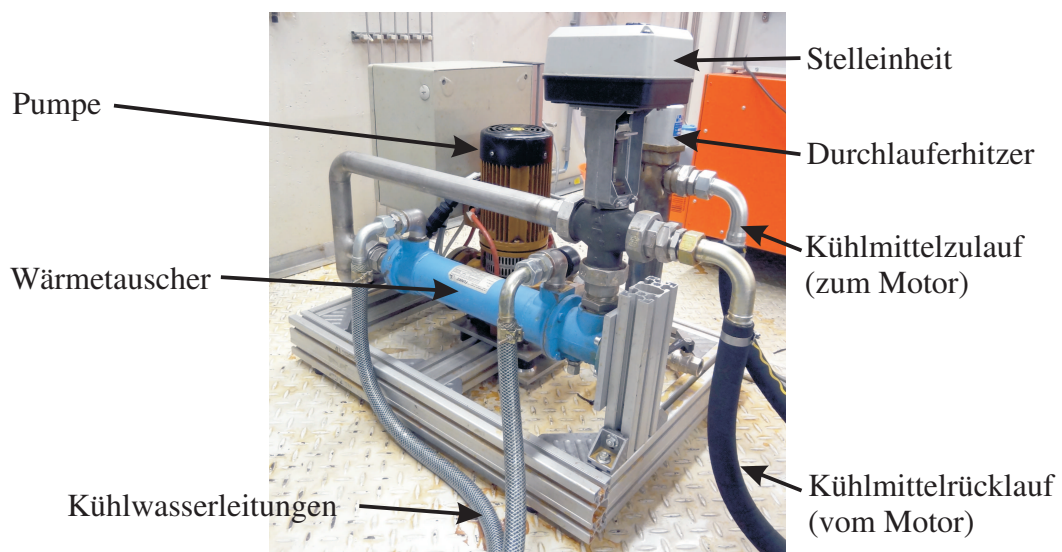


Abbildung 2.2: Kühlmittelkonditionieranlage

### 2.1.3 Aufladeaggregat

Der Ladeluftdruck wurde über einen, im Keller platzierten, Kompressor vom Typ GA30W der Firma Atlas Copco auf den gewünschten Druck eingestellt.

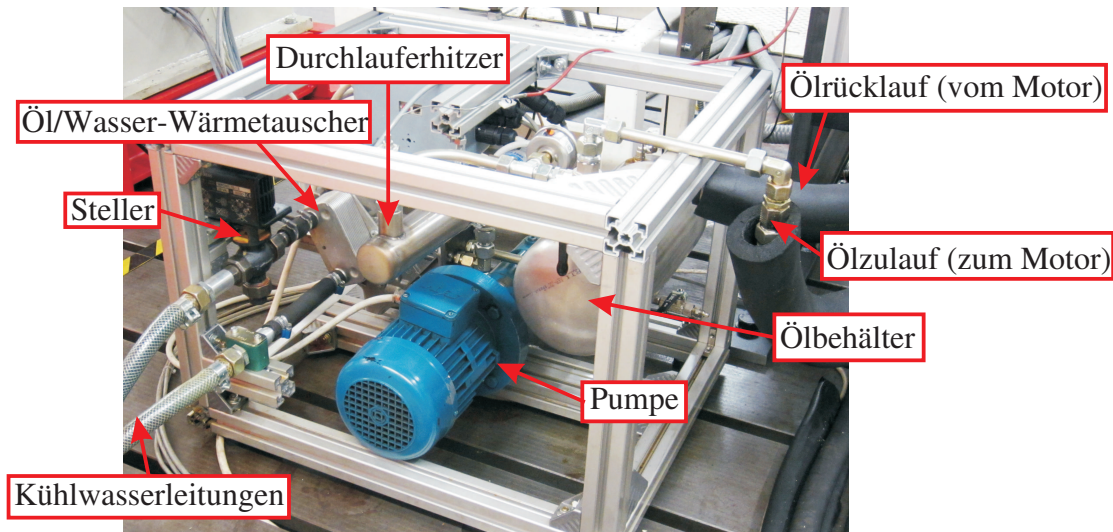


Abbildung 2.3: Motorölconditionieranlage

Da bei heutigen Serienmotoren die Aufladung meist über einen, vom Abgas angeströmten, Turbolader erfolgt und somit ein höherer Abgasgegendruck entsteht als bei Kompressoraufladung wurde im Abgassystem eine Klappe eingebaut, die diesen erhöhten Abgasgegendruck simulieren kann.

Als Zielwert dieser Regelung wurde ein Druckgefälle von  $p_L - 0.5$  bar gewählt, um das gewünschte Spülen des Zylinders zu ermöglichen.

#### 2.1.4 Ansaugluftvorwärmung

Die komprimierte Luft wurde über zwei elektrische Heizer auf die gewünschte Ladelufttemperatur vorgewärmt. Bei dem zweiten Heizer handelt es sich um eine modifizierte Variante eines heizbaren Katalysators, bei dem der katalytische Einsatz entfernt wurde.

## 2.2 Forschungsmotor

### 2.2.1 Allgemeine Daten

Bei dem verwendeten Versuchsträger handelt es sich um einen Einzylinder-Forschungsmotor mit Fremdzündung.

Die wesentlichen Daten sind Tabelle 2.1 zu entnehmen.

**Tabelle 2.1:** Daten des Einzylinder-Forschungsmotors

Bohrung	84 mm
Hub	90 mm
Hubvolumen	498.76 cm <sup>3</sup>
Verdichtung	einstellbar (9.0, 10.5, 12.0) <sup>1</sup>
max. Drehzahl	6000 min <sup>-1</sup>
max. Zylinderdruck	150 bar
Ventiltrieb	4 Ventile, DOHC, Zahnriemen, Steuerzeiten Spreizungen: Auslaß: 160 – 80 °KW vWOT Einlaß: 80 – 160 °KW nWOT Standardspreizung: Ein-/Auslaß: 110 °KW/110 °KW
Ventilspielausgleich	Hydrostößel
Massenausgleich	1. Ordnung
Steuerzeiten bei 0.1 mm Hub	bei Standardspreizung
• Einlaß (EÖ/ES)	8 °KW vWOT/114 °KW vZOT
• Auslaß (AÖ/AS)	132 °KW nZOT/18 °KW nWOT
max. Ventilhub	
• Einlaß	9.7 mm
• Auslaß	9.7 mm
Motorsteuerung	GEMS EM36

<sup>1</sup> durch unterschiedliche Unterlegscheiben frei wählbar bis max. ca.  $\varepsilon = 13.5$

Die Brennraumgeometrie entspricht den von BMW in Serienmotoren eingesetzten Abmessungen. Der Vorteil des Forschungsmotors liegt in der großen Variabilität bezüglich Verdichtung, Einspritzposition und Steuerzeiten, sowie in der leichten Zugänglichkeit.

Abbildung 2.4 zeigt einen Schnitt durch den Forschungsmotor. Man sieht die zwei Bohrungen für die seitliche und zentrale Injektorlage, sowie die Möglichkeit zur Saugrohreinspritzung. Der verwendete zentrale Injektor stammt, sowie das Common-Rail, der Kolben und das Pleuel, aus einem BMW-Serienottomotor. Der Zahnriemen treibt zwei obenliegende Nockenwellen an (DOHC), welche die zwei Ein- und Auslassventile

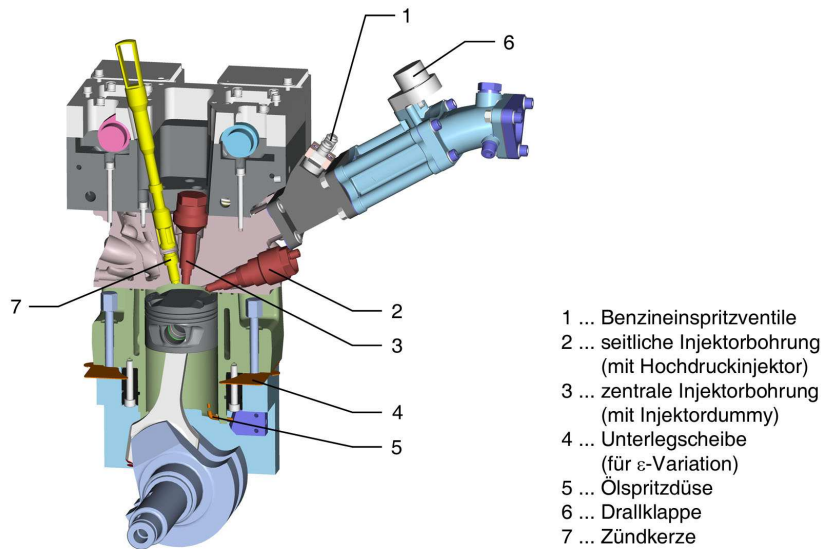


Abbildung 2.4: Schnitt durch den Forschungsmotor [8]

betätigen. Die Steuerzeiten sind frei verstellbar und wurden auf maximale Ventilüberschneidung eingestellt, um beim gefahrenen Lastpunkt möglichst geringe Restgasmenge im Zylinder zu haben.

### 2.2.2 Kolben und Pleuel

Beim verwendeten Kolben und Pleuel handelt es sich um Serienprodukte aus dem BMW-Ottomotor mit der Bezeichnung N20. Der Kolbenboden verfügt über eine Mulde, welche die Gemischaufbereitung bei direkter Einspritzung unterstützt.

### 2.2.3 Steuerzeiten

Die Steuerzeiten sind beim Einzylinderforschungsmotor einfach zu verstellen. Die gewählten Einstellungen ermöglichen maximales Spülen, so dass durch die große Ventilüberschneidung der Zylinder mit Frischgas gespült wird. Dies bringt, durch die geringere Restgasmenge im Brennraum und der verringerten Neigung zu Verbrennungsanomalien, einen Leistungsvorteil.

### 2.2.4 Kraftstoffeinbringung

Beim verwendeten Aufbau handelt es sich um einen Ottomotor mit Direkteinspritzung. Der Kraftstoff wird mit einer Hochdruckpumpe auf 200 bar verdichtet und über ein Common-Rail dem Benzin-Injektor zugeführt.



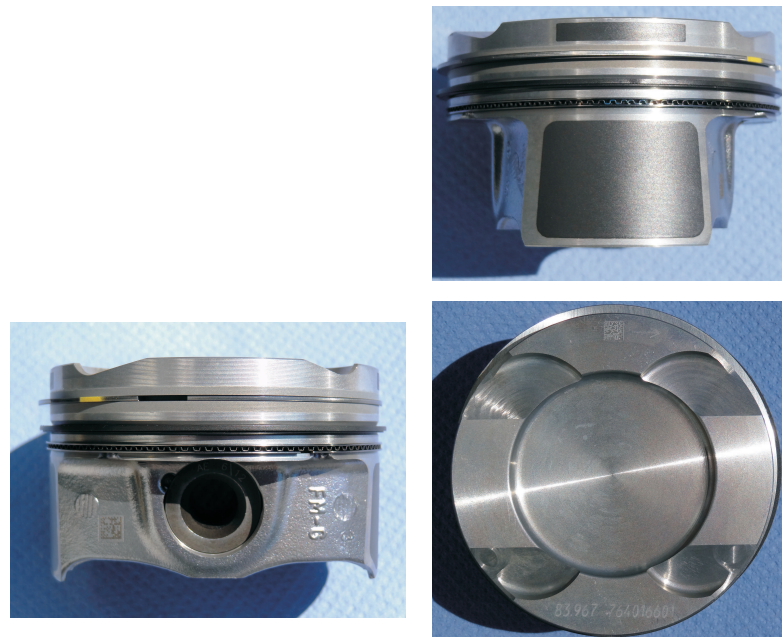


Abbildung 2.5: Kolben BMW N20



Abbildung 2.6: Pleuel BMW N20

Die Ansteuerung des Injektors erfolgte über eine ETU 427 (electronical timing unit) der Fa. AVL, welche die gewünschte Einspritzdauer und den Einspritzzeitpunkt an den Signalverstärker PROVEBO der Fa. Hörbiger übergibt. Von dort aus wird der Magnet-Injektor mit dem korrekten Signal angesteuert.

## 2.3 Messtechnik

Man unterscheidet langsame und schnelle Messgrößen. Schnelle Messgrößen sind jene, die in Grad Kurbelwinkel aufgelöst gemessen werden. Die übrigen bezeichnet man als langsame Messgrößen.

### 2.3.1 Allgemeine Messtechnik

Hier werden alle langsamen Messgrößen besprochen. Die langsamen Messgrößen werden von der Sensorbox am Galgen zum Messschrank, welcher auch den Echtzeitrechner beinhaltet, weitergegeben. Anschließend können die Werte im Tornado angezeigt und bei Bedarf aufgezeichnet werden.

#### Temperaturen

Zur Temperaturmessung wurden sowohl Widerstandstemperatursensoren (Pt100) als auch Thermoelemente (NiCr-Ni) verwendet. Die wichtigsten Temperaturmessstellen sind die Kühlmitteltemperaturen am Ein- und Austritt, die Öltemperaturen (ebenfalls am Ein- und Austritt), die Ladelufttemperatur und die Abgastemperatur. Die Umgebungstemperatur hat, im Gegensatz zur Luftfeuchtigkeit, weniger Relevanz, da die Ansauglufttemperatur explizit eingestellt wurde.

#### Drücke

Es sind sowohl Absolutdrucksensoren, als auch Relativdrucksensoren in Verwendung. Die Druckmessung ist ein wichtiger Punkt, um eine korrekte Versorgung des Motors mit den Betriebsmitteln zu gewährleisten. Der Öldruck wird sowohl in der Konditionieranlage, als auch am Hauptölkanal und an der Nockenwelle gemessen. Der Kühlmitteldruck wird am Kühlmittelausgang überwacht.

Um die Regelung des Ladeluftdrucks betreiben zu können, wird auch im Saugrohr der Druck gemessen.

#### Luftmasse

Die Luftmasse wurde mittels Drehkolbengaszählers der Fa. Aerzen bestimmt. Der Drehkolbengaszähler vom Typ Ze 039.1 bestimmt den Volumenstrom über das verdrängte Volumen bei gemessener Drehzahl. Mittels der Messgrößen „Temperatur“ und „Druck“ am Drehkolbengaszähler lässt sich die Luftmasse berechnen.


#### Kraftstoffverbrauch

Der Kraftstoffmassenstrom wurde direkt mittels Coriolis-Massendurchflussmesser Sitrans-Mass 2100 der Fa. Siemens gemessen. Der Vorteil dieses Messprinzips ist die direkte Bestimmung des Massenflusses, ohne von der Dichte des zu messenden Mediums abhängig zu sein.

#### Drehmoment

Die Drehmomentmessung erfolgte über einen, im Abtrieb eingebauten, Messflansch T10F der Firma HBM. Der Messbereich liegt zwischen 0 und 200 Nm, das gemessene

**Tabelle 2.2:** Spezifikationen der verwendeten piezoelektrischen Druckaufnehmer

Hersteller		AVL	AVL
Drucksensortyp		GU21C	QC34D
			
Messbereich	bar	0 - 250	0 - 250
Empfindlichkeit	pC / bar	35	19
Linearität	% FSO	< ± 0.3	< ± 0.2

Drehmoment wird als Spannungssignal an das Prüfstandsprogramm Tornado und als Frequenzsignal an das Indiziersystem IndiSet gesendet.

### Drehzahl

Die Drehzahlmessung erfolgt einerseits über einen induktiven Aufnehmer an der Schwungscheibe, welche mit Rastermarken versehen ist und andererseits über die E-Maschine.

### 2.3.2 Indiziermesstechnik

Unter Indizierung versteht man in der Brennverfahrensentwicklung, das Messen eines Signales in Bezug zum Kurbelwinkel, sozusagen ein kurbelwinkelbasiertes Messen. Die auf diese Weise gemessenen Größen werden als schnelle Messgrößen bezeichnet, wohingegen zeitbasierte Größen, wie bereits erwähnt, als langsame Messgrößen bezeichnet werden. Die schnellen Messgrößen sind in diesem Fall der Zylinderdruck  $p_{Zyl}$ , der Saugrohrdruck  $p_L$ , der Abgasdruck  $p_{Abg}$ , sowie die Ansteuersignale der Zündung und der Einspritzung, welche mittels Strommesszangen abgegriffen wurden.

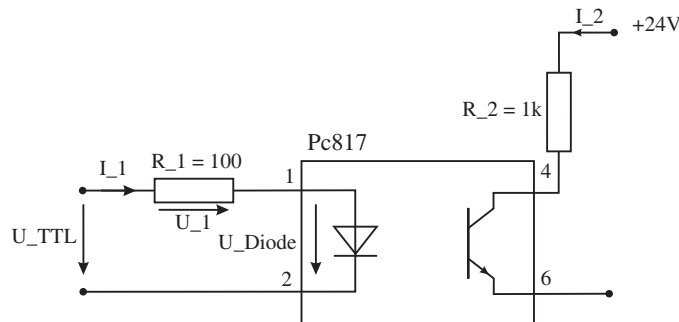
Die ersten drei Teile der Druckmesskette sind der Druckaufnehmer selbst, das Übertragungskabel und der Messverstärker. Diese drei Komponenten sind sehr kritisch, da es sich bei der Messgröße um elektrische Ladung handelt und als solches von Störgrößen von außen leicht beeinflusst werden kann. Vom Ladungsverstärker geht es weiter zum AVL IndiSet Advanced 631, welches die Messgrößenerfassung übernimmt. Das IndiSet erlaubt nun in Verbindung mit einem Kurbelwinkelgeber und der Software AVL IndiCom eine Echtzeit-Verbrennungsanalyse. Die weitere Auswertung der Daten erfolgte



im Anschluss mit dem Programm Concerto der AVL.

Da sich diese Arbeit mit dem Erfassen und der Analyse von Vorentflammungen befasst, wurde eine spezielle Messsteuerungsart verwendet, welche eine Messung bei Eintreten eines Ereignisses startet. Bei einer Vorentflammung handelt es sich um eine Entzündung des Kraftstoff-Luft-Gemisches vor dem eigentlichen Zündzeitpunkt. Dies hat eine frühzeitige Druckerhöhung zufolge, welche einen höheren Brennraumdruck im Arbeitsspiel hervorruft. Diese Tatsache ermöglicht es eine Schwelle für den Zylinderdruck zu definieren, ab welcher eine abnormale Verbrennung stattfindet. Wird die definierte Schwelle überschritten, wird eine Messung gestartet, bei der 20 Zyklen vor und 80 Zyklen nach Eintreten des Ereignisses abgespeichert werden.

Eine weitere Schwelle wurde eingerichtet, um bei zu hohem Zylinderdruck eine Bauteilschädigung zu verhindern. Hierzu wird am COM-Port des Indiziergerätes bei Überschreitung der definierten Schwelle ein Bit gesetzt, welches mittels einer eigens entworfenen Schaltung dem Prüfstandsprogramm Tornado das Auftreten einer Grenzwertüberschreitung mitteilt, siehe Abbildung 2.7. Als Ausgangssignal liegt ein TTL-Pegel an, welcher mittels der unten gezeigten Schaltung einen Schalter betätigt. Dieser schaltet den 24V-Pegel vom SPS-Modul im Messschrank potentialfrei durch. Dieser potentialfreie Schalter wird von einem Optokoppler dargestellt.



**Abbildung 2.7:** Potentialfreier Schalter zur Abschaltung der Einspritzung

Die Ströme  $I_1$  und  $I_2$  sind vom Optokoppler begrenzt, deswegen wurden die Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  so dimensioniert, dass sie einerseits den Strom begrenzen und andererseits im Fall von  $R_1$  auch als Spannungsteiler fungieren.

Anhand des Datenblattes für den Optokoppler PC817 [19] wurden die Widerstände

wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} I_1 &= 20 \text{ mA} \\ R_1 &= \frac{U_{\text{TTL}} - U_{\text{Diode}}}{I_1} = \frac{23.7 \text{ V} - 1.4 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 95 \Omega \\ I_2 &= 24 \text{ mA} \\ R_2 &= \frac{24 \text{ V}}{24 \text{ mA}} = 1 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Beobachtungen ergaben, dass eine Vorentflammung für sich alleine steht und somit meist ein Zyklus mit normaler Verbrennung folgt. Daher ist eine Abschaltung der Einspritzung nur notwendig, wenn mehrere Zylinderdrucküberschreitungen direkt aufeinander folgen und sich das System aufschaukeln zu droht. Aus diesem Grund wurde ein Zähler im Tornado eingerichtet, der bei jeder Überschreitung um 1 erhöht wird. Erreicht der Zählerstand den Wert 6, ohne von Hand resetiert zu werden, wird die Ansteuerung der Einspritzung abgeschaltet.

### Drehwinkelgeber

Als Bezugssignal bei der Indizierung wird der Drehwinkel herangezogen. Dies gilt, im Vergleich zur Zeitbasis als sinnvoll, da die Winkelgeschwindigkeit im Motor nicht konstant ist. Der Drehwinkel wird dabei an einem freien Wellenende mit einem optischen System gemessen. Als Messprinzip kommt das eines Lichtschranken zur Verwendung, wobei es sich je nach Anordnung um ein Durchlicht- oder ein Reflexionsverfahren handelt [14].

### Bestimmung des oberen Totpunktes

Zur exakten Verbrennungsanalyse ist eine OT-Bestimmung unabdingbar. Diese wurde sowohl mittels kapazitivem OT-Sensor, als auch über den thermodynamischen Verlustwinkel durchgeführt.

- **OT-Bestimmung mittels kapazitiver OT-Sonde:** Mittels einer kapazitiven OT-Sonde ist es möglich den tatsächlichen oberen Totpunkt mit einer Genauigkeit von  $\pm 0.1^\circ \text{KW}$  zu messen. Dazu wird die Sonde mit Adapter in der Zündkerzenbohrung montiert und der Motor geschleppt betrieben.
- **OT-Bestimmung über den thermodynamischen Verlustwinkel:** Aufgrund von Wärme- und Leckageverlusten liegt beim geschleppten Motor das gemessene Zylinderdruckmaximum vor dem oberen Totpunkt. Die Differenz der Lage des gemessenen Druckmaximums und der Lage des tatsächlichen oberen Totpunktes wird als thermodynamischer Verlustwinkel bezeichnet. Aus Erfahrungswerten bezüglich dieser Abweichung kann der gemessene Druckverlauf um den Verlustwinkel hin zur korrekten Lage des oberen Totpunktes verschoben werden.

### Zylinderdruckeinpassung

Bei der Messung des Zylinderdrucks erfolgt lediglich das Messen des wechselnden Druckanteils. Um den tatsächlichen Absolutdruckwert zu bekommen, muss der gemessene Druck um den Betrag  $\Delta p_n$  angehoben werden. Bei dieser Anhebung spricht man von einer Nulllinienverschiebung.

$$p_{Zyl}(\varphi) = p_{Mess}(\varphi) + \Delta p_n \quad (2.1)$$

Mittels Niederdruckindizierung im Saugrohr kann bei komplett geöffnetem Einlassventil der gemittelte Saugrohrdruck als Einpassung herangezogen werden. Eine weitere Möglichkeit ist die thermodynamische Einpassung, bei der mittels berechnetem Schleppdruckverlauf das Druckniveau im Zylinder ermittelt wird. Allerdings sind für die Berechnung des Schleppdruckverlaufs einige Informationen bezüglich des Wärmeübergangs, der Leckage sowie der tatsächlichen Ladungsmasse notwendig [14].

### 2.3.3 Abgasanalyse

Bei der verwendeten Abgasanalyse handelt es sich um ein Produkt der AVL mit dem Namen CEB II, siehe Abbildung 2.8.

Dieses Abgasanalyse-System ermöglicht die kontinuierliche Erfassung der Konzentrationen von CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, THC und O<sub>2</sub> im Abgas.

Ebenso wurde der gefahrene stationäre Betriebspunkt hinsichtlich der Rußbildung vermessen. Hierzu wurde ein Smoke Meter der Firma AVL, Abbildung 2.9, eingesetzt um die Rußkonzentration und die Filter Smoke Number (FSN) zu ermitteln.



Abbildung 2.8: Abgasanalyse AVL CEB II [9]



Abbildung 2.9: AVL Smoke Meter 415s [11]

### 2.3.4 Messung des Luftverhältnisses

Beim gewählten Betriebspunkt mit maximaler Ventilüberschneidung ist das Luftverhältnis im Zylinder während des Arbeitstaktes zwar 1, jedoch ergibt sich durch den Spülvorgang im Abgas ein Luftverhältnis von über 1.

Um dennoch das Luftverhältnis  $\lambda$  im Abgas messen zu können wurde eine Breitbandsonde eingesetzt. Mit ihr ist es möglich nicht nur den Übergang vom fetten zum mageren Gemisch zu bestimmen, sondern das tatsächliche Luftverhältnis zu messen. Die Breitbandsonde besteht aus der Sensorzelle (Nernst-Konzentrationszelle) und der Sauerstoff-Pumpzelle, die für den Transport der Sauerstoffionen zuständig ist. Zwischen der Sensorzelle und der Sauerstoff-Pumpzelle befindet sich ein Diffusionsspalt in dem zwei poröse Platinelektroden (Pump- und Nernstelektrode) angebracht sind. Durch eine Bohrung steht der Diffusionsspalt mit dem Abgas in Verbindung, welches an die Elektroden der Sauerstoff-Pumpzelle und der Nernst-Konzentrationszelle durch diffundiert.

Dabei wird der Pumpstrom durch die Sauerstoff-Pumpzelle so geregelt, dass im Diffusionsspalt eine konstante Gaszusammensetzung von  $\lambda = 1$  herrscht. Ist das Gemisch fetter, so muss mehr Sauerstoff in den Diffusionsspalt gepumpt werden. Bei magerem Gemisch wird die Stromrichtung umgedreht und Sauerstoff aus dem Diffusionsspalt abgezogen. Der eingestellte Pumpstrom ist dabei proportional zur Sauerstoffkonzentration im Abgas. In Abbildung 2.10 ist die Sondenspannung über dem Luftverhältnis aufgetragen.

Die Messung der Zusammensetzung übernimmt dabei die Nernstzelle, welche mit dem Referenzgas (Luft) in Verbindung steht.

Der Messbereich der Breitbandsonde liegt zwischen  $0.65 < \lambda < \text{Luft}$  [12].

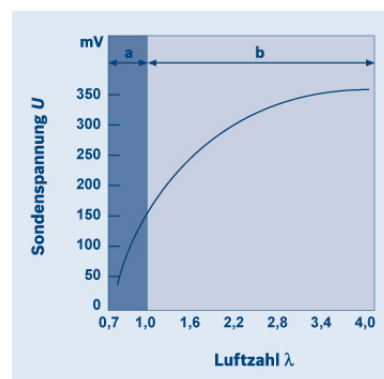


Abbildung 2.10: Sondenspannung einer Breitband-Lambdasonde [12]

## 2.4 Schmiermitteleindosierung

Das Hauptziel dieser Arbeit ist, verschiedene Schmiermittel auf ihre Affinität zur Vor-entflammung zu testen. Hierzu ist es nötig das jeweilige zu testende Schmiermittel genauestens dosiert in den Brennraum einzubringen.

Für die Schmiermitteleinbringung standen mehrere Varianten zur Auswahl. Allerdings wurde die erste Methode, das gesamte Motoröl zu wechseln, abgelehnt, da große Mengen vom zu testenden Schmiermittel nötig gewesen wären und auch eine Quereinflussung von verbleibenden Ölresten an der Zylinderwand nicht ausgeschlossen werden konnten. Auch die Variante, das Schmiermittel mit Kraftstoff zu vermischen und über die Hochdruckeinspritzung dem Brennraum zuzuführen wurde verworfen, da eine Beeinflussung der Verbrennung vermutet wurde. Schließlich wurde, um eine gezielte Aussage bezüglich des Schmiermittels alleine treffen zu können, eine Eindosierung ins Saugrohr als günstigste Methode mit dem besten Nutzen-Aufwand-Verhältnis gefunden.

Für die Eindosierung im Saugrohr wurde eine Apparatur aufgebaut, welche aus einer Pumpe und einer Injektoreinheit besteht.

### 2.4.1 Peristaltische Pumpe

Für die genaueste Zudosierung des zu testenden Schmiermittels wurde eine peristaltische Pumpe (oder Schlauchpumpe genannt), von der Firma Saier mit der Bezeichnung Concept 420 SM verwendet.



**Abbildung 2.11:** Schlauchpumpe Saier Concept 420 SM

## Allgemeine Daten

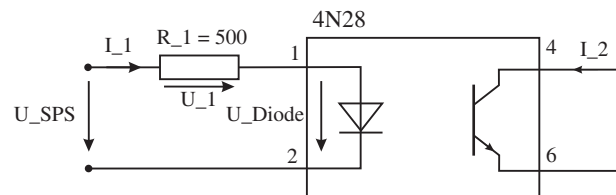
Die Pumpe wird über einen Schrittmotor angetrieben, welcher Drehzahlen im Bereich von 0.1 bis 100 Umdrehungen pro Minute erlaubt. Weitere Daten sind Tabelle 2.3 zu entnehmen.

**Tabelle 2.3:** Daten der peristaltischen Pumpe

Ansteuerung	Einstellbare Förderleistung
Steuergröße	Potentialfreier Schließer
Schlauch	Material: FKM
	Innendurchmesser: $d_i=0.8$ mm
Förderleistung:	0.007 - 7 ml/min
Maximaler Gegendruck:	3.7 bar
Besonderheit	verschleißfreier Schrittmotor; bis max. 2/3 der Nenndrehzahl ist eine Einschaltdauer von 100% möglich

## Ansteuerung

Wie in Tabelle 2.3 ersichtlich, ist für die Ansteuerung der Pumpe ein potentialfreier Schließer notwendig. Da lediglich ein Modul verfügbar war, welches einen 24 V Pegel als Einschaltsignal durchschaltet, wurde eine Schaltung entworfen, um den potentialfreien Schaltkontakt zu realisieren. Die zugehörige Schaltung ist Abbildung 2.12 zu entnehmen.



**Abbildung 2.12:** Schaltung – potentialfreier Schalter

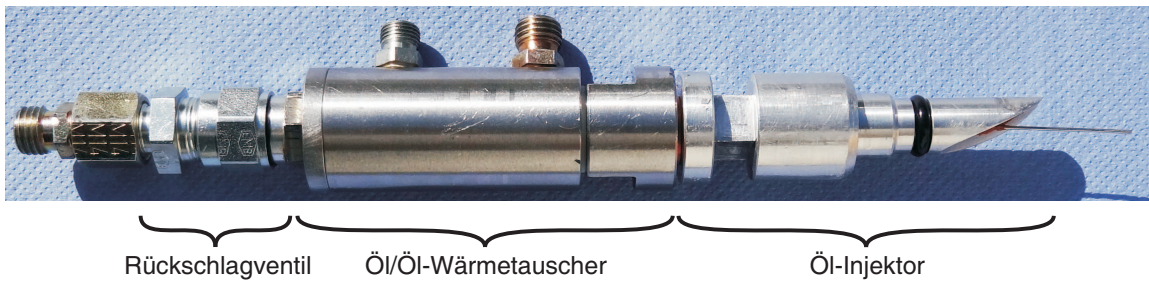
Anhand des Datenblattes für den Optokoppler 4N28 [6] wurde der Vorwiderstand wie folgt berechnet:

$$\begin{aligned} I_1 &= 40 \text{ mA} && \text{Durchschaltstrom} \\ U_1 &= U_{\text{SPS}} - U_{\text{Diode}} = 23.7 \text{ V} - 1.4 \text{ V} = 22.3 \text{ V} \\ R_1 &= \frac{U_1}{I_1} = 557.5 \Omega \\ P_{R_1} &= U_1 \cdot I_1 = 892 \text{ mW} \end{aligned}$$

## 2.4.2 Injektoreinheit

Das von der Pumpe geförderte Schmiermittel wurde über ein Rückschlagventil und einen Öl/Öl-Wärmetauscher dem Injektor zugeführt, siehe Abbildung 2.13. Der Öl/Öl-Wärmetauscher hat den Zweck das Versuchsöl mittels Motoröl vorzuwärmen und somit einen realitätsnahen Ölwurf, wie ihn beispielsweise ein Turbolader hat, zu erzeugen. Das Rückschlagventil schützt die Pumpe vor zu großen Gegendrücken.

Da der Einzylinder-Forschungsmotor bereits über die Peripherie zur Saugrohrein-spritzung verfügt, wurde lediglich ein Dummy zum Öl-Injektor modifiziert.



**Abbildung 2.13:** Injektor zur Schmiermitteleindosierung

# 3 Kriterien zur Erkennung von Vorentflammungen

## 3.1 Eingeführte Kriterien

Zur Bestimmung der Vorentflammungsneigung des Einzylinder-Forschungsmotors wurden zu Beginn grundlegende Untersuchungen angestellt.

Hierzu wurden einzelne Parameter, unter Konstanthaltung der restlichen Parameter, variiert und der Motor am gewählten Betriebspunkt stationär betrieben.

Die Erkennung einer Vorentflammung erfolgte rein über den aus der Indiziermessung resultierenden Zylinderdruck- und Heizverlauf, dazu wurden 3 Kriterien festgelegt:

- Zylinderspitzenruck
- Zylinderdruck zum Zündzeitpunkt
- 1 %-Umsatzpunkt

Bei einem gemessenen Zyklus handelt es sich um eine Vorentflammung, wenn jedes einzelne Kriterium die  $3\sigma$ -Bedingung erfüllt. Dies bedeutet, dass der gemessene Wert um das Dreifache der Standardabweichung vom Mittelwert abweichen muss, um das Kriterium zu erfüllen.

Die Standardabweichung  $\sigma$  ergibt sich für normalverteilte Messwerte aus der Wurzel der Varianz. Die Varianz ist dabei der gemittelte Abstand der Messwerte zum arithmetischen Mittelwert:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2 \quad (3.1)$$



Im Falle normalverteilter Messwerte befinden sich 99.73% der Werte innerhalb des definierten  $3\sigma$ -Bereichs liegen, siehe Abbildung 3.1.

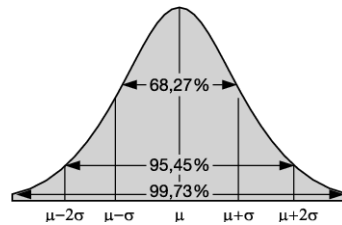


Abbildung 3.1: Gauß'sche Normalverteilung [10]

## 3.2 Beispiel einer durchgeführten Analyse

Zur Veranschaulichung der Erkennung einer Vorentflammung seien hier der Zylinderdruck- und Brennverlauf eines Einzelzyklus gegeben, siehe Abbildung 3.2.

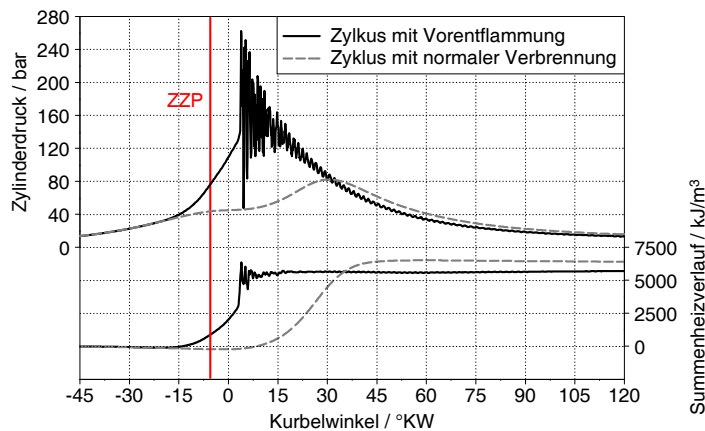
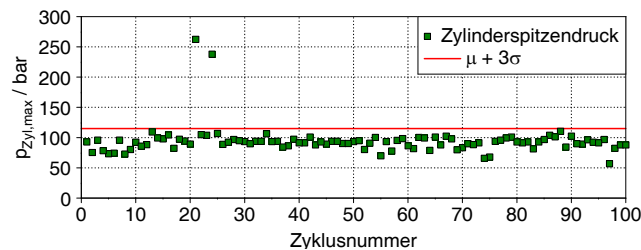


Abbildung 3.2: Veranschaulichung einer Vorentflammung

Es ist gut zu erkennen, dass der Zylinderdruck zum Zündzeitpunkt bei einer Vorentflammung deutlich höher ist, als bei einer normalen Verbrennung. Des Weiteren sieht man auch am Summenheizverlauf, dass der Kraftstoff schon früher umgesetzt wird.

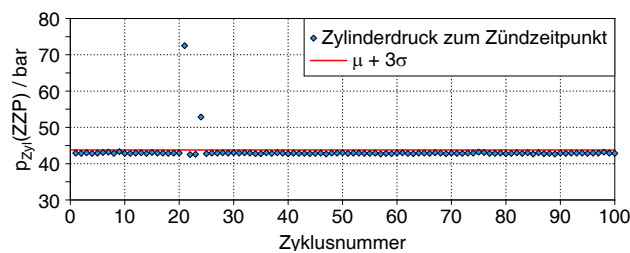
Eine Einzelmessung besteht aus 100 Zyklen. Aus dieser Grundmenge wurden die statistischen Kennwerte, und daraus, die Grenzen zur Vorentflammungserkennung berechnet.

In Abbildung 3.3 sind die Spitzendrücke der Einzelzyklen als Punkte dargestellt, die Grenze ergibt sich durch die dreifache Standardabweichung vom Mittelwert und ist als rote Linie eingetragen. Selbiges Kriterium wird anschließend auf den Zylinderdruck



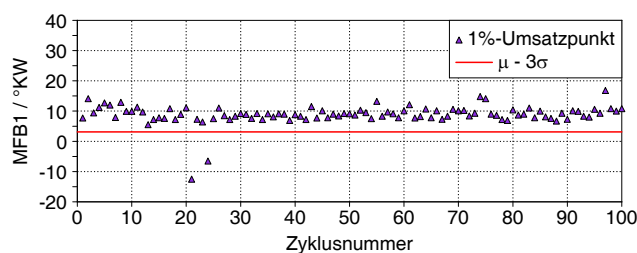
**Abbildung 3.3:** Auswertung des Spitzendruckkriteriums

zum Zündzeitpunkt angewandt. In Abbildung 3.4 ist der Druck zum Zündzeitpunkt des jeweiligen Zyklus als Punkt dargestellt und die berechnete Grenze als rote Linie. Überschreitet der Druck die Grenzlinie, so ist das Einzelkriterium erfüllt. Als letz-



**Abbildung 3.4:** Auswertung des Zylinderdrucks zum Zündzeitpunkt

tes Kriterium gilt es den 1%-Umsatzpunkt zu kontrollieren. Wird hier die definierte Grenze unterschritten, beginnt die Verbrennung früher als bei 99.73% der restlichen Zyklen und somit ist auch dieses Einzelkriterium erfüllt. Sind alle drei Einzelkriterien



**Abbildung 3.5:** Auswertung des 1 %-Umsatzpunktes

erfüllt, so wird der Zyklus als Vorentflammung gewertet. Im gezeigten Fall sind dies die Zyklen Nr. 21 und 24.

# 4 Basisuntersuchungen

Bei den Basisuntersuchungen wurde die Injektorlage (inkl. Einspritzrichtung) ähnlich wie beim Serienmotor BMW N20 gewählt. Aufgrund der geometrischen Gegebenheiten des vorhandenen Zylinderkopfs war keine exakte Nachstellung der Serienverhältnisse möglich. Die Unterschiede in Neigungswinkel und Lage des Injektors sind jedoch gering. Es wurden Ladelufttemperatur, Ladeluftdruck, Verdichtungsverhältnis, Kühlmitteltemperatur und Schmiermitteltemperatur unabhängig voneinander variiert, um den Einfluss des jeweiligen Parameters auf die Vorentflammungsneigung zu bestimmen.

## 4.1 Randbedingungen – gewählter Betriebspunkt

Aus der Literatur geht hervor, dass Vorentflammungen insbesondere bei niedrigen Drehzahlen und hohen Lasten auftreten [21]. Aus diesem Grund wurde ein solcher Betriebspunkt, Drehzahl  $n = 1500 \text{ min}^{-1}$  und Vollast gewählt.

Da die Peripherie wie Kolben, Pleuel und Kraftstoffinjektor vom Serienmotor BMW N20 kommen, wurden die Randbedingungen entsprechend angepasst.

Eine genaue Aufstellung liefert Tabelle 4.1.

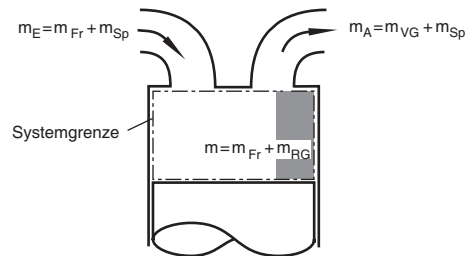
**Tabelle 4.1:** Randbedingungen für die Basisuntersuchungen

Drehzahl	$1500 \text{ min}^{-1}$
Steuerzeiten	maximale Ventilüberschneidung
Drosselklappenstellung	100% geöffnet
Injektorposition	zentral, Einspritzrichtung wie BMW N20
Einspritzdruck	200 bar
Zündzeitpunkt	leistungsoptimiert an der Klopfgrenze
Motoröl	OMV BIXXOL C3 special
Luftverhältnis (im Abgas)	$\lambda=1.3$
Abgasgegendruck	Ladedruck – 0.5 bar
Versuchsdauer	180.000 Zyklen $\hat{=}$ 4 BStd.
Ladelufttemperatur	$40 \text{ }^\circ\text{C}$
Ladeluftdruck	$1.25 \text{ bar}_{\text{rel.}}$
Verdichtungsverhältnis	10.5
Kühlmitteltemperatur	$90 \text{ }^\circ\text{C}$
Schmiermitteltemperatur	$100 \text{ }^\circ\text{C}$

Beim gewählten Betriebspunkt wird mit voller Ventilüberschneidung gefahren (Ventil-spreizung von Auslass und Einlass je  $80^\circ$  KW). Durch die große Ventilüberschneidung wird das gesamte Zylindervolumen mit Frischluft gespült und der Restgasanteil im Arbeitstakt dementsprechend gering gehalten.

Als Maß für die Reinheit der Ladung im Zylinder wird der Spülgrad  $\lambda_s$  verwendet. Er berechnet sich aus dem Verhältnis der Frischladung  $m_{Fr}$  zur gesamten Ladungs-masse  $m$  im Zylinder, die sich aus Frischladung und Restgas zusammensetzt.

$$\lambda_s = \frac{m_{Fr}}{m} = \frac{m_{Fr}}{m_{Fr} + m_{Rg}} \quad (4.1)$$



**Abbildung 4.1:** Massenaufteilung im Ladungswechsel [14]

Der Spülvorgang, auch Scavenging genannt, hat in der Vollast den Vorteil, dass der Brennraum durch das Frischgas gekühlt wird und somit, durch die daraus resultierende Verschiebung der Klopfgrenze, der Zündzeitpunkt in Richtung „früh“ gelegt werden kann. Diese Verschiebung erhöht den Wirkungsgrad und somit auch den erreichbaren Mitteldruck.

Nachteilig sind dabei höhere Stickoxid-Emissionen, da die Temperatur bei der Verbrennung aufgrund des geringen Inertgasanteils ansteigt.

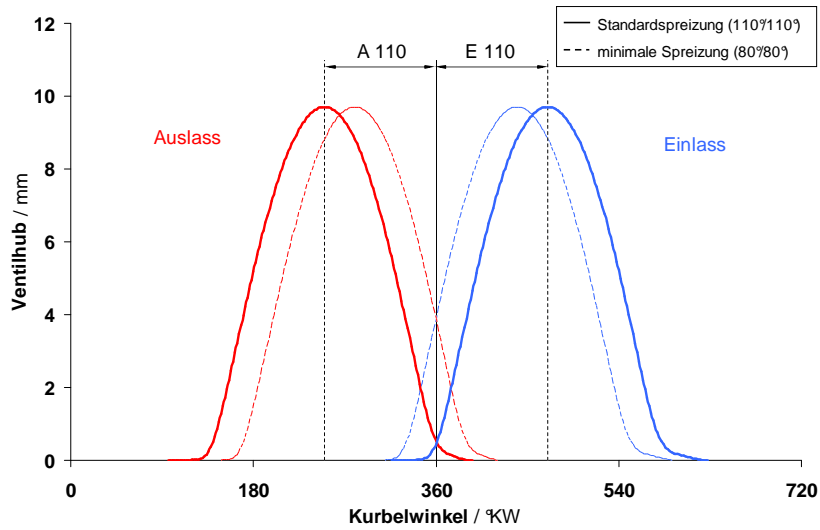


Abbildung 4.2: Ventilhubkurven Forschungsmotor

## 4.2 Anfahren des Betriebspunktes

Wie bereits erwähnt, ist das Luftverhältnis durch den Spülvorgang im Abgas  $> 1$ . Um dennoch im Brennraum ungefähr  $\lambda = 1$  zu gewährleisten, musste der Betriebspunkt mit Hilfe der Abgasanalyse angefahren werden. Aus Abbildung 4.3 ist zu entnehmen, dass das Maximum der Stickstoffdioxid-Emissionen um den Bereich  $\lambda = 1.1$  liegt. Durch Variation der Einspritzmenge wurde das Maximum der Stickstoffdioxid-Emissionen ermittelt und daraufhin mit Hilfe der Werte für die CO-Emissionen  $\lambda = 1$  im Brennraum eingestellt.

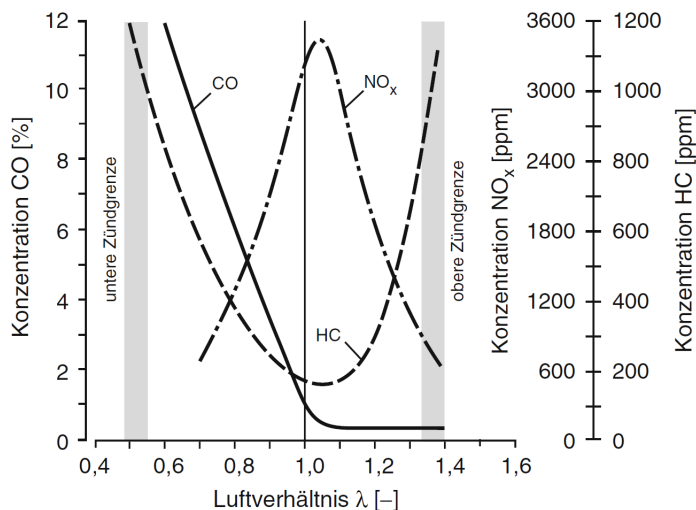


Abbildung 4.3: Schadstoffkonzentrationen im Rohabgas beim Ottomotor [14]

### 4.3 Variation der Ladelufttemperatur

Die Ladelufttemperatur wurde in 4 Schritten variiert und bei jeder Stufe wurde der Motor 4 Stunden stationär betrieben. Die gewählten Variationsschritte waren 30°C, 40°C, 50°C und 60°C.

Um den Motor weiter an der Klopfgrenze zu betreiben, war bei den tiefen Temperaturen eine Verstellung der Zündung in Richtung „früh“ nötig, wohingegen bei höheren Ansaugtemperaturen der Zündzeitpunkt nach „spät“ verlegt werden musste. Obwohl bei höherer Ansauglufttemperatur eine verstärkte Klopfneigung vorhanden ist, hatte dies keine negative Auswirkung auf die Vorentflammungsneigung des Motors. Das Ergebnis der Kühlmitteltemperaturvariation ist in Abbildung 4.4 zu sehen, die Unterschiede zwischen den Variationsstufen sind zu gering, um von einem Trend sprechen zu können.

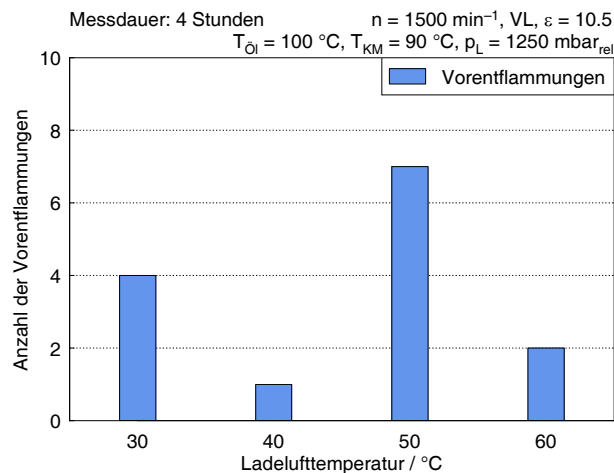
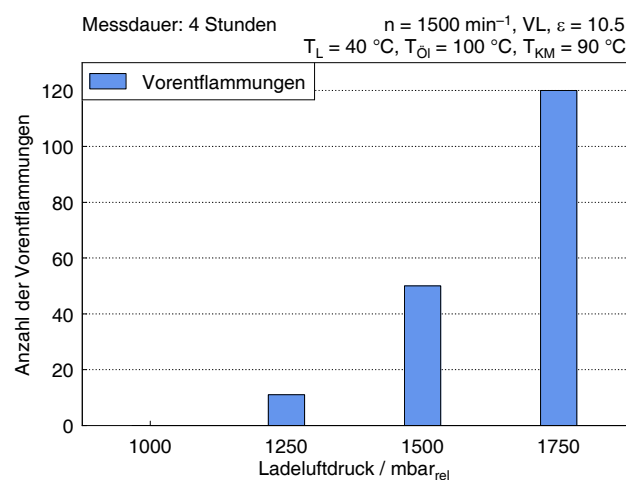


Abbildung 4.4: Anzahl der Vorentflammungen bei Variation der Ladelufttemperatur

## 4.4 Variation des Ladeluftdrucks

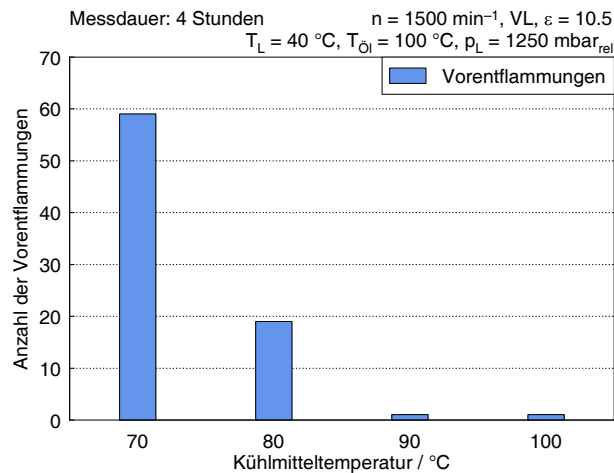
Hier wurde der Ladeluftdruck in 4 Schritten (1 bar, 1.25 bar, 1.5 bar, 1.75 bar Überdruck) variiert, während die anderen Parameter unverändert blieben. Es ist ein deutlicher Trend erkennbar, wie ihn auch andere Publikationen bereits erwähnen [17]. Die Anzahl der Vorentflammungen steigt mit steigendem Ladeluftdruck und ist somit ein beschränkender Faktor für den Aufladegrad in diesem Betriebspunkt. Tendenziell lässt sich sagen, dass durch eine Steigerung des effektiven Mitteldrucks  $p_{m,e}$  die Vorentflammungsneigung zunimmt. Die höhere Gastemperatur im Brennraum sowie der höhere Verdichtungsdruck begünstigen somit die Entstehung von Vorentflammungen.



**Abbildung 4.5:** Anzahl der Vorentflammungen bei Variation des Ladeluftdrucks; die Ergebnisse bei  $p_L = 1.5$  und  $p_L = 1.75$  wurden extrapoliert

## 4.5 Variation der Kühlmitteltemperatur

Die Kühlmitteltemperatur wurde in 4 Stufen (70 °C, 80 °C, 90 °C und 100 °C) variiert. Auch hier bestätigt sich die Aussage diverser Publikationen [3], dass mit sinkender Kühlmitteltemperatur die Vorentflammungsneigung zunimmt. Dies ist vermutlich auf die geänderte Zylinderdeformation, den Einfluss der Wandtemperatur auf den dortigen Schmierfilm an der Zylinderwand, sowie größerer Kraftstofftröpfchen durch eine schlechtere Verdampfung des Kraftstoffes im Brennraum, und somit einer veränderten Ölverdünnung an der Zylinderwand, zurückzuführen.

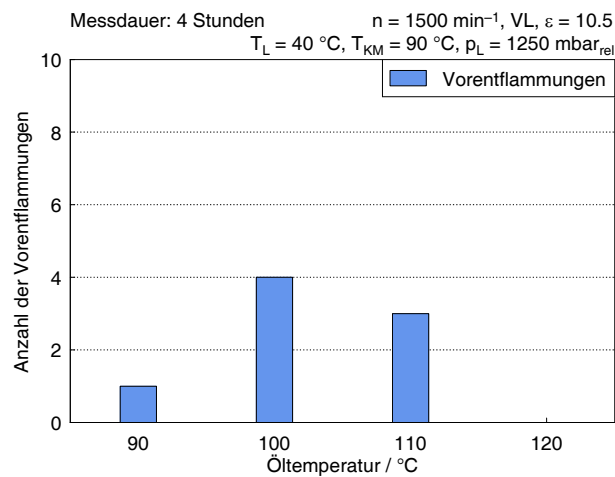


**Abbildung 4.6:** Anzahl der Vorentflammungen bei Variation der Kühlmitteltemperatur



## 4.6 Variation der Schmiermitteltemperatur

Die Schmiermitteltemperatur wurde in 4 Stufen (70 °C, 80 °C, 90 °C und 100 °C) variiert. Zwar wurde im Vorhinein ein Einfluss der Schmiermitteltemperatur vermutet, allerdings blieb diese Vermutung unbestätigt. Die Unterschiede in den Häufigkeiten sind viel zu gering, um eine Aussage bezüglich einer klaren Tendenz machen zu können. Somit hat die Schmiermitteltemperatur im untersuchten Fall nur geringen bis keinen Einfluss auf die Vorentflammungsneigung.



**Abbildung 4.7:** Anzahl der Vorentflammungen bei Variation der Öl- bzw. Schmiermitteltemperatur

## 4.7 Variation der Verdichtung

Um das Verdichtungsverhältnis des Forschungsmotors zu bestimmen wurden folgende Schritte durchgeführt: Als erster Schritt wurde das verdrängte Volumen des Kolbens ausgelitert. Anschließend wurde der Quetschspalt gemessen und das übrige Schadvolumen, welches sich im Zylinderkopf durch den Ventilwinkel ergibt, aus den Konstruktionszeichnungen entnommen.

Mit Hilfe dieser Größen lässt sich das Verdichtungsverhältnis  $\varepsilon$  mit den folgenden Gleichungen berechnen:

$$\varepsilon = 1 + \frac{V_h}{V_c} \quad (4.2)$$

Das Hubvolumen  $V_h$  ergibt sich dabei aus Bohrungsdurchmesser  $D$  und Kolbenweg  $s$  wie folgt:

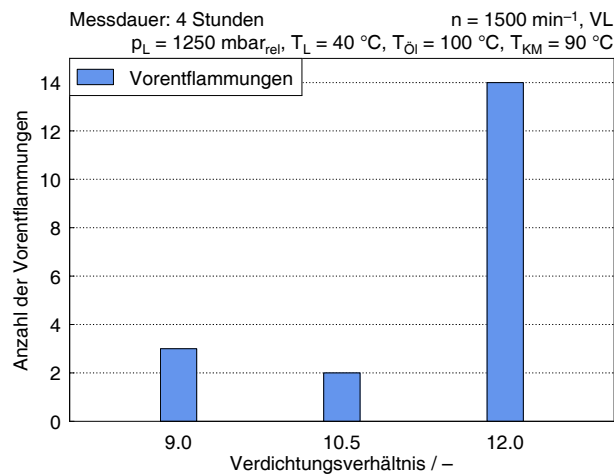
$$V_h = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot s \quad (4.3)$$

Das Kompressionsvolumen  $V_c$  errechnet sich aus dem Schadvolumen des Kolbens und des Kopfes, sowie aus dem vom Quetschspalt erzeugten Volumen:

$$V_c = V_{\text{Kopf}} + V_{\text{Kolben}} + \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h_{\text{quetsch}} \quad (4.4)$$

Zur Variation des Verdichtungsverhältnisses in 3 Schritten ( $\varepsilon = 9, 10.5, 12$ ) wurde der Quetschspalt durch eine Variation von Unterlegscheiben (vgl. Abbildung 2.4) dementsprechend angepasst.

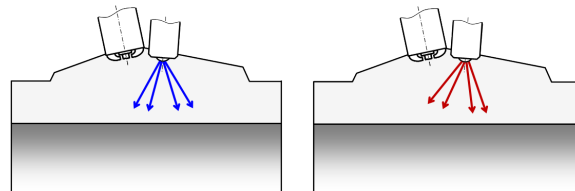
In Abbildung 4.8 ist das Ergebnis der Verdichtungsvariation ersichtlich. Die Anzahl der Vorentflammungen nimmt mit steigender Verdichtung zu, was sich mit der Aussage über den Einfluss des effektiven Mitteldrucks  $p_{m,e}$  bei der Ladeluftvariation deckt.



**Abbildung 4.8:** Anzahl der Vorentflammungen bei Variation des Verdichtungsverhältnisses

# 5 Untersuchungen bei gedrehter Injektorlage

Um den Einfluss der Einspritzrichtung sowie der Wandbenetzung abzudecken wurde der Injektor um  $180^\circ$  gedreht und die restlichen Randbedingungen aus Tabelle 4.1 bei verkürzter Messdauer von 2 Stunden beibehalten. Bei dem vorhandenen Zylinderkopf entsprach der Neigungswinkel des Kraftstoffinjektors nicht exakt jener von BMW im N20 eingesetzt. Während der Injektor im Serienmotor senkrecht eingebaut ist, ist er in unserem Fall um ca.  $4.5^\circ$  geneigt. Da zum verwendeten Kraftstoffinjektor keine



**Abbildung 5.1:** Einspritzrichtung in Basislage (rechts) und gedrehter Injektorlage (links)

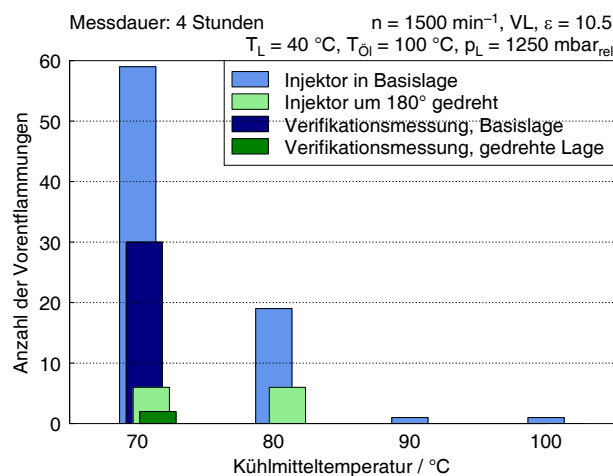
**Tabelle 5.1:** Daten zum verwendeten Kraftstoffinjektor

Typ	Serienprodukt (BMW N20)
Düse	6 Loch
Spraywinkel	$60^\circ \dots 70^\circ$
Auslenkung	$5^\circ \dots 10^\circ$

genauen Daten zur Verfügung standen, wurde die Auslenkung ausgemessen. Dabei handelt es sich aber lediglich um Anhaltswerte. Bei der originalen Einbaulage erfolgt die Kraftstoffeinspritzung in Richtung Auslass, wohingegen bei der gedrehten Einbaulage der Kraftstoff Richtung Einlass gespritzt wird. Die Verbrennung an sich war durch einen erhöhten COV als schlechter zu bewerten.

## 5.1 Variation der Kühlmitteltemperatur

Die Variationsschritte blieben gleich: 70 °C, 80 °C, 90 °C und 100 °C. Abbildung 5.2 zeigt den Vergleich der gemessenen Vorentflammungen bei den eingestellten Kühlmitteltemperaturen zwischen der Basislage und der gedrehten Lage des Injektors. Es ist zu erkennen, dass die Anzahl der Vorentflammungen mit gedrehtem Injektor deutlich geringer ist. Wodurch dies zustande kommt, lässt sich aufgrund fehlender simulatorischer Unterstützung nicht eruieren. Die Vermutung liegt nahe, dass die Gemischbildung bei Injektor in Basislage schlechter ist und dass eventuell in diesem Fall auch eine Wandbenetzung stattfindet.



**Abbildung 5.2:** Auftretshäufigkeit von Vorentflammungen bei Injektor in Basis- und gedrehter Lage über der Kühlmitteltemperatur

### 5.1.1 Verifikation der Messung mit gedrehter Injektorlage

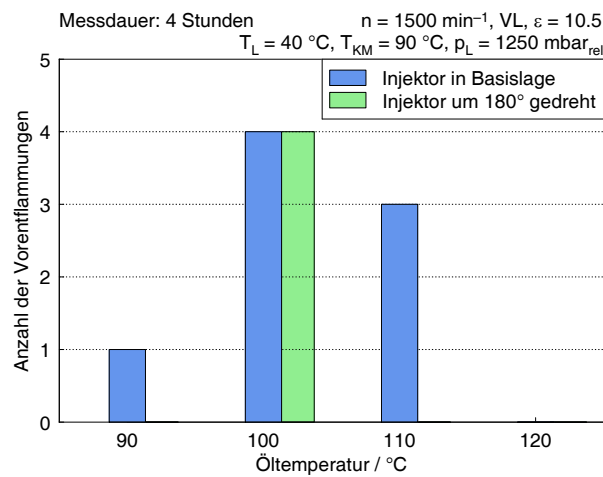
Wie in Abbildung 5.2 zu erkennen, ist der Unterschied zwischen der seriennahen Injektorlage und der gedrehten Injektorlage signifikant. Die Messung der gedrehten Injektorlage erfolgte allerdings mit bereits gebrauchtem Öl. Um den Einfluss des unterschiedlichen Ölalters bei den Messungen ausschließen zu können, wurde eine Verifikationsmessung direkt nach einem Ölwechsel durchgeführt, bei der beide Messpunkte hintereinander gefahren wurden. Zwar ist die Anzahl der Vorentflammungen bei beiden Messungen geringer, dennoch zeigt sich die gleiche Tendenz.

**Tabelle 5.2:** Ergebnis der Verifikationsmessung bei 70 °C Kühlmitteltemperatur

Messpunkt	Anzahl der Vorentflammungen
Injektor in Serienlage	30
Injektor in gedrehter Lage	4

## 5.2 Variation der Schmiermitteltemperatur

In Abbildung 5.3 ist der Vergleich zwischen Basislage und gedrehter Injektorlage über der Schmiermitteltemperatur dargestellt. Auch hier ist eine leichte Tendenz erkennbar, dass bei gedrehter Lage die Vorentflammungsneigung sinkt, wobei hier die absolute Vorentflammungsanzahl zu gering ist, um eine belastbare Aussage zu tätigen.



**Abbildung 5.3:** Auftrittshäufigkeit von Vorentflammungen bei Injektor in Basis- und gedrehter Lage über der Schmiermitteltemperatur

# 6 Schmiermitteleindosierung in den Ansaugkanal

## 6.1 Einleitung

In Zusammenarbeit mit dem Mineralölkonzern OMV wurden verschiedene Öle auf ihre Neigung zur Vorentflammung getestet.

Seitens der OMV gab es bereits gewisse Vermutungen, welche Inhaltsstoffe des Öles für die Vorentflammung verantwortlich sein können. Mit diesem Hintergrundwissen wurde eine erste Reihe von 8 Ölen am Forschungsmotor vermessen, um im Anschluss, auf diese Ergebnisse aufbauend, eine neue Reihe von Testölen herstellen zu können.

## 6.2 Ölverbrauch

Aus Erfahrungswerten weiß man, dass sich der Ölverbrauch eines modernen PKW DI-Ottomotors im Bereich zwischen 0.3-0.5 g/kWh bewegt. Ausgehend von diesen Werten wurde der erste Testlauf mit einer eingestellten Ölmenge von 0.3 g/kWh, was bei einer Leistung von 14 kW einer Menge von 4.2 g/h entspricht, durchgeführt.

Diese Menge musste allerdings nach dem ersten Lauf im gefeuerten Betrieb gesenkt werden, da der Kolbenboden übermäßig mit Öl benetzt war. Für die gesamten Untersuchungen wurde daraufhin das Schmiermittel mit einer konstanten Menge von 0.15 g/kWh eindosiert.

## 6.3 Optische Untersuchung

Um die Funktionalität der Eindosierung zu testen, wurde ein optischer Zugang, in Form eines Glasrohres zwischen Zylinderkopf und Saugrohrinjektoraufnahme, eingebracht. Eine Hochgeschwindigkeitskamera zeichnete dabei im geschleppten Motorbetrieb den Vorgang der Eindosierung auf. Der Aufbau ist in Abbildung 6.1 zu sehen. Die Kamera wurde über dem optisch zugänglichen, gläsernen Saugrohr platziert. Die Beleuchtung erfolgte indirekt über ein Milchglas von unten, um ein Schattenbild zu erzeugen.

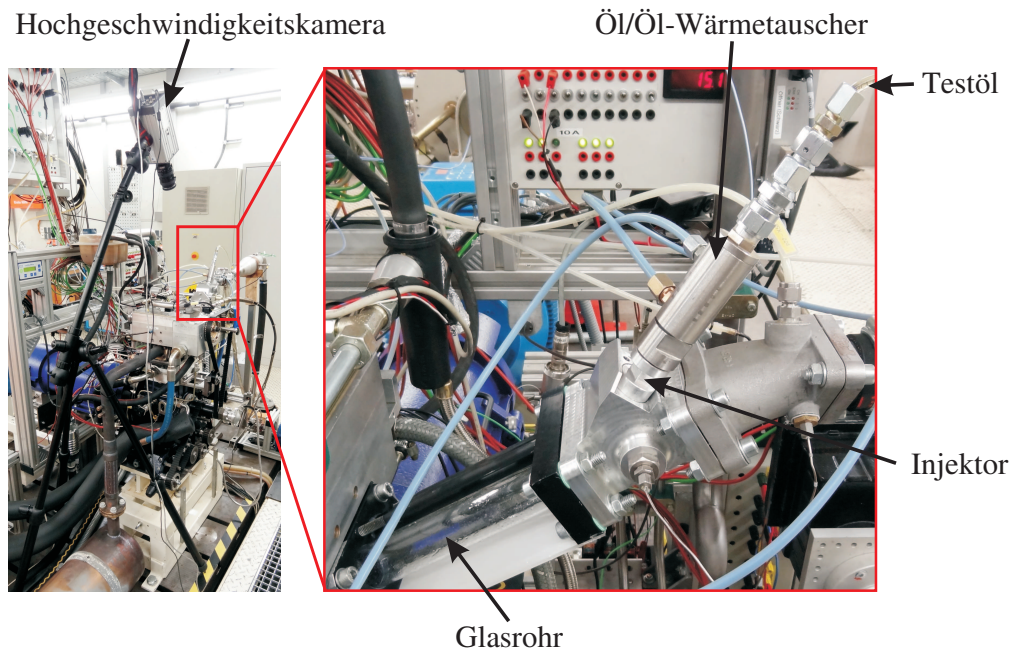


Abbildung 6.1: Optischer Aufbau zur Visualisierung der Schmiermitteleindosierung

### 6.3.1 Randbedingungen

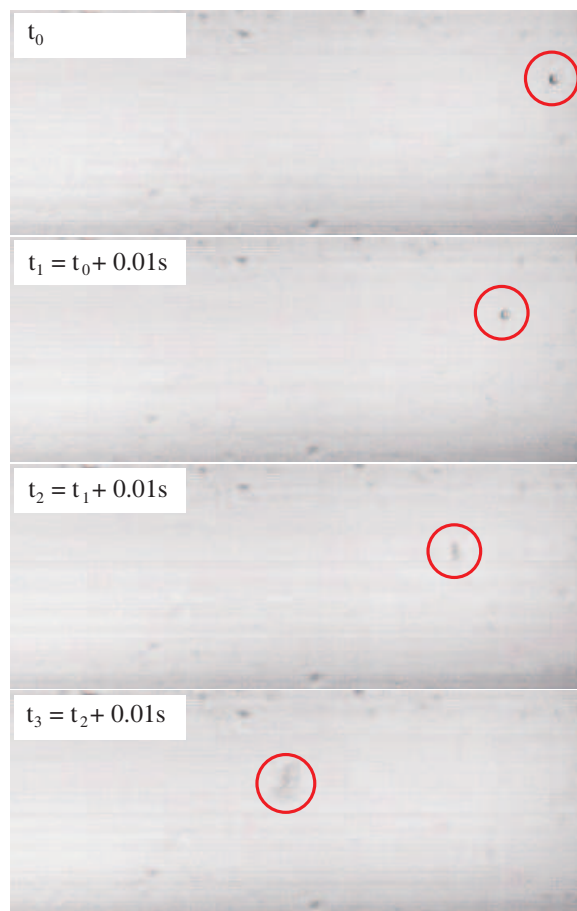
Die optischen Untersuchungen erfolgten im geschleppten Betrieb am Standardbetriebspunkt:

Tabelle 6.1: Randbedingungen für die optische Untersuchung der Schmiermitteleindosierung

Drehzahl	1500 min <sup>-1</sup> , geschleppt
Steuerzeiten	maximale Ventilüberschneidung
Drosselklappenstellung	100% geöffnet
Abgasgegendruck	Ladedruck – 0.5 bar
Ladelufttemperatur	40 °C
Ladeluftdruck	1.25 bar
Verdichtungsverhältnis	10.5
Kühlmitteltemperatur	90 °C
Schmiermitteltemperatur	100 °C
eindosierte Menge	0.3 g/kWh

### 6.3.2 Ergebnis

Als Resultat der optischen Untersuchung lieferte die Hochgeschwindigkeitskamera Bilder der Tröpfchenbewegung im Saugrohr, siehe Abbildung 6.2. Anfangs bildet sich ein kleiner Tropfen, welcher von der Strömung in Richtung Einlass mitgerissen wird. Sobald das Einlassventil öffnet, verformt sich der Tropfen durch die im Saugrohr wandernde Druckwelle und wird dann sofort von der enorm beschleunigten Strömung mitgerissen und dabei verformt.



**Abbildung 6.2:** Ergebnis der optischen Untersuchung



## 6.4 Randbedingungen

Bei ersten Testläufen mit Eindosierung des Standardöls OMV BIXXOL special C3 wurde ersichtlich, dass, um eine Vorentflammung zu provozieren, die Temperatur im Brennraum angehoben werden muss. Um dies zu verwirklichen, wurden einige Randbedingungen geändert: Die Steuerzeiten wurden so eingestellt, dass keine Ventilüberschneidung vorhanden ist. Die dadurch erhöhte Restgasmenge im Brennraum führt zu einer höheren Gastemperatur. Zusätzlich wurde die Ansauglufttemperatur erhöht und die Öltemperatur (Steigerung der Kolbentemperatur über die Ölspritzdüsen) geändert, wie in Tabelle 6.2 ersichtlich.

Bei der anschließenden Vermessung des Betriebspunktes traten keine Vorentflammungen auf.

**Tabelle 6.2:** Randbedingungen für die Untersuchungen mit Schmiermitteleindosierung

Steuerzeiten	praktisch keine Ventilüberschneidung (Standardspreizung 110°/110°)
Luftverhältnis	$\lambda=1.0$
Ladelufttemperatur	60 °C
Schmiermitteltemperatur	110 °C
eindosierte Ölmenge	0.15 g/kWh

## 6.5 Auswertung der Vorentflammungen

Da die bei der Eindosierung aufgetretenen Vorentflammungen in ihrer Stärke von Öl zu Öl stark variierten, wurde zur Quantifizierung der auftretenden Vorentflammungen eine Klassierung des Zylinderspitzen drucks eingeführt. Jeder Klasse wurde dabei ein Gewichtungsfaktor  $f$  zugeordnet und das Schädigungspotential  $S$  der eindosierten Öle anhand der gemessenen Spitzen drücke  $p_{\max,i}$  berechnet. Somit ist es möglich die Versuchsöle objektiv zu bewerten.

$$S = \sum_{i=1}^n (p_{\max,i} \cdot f) \quad \text{mit} \quad f = \begin{cases} 0.005 & : & p_{\max,i} < 100 \text{ bar} \\ 0.01 & : & 100 \leq p_{\max,i} < 120 \text{ bar} \\ 0.05 & : & 120 \leq p_{\max,i} < 150 \text{ bar} \\ 0.15 & : & 150 \leq p_{\max,i} < 200 \text{ bar} \\ 0.3 & : & 200 \leq p_{\max,i} < 250 \text{ bar} \\ 0.485 & : & 250 \leq p_{\max,i} \end{cases}$$

$n$  ist dabei die Anzahl der gemessenen Vorentflammungen.

## 6.6 Testprozedere

Bei der Untersuchung der verschiedenen Testöle musste größter Wert auf die Reinheit der Dosiereinheit sowie des Ansaugkanals und des Brennraums gelegt werden, da sich die Testöle in ihren Additivkonzentrationen nur gering unterscheiden und somit eine Querverbeeinflussung möglich gewesen wäre.

Um diese Querverbeeinflussung zu unterbinden wurde ein Prozedere vereinbart, welches für jedes der getesteten Öle beibehalten wurde. Dies gewährleistete konstante Bedingungen für jede Messung.

Der genaue Ablauf des Prozederes ist Abbildung 6.3 zu entnehmen.

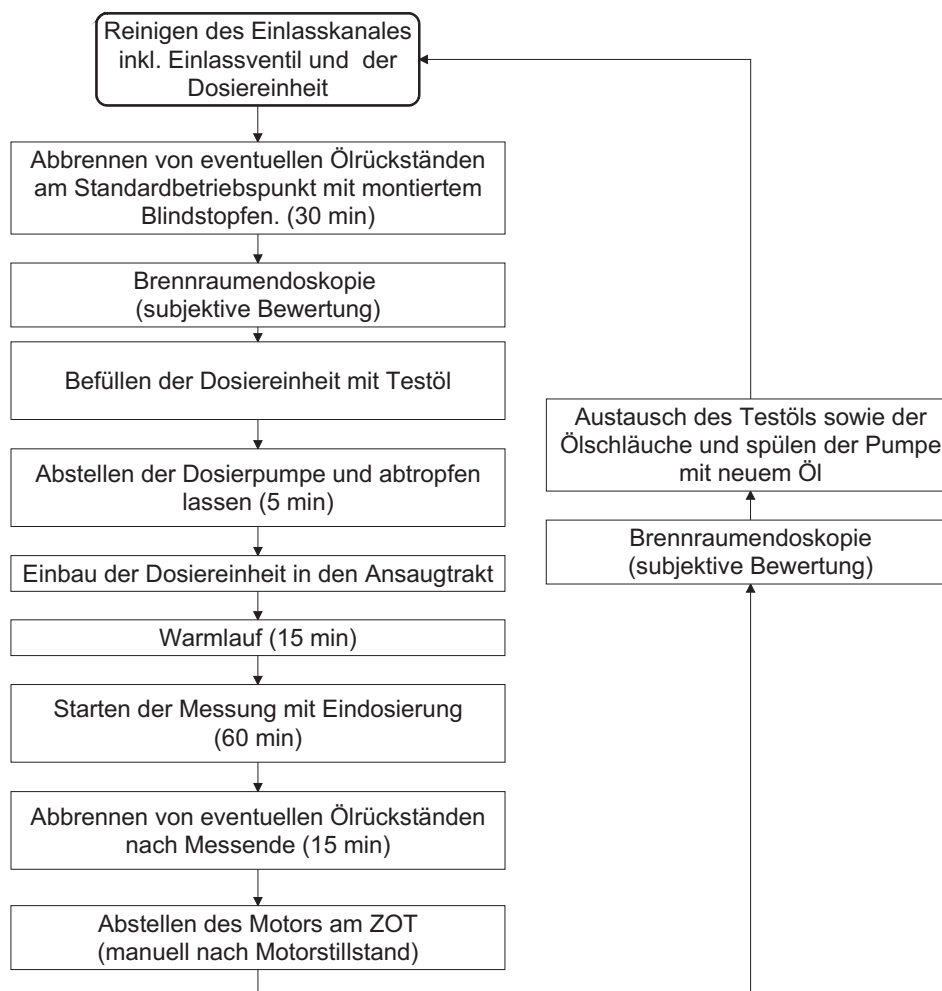


Abbildung 6.3: Testprozedere bei der Schmiermitteleindosierung

## 6.7 Untersuchte Schmiermittel

### 6.7.1 Erste Reihe von Versuchsölen

Die erste Testreihe bestand aus 8 Ölen, wobei zusätzlich noch das für den Forschungsmotor als Schmiermittel verwendete Motoröl OMV BIXXOL special C3 als erstes Öl mit der Nummer 0 eindosiert wurde.

#### Details zu den eindosierten Ölen

Nr. 0: OMV BIXXOL special C3 SAE 5W-30

Nr. 1: Grundöl API Group I:

- Ziel/Ansatz: *dünnes Grundöl (mineralisch)*
- Beschreibung:
  - *typisches Spindelöl*
  - *hohe Verdampfung (NOACK) bzw. Aromaten*
  - *mittelmäßige chemische Homogenität*
  - *dient als Modelöl für Stellöle von Additiven nach Verdampfung*

Nr. 2: Grundöl API Group III:

- Ziel/Ansatz: *Grundkomponente/Trägeröl für SAE 5W-X*
- Beschreibung:
  - *typisches „state of the art“ Grundöl für moderne PKW-Motoröle*
  - *hohe chemische Homogenität, überwiegend paraffinische, weniger ungesättigte Bestandteile, wenige Aromaten (Koks-/Ablagerungsbildungspotential)*
  - *reduzierte Verdampfungsneigung (NOACK)*

Nr. 3: 10 % VM-1 in Versuchsöl Nr. 2:

- Ziel/Ansatz: *Einfluss von Viskositätsindex-Verbesserern*
- Beschreibung:
  - *VM-1: „viscosity modifier“*
  - *OCP-Typ: Olefin-Copolimer*
  - *charakteristisch und typisch für viele Mehrbereichsöle*
  - *„Massenprodukt“ - oft eingesetzt, eher eine kostengünstige Variante*
  - *10 %ige Lösung in Versuchsöl 2*

Nr. 4: 20 % VM-2 in Versuchsöl Nr. 2:

- Ziel/Ansatz: *Einfluss von Viskositätsindex-Verbesserern*
- Beschreibung:
  - *VM-2: „viscosity modifier“*
  - *SDC-Typ: Styrd-Dien-Copolimer*
  - *Repräsentant für viele moderne VM-Additive*
  - *auch enthalten in OMV BIXXOL special C3*
  - *hohe Dosierungsrate: Polymer vorgelöst in Stellöl (ca. 5 % Polymer im Grundöl)*

Nr. 5: 3 % DET-1 in Versuchsöl Nr. 2:

- Ziel/Ansatz: *Auswirkung von Detergentien*
- Beschreibung:
  - *DET-1: aschehaltiges, detergierendes Additiv*
  - *überbasisches Kalziumsulfonat*
  - *typische (für PKW eher erhöhte) Dosierungsrate*
  - *Trägeröl (97 %): Versuchsöl Nr. 2*

Nr. 6: 3 % DET-2 in Versuchsöl Nr. 2:

- Ziel/Ansatz: *Auswirkung von Detergentien*
- Beschreibung:
  - *DET-1: aschehaltiges, detergierendes Additiv*
  - *überbasisches Kalziumsalyzilat*
  - *zum Vergleich mit Versuchsöl Nr. 5*

Nr. 7: 1.5 % ZnDTP-1 in Versuchsöl Nr. 2:

- Ziel/Ansatz: *Auswirkung von Verschleißschutz-Additiven*
- Beschreibung:
  - *ZnDTP-1: Zinkdithiophosphat, Verschleißschutz-Additiv*
  - *der „Repräsentant“ in Zusammensetzungen von Motorenölen*

Nr. 8: 1.5 % ZnDTP-2 in Versuchsöl Nr. 2:

- Ziel/Ansatz: *Auswirkung von Verschleißschutz-Additiven*
- Beschreibung:
  - *ZnDTP-1: Zinkdithiophosphat, Verschleißschutz-Additiv*
  - *zum Vergleich mit Versuchsöl Nr. 7*

### Ergebnis der ersten Versuchsreihe

Die Vermessung der Öle 0 - 8 zeigte, dass das Versuchsöl Nr. 2 zwar nicht am häufigsten aber am stärksten vorentflammt. Aus diesem Grund wurde das Schädigungspotential von Nr. 2 als Bewertungsbasis für die Normierung aller Versuchsöle herangezogen. Das verwendete Motorenöl OMV BIXXOL special C3 (Nr. 0) zeigte nur geringe Neigung zur Vorentflammung.

Das Spindelöl Nr. 1 hatte zwar eine Vorentflammung mehr als Nr. 2, aber insgesamt waren alle Vorentflammungen eher schwach, was sich auch im berechneten Schädigungspotential widerspiegelt.

Im Vergleich der Viskositätsverbesserer zeigte Öl Nr. 4 im Vergleich mit Nr. 3 geringere Neigung zu Vorentflammungen.

Der Unterschied zwischen den mit Detergentien additivierten Ölen (Nr. 5 & 6) ist zu gering, um eine Aussage treffen zu können.

Auffällig ist hingegen der Unterschied zwischen dem berechneten Schädigungspotential von Versuchsöl Nr. 7 und Nr. 8, welche beide mit dem gleichen Masseanteil Zinkdithiophosphat-Verschleißschutz-Additiv unterschiedlicher Hersteller versehen sind, und dabei starke Unterschiede im Schädigungspotential aufweisen.

Eine genaue Aufstellung der Ergebnisse ist Abbildung 6.4 zu entnehmen.

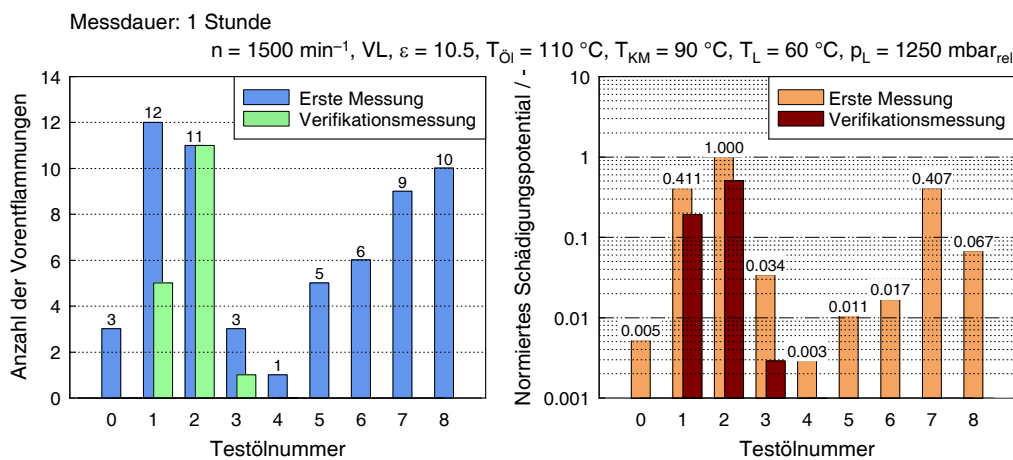


Abbildung 6.4: Ergebnisse der ersten Testreihe

## 6.7.2 Zweite Reihe von Versuchsölen

Die zweite Testreihe bestand aus 2 fertig formulierten Gasmotorölen, einer Reihe von Ölen mit unterschiedlichen Masseanteilen von Detergentien im Grundöl, sowie drei Ölen mit detergierenden Additiven unterschiedlicher Hersteller.

### Details zu den eindosierten Ölen

Nr. 9: Gasmotoröl-1 SAE 40:

- Ziel/Ansatz: *Vollformuliertes Motoröl, Vergleich mit Nr. 0*
- Beschreibung:
  - *Standardöl für stationäre Gasmotoren*
  - *SAE 40; enthält API Gr. I (mineralisch); höhere Viskositätslage, geringe Verdampfungsneigung*
  - *reduzierter Sulfatasche-Gehalt (<5 % Masseanteil)*
  - *enthält „typische“ Motoröl-Bestandteile, jedoch in anderen Verhältnissen/Dosierungsraten*
  - *als „Kontrast“/zur Gegenüberstellung zu OMV BIXXOL special C3*

Nr. 10: Gasmotoröl-2 SAE 40:

- Ziel/Ansatz: *Vollformuliertes Motoröl, Vergleich mit Nr. 0 & Nr. 9*
- Beschreibung:
  - *wie Versuchsöl Nr. 9, nur höhere Dosierung von Detergentien (ähnlich wie Nr. 6, DET-2)*
  - *anfällig für Vorentflammungen nach ca. 1500 Betriebsstunden in einem Gasmotor mit Holzgas im Feld (Güssing)*

Nr. 11: 1 % DET-1 in Versuchsöl Nr. 2:

- Ziel/Ansatz: *Masseanteilvariation von Detergentien*
- Beschreibung: *wie Versuchsöl Nr. 5, nur mit geringerer Dosierung*

Nr. 12: 6 % DET-1 in Versuchsöl Nr. 2:

- Ziel/Ansatz: *Masseanteilvariation von Detergentien*
- Beschreibung: *wie Versuchsöl Nr. 5, nur mit höherer Dosierung*

Nr. 13: 9 % DET-1 in Versuchsöl Nr. 2:

- Ziel/Ansatz: *Masseanteilvariation von Detergentien*
- Beschreibung: *wie Versuchsöl Nr. 5, nur mit höherer Dosierung*

Nr. 14: 3 % DET-3 in Versuchsöl Nr. 2:

- Ziel/Ansatz: *Typenvariation von Detergentien*
- Beschreibung: *aschehaltiges, detergierendes Additiv; überbasisches Kalziumsulfonat*

Nr. 15: 3 % DET-4 in Versuchsöl Nr. 2:

- Ziel/Ansatz: *Typenvariation von Detergentien*
- Beschreibung: *aschehaltiges, detergierendes Additiv; überbasisches Kalziumsulfonat*

Nr. 17: 3 % DET-6 in Versuchsöl Nr. 2:

- Ziel/Ansatz: *Typenvariation von Detergentien*
- Beschreibung: *aschehaltiges, detergierendes Additiv; überbasisches Kalziumsulfonat*

### Ergebnisse der zweiten Versuchsreihe

Die Vermessung der zweiten Reihe von Versuchsölen brachte, neben den nicht vorentflammenden Gasölen Nr. 9 und Nr. 10, interessante Erkenntnisse:

Bei den Ölen Nr. 11 bis 13 handelt es sich um eine Variation der Detergentien-Masseanteile im Trägeröl Nr. 2. Durch die Steigerung des Anteils von Detergentien sinkt die Stärke der Vorentflammungen. Dies ist deswegen interessant, weil genau gegenteiliges Verhalten vermutet wurde. Eine detaillierte Aufstellung der Ergebnisse ist Abbildung 6.5 zu entnehmen.

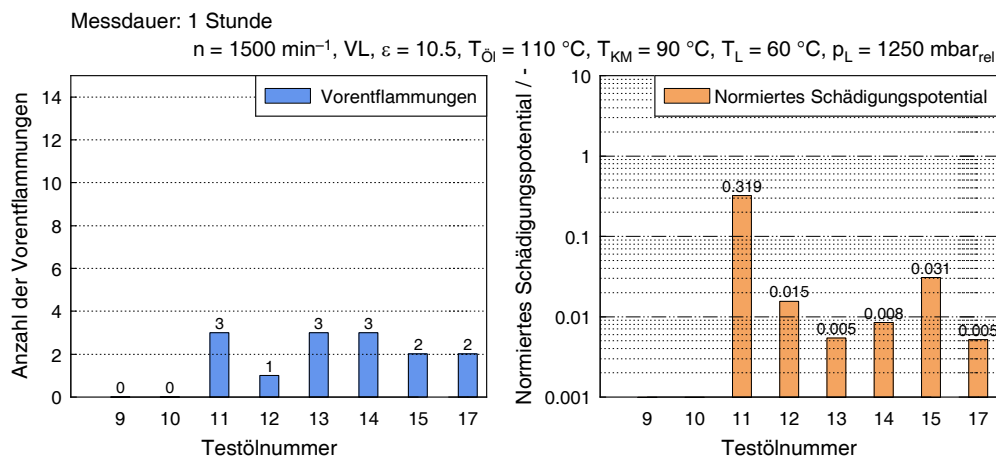


Abbildung 6.5: Ergebnisse der zweiten Testreihe

### 6.7.3 Dritte Reihe von Versuchsölen

Bei der dritten Versuchsölsreihe handelt es sich, ausgehend von den Ergebnissen der ersten Reihe, um eine Variation unterschiedlicher, am Markt erhältlicher Basisöle.

#### Details zu den eindosierten Ölen

Nr. 28: Mogulol HC-2S – Grundöl API Group II

- Ziel/Ansatz: „Dieseling“-Effekt durch Ölverdampfung?
- Beschreibung:
  - ISO VG 2: extrem dünnflüssiges Grundöl
  - „Diesel-Kraftstoff“
  - Vergleich mit anderen Grundöltypen

Nr. 29: Mogulol HC-5S – Grundöl API Group II

- Ziel/Ansatz: „Dieseling“-Effekt durch Ölverdampfung?
- Beschreibung:
  - ISO VG 5: extrem dünnflüssiges Grundöl
  - „Diesel-Kraftstoff“
  - Vergleich mit anderen Grundöltypen

Nr. 30: PUR 60 – Grundöl API Group II

- Ziel/Ansatz: Kritische Viskositätsbereiche?
- Beschreibung:
  - ISO VG 10: dünnflüssiges Spindelöl
  - „Diesel-Kraftstoff“
  - Vergleich mit anderen Grundöltypen

Nr. 31: Ester DITA – Grundöl API Group V

- Ziel/Ansatz: Grundölvergleich
- Beschreibung: DITA: Di-Iso-Tridezyl-Adipate

Nr. 32: PAO 4 – Grundöl API Group IV

- Ziel/Ansatz: Grundölvergleich
- Beschreibung:
  - PAO: Polyalphaolefin



- *synthetisches Grundöl für SAE 0W-X und 5W-X Motorölformulierungen*

Nr. 33: NB 3080 – Grundöl API Group III

- Ziel/Ansatz: *Grundölvergleich*
- Beschreibung:
  - *Hydrocracköl – hochwertiges Grundöl*
  - *viskoses, dickflüssiges Grundöl*

Nr. 34: PAO 8 – Grundöl API Group IV

- Ziel/Ansatz: *Grundölvergleich*
- Beschreibung:
  - *synthetisches, viskoses Grundöl*
  - *Vergleich vor allem mit Nr. 33*

Nr. 35: PAO 40 – Grundöl API Group IV

- Ziel/Ansatz: *Grundölvergleich*
- Beschreibung:
  - *extrem homogenes, hochviskoses Grundöl*
  - *nicht typisch für Motorölformulierungen*

Nr. 36: NB 3020 – Grundöl API Group III

- Ziel/Ansatz: *Grundölvergleich*
- Beschreibung:
  - *ISO VG 7 - Hydrocracköl*
  - *„Diesel-Kraftstoff“ → synthetisch*
  - *äußerst homogen; extrem niedrige kinematische Viskosität*
  - *Vergleich vor allem mit Nr. 28, 29 und 30*

Nr. 37: NB 3030 – Grundöl API Group III

- Ziel/Ansatz: *Grundölvergleich; kritische kinematische Viskosität?*
- Beschreibung:
  - *sehr niedrige kinematische Viskosität ( $\approx 11.5\text{cSt}$ )*
  - *Simulation des Ölverbrauchs durch Verdampfung*
  - *Bestimmung des kinematischen Viskositätsbereichs*

Nr. 38: NB 3050 – Grundöl API Group III

- Ziel/Ansatz: *Grundölvergleich; kritische kinematische Viskosität?*
- Beschreibung:
  - *Hydrocracköl*
  - *wichtig für SAE 5W-X bzw. 10W-X Motorölformulierungen*

Nr. 39: Esteröl – Grundöl API Group V

- Ziel/Ansatz: *Grundölvergleich; kritische kinematische Viskosität?*
- Beschreibung:
  - *API Group V → „Sonder“-Grundöl*
  - *Esteröl TMPCC (Komplex-Ester)*
  - *Vergleich insbesondere mit Nr. 31*

### Ergebnisse der dritten Versuchsreihe

Eine detaillierte Aufstellung der Ergebnisse ist Abbildung 6.6 zu entnehmen. An den Polyalphaolefinen (PAO) sieht man eine Abnahme des Schädigungspotentials bei gleichzeitiger Steigerung der kinematischen Viskosität. Die beiden getesteten Grundöle auf Esterbasis Nr. 31 und Nr. 39 zeigten keinerlei Schädigungspotential, selbiges gilt für die Grundöle von Mogulol. In Summe weist keines der getesteten Grundöle ähnliches Schädigungspotential wie Versuchsöl Nr. 2 auf. Somit wäre es möglich in zukünftigen Motorölen, von Versuchsöl Nr. 2 als Grundöl, auf andere Grundöle auszuweichen.

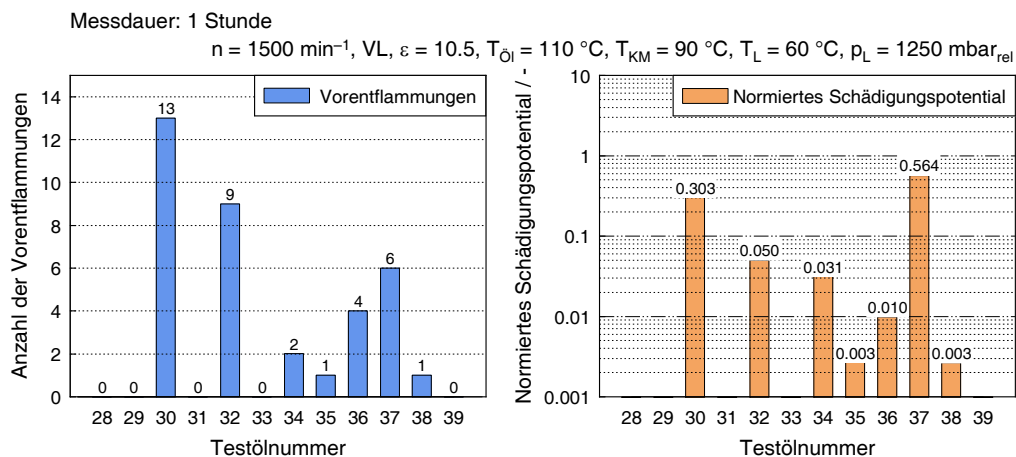


Abbildung 6.6: Ergebnisse der dritten Testreihe

### 6.7.4 Gebrauchtöle

Der OMV ist bekannt, dass, speziell bei Großgasmotoren, ab einer gewissen Anzahl von Betriebsstunden mit dem selben Motoröl die Häufigkeit der Vorentflammungen zunimmt. Um dies zu verifizieren wurden unter anderem Gebrauchtöle eines stationären Großgasmotors sowie anderer Motoren auf ihre Neigung zu Vorentflammungen untersucht.

#### Details zu den eindosierten Ölen

Nr. 23: Gasmotoröl, gebraucht

- Ziel/Ansatz: *Vergleich mit Nr. 9 und 10*
- Beschreibung:
  - *stark gealtertes Gasmotoröl nach Ölwechsel*
  - *„Kontrast“ zu Frischöl*
  - *OMV gas LEG*

Nr. 24: Ottomotoröl, gebraucht

- Ziel/Ansatz: *Vergleich mit Frischöl*
- Beschreibung:
  - *OMV eco extra SAE 5W-30*
  - *vermutlich von einem 1.6 l Opel Ottomotor*

Nr. 25: Ottomotoröl, gebraucht

- Ziel/Ansatz: *Vergleich mit Frischöl*
- Beschreibung:
  - *OMV eco extra SAE 5W-40*
  - *vermutlich von einem 1.6 l Opel Ottomotor*

Nr. 26: Dieselmotoröl, gebraucht

- Ziel/Ansatz: *Vergleich mit Frischöl*
- Beschreibung:
  - *OMV BIXXOL special C3 SAE 5W-30*
  - *vermutlich von einem 1.9 l Opel Dieselmotor*

Nr. 27: Dieselmotoröl, gebraucht

- Ziel/Ansatz: *Vergleich mit Frischöl*
- Beschreibung:
  - *SAE 5W-30*
  - *vermutlich von einem 1.9l Opel Dieselmotor*

Nr. 40: Gasmotoröl Nr. 10 nach 1400 BStd.

Nr. 41: Gasmotoröl Nr. 10 nach 1500 BStd.

Nr. 42: Gasmotoröl Nr. 10 nach 2000 BStd.

### Ergebnisse der Gebrauchtöle

Hier zeigten lediglich zwei Öle eine Neigung zur Vorentflammung, wobei Nr. 25, das stark gebrauchte Ottomotoröl, das Schädigungspotential von Nr. 2 übertrifft und somit das am stärksten vorentflammende Versuchsöl ist.

Obwohl bei dem Gasmotor in Güssing Vorentflammungen ab ca. 1500 Betriebsstunden mit dem gleichen Öl auftraten, zeigten die Öle Nr. 40, 41 & 42 keinerlei Vorentflammungen. Da keine Informationen vorliegen, wie häufig die Vorentflammungen beim Gasmotor nach 1500 BStd. auftreten, liegt die Vermutung nahe, dass die gewählte Messdauer von einer Stunde für dieses Öl zu gering ist.

Eine detaillierte Aufstellung der Ergebnisse ist Abbildung 6.7 zu entnehmen.

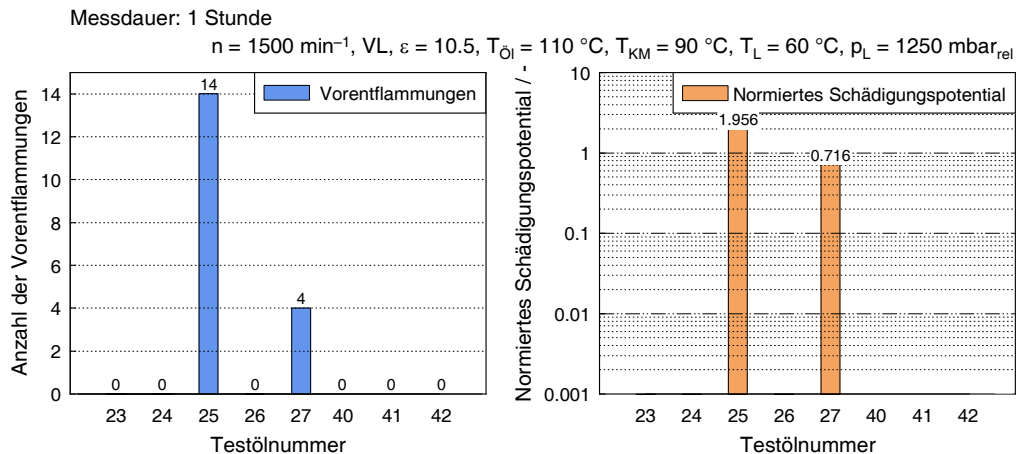


Abbildung 6.7: Ergebnisse der Gebrauchtöle

## 7 Vorentflammungen nach Kolbenwechsel

Aufgrund eines Kolbenschadens nach 80 Betriebsstunden mit dem ersten Kolben wurde in weiterer Folge der Kolben nach jeweils 40 Betriebsstunden gewechselt. Beim Kolbenwechsel erfolgte ein Ölauftrag auf die Lauffläche sowie auf das Kolbenringpaket. Bei der darauffolgenden Einfahrphase wurden Vorentflammungen gemessen, die in ihrer Stärke und Häufigkeit mit fortschreitender Zeit abnahmen.

Abbildung 7.1 zeigt dieses Verhalten als aufsummiertes Klopfintegral über der Zeit. Das Klopfintegral errechnet sich aus der Fläche unter den gefilterten und gleichgerichteten Klopferschwingungen bei einem Vorentflammungsereignis. Da es vorkam, dass innerhalb einer Messdatei von 100 Zyklen mehrere Vorentflammungen stattfanden, wurde pro Messdatei das Klopfintegral aufsummiert.

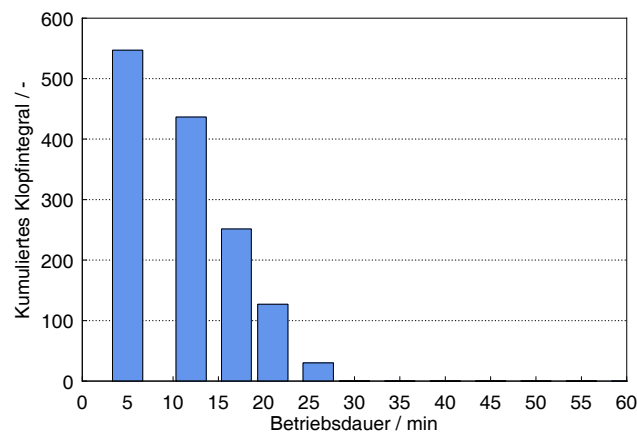
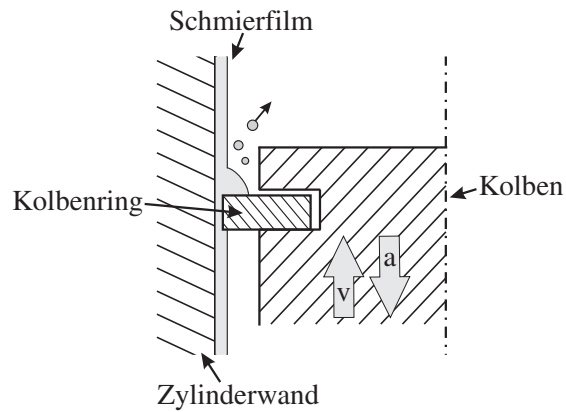


Abbildung 7.1: Aufgetretene Vorentflammungen nach Kolbenwechsel

Da nach einer Stunde Einfahrzeit unter den gewählten Randbedingungen (minimale Ventilüberschneidung) keine Vorentflammungen mehr gemessen wurden, kann davon ausgegangen werden, dass die Ursache für die Vorentflammungen das beim Wechsel aufgetragene Schmiermittel ist, welches im Lauf der Zeit in den Brennraum geschleudert wird. Diese Tatsache bestätigt die Vermutung, dass bei sinkender Kühlmitteltemperatur, durch die veränderte Bauteilausdehnung, ein erhöhter Schmiermitteleintrag über die Kolbenringe erfolgt, siehe Abbildung 7.2.



**Abbildung 7.2:** Öltropfen-Quelle am Kolben [3]

# 8 Zusammenfassung und Ausblick

## 8.1 Zusammenfassung

Im Rahmen der Basisuntersuchungen haben sich die Aussagen aus der Literatur bestätigt. So wurde eine tiefere Kühlmitteltemperatur als negativer Einfluss auf die Vorentflammungsneigung des hoch aufgeladenen PKW DI-Ottomotors identifiziert. Es bestätigte sich ebenfalls, dass eine Steigerung des LET (Low-End-Torque) durch Anheben der Verdichtung und des Ladedrucks einen äußerst negativen Einfluss auf die Vorentflammungsneigung hat. Die Schmiermittel- und Ladelufttemperatur zeigten hingegen nur geringen Einfluss auf die Vorentflammungsneigung des eingesetzten Forschungsmotors.

Im Rahmen der Schmiermitteleindosierung wurden in Summe 37 Versuchsöle auf ihre Neigung zur Vorentflammung untersucht und dabei für die Bewertung der Öle ein Schädigungspotential, basierend auf den auftretenden Druckmaxima, eingeführt.

Bei der Vermessung der ersten Testreihe zeigte sich, dass Versuchsöl Nummer 2, welches u.a. als Basisöl für das im Forschungsmotor verwendete OMV BIXXOL special C3 verwendet wird, das größte Schädigungspotential aufweist. Ein Vergleich der Versuchsöle Nr. 7 und 8 zeigte, dass auch die Wahl des Additivherstellers einen Einfluss auf die auftretenden Vorentflammungen haben kann. So hatte Versuchsöl Nr. 7 ein weit höheres Schädigungspotential als Nr. 8, bei gleichem Masseanteil an Detergentien im selben Trägeröl.

Bei der anschließenden zweiten Testreihe wurde festgestellt, dass eine Additivierung des Versuchsöls Nr. 2 mit Detergentien in einer Verringerung des Schädigungspotentials resultiert und des Weiteren eine Steigerung des Additivanteils im Trägeröl das Schädigungspotential noch weiter senken kann.

Bei der dritten Testreihe handelte es sich um eine Vermessung von unterschiedlichsten Basis- oder Trägerölen, bei denen sich aber keines als schädlicher erwies als Versuchsöl Nr. 2.

Bei der abschließenden Vermessung der Gebrauchtöle wurde Öl Nr. 25, das stark gebrauchte Ottomotoröl, als schädlichstes Öl aller 37 getesteten Versuchsöle identifiziert. Selbst die getesteten Dieselgebrauchtöle erwiesen sich als nicht so schädlich wie jenes gebrauchte Ottomotoröl.

## 8.2 Ausblick

Basierend auf den Ergebnissen dieser Arbeit sollen vollformulierte Motoröle entwickelt und an einem Vollmotor eingesetzt werden. Dies soll einen Vergleich zwischen den neu entwickelten Ölen und dem, am Forschungsmotor verwendeten, OMV BIXXOL special C3 erlauben.

Des Weiteren besteht am Forschungsmotor die Möglichkeit einen Verschleiß der Kolben/Liner Paarung zu simulieren, indem man die Menge des, in das Saugrohr eindsierten, Schmiermittels variiert.



# 9 Anhang

## 9.1 Aufgetretene Schäden

Angesichts der durchgeführten Untersuchungen und den dabei aufgetretenen, extremen Belastungen, auf die der Forschungsmotor nicht ausgelegt ist, ist es erstaunlich, dass der komplette Kurbeltrieb, sowie der Zylinderkopf und der Motor als Ganzes diese Testläufe überstanden haben. Dennoch sind Arbeiten am Püfstand immer mit unvorhersehbaren Vorfällen verbunden. Diese Vorfälle haben sich im Rahmen dieses Projektes zwar in Grenzen gehalten, aber dennoch traten einige Schäden auf. In diesem Kapitel wird zur Dokumentation kurz auf diese Schäden eingegangen.

### 9.1.1 Klauenkupplung

Die Klauenkupplung musste zu Beginn der Untersuchungen ersetzt werden. Sie diente als Verbindungsglied zwischen dem Forschungsmotor und dem E-Motor, war aber für die starken Wechselbelastungen des Einzylinders zu schwach. Als Folge dieser Fehldimensionierung schmolz die Dämpfungseinlage zwischen den Klauen, siehe Abbildung 9.1. Da ein Ersetzten der elastischen Einlage wohl zum selben Schadensbild ge-



**Abbildung 9.1:** Defekte Klauenkupplung

führt hätte, wurde eine lange Welle mit Dämpfungselementen in den Flanschen links und rechts als Ersatz eingesetzt.

### 9.1.2 Ölpumpe

Der nächste Schaden trat bei der Ölpumpe in der gebauten Ölkonditionieranlage auf. Die Pumpe wies am Flansch eine Undichtigkeit auf, woraufhin die Dichtungen erneuert wurden. Bei der darauffolgenden Wiedermontage brach der Flansch an der Druckseite, siehe Abbildung 9.2.

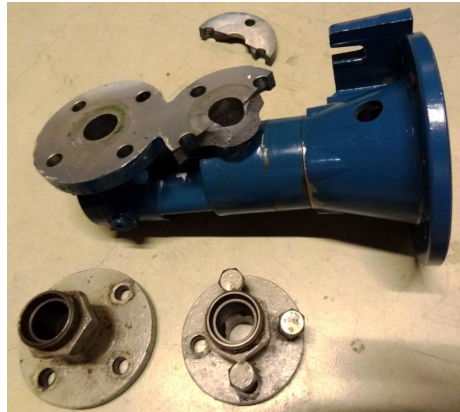


Abbildung 9.2: Defekte Ölpumpe

### 9.1.3 Benzin-Hochdruckpumpe

Ein weiterer Schaden trat nach rund 60 Betriebsstunden an der Hochdruckpumpe auf. Dabei handelte es sich um einen Wellenbruch, der exakt am Übergang der Welle zu einem Gewinde auftrat. Des Weiteren war das Wellenverbindungsstück aus Aluminium, welches den E-Motor mit der Pumpe verbindet, stark ausgeschlagen. Es erfolgte ein Austausch der Pumpe und das Wellenverbindungsstück wurde aus Edelstahl gefertigt. In Abbildung 9.3 sieht man die zerlegte HD-Pumpe.

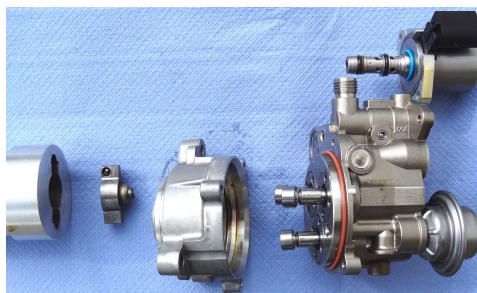


Abbildung 9.3: Defekte und bereits zerlegte Benzin-Hochdruckpumpe, von links beginnend: Wellenverbindungsstück, abgebrochenes Antriebsteil der HD-Pumpe, Pumpengehäuse mit Taumelscheibe, zweiter Pumpenteil mit den drei Ventilen und die Druckregleinheit rechts oben

### 9.1.4 Kolben

Wie bereits erwähnt ging nach etwa 80 Betriebsstunden und einigen Spitzendruck-überschreitungen der erste Kolben zu Bruch, siehe Abbildung 9.4.

**Tabelle 9.1:** Anzahl der Spitzendruck-Überschreitungen bis zum Kolbenbruch

$p_{Zyl,max} > 150 \text{ bar}$	127 mal
$p_{Zyl,max} > 200 \text{ bar}$	98 mal
$p_{Zyl,max} > 250 \text{ bar}$	70 mal



**Abbildung 9.4:** Kolbenschaden nach 80 Betriebsstunden

Nach diesem ersten Kolbenschaden wurde beschlossen, den Kolben aus Sicherheitsgründen bereits nach 40 Betriebsstunden zu wechseln. Insgesamt wurde der Kolben somit vier Mal gewechselt, wobei der fünfte, noch verbaute Kolben nach Abschluss der Messungen bereits 50 Betriebsstunden gelaufen ist.

### 9.1.5 Radial-Wellendichtring

Nur wenige Betriebsstunden nach dem Kolbenschaden fiel eine Undichtigkeit am Kurbelwellenausgang auf. Grund dafür war ein spröder Wellendichtring der ausgewechselt werden musste. In Abbildung 9.5 sind die Risse im Dichtring rot markiert.



**Abbildung 9.5:** Spröder Radial-Wellendichtring

## 9.2 Datenblätter zu den eidosierten Testölen

Versuchsöl Nr. 1 Grundöl API Group I 2012/027031

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 A	Einsatzzeit	0
Termin bis	23.06.2012 14:37	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	18.06.2012 14:39	Probenahme	18.06.2012 14:37

Aufgabenstellung Kennwerte

Interne Information Projekt Vorentflammung

Ziel/Ansatz: dünnes Grundöl (mineralisch)

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	15,68	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	3,608	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	113		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	827,7	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	74	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	15	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung: typisches Spindelöl  
 • hohe Verdampfung (Naack) bzw. Aromaten  
 • mittelmäßige chemische Homogenität  
 • Dient als Modellöl für Stellöle von Additiven nach Verdampfung

**Versuchsöl Nr. 2 Grundöl API Group III (100%) 2012/027032**

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 B	Einsatzzeit	0
Termin bis	23.06.2012 14:37	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	18.06.2012 14:40	Probenahme	18.06.2012 14:37
Aufgabenstellung	Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Grundkomponente/Trägeröl für SAE5W-X, Charakterisierung als Repräsentant

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	20,30	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,318	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	121		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	831,9	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<1	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	20	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	15	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung: • typisches, "state-of-art"-Grundöl für moderne PKW-Motorenöle  
 • hohe chemische Homogenität, überwiegend paraffinische, weniger ungesättigte Bestandteile, wenige Aromaten (Koks-/Ablagerungsbildung-Potential)  
 • reduzierte Verdampfungsneigung (Noack)



Probenbericht SM (KADE)

Versuchsöl Nr. 3 *10% VM-1 in Grundöl Gr. III* **2012/027033**

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 C	Einsatzzeit	0
Termin bis	23.06.2012 14:37	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	18.06.2012 14:41	Probenahme	18.06.2012 14:37
Aufgabenstellung	Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

*Ziel/Ansatz: Modelöl zum Vergleich mit N°2/N°4*

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	47,59	mm²/s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	8,925	mm²/s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	171		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	835,7	kg/m³	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	457	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	14	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- VM-1: Viskositätsindex-Verbesserer
- OC P-Typ: Olefin-Copolymer
- Charakteristisch und typisch für viele Mehrbereichsöle
- „Massenprodukt“, oft eingesetzt, eher eine kostengünstige Variante
- 10%-ige Lösung in Versuchsöl 2



Versuchsöl Nr. 4 **20% VM-2 in API Gr. III** **2012/027034**

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 D	Einsatzzeit	0
Termin bis	23.06.2012 14:37	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	18.06.2012 14:41	Probenahme	18.06.2012 14:37
Aufgabenstellung	Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Modelöl zum Vergleich mit N°2/N°3

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	50,31	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	9,902	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	187		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	833,8	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	25	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	15	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<1	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammun g		

Beschreibung:

- VM-2: Viskositätsindex-Verbesserer
- SDC-Typ: Styrol-Dien-Copolimer
- "Repräsentant" für viele moderne VM-Additive
- enthalten in OMV B1XXDL special C3
- hohe Dosierungsrate: Polymer vorgelöst in Stellöl (ca. 5% Polymer in Grundöl), Einfluss von Stellöl?





## Probenbericht SM (KADE)

Seite: 5 / 8

Versuchsöl Nr. 5 **3% DET-1 in API Gr. III** **2012/027035**

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 E	Einsatzzeit	0
Termin bis	23.06.2012 14:37	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	18.06.2012 14:41	Probenahme	18.06.2012 14:37
Aufgabenstellung	Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Modelöl, Auswirkung von Detergentien

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	1,21	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	21,11	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,459	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	125		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	839,5	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	324	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	14	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	4724	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammun g		

Beschreibung: • DET-1: aschehaltiges, detergierendes Additiv  
 • überbasisches Kalziumsulfonat  
 • typische (für PKW eher erhöhte) Dosierungsrate  
 • Trägeröl (97%): Versuchsöl N°2

Versuchsol Nr. 6 **3% DET-2 in API Gr. III** **2012/027036**

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 F	Einsatzzeit	0
Termin bis	23.06.2012 14:37	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	18.06.2012 14:41	Probenahme	18.06.2012 14:37
Aufgabenstellung	Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Modelöl, Auswirkung von Detergentien

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	1,00	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	21,15	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,463	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	124		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	838,6	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	50	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	<2	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	4214	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung: DET-2: aschehaltiges detergierendes Additiv  
 • überbasisches Kalziumsulfat  
 • zum Vergleich mit Versuchsol N° 5



Versuchsöl Nr. **1,5% ZnDTP-1 in API Gr. III** **2012/027037**

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 G	Einsatzzeit	0
Termin bis	23.06.2012 14:37	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	18.06.2012 14:41	Probenahme	18.06.2012 14:37

Aufgabenstellung	Kennwerte
Interne Information	Projekt Vorentflammung

*Ziel/Ansatz: Modelöl, Auswirkung von Verschleißschutz-Additiv*

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	0,50	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	20,37	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,317	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	120		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	835,3	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	1320	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	2626	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	3	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	1421	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<16	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

*Beschreibung:*

- ZnDTP-1: Verschleißschutz-Additiv
- Zinkdithiophosphat
- "Repräsentant" in Zusammensetzungen von "Motorenölen"



Versuchsöl Nr. **1,5% ZnDTP-2 in API Gr. III** 2012/027038

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 H	Einsatzzeit	0
Termin bis	23.06.2012 14:37	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	18.06.2012 14:41	Probenahme	18.06.2012 14:37

Aufgabenstellung Kennwerte

Interne Information Projekt Vorentflammung

Ziel/Ansatz: Modelöl, Auswirkung von Verschleißschutz-Additiv

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	0,44	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	20,44	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,331	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	121		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	834,7	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	980	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	1990	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	5	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<1	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	1138	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<16	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung: • ZnDTP-2: Verschleißschutz-Additiv  
 • Zinkdithiophosphat  
 • Vergleich mit Versuchsöl N° 7


**Versuchsöl Nr. 9 Gasmotorenöl SAE 40** **2012/028591**

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex FBS CH 36973	Einsatzzeit	0
Termin bis	02.07.2012 10:51	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	27.06.2012 10:53	Probenahme	27.06.2012 10:51

Aufgabenstellung Kennwerte

Interne Information Projekt Vorentflammung

Ziel/Ansatz: Vollformuliertes Motorenöl, Vergleich mit C3

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ.		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	0,61	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	126,01	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	13,625	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	104		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	883,2	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	239	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	5414	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	37	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	2092	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	278	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- Standardöl für stationäre Gasmotoren
- SAE 40; enthält API Gr. I (mineralisch), höhere Viskositätslage, wenige Verdampfung
- reduzierter Sulfataische-Gehalt (< 0,5% Masse)
- enthält typische Motorenöl-Bestandteile, jedoch in anderen Verhältnissen/Dosierungsraten
- „Kontrast“ Gegenüberstellung zu C3 (Referenz)



Versuchsöl Nr. 10 *Gasmotorenöl-2 SAE 40* 2012/028592

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex FBS CH 36976	Einsatzzeit	0
Termin bis	02.07.2012 10:51	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	27.06.2012 10:54	Probenahme	27.06.2012 10:51
Aufgabenstellung	Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

*Ziel/Ansatz: Vergleich mit C3 (Referenz) bzw. N° 9*

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ.		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	0,80	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	127,12	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	13,676	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	104		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	885,5	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	250	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	7470	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	<2	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	2791	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	314	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<2	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammun g		

*Beschreibung:*

- Wie Versuchsöl N° 9, nur höhere Dosierung von Detergentien (ähnlich, wie N° 6, DET-2)
- Anfällig für Vorentflammung nach ca. 1500 Bstd. in einem Gasmotor (Güssing) mit Holzgas im Feld



## Probenbericht SM (KADE)

Seite: 1 / 22

<b>Versuchsöl Nr. 11</b> 1% DET-1 in API Gr. III		<b>2012/036825</b>	
Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 I	Einsatzzeit	0
Termin bis	22.08.2012 12:00	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	17.08.2012 12:01	Probenahme	17.08.2012 12:00
Aufgabenstellung	Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

*Konzentration Variation*  
 Ziel/Ansatz: Modelöl, Auswirkung von Detergentien

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	20,59	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,377	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	123		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	834,4	kg/m <sup>3</sup>	
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	0,35	%M	
061201	TBN	ASTM D 2896	4,1	mg KOH/g	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	155	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	17	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	1769	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<16	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung: = DET-1 (1%) in (99%) Versuchsöl N°2  
 • Vergleich mit Blends 5, 12, und 13  
 • Konzentration-Variation in API Gr. III



Versuchsöl Nr. 12 **6% DET-1 in API Gr. III** 2012/036826

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 J	Einsatzzeit	0
Termin bis	22.08.2012 12:00	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	17.08.2012 12:02	Probenahme	17.08.2012 12:00
Aufgabenstellung	Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

*Konzentration-Variation*  
Ziel/Ansatz: Modelöl, Auswirkung von Detergentien

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	21,97	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,619	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	129		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	847,2	kg/m <sup>3</sup>	
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	2,36	%M	
061201	TBN	ASTM D 2896	24,7	mg KOH/g	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	742	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	18	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	10130	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- DET-1(6%) in (94%) Versuchsöl N°2
- Vergleich mit Blends 5, 11 und 13
- Konzentration-Variation in API Gr. III





Versuchsöl Nr. 13 **9% DET-1 in API Gr. III** 2012/036827

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 K	Einsatzzeit	0
Termin bis	22.08.2012 12:00	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	17.08.2012 12:03	Probenahme	17.08.2012 12:00
Aufgabenstellung	Kernwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Modelöl, Auswirkung von Detergentien

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	22,97	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,724	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	127		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	855,1	kg/m <sup>3</sup>	
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	3,64	%M	
061201	TBN	ASTM D 2896	17,2	mg KOH/g	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	1131	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	23	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	15530	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- DET-1 (9%) in (91%) Versuchsöl N<sup>o</sup> 2
- Vergleich mit Blends 5, 11 und 12
- Konzentration-Variation


**Versuchsöl Nr. 14** 3% DET-3 in API Gr. III 2012/036828

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 L	Einsatzzeit	0
Termin bis	22.08.2012 12:00	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	17.08.2012 12:03	Probenahme	17.08.2012 12:00
Aufgabenstellung	Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Modelöl, Typen-Variation von Detergentien

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	21,04	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,456	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	125		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	839,6	kg/m <sup>3</sup>	
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	1,21	%M	
061201	TBN	ASTM D 2896	12,1	mg KOH/g	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	436	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	<10	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	5266	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- DET-3: aschehaltiges, detergierendes Additiv
- überbasisches Kalziumsulfonat Ca-SUL
- typische Dosierungsrate
- Typen-Variation und Vergleich
- Trägeröl (97%): Versuchsöl N°2



Versuchsöl Nr. 15 *3% DET-4 in API Gr. III* 2012/036829

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 M	Einsatzzeit	0
Termin bis	22.08.2012 12:00	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	17.08.2012 12:03	Probenahme	17.08.2012 12:00
Aufgabenstellung	Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

*Ziel/Ansatz: Modelöl, Typen-Variation von Detergentien*

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	21,17	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,480	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	126		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	839,5	kg/m <sup>3</sup>	
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	1,20	%M	
061201	TBN	ASTM D 2896	12,2	mg KOH/g	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	369	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	12	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	5147	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- DET-4: asphalthaltiges, detergierendes Additiv
- überbasisches Kalziumsulfonat Ca-SUL
- typische Dosierungsrate
- Typen-Variation und Vergleich
- Trägeröl (97%): Versuchsöl N°2



Versuchsöl Nr. 17 **3% DET-6 in API Gr. III** 2012/036831

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	LVSM 3660 O	Einsatzzeit	0
Termin bis	22.08.2012 12:00	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	17.08.2012 12:03	Probenahme	17.08.2012 12:00
Aufgabenstellung	Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Modelöl, DET-Variation

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
460001	Mischung		erledigt		
469701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
469601	Geruch	Methode MK1-LBT	frisch		
469902	IR-Aufnahme	DIN 51451	in Datei		
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	21,07	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,449	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	124		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	839,6	kg/m <sup>3</sup>	
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	1,17	%M	
061201	TBN	ASTM D 2896	11,6	mg KOH/g	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	562	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	<2	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	5132	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- DET-6 → DET
- Ca-SUL (überbasisch)
- 3%
- DET-Variation und Vergleich
- Versuchsöl N<sup>o</sup>2 → Trägeröl

9.2 Datenblätter zu den eindosierten Testölen



Probenbericht SM (KADE)

Seite: 13 / 22

Versuchsol Nr. 23 *Gasmotorenöl/Gebraucht* 2012/037289

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	2010/027227	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.08.2012 11:38	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.08.2012 11:40	Probenahme	21.08.2012 11:38
Aufgabenstellung	Gebrauchtölanalyse		
Interne Information	OMV gas LEG		

*Ziel/Ansatz: Vergleich mit Frischölen N<sup>o</sup>9/N<sup>o</sup>10*

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
469806	Oxidation	Methode Perkin-Elmer	20,15	A/cm	
469805	Nitration	Methode Perkin-Elmer	21,63	A/cm	
469801	Russ	Methode Perkin-Elmer	0,03	%Masse	
469803	Glykol	Methode Perkin-Elmer	0,00	%Masse	
469804	Wasser	Methode Perkin-Elmer	0,16	%Masse	
064000	RFA-Elemente	TQL-7929	x		
064002	Aluminium	TQL-7929	<20	mg/kg	
064003	Silizium	TQL-7929	<5	mg/kg	
064004	Phosphor	TQL-7929	261	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	4783	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	32	mg/kg	
064007	Kalium	TQL-7929	21	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	1578	mg/kg	
064011	Chrom	TQL-7929	<1	mg/kg	
064013	Eisen	TQL-7929	8	mg/kg	
064015	Nickel	TQL-7929	5	mg/kg	
064016	Kupfer	TQL-7929	2	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	344	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064022	Zinn	TQL-7929	<3	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
064029	Blei	TQL-7929	<1	mg/kg	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	152,80	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	15,297	mm <sup>2</sup> /s	



## Versuchsöl Nr. 23

2012/037289

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	101		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	891,6	kg/m <sup>3</sup>	
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	1,19	%M	
061201	TBN	ASTM D 2896	3,1	mg KOH/g	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammun g		

Beschreibung:

- SAE 40
- stark gealtertes Gasmotorenöl
- nach Ölwechsel
- „Kontrast“ zum Frischöl
- Vergleich mit C3/Referenzöl (PKW)



## Probenbericht SM (KADE)

Seite: 15 / 22

<b>Versuchsöl Nr. 24</b>	PKW-Öl / Gebrauchtöl	<b>2012/037290</b>
Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer S04038 / 5T
Probenherkunft	PCMO gebraucht	Einsatzzeit 0
Termin bis	26.08.2012 11:38	Gesamt Einsatzzeit 0
Erstellt am	21.08.2012 11:42	Probenahme 21.08.2012 11:38
Aufgabenstellung	Gebrauchtölanalyse	
Interne Information	OMV eco extra SAE 5W-30	

Ziel/Ansatz: Vergleich mit Frischöl

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
469806	Oxidation	Methode Perkin-Elmer	13,45	A/cm	
469805	Nitration	Methode Perkin-Elmer	36,62	A/cm	
469801	Russ	Methode Perkin-Elmer	0,00	%Masse	
469803	Glykol	Methode Perkin-Elmer	0,00	%Masse	
469804	Wasser	Methode Perkin-Elmer	0,28	%Masse	
064000	RFA-Elemente	TQL-7929	x		
064002	Aluminium	TQL-7929	<20	mg/kg	
064003	Silizium	TQL-7929	3	mg/kg	
064004	Phosphor	TQL-7929	719	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	2377	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	12	mg/kg	
064007	Kalium	TQL-7929	25	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	3199	mg/kg	
064011	Chrom	TQL-7929	<1	mg/kg	
064013	Eisen	TQL-7929	32	mg/kg	
064015	Nickel	TQL-7929	6	mg/kg	
064016	Kupfer	TQL-7929	31	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	950	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	2	mg/kg	
064022	Zinn	TQL-7929	6	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<16	mg/kg	
064029	Blei	TQL-7929	<1	mg/kg	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	59,98	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	10,085	mm <sup>2</sup> /s	



## Versuchsöl Nr. 24

2012/037290

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	156		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	867,4	kg/m <sup>3</sup>	
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	2,52	%M	
061201	TBN	ASTM D 2896	6,3	mg KOH/g	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammun g		

Beschreibung:

- stark gealtertes PKW-Öl
- nach Ölwechsel
- vermutlich 1,6L Opel/Benziner
- SAE 5W-30?





## Probenbericht SM (KADE)

Seite: 17 / 22

<b>Versuchsöl Nr. 25</b>	<b>PKW-Öl / Gebrauchtes</b>	<b>2012/037291</b>	
Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	PCMO gebraucht	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.08.2012 11:38	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.08.2012 11:43	Probenahme	21.08.2012 11:38
Aufgabenstellung	Gebrauchtölanalyse		
Interne Information	OMV eco extra SAE 5W-30 oder SAE 10W-40		

Ziel/Ansatz: Vergleich mit Frischöl

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
469806	Oxidation	Methode Perkin-Elmer	41,58	A/cm	
469805	Nitration	Methode Perkin-Elmer	57,42	A/cm	
469801	Russ	Methode Perkin-Elmer	0,00	%Masse	
469803	Glykol	Methode Perkin-Elmer	0,00	%Masse	
469804	Wasser	Methode Perkin-Elmer	0,43	%Masse	
064000	RFA-Elemente	TQL-7929	x		
064002	Aluminium	TQL-7929	<20	mg/kg	
064003	Silizium	TQL-7929	<5	mg/kg	
064004	Phosphor	TQL-7929	655	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	3216	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	156	mg/kg	
064007	Kalium	TQL-7929	29	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	2916	mg/kg	
064011	Chrom	TQL-7929	5	mg/kg	
064013	Eisen	TQL-7929	51	mg/kg	
064015	Nickel	TQL-7929	6	mg/kg	
064016	Kupfer	TQL-7929	17	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	851	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	185	mg/kg	
064022	Zinn	TQL-7929	7	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
064029	Blei	TQL-7929	12	mg/kg	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	96,55	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	14,301	mm <sup>2</sup> /s	



## Versuchsöl Nr. 25

2012/037291

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	153		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	867,8	kg/m <sup>3</sup>	
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	3,23	%M	
061201	TBN	ASTM D 2896	3,3	mg KOH/g	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammun g		

Beschreibung:

- stark gealtertes PKW-Öl
- nach Ölwechsel
- Vermutlich 1,6L Opel/Benziner
- SAE 10W-40?



## Probenbericht SM (KADE)

Seite: 19 / 22

**Versuchsöl Nr. 26** *PKW-Diesel / Gebrauchtes* **2012/037292**

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	PCMO gebraucht	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.08.2012 11:38	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.08.2012 11:43	Probenahme	21.08.2012 11:38
Aufgabenstellung	Gebrauchtsölanalyse		
Interne Information	OMV Bixxol special C3 alt <i>SAE 5W-30</i>		

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
469806	Oxidation	Methode Perkin-Elmer	0,22	A/cm	
469805	Nitration	Methode Perkin-Elmer	14,28	A/cm	
469801	Russ	Methode Perkin-Elmer	0,28	%Masse	
469803	Glykol	Methode Perkin-Elmer	0,00	%Masse	
469804	Wasser	Methode Perkin-Elmer	0,16	%Masse	
064000	RFA-Elemente	TQL-7929	x		
064002	Aluminium	TQL-7929	<20	mg/kg	
064003	Silizium	TQL-7929	75	mg/kg	
064004	Phosphor	TQL-7929	758	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	2742	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	41	mg/kg	
064007	Kalium	TQL-7929	27	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	1836	mg/kg	
064011	Chrom	TQL-7929	2	mg/kg	
064013	Eisen	TQL-7929	145	mg/kg	
064015	Nickel	TQL-7929	6	mg/kg	
064016	Kupfer	TQL-7929	20	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	983	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	4	mg/kg	
064022	Zinn	TQL-7929	12	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
064029	Blei	TQL-7929	7	mg/kg	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	70,38	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	11,878	mm <sup>2</sup> /s	



Versuchsöl Nr. 26

2012/037292

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	166		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	860,7	kg/m <sup>3</sup>	
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	1,72	%M	
061201	TBN	ASTM D 2896	9,0	mg KOH/g	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammun g		

Beschreibung:

- stark gealtertes PKW-Öl/Diesel
- nach Ölwechsel
- Vermutlich Opel/1,9L/Diesel
- SAE 5W-30

9.2 Datenblätter zu den eindosierten Testölen



Probenbericht SM (KADE)

Seite: 21 / 22

<b>Versuchsöl Nr. 27</b> PKW-Diesel / Gebraucht		<b>2012/037293</b>	
Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	PCMO-D gebraucht	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.08.2012 11:38	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.08.2012 11:44	Probenahme	21.08.2012 11:38
Aufgabenstellung	Gebrauchtölanalyse		
Interne Information	<del>SAE 5W-30</del> SAE 5W-30		

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
469806	Oxidation	Methode Perkin-Elmer	16,12	A/cm	
469805	Nitration	Methode Perkin-Elmer	27,57	A/cm	
469801	Russ	Methode Perkin-Elmer	0,52	%Masse	
469803	Glykol	Methode Perkin-Elmer	0,00	%Masse	
469804	Wasser	Methode Perkin-Elmer	0,25	%Masse	
064000	RFA-Elemente	TQL-7929	x		
064002	Aluminium	TQL-7929	<20	mg/kg	
064003	Silizium	TQL-7929	6	mg/kg	
064004	Phosphor	TQL-7929	720	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	2353	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	16	mg/kg	
064007	Kalium	TQL-7929	28	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	3339	mg/kg	
064011	Chrom	TQL-7929	2	mg/kg	
064013	Eisen	TQL-7929	92	mg/kg	
064015	Nickel	TQL-7929	7	mg/kg	
064016	Kupfer	TQL-7929	8	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	943	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	1	mg/kg	
064022	Zinn	TQL-7929	10	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
064029	Blei	TQL-7929	19	mg/kg	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	55,06	mm²/s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	9,587	mm²/s	



## Versuchsöl Nr. 27

2012/037293

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	159		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	864,1	kg/m³	
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	2,58	%M	
061201	TBN	ASTM D 2896	6,7	mg KOH/g	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammun g		

Beschreibung:

- stark gealtertes PKW-öl/Diesel
- nach Ölwechsel
- vermutlich Opel/1,9L/Diesel
- SAE 5W-30


**Versuchsöl Nr. 28 Grundöl API Gr. II** **2012/042329**

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex Labor FBS	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.09.2012 12:45	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.09.2012 12:46	Probenahme	21.09.2012 12:45
Aufgabenstellung	Überprüfung Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: „Diesel“-Effekt(?) durch Ölverdampfung?

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ.		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	0,04	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	2,49	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	1,069	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	0		
	VI:		V[100°C] < 2 cSt ->kein VI berechenbar		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	836,2	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<1	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	9	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	15	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<1	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- ISO VG 2 → extrem dünnes Grundöl
- „Diesel-Kraftstoff“
- „Abstecken“/Bestimmung
- Vergleich mit anderen Grundöl-Typen und -Variationen

**Versuchsol Nr. 29 Grundöl API Gr. II** **2012/042330**

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex Labor FBS	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.09.2012 12:45	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.09.2012 12:47	Probenahme	21.09.2012 12:45
Aufgabenstellung	Überprüfung Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: „Dieseling“?, Ölverdampfung?

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ.		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	4,41	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	1,534	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	0		
	VI:		V[100°C]<2 cSt ->kein VI berechenbar		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	856,1	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<2	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	26	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	14	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammun g		

Beschreibung:

- 150 VG 5 → extrem dünnes Öl
- „DK“
- Vergleich der Grundöle



Versuchsöl Nr. 30 Grundöl API Gr. II 2012/042331

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex Labor FBS	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.09.2012 12:45	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.09.2012 12:47	Probenahme	21.09.2012 12:45
Aufgabenstellung	Überprüfung Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: „Kritische“ Viskositätsbereich?

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	9,27	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	2,515	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	95		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	843,5	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	4	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	14	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<16	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- ISO VG 10 → dünnes Spindelöl
- „DK“
- Vergleich

Versuchsöl Nr. 31 Grundöl API Gr. V 2012/042332

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex Labor FBS	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.09.2012 12:45	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.09.2012 12:47	Probenahme	21.09.2012 12:45
Aufgabenstellung	Überprüfung Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Grundöl-Typen-Variation, Vergleich

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ.		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	27,09	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	5,344	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	135		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	911,3	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	24	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	3	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	14	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<16	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- Esteröl / API Gr. V
- DITA - (Di-/iso-Tridecyl-Adipate)
- Vergleich / Typen-Vielfalt



Probenbericht SM (KADE)

Versuchsol Nr. 32 **Grundöl API Gr. IV** **2012/042333**

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex Labor FBS	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.09.2012 12:45	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.09.2012 12:47	Probenahme	21.09.2012 12:45
Aufgabenstellung	Überprüfung Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Vergleich

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	18,11	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,032	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	122		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	816,2	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	<2	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	15	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung: • PAO-4 (Poly-Alpha-Olefin)  
 • synthetisches Grundöl für  
 SAE OW-X und SW-X Motorend-  
 Formulierungen

Versuchsöl Nr. 33 Grundöl API Gr. III 2012/042334

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex Labor FBS	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.09.2012 12:45	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.09.2012 12:47	Probenahme	21.09.2012 12:45
Aufgabenstellung	Überprüfung Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ansatz/Ziel: Vergleich

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	50,59	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	8,070	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	130		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	843,0	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	<2	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	14	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<16	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung: • Hydrocracköl / hochwertiges Grundöl  
• „viskoses“, „dickeres“ Grundöl



Versuchsol Nr. 34 Grundöl API Gr. IV 2012/042335

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex Labor FBS	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.09.2012 12:45 PAO-8	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.09.2012 12:48	Probenahme	21.09.2012 12:45
Aufgabenstellung	Überprüfung Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Vergleich

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ.		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	46,25	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	7,989	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	145		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	828,6	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	<2	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	14	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- PAO-8 / synthetisches Öl
- "viskoses" "dickeres" Grundöl
- Vergleich, vor allem mit N° 33

Versuchsol Nr. 35 Grundöl API Gr IV 2012/042336

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex Labor FBS	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.09.2012 12:45 PAO-40	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.09.2012 12:48	Probenahme	21.09.2012 12:45
Aufgabenstellung	Überprüfung Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Vergleich

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	404,10	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	40,182	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	149		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	846,2	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	<2	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	14	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<16	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- PAO-40 / hochwertiges Öl
- extrem homogen
- extrem hochviskos
- nicht typisch für Motorenöl-Formulierungen
- „Grundöl-Variation-Studie“



Versuchsol Nr. 36 Grundöl API Gr. III 2012/042337

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex Labor FBS	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.09.2012 12:45	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.09.2012 12:48	Probenahme	21.09.2012 12:45
Aufgabenstellung	Überprüfung Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Vergleich, Grundöl-Variation

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ.		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	7,36	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	2,189	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	99		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	830,5	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	<2	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	15	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- ISO VG 7" - Hydrocrack (HC)
- "DK" → "synthetisch"
- "extrem homogen"
- extrem niedrige kinematische Viskosität
- Vergleich, vorallem mit NN<sup>o</sup> 28, 29, 30

Versuchsöl Nr. 37 Grundöl API Gr. III 2012/042338

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex Labor FBS	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.09.2012 12:45	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.09.2012 12:48	Probenahme	21.09.2012 12:45
Aufgabenstellung	Überprüfung Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: „Kritische“ KV? / Vergleich

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	<0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	11,53	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	2,954	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	108		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	830,4	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	<2	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	14	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- sehr niedrige KV ( $\approx 11,5$  cSt)
- Ölverbrauch durch Verdampfung? (Simulation)
- KV-Bereich - Bestimmung
- Studie + Vergleich





Versuchsol Nr. 38 Grundöl API Gr. III 2012/042339

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex Labor FBS	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.09.2012 12:45	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.09.2012 12:48	Probenahme	21.09.2012 12:45
Aufgabenstellung	Überprüfung Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Studie, KV-Vergleich mit N° 2

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ.		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	26,27	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	5,106	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	125		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	836,8	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	3	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	17	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- HC-Öl
- Wichtig für SAE 5W-X bzw 10W-X Motorenölformulierungen
- „Kritischer“ KV-Bereich??

Versuchsol Nr. 39 Grundöl API Gr. V 2012/042340

Kunde	Competence Center Lubes	Auftragsnummer	S04038 / 5T
Probenherkunft	ex Labor FBS	Einsatzzeit	0
Termin bis	26.09.2012 12:45	Gesamt Einsatzzeit	0
Erstellt am	21.09.2012 12:48	Probenahme	21.09.2012 12:45
Aufgabenstellung	Überprüfung Kennwerte		
Interne Information	Projekt Vorentflammung		

Ziel/Ansatz: Studie, KV-Vergleich

Analyse	Komponente	Norm	Wert	Einheit	Grenzwerte
069701	Aussehen	Methode MK1-LBT	klar		
069601	Geruch	Methode MK1-LBT	typ		
061904	CCR (Mikroverfahren)	DIN EN ISO 10370	0,01	%M	
060102	Viskosität 40 Grad C	DIN 51562/T1	19,47	mm <sup>2</sup> /s	
060104	Viskosität 100 Grad C	DIN 51562/T1	4,373	mm <sup>2</sup> /s	
060202	Viskositätsindex	DIN ISO 2909	138		
060602	Dichte 20 Grad C (Schwingquarz)	DIN 51757	942,7	kg/m <sup>3</sup>	
064040	Additivelemente RFA	TQL-7929	x		
064004	Phosphor	TQL-7929	<3	mg/kg	
064005	Schwefel	TQL-7929	2	mg/kg	
064006	Chlor	TQL-7929	14	mg/kg	
064008	Calcium	TQL-7929	<10	mg/kg	
064017	Zink	TQL-7929	<1	mg/kg	
064019	Molybdän	TQL-7929	<1	mg/kg	
064026	Barium	TQL-7929	<2	mg/kg	
460014	ABLAGEORDNER		Projekt Vorentflammung		

Beschreibung:

- API Gr. V → „Sonder“-Grundöl
- Esteröl TMPCC (Komplex-Ester)
- Typen-Variation
- Vergleich, insbesondere mit No 31

# Literaturverzeichnis

- [1] Amann, Manfred; Alger, Terrence. *Lubricant reactivity Effects on Gasoline Spark Ignition Engine Knock*. Paper, SAE Int. J. Fuels Lubr., 2012.
- [2] Amann, Manfred; Alger, Terrence; Mehta, Darius. *Engine Operating Condition and Gasoline Fuel Composition Effects on Low-Speed Pre-ignition in High-Performance Spark Ignited Gasoline Engines*. Paper, SAE Int. J. Fuels Lubr., 2011.
- [3] Dahnz, Christoph; Han, Kyung-Man; Spicher, Ulrich; Magar, Max; Schießl, Robert, Maas, Ulrich. *Investigations on Pre-ignition in Highly Supercharged SI Engines*. Paper, SAE Int. J. Engines, 2010.
- [4] Eichlseder, Helmut; Klüting, Manfred; Piock, Walter. *Grundlagen und Technologien des Ottomotors*. Springer Verlag Wien New York, 2008.
- [5] Ernst, Roland; Münzinger, Stefan; Hanula, Barna; Schnitzler, Thomas; Geiser, Frank. *Das Phänomen Glühzündung - Ursachen, Entstehung und Vermeidung*. Artikel, MTZ, 2002.
- [6] FAIRCHILD Semiconductor. *Datenblatt Optokoppler 4N28*.
- [7] Golloch, Rainer. *Downsizing bei Verbrennungsmotoren*. Springer, 2005.
- [8] Grabner, Peter. *Potentiale eines Wasserstoffmotors mit innerer Gemischbildung hinsichtlich Wirkungsgrad, Emissionen und Leistung*. Dissertation, Technische Universität Graz, 2009.
- [9] <https://www.avl.com/avl-list-emission>. 20.09.2012.
- [10] <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/normalverteilung.html>. 30.08.2012.
- [11] <http://www.avl.com>. 20.09.2012.
- [12] [http://www.bosch-lambdasonde.de/de/lambdasonde\\_funktion.htm](http://www.bosch-lambdasonde.de/de/lambdasonde_funktion.htm). 20.09.2012.
- [13] List, Hans; Pischinger, Anton; Affenzeller, Josef; Gläser, Heinz. *Die Verbrennungskraftmaschine, Neue Folge: Lagerung und Schmierung von Verbrennungsmotoren: 8. Band*. SpringerWienNewYork, 1996.

- [14] Merker, Günter; Schwarz, Christian; Teichmann, Rüdiger. *Grundlagen Verbrennungsmotoren - Funktionsweise, Simulation, Messtechnik*. 5. Auflage, Vieweg+Teubner Verlag Wiesbaden, 2011.
- [15] o.V. <https://de.wikipedia.org/>.
- [16] Pischinger, Rudolf; Klell, Manfred; Sams, Theodor. *Thermodynamik der Verbrennungskraftmaschine*. 3. Auflage, Springer Verlag Wien New York, 2009.
- [17] Prochazka, Georg; Hofmann, Peter; Geringer, Bernhard; Willand, Jürgen; Jelitto, Christian; Schäffer, Otto. *Selbstzündungsphänomene an einem hoch aufgeladenen Ottomotor und Abhilfemöglichkeiten*. Paper, Internationales Wiener Motorensymposium, 2005.
- [18] Sasaki, Nozomi; Nakata, Koichi; Kawatake, Katsunori; Sagawa, Shunta; Watanabe, Manabu; Sone, Tadahide. *The Effect of Fuel Compounds on Pre-ignition under High Temperature and High Pressure Condition*. Paper, JSAE, Inc., 2011.
- [19] Sharp. *Datenblatt Optokoppler PC817*.
- [20] Wilfried J. Bartz. *Additive für Schmierstoffe*. Expert Verlag, 1994.
- [21] Willand, Jürgen; Daniel, Marc; Montefrancesco, Emanuela; Geringer, Bernhard; Hofmann, Peter; Kieberger, Markus. *Grenzen des Downsizing bei Ottomotoren durch Vorentflammung*. Artikel, MTZ, 2009.
- [22] Zaccardi, Jean-Marc; Duval, Laurent; Pagot Alexandre. *Development of Specific Tools for Analysis and Quantification of Pre-ignition in a Boosted SI Engine*. Paper, SAE Int. J. Engines, 2009.