



## UFOP-SCHRIFTEN | BIODIESEL & CO.

# BERICHT

Prüfstandsuntersuchungen zur Optimierung eines B100/HVO Kraftstoffgemisches für den Motorsporteinsatz

## B E R I C H T

### *Prüfstandsuntersuchungen zur Optimierung eines B100 / HVO Kraftstoffgemisches für den Motorsporteinsatz*

Auftraggeber : UFOP  
Versuch : Kraftstoffanalyse, Applikation, Festigkeitslauf  
Projekt-Nr. KST : 46 FOM 1005961  
Motortyp : VW TDI 2.0l

Die Vorentwicklung der Kraftstoffstudie wurde bei ASG Analytik-Service GmbH in Augsburg vom 11.02.2013 bis 22.02.2013 durchgeführt.

Die Motorapplikation, Kraftstoffvalidierung und Dauerlauferprobung wurden bei KST Motorenversuch in Bad Dürkheim vom 27.06.2013 bis 03.07.2013 und 31.07.2013 bis 05.08.2013 durchgeführt.

Die Versuchsdurchführung und Ergebnisse sind im folgenden, 25 Seiten umfassenden Bericht aufgeführt.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die Prüfgegenstände.  
Die Untersuchungen fanden unter Aufsicht der Unterzeichner statt.

Bad Dürkheim, 14. Februar 2014  
K S T – Motorenversuch GmbH & Co. KG

A. Feil

M. Bary

## Inhaltsverzeichnis

1.	AUFGABENSTELLUNG .....	3
2.	ZUSAMMENFASSUNG.....	4
3.	TECHNISCHE DATEN UND RANDBEDINGUNGEN .....	14
4.	MESSSTELLENPLAN.....	15
5.	VOLLASTKURVEN MOTORAPPLIKATION .....	16
5.1	VLK Blend (50 % (V/V) FAME und 50 % (V/V) NExBTL .....	16
5.2	VLK B7 fossiler Dieselkraftstoff.....	18
6.	ABGASZYKLEN NORDSCHLEIFE .....	20
6.1	Blend (50 % (V/V) FAME und 50 % (V/V) NExBTL.....	20
6.2	B7 fossiler Dieselkraftstoff .....	21
7.	PRÜFBERICHT BETRIEBSMITTELANALYSE.....	22
8.	FOTODOKUMENTATIONEN .....	23
8.1	Prüfstands Aufbau .....	23
8.2	Rennerprobung Scirocco TDI - Rmax .....	25
9.	Anhang – Vortrag Dr. Thomas Wilharm, ASG-Analytik GmbH.....	26

## 1. Aufgabenstellung

### **Kraftstoffentwicklung**

Entwicklung eines Kraftstoffs mit geringen Emissionen um im Abgasnachbehandlungssystem geringe Gegendrücke realisieren und die Baugröße optimieren zu können.

Des Weiteren einen möglichst hohen biogenen Kraftstoffanteil zu realisieren und dabei die Kennwerte der EN 590 (mit Ausnahme des FAME-Anteils) einzuhalten.

### **Motorentwicklung:**

Für die Kraftstoffstudie soll ein Diesel Hochleistungsmotor aufgebaut und das Motormanagement auf einen neuen Kraftstoff appliziert werden. Es soll bewiesen werden, dass nachhaltige Kraftstoffe leistungsfähiger und sauberer sind, als fossiler Dieselmotorkraftstoff. Die Standfestigkeit soll durch eine 24h Rennsimulation nachgewiesen werden.

### **Fahrversuch:**

Nach der Validierung des Kraftstoffs auf dem Motorenprüfstand soll der Kraftstoff im Rennbetrieb erprobt werden.

## 2. Zusammenfassung

### **Kraftstoffauswahl**

Dazu wurden Blends mit unterschiedlichen Anteilen an HVO, FAME und fossilem Dieselkraftstoff hergestellt und im ersten Schritt die EN 590 Kennwerte bestimmt (Tab. 1)

Der Vergleich mit der EN 590 Spezifikation zeigt, dass ein Blend aus 50 % (V/V) FAME und 50 % (V/V) NExBTL, die Vorgaben der Kraftstoffnorm einhält. Der rein biogene Kraftstoff, welcher aromaten- und weitgehend Schwefel frei ist, zeigt eine gute Zündwilligkeit.

Die Oxidationsstabilität konnte zudem mit der Zugabe eines Antioxidationsmittels in den Normbereich gebracht werden.



Prüfparameter	Methode	B7 CEC-RF-06 (Referenzprobe)	7% FAME 10% NEXBTL 50% MK1 33% B0	7% FAME 20% NEXBTL 30% MK1 43% B0	7% FAME 26% NEXBTL 20% MK1 47% B0	50% FAME 50% NEXBTL	70% FAME 30% NEXBTL	Grenzwerte DIN EN 590:2010-05	Einheit
ASG-ID	-	227652	227654	227655	227653	228911	228910	-	-
Cetanzahl	AFIDA	52,9	56,1	59,6	60,1	67,8	63,9	min. 51,0	-
Cetaindex	DIN EN ISO 4264	52,9	56,4	59,8	62,7	71,7	65,2	min. 46,0	-
Dichte bei 15°C	DIN EN ISO 12185	837,2	821,6	821,3	819,2	829,8	851,7	820 bis 845	kg/m³
Polycycl. Arom. KW (PAK)	DIN EN 12916	4,0	1,6	2,0	2,3	<0,1	<0,1	max. 8,0	% [m/m]
Schwefelgehalt	DIN EN ISO 20884	8	3	5	7	2	2	max. 10	mg/kg
Flammpunkt P.-M.	DIN EN ISO 2719	93	77	82	85	116	126	über 55	°C
Koksrückstand (10% D.)	DIN EN ISO 10370	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	max. 0,30	% [m/m]
Oxidastache	DIN EN ISO 6245	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	max. 0,01	% [m/m]
Wassergehalt K.-F.	DIN EN ISO 12937	<30	<30	<30	<30	61	68	max. 200	mg/kg
Gesamtverschmutzung	DIN EN 12662	3	3	2	3	2	2	max. 24	mg/kg
Korrosionswirkung auf Kupfer	DIN EN ISO 2160	1	1	1	1	1	1	Klasse 1	Korr.Grad
Oxidationsstabilität	DIN EN 15751	32,2	22,0	26,3	29,5	64**	8,2	min.20	h
HFRR (Schmierfähigkeit) bei 60°C	DIN EN ISO 12156-1	160	205	214	194	150	111	max. 460	µm
Kin. Viskosität bei 40°C	DIN EN ISO 3104	2,962	2,401	2,614	2,725	3,513	3,856	2,0 bis 4,5	mm²/s
CFPP	DIN EN 116	-21	-33	-32	-28	-24	-23	*	°C
% [V/V] aufgefangan bei 250°C		23,7	42,0	31,3	25,2	0,7	0,7	<65	% [V/V]
% [V/V] aufgefangan bei 350°C	DIN EN ISO 3405	95,3	>98	>98	>98	<98	>98	min. 85	% [V/V]
95% Punkt		348,8	332,0	331,8	331,8	345,5	350,4	max. 360	°C
Fettsäuremethylester-Gehalt	DIN EN 14078	7,0	7,0	7,0	7,0	50,0	70,0	max. 7,0	% [V/V]

\* entsprechend den jahreszeitlichen Vorgaben  
 \*\* nach Zugabe von 450 mg/kg Antioxidans

Tabelle. 1: Ergebnisse der Kraftstoffanalysen

## Analyse der Kraftstoffproben

Die sechs zu untersuchenden Kraftstoffproben werden hinsichtlich ihres Zünd- und Emissionsverhaltens mit Hilfe eines Konstantvolumen-Gerätes analysiert. Auf diese Weise kann auch mit geringen Probenmengen eine Vorauswahl geeigneter Kraftstoffe für spätere Motormessungen getroffen werden. Das bei der Verbrennung des Kraftstoffes entstehende Abgas wird sowohl über einen MicroSoot-Sensor der Firma AVL zur Bestimmung des elementaren Kohlenstoffgehaltes, als auch über einen CLD-Sensor der Firma EcoPhysics zur Analyse der Stickoxidemissionen geleitet. Beide Schadstoffe sind charakteristisch für das diffusive Verbrennungsverhalten in Dieselmotoren und beeinflussen sich bei Variation der Motorparameter über dem sogenannten Ruß-NOx-Trade-Off gegenseitig.

## Messaufbau

In folgender Schemazeichnung ist der Aufbau des Konstantvolumengerätes gezeigt. Die Basis bildet eine isochore Brennkammer, deren Innentemperatur auf bis zu 1000 K beheizt werden kann und dabei Kammerinnendrücken bis 50 bar standhält.

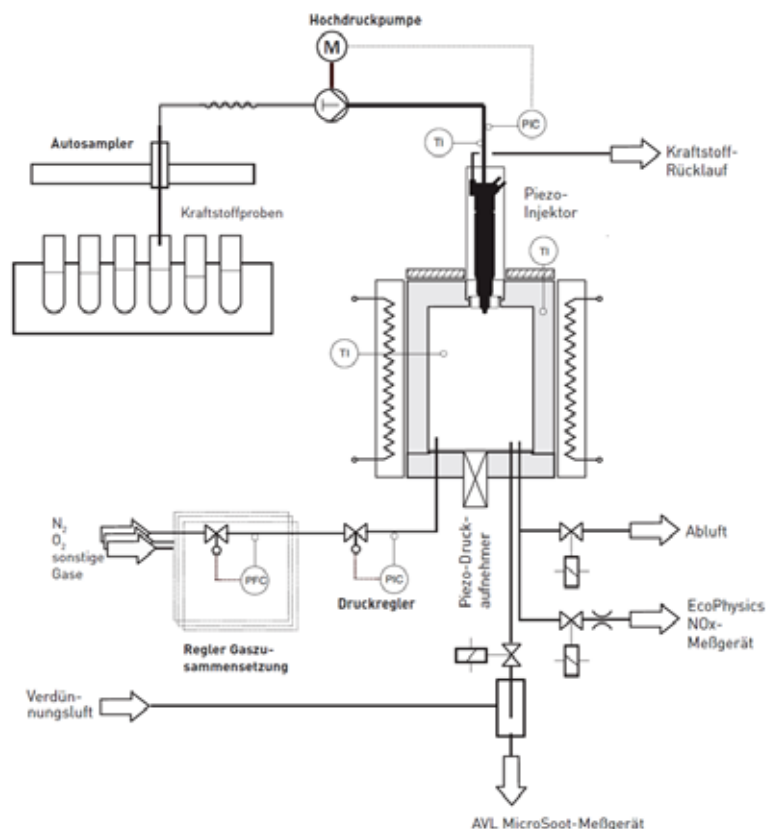


Abb. 2: Schema der Konstantvolumen-Brennkammer

Nach der vollautomatisierten Auswahl des Kraftstoffes wird dieser mit Hilfe der Hochdruckpumpe auf bis zu 1200 bar verdichtet und zum Injektor gefördert. Die 8-Loch Piezo-Einspritzdüse entspannt die Probe in die beheizte und unter Druck stehende Brennkammer. Der Kraftstoff entflammt und verbrennt unter hohen Druckanstiegsgeschwindigkeiten im Inneren der Kammer. Nach der Bestimmung des Zündverzuges kann daraus die Cetanzahl berechnet werden. Das bei der Verbrennung entstehende Abgas wird über beheizte Rohrleitungen zu den beiden Analysegeräten geführt.

### Ergebnisse der Zündverzugsmessungen

Aus den während der Verbrennung aufgezeichneten Kammerdruckverläufen, können die Zündverzugszeiten der einzelnen Kraftstoffe bestimmt werden. Dabei beinhaltet die Zeit, die vom Bestromungsbeginn des Injektors bis zum Einsetzen eines merklichen Druckanstieges vergeht, hydraulischen, physikalischen und chemischen Zündverzug einer jeden Testsubstanz. Um aus dieser Messgröße die Cetanzahl zu berechnen, wird die Apparatur im Vorfeld einmalig mit fünf Mischungen aus primären Standards (n-Hexadekan, 1-Methylnaphtalin) bekannter Cetanzahl kalibriert. Dies resultiert in einer direkten Korrelation des Zündverzuges mit der Cetanzahl (nachfolgende Abbildung).

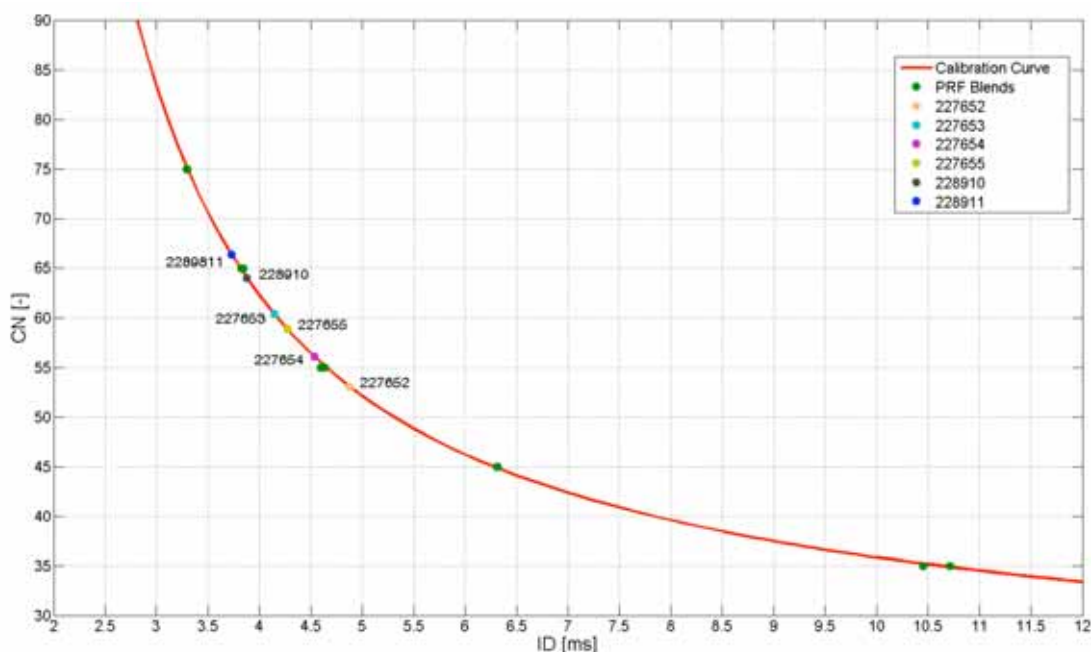


Abb. 3: Kalibrierkurve mit PRF-Mischungen und Testkraftstoffen



Die Cetanzahlen sind Tabelle 1 zu entnehmen. Mit steigendem Gehalt an paraffinischen Bestandteilen (NExBTL) erhöht sich die gemessene Cetanzahl.

### **Ergebnisse der Rußmessungen**

Das globale Verbrennungsluftverhältnis wird in der Brennkammer herabgesetzt, da für eine aussagekräftige Bewertung der Messergebnisse eine ausreichend hohe Rußmenge erzeugt werden muss. Ähnlich dem Verbrennungsmotor erreicht man im Bereich des stöchiometrischen Verhältnisses die größten Rußkonzentrationen im Abgas. Das Herabsetzen des Verbrennungsluftverhältnisses kann entweder über die Menge des eingespritzten Kraftstoffes oder über die Zusammensetzung der Verbrennungsluft erfolgen. Im hier gezeigten Fall wird es über eine Beimischung von 4 vol% Sauerstoff zu Stickstoff realisiert. Mit der eingespritzten Kraftstoffmasse von ca. 75 mg ergibt sich ein ausreichend niedriges Verbrennungsluftverhältnis im Bereich von 1.

Da die Zündverzugszeiten im Vergleich zum Verbrennungsmotor unter diesen Bedingungen deutlich länger sind, spielt die unterschiedliche Homogenisierung des Kraftstoff-Luft-Gemisches bis zur Entflammung eine entscheidende Rolle. Mit kurzen Zündverzugszeiten ergibt sich demnach eine schlechte Homogenisierung und damit ein erhöhter Rußausstoß. Um diesen Effekt zu eliminieren und die Vergleichbarkeit zu erhöhen, wird durch Variation der Brennkammertemperatur der Zündverzug der einzelnen Kraftstoffe untereinander auf +/- 4 % und damit annähernd konstant gehalten (s. Balkendiagramm).

Die Ergebnisse der Rußmessungen zeigen sowohl den Einfluss des kraftstoffgebundenen Sauerstoffes, als auch des Aromatengehaltes deutlich. Im Vergleich zum fossilen Dieselkraftstoff erreicht die Mischung 227652 durch die Zumischung von FAME eine Rußreduktion um mehr als 70 %. Der zusätzliche Einsatz von aromatenarmen Komponenten in den Mischungen 227654, 227655 und 227653 reduziert den Rußausstoß im Vergleich zur Referenzmischung 227652 noch einmal um ca. 90 %. Die beiden Kraftstoffmischungen 228911 und 228910 weisen aufgrund ihres hohen Sauerstoffgehaltes und des aromatenfreien, hydrierten Pflanzenöles den mit Abstand geringsten Rußausstoß auf.

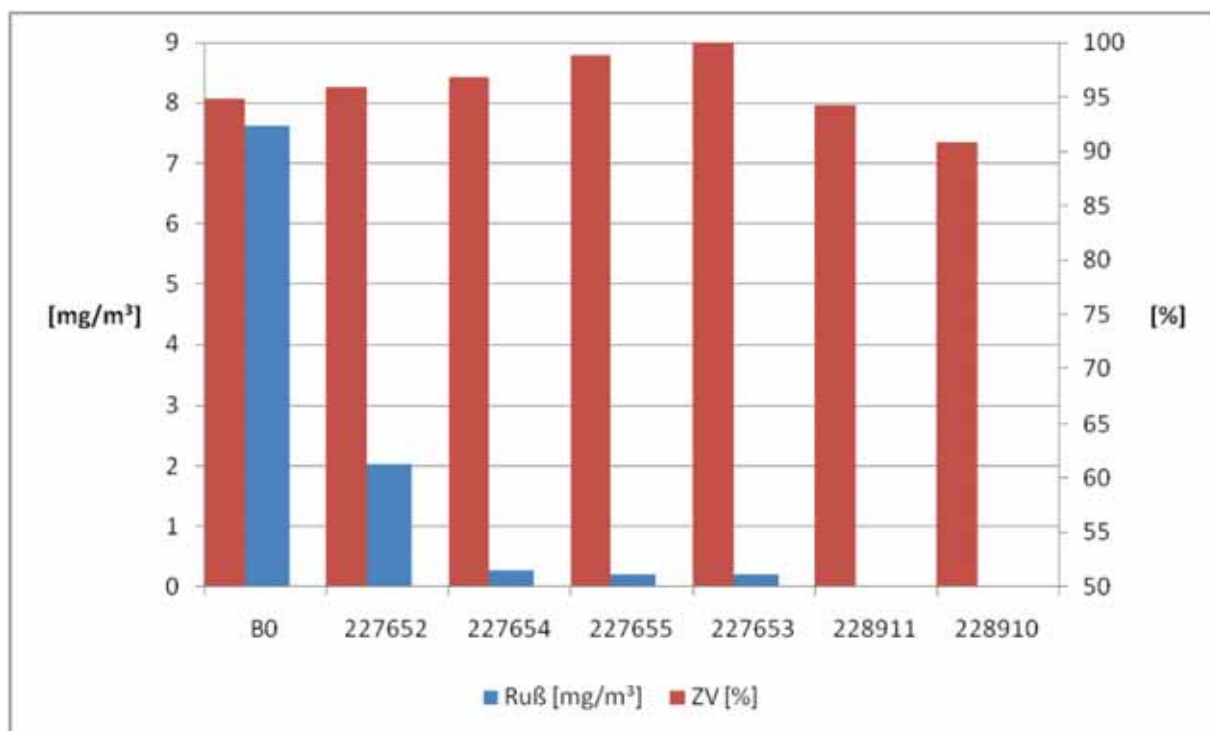


Abb. 4: gemessene Rußemissionen und normierte Zündverzugszeiten der Kraftstoffmischungen

### Ergebnisse der Stickoxidmessungen

Die Messung der Stickoxidemissionen erfolgt bei gleichen Kammerbedingungen wie die der Rußanalyse. Hier jedoch wird auf einen reduzierten Sauerstoffgehalt verzichtet und stattdessen der Kraftstoff unter Druckluftbedingung verbrannt. Dies hat zur Folge, dass die Zündverzugszeiten aller Kraftstoffe im Bereich von 2-3 ms liegen und deshalb kein gesondertes Augenmerk auf eine unterschiedliche Homogenisierung des Kraftstoff-Luft-Gemisches gelegt werden muss. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen werden bei gleicher eingespritzter Kraftstoffmenge auf den Heizwert der jeweiligen Probe bezogen und normiert (nachfolgendes Diagramm).

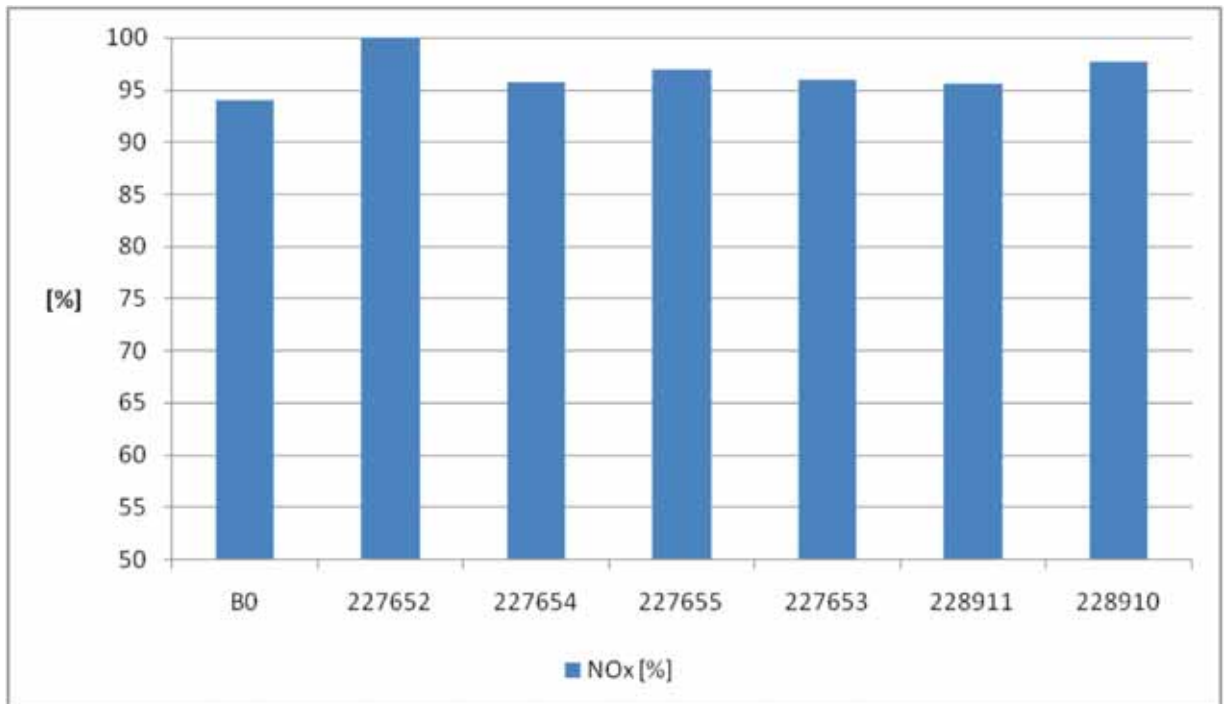


Abb. 5: heizwertbezogene, normierte NO<sub>x</sub>-Emissionen der Kraftstoffmischungen

Der Einfluss der Kraftstoffzusammensetzung auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen im vorliegenden Fall ist gering. Erfahrungsgemäß steigt der Messwert der Mischungen im Vergleich zum fossilen Diesel durch den kraftstoffgebundenen Sauerstoff leicht an. Da das Verbrennungsluftverhältnis in der Brennkammer hoch ist, macht sich dieser Effekt nicht so deutlich bemerkbar, wie es in einem Verbrennungsmotor der Fall ist. Messwertunterschiede von +/- 3 % sind bedingt durch das Messverfahren und die äußerst sensible Stickoxidentstehung normal.

## Motorapplikation

Der Motor verfügt über eine freiprogrammierbare Motorsteuerung von Sybele.

Im Rahmen der Entwicklung wurden zunächst Applikationen programmiert, die einen Betrieb mit unterschiedlichen Kraftstoffmischungen ermöglicht.

Applizierte Sonderfunktionen:

Überwachung Abgastemperatur:

Die Abgastemperatur wird von der Motorsteuerung ständig überwacht und bei Erreichen eines fest definierten Grenzwerts die Einspritzmenge zurückgenommen. Damit ist sichergestellt, dass die variable Turbinengeometrie (VTG) nicht zu klemmen beginnen kann, bzw. beschädigt wird.

Überwachung Abgasturbolader:

Der Verdichter des Abgasturboladers ist mit einem Drehzahlsensor ausgestattet. Ab einer definierten Mindestdrehzahl schaltet die Motorsteuerung von der Ladedruck-Druckregelung in die Ladedruck-Drehzahlregelung um, somit ist sichergestellt, dass der Turbolader ständig im optimalen Bereich läuft und nicht überdrehen kann.

Der Motor wurde auf das ausgewählte Blend (50% (V/V) FAME und 50 (V/V) NEx-BTL) abgestimmt und eine Vollastkurve gefahren. Danach wurde die Vollastkurve mit fossilem Diesel und unveränderter Motorapplikation wiederholt. Mit fossilem Diesel wurde bei gleicher Motorabstimmung deutlich mehr Ruß produziert.

### Kraftstoffvalidierung auf dem Motorenprüfstand

Für die Validierung des ausgewählten Blend (50 % (V/V) FAME und 50 % (V/V) NExBTL) wurde zunächst ein Messzyklus definiert. Um ein möglichst realistisches Vergleich darzustellen, wurde ein original Fahrprofil von einer Runde Nordschleife ausgewählt.

Der Zyklus wurde mit dem ausgewählten Blend und mit fossilem Dieselkraftstoff erprobt.

### Blend (50 % (V/V) FAME und 50 % (V/V) NExBTL:

Gesamtergebnis	HC	CO	Nox	CO2	NO2
g/kWh	0,01	5,53	5,4	637,4	0,38
			<b>BH</b>	<b>BE</b>	
			27,1 kg/h	243,4 g/kWh	
			<b>Partikelkonzentration</b>	<b>Partikelanzahl</b>	
			71,1 mg/m <sup>3</sup>	378,8 10 <sup>6</sup> /cm <sup>3</sup>	

### B7 Dieselkraftstoff:

Gesamtergebnis	HC	CO	Nox	CO2	NO2
g/kWh	0,04	6,95	5,22	653,9	0,3
			<b>BH</b>	<b>BE</b>	
			25,4 kg/h	235,0 g/kWh	
			<b>Partikelkonzentration</b>	<b>Partikelanzahl</b>	
			91,9 mg/m <sup>3</sup>	502,5 10 <sup>6</sup> /cm <sup>3</sup>	

Es konnten die Ergebnisse der vorangegangenen Kraftstoffanalyse bestätigt werden. Eine deutliche Rußreduktion des ausgewählten Blend gegenüber fossilem Dieselkraftstoff.

## **24h Festigkeitslauf**

Für den Dauerlauf wurden die Messdaten aus dem Fahrzeug ausgelesen und in den Prüfstand eingelesen. Für die Simulation wurden Gaspedalstellung und Motordrehzahl mit einer Frequenz von 10Hz verarbeitet. Dadurch ist eine sehr genaue Abbildung des Fahrprofils auf dem Prüfstand möglich. Alle 8 Runden wurde ein Boxenstopp von 2 Minuten simuliert, um ein 24h Rennen möglichst realistisch nachzubilden. Während dem gesamten Prüfstandslauf gab es kein Ausfall der Kraftstoffrelevanten Bauteile.

## **Kraftstoffprüfung im Rennbetrieb**

Nach dem Prüfstandslauf wurde der Kraftstoff im Fahrversuch erprobt. Der Prüfstandsmotor wurde nach der Befundung in ein Rennfahrzeug eingebaut. Es wurden 3 Rennen im Langstreckenpokal VLN auf dem Nürburgring gefahren, 2 x 4h Rennen und ein 6h Rennen. Nach jedem Rennen wurden Öl und Kraftstoffproben zur weiteren Analyse gezogen.

Das Fahrzeug startete in der Klasse der alternativen Kraftstoffe und alle 3 Rennen wurden erfolgreich mit einem Klassensieg beendet.

Während der gesamten Erprobung gab es kein Ausfall der Kraftstoffrelevanten Bauteile.

## **Analyse der Kraftstoff- und Ölproben.**

Während der Prüfstandserprobung und nach jedem Rennen wurden regelmäßig Kraftstoff- und Ölproben gezogen und analysiert, Motoröl nach ASTM D 7169 und Kraftstoff nach DIN EN 15751.



### 3. Technische Daten und Randbedingungen

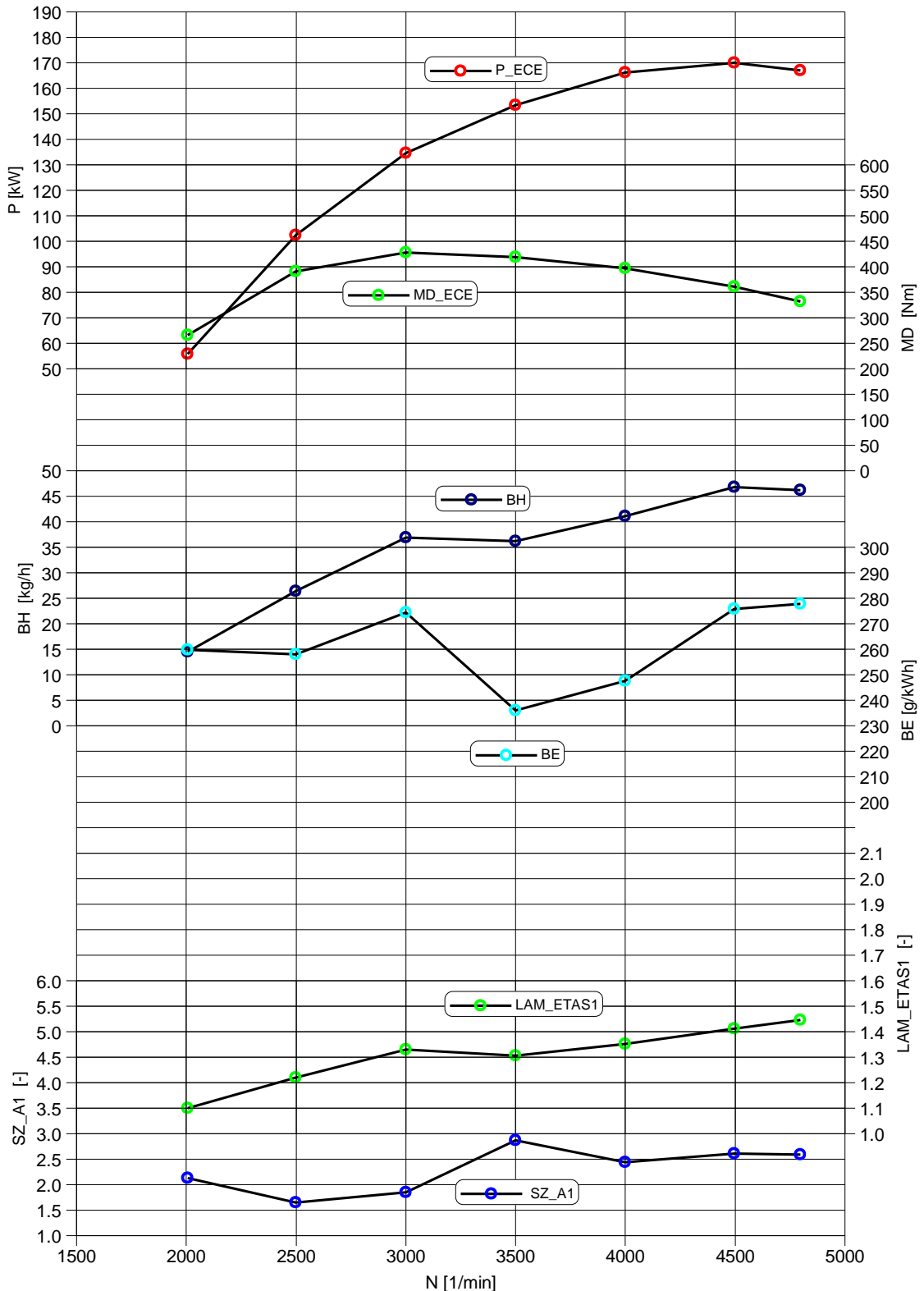
Auftraggeber	:	UFOP Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e.V. Haus der Land- und Ernährungswirtschaft Claire-Waldoff-Straße 7 D-10117 Berlin
Ansprechpartner	:	Herr Dieter Bockey ☎ +49 (30) 319 042 02
Auftragnehmer	:	KST-Motorenversuch GmbH & Co. KG Industriegebiet D-67098 Bad Dürkheim
Sachbearbeiter	:	Herr Dipl.-Ing. Marc Bary Abt. KGV4 ☎ +49 (6322) 799-388
Projekt-Nr. KST	:	49 FOM 1005961
Dauerlaufprogramm	:	Nordschleifenprofil
Laufzeit	:	24 h
Motortyp	:	VW TDI 2.0l
Kraftstoff	:	Rmax

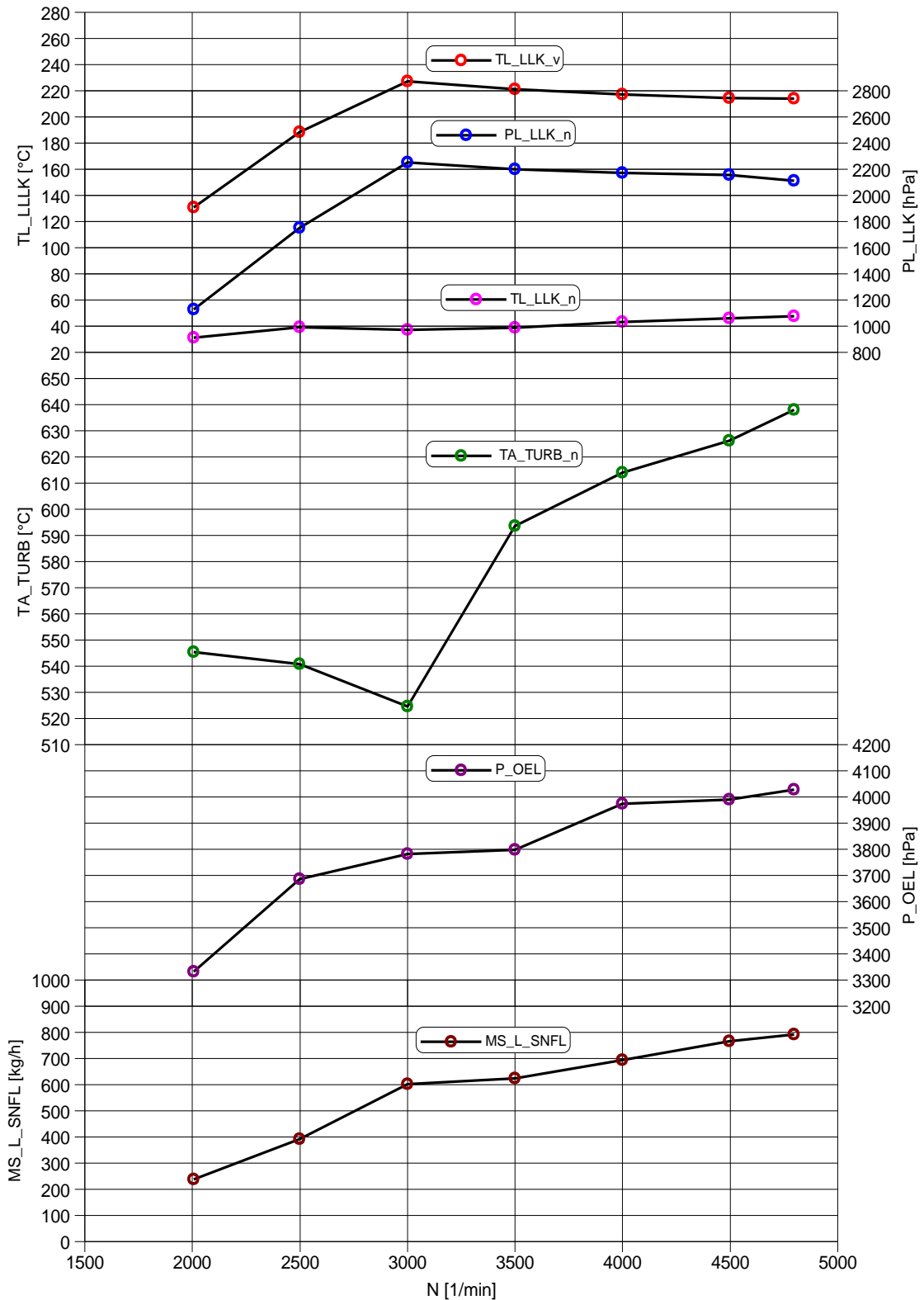
## 4. Messstellenplan

Kurzzeichen	Messstelle
N	Motordrehzahl
MD_ECE	Korrigiertes Drehmoment
P_ECE	Korrigierte Leistung
BH	Kraftstoffverbrauch
BE	Spezifischer Kraftstoffverbrauch
LAM_ETAS1	Lambda
SZ_A1	Rußzahl
TL_LLK_v	Temperatur vor Ladeluftkühler
TL_LLK_n	Temperatur nach Ladeluftkühler
PL_LLK_n	Ladedruck nach Ladeluftkühler
TA_TURB_n	Abgastemperatur nach Turbine
P_OEL	Öldruck
MS_L_SNFL	Luftmasse

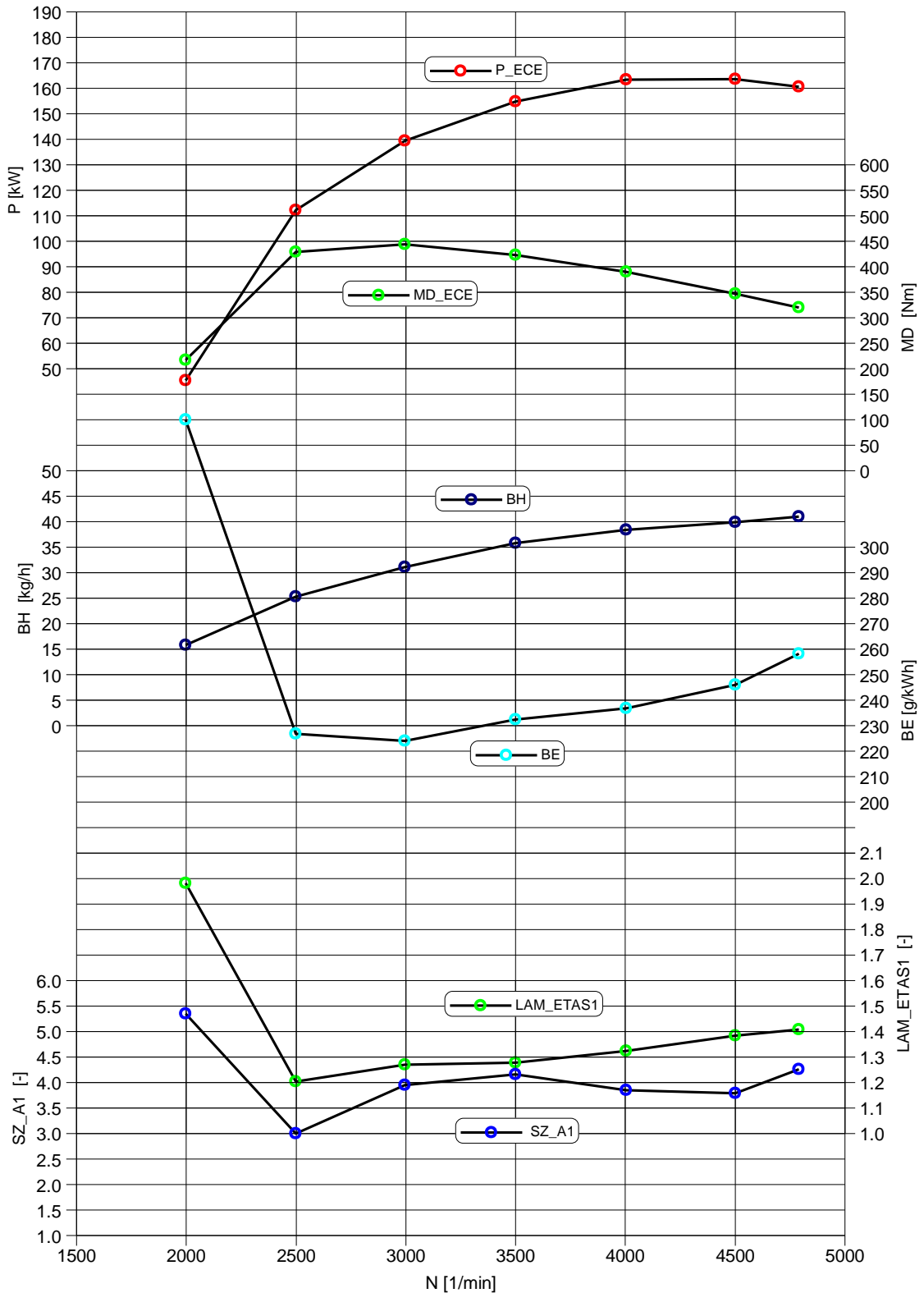
## 5. Volllastkurven Motorapplikation

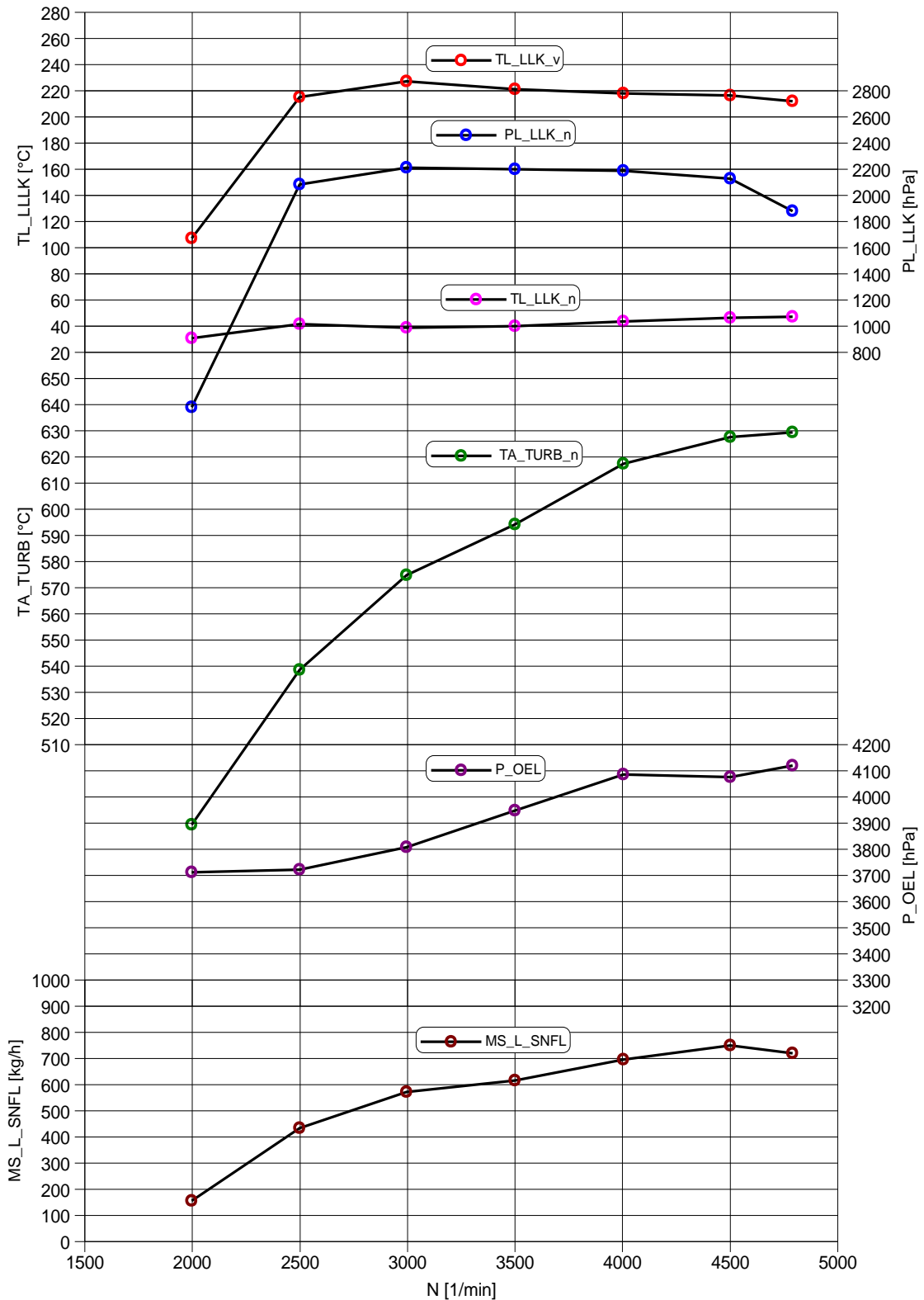
### 5.1 VLK Blend (50 % (V/V) FAME und 50 % (V/V) NExBTL





## 5.2 VLK B7 fossiler Dieselkraftstoff







## 6. Abgaszyklen Nordschleife

### 6.1 Blend (50 % (V/V) FAME und 50 % (V/V) NExBTL

Kraftstoffkenngrößen	Sorte:	Rmax	kf
wALF		13,7	0,789106074
wBET		81,1	A_min
wGAM		0,001	13,77535767
wDEL		0	
wEPS		5,2	

Zyklusarbeit	111,3 kWh
Übersetzung Getriebe	1

durchschnittliche Arbeit	kWh	111,3
Drehzahl	1/min	3895,5
Drehmoment	Nm	259,7
unkorrigierte Leistung	kWh	109
Kühlmitteltemperatur Motoreingang	°C	80,6
Kühlmitteltemperatur Motorausgang	°C	90,1
Ansauglufttemperatur vor Luftfilter	°C	24,1
Feuchte Ansaugluft	%	35,5
Ladelufttemperatur nach Ladeluftkühler	°C	36,9
Abgastemperatur nach Turbine	°C	543,1
Abgasgegenstand nach Turbine	hPa	154
Umgebungsluftdruck	hPa	1011
Partialdruck Wasserdampf	hPa	11
Luftmassendurchsatz	kg/h	558,3
Abgasmassendurchsatz	kg/h	585,3
Lambda	-	2,909
Kraftstoffverbrauch (Lambda)	kg/h	27,1
spez. Kraftstoffverbrauch	g/kWh	248,4
fa	-	0,99
kwr	-	0,92
Kh	-	0,93
Ha	-	6,63
HC [g/h]	g/h	1,63
CO [g/h]	g/h	615,58
Nox [g/h]	g/h	600,43
NO [g/h]	g/h	361,37
NO2 [g/h]	g/h	42,74
CO2 [g/h]	g/h	70918,37
HC [g/kWh]	g/kWh	0,01
CO [g/kWh]	g/kWh	5,53
NOx [g/kWh]	g/kWh	5,4
NO [g/kWh]	g/kWh	3,25
NO2 [g/kWh]	g/kWh	0,38
CO2 [g/kWh]	g/kWh	637,42
Partikelkonzentration	mg/m³	71,05
Partikelanzahl	10 <sup>6</sup> /cm³	378,8



Gesamtergebnis	HC	CO	Nox	CO2	NO2
g/kWh	0,01	5,53	5,4	637,4	0,38
	BH		BE		
	27,1 kg/h		243,4 g/kWh		
	Partikelkonzentration		Partikelanzahl		
	71,1 mg/m³		378,8 10 <sup>6</sup> /cm³		

## 6.2 B7 fossiler Dieselkraftstoff

Kraftstoffkenngrößen	Sorte: B7 Diesel	kf
wALF	13,73	0,753825123
wBET	86,27	A_min
wGAM	0,001	14,60341759
wDEL	0	
wEPS	0	

Zyklusarbeit	108 kWh
Übersetzung Getriebe	1

durchschnittliche Arbeit	kWh	108
Drehzahl	1/min	3893,4
Drehmoment	Nm	255,6
unkorrigierte Leistung	kWh	106,1
Kühlmitteltemperatur Motoreingang	°C	73,5
Kühlmitteltemperatur Motorausgang	°C	80,5
Ansauglufttemperatur vor Luftfilter	°C	29,7
Feuchte Ansaugluft	%	36,3
Ladelufttemperatur nach Ladeluftkühler	°C	37,6
Abgastemperatur nach Turbine	°C	545,2
Abgasgegendruck nach Turbine	hPa	151
Umgebungsluftdruck	hPa	999
Partialdruck Wasserdampf	hPa	15
Luftmassendurchsatz	kg/h	545,3
Abgasmassendurchsatz	kg/h	570,6
Lambda	-	2,938
Kraftstoffverbrauch (Lambda)	kg/h	25,4
spez. Kraftstoffverbrauch	g/kWh	239,1
fa	-	1,03
kwr	-	0,92
Kh	-	0,96
Ha	-	9,55
HC [g/h]	g/h	4,36
CO [g/h]	g/h	750,94
Nox [g/h]	g/h	563,33
NO [g/h]	g/h	347,92
NO2 [g/h]	g/h	31,93
CO2 [g/h]	g/h	70625,77
HC [g/kWh]	g/kWh	0,04
CO [g/kWh]	g/kWh	6,95
NOx [g/kWh]	g/kWh	5,22
NO [g/kWh]	g/kWh	3,22
NO2 [g/kWh]	g/kWh	0,3
CO2 [g/kWh]	g/kWh	653,9
Partikelkonzentration	mg/m³	91,88
Partikelanzahl	10 <sup>6</sup> /cm³	502,46



Gesamtergebnis	HC	CO	Nox	CO2	NO2
g/kWh	0,04	6,95	5,22	653,9	0,3
	BH		BE		
	25,4 kg/h		235,0 g/kWh		
	Partikelkonzentration		Partikelanzahl		
	91,9 mg/m³		502,5 10 <sup>6</sup> /cm³		

## 7. Prüfbericht Betriebsmittelanalyse

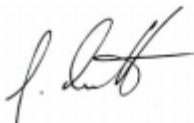
ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH  
 Trentiner Ring 30 • 86356 Neusäss

KST Motorenversuch GmbH & Co. KG  
 Bruchstraße 24-32  
 67098 Bad Dürkheim

Ihr Zeichen :  
 Ihr Auftrag :  
 Ihr Auftrag vom :  
 Eingegangen am : 02.12.2013  
 Probenahme : Kunde  
 Prüfbericht vom : 23.12.2013  
 Seite : 1 von 1

### — Prüfbericht : 217789

Prüfmuster	ASG-ID	Prüfparameter	Prüfmethode	Prüfergebnis	Einheit
Motoröl Prüfstand 46, 01.08.2013	246728	Diesel-Anteil	ASTM D 7169	<0,5	% [m/m]
		Biodiesel-Anteil		<0,5	% [m/m]
		Pflanzenöl-Anteil		<0,5	% [m/m]
Motoröl Prüfstand 46, 02.08.2013	246729	Diesel-Anteil	ASTM D 7169	<0,5	% [m/m]
		Biodiesel-Anteil		<0,5	% [m/m]
		Pflanzenöl-Anteil		<0,5	% [m/m]
Motoröl Prüfstand 46, 05.08.2013	246730	Diesel-Anteil	ASTM D 7169	<0,5	% [m/m]
		Biodiesel-Anteil		<0,5	% [m/m]
		Pflanzenöl-Anteil		<0,5	% [m/m]
Motoröl 4h Rennen, 26.10.2013	246731	Diesel-Anteil	ASTM D 7169	<0,5	% [m/m]
		Biodiesel-Anteil		<0,5	% [m/m]
		Pflanzenöl-Anteil		<0,5	% [m/m]
Rmax Prüfstand 46 31.07.2013	246732	Oxidationsstabilität	DIN EN 15751	13,7	h
Rmax Prüfstand 46 02.08.2013	246733	Oxidationsstabilität	DIN EN 15751	20,9	h
Rmax Prüfstand 46 05.08.2013	246734	Oxidationsstabilität	DIN EN 15751	17,9	h
Rmax 4h Rennen, 26.10.2013	246735	Oxidationsstabilität	DIN EN 15751	4,0	h



J. Bernath [Technischer Leiter]

Dieser Prüfbericht bezieht sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfmuster und darf nicht ohne Genehmigung des Prüflaboratoriums [www.asg-analytik.de](http://www.asg-analytik.de) vervielfältigt werden. Aufbewahrung der Prüfmuster: 6 Wochen ab Datum des Prüfberichts. Weitere Informationen siehe allg. Geschäftsbedingungen unter [www.asg-analytik.de](http://www.asg-analytik.de)

ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH  
 Trentiner Ring 30  
 D-86356 Neusäss

telefon 0049 821 450423-0  
 fax 0049 821 486 25 19  
 e-mail [info@asg-analytik.de](mailto:info@asg-analytik.de)

Geschäftsführer:  
 Dr. Thomas Wiltharm  
 Amtsgericht Augsburg HRB 12297

## 8. Fotodokumentationen

### 8.1 Prüfstands Aufbau







## 8.2 Rennerprobung Scirocco TDI - Rmax





---

# **Untersuchungen zu Rennkraftstoffen HVO und FAME Blends**

## **UFOP Fachkommission 11.06.2013**

**Thomas Wilharm / Philipp Seidenspinner**

---

---

# Inhalt

- Motivation
- EN 590 Ergebnisse der ausgewählten Blends
- Emissionsmessungen
- Messergebnisse
- Zusammenfassung

## Motivation

- Die UFOP und Neste Oil fördern gemeinsam das Team Four Motors, rund um den bekannten Künstler Smudo und
- Es soll ein Kraftstoff mit „hohem“ biogenen Anteil gefahren werden, der die Grenzwerte der EN 590 (ohne den 7% FAME –Anteil) einhält.
- Ziel der Projekts war die Auswahl eines geeigneten Blends

## EN 590 Parameter der ausgewählten Kraftstoffe

Prüfparameter	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	Cetanzahl	Cetan-Index	PAK [% (m/m)]	Flamm- punkt P.-M. [°C]
Prüfmethode	DIN EN ISO 12185	AFIDA	DIN EN ISO 4264	DIN EN 12916	DIN EN ISO 2719
Grenzwerte E DIN EN 590:2011-10	820,0 bis 845,0	min. 51,0	min. 46,0	max. 8	über 55
<b>Probe</b>					
7% FAME in CEC-RF-06 - Referenzprobe	837,2	52,9	55,4	4,0	93
7% FAME + 10% NextBTL + 50% MK1 + 33% B0	821,6	56,1	56,4	1,6	77
7% FAME + 20% NextBTL + 30% MK1 + 43% B0	821,3	58,6	59,8	2,0	82
7% FAME + 26% NextBTL + 20% MK1 + 47% B0	819,2	60,1	62,7	2,3	85
Rmax 50% FAME + 50% NextBTL	829,8	68,3	71,7	<0,1	116
70% FAME + 30% NextBTL	851,7	63,9	65,2	<0,1	126

## EN 590 Parameter der ausgewählten Kraftstoffe

Prüfparameter	Wasser- gehalt K.-F. [mg/kg]	Oxidationsst- abilität [h]	HFRR (Lubricity) 60 °C [µm]	Aufgefa- ngen bei 250 °C [% (V/V)]	Aufgefa- ngen bei 350 °C [% (V/V)]
Prüfmethode	DIN EN ISO 12937	DIN EN 15751	DIN EN ISO 12156-1	DIN EN ISO 3405	DIN EN ISO 3405
Grenzwerte E DIN EN 590:2011-10	max. 200	min. 20	max. 460	< 65	min. 85
<b>Probe</b>					
7% FAME in CEC-RF-06 - Referenzprobe	<30	32,2	160	23,7	95,3
7% FAME + 10% NextBTL + 50% MK1 + 33% B0	<30	22,0	205	42,0	>98
7% FAME + 20% NextBTL + 30% MK1 + 43% B0	<30	26,3	214	31,3	>98
7% FAME + 26% NextBTL + 20% MK1 + 47% B0	<30	29,5	194	25,2	>98
Rmax 50% FAME + 50% NextBTL	61	10,3*	150	0,7	>98
70% FAME + 30% NextBTL	68	8,2	111	< 1	>98

## EN 590 Parameter der ausgewählten Kraftstoffe

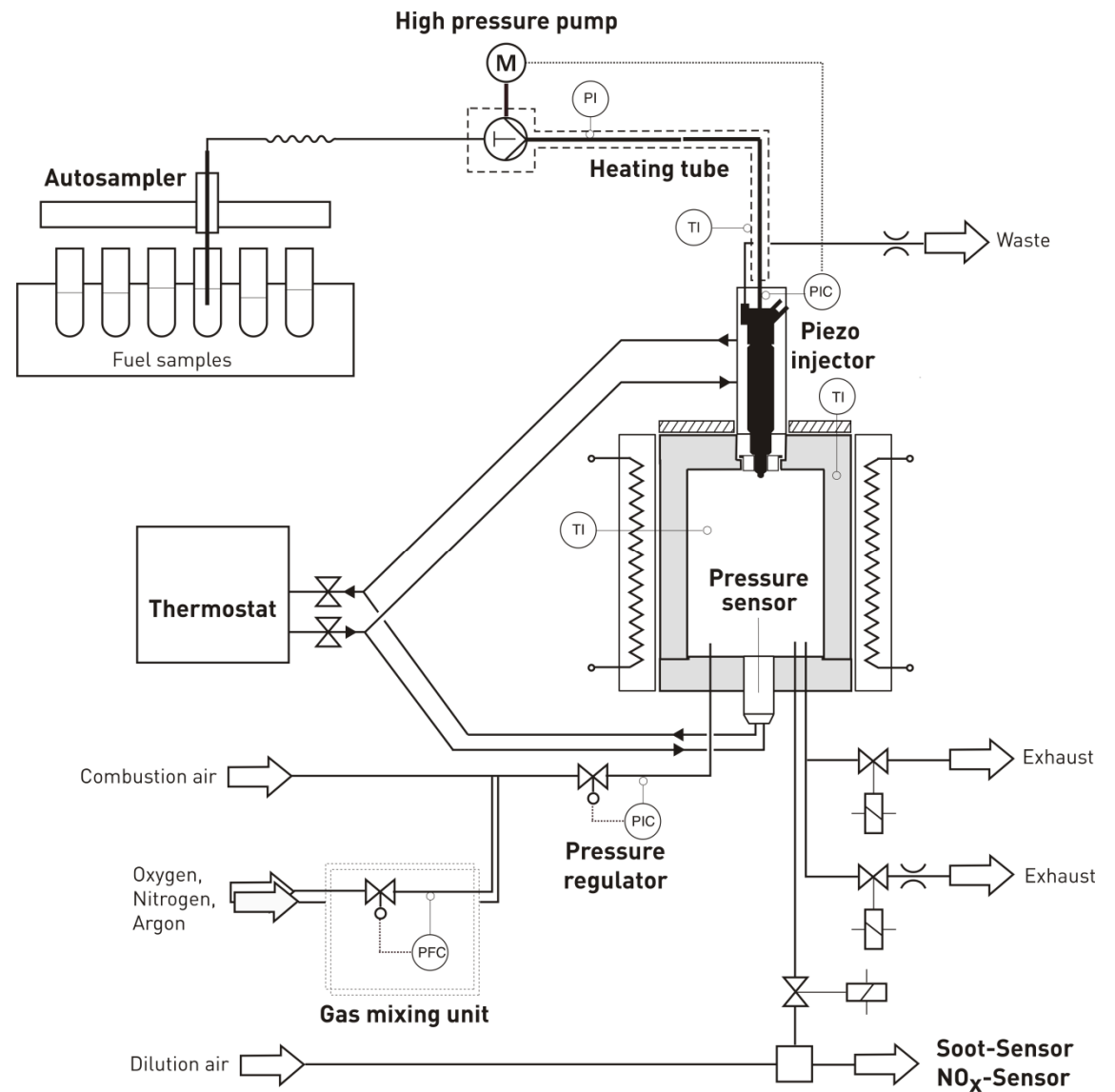
Prüfparameter	95 % (V/V) aufgefangen bei	CFPP [°C]	Kin. Viskosität (40 °C)	Oberflächen- spannung (20°C) [mN/m]
Prüfmethode	DIN EN ISO 3405	EN 116	DIN EN ISO 3104	ISO 304
Grenzwerte E DIN EN 590:2011-10	max. 360	*	2,00 bis 4,50	-
<b>Probe</b>				
7% FAME in CEC-RF-06 - Referenzprobe	348,8	-21	2,962	28.42
7% FAME + 10% NextBTL + 50% MK1 + 33% B0	332,0	-33	2,401	27,57
7% FAME + 20% NextBTL + 30% MK1 + 43% B0	331,8	-32	2,614	27,57
7% FAME + 26% NextBTL + 20% MK1 + 47% B0	331,8	-28	2,725	27,46
Rmax 50% FAME + 50% NextBTL	345,5	-24	3,513	28,58
70% FAME + 30% NextBTL	350,4	-23	3,856	29,18

\* National unterschiedliche Grenzwerte

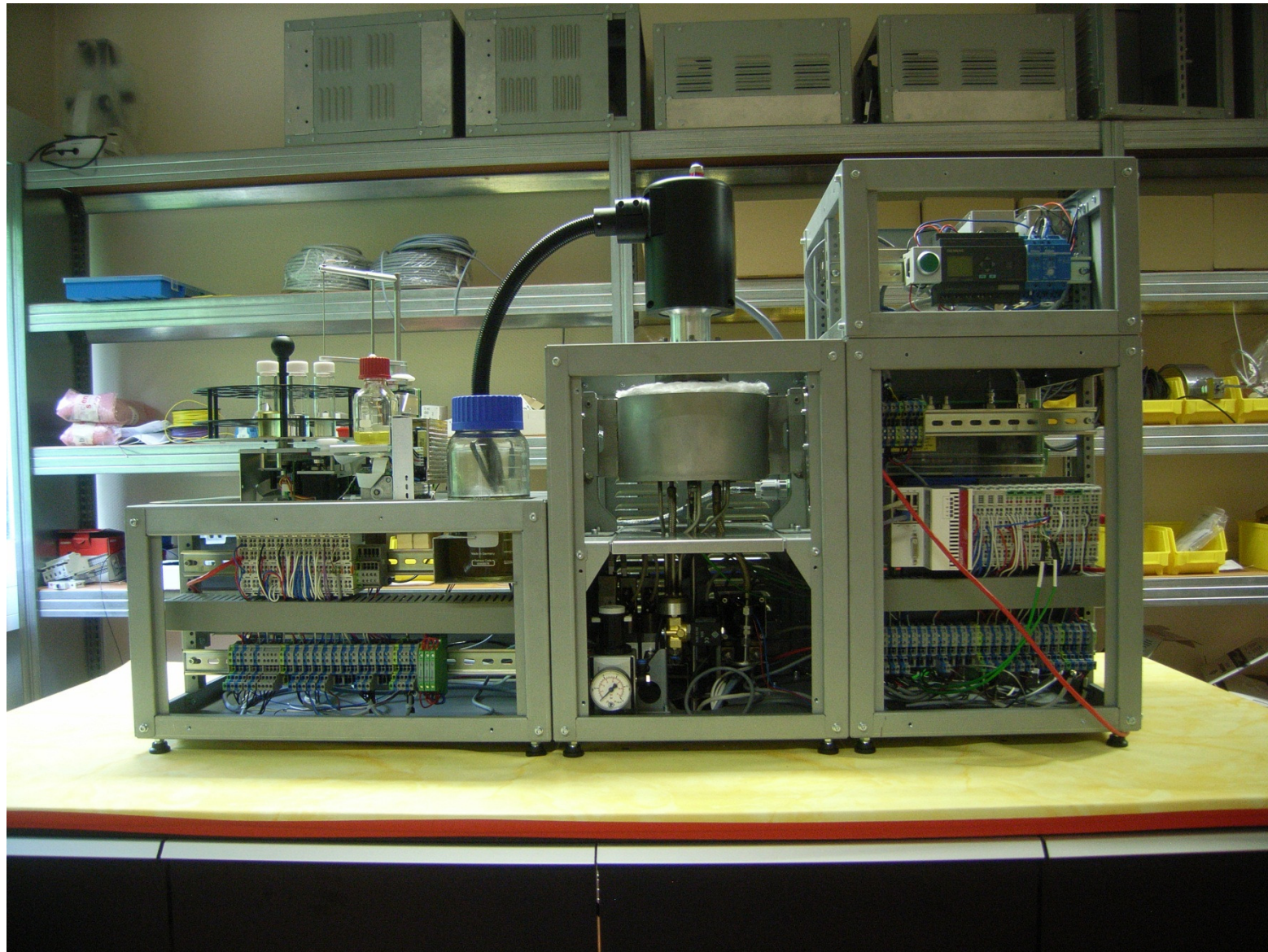
# Emissionsmessungen



# Testaufbau



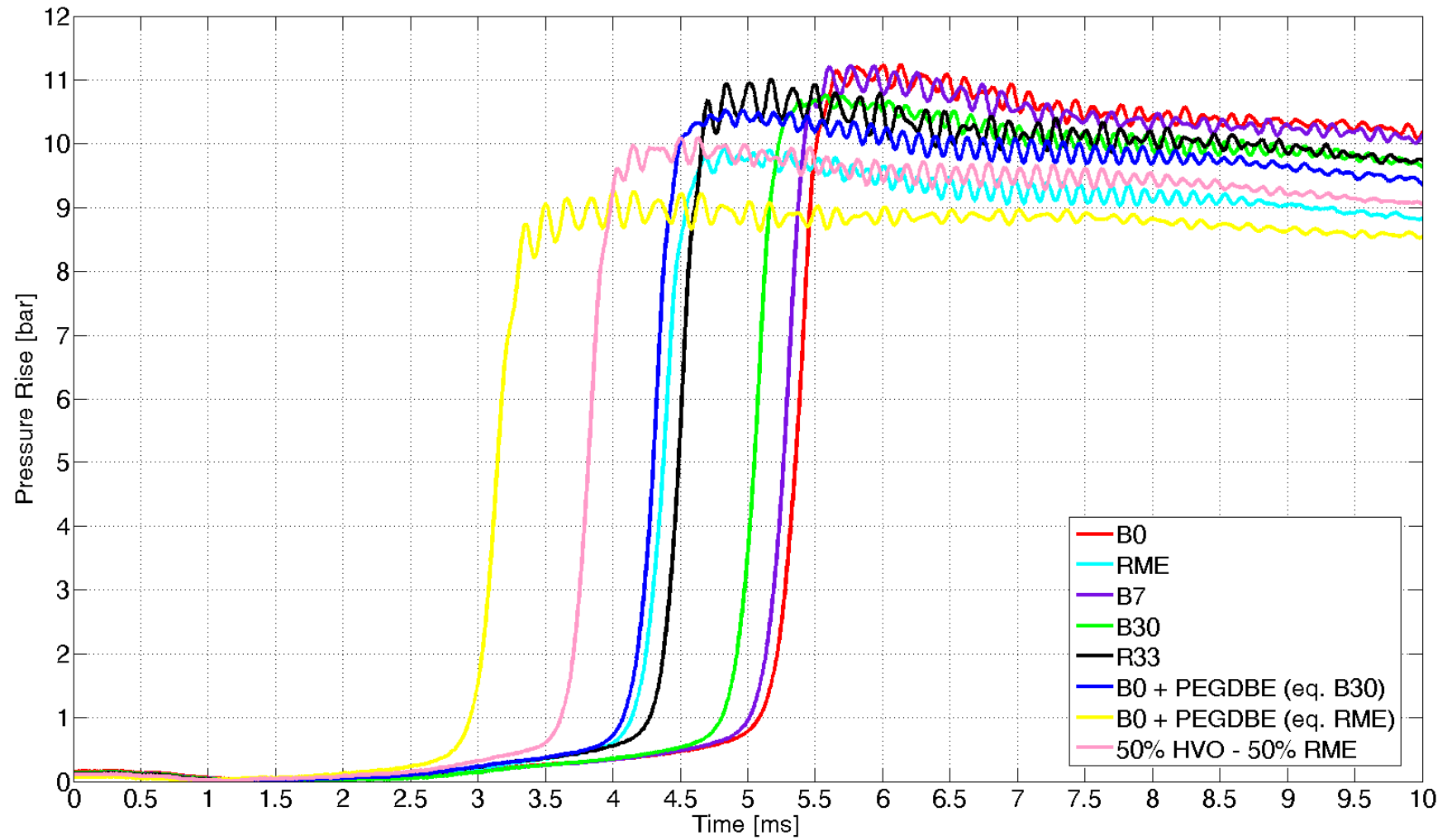




## Ausgewählte Kraftstoffe für Cetanzahl- und Emissionsmessungen

- B0 Referenz CEC RF 06
- B7
- B30
- B100 (RME)
- R33 26 % HVO, 7 % FAME, 67 % B0
- 50 % FAME – 50 % HVO
- B0 + Polyethylenglycol-dibutylether (Beispiel für ein Oxygenat)
  - Blended to B0 mit gleichen O<sub>2</sub> Massenanteil wie B30
  - Blended to B0 mit gleichen O<sub>2</sub> Massenanteil wie as RME

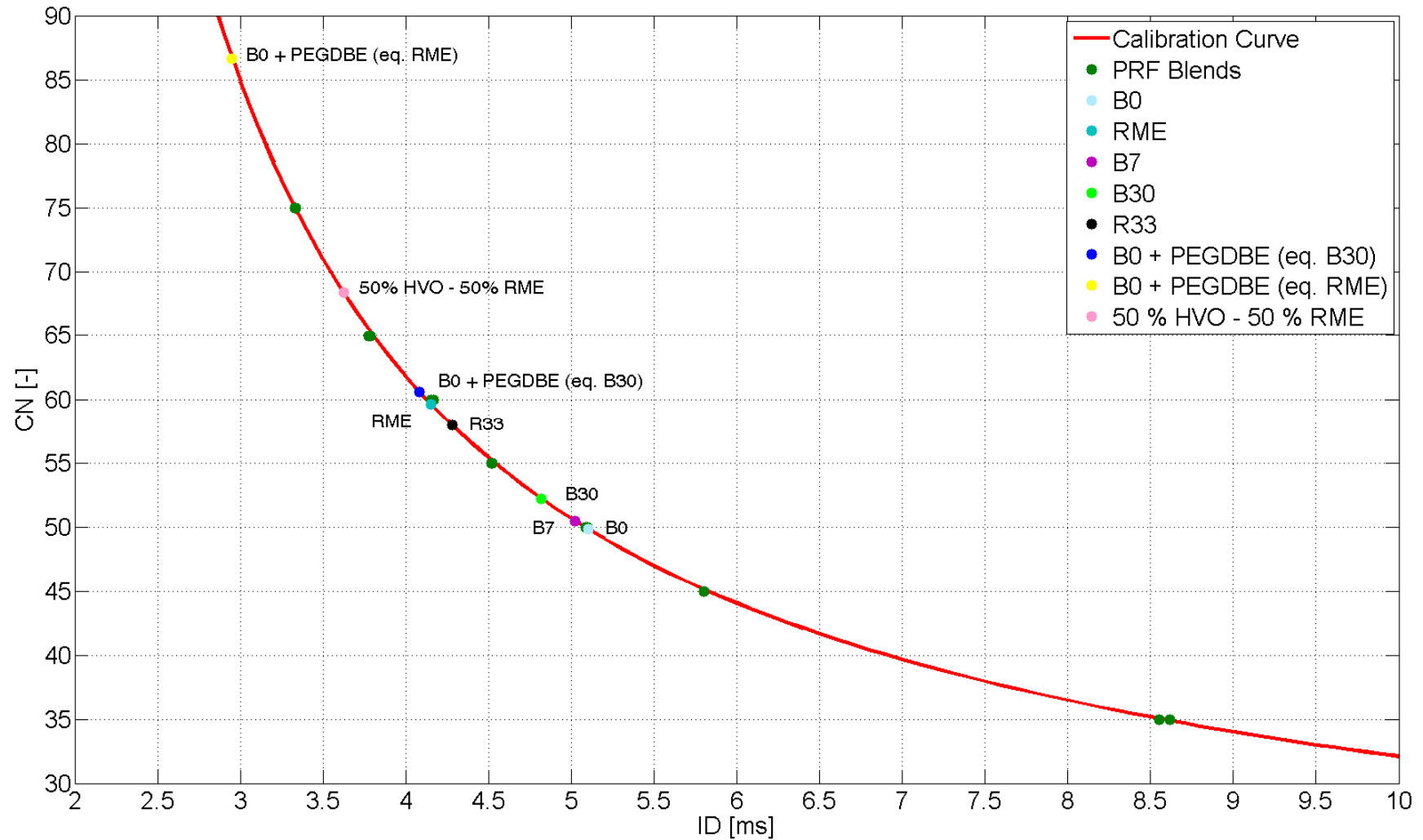
## Measurement Results – Pressure Gradients



## Messergebnisse – Cetanzahl

- Die Kalibrierung erfolgte mit primären Standards (PRFs)
  - n-Hexadecane                      Cetane number : 100
  - 1-Methylnaphtaline              Cetane number : 0
  
  - Test Parameters
  - Druck: 10 bar
  - Kammertemperatur: 650 °C
  - Einspritzdruck: 1000 bar

## Measurement Results – Cetane Numbers





## Messergebnisse– Cetane Numbers

Name	Ignition Delay [ms]	Standard Deviation [ms]	Calculated CN [-]
B0	5.10	0.04	49.8
B7	5.02	0.02	50.5
B30	4.82	0.03	52.2
R33	4.28	0.02	57.9
RME	4.18	0.03	53.6
B0 + PEGDBE (eq. B30)	4.08	0.02	60.6
50 % HVO – 50 % FAME	3.62	0.02	68.3
B0 + PEGDBE (eq. RME)	2.95	0.02	86.6



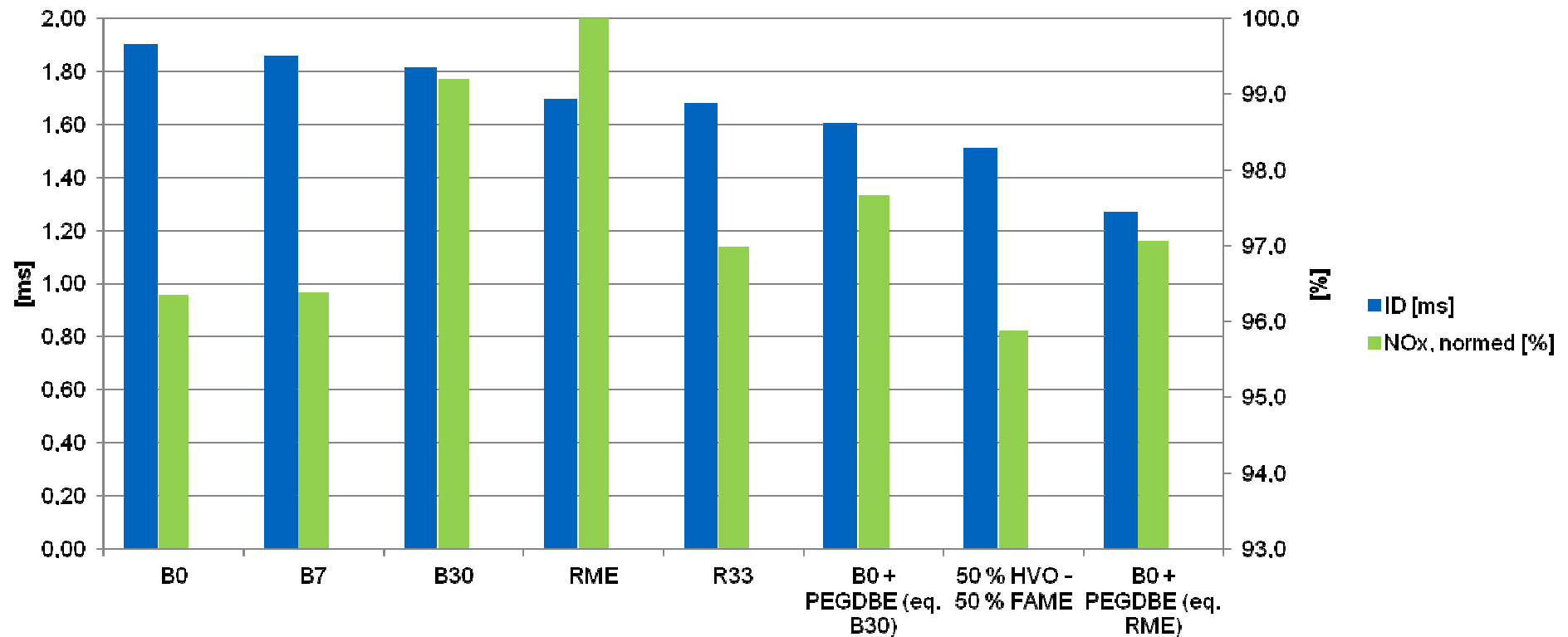
## Messergebnisse – Abgasemissionen

- Test parameters
  - 20 bar Druckluft bei 700 °C Kammertemperatur für NO<sub>x</sub> und PN
  - 20 bar Kammerdruck, 4 % O<sub>2</sub> in N<sub>2</sub> bei 700 °C für Rußemissionen
    - Air-fuel ratio of 1 with 80 mg fuel injected
  - 1000 bar Einspritzdruck

Parameter	Messgerät
NO <sub>x</sub>	EcoPhysics CLD 82
Soot	AVL MicroSoot Sensor
Particle Number	Pegasor
Unburned Hydrocarbons	Testa FID

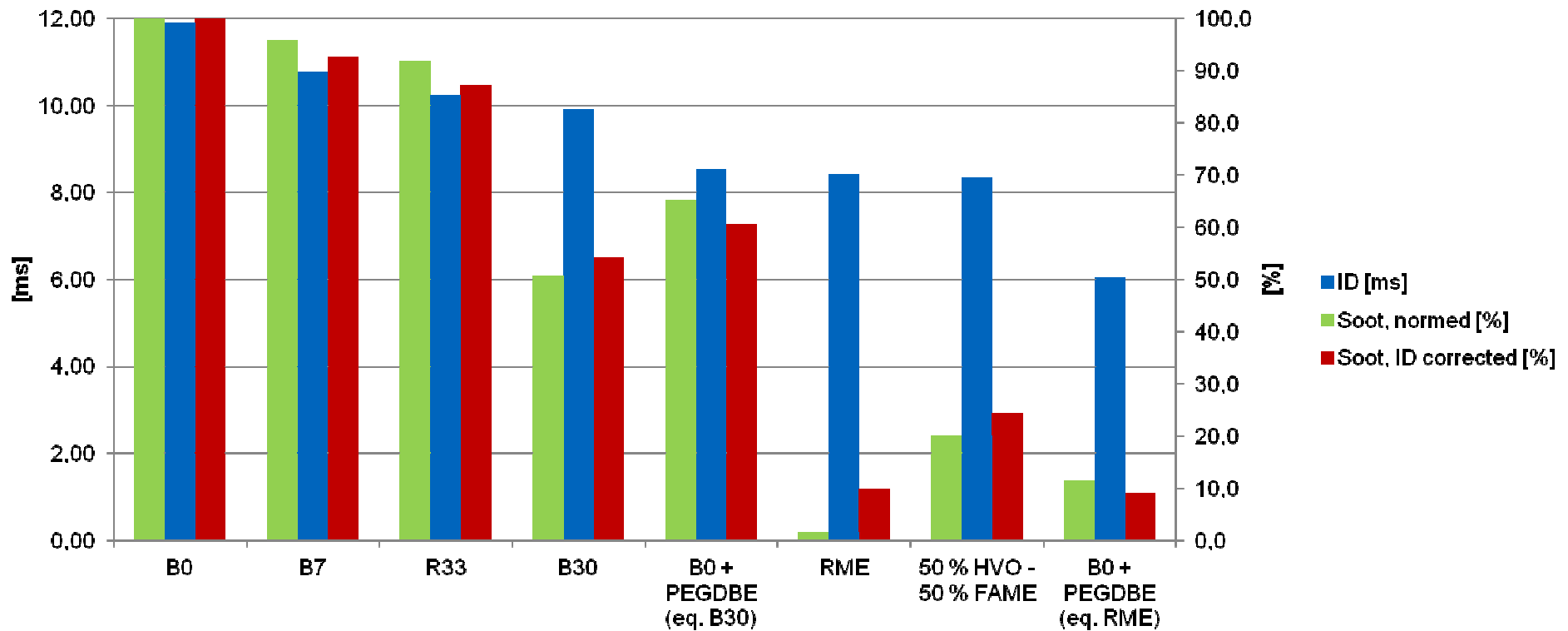
## Messergebnisse – Zündverzug und NO<sub>x</sub> Emissionen

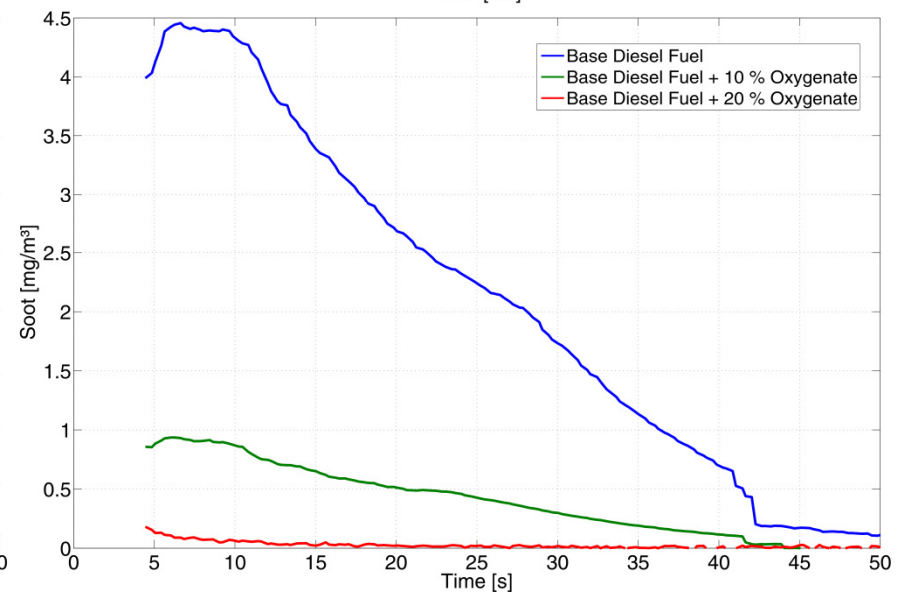
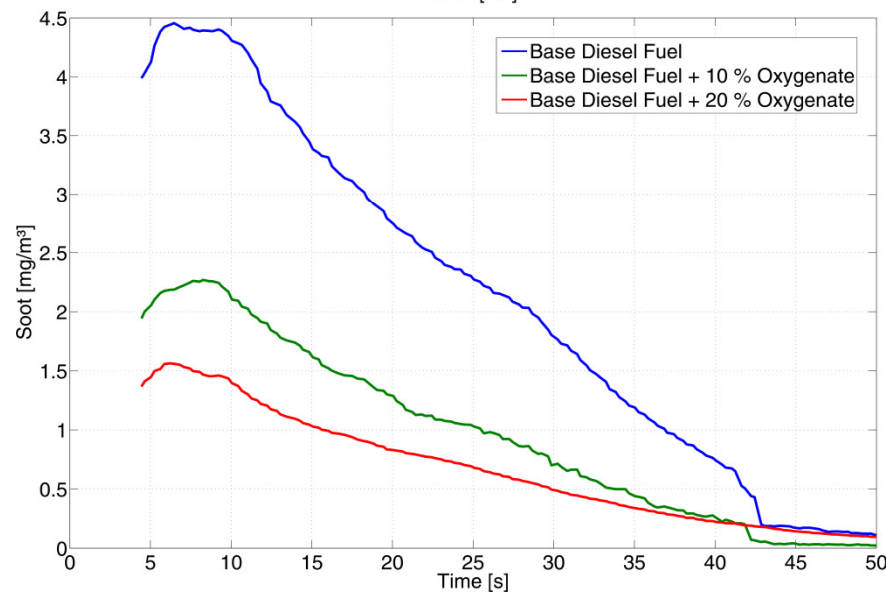
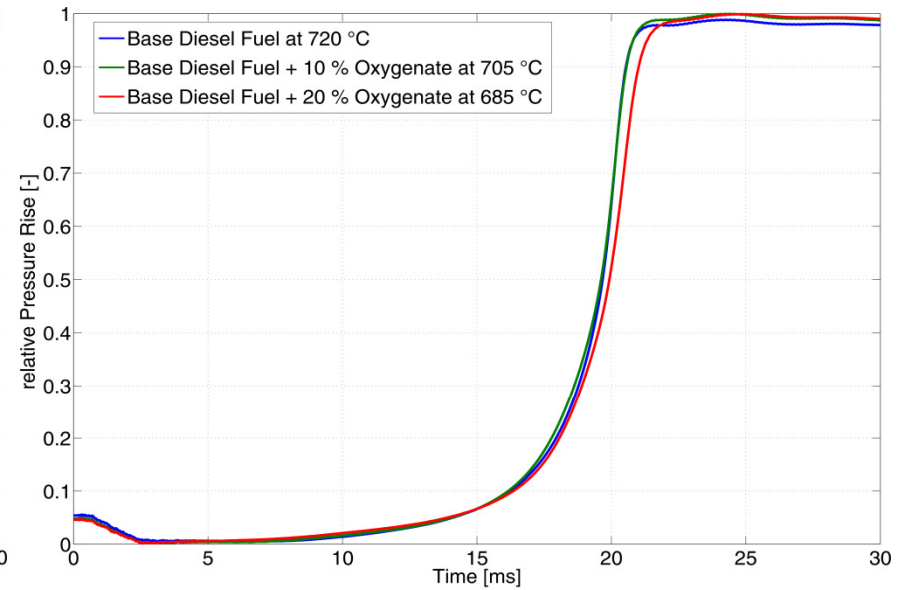
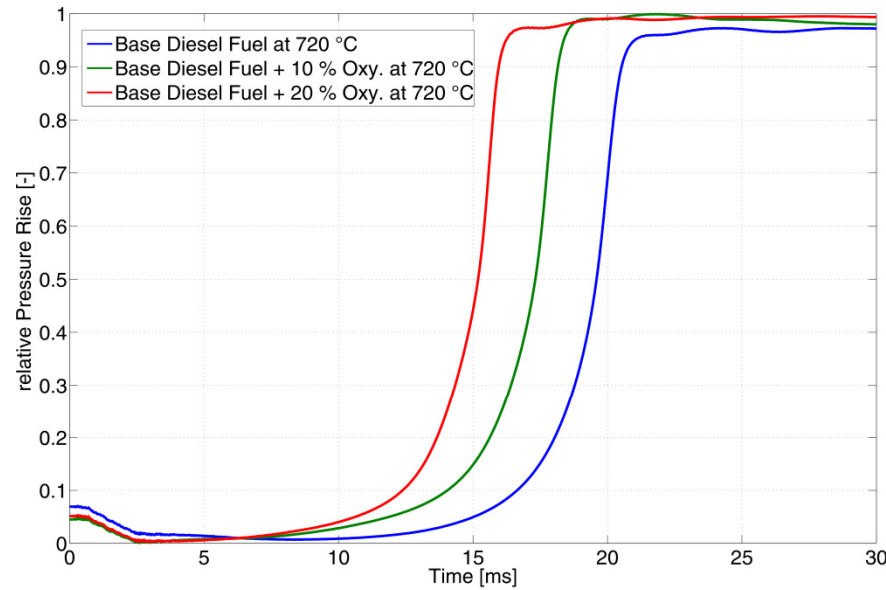
- NO<sub>x</sub> emissions need to be corrected by calorific values, as engine comparison measurements are done at constant MEP



## Messergebnisse – Ruß Emissionen

- O<sub>2</sub> content and ignition delay control soot emissions at air-fuel ratio of 1 (different homogenisation of air-fuel mixture)





## Messergebnisse - Partikelanzahl

- Particle number at 100 V trap voltage
- Better detection efficiency for smaller particles

Kraftstoff	Ignition Delay [ms]	STD ID [ms]	PN, normed [%]
B0	2.35	0.0274	100.0
B7	2.29	0.0105	96.7
R33	2.16	0.0271	
B30	2.15	0.0183	
B0 + PEGDBE (eq. B30)	2.01	0.0209	92.6
RME	1.88	0.0175	82.5
50 % HVO - 50 % FAME	1.89	0.0154	85.9
B0 + PEGDBE (eq. RME)	1.62	0.0129	90.2

## Zusammenfassung

- Ein Blend aus HVO und FAME (50/50 V/V) hält die Vorgaben der EN 590 ein.
- Die Cetanzahl des Blends liegt deutlich über 51,0
- Die Nox – Emission ist deutlich niedriger im Vergleich zu B0 und reinem RME
- Die Rußmemission ist ca. 70 % niedriger als die B0 Referenz, jedoch höher als bei reinem RM
- Die Partikelanzahl ist ca. 15 % niedriger als die B0 Referenz



**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!**



**ASG**  
Analytik-Service  
Gesellschaft



Herausgeber:

UNION ZUR FÖRDERUNG VON  
OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V. (UFOP)

Claire-Waldoff-Straße 7 · 10117 Berlin

info@ufop.de · www.ufop.de