



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelor Thesis

Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau

Einfluss von ethanolhaltigem Kraftstoff auf 2-Takt-
Motoren für mobile Geräte

Alexander Idt

31.08.2011

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Technik und Informatik
Department Fahrzeugtechnik + Flugzeugbau
Berliner Tor 9
20099 Hamburg

in Zusammenarbeit mit:

DOLMAR GmbH
Versuchsabteilung
Jenfelder Straße 38
22045 Hamburg

Verfasser: Alexander Idt
Abgabedatum: 31.08.2011

1. Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Volkher Weißermel
2. Prüfer: Dipl.-Ing. Knut Siewers

Erklärung

Ich versichere, dass ich diese Bachelor Thesis ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Ort und Datum

Unterschrift des Verfassers

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	iii
Tabellenverzeichnis.....	vii
Abkürzungsverzeichnis.....	ix
Bezeichnungen und Einheiten.....	xi
1 Einleitung	13
1.1 Aktuelle Situation	13
1.2 Motivation	15
1.3 Ziel der Arbeit	15
2 Ethanol (E100).....	16
2.1 Herstellung von Bioethanol	16
2.2 Chemische und physikalische Eigenschaften.....	18
3 Ethanol als Kraftstoff.....	20
3.1 Technische Eigenschaften	20
3.2 Verbrennungseigenschaften	25
3.3 Materialverträglichkeit	28
4 Motorsägen und Trennschleifer der Dolmar GmbH.....	29
4.1 Aufbau eines 2-Takt-Ottomotors	29
4.2 Funktionsweise eines 2-Takt-Motors.....	30
5 Versuch Materialverträglichkeit	32
5.1 Allgemeiner Versuchsablauf.....	32
5.1.1 Versuchsvorbereitung mithilfe einer Materialmatrix.....	33
5.1.2 Kraftstoffmischvorgehensweise für den Materialversuch.....	34
5.2 Versuch: Kunststoffteilebeständigkeit.....	37
5.2.1 Allgemeiner Versuchsaufbau	37
5.2.2 Test: Kraftstofftank.....	39

Inhaltsverzeichnis

5.2.3	Test: Tankdeckel.....	49
5.2.4	Test: Verliersicherung.....	57
5.3	Versuch: Gummiteilebeständigkeit.....	59
5.3.1	Allgemeiner Versuchsaufbau.....	59
5.3.2	Test: Tankdeckel-O-Ring.....	60
5.3.3	Test: Simmerringbeständigkeit.....	66
5.3.4	Test: Ansauggummi.....	68
5.3.5	Test: Kraftstoffschläuche.....	71
5.4	Versuch: Vergaserbeständigkeit.....	78
5.5	Versuch: Primerbeständigkeit.....	83
5.6	Versuch: Kraftstoffsaugkopfbeständigkeit.....	88
6	Versuchsablauf Motorverhalten.....	92
6.1	Allgemeine Versuchsvorbereitung.....	92
6.2	Polyzyklischer Dauerlauf test (PZD).....	110
6.3	Versuch: Startverhalten.....	117
6.4	Zeitabhängige Druckindizierung.....	122
7	Fazit.....	132
8	Literaturverzeichnis.....	134

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Schematische Darstellung der Herstellung von Bioethanol [6]	16
Abbildung 2 Das chemische 3D-Modell des Ethanol[11].....	18
Abbildung 3 Temperaturabhängiger Dampfdruck von Alkoholen im Vergleich zu Sommer- und Winterkraftstoff für Ottomotoren [16]	22
Abbildung 4 Brenngeschwindigkeit von Benzin und Ethanol[27]	26
Abbildung 5 Materialverträglichkeit mit E85 und Benzin[28].....	28
Abbildung 6 Systematischer Aufbau eines 2-Takt-Ottomotors[29].....	29
Abbildung 7 Funktionsweise eines 2-Takt-Ottomotors[29]	30
Abbildung 8 Systematischer Aufbau der Materialmatrix[31].....	33
Abbildung 9 Ethanolgehaltmesskolben[31].....	34
Abbildung 10 Ergebnis der Ethanolgehaltsmessung[31].....	35
Abbildung 11 Auszug aus der Berechnungstabelle zur Bestimmung des Mischverhältnisses von Ethanol, Benzin und Wasser[31]	35
Abbildung 12 Kraftstofftank-Explosionszeichnung.....	37
Abbildung 13 Bersttestprüfanlage	39
Abbildung 14 Blaskraftstofftank mit Messpunkten	40
Abbildung 15 Versuchsanlage für den Druckversuch.....	41
Abbildung 16 Versuchsanlage für den Zugversuch.....	42
Abbildung 17 Massen der Zugversuchsprobe	42
Abbildung 18 Kraft-Zeit-Diagramm aus dem Druckversuch.....	45
Abbildung 19 Kraft-Weg-Diagramm aus dem Druckversuch	46
Abbildung 20 Zugproben	48
Abbildung 21 Kraft-Weg-Diagramm aus dem Zugversuch	48
Abbildung 22 Tankdeckelverschraubung mit Drehmomentschlüssel.....	49
Abbildung 23 Schwitzttest Vorführung	50
Abbildung 24 Schwitzttest Ergebnisprotokoll.....	50
Abbildung 25 Tankdeckelöffnung mit Anschlag.....	51
Abbildung 26 Messmikroskop und universeller Messrechner.....	59
Abbildung 27 Messmikroskop-Linse mit Messkreuz	60

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 28 Messbereiche vom Ansauggummi.....	69
Abbildung 29 Messung der Abzugskräfte von Kraftstoffschläuchen.....	73
Abbildung 30 Abzugskräfte von Kraftstoffschläuchen auf der Vergaserseite	75
Abbildung 31 Abzugskräfte von Kraftstoffschläuchen auf der Saugkopfseite.....	75
Abbildung 32 Endergebnis der Abzugskräfte von Kraftstoffschläuchen	76
Abbildung 33 Vergaserschnitt mit gezeigtem Sägeschnitt.....	78
Abbildung 34 Einspritzbohrungen (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach)	80
Abbildung 35 Kraftstoffeinstellschraube (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach).....	80
Abbildung 36 Vergaserdrosselklappe (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach).....	80
Abbildung 37 Vergasereinlasskanal (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach).....	81
Abbildung 38 Kraftstoffpumpenmembran (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach).....	81
Abbildung 39 Vergasermembran unten (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach).....	82
Abbildung 40 Kraftstoffpumpenmembran (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach).....	82
Abbildung 41 Primerzeichnung mit Testbereichen.....	83
Abbildung 42 Primer mit Anschlussvorgehensweise	85
Abbildung 43 Prüfung des Einlassventils vom Primer	85
Abbildung 44 Kraftstoffsaugkopf.....	88
Abbildung 45 Kraftstoffsaugkopf-Prüfgerät	89
Abbildung 46 Filzablagerung vom Saugkopf 963601122	91
Abbildung 47 Filzablagerung am inneren Sieb vom Saugkopf 010114010.....	91
Abbildung 48 Spezialwerkzeuge für den Einbau von Thermoelementen	94
Abbildung 49 Erstellung der Bohrung für den Temperaturfühler	95
Abbildung 50 Thermofühlerbohrung im Kerzenbereich	95
Abbildung 51 Temperaturfühler im Lagerbereich vom Kurbelwellengehäuse	96
Abbildung 52 Thermodraht	96
Abbildung 53 Kalibrierung des Nutzenmessschiebers.....	97
Abbildung 54 Messung der Laufbuchsenhöhe	98

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 55 Darstellung der Zylindersteuerkanten	98
Abbildung 56 Messung des Auslasskanals.....	98
Abbildung 57 Justierung der Bürette.....	99
Abbildung 58 Messkolben (links) und Messkerze (rechts)	99
Abbildung 59 Kalottenausmessung.....	100
Abbildung 60 Kolbenringspalt Messstelle	100
Abbildung 61 Abdichtung des Triebwerkes.....	101
Abbildung 62 Anschließen der Handpumpe.....	101
Abbildung 63 Kurbelwelle mit Messstellen.....	102
Abbildung 64 Messuhr Einbauposition KS (links), MS (rechts).....	103
Abbildung 65 Anschließen des Kompressionsdruckmessgerätes	103
Abbildung 66 Messung des Zündkerzenabstandes	104
Abbildung 67 Einführung des Lötdrahtes für die Spaltausmessung	105
Abbildung 68 Messbereich für die Spaltausmessung.....	106
Abbildung 69 Zündkerzendorn	107
Abbildung 70 Winkelscheibe für die Zündzeitpunktmessung	107
Abbildung 71 Aufbau der Zündzeitpunktmessung	107
Abbildung 72 Systematische Darstellung des Prüfcontainers.....	110
Abbildung 73 PZD-Prüfstandtisch.....	111
Abbildung 74 Verkokung am ersten Kolben	114
Abbildung 75 Verkokung am Auslasskanal und am Schalldämpfer	114
Abbildung 76 Bläuliche Verfärbung am Zylinderbolzen.....	114
Abbildung 77 Verkokung am zweiten Kolben.....	115
Abbildung 78 Verkokung am Auslasskanal des zweiten Zylinders.....	115
Abbildung 79 Farbveränderung am Kurbelwellengehäuse.....	116
Abbildung 80 Veränderung der Pleuefarbe	116
Abbildung 81 Erwärmungstemperaturverläufe über die Zeit.....	119
Abbildung 82 Starttemperaturveränderung in Abhängigkeit vom Ethanolgehalt im Kraftstoff.....	120
Abbildung 83 Testmaschine auf dem Motorprüfstand bei der Druckindizierung.....	122
Abbildung 84 Mitteldruckverläufe unterschiedlicher Kraftstoffe	123

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 85 Drehmoment und Leistungsverläufe unterschiedlicher Kraftstoffe	124
Abbildung 86 Kraftstoffverbrauch unterschiedlicher Kraftstoffe.....	125
Abbildung 87 Temperaturverläufe unterschiedlicher Kraftstoffe im Auslass- und Lagerbereich.....	126
Abbildung 88 Temperaturverläufe unterschiedlicher Kraftstoffe im Kerzenbereich	127
Abbildung 89 Schadstoffemissionen unterschiedlicher Kraftstoffe.....	128
Abbildung 90 Brettschneiderformel[30].....	129
Abbildung 91 Berechnete Lambda-Verläufe unterschiedlicher Kraftstoffe	131

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Eigenschaften von Ethanol[14][15].....	19
Tabelle 2 Dichte und Heizwerte von Kraftstoffen[16][17][18]	20
Tabelle 3 Verdampfungswärme von Kraftstoffen[17][19].....	21
Tabelle 4 Auswirkungen leicht und schwer siedender Kraftstoffkomponenten.....	24
Tabelle 5 Zündtemperaturen von Kraftstoffen[24]	24
Tabelle 6 Zündgrenzen von Kraftstoffen[26]	25
Tabelle 7 Kinematische Viskosität von Kraftstoffen.....	25
Tabelle 8 Oktanzahlen von Kraftstoffen[24].....	27
Tabelle 9 Aufteilung der Motorsägen nach Klassen.....	29
Tabelle 10 Vor- und Nachteile eines 2-Takt-Ottomotors	30
Tabelle 11 Kunststoff-Versuchsbauteile aus der Materialmatrix	38
Tabelle 12 Messwerte aus dem Druckversuch	47
Tabelle 13 Gemittelte Messwerte aus dem Druckversuch.....	47
Tabelle 14 Schwitzttestergebnisse des Tankdeckels 010114063.....	52
Tabelle 15 Schwitzttestergebnisse des Tankdeckels 181114202.....	53
Tabelle 16 Schwitzttestergebnisse des Tankdeckels 010114050.....	54
Tabelle 17 Bruchtestergebnisse des Tankdeckels 170114100.....	55
Tabelle 18 Bruchtestergebnisse des Tankdeckels 181114202.....	56
Tabelle 19 Bruchtestergebnisse des Tankdeckels 010114050.....	56
Tabelle 20 Dehn- und Reißgrenzwerte der Verliersicherungen	58
Tabelle 21 Tankdeckel-O-Ringe aus der Materialmatrix.....	61
Tabelle 22 Innendurchmesser vom Tankdeckel-O-Ring in der Ausgangsmessung	63
Tabelle 23 Außendurchmesser vom Tankdeckel-O-Ring in der Ausgangsmessung.....	63
Tabelle 24 Innendurchmesser vom Tankdeckel-O-Ring nach 30 Tagen Ethanoleinwirkung.....	64
Tabelle 25 Außendurchmesser vom Tankdeckel-O-Ring nach 30 Tagen Ethanoleinwirkung.....	64
Tabelle 26 Prozentuale Quellungsabweichung vom Tankdeckel-O-Ring.....	65
Tabelle 27 Simmerringe aus der Materialmatrix.....	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 28 Innendurchmesser vom Simmerring in der Ausgangsmessung	67
Tabelle 29 Innendurchmesser vom Simmerring nach 30 Tagen Ethanoleinwirkung.....	67
Tabelle 30 Prozentuale Quellungsabweichung von Simmerringen	68
Tabelle 31 Ansauggummis aus der Materialmatrix	68
Tabelle 32 Innendurchmesser vom Ansauggummi in der Ausgangsmessung	69
Tabelle 33 Länge vom Ansauggummi in der Ausgangsmessung.....	70
Tabelle 34 Innendurchmesser vom Ansauggummi nach 30 Tagen Ethanoleinwirkung.....	70
Tabelle 35 Länge vom Ansauggummi nach 30 Tagen Ethanoleinwirkung	70
Tabelle 36 Prozentuale Quellungsabweichung vom Ansauggummi.....	71
Tabelle 37 Kraftstoffschläuche aus der Materialmatrix.....	72
Tabelle 38 Gemittelte Abzugskräfte von Kraftstoffschläuchen.....	74
Tabelle 39 Vergaser aus der Materialmatrix	78
Tabelle 40 Primer aus der Materialmatrix	83
Tabelle 41 Prüfbedingungen für Furness Controls FC0730.....	84
Tabelle 42 Primerergebnisse der Ausgangsmessung	86
Tabelle 43 Primermessergebnisse nach 30 Tagen Ethanoleinwirkung.....	87
Tabelle 44 Kraftstoffsauγκöpfe aus der Materialmatrix	88
Tabelle 45 Technische Daten der Motorsäge PS-350 C.....	93
Tabelle 46 Messresultate der Maschine PS-350 C (2011180893).....	108
Tabelle 47 Messresultate der Maschine PS-350 C (2011180907).....	108
Tabelle 48 Messresultate der Maschine PS-350 C (2011180850).....	108
Tabelle 49 Protokoll der Zylindervermessung	109
Tabelle 50 Physikalische und chemische Eigenschaften vom E80 Kraftstoff.....	112
Tabelle 51 PZD-Testlaufprotokoll	113
Tabelle 52 Startprotokoll-Vorlage	118
Tabelle 53 Abgas- und Lambda-Werte von Super Benzin.....	129
Tabelle 54 Abgas- und Lambda-Werte von E85.....	130
Tabelle 55 Abgas- und Lambda-Werte von E85 mit 4% Wasseranteil.....	130

Abkürzungsverzeichnis

C ₂ H ₄	Ethen
C ₂ H ₅ OH	Ethanol
C ₆ H ₁₂ O ₆	Glucose
C ₆ H ₁₆ O	Ethyl-Tertiär-Buthyl-Ether
C ₆ H ₁₈	Super plus ROZ 98
C ₈ H ₁₈	Super bleifrei ROZ 95
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
DDGS	Dried Distillers Grains with Solubles
DIOS	DOLMAR Informations - und Order System
DVPE	Dry Vapour Pressure Equivalent
EBWG	Ethanol-Benzin-Wasser-Gemisch
EN	Europäische Norm
ETBE	Ethyl-Tertiär-Buthyl-Ether
EtOH	Ethanol
FKM o. FPM	Fluorkautschuk (Fluor-Polymer-Kautschuk)
H ₂ O	Wasser
HC	Unverbrannte Kohlenwasserstoffe
HNBR	Hydrierter Acrylnitrilbutadien-Kautschuk
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry

Abkürzungsverzeichnis

KS	Kupplungsseite
MOZ	Motor Oktanzahl
MS	Magnetenseite
NBR	Nitrilkautschuk (Nitrile Butadiene Rubber)
NO _x	Stickstoffoxide
O ₂	Sauerstoff
OT	Oberer Totpunkt
PA	Polyamid
PA6-GF30	Polyamid 6 mit 30 % Glasfaser
PBT	Polybutylenterephthalat
PE-HD	Polyethylene, High Density
POM	Polyoxymethylen
PZD	Polyzyklischer Dauerlaufstest
ROZ	Research Oktanzahl
RVP	Reid Vapor Pressure
UT	Unterer Totpunkt

Bezeichnungen und Einheiten

Zeichen	Bezeichnung	Einheit
ρ	Dichte	kg/m ³
c_p	spezifische Wärmekapazität (isobar)	kJ/(kg K)
Δcr_{300s}	Kraftabfall in der Kriechzeit	N
D	Zylinderbohrung	mm
F(s)	Kraft in Abhängigkeit vom Weg	N
F(t)	Kraft in Abhängigkeit von Zeit	N
F_{max}	Maximalkraft	N
H_i	Heizwert	MJ/kg
$K_{init(0.3mm)}$	Kraftsteigung der ersten 0,3 mm	N/mm
M	Molare Masse	g/mol
s	Hub	mm
T	Temperatur	°C
t_m	Spaltmaß	mm
$u(F_{max})$	Verschiebung bei Maximalkraft	mm
u_{plast}	plastische Verformung	mm
v	Geschwindigkeit	mm/s
V_c	Verdichtungsraum (Kompressionsvolumen)	mm ³
V_h	Hubraum	mm ³
$V_{Kalotte}$	Kalotten Volumen	mm ³
ΔQ_v	Verdampfungswärme	kJ/kg
ε	Verdichtungsverhältnis	-
η	Viskosität	kg/(m s)
λ	Lambda	-
λ_w	Wärmeleitfähigkeit	W/(m K)

Bezeichnungen und Einheiten

Einheit	Bezeichnung	Umrechnung
ppm	parts per million	1 ppm = 0,0001 %
N	Newton	1N= 1 m·kg·s ⁻²
ml	Milliliter	1l = 1000 ml
K	Kelvin	1 K= -273,15 °C
J	Joule	1J=1Nm
cSt	Zentistokes	1 cSt = 1 mm ² /s
ccm	Kubikzentimeter	1ccm = 1 cm ³
bar	Bar	1bar=10 ⁵ N/m ²
°C	Gradcelsius	1 °C= 273,15 K
%	Prozent	1 % = 10.000 ppm

1 Einleitung

Die Rolle der günstigen Erzeugung und Speicherung von Energie nimmt in der Zukunft weiter zu. Energie, welche bei der Anwendung umweltfreundlich und immer verfügbar ist.

1.1 Aktuelle Situation

Im März 2011 wurde in Deutschland eine neue Kraftstoffsorte eingeführt. Der Kraftstoff wird als E10 bezeichnet, wobei das „E“ für Ethanol und „10“ für 10% Ethanolgehalt im Kraftstoff steht. Bei einer Erhöhung oder Minderung des Ethanolgehalts im Kraftstoff, ändert sich in der Bezeichnung nur die Zahl, z. B. wird der Kraftstoff mit 85% Ethanol als E85 bezeichnet. Es ist nicht neu, dass Ethanol als Kraftstoff verwendet wird. Die Verwendung von Ethanol (Alkohol) als Kraftstoff wurde schon an den ersten laufenden Motoren praktiziert. Nikolaus August Otto verwendete das Ethanol in den 1860er Jahren als klopffesten Kraftstoff in den Prototypen eines Verbrennungsmotors. Während des ersten Weltkriegs wurde ethanolhaltiger Kraftstoff als Motoren-Spirit für höhere Leistungsanforderungen bei Jagdflugzeugen verwendet. Auch der Automobilhersteller Henry Ford verwendete später Ethanol in seinem von 1908 bis 1927 gebauten Fahrzeug „Ford Modell T“. Mit der Zeit wurde die Verfügbarkeit und der niedrige Preis von Benzin die Maßgabe, sodass weitere Fahrzeugmodelle auf den Betrieb mit Benzin umgestellt wurden. [1]

Die Motivation zum steigenden Ethanolanteil im Kraftstoff liegt in seiner Umweltverträglichkeit. Was die Pflanzen in der Wachstumsphase an Kohlendioxid (CO_2) aufnehmen, wird bei der Verbrennung von Ethanol wieder ausgestoßen. Selbstverständlich darf der Wirkungsgrad bei der Herstellung nicht außer Acht gelassen werden. In dieser Arbeit wird auf die Energiebilanz nicht weiter eingegangen.

Ein weiterer Beweggrund ist, dass der Staat unabhängiger von Erdöl werden will. In den 70er Jahren - nach der Ölkrise in Brasilien - wurde fleißig nach alternativen Kraftstoffen gesucht. Das führte dazu, dass Brasilien heute ein Spitzenreiter hinsichtlich der niedrigen Herstellungskosten und Effizienz bei der Ethanolproduktion ist. In den USA, Brasilien und Schweden werden schon länger verschiedene Kraftstoff-Ethanol-Mischungen - von E5 bis E100 - angeboten. Den positiven Eigenschaften von Ethanol stehen seine (möglichen) negativen Auswirkungen auf den Verbrennungsmotor gegenüber. Dieses Thema wurde auf europäischer Ebene heiß diskutiert.

Einleitung

Das Europäische Parlament hat in einem Themenpapier die Vor- und Nachteile von Ethanol behandelt. Hier ein Auszug aus dem Themenpapier Nr.07/2011:[2]

Vorteile

- Geringere fossile Kohlendioxidemissionen (CO₂)
- Hohe Oktanzahlen
- Geringere Schwebstaubemissionen
- Geringere unregelmäßige Benzol- und Butadienemissionen
- Geringeres Ozonbildungspotential
- Kein Schwefelgehalt
- Biologisch abbaubar
- Weniger toxisch als Methanol oder Biomethanol
- Möglichkeit der Erreichung eines höheren energetischen Wirkungsgrades
- Hohe Klopffestigkeit zu relativ geringen Kosten

Nachteile

- Geringere Cetanzahl als Dieselkraftstoff
- Sehr hohe HC-Verdunstungsemissionen
- Kaltstartprobleme bei reinem Ethanolbetrieb
- Bei der Verbrennung entsteht im Vergleich zu Benzin mehr Acetaldehyd, jedoch wird weniger Formaldehyd freigesetzt
- Eine geringe Schmierfähigkeit kann zu Korrosionserscheinungen am Motor führen
- Probleme mit der Phasenstabilität des Benzingemischs bei Vorhandensein von Wasser
- Bei der Verbrennung von reinem Ethanol entsteht eine unsichtbare Flamme, die zu sicherheitstechnischen Problemen führen kann
- Höhere unregelmäßige Emissionen bei Einsatz von E85 in Ottomotoren
- Ein Essiggeruch entwickelt sich bei der Reaktion von unverbranntem Ethanol (E95) auf der Katalysatoroberfläche

Einleitung

1.2 Motivation

Die Firma Dolmar GmbH hat sofort auf die Umstellung reagiert und einen Versuch mit E10-Kraftstoff durchgeführt. Die Dolmar GmbH hat eine breite Palette von Produkten. In Hamburg werden Motorsägen und Trennschleifer entwickelt, getestet, zugelassen und produziert, sowie weltweit exportiert. Die Auswirkung dieses neuen Kraftstoffs auf die Verbrennungsmotoren ist daher für das Unternehmen von großer Bedeutung. Wegen des zunehmenden Ethanolanteils im Kraftstoff wird jetzt untersucht, wie weit ein höherer Ethanolanteil den 2-Takt Verbrennungsmotor beeinflusst.

1.3 Ziel der Arbeit

Diese Arbeit liefert eine Reihe von Erkenntnissen zu den bei der Dolmar GmbH durchgeführten Untersuchungen. Es wird die Materialenbeständigkeit der Komponenten von 2-Takt-Motoren untersucht, sowie das Laufverhalten in verschiedenen Betriebspunkten. Mit einem PZD-Test wird analysiert, ob die vorgegebene Lebensdauer der Maschine eingehalten wird. Weiterhin erfolgt eine Untersuchung des Startverhaltens unter Anwendung von Kraftstoffen mit unterschiedlichem Ethanolhalt. Anschließend wird der Motor zeitabhängig indiziert und die aufgenommenen Ergebnisse mit dem Programm Uniplot ausgewertet. Die Diskussion der Ergebnisse liefert eine Auflistung der positiven und negativen Eigenschaften des Einflusses von ethanolhaltigen Kraftstoffen auf handgetragene Motorgeräte.

2 Ethanol (E100)

Ethanol wird auf der ganzen Welt überwiegend "Alkohol" genannt. Andere mögliche Bezeichnungen sind: Äthylalkohol, Äthanol, Spiritus, EtOH, Brennsprit oder Weingeist.[3] Seit Jahrhunderten wird der Alkohol von Menschen als Genussmittel konsumiert. Seine Verwendung im Mobilitätsbereich kommt immer mehr zum Einsatz. Im Mobilitätsbereich werden Kraftstoffe der 1ten und der 2ten Generation verwendet. Bei den Kraftstoffen der 1ten Generation wird Ethanol bei der Herstellung nur aus Früchten gewonnen. Bei der 2ten Generation werden nicht nur Früchte sondern auch zellulosehaltige Pflanzenbestandteile verwendet, die eine Biomasse darstellen.[4][3]

2.1 Herstellung von Bioethanol

Das Verfahren bei der Herstellung von Kraftstoffen der 1ten und 2ten Generation ist nahe zu identisch. Der Unterschied liegt, wie oben bereits erwähnt, im Ausgangsprodukt. Bei der Bioethanolherstellung kann eine große Anzahl von stärke- und zuckerhaltigen Rohstoffen verwendet werden, wie z. B. Mais, Cellulose, Weizen, Gerste, Roggen, Zuckerrüben, Zuckerrohr, Algen Triticale, Cassava. Rohstoffe, welche zuckerhaltig sind, werden mit Hefezusatz direkt durch den Vergärungsprozess zu Ethanol und Kohlendioxid abgebaut. Aus der entstehenden Fermentationsmaische wird anschließend, durch die Destillation, Ethanol gewonnen.[5] In der Abbildung 1 ist die Bioethanolherzeugung vereinfacht dargestellt.

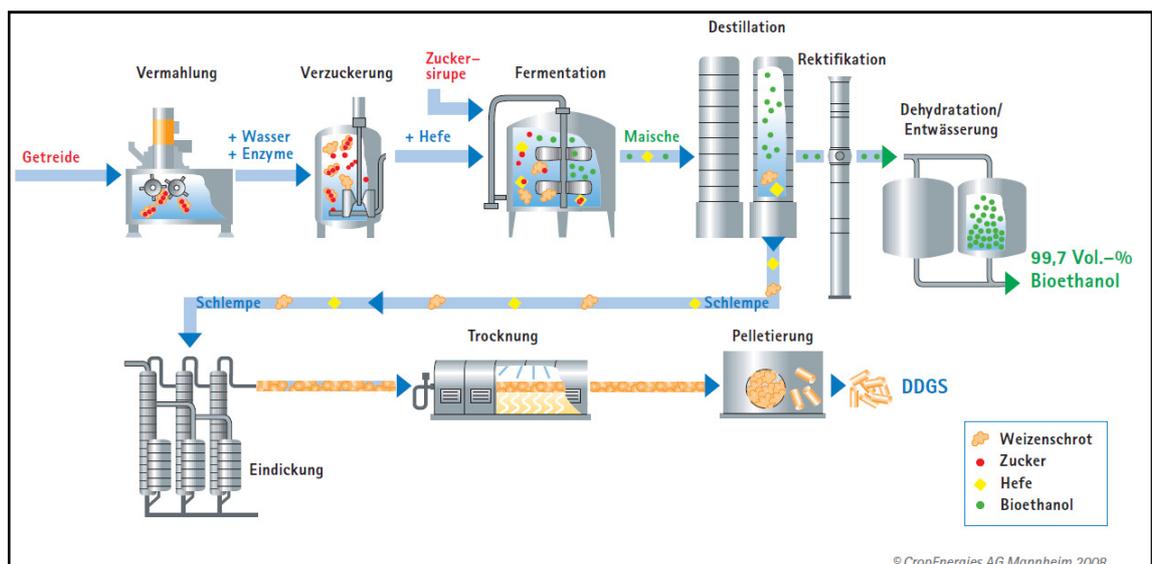
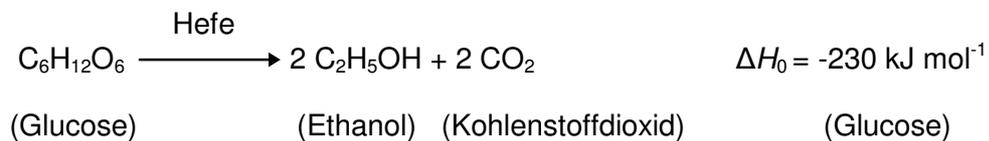


Abbildung 1 Schematische Darstellung der Herstellung von Bioethanol [6]

Ethanol (E100)

Bei der Erzeugung von Bioethanol aus pflanzlichen Abfällen (stärke- und zellulosehaltige Pflanzen) erfordert es einer Vorbehandlung der trockenen Masse, bevor die Maische entsteht. Die trockene Masse (z. B. Holz oder Stroh) wird vorerst zermahlen. Mit der Zugabe von Wasser und Enzymen entsteht die Maische. Bei diesem Prozess erfolgt zuerst die enzymatische Befreiung des Pflanzenmaterials, bevor die eigentliche Fermentationsmaische entsteht. Durch spätere Beimischung von Hefe entsteht im Vergärungsprozess, wie auch bei zuckerhaltigen Rohstoffen, Ethanol und Kohlendioxid. Der Gärungsprozess ist dann zu Ende, wenn die maximale Alkoholkonzentration erreicht ist oder alle Kohlenhydrate verbraucht sind.[5]

Wenn der beschriebene Vorgang chemisch betrachtet wird, läuft dieser nach der Bruttoreaktionsgleichung wie folgt ab:[7]

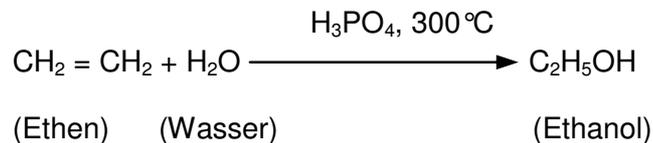


Im nächsten Schritt muss die Fermentationsmaische destilliert werden. Der Reinheitsgrad des, durch die Destillation gewonnenen Ethanols, kann maximal 96% betragen. Bei der Destillation wird die Fermentationsmaische erhitzt (dadurch verdampft das Ethanol-Wasser-Gemisch) und anschließend wieder kondensiert. Um Bioethanol im Mobilitätsbereich nutzen zu können, wird durch ein Trocknungsverfahren das restliche Wasser aus der Substanz entzogen bis der Reinheitsgrad 99,7% beträgt. Bei der Destillation entsteht ein wichtiges Nebenprodukt - die Schlempe. Sie wird als DDGS (Dried Distillers Grains with Solubles) abgekürzt und als Düngungsmittel oder zur Energiegewinnung in Ethanolanlagen eingesetzt.

Ethanol (E100)

Ethanol kann aber auch synthetisch hergestellt werden. Es wird dann künstlich durch die Hydratisierung aus Ethen gewonnen. Mithilfe von Phosphorsäure findet die Reaktion unter hohem Druck und unter Hitze statt.[8]

Die Bruttoreaktionsgleichung ist:[8]



Das gewonnene Ethanol (technischer Alkohol) wird mit Benzol, Aceton oder Pyridin vergällt[9] Durch Vergällung wird das Ethanol als Lebensmittel ungenießbar gemacht (Denaturierung), was z. B. aus steuerlichen Gründen ausgeführt wird. In dieser Arbeit wird nicht weiter auf synthetische Herstellung von Ethanol eingegangen.

2.2 Chemische und physikalische Eigenschaften

Rein chemisch betrachtet gibt es keinen Unterschied zwischen dem Ethanol der 1ten und 2ten Generation und dem synthetisch erzeugten Ethanol. Ethanol wird nach IUPAC-Regeln als Alkanole benannt wegen seiner OH-Gruppe bzw. Hydroxylgruppe. Die allgemeine Formel des Alkohols lautet $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$. Das chemische Ethanolsummenformelzeichen ($n=2$) lautet $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. [5][10] Die Abbildung 2 zeigt das chemische 3D-Modell des Ethanols.

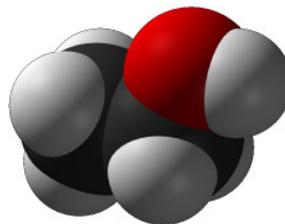
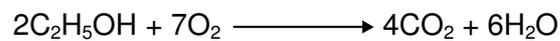


Abbildung 2 Das chemische 3D-Modell des Ethanols[11]

Ethanol bildet mit Wasser bei 96% Ethanolgehalt ein azeotropes Gemisch, welches durch einfache Destillation nicht mehr in seine Bestandteile getrennt werden kann, da die Zusammensetzung der Flüssigkeit und Gasphase identisch ist. Ethanol ist in jedem Verhältnis mit Wasser, Ether, Chloroform und Benzen mischbar.[12]

Ethanol (E100)

Ethanol ist eine klare, farblose, würzig riechende, brennend schmeckende, hygroskopische (wasseranziehende) Flüssigkeit, leicht entzündbar und brennt mit schwach leuchtender Flamme. Die Verbrennung von Ethanol läuft nach der folgenden chemischen Reaktionsgleichung:



Nach dieser Reaktionsgleichung erfolgt eine vollständige Oxidation. Ethanol verbrennt in der Flamme mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser.[10]

Um eine Ethanol-Wasser-Mischung mit 100 Volumenteilen zu bekommen, müssen 52 Ethanolvolumenteile mit 50 Wasservolumenteilen gemischt werden.[13][9]

In der Tabelle 1 sind die wichtigsten Eigenschaften von Ethanol zusammengefasst.

Chem. oder phys. Eigenschaft	Größe
Molare Masse	46,07 g/mol
Dichte (ρ)	~789 kg/m ³
Heizwert	26,8 MJ/kg
Siedepunkt	78 °C
Schmelzpunkt	-114 °C
spezifische Wärmekapazität (cp)	2,395 kJ/(kg K)
Wärmeleitfähigkeit (λ_w)	0,173 W/(m K)
Viskosität (η)	0,0012 kg/(m s)

Tabelle 1 Eigenschaften von Ethanol[14][15]

3 Ethanol als Kraftstoff

Ethanol wird entweder direkt mit Benzin angemischt oder zur Verbesserung der Klopf-festigkeit als ein Ethyl-Tertiär-Buthyl-Ether (ETBE) verwendet.[9] In diesem Kapitel werden Eigenschaften von Ethanol-Kraftstoffen vorgestellt.

3.1 Technische Eigenschaften

Heizwert

Ethanol hat im Vergleich zum Benzin einen niedrigeren Heizwert. Die Ursache liegt in dem im Ethanol vorhandenen Sauerstoffgehalt. Mit zunehmendem Kohlenstoffgehalt oder abnehmendem Wasserstoffgehalt kann der Heizwert eines Kraftstoffs gesteigert werden. Auch ETBE hat wegen seines Sauerstoffgehalts einen geringeren Heizwert als Benzin. Die nachfolgende Tabelle 2 gibt ein Überblick über Heizwerte und Dichten verschiedener Kraftstoffe.

Kraftstoffart	Struktur	Dichte 30 °C [kg/m ³]	Heizwert [KJ/kg]	Heizwert [KJ/dm ³]
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	790	26770	21150
E85	C _n H _{n+3} OH	780	29280	22838
Ethyl-Tertiär-Buthyl-Ether	C ₆ H ₁₆ O	740	36050	26691
Super bleifrei ROZ 95 (Mittelwert)	(C ₈ H ₁₈)	751	40980	30780
Super plus ROZ 98 (Mittelwert)	C ₆ H ₁₈	761	40310	30670

Tabelle 2 Dichte und Heizwerte von Kraftstoffen[16][17][18]

Aufgrund seines niedrigen Heizwertes führt Ethanol bei gleicher Motorlaufzeit, unter gleichen Bedingungen und der gleichen Belastung, zu höherem Kraftstoffverbrauch als die reinen Kohlenwasserstoffverbindungen. Ethanol hat aber eine höhere Dichte als Benzin, was wiederum einen positiven Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch hat. Der positive Effekt der höheren Dichte kann jedoch nicht den höheren Kraftstoffverbrauch wegen des niedrigen Heizwertes kompensieren.[16]

Luftbedarf

Das Ethanol enthält, wie oben bereits erwähnt, einen gewissen Sauerstoffgehalt. Aus diesem Grund wird für eine Verbrennung von Ethanol weniger Luft pro Kilogramm als bei Benzin benötigt.[16] Je mehr Ethanol prozentual im Kraftstoff vorhanden ist, desto

Ethanol als Kraftstoff

weniger Luft pro Kilogramm bzw. pro Volumeneinheit wird für die vollständige Verbrennung gebraucht.

Gemischheizwert

Für die Berechnung der motorischen Leistung muss die effektive Arbeit bekannt sein. Diese hängt wiederum von der mechanischen und indizierten Arbeit ab. Die mechanische Arbeit hängt von vielen Reibfaktoren ab. Was aber für weitere Versuche von Bedeutung ist, ist dass die indizierte Arbeit vom Gemischheizwert und anderen motorischen Größen (Luftaufwand und innerer Wirkungsgrad) abhängt. Diese bleiben bei gleichen Motorparametern nahezu konstant. Die Berechnung des Gemischheizwertes erfolgt mithilfe folgender Größen: unterer Heizwert, Mindestluftbedarf und Lambda. Es wird angenommen, dass bei der Verbrennung ein stöchiometrisches Gemisch ($\lambda = 1$) vorliegt. Obwohl der ethanolhaltige Kraftstoff einen niedrigeren unteren Heizwert besitzt als die Benzin-Kohlenwasserstoffe, was einen niedrigen Gemischheizwert zur Folge hätte, führt der geringere Luftverbrauch von ethanolhaltigen Kraftstoffen zum höheren Gemischheizwert. Dies hat einen Leistungsanstieg zur Folge.[16][17] Je mehr Ethanol prozentual im Kraftstoff vorhanden ist, desto mehr Leistung kann erzielt werden.

Verdampfungswärme

Die Verdampfungswärme ist die Energie, die notwendig ist, um eine Aggregatzustandsänderung eines beliebigen Mediums, unter adiabaten Bedingungen, zu erreichen. Ethanol hat eine höhere Verdampfungswärme als Benzin. Die Kraftstoffunterschiede sind aus der Tabelle 3 erkennbar.[17]

Kraftstoffart	Verdampfungswärme KJ/kg
Ethanol	910
E85	840
Benzin	335

Tabelle 3 Verdampfungswärme von Kraftstoffen[17][19]

Die höhere Verdampfungswärme sorgt in der Praxis dafür, dass eine höhere Abkühlung des Kraftstoffluftgemisches entsteht.[17] Durch diese Eigenschaft kann beim Ansaugen des ethanolhaltigen Kraftstoffes durch den Vergaser kein homogenes Kraftstoff-Luft-Gemisch gebildet werden. Wenn kein homogenes Gemisch entsteht, führt das zu einem Anstieg der HC-Emissionen. Die Homogenisierung des Gemisches er-

Ethanol als Kraftstoff

folgt letzten Endes im Zylinder, was wiederum einen positiven Motorkühleffekt zur Folge hat. Weiterhin wird durch die entstehende Abkühlung des Gemisches der Liefergrad erhöht. Im Verdichtungsstakt verdampft ein Teil des Kraftstoffes. Damit geht eine Abkühlung des Kraftstoffgemisches einher. Diese verringert die Verdichtungsarbeit. Wenn die Verbrennung bei tieferen Temperaturen verläuft, bildet sich ein geringerer NO_x -Gehalt. Bei Verwendung von Ethanol als Kraftstoff ist somit mit einer starken Innenkühlung des Motors zu rechnen.[17][20] Wie weiter oben schon ausgeführt, ist Ethanol mit Wasser mischbar. Diese Eigenschaft verhindert eine Bildung bzw. den Ansatz von Eis an den Gemischbildungssystemen.[17]

Dampfdruck und Siedeverhalten

Der Kraftstoff wird in einen starren Behälter (konstantes Volumen) eingeschlossen und anschließend Wärme zugeführt. Der Druck, der durch die Verdampfung (in Abhängigkeit von der Temperatur) entsteht, wird als Dampfdruck bezeichnet. Der Dampfdruck eines Kraftstoffs ist ein wichtiges Kriterium für den Kalt- und Heißstart eines Motors, sowie das Kaltlaufverhalten bei niedrigen Temperaturen, die Verdampfungsverluste und die Ausbildung der Dampfphase in Lagerbehältern über dem Flüssigkeitsspiegel. Da die meisten verwendeten Kraftstoffe nicht ausreichend flüchtig sind, werden diese mit leichtflüchtigen Kraftstoffkomponenten wie z. B. Butan oder Isopentan vermengt.[16][21][22][15] In der Abbildung 3 sind verschiedene Kraftstoff-Dampfdrücke in Abhängigkeit der Temperatur dargestellt.

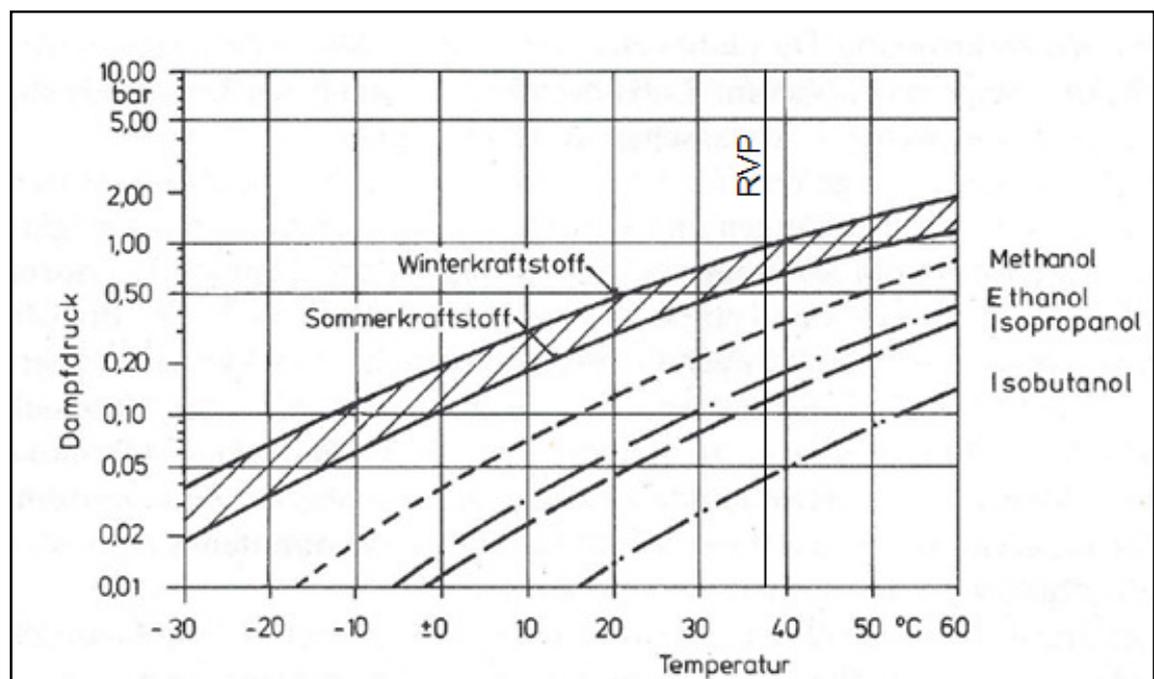


Abbildung 3 Temperaturabhängiger Dampfdruck von Alkoholen im Vergleich zu Sommer- und Winterkraftstoff für Ottomotoren [16]

Ethanol als Kraftstoff

Im Diagramm ist beispielsweise zu erkennen, dass Winterkraftstoffe bei einer Temperatur von -25°C einen Dampfdruck von 0,05 bar aufweisen. Es wird davon ausgegangen, dass in diesem Punkt ein zündfähiges Gemisch vorliegt. Unter dieser Annahme, zeigt der Kurvenverlauf von Ethanol, dass sich ein zündfähiges Gemisch erst bei 16°C bilden würde. Ein Motorstart bei Minustemperaturen unter Verwendung von Ethanol als Kraftstoff wäre folglich unmöglich. Aus diesem Grund kommt im Winter das reine Ethanol als Kraftstoff nicht in Frage.

Um das Verhalten eines Kraftstoffes festzulegen wurden verschiedene Methoden entwickelt. Heute wird zur Charakterisierung von Kraftstoffen die DVPE (Dry Vapour Pressure Equivalent) Methode verwendet. Die DVPE Methode wurde am 01.02.2000 eingeführt und ist nach EN 13016-1 geregelt. Sie kommt zum Einsatz, da die Vergaser im Automobilbereich durch moderne Einspritzanlagen ersetzt wurden.[21][17] In dieser Arbeit wird auf diese Methode nicht weiter eingegangen.

Eine ältere Methode ist die RVP (Reid-Dampfdruck) Methode. Bei dieser Methode liegt das Dampf-Flüssigkeitsverhältnis bei 4:1 und die Prüftemperatur beträgt $37,8^{\circ}\text{C}$ (in der Abbildung 3 durch eine vertikale Linie gekennzeichnet).[21] Die RVP Methode ist gut geeignet, um das Kraftstoffverhalten in den Motoren zu ermitteln, wo ein Vergaser im Einsatz ist.[17] Im Diagramm ist erkennbar, dass der Reid-Dampfdruck von Ethanol bei 0,16 liegt, was deutlich niedriger ist als bei Sommerkraftstoffen. Das liegt daran, dass die Siedetemperaturpunkte bei Benzin-Kohlenwasserstoffen niedriger liegen als bei Ethanol. Dieses Verhalten von Ethanol macht sich in der Verwendung bemerkbar. Es treten Kaltstartprobleme und auch ein unruhiges Motorlaufverhalten ein, sollte die Betriebstemperatur des Motors noch nicht erreicht sein.[21] Um diese Probleme zu umgehen, müssen leicht siedende Kraftstoffkomponente zugeführt werden. Es muss berücksichtigt werden, dass zu viele oder zu wenige leicht siedende Anteile unterschiedliche Auswirkungen auf den Motorbetrieb haben. In der Tabelle 4 sind die Auswirkungen in Abhängigkeit von den siedenden Anteilen zusammengefasst.[21][15]

Ethanol als Kraftstoff

zu viele leicht siedende Anteile	zu wenige leicht siedende Anteile	zu viele schwer siedende Anteile	zu wenige schwer siedende Anteile
<p><i>In warmen Jahreszeiten führt dies zu:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Dampfblasenbildung • Verdampfungsverlusten <p><i>Bei nasskalter Witterung führt dies zu:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Vergaser- bzw. Drosselklappenvereisung 	<p><i>In kalten Jahreszeiten führt dies zu:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Startproblemen • Schwankendem Motorbetrieb • Schlechteren Abgaswerten 	<p><i>Beim Kaltbetrieb kommt es zu:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Kondensation an Zylinderwänden, dadurch entsteht eine Ölfilm- und Ölvorratverdünnung 	<p><i>Im mittleren Siedebereich führt dies zu:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Schlechterem Fahrverhalten • „Ruckeln“ beim Beschleunigen

Tabelle 4 Auswirkungen leicht und schwer siedender Kraftstoffkomponenten

Wegen der in der Tabelle 4 dargestellten Auswirkungen verschiedener Jahreszeiten und des unterschiedlichen Dampfdrucks von Kraftstoffen, gibt es Sommer- und Winterkraftstoffe. Zum Beispiel enthält ein E85 Kraftstoff im Winter nie ein Ethanolgehalt von 85% sondern (nur) von ca. 60%.

Zündgrenzen und Zündtemperatur

Zündgrenzen sind Grenzen, die den Bereich definieren, in dem der Kraftstoff mit Sauerstoff ein zündfähiges Gemisch bildet. An der oberen Zündgrenze liegt ein fettes Gemisch vor und an der unteren Zündgrenze liegt ein mageres Gemisch vor.[21] Die Zündgrenzen hängen auch vom Kraftstoff, dem Druck und der Temperatur des Gemisches ab.[23]

Die Zündtemperatur ist die niedrigste Temperatur, bei der das Kraftstoff-Luftgemisch sich selbst entzünden kann.[21] Die unterschiedlichen Zündtemperaturen sind in der Tabelle 5 dargestellt.

Kraftstoff	Zündtemperatur [°C]
Ottokraftstoff (Kohlenwasserstoffe)	220-300
Ethanol (E100)	400
E85	385

Tabelle 5 Zündtemperaturen von Kraftstoffen[24]

Ethanol als Kraftstoff

Ethanol und die ethanolhaltigen Kraftstoffe verfügen im Vergleich zu Benzin-Kohlenwasserstoffen über eine höhere Zünd- und Verbrennungstemperatur.[25]

Die Zündgrenzen haben für die Verwendung im Ottomotor eine größere Bedeutung als die Zündtemperatur. Die Zündfähigkeit des Kraftstoffes ist nur dann vorhanden, wenn das Kraftstoff-Luft-Gemisch sich zwischen der unteren und der oberen Zündgrenze befindet. In der Tabelle 6 sind die Zündgrenzen bei Atmosphärendruck dargestellt.

Kraftstoff	untere Zündgrenze [Vol.- %]	obere Zündgrenze [Vol.- %]
Ottokraftstoff (Kohlenwasserstoffe)	1,4	7,6
Ethanol (E100)	3,3	19
E85	1,4	19

Tabelle 6 Zündgrenzen von Kraftstoffen[26]

Die unteren Zündgrenzen vom Ottokraftstoff und E85 sind gleich. Bei den oberen Zündgrenzen ist ein Unterschied vorhanden. Die Ursache liegt darin, dass das Ethanol-Gemisch ein Sauerstoffträger ist.

Viskosität

Die kinematische Viskosität von unterschiedlichen Kraftstoffarten ist in der Tabelle 7 aufgelistet.

Kraftstoff	Kinematische Viskosität [mm²/s] bei 20 °C
Ottokraftstoff (Kohlenwasserstoffe)	<1
Ethanol (E100)	1,5
E85	>1

Tabelle 7 Kinematische Viskosität von Kraftstoffen

Da die Viskosität von ethanolhaltigen Kraftstoffen höher ist als bei Benzin-Kohlenwasserstoffen, wird dadurch die Kraftstoffdurchflussmenge beeinflusst.[16]

3.2 Verbrennungseigenschaften

Die Verbrennungseigenschaften von Kraftstoff-Luft-Gemischen spielen eine wichtige Rolle für die Einstellung des Verbrennungsmotors. Sie haben einen direkten Einfluss auf den Motorwirkungsgrad, die Motorleistung, die Motorteilbeanspruchung und die Abgaswerte.

Ethanol als Kraftstoff

Flammenausbreitungs- bzw. Brenngeschwindigkeit

Unter Flammenausbreitungsgeschwindigkeit wird verstanden, in welcher Zeit eine bestimmte Menge des Kraftstoff-Luft-Gemisches verbrannt wird. In der motorischen Verbrennung hängt die Brenngeschwindigkeit ab von:[21]

- dem Luft-Kraftstoff-Verhältnis
- der Brennraumform
- der Zündkerzenlage
- der mittleren Kolbengeschwindigkeit
- der Kolbenstellung bzw. dem Kolbenwinkel

In der Abbildung 4 ist die Brenngeschwindigkeit von Benzin und Ethanol in Abhängigkeit von Lambda dargestellt.

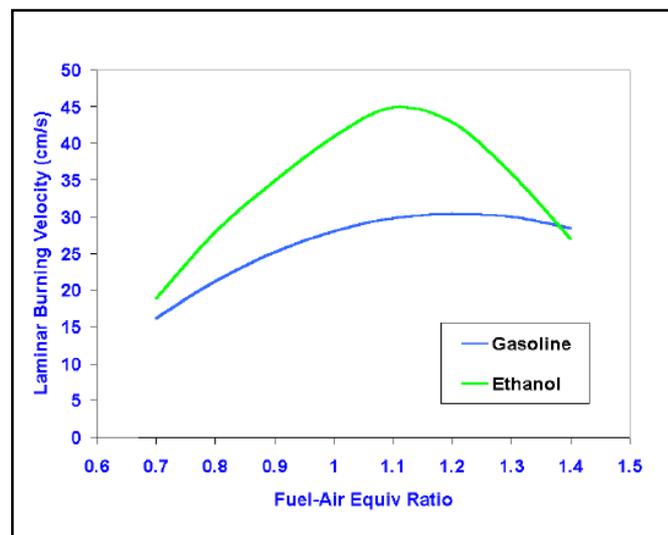


Abbildung 4 Brenngeschwindigkeit von Benzin und Ethanol[27]

Es ist deutlich zu erkennen, dass Ethanol über eine höhere Brenngeschwindigkeit verfügt als Benzin. Laut dem Diagramm liegt die maximale Brenngeschwindigkeit in dem mageren Bereich ($\lambda \approx 1,1$). Durch eine höhere Brenngeschwindigkeit entsteht eine kürzere Brenndauer, die dafür sorgt, dass die Verbrennung schneller abgeschlossen wird.[21] Folglich wird die zugeführte Energie bei der Verwendung von Ethanol schneller freigesetzt. Es wird eine Gleichraumverbrennung angestrebt. So kann ein niedriger spezifischer Kraftstoffverbrauch erreicht werden. Der Kraftstoffverbrauch ist umgekehrt proportional zu dem effektiven Wirkungsgrad. Daraus folgt, dass bei der Verwendung vom ethanolhaltigen Kraftstoff und richtiger Motorauslegung ein höherer effektiver Wirkungsgrad erreicht werden kann.

Ethanol als Kraftstoff

Klopffestigkeit

Die Klopffestigkeit ist eine wichtige Eigenschaft von Ottokraftstoffen. Mit einem klopfesten Kraftstoff kann eine ungewollte bzw. unkontrollierte Verbrennung im Zylinder verhindert werden. Ein Maß für die Klopffestigkeit des Kraftstoffes ist die Oktanzahl. Je höher die Oktanzahl ist, desto klopfester ist der Kraftstoff.[23] Es gibt die Research Oktanzahl (ROZ) und die Motor Oktanzahl (MOZ). Die ROZ ist eine wichtige Größe für das Beschleunigungsklopfen und die MOZ hat eine zunehmende Bedeutung mit steigender Last und Drehzahl.[21]

Die konstruktiven Parameter von Motoren, wo eine höhere Klopffestigkeit notwendig ist, sind:[21]

- hohes Verdichtungsverhältnis (zu niedrige Oktanzahl führt zu einer Selbstzündung)
- hoher Liefergrad (beim Verdichten führt die im Zylinder vorhandene große Menge des Kraftstoff-Luft-Gemisches bei niedriger Oktanzahl zu einer Selbstzündung)
- früher Zündzeitpunkt (führt bei niedriger Oktanzahl zu einer unkontrollierten Verbrennung)
- zerklüftete Brennräume (die in Rissen glühenden Ablagerungen verursachen bei niedriger Oktanzahl eine Selbstzündung)
- geringere Ladungsbewegung (das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird schlecht homogenisiert, dadurch kann es an mehreren Stellen zu einzelnen Flammenfronten kommen)
- lange Brennwege (z. B. keine zentrale Zündkerzenanordnung)
- sog. „Hotspots“ (z. B. heiße Auslassventile)
- hohe Motorraumtemperatur (beim Verdichten führt das im Zylinder vorhandene Kraftstoff-Luft-Gemisch bei niedriger Oktanzahl zu einer Selbstzündung).

In der Tabelle 8 sind einige Kraftstoffarten mit unterschiedlichen Oktanzahlen dargestellt.

Kraftstoff	ROZ	MOZ
Ottokraftstoff (Super bleifrei)	95	86
Ethanol (E100)	111	94
E85	110	96,6

Tabelle 8 Oktanzahlen von Kraftstoffen[24]

Ethanol als Kraftstoff

Es ist zu erkennen, dass ethanolhaltiger Kraftstoff höhere MOZ und ROZ hat. Bei der Verwendung von solchen Kraftstoffsorten in auf Super bleifrei abgestimmten Motoren ist eine Zündzeitpunktverstellung in Richtung „Früh“ vorteilhaft, um einen besseren Wirkungsgrad zu erhalten.

3.3 Materialverträglichkeit

Die Materialverträglichkeit der Motorkomponenten bei Verwendung von ethanolhaltigen Kraftstoffen spielt eine erhebliche Rolle. In der Abbildung 5 ist eine Materialverträglichkeitsliste der im Motorbau am meisten verwendeten Bauteile.

Materialverträglichkeit mit E85 / Benzin		
Bezeichnung	Ethanol	Gasoline / ASTM C
Chloroprene/ Neoprene	1	x
Nitrile	1	2
Polyethlen PE / CPE / HDPE	1	2
Teflon	1	1
Viton	1	2
Stahl	1	1
Edelstahl	1	1
Aluminium	2	1
Thermoplastische Kunststoffe (PA)	1	2

1 = excellent
 2 = good resistance
 x = not recommend

Folgende Werkstoffe werden im Kraftstoffsystem verwendet:

Tank: Stahl, Aluminium, Polyethylen mit hoher Dichte (HDPE)
 Kraftstoffleitungen: Stahl, thermoplastische Kunststoffe (PA)
 Kraftstoffschlauch: Nach DIN 73379 B Nitrile (NBR)
 Kraftstoffpumpe: Stahl, Aluminium, Kunststoff (PE)
 Kraftstofffilter: Aluminium, Stahl
 O-Ringe: Viton (FKM), Nitrile (NBR)
 Druckleiste: Stahl, Aluminium, Kunststoff (PE)
 Einspritzdüse: Stahl

Abbildung 5 Materialverträglichkeit mit E85 und Benzin[28]

Kunststoff- und Gummitteile, die sich mit ethanolhaltigem Kraftstoff nicht vertragen, quellen oder schrumpfen. Bei Metallen entsteht Korrosion.

4 Motorsägen und Trennschleifer der Dolmar GmbH

Die Dolmar GmbH stellt Motorsägen und Trennschleifer verschiedener Klassen her. Am größten ist das Angebot in der Profiklasse. In der Tabelle 9 ist die Aufteilung der Motorsägen nach Klassen dargestellt.

Hobby-Klasse	Farmer-Klasse	Profi-Klasse
PS-45 Bald auf dem Markt PS-32 PS-35	PS-350 SC; PS-420 SC; PS-460; PS-500; 115	PS-3410 TH; PS-3410 TH TLC; PS-3410; PS-4605; PS-4605 H; PS-5105 H; PS-6400; PS-7300; PS-7300 H; PS-7900; PS-7900 H; PS-9010; PS-6400 H;

Tabelle 9 Aufteilung der Motorsägen nach Klassen

Trennschleifer werden nur in der Profiklasse hergestellt. Folgende Modelle werden auf dem Markt geführt: PC-6412 D, PC-7314 D, PC-8116 D. In allen aufgeführten Modellen kommt der 2-Takt-Ottomotor als Antrieb zum Einsatz.

4.1 Aufbau eines 2-Takt-Ottomotors

Ein 2-Takt-Ottomotor hat einen einfachen Aufbau. In der Abbildung 6 ist der systematische Aufbau mit Beschriftung dargestellt.

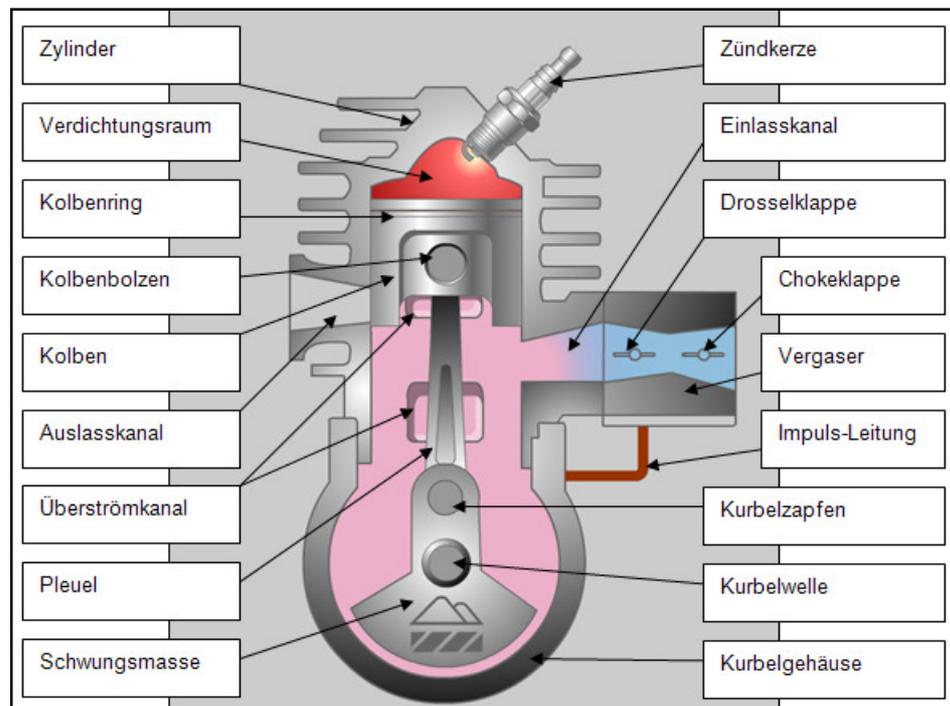


Abbildung 6 Systematischer Aufbau eines 2-Takt-Ottomotors[29]

Motorsägen und Trennschleifer der Dolmar GmbH

Der einfache Aufbau eines 2-Takt-Ottomotors ist einer seiner größten Vorteile. Weitere Vor- und Nachteile können der Tabelle 10 entnommen werden.

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> - Einfacher Aufbau - Kompakte Größe - Geringe Herstell- und Reparaturkosten - Hohe spezifische Leistung - Wenig schwingende Massen (hohe Drehzahlen) - Gutes Beschleunigungsverhalten - Einfache Wartung - In jeder Position lauffähig - Gleichförmiges Drehmoment 	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Spülverluste - Hoher Kraftstoffverbrauch infolge der Spül- und Ladeverluste besonders bei Vollast - Hoher Schadstoffausstoß - Umweltbelastung durch Öl im Kraftstoff - Geringer Drehmoment bei kleinen Drehzahlen

Tabelle 10 Vor- und Nachteile eines 2-Takt-Ottomotors

4.2 Funktionsweise eines 2-Takt-Motors

2-Takt-Motoren liefern ein gleichförmiges Drehmoment, weil bei jeder Kolbenabwärtsbewegung ein Arbeitstakt stattfindet. Die Abbildung 7 zeigt die Funktionsweise eines 2-Takt-Ottomotors.

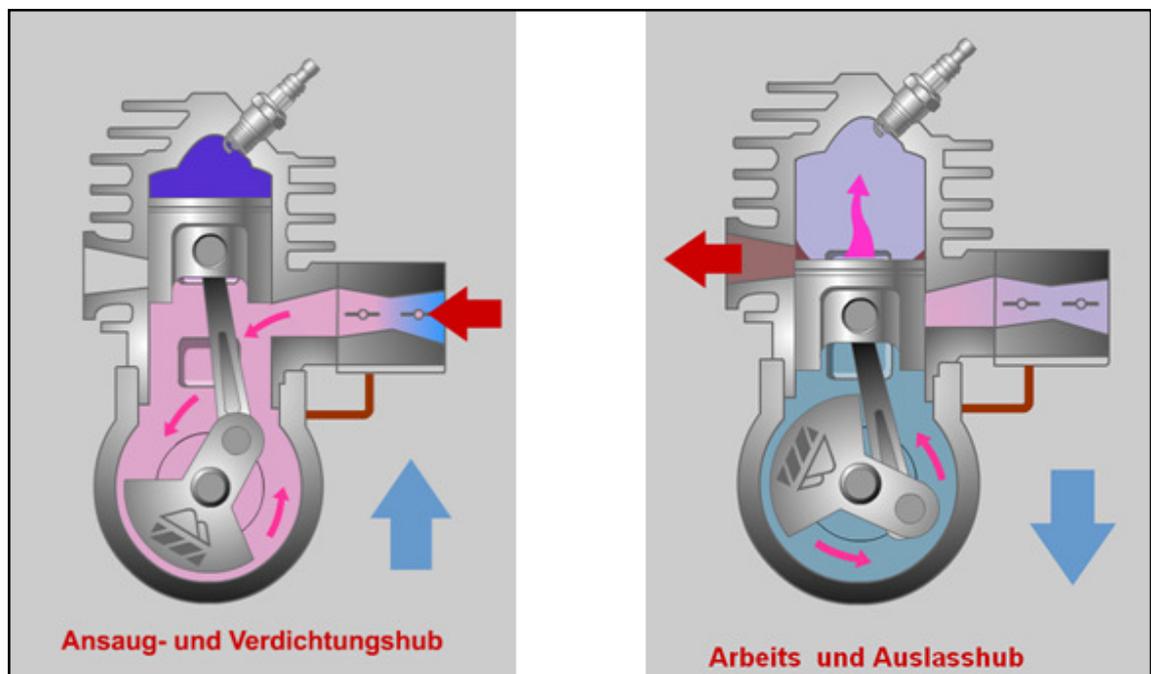


Abbildung 7 Funktionsweise eines 2-Takt-Ottomotors[29]

Motorsägen und Trennschleifer der Dolmar GmbH

Bei der Kolbenaufwärtsbewegung erfolgt gleichzeitig das Ansaugen des frischen Kraftstoff-Luft-Gemisches in das Kurbelgehäuse und das Verdichten des, im Verdichtungsraum befindlichen, Kraftstoff-Luft-Gemisches (siehe Abbildung 7 links). Um einen guten Motorlauf zu bekommen, wird angestrebt, dass der 50% Energieumsetzungspunkt ca. 8° nach OT liegt.[30] Um das zu erreichen, wird mithilfe der Zündkerze das Kraftstoff-Luft-Gemisch kurz vor OT (ca. 25°) gezündet. Durch die Zuführung von Energie wird der Kolben nach unten gedrückt.

Wenn der Kolben die Abwärtsbewegung durchführt, öffnet sich zuerst der Auslasskanal. Durch den im Zylinder vorhandenen Druck strömt das verbrannte Kraftstoff-Luft-Gemisch ab, während der Kolben weiterhin seine Abwärtsbewegung fortführt und anschließend auch den Überströmkanal öffnet. Durch die untere Kolbenfläche wird das frische Kraftstoff-Luft-Gemisch durch den Überströmkanal in den Verbrennungsraum gedrückt bei gleichzeitigem Entweichen der Abgase (siehe Abbildung 7 rechts). Da der Auslasskanal durch die Kolbenbewegung früher geöffnet wurde als der Überströmkanal, wird dieser auch erst einige Zeit später wieder geschlossen. Dadurch entweicht frische Ladung des Kraftstoff-Luft-Gemisches durch den Auslasskanal, was als Spülverlust bezeichnet wird. Diese hohen Spülverluste sind der größte Nachteil von 2-Takt-Ottomotoren. Es wurden im Laufe der Zeit einige Methoden entwickelt, um die Spülverluste zu reduzieren. Beispielsweise wurde versucht mithilfe einer Nase am Zylinder die Frischladung so umzulenken, dass diese nicht sofort in den Auslasskanal strömt. Heute werden die Spülverluste mit einer Luftvorlage reduziert, indem sich eine obere Schicht von Frischluft im Überströmkanal ansammelt. Beim Befüllen des Zylinders wird die angesammelte Frischluft als erste in den Verbrennungsraum eingefüllt, sodass in den Auslasskanal ein Teil der reinen Luft entweicht. Mit dieser Luftvorlage werden heute viele neu entwickelte Motorsägen und Trennschleifer ausgestattet.

5 Versuch Materialverträglichkeit

Wie in der Zielsetzung bereits erwähnt, teilt sich der Gesamtversuch in zwei Bereiche auf. Dieses Kapitel beschreibt die durchgeführten Versuche der Materialverträglichkeit von verschiedenen Bauteilen. Im nächsten Kapitel wird das Motorverhalten analysiert.

5.1 Allgemeiner Versuchsablauf

Um die Auswirkung des Ethanol auf verschiedene Materialien festzustellen, werden alle Bauteile, die mit ethanolhaltigem Kraftstoff in Verbindung kommen, getestet. Nachfolgend sind diese Bauteile, in der Reihenfolge des Kraftstoffflusses, aufgelistet:

- | | | |
|---|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - Kraftstofftank - Tankdeckel (O-Ring) - Tankkraftstoffleitung - Saugkopf - Belüftungsventil - Kraftstoffnippel allgemein - Kraftstoffleitung - Kraftstoffpumpe (Primer) | <ul style="list-style-type: none"> - Kraftstoffnippel - Kraftstoff-Einlassventil - Kraftstoffpumpemembran - Kraftstoff-Auslassventil - Kraftstofffilter - Einlassnadel - Einlassregelhebel - Regelfeder - Regelmembrane - Düsen - Drosselklappe - Einstellnadeln - Vergaserbody | 
Vergaserbestandteile |
|---|--|--|

Die oben genannten Bauteile kommen mit dem Kraftstoff in Berührung, der in seinem Aggregatzustand flüssig ist. In diesem Fall werden die Bauteile, bei dem Versuchsablauf, in das Ethanol-Gemisch eingelegt. Es soll berücksichtigt werden, dass dieser Versuchsablauf unter statischen Bedingungen abläuft.

Versuch Materialverträglichkeit

Andere Bauteile die mit dem Kraftstoff-Luft-Gemisch in Berührung kommen sind:

- Ansauggummi (Kollektor)
- Kurbelgehäuse / Dichtung
- Lagerungen
- Simmerringe
- Zylinder
- Kolben
- Kolbenringe
- Kolbenstift
- Zylinderfußdichtung
- Beschichtung der Lauffbuchse
- Pleuellager unten / oben

Diese Bauteile werden nach dem PZD-Test als Stichprobenmessung auf Ethanolbeständigkeit analysiert. Bei der Bauteilbeständigkeit werden die im Kapitel 4 genannten Motorsägen und Trennschleifer untersucht. Da in mehreren Geräten die gleichen Materialien verwendet werden, wird eine Materialmatrix erstellt.

5.1.1 Versuchsvorbereitung mithilfe einer Materialmatrix

Die Materialmatrix wird in einer Exceltabelle erstellt (auf der beigefügten CD vorhanden: „Materialmatrix.xls“). Die Abbildung 8 zeigt den systematischen Aufbau der Materialmatrix.

Maschinen-Bezeichnung				
Bauteile, die mit Kraftstoff in Berührung kommen				
	Teilenummer vom entsprechenden Bauteil			

Abbildung 8 Systematischer Aufbau der Materialmatrix[31]

In der Kopfzeile sind alle Maschinentypen, die zu untersuchen sind, aufgelistet. Links stehen alle Bauteile, die mit dem Kraftstoff in Berührung kommen. Die entsprechenden Teilenummern werden aus dem DOLMAR Informations - und Order System (DIOS+ - System) rausgesucht. Da die gleichen Bauteile in mehreren Maschinen verbaut werden, wird die Tabelle nach den gleichen Bauteilenummern durchsucht und entsprechend zusammengefasst. Nach der Sortierung entstehen mehrere kleine Tabellen. Es werden für jede Teilenummer verwendete Werkstoffe aus der Teilezeichnung rausgesucht. Erwartungsgemäß werden gleiche Werkstoffe in mehreren Bauteilen verwendet. Es wird eine weitere Tabelle nach gleichen Werkstoffen aufgestellt.

Versuch Materialverträglichkeit

Dadurch geht die Zahl der zu prüfenden Bauteile weiter zurück. Jetzt werden die Bauteile gezielt nach ihrem Werkstoff untersucht. Es werden viele Bauteile als eine Baugruppe untersucht, wie z. B. der Vergaser, der Primer und der Saugkopf. Die Vergaser werden nach den Lieferanten, die Saugköpfe und Primer nach Baugruppen, sortiert und getestet.

5.1.2 Kraftstoffmischvorgehensweise für den Materialversuch

Als Testkraftstoff für den Versuch wird E85 einer schlechten Qualität ausgewählt. Die schlechte Qualität des ethanolhaltigen Kraftstoffs ist meist dadurch bedingt, dass das Ethanol-Wasser-Gemisch schlecht getrocknet wurde (siehe Kapitel 2.1). Ein weiterer Grund kann eine schlechte Lagerung sein, wodurch das Ethanol aufgrund seiner hygroskopischen Eigenschaft das Wasser aus der Umgebung aufnimmt. Somit wird als Testkraftstoff E85 mit 4% Wasseranteil gewählt. Der Wasseranteil von 4% wird angenommen, da bei dieser Menge das Ethanol-Wasser-Gemisch ein azeotropes Gemisch bildet. Der gewählte Kraftstoff muss mit 2-Takt-Öl (1:50) gemischt werden.

Kraftstoffmischvorgehensweise

Zuerst soll bestimmt werden, wie viel Ethanolgehalt in dem zur Verfügung gestellten Benzin vorhanden ist. Das wird mithilfe eines Ethanolgehaltmesskolbens realisiert (siehe Abbildung 9).



Abbildung 9 Ethanolgehaltmesskolben[31]

Versuch Materialverträglichkeit

Der Ethanolgehaltmesskolben wird bis zur unteren Markierung mit destilliertem Wasser aufgefüllt und der Rest (bis zur oberen Markierung) wird mit Benzin nachgefüllt. Das Röhrcchen wird verschlossen, gut geschüttelt und in die richtige (senkrechte) Position, wie in Abbildung 9 gezeigt, aufgestellt. Nach ca. 5 Minuten trennt sich die Ethanol-Wasser-Mischung vom Benzin ab. In der Abbildung 10 ist das Ergebnis dargestellt.

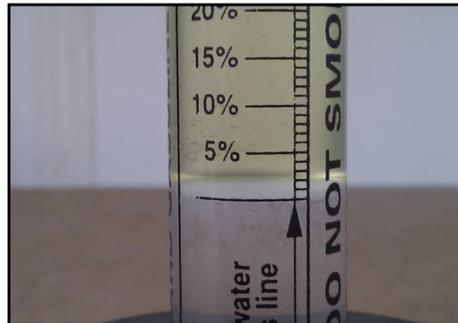


Abbildung 10 Ergebnis der Ethanolgehaltsmessung[31]

Im verwendeten Benzin ist 2% Ethanol vorhanden. Um eine genauere Mischung zu ermöglichen, wurde eine Berechnungstabelle erstellt (Auszug siehe Abbildung 11. Die komplette Berechnungstabelle ist auf der beigefügten CD vorhanden: „Berechnungstabelle zur Bestimmung des Mischverhältnisses von Ethanol, Benzin und Wasser.xls“).

"Ethanol-Benzin-Gemisch" prozentuale Berechnung				
Eingabe Daten				
Gesamtvolumen [ml]	Im "normal" Kraftstoff-Gemisch vorhandene Ethanolanteil [%]	Gewünschte Kraftstoff-Mischung Ethanolgehalt in [%]		
1000	2	98	85	15

Berechnet	
Kraftstoffvolumen [ml]	Ethanolvolumen in [ml]
153,06	846,94

"Ethanol-Wasser-Gemisch" Berechnung bei 20°C				
Eingabe Daten				
Ethanol-Wasser Dichte aus Tabelle [g/ml]	Gesamtvolumen (Wasser+Ethanol) [ml]	Wasser Dichte Tabelle [g/ml]	Wasser [%]	Gew%-Ethanol
0,8028	846,94	0,9982	4	96

Berechnet	
Wasservolumen in [ml]	Ethanolvolumen in [ml]
37,07	813,06

Abbildung 11 Auszug aus der Berechnungstabelle zur Bestimmung des Mischverhältnisses von Ethanol, Benzin und Wasser[31]

Die Berechnung wird mit einer Beispielmenge von 1l durchgeführt. Die weißen Felder sind Eingabefelder und die türkis hinterlegten Felder sind Ausgabefelder. Als erstes wird die gewünschte Menge (Gesamtvolumen) in ml - in diesem Fall 1000 ml - eingegeben. Dann wird der im Kraftstoff vorhandene Ethanolanteil in Prozent - in diesem Fall 2% - eingegeben.

Versuch Materialverträglichkeit

Zum Schluss wird das gewünschte Ethanol-Benzin-Gemisch in Prozent - hier 85% - eingetragen. Die Ausgabewerte sagen aus, dass um 1 Liter E85 zu bekommen, 153 ml Kraftstoff mit 847 ml Ethanol vermischt werden müssen. Aufgrund der oben getroffenen Annahme, sollte in dieser Mischung 4% Wasseranteil vorhanden sein. Deswegen werden für die Berechnung die unteren Eingabefelder der Abbildung 11 verwendet. Da die Vermischung von Ethanol und Wasser nicht linear ist, wie in Kapitel 2.2 bereits erklärt, muss die Dichte des Ethanol-Wasser-Gemisches der Tabelle entnommen werden (die Tabelle ist in der Excel-Berechnung vorhanden). In ein weiteres Kästchen wird die gewünschte Menge vom Ethanol-Wasser-Gemisch eingetragen. In diesem Fall entspricht diese Menge der oben berechneten Ethanolmenge, die in E85 enthalten ist. Als nächstes wird die Wasserdichte eingetragen (diese wird aus der in der Berechnung vorhandenen Tabelle entnommen). Anschließend wird der prozentuale Wasser- und Ethanolanteil eingegeben. Das Ergebnis der Berechnung zeigt, dass um 1 Liter Ethanol-Benzin-Wasser-Gemisch (EBWG) zu bekommen, 153 ml Benzin mit 813 ml Ethanol und 37 ml Wasser angemischt werden müssen. Wie bereits erwähnt, wird das Gemisch mit 2-Takt-Öl im Verhältnis 1:50 vermengt, das bedeutet, dass zu 1 Liter Kraftstoff 20ml Öl beigemischt werden. Das verwendete Dolmar Öl ist ein mineralisches Motoröl, das für luftgekühlte Zwei-Takt-Motoren geeignet ist.

Versuch Materialverträglichkeit

5.2 Versuch: Kunststoffteilebeständigkeit

Bei diesem Versuch wird untersucht, ob das Ethanol-Benzin-Wasser-Gemisch eine lösende Wirkung auf die, in der Motorsäge vorhandenen, Kunststoffteile hat. In der Abbildung 12 sind die Prüflinge gekennzeichnet.

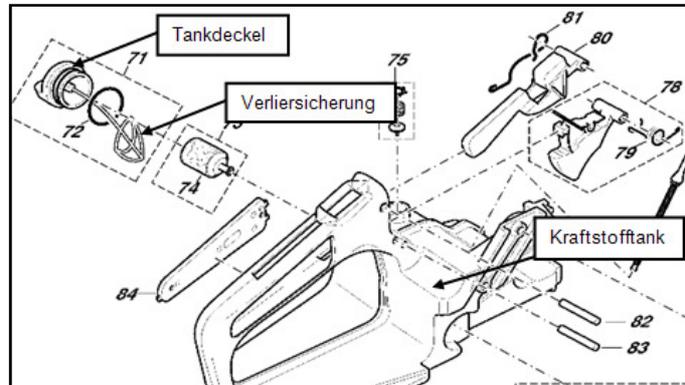


Abbildung 12 Kraftstofftank-Explosionszeichnung

Es wird untersucht, ob das Kraftstoffgemisch eine Kunststoffveränderung beim Kraftstofftank und beim Tankdeckel hervorruft und ob der Tankdeckel ihre Verschraubungsfunktion verliert. Die Verliersicherung wird darauf geprüft, ob das Kraftstoffgemisch ihre Funktion nicht beeinflusst.

5.2.1 Allgemeiner Versuchsaufbau

- a) Die Test-Bauteile werden aus der Materialmatrix entnommen und in der nachfolgenden Tabelle 11 zusammen mit der zu prüfenden Menge dargestellt.

Menge	Bauteil / Material	Teilenummer	Verwendet
2	Kraftstofftank / PA6-GF30	170111633	PS-3410 bis PS-7900 H außer PS-45
		195114171	
		181114013	
		020114014	
		038114107	
		024114105	
6	Kraftstofftank / Hostalen GF 4750	036114151	PS-45
		170114100	PS-3410TH TLC; PS3410; PS-3410 TH; PS-45
6	Tankdeckel / Hostaform C9021 (POM)	010114063	

Versuch Materialverträglichkeit

Menge	Bauteil / Material	Teilenummer	Verwendet
6	Tankdeckel / Hostaform S27064 (POM)	181114202	PS-350 SC; PS-420 SC; PS-460; PS-4605; PS-4605 H; PC-6412 D; PC-7314 D; PC-8116 D
6	Tankdeckel / PBT schwarz RAL 9005	965451901 010114050	PS-6400; PS-6400 H; PS-7300; PS-7300 H; PS-7900; PS-7900 H
10	Verliersicherung / PA6, AKULON F223D Firma: DSM	965451440 965451445 Ist am Tank- deckel	PS-3410 bis PS-7900 H

Tabelle 11 Kunststoff-Versuchsbauteile aus der Materialmatrix

- b) Für den Versuch werden die Bauteile, wie in der Tabelle angegeben, vorbereitet (evtl. bestellt). In der Tabelle 11 sind mehrere Teilenummern unter einer Baugruppe aufgelistet. Für die Bestellung kann eine beliebige Nummer verwendet werden, da es sich hierbei um einen gleichartigen Werkstoff handelt.
- c) Die Bauteile werden sichtbar und erkennbar mit der Werkstoffbezeichnung beschriftet, um eine Verwechslung zu vermeiden.
- d) Für den Tankdeckel und die Verliersicherung werden die Glasbehälter vorbereitet (evtl. bestellt).
- e) Ein Drehmomentschlüssel mit einem Drehmomentanzeiger wird vorbereitet, um das maximale Abreißmoment ablesen zu können.
- f) Es wird ein Ethanol-Benzin-Wasser-Gemisch (EBWG) verwendet (siehe Kapitel 5.1.2).
- g) Es wird eine Bersttestprüfanlage und eine Materialprüfmaschine für den Kraftstofftanktest verwendet.

5.2.2 Test: Kraftstofftank

Bei diesem Versuch wird die Ethanolbeständigkeit des Tankmaterials, anhand des Kraftstofftanks mit der Teilenummer 181114013 und des Blaskraftstofftanks mit der Teilenummer 036114151 getestet. Die Kraftstoffschläuche werden abgedichtet, dann werden die Kraftstofftanks mit EBWG voll aufgefüllt und mit dem Tankdeckel verschlossen. Die Ausleerung erfolgt nach 30 Tagen.

Bei diesem Versuch müssen zwei verschiedene Tests durchgeführt werden. Der Blaskraftstofftank wird mithilfe eines Druck- und Zugversuchs auf Materialschwäche untersucht. Die anderen Tanks werden mithilfe des Bersttests auf ihre Schwäche überprüft.

Bersttest

Der Bersttest wird durch eine Bersttestprüfanlage ermöglicht. Die Anlage wird mit einem inkompressiblen Medium verwendet, da es sich sonst schnell entspannen kann und somit zum unkontrollierten Bruch führen kann. Um das zu umgehen, wird dafür Wasser, als inkompressibles Medium, verwendet. In einer vorgesehenen Spezialeinrichtung wird der Kraftstofftank mit Wasser eingespannt. Der Kraftstofftank wird langsam und kontinuierlich so lange mit Wasser bedrückt, bis er platzt. Der Berstdruck wird in der Anlage aufgenommen. In der Abbildung 13 ist die Bersttestprüfanlage abgebildet.

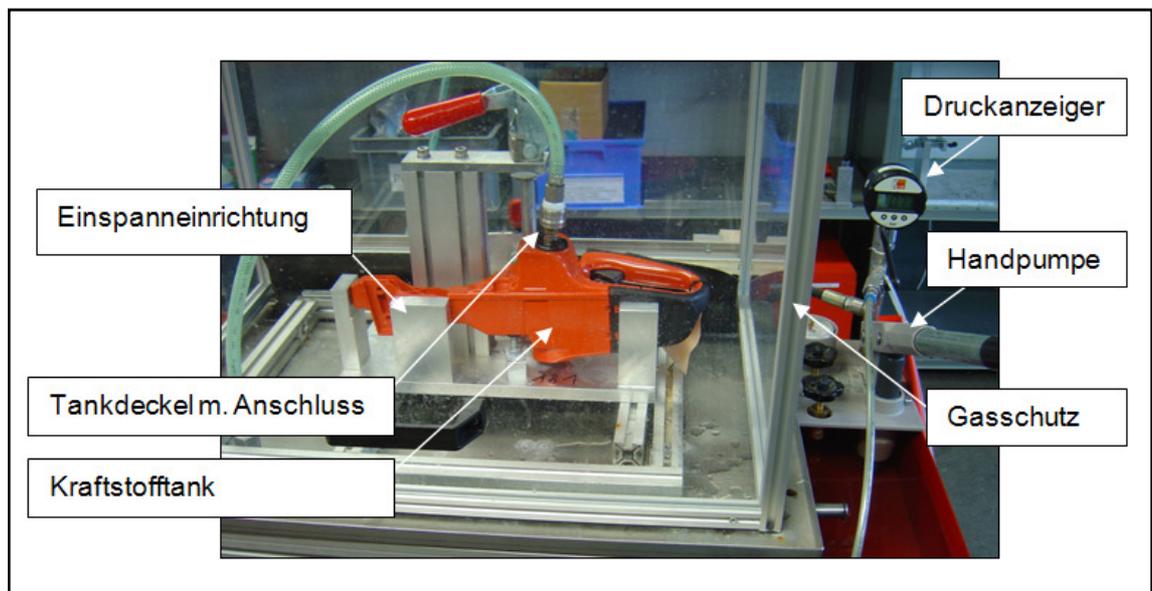


Abbildung 13 Bersttestprüfanlage

Versuch Materialverträglichkeit

Druck- und Zugversuch

Kraftstofftank mit der Teilenummer 036114151.

Wie schon oben erwähnt, werden die Blaskraftstanks mithilfe des Druck- und Zugversuchs auf Materialschwäche untersucht. Es wird eine Stichprobenmessung zu Vergleichszwecken durchgeführt. Zuerst werden die Messpunkte gewählt. Wie in der Abbildung 14 zu sehen ist, sind 3 Punkte definiert.

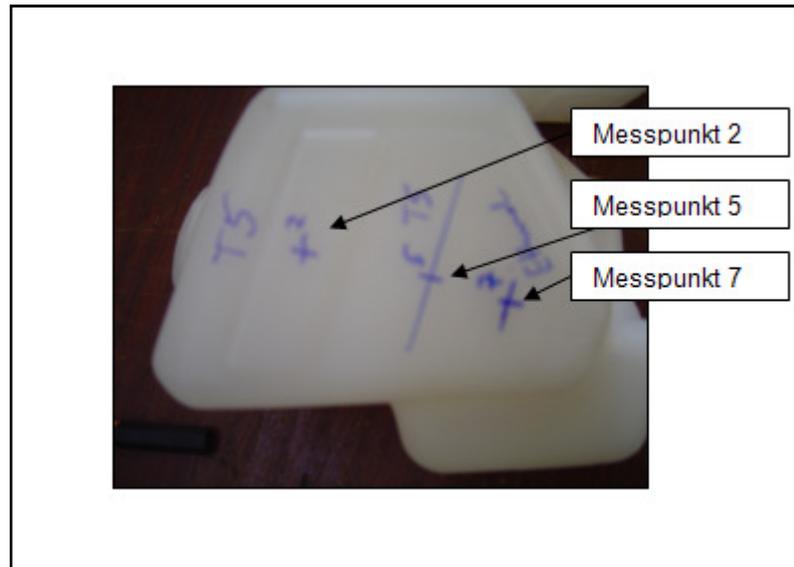


Abbildung 14 Blaskraftstofftank mit Messpunkten

Der Prüfling wird auf eine vorgefertigte Auflage platziert. Es wird eine runde Druckspitze gewählt, um Materialeigenschaften bestimmen zu können. Ansonsten würde die Messspitze, mit einer zu kleinen Kraft das Material durchdringen und keine messbaren Ergebnisse erzeugen. Der Druckkopf wird auf den Messpunkt am Kraftstofftank gefahren, so dass er den Tank leicht berührt. Das wird realisiert, indem die Druckkraft von 1 N eingegeben wird. Die Druckkraft wird mit einer Druckdose aufgenommen und die Daten werden an den Spannungsverstärker weiter geleitet. Der Spannungsverstärker ist mit dem Rechner verbunden, wo dann die Ergebnisse konvertiert und als Kraft in einem Diagramm dargestellt werden. Bevor die tatsächliche Messung erfolgen kann, muss der Wegaufnehmer angepasst, sowie die Kraftmessdose und der Wegaufnehmer genullt werden. In der Abbildung 15 ist die Prüfanlage dargestellt.

Versuch Materialverträglichkeit

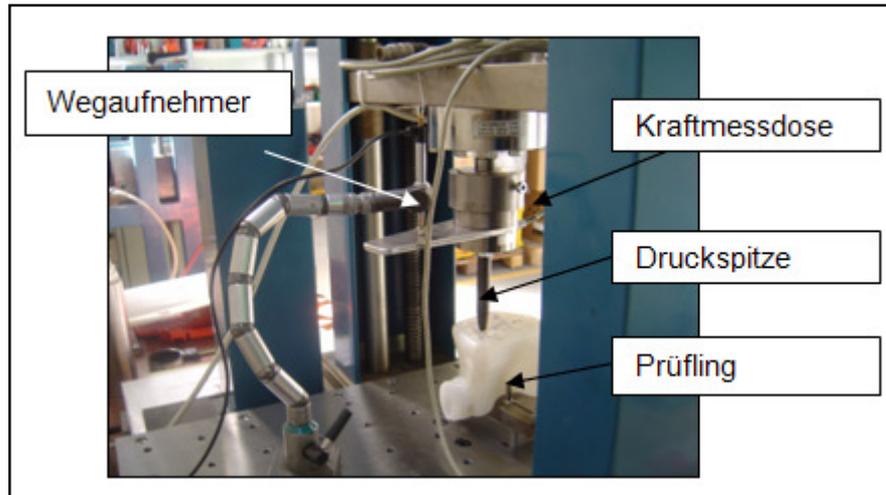


Abbildung 15 Versuchsanlage für den Druckversuch

Die Messung wird mit folgenden Einstellungen durchgeführt:

Eindringtiefe	5	[mm]
Einfahrtgeschwindigkeit	2	[mm/s]
Kriechen	300	[s]
Entlastungsgeschwindigkeit	2	[mm/s]

Die erzeugten Ergebnisse gelten nur ceteris paribus, da bei Veränderung einer der Größen sich auch das Materialverhalten verändern würde.

Der Zugversuch wird an der gleichen Anlage durchgeführt, es werden dabei statt der Druckspitze die Zangen verwendet. In der Abbildung 16 ist die Anlage - umgebaut für den Zugversuch - abgebildet.

Versuch Materialverträglichkeit

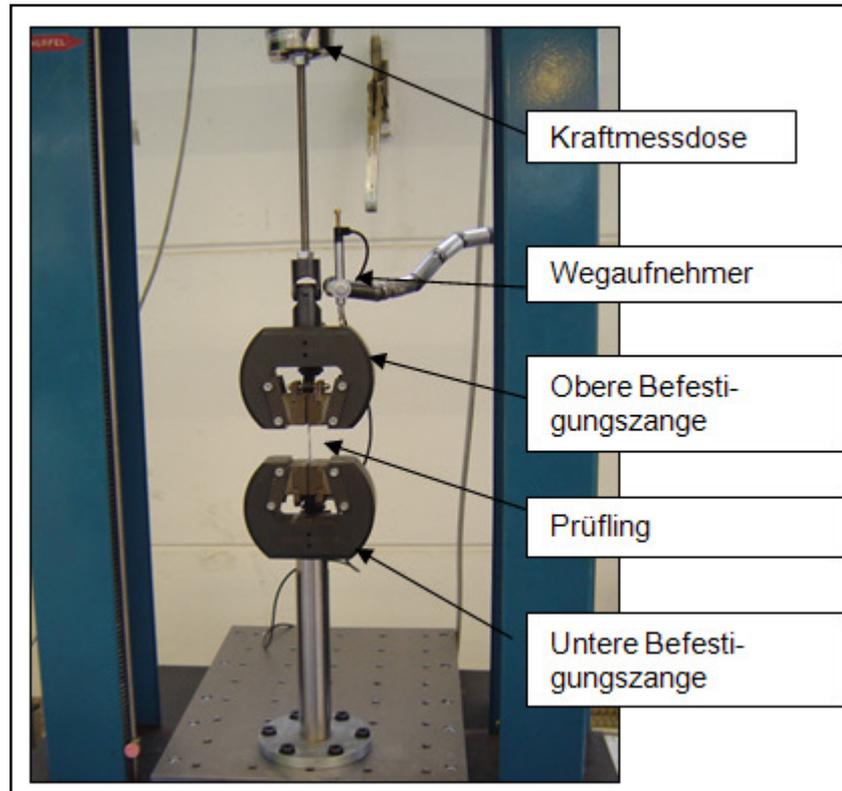


Abbildung 16 Versuchsanlage für den Zugversuch

Die Prüflinge werden aus dem Kraftstofftank herausgeschnitten. Dabei wird versucht, die Prüflinge nach den in der Abbildung 17 dargestellten Massen anzufertigen.

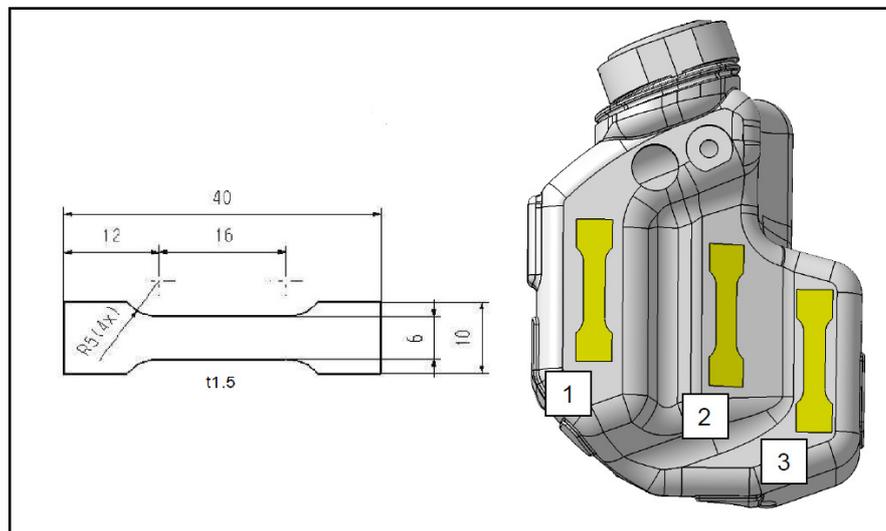


Abbildung 17 Massen der Zugversuchsprobe

Die Prüflinge werden mit der oberen und unteren Befestigungszange eingespannt.

Versuch Materialverträglichkeit

Mit folgenden festgelegten Einstellungen wird der Versuch durchgeführt:

Dehnungsweg	10	[mm]
Dehngeschwindigkeit	10	[mm/s]
Kriechen	120	[s]

Auch in dem Zugversuch sind die erzeugten Ergebnisse nur für diese Einstellungen gültig.

Testauswertung: Kraftstofftank

Da der Bersttest eine Stichprobenmessung war, wurden nur zwei Kraftstofftanks für den Test verwendet. Diese Kraftstofftanks bestehen aus dem Material PA6-GF30 (Polyamid 6 mit 30 % Glasfaseranteil).

Ein Auszug der chemischen Eigenschaften über die Materialbeständigkeit von PA6-GF30 liefert die Firma Kern GmbH:[32]

mineralische Schmierstoffe	beständig
aliphatische Kohlenwasserstoffe	beständig
aromatische Kohlenwasserstoffe	beständig
Benzin	beständig
schwache Mineralsäuren	bedingt beständig
starke Mineralsäuren	unbeständig
schwache organische Säuren	bedingt beständig
starke organische Säuren	unbeständig
oxidierende Säuren	unbeständig
schwache Laugen	bedingt beständig
starke Laugen	unbeständig
Trichlorethylen	beständig
Aceton	beständig
Alkohole	beständig
heißes Wasser (Hydrolysebeständigkeit)	bedingt beständig
UV-Licht und Witterung	bedingt beständig

Versuch Materialverträglichkeit

Aus dem Bersttest können keine Schlüsse auf die Materialveränderung gezogen werden. Die internen Daten der Dolmar GmbH schreiben einen Solldruck von mindestens 3 bar vor. Im durchgeführten Versuch wurde bei einem Kraftstofftank der Druck von 12,2 bar erreicht und bei dem anderen von 12,32 bar. Dieser Druck ist im Vergleich zu den intern durchgeführten Tests höher. Daraus erschließt sich, dass die Kraftstofftanks aus PA6-GF30 für die Verwendung des ethanolhaltigen Kraftstoffs geeignet sind.

Am Blastank konnte kein Bersttest durchgeführt werden, da der Kraftstoffdeckel vom Gewinde des Kraftstofftanks abrutscht, bevor ein Platzdruck erreicht wird. Deswegen wurde die Tankbeständigkeit mit dem Druck- und Zugversuch untersucht. Der Blastank besteht aus Hostalen-Material GF 4750 (PE-HD).

Nachfolgend der Auszug seiner chemischen Eigenschaften über die Materialbeständigkeit:[32]

mineralische Schmierstoffe	beständig
aliphatische Kohlenwasserstoffe	beständig
aromatische Kohlenwasserstoffe	bedingt beständig
Benzin	beständig
schwache Mineralsäuren	beständig
starke Mineralsäuren	beständig
schwache organische Säuren	beständig
starke organische Säuren	beständig
oxidierende Säuren	bedingt beständig
schwache Laugen	beständig
starke Laugen	beständig
Trichlorethylen	bedingt beständig
Aceton	beständig
Alkohole	beständig
heißes Wasser (Hydrolysebeständigkeit)	beständig
UV-Licht und Witterung	bedingt beständig

Versuch Materialverträglichkeit

Druckversuch

Aus dem Druckversuch entstand ein Kraft-Zeit- und Kraft-Weg-Diagramm. Da die Ergebnisse von allen Messpunkten ähnlich ausgefallen sind, werden hier nur die Ergebnisse von Messpunkt 2 dargestellt. In der Abbildung 18 ist der $F(t)$ -Verlauf vom Messpunkt 2 zu sehen. Die Verläufe zeigen bei allen Tanks einen Kraftanstieg in den ersten 150 Sekunden. In diesen 150 Sekunden wird die Eindringtiefe von 5 mm erreicht. Hier entstehen auch die maximalen Kräfte. Die eingefahrene Tiefe wird weitere 300 Sekunden gehalten. In dieser Zeit fließt das Material, d. h. dass Kunststoffstrukturknoten sich entspannen. Anschließend wird der Druckdorn wieder herausgefahren. Dies geschieht etwa in den letzten 100 Sekunden.

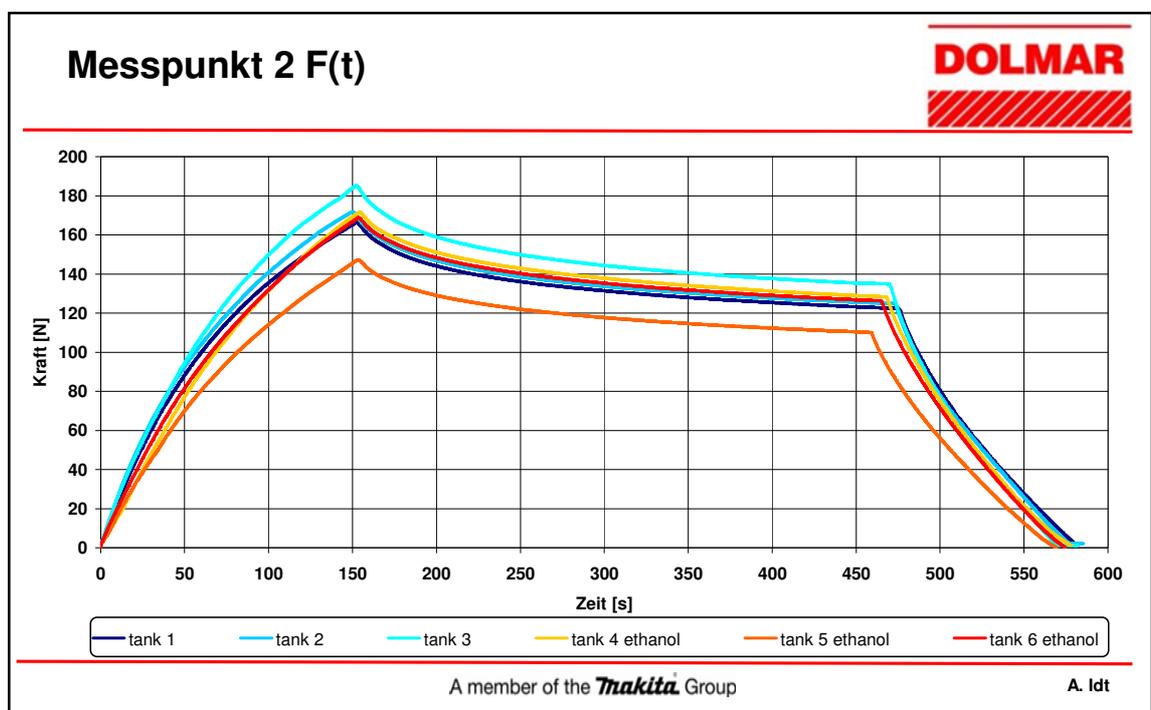


Abbildung 18 Kraft-Zeit-Diagramm aus dem Druckversuch

In der Abbildung 19 spiegeln sich die Druckverläufe in Abhängigkeit vom Weg wider.

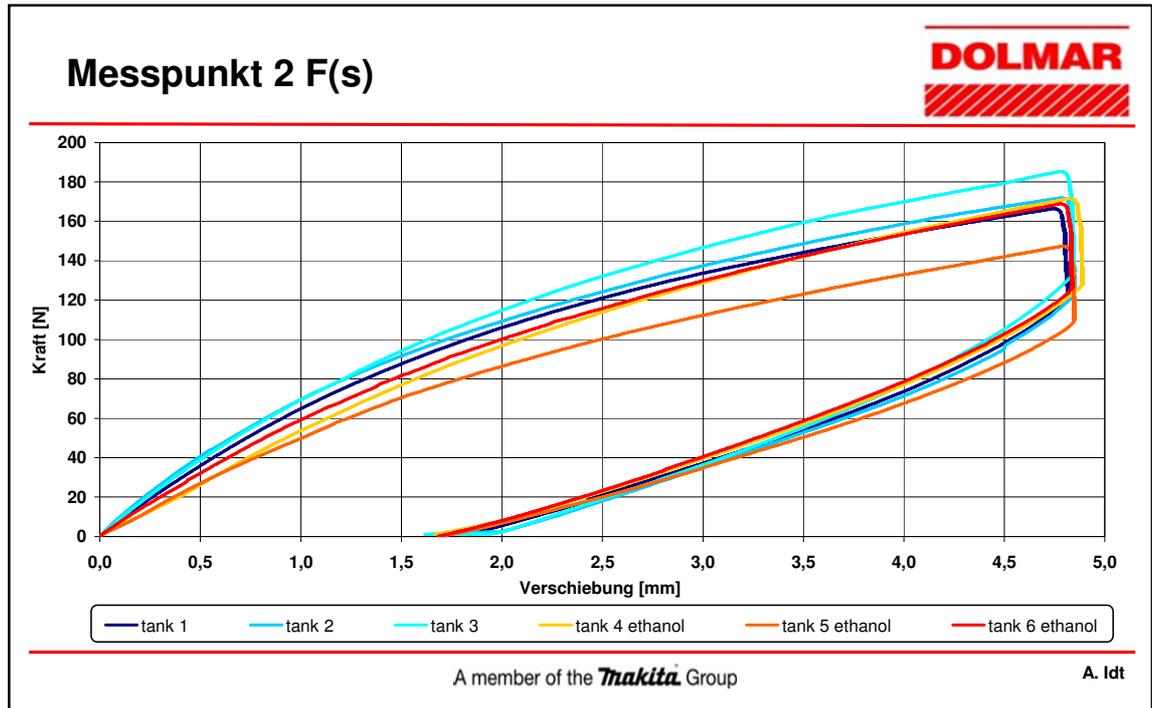


Abbildung 19 Kraft-Weg-Diagramm aus dem Druckversuch

Diagramm 20 lässt eine Interpretation der plastischen Verformung des Blasstankmaterials zu. In diesem Fall liegt diese bei 1,6 bis 1,9 mm.

Um eine Aussage über die Materialveränderung treffen zu können, werden die Extremwerte ausgesucht. In der Tabelle 12 sind die maximalen Kräfte (F_{max}), Verschiebung bei Maximalkraft ($u(F_{max})$), Kraftsteigung der ersten 0,3 mm ($K_{init(0.3mm)}$), Kraftabfall in der Kriechzeit (Δcr_{300s}) und die plastische Verformung (u_{plast}) zusammengefasst.

Punkt	Tank	Kondition	F_{max} [N]	$u(F_{max})$ [mm]	$K_{init(0.3mm)}$ [N/mm]	Δcr_{300s} [N]	u_{plast} [mm]
P2	1		167	4,8	76	44	1,8
	2		172	4,8	87	46	2,0
	3		185	4,8	83	50	1,9
	4	Ethanol	172	4,8	51	43	1,7
	5		147	4,8	54	37	1,7
	6		169	4,8	67	42	1,7
P5	1		255	4,8	88	63	1,8
	2		236	4,8	86	61	1,8
	3		240	4,8	88	62	1,8

Versuch Materialverträglichkeit

Punkt	Tank	Kondition	F_{\max} [N]	$u(F_{\max})$ [mm]	$K_{\text{init}(0.3\text{mm})}$ [N/mm]	Δcr_{300s} [N]	u_{plast} [mm]
	4	Ethanol	237	4,8	75	55	1,5
	5		208	4,8	65	48	1,6
	6		226	4,8	73	53	1,6
P7	1		397	4,7	135	104	1,8
	2		-	-	-	-	-
	3		402	4,8	141	101	1,8
	4	Ethanol	377	4,8	119	91	1,6
	5		326	4,8	105	78	1,6
	6		356	4,8	112	86	1,6

Tabelle 12 Messwerte aus dem Druckversuch

Aus diesen Werten werden Mittelwerte gebildet und die prozentuale Abweichung des mit E85 kondensierten Kraftstofftanks im Vergleich zum Ausgangszustand dargestellt (siehe Tabelle 13).

Punkt	Kondition	av. F_{\max} [N]	ΔF_{\max} [%]	av. K_{init} [N/mm]	ΔK_{init} [%]	av. cr_{300s} [N]	Δcr_{300s} [%]	av. u_{plast} [mm]	Δu_{plast} [%]
P2		175	-7	82	-30	47	-13	1,9	-12
	Ethanol	163		57		41		1,7	
P5		244	-8	87	-19	62	-16	1,8	-12
	Ethanol	224		71		52		1,6	
P7		400	-12	138	-19	103	-17	1,8	-10
	Ethanol	353		112		85		1,6	

Tabelle 13 Gemittelte Messwerte aus dem Druckversuch

Diese Berechnungen zeigen, dass das Material weicher geworden ist. Die maximalen Kräfte sind niedriger geworden. Die Kraftsteigung hat um 30% nachgelassen. Der Kraftabfall in der Kriechzeit ist ebenfalls kleiner geworden, sowie die plastische Verformung.

Versuch Materialverträglichkeit

Zugversuch

Für den Zugversuch wurden die Zugproben ausgeschnitten. Die Zugproben sind in der Abbildung 20 zu sehen.



Abbildung 20 Zugproben

Für diesen Versuch sollten die Zugproben möglichst die gleichen Abmessungen haben. Da es nicht gelungen ist, alle Proben einheitlich herzustellen, sind auch die Ergebnisse verstreut ausgefallen (siehe Abbildung 21).

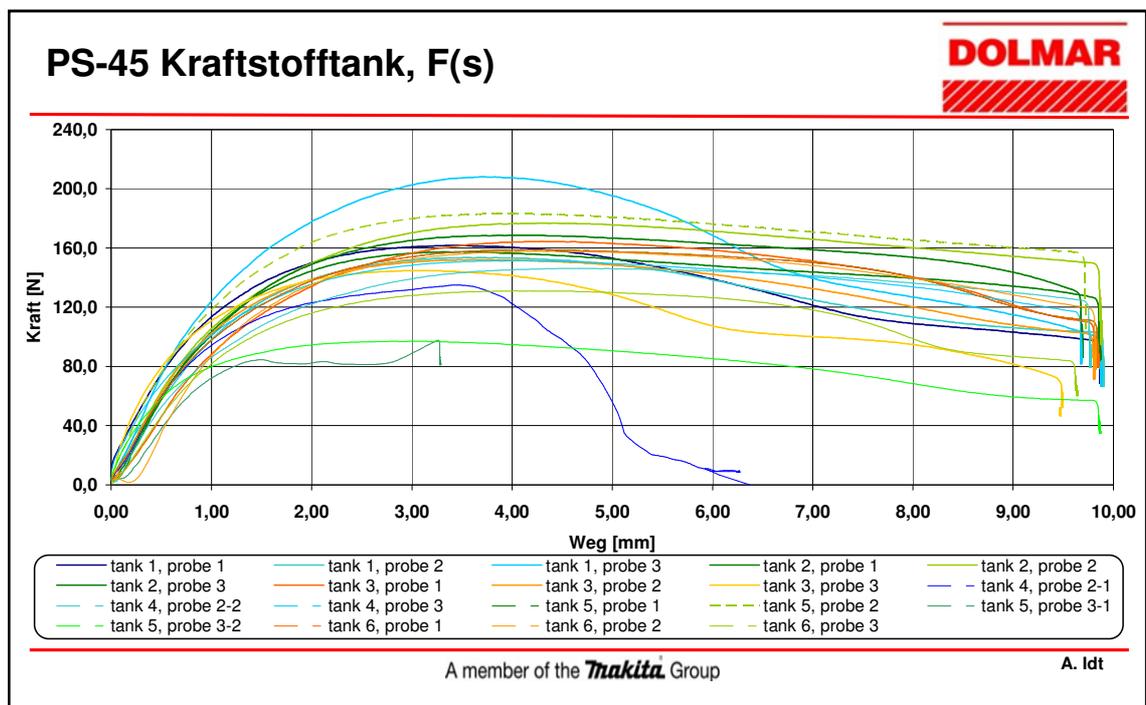


Abbildung 21 Kraft-Weg-Diagramm aus dem Zugversuch

Deswegen sind die Ergebnisse des Zugversuches nicht in die Auswertung hineingeflossen.

Versuch Materialverträglichkeit

Obwohl das Material aus dem Druckversuch leichte Veränderung zeigte, sind die maximalen Kräfte hoch genug, dass der Kraftstofftank weitere Verwendung in handgetragenen Geräten auch mit ethanolhaltigem Kraftstoff finden kann.

5.2.3 Test: Tankdeckel

Die Tankdeckel werden nach 28 Tagen aus dem Ethanol entnommen. Um festzustellen, welche Wirkung Ethanol auf das Material hat, werden drei Versuche durchgeführt:

- Ein Schwitzttest (nach der internen Testanweisung)
- Drehmomente zum Schließen des Tankverschlusses (interne Testanweisung)
- Kraftstoffdeckel-Bruchtest.

Schwitzttest

In diesem Test wird nicht nur der Tankdeckel darauf geprüft, ob das Material Schwäche zeigt und der Tankdeckel die Druckkräfte hält, sondern auch der Dichtring auf seine Dichtigkeit untersucht. Der Tankdeckel wird mit einem Drehmomentschlüssel auf 1 Nm angezogen, wie in der Abbildung 22 dargestellt.

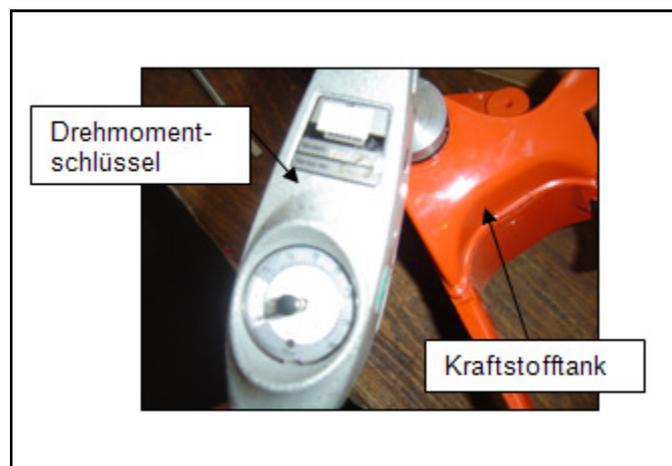


Abbildung 22 Tankdeckelverschraubung mit Drehmomentschlüssel

Durch den Kraftstoffzuführschlauch wird das verschlossene System mit einem Druck von 0,2 bis 1 bar beaufschlagt. Dieser wird mit einer Druckpumpe erzeugt. Jede Druckstufe wird 1 Minute lang gehalten. Die Testdurchführung ist in der Abbildung 23 dargestellt.

Versuch Materialverträglichkeit

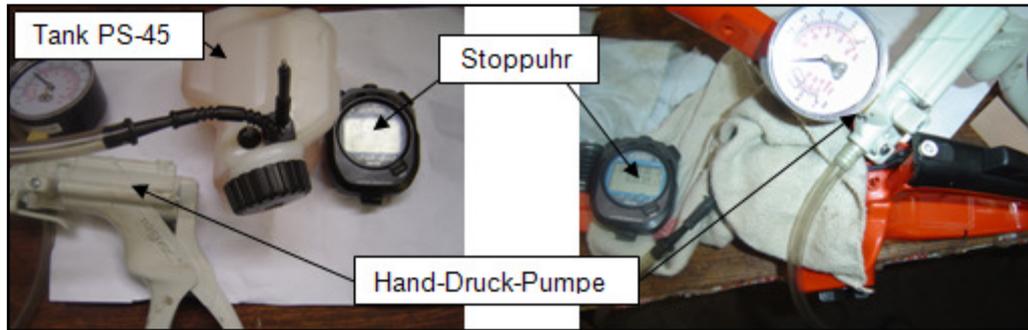


Abbildung 23 Schwitztest Vorführung

In jeder Druckstufe wird der Tankdeckel auf Schwitzen untersucht. Schwitzen ist definiert als ein Austritt des Mediums, der so gering ist, dass es nicht zur Tropfenbildung kommt. Die Ergebnisse werden in eine Tabelle, wie in der Abbildung 24 dargestellt, aufgenommen.

Prüfling	Druckstufe / Prüfdruck / [bar]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1					
2					
3					
Gesamtergebnis	<input type="checkbox"/> i.O. <input type="checkbox"/> n.i.O.				

Abbildung 24 Schwitztest Ergebnisprotokoll

Drehmomente zum Schließen des Tankverschlusses (Test auf Beschädigung)

In diesem Test werden die Tankdeckel mit einem definierten Drehmoment angezogen, anschließend werden die Bauteile auf eine Beschädigung untersucht. Bei den Kraftstofftanks, die einen festen Anschlag haben (siehe Abbildung 25), wird ein Drehmoment von mindestens 2 Nm und nicht mehr als 8 Nm zum Verschließen (bis Anschlag) aufgebracht.

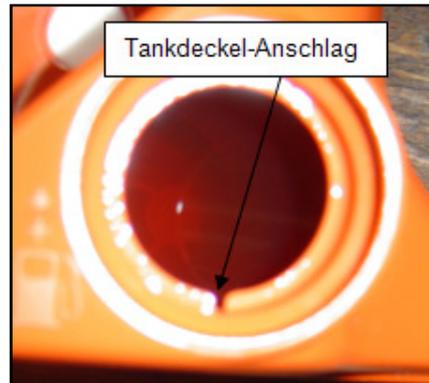


Abbildung 25 Tankdeckelöffnung mit Anschlag

Bei einem Kraftstofftankgewinde ohne Anschlag wird der Tankdeckel mit 8 Nm angezogen. In beiden Fällen dürfen keine Beschädigungen auftreten.

Kraftstoffdeckel Bruchtest

In diesem Test werden die Tankdeckel so lange in einem Metallgehäuse fest gezogen, bis das Material des Tankdeckels versagt. Das Bruchdrehmoment wird für den weiteren Vergleich aufgenommen. Da die gleichen Tankdeckel für Kettenöltanks verwendet werden und diese aus einem steiferen Material als die Kraftstofftanks bestehen, wird diese Tatsache ausgenutzt und keine Spezialeinrichtung gebaut. Bevor der Tankdeckel angeschraubt wird, muss der Dichtring entfernt werden. Es werden zuerst neue Tankdeckel und anschließend die aus dem Ethanol entnommene Prüflinge getestet. Der Vergleich ermöglicht eine zusätzliche Aussage in der Testauswertung.

Testauswertung: Tankdeckel

Der Kraftstoff, indem die Prüflinge 28 Tage gelegen haben, hat seine Farbe leicht verändert. Diese Erscheinung kann aber nicht beurteilt werden, da die Tankdeckel sich in einem zusammengebauten Zustand im Kraftstoff befanden. Da die Farbe sich nicht übermäßig verändert hat, kann es am Farbstoff des Dichtringes oder des Tankdeckels liegen.

Schwitztest

Erstes Ergebnis

Bei dem Schwitztest wurde der Tankdeckel der Motorsäge PS-45 (Teilenummer: 010114063) aus Hostaform C9021 / POM getestet.

Nachfolgend ein Auszug aus dem Material Data Center Datenblatt über die Materialeigenschaften:[33]

Versuch Materialverträglichkeit

Chemische Kurzbezeichnung nach ISO 1043-1: POM

Formmasse ISO 9988- POM-K, M-GNR, 03-002

POM-Copolymer

Standard-Spritzgießtyp mit hoher Steifheit, Härte und Zähigkeit gute chemische Beständigkeit gegen Lösemittel, Kraftstoffe und starke Alkalien sowie gute Hydrolysebeständigkeit; hoher Widerstand gegen thermischen und oxidativen Abbau.

In diesem Versuch waren 3 Tankdeckel im Test. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 14 dargestellt.

Prüfling	Druckstufe / Prüfdruck / [bar]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	i.O	i.O	i.O	i.O	i.O
2	i.O	i.O	i.O	i.O	i.O
3	i.O	i.O	i.O	i.O	i.O
Gesamtergebnis	<input checked="" type="checkbox"/> i.O <input type="checkbox"/> n.i.O.				

Tabelle 14 Schwitztestergebnisse des Tankdeckels 010114063

Obwohl nur 3 Tankdeckel getestet wurden, haben alle drei kein Schwitzen zugelassen. Aus diesem Blickwinkel kann das Material mit ethanolhaltigem Kraftstoff verwendet werden.

Zweites Ergebnis

Der Tankdeckel (Teilenummer: 181114202) aus Hostaform S27064 / POM, wird verwendet in den Modellen: PS-350 SC, PS-420 SC, PS-460, PS-4605, PS-4605 H, PC-6412 D, PC-7314 D, PC-8116 D.

Nachfolgend ein Auszug aus Material Data Center Datenblatt über die Materialeigenschaften:[34]

Chemische Kurzbezeichnung nach ISO 1043-1: POM-HI,

Formmasse ISO 9988- POM-K, M-GNPR, 05-001

Modifiziertes POM-Copolymer

Versuch Materialverträglichkeit

Leichtfließender, elastomerhaltiger Spritzgießtyp auf Basis HOSTAFORM C 27021 (Sehr leichtfließender Spritzgießtyp mit hoher Steifheit und Härte; gute chemische Beständigkeit gegen Lösemittel, Kraftstoffe und starke Alkalien sowie gute Hydrolysebeständigkeit; hoher Widerstand gegen thermischen und oxidativen Abbau) mit hoher Zähigkeit, bei verminderter Härte, Steifheit und chemische Beständigkeit im Vergleich zum Grundtyp; hoher Widerstand gegen thermischen und oxidativen Abbau.

Bei diesem Versuch waren ebenfalls 3 Tankdeckel im Test. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 15 dargestellt.

Prüfling	Druckstufe / Prüfdruck / [bar]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	i.O	i.O	i.O	i.O	i.O
2	i.O	i.O	i.O	i.O	i.O
3	i.O	i.O	i.O	i.O	i.O
Gesamtergebnis	<input checked="" type="checkbox"/> i.O <input type="checkbox"/> n.i.O.				

Tabelle 15 Schwitztestergebnisse des Tankdeckels 181114202

Alle drei Tankdeckel haben kein Schwitzen zugelassen. Auch diese Ergebnisse widersprechen nicht der Verwendung des ethanolhaltigen Kraftstoffs.

Drittes Ergebnis

Der Tankdeckel (Teilenummer: 010114050) aus dem Material PBT schwarz RAL 9005 wird verwendet in den Modellen: PS-6400, PS-6400 H, PS-7300, PS-7300 H, PS-7900, PS-7900 H.

Nachfolgend ein Auszug aus dem Werkstoffdatenblatt von Auer Kunststofftechnik GmbH & Co KG über die Materialeigenschaften:[35]

Chemische Bezeichnung: Polybutylenterephthalat

DIN-Kurzzeichen: PBT GF 30

Farbe, Zusätze: grauweiß, 30% Glasfasern

Hauptmerkmale:

sehr fest sehr hohe Steifigkeit

hohe Maßhaltigkeit gut schweißbar

beständig gegen zahlreiche Lösungsmittel zäh

Versuch Materialverträglichkeit

sehr verschleißfest gut klebbar

gut zerspanbar nicht heißwasserbeständig über 60° C

Auch in diesem Versuch waren 3 Tankdeckel im Test. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 16 dargestellt.

Prüfling	Druckstufe / Prüfdruck / [bar]				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
1	i.O	i.O	i.O	i.O	i.O
2	i.O	i.O	i.O	i.O	i.O
3	i.O	i.O	i.O	i.O	i.O
Gesamtergebnis	<input checked="" type="checkbox"/> i.O <input type="checkbox"/> n.i.O.				

Tabelle 16 Schwitztestergebnisse des Tankdeckels 010114050

Alle drei Tankdeckel haben kein Schwitzen zugelassen. Auch diese Ergebnisse widersprechen nicht der Verwendung des ethanolhaltigen Kraftstoffs.

Drehmomente zum Schließen des Tankverschlusses (gemäß der internen Testanweisung)

Es wurde die gleiche Testreihenfolge wie beim Schwitztest gewählt.

Erstes Ergebnis

Es wurden Tankdeckel der Motorsäge Model PS-45 (Teilenummer: 010114063) aus Hostaform C9021 / POM getestet.

Es war nicht möglich ein Anzugsmoment von 8 Nm aufzubringen, da der Tankdeckel immer vom Kunststoffgewinde abrutschte. Der Abrutschmoment liegt bei 6 Nm. Um auszuschließen, dass es nicht an der Materialschwächung vom Ethanol liegt, wurde der gleiche Versuch mit drei neuen Tankdeckeln durchgeführt. Im Ergebnis wurde im trockenen Zustand 8 Nm Drehmoment erreicht. Nachdem die neuen Tankdeckel mit dem Kraftstoff benetzt wurden, rutschte der Tankdeckel ebenfalls bei 6 Nm vom Gewinde ab. Alle Tankdeckel rutschten somit bei gleichem Drehmoment ab. Eine Beschädigung am Tankdeckel konnte nicht festgestellt werden. Aus diesem Ergebnis wird geschlossen, dass der Tankdeckel in Verbindung mit ethanolhaltigem Kraftstoff verwendet werden kann, da das Abrutschen durch die Schmierwirkung der Kraftstoffe verursacht wird.

Versuch Materialverträglichkeit

Zweites Ergebnis

Der Tankdeckel (Teilenummer: 181114202) aus Hostaform S27064 / POM, wird verwendet in den Modellen: PS-350 SC, PS-420 SC, PS-460, PS-4605, PS-4605 H, PC-6412 D, PC-7314 D, PC-8116 D.

Bei diesem Test wurde der Tankdeckel bis zum Anschlag hereingedreht. Das Anzugsmoment von 2 Nm konnte ohne Probleme eingehalten werden. Es war keine Beschädigung zu erkennen. Auch dieses Ergebnis zeigt, dass der Tankdeckel in Verbindung mit ethanolhaltigem Kraftstoff verwendet werden kann.

Drittes Ergebnis

Der Tankdeckel (Teilenummer: 010114050) aus dem Material PBT schwarz RAL 9005 wird verwendet in den Modellen: PS-6400, PS-6400 H, PS-7300, PS-7300 H, PS-7900, PS-7900 H.

Dieser Tankdeckel hat keinen Anschlag, somit wurde das vorgegebene Drehmoment von 8 Nm eingehalten. Nach dem Abschrauben des Tankdeckels, wurde dieser auf eventuelle Beschädigungen untersucht. Es konnten keine Beschädigungen festgestellt werden. Alle drei eingelegten Tankdeckel haben den Test bestanden und das Material zeigte keine sichtbaren Veränderungen. Daraus folgt, dass auch dieser Tankdeckel mit ethanolhaltigem Kraftstoff verwendet werden kann.

Kraftstoffdeckel Bruchtest

Erstes Ergebnis

Bei diesem Test konnte der Tankdeckel von dem Motorsägemodel PS-45 nicht verwendet werden, da immer ein Gewindeabrutschen stattfand. Aus diesem Grund kam ein anderer Deckel mit dem gleichen Werkstoff zum Einsatz. Der Tankdeckel (Teilenummer: 170114100) aus dem Material Hostaform C9021 / POM wird verwendet in den Modellen: PS-3410TH TLC, PS3410, PS-3410 TH.

Aus diesem Test geht eine Tabelle mit den Bruchdrehmomenten hervor (Tabelle 17).

Bruchmoment neuer Tankdeckel	Bruchmoment Tankdeckel nach EtOH-Einwirkung
13 Nm	14 Nm
14 Nm	14 Nm
13 Nm	13 Nm

Tabelle 17 Bruchtestergebnisse des Tankdeckels 170114100

Versuch Materialverträglichkeit

Diese Ergebnisse zeigen, dass die neuen und die eingelegten Prüflinge keinen Unterschied darstellen. Aus diesem Test kann lediglich abgeleitet werden, dass das Ethanol innerhalb eines Monats keinen Einfluss auf das Material hatte.

Zweites Ergebnis

Der Tankdeckel (Teilenummer: 181114202) aus Hostaform S27064 / POM, wird verwendet in den Modellen: PS-350 SC, PS-420 SC, PS-460, PS-4605, PS-4605 H, PC-6412 D, PC-7314 D, PC-8116 D

In der Tabelle 18 ist der Vergleich von Bruchdrehmomenten dargestellt.

Bruchmoment neuer Tankdeckel	Bruchmoment Tankdeckel nach EtOH-Einwirkung
24 Nm	20 Nm
23 Nm	23 Nm
24 Nm	21 Nm

Tabelle 18 Bruchtestergebnisse des Tankdeckels 181114202

In diesem Fall wurde eine Abweichung von ca. 10% beobachtet. Da die Ergebnisse ungleichmäßig ausgefallen sind, sollte dieser Versuch bei Bedarf mit einer Vielzahl von Tankdeckeln wiederholt werden, um eine Materialbeeinflussung als Vergleich darstellen zu können. Da die Bruchdrehmomente ausreichend hoch sind, kann dieses Material für Tankdeckel in Verbindung mit Ethanol verwendet werden.

Drittes Ergebnis

Der Tankdeckel (Teilenummer: 010114050) aus PBT schwarz RAL 9005 wird verwendet in den Modellen: PS-6400, PS-6400 H, PS-7300, PS-7300 H, PS-7900, PS-7900 H.

In diesem Fall kamen eindeutige Ergebnisse zustande, diese sind in der nachfolgenden Tabelle 19 dargestellt.

Bruchmoment neuer Tankdeckel	Bruchmoment Tankdeckel nach EtOH-Einwirkung
20 Nm	21 Nm
21 Nm	22 Nm
21 Nm	21 Nm

Tabelle 19 Bruchtestergebnisse des Tankdeckels 010114050

Versuch Materialverträglichkeit

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Prüflinge keinen Unterschied aufweisen. Daraus folgt, dass das Ethanol keinen erkennbaren Einfluss auf das Material hatte und daher mit diesen Tankdeckeln verwendet werden kann.

5.2.4 Test: Verliersicherung

Die Verliersicherungen werden ebenfalls nach 28 Tagen aus dem Ethanol entnommen. Es wird ein Reißversuch durchgeführt.

Das Verwendete Material ist PA6 (Chemische Bezeichnung: Polyamid 6). Es weist folgende Hauptmerkmale auf:[36]

- sehr zäh
- beständig gegen viele Öle, Fette und Kraftstoffe
- elektrisch isolierend
- verschleißfest
- gut schweißbar
- gute Festigkeit
- gut zerspanbar
- gute Gleit-/Reibeigenschaften
- gut klebbar.

Es wird ein Vergleich zwischen neuen Verliersicherungen und den Verliersicherungen nach der 28-tägigen Ethanoleinwirkung gemacht. Mit dem Kraftaufnehmer werden die Verliersicherungen gezogen. Beim Ziehen entsteht anfangs eine Dehngrenze. Das Material verformt sich plastisch unter gleicher Krafteinwirkung. In diesem Moment richten sich alle Kettenmoleküle gerade aus. Nach kurzer Zeit bleibt die Länge gleich und das Material verformt sich nicht mehr. Ab diesem Punkt muss mehr Kraft aufgebracht werden, um die Verliersicherung zu zerreißen. In der Tabelle 20 sind die Ergebnismwerte der Dehn- und Reißgrenze dargestellt.

Versuch Materialverträglichkeit

	Dehngrenze [N]					Mittelwert [N]	Abweichung [%]
Neu	44,5	44	42,5	43	42	43,2	
nach Ethanoleinwirkung	25	26	24	24,5	25	24,9	42,36
	Reißgrenze [N]						
Neu	80	80	81	79	82	80,4	
nach Ethanoleinwirkung	56	56	45	50	47	50,8	36,81

Tabelle 20 Dehn- und Reißgrenzwerte der Verliersicherungen

Testauswertung: Verliersicherung

Die in der Tabelle 20 angegebenen Abweichungen (Dehngrenze von 42 % und Reißgrenze von 37 %) lassen vermuten, dass das Ethanol eine gravierende Auswirkung auf das Material hat. Als Verliersicherung kann das Material trotzdem weiter verwendet werden. Denn, sollte an dem Tankdeckel gezogen werden, wird die Verliersicherung in diesem Moment aus dem Kraftstofftank herausrutschen, noch bevor das Material von der Verliersicherung versagt.

5.3 Versuch: Gummitteilebeständigkeit

In diesem Versuch werden die Teile, die aus Gummimaterial bestehen, auf ihre Veränderung durch die Ethanol-Benzin-Wasser-Gemischeinwirkung überprüft. Die Gummibauteile dürfen nach dieser Kraftstoffgemischeinwirkung nicht aushärten, verspröden oder einreißen. Auch ihre Funktion darf nicht beeinträchtigt werden. Die zu prüfenden Teile sind Tankdeckel-O-Ringe, Kraftstoffschläuche, Impulsschläuche, Ansauggummis und Simmerringe.

Der Versuchsablauf wird in einzelne Tests unterteilt.

5.3.1 Allgemeiner Versuchsaufbau

- a) Die Prüflinge sind zu bestellen.
- b) Das EBWG ist vorzubereiten (siehe Kapitel 5.1.2).
- c) Die zu prüfenden Bauteile müssen ordnungsgemäß gekennzeichnet werden, um eine Verwechslung auszuschließen.
- d) Die Glasschalen sind vorzubereiten (evtl. zu bestellen).
- e) Da mit brennbaren und giftigen Stoffen gearbeitet wird, müssen intern vorgeschriebene Sicherheitsmaßnahmen beachtet werden.
- f) Für die Bauteilvermessung wird ein Messmikroskop verwendet.

Messmikroskop

Das Messmikroskop ermöglicht eine berührungslose 2-Achsen-Bauteilvermessung mit einer hohen Genauigkeit. Der Aufbau des Messmikroskops ist in der Abbildung 26 dargestellt.

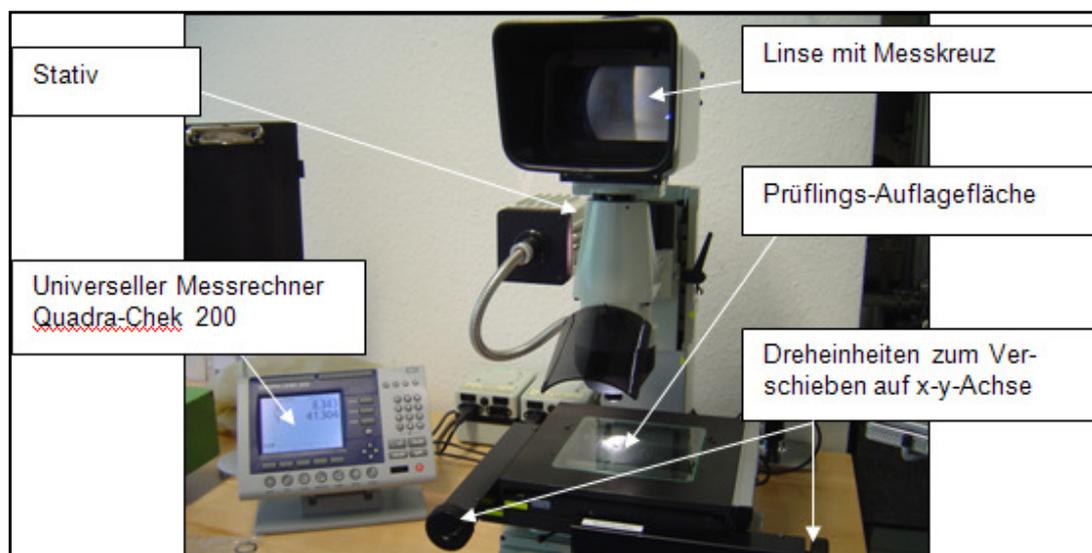


Abbildung 26 Messmikroskop und universeller Messrechner

Versuch Materialverträglichkeit

Das Gerät lässt sich leicht bedienen. Bevor die Anlage in Betrieb genommen wird, werden die Kalibrierpunkte abgefahren, damit der Quadra-Chek 200 seine Position auf den x-, y- und z-Achsen erkennt. Die Kalibrierpunkte an der linken Seite des Geräts sind sichtbar gekennzeichnet. Jetzt wird ein Prüfling auf die Prüflings-Auflagefläche aufgelegt. Mit der Bewegung des Stativs in z-Richtung wird eine Schärfereinstellung ermöglicht. In der Abbildung 27 ist die Linse mit dem Messkreuz dargestellt.

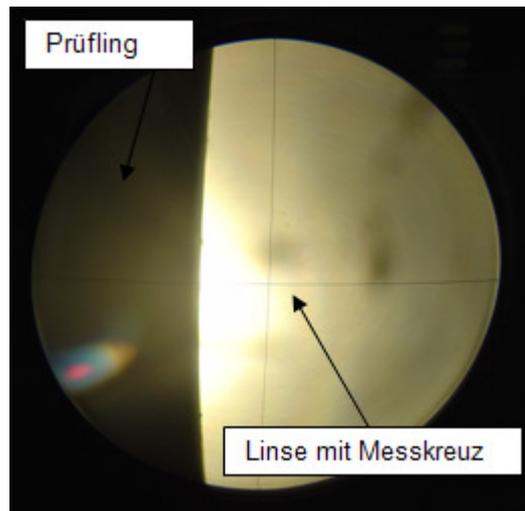


Abbildung 27 Messmikroskop-Linse mit Messkreuz

Mit dem Messkreuz wird der Prüfling, mithilfe der Handräder zum Verschieben des Kreuztisches auf der x- und y-Achse, abgetastet. Die Abtastrate kann beliebig gewählt werden. Je höher die Abtastrate ist, desto genauer kann das Messergebnis mit dem Quadra-Chek 200 ausgerechnet werden.

5.3.2 Test: Tankdeckel-O-Ring

Die Auswahl der zu prüfenden Teile stammt aus der Materialmatrix (siehe Kapitel 5.1.1). Die zu prüfenden Teile sind in der Tabelle 21 dargestellt. Es sind unter dem Tankdeckel-O-Ring mehrere Teilenummern angegeben. Für den Versuch kann eine beliebige Teilenummer verwendet werden, da alle aus dem selben Werkstoff bestehen.

Bei diesem Versuch werden die Ergebnisse aus dem Tankdeckelversuch (Kapitel 5.2.3) mit berücksichtigt.

Versuch Materialverträglichkeit

Menge	Bezeichnung	Teilenummer	Verwendet
5	Tankdeckel-O-Ring NBR / Shore 70	963229036 963232045 963228030	PS-350 SC; PS-420 SC; PS-460; PS-4605; PS-4605 H; PC-6412 D; PC-7314 D; PC- 8116 D; 115; PS-9010; PS-6400; PS-6400 H; PS-7300; PS-7300 H; PS-7900; PS-7900 H
5	Tankdeckel-O-Ring FKM Viton / Shore 80	963225030	PS-3410 TH; PS-3410 TH TLC; PS-3410
5	Tankdeckel-O-Ring HNBR 65	963604283	PS-45

Tabelle 21 Tankdeckel-O-Ringe aus der Materialmatrix

Testdurchführung (Tankdeckel-O-Ring)

Die Tankdeckel-O-Ringe werden, bevor sie in das Ethanol-Benzin-Wasser-Gemisch eingelegt werden, mit dem Messmikroskop vermessen. Die Vermessung erfolgt mit einer Abtastrate von 8 Punkten. Nachdem die Prüflinge vermessen wurden, werden diese in das Prüfmedium eingelegt. Nach 30 Tagen werden die Prüflinge aus dem EBWG entnommen und analog zur Anfangsmessung vermessen.

Testauswertung (Tankdeckel-O-Ring)

In diesem Test wurden drei unterschiedliche Gummimaterialien untersucht:

- NBR (Nitrile Butadiene Rubber) Nitrilkautschuk.

Nachfolgend ein Auszug aus Angst+Pfister GmbH Datenblatt zu den chemischen Eigenschaften und dem Verwendungsbereich von NBR:[37]

NBR ist wegen der guten Beständigkeit gegen die meisten Öle und Fette auf Mineralölbasis der in der Dichtungstechnik am häufigsten eingesetzte Werkstoff. Der thermische Einsatzbereich liegt normalerweise zwischen -30°C und +100°C, kurzzeitig +130°C. Spezielle NBR-Mischungen sind bis -55°C einsetzbar. Der Acyl-nitril-Gehalt kann zwischen 18% und 50% liegen. Am gebräuchlichsten sind Gehalte von 28% bis 38%. Mit steigendem Anteil wird die Beständigkeit gegenüber mineralischen Ölen und Fetten verbessert, gleichzeitig verringert sich aber die Flexibilität und damit die Tieftemperaturbeständigkeit. Der Druckverformungsrest wird mit steigendem Acylnitril-Gehalt grösser.

Versuch Materialverträglichkeit

- FKM (Fluorkautschuk) auch FPM genannt (Fluorkarbon-Kautschuk)

Nachfolgend ein Auszug aus Angst+Pfister GmbH Datenblatt zu den chemischen Eigenschaften und dem Verwendungsbereich von FPM:[37]

FPM zeichnet sich durch hohe Temperatur-, Witterungs-, Ozon- und Chemikalienbeständigkeit aus. Der thermische Anwendungsbereich reicht bis +200 °C, kurzzeitig +250 °C. FPM ist gegenüber fast allen Hydraulikflüssigkeiten auf Mineralölbasis und synthetischer Basis hoch beständig. Einschränkungen müssen für den Einsatz in Heisswasser, Dampf und bei Tieftemperaturen gemacht werden. Auf Grund nur geringerer Kälteflexibilität und mässiger Heisswasser- und Dampfbeständigkeit sind für diesen Einsatz spezielle Werkstoffe zu wählen."

- HNBR (Hydriertes Acrylnitril-Butadien Elastomer)

Nachfolgend ein Auszug aus Angst+Pfister GmbH Datenblatt zu den chemischen Eigenschaften und dem Verwendungsbereich von HNBR:[37]

HNBR wird durch Teil- oder Vollhydrierung der doppelbindungshaltigen Butadienanteile in NBR-Polymerisaten erreicht. Durch diesen Prozess wird die Temperatur- und Medienbeständigkeit gegenüber NBR erhöht. Verbessert werden auch die mechanischen Werte sowie die Abriebbeständigkeit. HNBR gewinnt in der modernen Dichtungstechnik zunehmend an Bedeutung. Der thermische Einsatzbereich liegt zwischen -40 °C und +150 °C, kurzzeitig bis +175 °C.

In den Tabellen 22 und 23 sind die Ergebnisse der Anfangsmessung mit optischer Vermessung dargestellt.

Versuch Materialverträglichkeit

	Innendurchmesser [mm]					Mittelwert Innendurchmesser [mm]
963229036	29,526	29,538	29,617	29,501	29,446	29,526
8 Punkte						
NBR / Shore 70						
963225030	25,263	25,301	25,248	25,184	25,281	25,255
8 Punkte						
FKM Viton / Shore 80						
963604283	14,85	14,843	14,911	14,763	14,832	14,840
8 Punkte						
HNBR 65						

Tabelle 22 Innendurchmesser vom Tankdeckel-O-Ring in der Ausgangsmessung

	Außendurchmesser [mm]					Mittelwert Außendurchmesser [mm]
963229036	36,472	36,513	36,416	36,538	36,493	36,486
8 Punkte						
NBR / Shore 70						
963225030	30,965	31,018	30,958	30,948	30,983	30,974
8 Punkte						
FKM Viton / Shore 80						
963604283	31,909	32,012	31,813	31,842	31,956	31,906
8 Punkte						
HNBR 65						

Tabelle 23 Außendurchmesser vom Tankdeckel-O-Ring in der Ausgangsmessung

Versuch Materialverträglichkeit

In den weiter folgenden Tabellen 24 und 25 sind die Messergebnisse, nachdem die Prüflinge 30 Tage im ethanolhaltigen Kraftstoff lagen, zusammengefasst.

	Innendurchmesser [mm]					Mittelwert Innendurchmesser [mm]
963229036	30,861	30,844	30,832	30,859	30,812	30,842
8 Punkte						
NBR / Shore 70						
963225030	25,51	25,667	25,583	25,613	25,541	25,583
8 Punkte						
FKM Viton / Shore 80						
963604283	15,505	15,549	15,484	15,421	15,586	15,509
8 Punkte						
HNBR 65						

Tabelle 24 Innendurchmesser vom Tankdeckel-O-Ring nach 30 Tagen Ethanoleinwirkung

	Außendurchmesser [mm]					Mittelwert Außendurchmesser [mm]
963229036	38,572	38,543	38,586	38,562	38,539	38,560
8 Punkte						
NBR / Shore 70						
963225030	31,69	31,801	31,763	31,712	31,797	31,753
8 Punkte						
FKM Viton / Shore 80						
963604283	33,334	33,391	33,286	33,376	33,318	33,341
8 Punkte						
HNBR 65						

Tabelle 25 Außendurchmesser vom Tankdeckel-O-Ring nach 30 Tagen Ethanoleinwirkung

Aus den gemessenen Daten werden in der Tabelle 26 die einzelnen Abweichungen und die Gesamtabweichung dargestellt.

Versuch Materialverträglichkeit

	Abweichung Innen- durchmesser [%]	Abweichung Außen- durchmesser [%]	Gesamtab- weichung [%]	Volumenver- änderung [%]
963229036 8 Punkte NBR / Shore 70	-4,46	-5,68	-10,14	22,65
963225030 8 Punkte FKM Viton / Shore 80	-1,30	-2,51	-3,81	15,74
963604283 8 Punkte HNBR 65	-4,51	-4,50	-9,01	9,77

Tabelle 26 Prozentuale Quellungsabweichung vom Tankdeckel-O-Ring

Im Datenblatt Angst+Pfister GmbH werden die Abweichungen in verschiedene Bewertungsbereiche aufgeteilt:[37]

Definition der Volumenveränderung:

A: beständig, -5% bis +10% Volumenveränderung

B: einsetzbar (statisch), +10% bis + 20% Volumenveränderung

C: bedingt beständig, (Einsatz nicht ratsam) +20% bis +40% Volumenveränderung

D: nicht beständig, > +40% oder > -5% Volumenveränderung.

Des Weiteren wird dort erwähnt, dass das NBR-Material eine schlechtere Verträglichkeit mit ethanolhaltigen Treibstoffen aufweist als das FPM-Material. Um die Prüflinge nach dieser Methode bewerten zu können, müssen die Prüflinge die gleiche Form haben. Da die O-Ringe als fertige Bauteile untersucht werden müssen, ist diese Voraussetzung hier nicht erfüllt. Aus der Tabelle 26 ist zu erkennen, dass das NBR-Material eine größere Abweichung zum Ausgangszustand aufweist als das FKM-Material. Dieser Umstand bestätigt die Aussage des Datenblattes der Angst+Pfister GmbH. Die Dichtigkeit des Tankdeckel-O-Rings wurde beim Tankdeckel Versuch (Kapitel 5.2.3) untersucht. Aus den beiden Untersuchungen geht hervor, dass bei der Verwendung von ethanolhaltigen Kraftstoffen das FKM-Material aufgrund der kleineren Quellung als Dichtring besser geeignet ist als das NBR-Material.

Versuch Materialverträglichkeit

5.3.3 Test: Simmerringbeständigkeit

- a) In der Tabelle 27 sind mehrere Teilenummern unter einer Baugruppe aufgelistet. Für die Bestellung kann eine beliebige Nummer verwendet werden, da es sich hierbei um einen gleichartigen Werkstoff handelt.

Menge	Bezeichnung / Werkstoff	Teilenummer	Verwendet
5	Simmerring / 75 FKM/585	962900060 962900156 962900052 962900061	PS-3410 TH; PS-3410 TH TLC; PS-3410; PS-460; PS-500; PS-4605; PS-4605 H; PS-5105 H; PC- 6412 D; PC-7314 D; PC-8116 D; PS-6400; PS- 6400 H; PS-7300; PS-7300 H; PS-7900; PS-7900 H
5	Simmerring / 70 NBR	962900057	PS-45
5	Simmerring / 72 NBR 902	962900050 962900054	PS-9010; 115

Tabelle 27 Simmerringe aus der Materialmatrix

- b) Für diesen Test wird, analog zum O-Ring-Test, das Messmikroskop verwendet.
c) Die Details sind aus dem allgemeinen Versuchsaufbau (Kapitel 5.3.1) zu entnehmen.

Testdurchführung: Simmerringbeständigkeit

Dieser Test wird analog zum Kapitel 5.3.2 Test: Tankdeckel-O-Ring durchgeführt.

Testauswertung: Simmerringbeständigkeit

Die Simmerringe bestehen aus den gleichen Materialien wie die Tankdeckel-O-Ringe, weisen aber eine höhere Härte auf. Die Ausgangsmessung ist in der Tabelle 28 dargestellt

Versuch Materialverträglichkeit

	Innendurchmesser [mm]					Mittelwert Innendurchmesser [mm]
962900061 8 Punkte 75 FKM/585	16,016	16,02	16,024	15,994	16,005	16,012
962900050 8 Punkte 72 NBR 902	11,193	11,206	11,166	11,187	11,218	11,194
962900057 8 Punkte NBR	10,988	10,99	11,042	10,976	11,013	11,002

Tabelle 28 Innendurchmesser vom Simmerring in der Ausgangsmessung

Analog wird die Messung nach 30 Tagen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 29 zusammengefasst.

	Innendurchmesser [mm]					Mittelwert Innendurchmesser [mm]
962900061 8 Punkte 75 FKM/585	15,88	15,879	15,891	15,883	15,895	15,886
962900050 8 Punkte 72 NBR 902	11,172	11,023	11,148	11,068	11,092	11,101
962900057 8 Punkte NBR	10,909	10,911	10,904	10,897	10,911	10,906

Tabelle 29 Innendurchmesser vom Simmerring nach 30 Tagen Ethanoleinwirkung

Aus den berechneten Mittelwerten wurde die prozentuale Abweichung ermittelt (siehe Tabelle 30).

Versuch Materialverträglichkeit

	Abweichung Innendurchmesser [%]
962900061	0,79
8 Punkte	
75 FKM/585	
962900050	0,83
8 Punkte	
72 NBR 902	
962900057	0,87
8 Punkte	
NBR	

Tabelle 30 Prozentuale Quellungsabweichung von Simmerringen

Wegen der höheren Härte von Simmerringen ist die prozentuale Abweichung kleiner ausgefallen als bei den O-Ringen. Wie auch bei den O-Ringen, weisen die Simmerringe aus NBR eine größere Abweichung zum Ausgangszustand auf als die aus FKM. Das heißt, dass der FKM-Werkstoff nach der Einwirkung eines ethanolhaltigen Kraftstoffs eine kleinere Quellung aufweist. Aus dieser Erkenntnis folgt, dass das FKM-Material beständiger gegen die Einwirkung eines ethanolhaltigen Kraftstoffs ist als das NBR-Material.

5.3.4 Test: Ansauggummi

- Für diesen Test gilt der allgemeine Versuchsaufbau (siehe Kapitel 5.3.1).
- Die zu prüfenden Bauteile sind aus der Tabelle 31 zu entnehmen.

Menge	Bezeichnung / Werkstoff	Teilenummer	Verwendung
3	Ansauggummi / FPM oder FKM NYH Qualität 8836 Shore A 62 +/-3	024131022 038131011	PS-9010; PS-6400; PS-6400 H; PS-7300; PS-7300 H; PS-7900; PS-7900 H
3	Ansauggummi / FPM oder FKM Qualitäts-Nr V138 Fa. Satler Shore A 65 +/-5	036131023 394131200	PC-6412 D; PC-7314 D; PC-8116 D; PS-45

Tabelle 31 Ansauggummis aus der Materialmatrix

Versuch Materialverträglichkeit

Testdurchführung: Ansauggummi

Die Ansauggummis werden mit dem Messmikroskop vermessen. Die Messbereiche sind in der Abbildung 28 aufgezeigt.

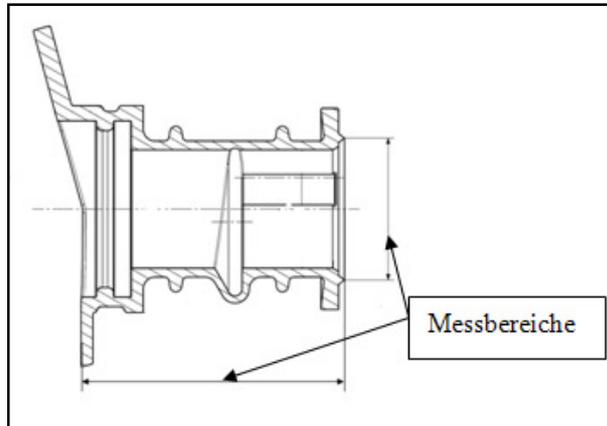


Abbildung 28 Messbereiche vom Ansauggummi

Die Messung wird analog zum Kapitel 5.3.2 Test: Tankdeckel-O-Ring durchgeführt.

Testauswertung: Ansauggummi

Auch beim Ansauggummi wird das FKM-Material verwendet, nur die Härte unterscheidet sich. Die Messungsergebnisse vom Ausgangszustand sind in den Tabellen 32 und 33 dargestellt.

	Innendurchmesser [mm]			Mittelwert Innendurchmesser [mm]
38131011				
8 Punkte	23,94	23,989	23,997	23,975
FKM Shore A 62 +/-3				
394131200				
8 Punkte	24,085	24,041	24,093	24,073
FKM Shore A 65+/-5				

Tabelle 32 Innendurchmesser vom Ansauggummi in der Ausgangsmessung

Versuch Materialverträglichkeit

	Länge [mm]			Mittelwert Länge [mm]
38131011				
8 Punkte	42,443	42,477	42,422	42,447
FKM Shore A 62 +/-3				
394131200				
8 Punkte	47,694	47,683	47,714	47,697
FKM Shore A 65+/-5				

Tabelle 33 Länge vom Ansauggummi in der Ausgangsmessung

Nach 30 Tagen wurde die Messung noch ein Mal durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 34 und 35 vorgestellt.

	Innendurchmesser [mm]			Mittelwert Innendurchmesser [mm]
38131011				
8 Punkte	23,103	23,118	23,094	23,105
FKM Shore A 62 +/-3				
394131200				
8 Punkte	23,225	23,288	23,213	23,242
FKM Shore A 65+/-5				

Tabelle 34 Innendurchmesser vom Ansauggummi nach 30 Tagen Ethanoleinwirkung

	Länge [mm]			Mittelwert Länge [mm]
38131011				
8 Punkte	40,955	40,917	40,948	40,940
FKM Shore A 62 +/-3				
394131200				
8 Punkte	46,304	46,322	46,31	46,312
FKM Shore A 65+/-5				

Tabelle 35 Länge vom Ansauggummi nach 30 Tagen Ethanoleinwirkung

Versuch Materialverträglichkeit

Die prozentuale Abweichung aus den Mittelwerten ist in der Tabelle 36 zu finden.

	Abweichung Innendurchmesser [%]	Abweichung Länge [%]
38131011	3,63	3,55
8 Punkte		
FKM Shore A 62 +/-3		
394131200	3,45	2,90
8 Punkte		
FKM Shore A 65+/-5		

Tabelle 36 Prozentuale Quellungsabweichung vom Ansauggummi

Die internen Angaben (eine Zeichnung) schreiben vor, dass für beide Ansaugschläuche eine maximale Quellung von 8% zulässig ist. Aus der prozentualen Abweichung ist zu erkennen, dass die Ansauggummis eine niedrigere Quellung als die maximal zulässige Abweichung aufweisen. Da der Ansauggummi direkt am Zylinder angebaut ist, wird er immer mit verschiedenen Temperaturen gestresst. Für eine unbedenkliche Verwendung von ethanolhaltigen Kraftstoffen sollen weitere Tests durchgeführt werden. Da es sich dabei um Langzeitversuche handelt, können diese nicht in dieser Arbeit behandelt werden.

5.3.5 Test: Kraftstoffschläuche

- a) Für diesen Test gilt der allgemeine Versuchsaufbau (siehe Kapitel 5.3.1).
- b) Die zu prüfenden Bauteile sind der Tabelle 37 zu entnehmen. In dieser Tabelle ist zu sehen, dass für die Beständigkeitsuntersuchung verschiedene Kraftstoffschläuche aus dem gleichen Werkstoff verwendet werden. Der Grund hierfür ist, dass die Kraftstoffschläuche mit unterschiedlichen Anschlussnippeln verbunden werden.

Versuch Materialverträglichkeit

Menge	Bezeichnung / Werkstoff	Teilenummer	Verwendet
10	Tankkraftstoffleitung FKM Shore A 55+/-5 (rot) Fa.NYH Mischung 8815	170114070	PS-3410 TH; PS-3410 TH TLC; PS-3410; PS-6400 H; PS-7300; PS-7300 H; PS-7900; PS-7900 H
10	Tankkraftstoffleitung NBR Shore Härte 50+5 schwarz	965404980 195114050	PS-45; PS-350 SC; PS-420 SC; PS-9010
10	Tankkraftstoffleitung FKM Shore A 55+/-5 Fa. Kraiburg	181114064 038114051	PS-460; PS-500; PS-4605; PS-4605 H; PS-5105 H; PS-6400; PS-6400 H; PS-7300; PS-7300 H
10	Tankkraftstoffleitung NBR Shore Härte 45+5 A schwarz	965404460	115
6	Tankkraftstoffleitung NBR Shore Härte 50+5 schwarz	965404911	PC-6412 D; PC-7314 D; PC-8116 D
6	Tankkraftstoffleitung NBR Shore Härte 50+5 schwarz	965404700	PS-7900

Tabelle 37 Kraftstoffschläuche aus der Materialmatrix

- c) Bevor die Prüflinge in das Kraftstoffgemisch eingetaucht werden, müssen die Nippelhaltekräfte im trockenen und mit Kraftstoff benetztem Zustand aufgenommen werden, um einen späteren Vergleich darstellen zu können. Realisiert wird dies, indem der Schlauch auf den entsprechenden Nippel aufgezogen wird. Mit einer Federwaage wird an dem Schlauch eine Zugkraft erzeugt bis der Schlauch von dem Nippel abrutscht. Die Ergebnisse sind tabellarisch darzustellen. Um prüfen zu können, wie stark sich der Schlauch auf dem Nippel hält, muss eine Federwaage mit der Kraftanzeige vorbereitet werden.
- d) Die Kraftstoffschläuche werden auf Quellen und Schrumpfen untersucht. Die Untersuchung wird gemäß einer internen Testanweisung durchgeführt.[38]

Quellen

Die Prüflinge werden für 2 Wochen, bei einer Raumtemperatur von ca. 20°C, in das Kraftstoffgemisch eingelegt.

Versuch Materialverträglichkeit

Schrumpfen

Die Schrumpfung wird durch ein Quell- und Trocknungszyklus ermittelt. Ein Zyklus besteht aus 168 Stunden Quellen bei 20 °C im Prüfmedium und 72 Stunden Trocknen bei 80 °C im Ofen.

Testdurchführung: Kraftstoffschläuche

Von den vorbereiteten Kraftstoffschläuchen werden vor dem Einlegen in den ethanolhaltigen Kraftstoff die Abzugskräfte aufgenommen. Die Abzugskräfte werden im trockenen, mit Kraftstoff benetzten, nach 24 Stunden gequollenen und nach 2 Wochen gequollenen Zustand gemessen. Dies wird mit einem Federkraftmessgerät realisiert. Von dem geprüften Kraftstoffschlauch wird der entsprechende Kraftstoffnippel in einen Schraubstock eingespannt. Darauf wird der Kraftstoffschlauch aufgezogen. Mit dem Federkraftmessgerät wird der Kraftstoffschlauch heruntergezogen. Anschließend wird die Abzugskraft von dem Federkraftmessgerät abgelesen. In der Abbildung 29 ist der Messvorgang visuell dargestellt.

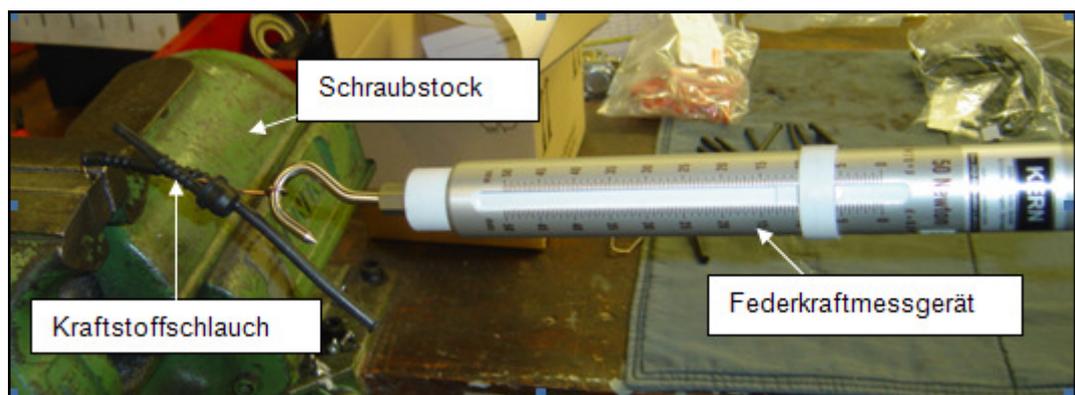


Abbildung 29 Messung der Abzugskräfte von Kraftstoffschläuchen

Analog wird die Abzugskraft nach dem Schrumpfvorgang gemessen.

Testauswertung: Kraftstoffschläuche

Bei den Abzugskräften wurden unterschiedliche Ergebnisse gemessen. In der Tabelle 38 sind die gemittelten Abzugskräfte dargestellt.

Versuch Materialverträglichkeit

	170114070	181114064	956404980	965404460	965404911	965404700
Abzugsbereich / Kraftstoff- schlauchzustand	FKM Shore A 55	FKM Shore A 55	NBR Shore 50	NBR Shore 45	NBR Shore 50	NBR Shore 50
Saugkopfseite / Trocken	28,5	27,7	23,6	39,2	29,7	33,2
Vergaserseite / Trocken	21,5	36,1	14,5	41,7	32,8	27,2
Primerseite / Trocken	-	-	37,3	-	-	-
Saugkopfseite / Kraftstoffbenetzt	10,3	7,2	10,3	16,0	13,9	11,3
Vergaserseite / Kraftstoffbenetzt	13,2	23,3	14,5	27,9	23,3	13,2
Primerseite / Kraftstoffbenetzt	-	-	42,3	-	-	-
Saugkopfseite / 24h Quellen	3,8	2,7	10,0	3,9	6,7	4,9
Vergaserseite / 24h Quellen	7,1	3,2	0,7	5,4	5,3	3,4
Primerseite / 24h Quellen	-	-	8,4	-	-	-
Saugkopfseite / 2 Wochen Quel- len	3,0	2,0	10,2	5,7	8,4	5,1
Vergaserseite / 2 Wochen Quel- len	6,0	2,4	0,8	8,0	9,8	3,1
Primerseite / 2 Wochen Quellen	-	-	14,7	-	-	-
Saugkopfseite / Zyklus	6,2	4,4	> 50,0	37,0	38,4	25,4
Vergaserseite / Zyklus	7,3	3,9	15,2	> 50,0	> 50,0	18,2
Primerseite / Zyklus	-	-	35,3	-	-	-

Tabelle 38 Gemittelte Abzugskräfte von Kraftstoffschläuchen

Daraus wurden unterschiedliche Diagramme erstellt. In der Abbildung 30 sind die Abzugskräfte von den Vergasernippeln dargestellt.

Versuch Materialverträglichkeit

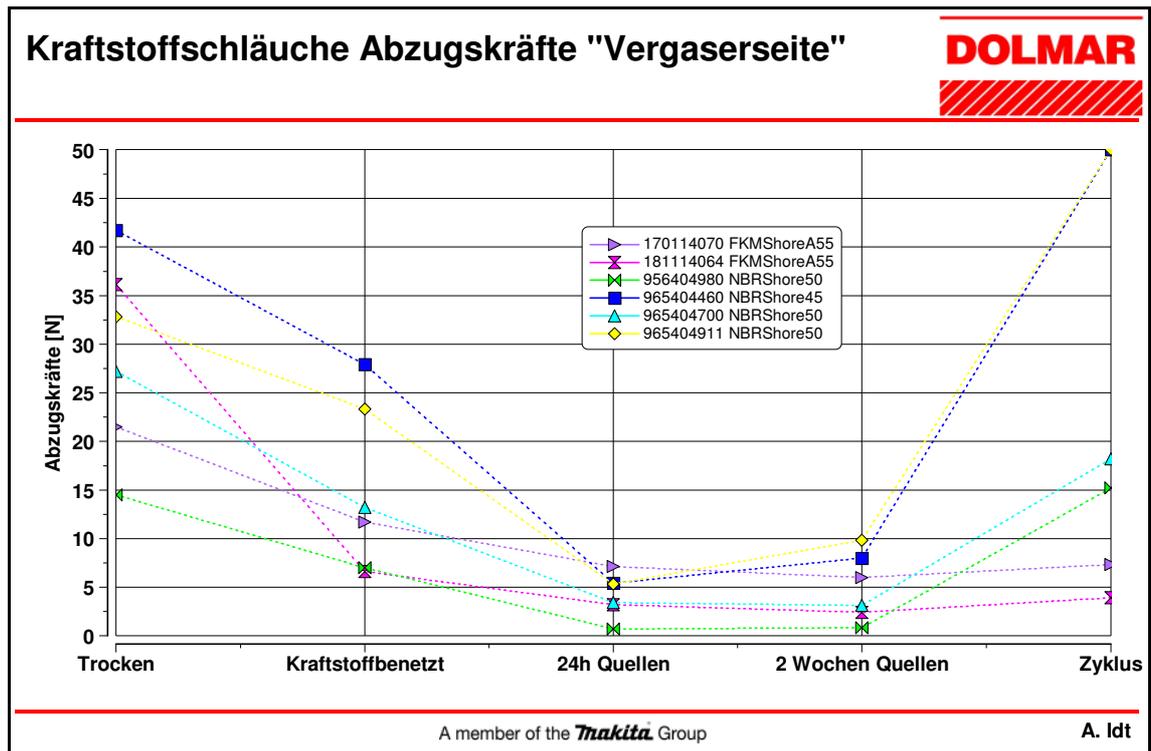


Abbildung 30 Abzugskräfte von Kraftstoffschläuchen auf der Vergaserseite

Ähnliche Abzugskräfteverläufe sind bei den Kraftstoffnippeln des Saugkopfes zu erkennen (siehe Abbildung 31).

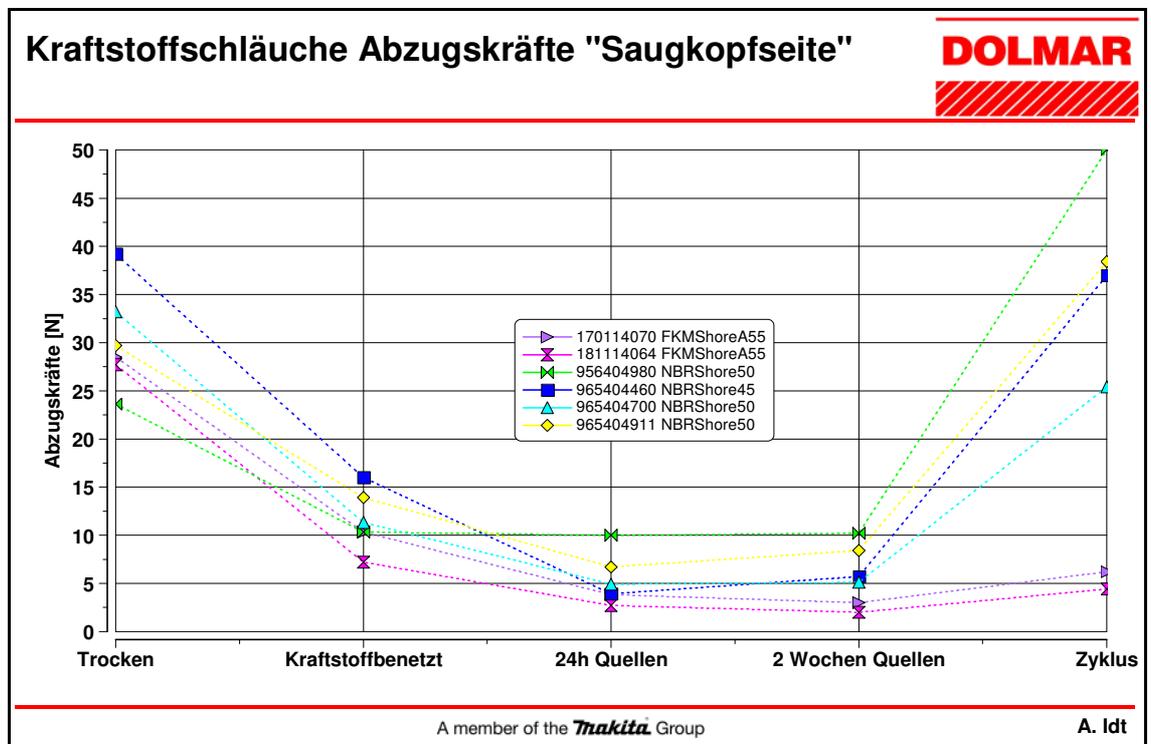


Abbildung 31 Abzugskräfte von Kraftstoffschläuchen auf der Saugkopfseite

Versuch Materialverträglichkeit

Es ist zu erkennen, dass nach dem Benetzen der Kraftstoffschläuche mit Kraftstoff, alle Kraftstoffschläuche einen sofortigen Haltekraftabfall aufweisen, sowohl beim Abziehen von den Kraftstoffnippeln des Vergasers sowie vom Saugkopf. Nach 24 Stunden weisen alle Kraftstoffschläuche eine Quellung auf. Die Quellung ist am weiteren Abzugskraftabfall zu erkennen, wobei der NBR-Schlauch mit einer Shore Härte 45 den größten Abzugskraftabfall von allen Kraftstoffschläuchen aufweist. Nach zweiwöchigem Quellen hatten die Kraftstoffschläuche aus NBR einen leichten Abzugskraftanstieg im Vergleich zu 24 Stunden Quellen. Das liegt daran, dass aus dem NBR-Gummi eine kleine Menge von Weichmachern ausgespült wurde. Aus diesem Grund sind die Schläuche nicht erwartungsgemäß gequollen, sondern geschrumpft. Bei den FKM-Schläuchen sind die Abzugskräfte ungefähr konstant geblieben. Nachdem die Kraftstoffschläuche durch den Quell- und Schrumpf-Zyklus gestresst waren, war eine fühlbare Härteänderung an NBR-Kraftstoffschläuchen erkennbar. Auch die Abzugskräfte sind angestiegen, da die Schläuche stark geschrumpft sind. Obwohl sie härter geworden sind, konnten selbst durch ein starkes Biegen keine Risse festgestellt werden. An den FKM-Kraftstoffschläuchen konnte keine fühlbare Härteänderung festgestellt werden. Es war nur ein geringerer Abzugskraftanstieg messbar. Die internen Angaben schreiben vor, dass am Ende vom Quell- und Schrumpfzyklus die Abzugskräfte nicht kleiner als 6 N sein dürfen. Aus den Mittelwerten wurde, das in Abbildung 32 dargestellte, Diagramm erstellt.

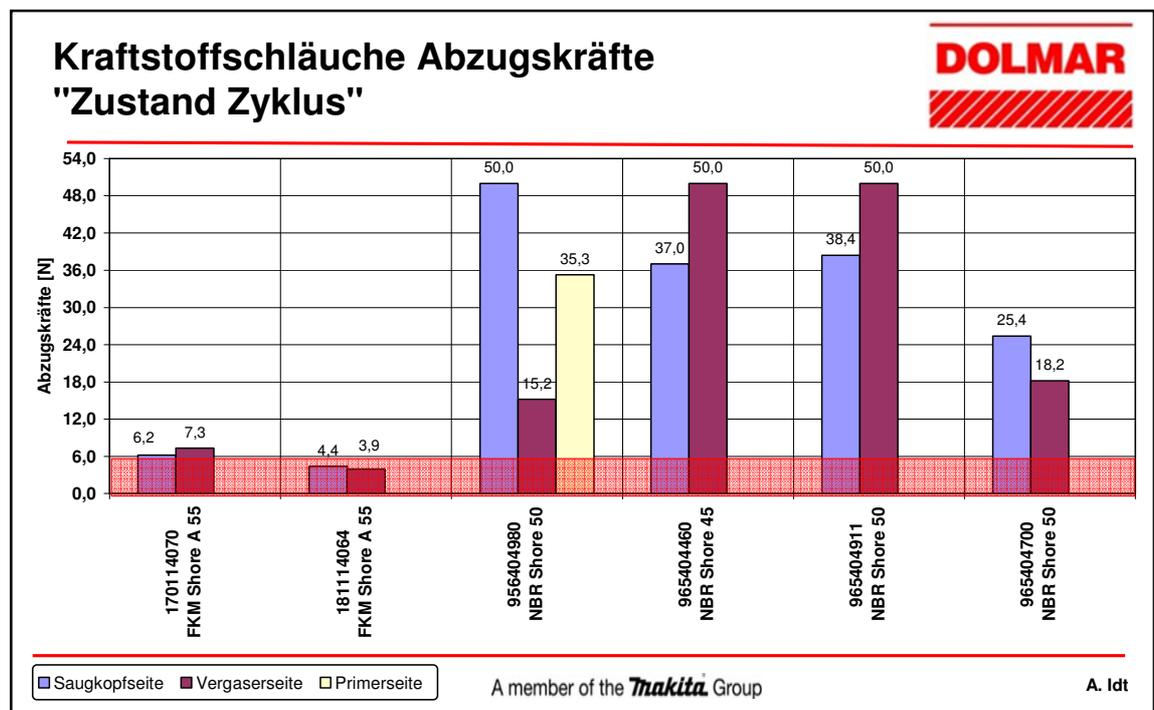


Abbildung 32 Endergebnis der Abzugskräfte von Kraftstoffschläuchen

Versuch Materialverträglichkeit

Aus diesem Diagramm ist zu erkennen, dass die NBR-Kraftstoffschläuche hinsichtlich der Abzugskräfte ein sehr gutes Ergebnis erzielten. Allerdings haben die Kraftstoffschläuche eine sehr starke Schrumpfung gezeigt. Die FKM-Kraftstoffschläuche dagegen haben bei der Abzugskräftemessung schlechte Ergebnisse gezeigt. Als positiv zu bewerten ist, dass es hier keine großen Quellungen und Schrumpfungen zu erkennen waren, deswegen blieben die Abzugskräfte nahezu konstant. Der FKM-Kraftstoffschlauch, der nicht im roten Bereich liegt, erzielte eine höhere Abzugskraft als der andere FKM-Kraftstoffschlauch. Der Grund dafür ist, dass der Anschlussnippel des Vergasers aus Kunststoff ist und eine Tannenbaumform hat. Dieser Versuch hat gezeigt, dass der ethanolhaltige Kraftstoff eine Anfangsquellung bei den FKM-Kraftstoffschläuchen verursacht, die wiederum zu einem Abzugskraftverlust führt. Die Abzugskraft hat sich bei weiteren Stresszyklen nur geringfügig geändert. Bei der Verwendung von FKM-Kraftstoffschläuchen sollte mithilfe der Anschlussnippelgeometrie und unterschiedlicher Materialien die Reibkraft erhöht und die Haltekraft gesteigert werden. Das gilt nur für formgepresste FKM-Kraftstoffschläuche. Der NBR-Kraftstoffschlauch kann mit ethanolhaltigem Kraftstoff, unter Berücksichtigung der Anfangsquellung, verwendet werden, da bei NBR-Kraftstoffschläuchen durch weitere Stresszyklen eine große Abzugskraft entsteht. Die große Schrumpfung von NBR-Schläuchen kann im Laufe der Jahre zu porösen Erscheinungen führen. Als Folge daraus wird der Kraftstoffschlauch seine Funktion verlieren.

5.4 Versuch: Vergaserbeständigkeit

Bei diesem Versuch werden die einzelnen Vergaserbauteile auf ihre Veränderungen durch die Ethanoleinwirkung untersucht. Es wird überprüft, wie stark die Vergaserbauteile von Korrosion (Aluminium) und Aufquellen (Membrangummitteile) betroffen sind.

Versuchsaufbau

- a) Aus der Materialmatrix gehen drei Vergaserhersteller hervor, die ihren Einsatz in den Maschinen finden (Walbro, Zama und Tillotson). Es werden Vergaser aus drei verschiedenen Motorsägeklassen getestet (siehe Tabelle 39).

Firma	Teilenummer	Verwendet
Walbro	195151102	PS-350 SC; PS-420 SC
Walbro	395151012	PC-6412D bis PC-8116D
Zama	036153014	PS-45
Zama	038153500	PS-6400 bis PS-7900
Tillotson	024150031	PS-9010

Tabelle 39 Vergaser aus der Materialmatrix

- b) Die Vergaser sind zu bestellen.
 c) Die Vergaser müssen zerlegt werden.
 d) Die Teile werden in verschiedene Kisten nach Vergasertypen sortiert.
 e) Die Gehäuse werden in der Mitte im Schnitt A-A durchgesägt (siehe Abbildung 33).

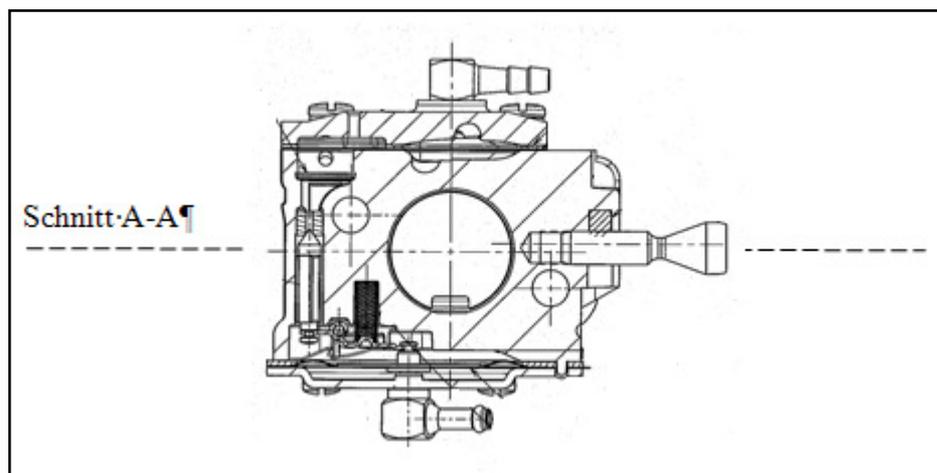


Abbildung 33 Vergaserschnitt mit gezeigtem Sägeschnitt

Versuch Materialverträglichkeit

- f) Mithilfe der Mikrofotografie werden Fotos von den Einspritzbohrungen erstellt.
- g) Die Glasbehälter sind vorzubereiten (evtl. bestellen).
- h) Für den Versuch wird Kraftstoff gemäß Kapitel 5.1.2 verwendet.

Versuchsdurchführung

Die einzelnen Vergaserbauteile, die im Motorbetrieb mit dem Kraftstoff in Berührung kommen, werden für 30 Tage in Ethanolgemisch eingelegt. Der Kraftstoffspiegel wird so eingestellt, dass das Bauteil komplett abgedeckt wird. Alle Bauteile werden gut und sichtbar beschriftet. Bei dem Vergasergehäuse werden nach 30 Tagen mit Mikrofotografie die Einspritzdüsen auf einen Korrosionsangriff kontrolliert. Auch die Kraftstoffpumpendeckelkanäle und die Spitzen von der Leerlauf- und Vollgaseinstellschraube werden mit Mikrofotografie analysiert. Beim Membrandeckel, der Drosselklappe und den Dreheinheiten wird eine Sichtprüfung durchgeführt. Die Kraftstoffpumpenmembran und die Membran (unten) wird auf Quellen kontrolliert. Nach 30 Tagen werden die Prüflinge aus dem Kraftstoff entnommen und die wichtigsten Stellen mikrofotografisch aufgenommen. Es wird versucht, die selben Stellen aufzunehmen, die vor dem Einlegen fotografiert wurden, um einen Vergleich darstellen zu können.

Versuchsauswertung

Nachdem die Prüflinge aus dem EBWG entnommen wurden, fiel sofort auf, dass alle Bauteile leicht klebrig waren und sich in der Glasdose eine Ölschicht gesammelt hat. Es kann daran liegen, dass Ethanol ab einer bestimmten Ölmenge gesättigt ist. Es scheint, dass es sich mit Motoröl schlecht verbindet. In dieser Arbeit wird nicht weiter darauf eingegangen. Dieses Phänomen kann eine Auswirkung auf den Motor haben. Das Öl kann sich im Kraftstofftank absetzen, so dass beim Motorlauf entweder zu viel oder zu wenig Schmierung vorkommt. Dies würde zum höheren Verschleiß führen und damit die Motorlebensdauer verkürzen. Die an den Vergaserbauteilen vorhandene klebrige Substanz stammt wahrscheinlich von dem Öl, das sich nicht in Ethanol aufgelöst hat. Daraus folgt, dass wenn die Motorsäge eine lange Zeit nicht im Betrieb ist, es zu Ablagerungen im Vergaser führen kann. Somit ist die Verwendung solcher Ölsorten nicht ratsam. Ansonsten wurden am Alugehäuse vom Vergaser keinen besonderen Veränderungen, außer dem Sauberkeitseffekt, festgestellt. Auch die Einspritzbohrungen weisen nach der Ethanoleinwirkung keine Veränderungen auf (Vergleich siehe Abbildung 34).

Versuch Materialverträglichkeit

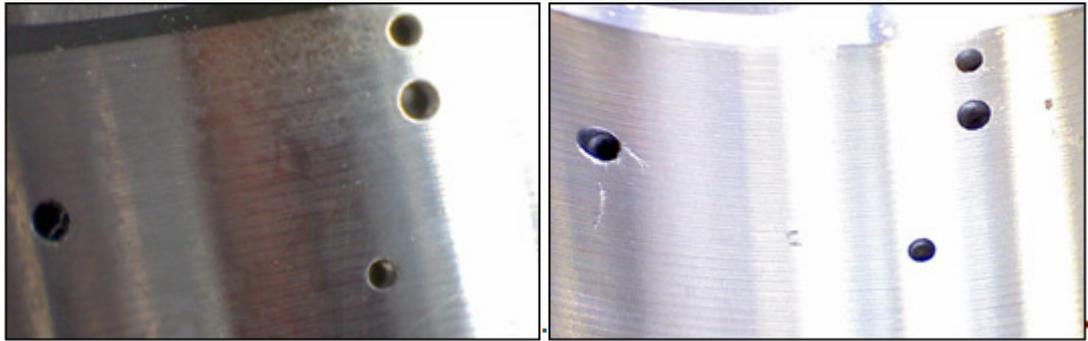


Abbildung 34 Einspritzbohrungen (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach)

An den Kraftstoffeinstellschrauben (beschichteter Stahl) wurde nichts Auffälliges festgestellt. In der Abbildung 35 sind die Zustände vor und nach der Ethanoleinwirkung dargestellt. Die Kerbung, die auf der Einstellschraube zu sehen ist, ist eine Markierung, um einen korrekten Vergleich darstellen zu können.



Abbildung 35 Kraftstoffeinstellschraube (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach)

Bei der Messing Drosselklappe kam es nur zu einer geringfügigen Farbveränderung. In der Abbildung 36 ist der Vergleich dargestellt. Auch dieses Bauteil wurde mit einer Kerbung markiert.

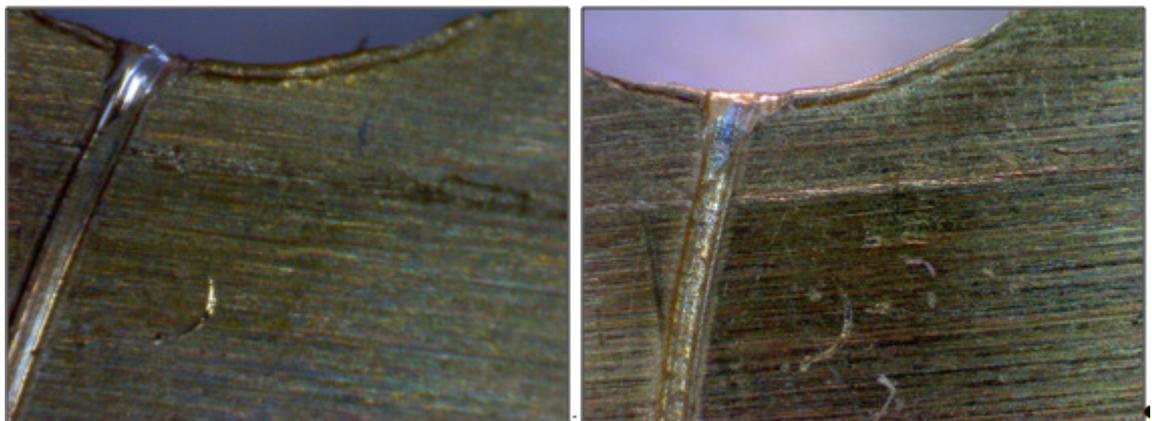


Abbildung 36 Vergaserdrosselklappe (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach)

Versuch Materialverträglichkeit

Der Kraftstoff-Einlasskanal wurde zwar sauberer, blieb ansonsten aber ohne Veränderungen. In der Abbildung 37 ist der Vergleich dargestellt.

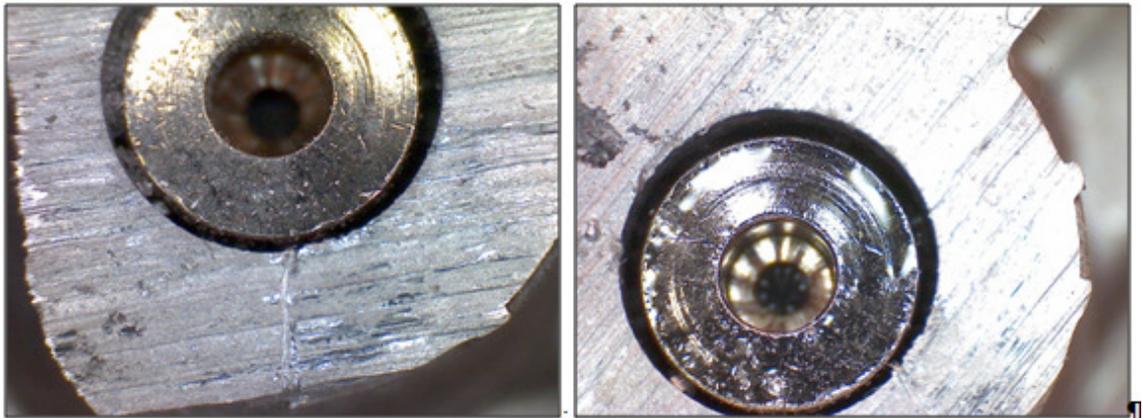


Abbildung 37 Vergasereinlasskanal (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach)

Bei den Gummitteilen konnte eine Veränderung festgestellt werden. Bei dem Material selbst hat sich die Oberfläche leicht verändert und ist glänzender geworden (siehe Abbildung 38).

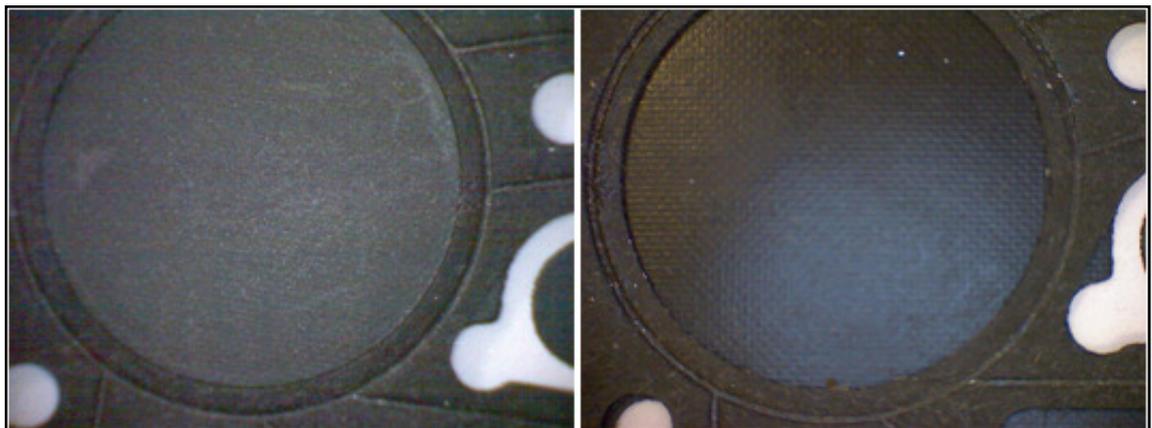


Abbildung 38 Kraftstoffpumpenmembran (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach)

Bei der unteren Membran konnte eine größere Quellung beobachtet werden. Es entstand eine poröse Oberfläche (siehe Abbildung 39).

Versuch Materialverträglichkeit

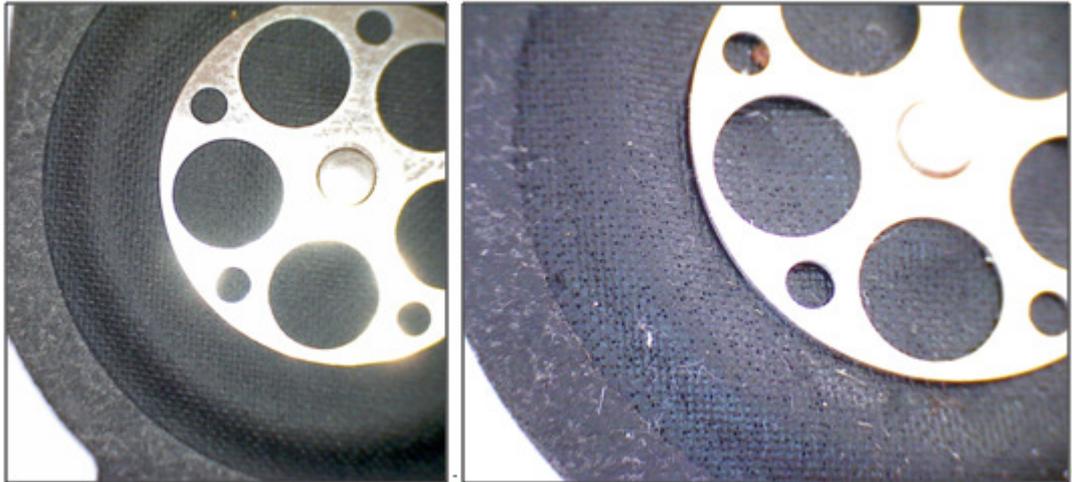


Abbildung 39 Vergasermembran unten (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach)

Die untere Membran wird immer aus dem gleichen Material hergestellt. Bei der Kraftstoffpumpe kommen auch andere Materialien in Einsatz (Teflon, Mylar), die eine sehr gute Beständigkeit zeigen. In der Abbildung 40 ist die unveränderte Mylarmembran dargestellt.

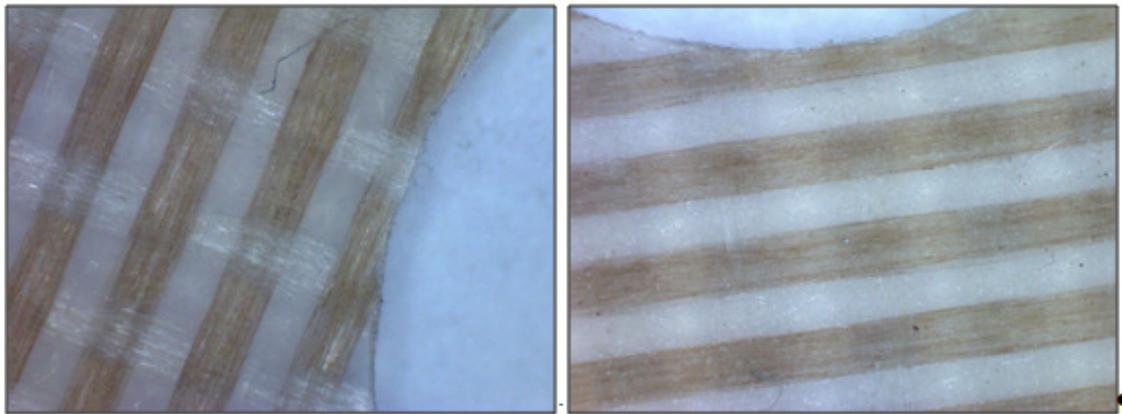


Abbildung 40 Kraftstoffpumpenmembran (links vor der Ethanoleinwirkung, rechts danach)

Aus diesen Ergebnissen geht hervor, dass der ethanolhaltige Kraftstoff einen geringen Einfluss auf die Gummiteile im Vergaser hat. Um eine bessere Beständigkeit bei den Vergasern zu erreichen und eine einwandfreie Nutzung vom ethanolhaltigen Kraftstoff zu gewährleisten, sollte bei allen Membranbauteilen das Material auf Teflon oder Mylar umgestellt werden. Die technische Realisierbarkeit der Materialumstellung muss noch geprüft werden. Die Prüfung der technischen Realisierbarkeit ist nicht Gegenstand dieser Arbeit.

5.5 Versuch: Primerbeständigkeit

Versuchsaufbau

- a) Die Primer werden auf ihre Funktion geprüft, d. h. ob die Ventile auch nach der Ethanoleinwirkung einwandfrei arbeiten. Außerdem wird untersucht, ob durch die Ethanoleinwirkung geklebte Bauteile undicht werden. Der Primer funktioniert wie eine Diode, der Kraftstofffluss ist nur in eine Richtung offen (siehe Abbildung 41).

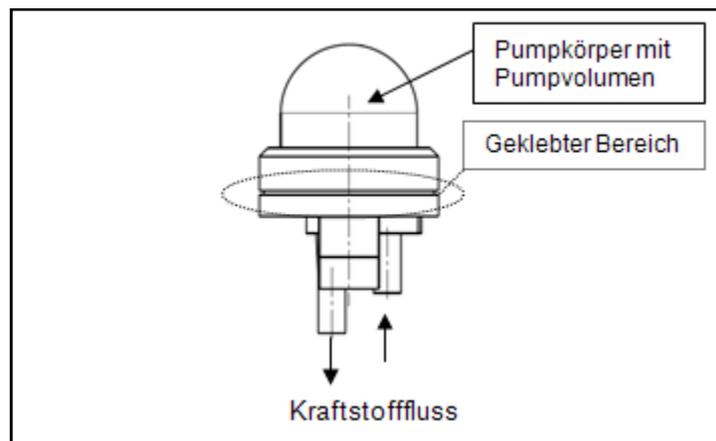


Abbildung 41 Primerzeichnung mit Testbereichen

Der Primer hat im Auslass- und Einlasskanal jeweils ein Ventil, das den Durchfluss nur in eine Richtung zulässt.

- b) Die zu prüfenden Primer werden aus der Tabelle 40 entnommen. Da die Primer aus unterschiedlichen Materialien bestehen, werden diese als eine Baugruppe untersucht.

Menge	Bezeichnung	Teilenummer	Verwendung
4	Primer	010155010	PS-3410 TH; PS-3410 TH TLC; PS-3410; PS-350 SC; PS-420 SC
4	Primer	369155010	PS-45

Tabelle 40 Primer aus der Materialmatrix

- c) Die Prüflinge sind zu bestellen oder, wenn im Lager welche vorhanden sind, aus dem Lagerfach zu entnehmen.
- d) Es ist ein EBWG zu verwenden (siehe Kapitel 5.1.2).
- e) Die Primer müssen ordnungsgemäß beschriftet werden, um eine Verwechslung zu vermeiden.

Versuch Materialverträglichkeit

- f) Die Glasbehälter sind vorzubereiten (evtl. bestellen).
- g) Bei der Arbeit mit brennbaren und giftigen Stoffen müssen die intern vorgeschriebenen Sicherheitsmaßnahmen beachtet werden.
- h) Für Unterdruckerzeugung wird eine Handpumpe verwendet. Hier wird eine Stoppuhr benötigt, um den Druckabfall in einem Zeitabstand definieren zu können. Bei der Überdruckerzeugung wird ein Furness Controls FCO730 Dichtungsprüfgerät verwendet.

Furness Controls FCO730

Das Messgerät funktioniert nach dem Prinzip der Druckabfallmessung. Es werden die Prüfbedingungen für den Prüfvorgang vergeben und die Prüfung erfolgt automatisch. Die Ergebnisse müssen manuell aufgenommen werden.

Versuchsdurchführung

Bevor die Primer in den ethanolhaltigen Kraftstoff eingelegt werden, werden die Auslass- und Einlassventile auf ihre Sperrfunktion überprüft sowie eine Dichtigkeitsprüfung vom geklebten Bereich durchgeführt. Die Dichtigkeitsprüfung und die Prüfung des Auslassventils werden mit Furness Controls FCO730 durchgeführt. Die Prüfbedingungen (Eingaben in das Messgerät) sind in der Tabelle 41 dargestellt.

Prüfdruck:	999	mbar
Drucktoleranz:	5	%
Grenzwert:	+/- 2	ccm
Befühlzeit:	10	sec
Stabilisierungszeit:	5	sec
Prüfvolumen:		
Primer (010155010):	2	ml
Primer (369155010):	2,5	ml

Tabelle 41 Prüfbedingungen für Furness Controls FCO730

Die Prüfung des Einlassventils wird mit einer Handpumpe und einer Stoppuhr verwirklicht.

Dichtigkeitsprüfung vom geklebten Bereich

Der Einlassanschluss des Primers wird an das Gerät (Furness Controls FCO730) angeschlossen und der Auslassanschluss wird mit einem Blindstopfen verbunden (siehe Abbildung 42).

Versuch Materialverträglichkeit

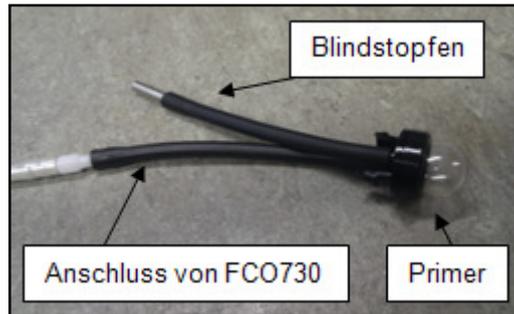


Abbildung 42 Primer mit Anschlussvorgehensweise

Mit der Betätigung vom Startknopf des Gerätes läuft die Prüfung automatisch. Eventuell entstehende Leckagen werden von dem Gerät aufgenommen und angezeigt.

Prüfen des Auslassventils vom Primer

Die Prüfung des Auslassventils auf seine Sperrfunktion wird realisiert, indem statt des Blindstopfens der FCO730 angeschlossen wird. Es müssen keine weiteren Veränderungen vorgenommen werden. Die automatische Auslassventilprüfung kann begonnen werden.

Prüfen des Einlassventils vom Primer

Das Einlassventil des Primers wird geprüft, indem der Einlassanschluss an eine Handpumpe angeschlossen wird und der Auslassanschluss frei bleibt. Mit der Pumpe wird ein Unterdruck von 1 bar erzeugt. Der Handpumpenanzeiger wird 30 Sekunden lang beobachtet (siehe Abbildung 43).

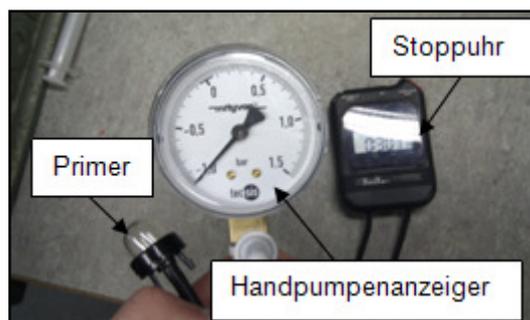


Abbildung 43 Prüfung des Einlassventils vom Primer

Die eventuell entstehende Druckdifferenz wird in den Protokoll aufgenommen. Die analoge Messung wird durchgeführt, nachdem die Prüflinge 30 Tage im ethanolhaltigen Kraftstoff gequollen sind.

Versuch Materialverträglichkeit

Versuchsauswertung

Nach der Entnahme aus dem EBWG, war an den Prüflingen keine Veränderung erkennbar. Die Kraftstofffarbe hat sich auch nicht verändert. Eine unvollständige Öl-Vermischung war auch in diesem Versuch erkennbar. Nach der Betätigung des Pumpkörpers war ein Unterschied zu fühlen. Der Pumpkörper ist weicher geworden. Das liegt daran, dass das Material nicht sichtbar aufgequollen ist. Die Anfangsmessergebnisse sind in der Tabelle 42 dargestellt.

	Primer Nr. 010155010			Primer Nr. 369155010		
	<i>Dichtigkeitsprüfung vom geklebten Bereich</i>	<i>Prüfen des Einlassventils</i>	<i>Prüfen des Auslassventils</i>	<i>Dichtigkeitsprüfung vom geklebten Bereich</i>	<i>Prüfen des Einlassventils</i>	<i>Prüfen des Auslassventils</i>
	[ccm]	[ccm]	[bar]	[ccm]	[ccm]	[bar]
1	0	0	0	0	0,9	0,01
2	0	0	0	0,1	0,2	0,01
3	0	0	0	0	0,7	0,01
4	0,1	0	0	0	0,8	0,01
5	0	0	0	0	1	0
6	0	0	0	0	0,7	0
7	0	0	0	0	1,6	0,02
8	0	0	0	0	1,1	0
9	0	0	0	0	1,2	0,01
10	0	0	0	0	0,7	0,01

Tabelle 42 Primerergebnisse der Ausgangsmessung

Versuch Materialverträglichkeit

Es ist zu erkennen, dass das Auslassventil bei dem Primer mit der Teilenummer 369155010 eine kleine Leckage hatte. In der Tabelle 43 sind die Ergebnisse nach 30 Tagen Quellung dargestellt.

	Primer Nr. 010155010			Primer Nr. 369155010		
	<i>Dichtigkeitsprüfung vom geklebten Bereich</i>	<i>Prüfen des Einlassventils</i>	<i>Prüfen des Auslassventils</i>	<i>Dichtigkeitsprüfung vom geklebten Bereich</i>	<i>Prüfen des Einlassventils</i>	<i>Prüfen des Auslassventils</i>
	[ccm]	[ccm]	[bar]	[ccm]	[ccm]	[bar]
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0

Tabelle 43 Primermessergebnisse nach 30 Tagen Ethanoleinwirkung

Dieses Ergebnis zeigt, dass die Primerfunktion sich verbessert hat. Diese Verbesserung liegt daran, dass die Aufquellung den Primer-Ventilen eine bessere Sperrfunktion gewährleistet. Nach diesem Ergebnis, wird der Primer mit der Verwendung des ethanolhaltigen Kraftstoffs seine Funktion bewahren.

5.6 Versuch: Kraftstoffsaugkopfbeständigkeit

In diesem Versuch wird eine Überprüfung der Beständigkeit des Kraftstoffsaugkopfes im Ethanol-Benzin-Wasser-Gemisch durchgeführt. Nach der Versuchsdurchführung sollen die Saugköpfe ihre Funktionen beibehalten und der Kraftstoffdurchfluss darf nicht beeinträchtigt werden. In der Abbildung 44 ist der Kraftstoffsaugkopf dargestellt.



Abbildung 44 Kraftstoffsaugkopf

Versuchsaufbau

- a) Die Kraftstoffsaugköpfe bestehen aus mehreren Bauteilen, die unterschiedliche Materialien aufweisen. Deshalb wird die komplette Baugruppe getestet. In der Materialmatrix wurden Saugköpfe zusammengefasst. Die Prüflinge und die zu testende Menge sind aus der Tabelle 44 zu entnehmen.

Menge	Dauer	Sieb	Teilenummer	Verbaut
6	28 Tage	ja	010114010	PS-3410 TH; PS-3410 TH TLC; PS-460; PS-500; PS-3410; PS-4605; PS-4605 H; PS-5105 H
6	28 Tage	ja	963601380	PS-45
6	28 Tage	ja	320163447	PS-350 SC; PS-420 SC
6	28 Tage	nein	963601122	PS-6400; PS-7300; PS-7300 H; PS-7900; PS-7900 H; PS-9010; PC-6412 D; PC-7314 D; PC-8116 D PS-6400 H; 115

Tabelle 44 Kraftstoffsaugköpfe aus der Materialmatrix

Versuch Materialverträglichkeit

- b) Die Prüflinge sind zu bestellen oder, wenn auf Lager welche vorhanden sind, aus dem Lager zu entnehmen.
- c) Es ist ein Ethanol-Benzin-Wasser-Gemisch zu verwenden (siehe Kapitel 5.1.2). Zu Vergleichszwecken ist auch Super Benzin vorzubereiten.
- d) Die Saugköpfe müssen ordnungsgemäß beschriftet werden, um eine Verwechslung zu vermeiden.
- e) Die Glasbehälter sind vorzubereiten (evtl. bestellen).
- f) Die Mikroskopkamera ist vorzubereiten. Damit werden Fotos vom Filz, der sich im Sieb eventuell ansammelt, erstellt.
- g) Bei der Arbeit mit brennbaren und giftigen Stoffen müssen die Sicherheitsmaßnahmen beachtet werden.
- h) Ein spezielles Saugkopfprüfgerät ist anzufertigen. Dieses Gerät ermöglicht es, den vom Saugkopf eventuell gelösten Filz aufzufangen.

An einem Glasbehälter wird der Deckel mit einem Kraftstoffschlauch präpariert. An dem Kraftstoffschlauch sollen zwei Anschlüsse vorhanden sein (ein Anschluss für den Kraftstofffluss und der zweite für die Luftabsaugung). Das Prüfgerät ist in der Abbildung 45 dargestellt.



Abbildung 45 Kraftstoffsaugkopf-Prüfgerät

Eine Überprüfung, ob der Filz sich vom Saugkopf löst, ist von großer Bedeutung, da sich der im Vergaser befindlicher Sieb zusetzen kann. Dies würde zu Motorlaufstörungen bis hin zum kompletten Aussetzer führen.

Versuchsdurchführung

Drei Saugköpfe werden in das Ethanol-Benzin-Wasser-Gemisch eingelegt und drei in das Super Benzin. Der Glasbehälter wird mit Ethanol-Benzin-Wasser-Gemisch eingefüllt. Der Kraftstoffspiegel wird so eingestellt, dass das Bauteil komplett abgedeckt wird. Analog werden die Saugköpfe in Super Benzin eingelegt.

Versuch Materialverträglichkeit

Die Saugköpfe werden nach 28 Tagen aus dem EBWG entnommen. Es wird visuell auf eine Veränderung der Saugköpfe geprüft. Es wird ein Vergleich der in Benzin eingelegten Saugköpfe und der in EBWG eingelegten Saugköpfe durchgeführt. Anschließend werden alle Saugköpfe auf die Filzlösung überprüft. Dazu wird das Saugkopfprüfgerät verwendet. Es wird in den Kraftstoffbehälter 500 ml Ethanol-Benzin-Wasser-Gemisch eingefüllt. Der Filzfänger soll mit der Druckluft ausgepustet (gereinigt) werden. Der für den Kraftstofffluss vorgesehene Kraftstoffschlauch wird mit der Schlauchklemme abgedrückt. Mit dem anderen Kraftstoffschlauchanschluss wird, mit angeschlossener Unterdruckpumpe, Unterdruck von 0,6 bar erzeugt. Wenn im Unterdruckbehälter ein Druck von -0,6 bar erreicht ist, wird die Schlauchklemme entspannt. Dadurch wird der Kraftstoff aus dem Kraftstoffbehälter gesaugt. In diesem Moment wird der Saugkopf immer von einer Seite zur anderen bewegt. Durch jeden Saugkopf soll 1 Liter Kraftstoff durchgesaugt werden, deswegen wird der beschriebene Vorgang zwei Mal durchgeführt. Anschließend wird der Filzfänger abgebaut und mit der Mikroskopkamera auf eine Filzlösung untersucht.

Für einen Vergleich werden analog auch die im Super Benzin eingelegten Saugköpfe geprüft. Da bei einigen Saugköpfen ein Sieb vorhanden ist, werden die Saugköpfe am Ende des Versuchs auseinander gebaut und der eventuell vorhandene Sieb auf die Filzablagerung analysiert.

Versuchsauswertung

Das Ethanol-Benzin-Wasser-Gemisch hat seine Farbe nicht verändert (eine Motorölablagerung war zu erkennen). Die Saugköpfe haben keine Auffälligkeiten gezeigt. Die Filzummantelung war fest. Es wurden keine Unterschiede zu den Saugköpfen, die im Super Benzin lagen, festgestellt. Auch die Saugkopfgehäuse haben keine Veränderungen gezeigt.

Die mit dem Saugkopfprüfgerät durchgeführten Filzablagerungsuntersuchungen haben gezeigt, dass bei den Saugköpfen mit vorhandenem Sieb sich kein Filz im Filzfänger abgesetzt hat. Bei dem Saugkopf ohne integrierten Sieb wurde eine Filzablagerung erkannt. In der Abbildung 46 ist der Filzfänger mit der Filzlösung zu sehen. Das linke Bild zeigt die Filzablagerung nach dem Einlegen von Saugköpfen in das EBWG und das rechte Bild nach dem Einlegen in das Benzin.

Versuch Materialverträglichkeit

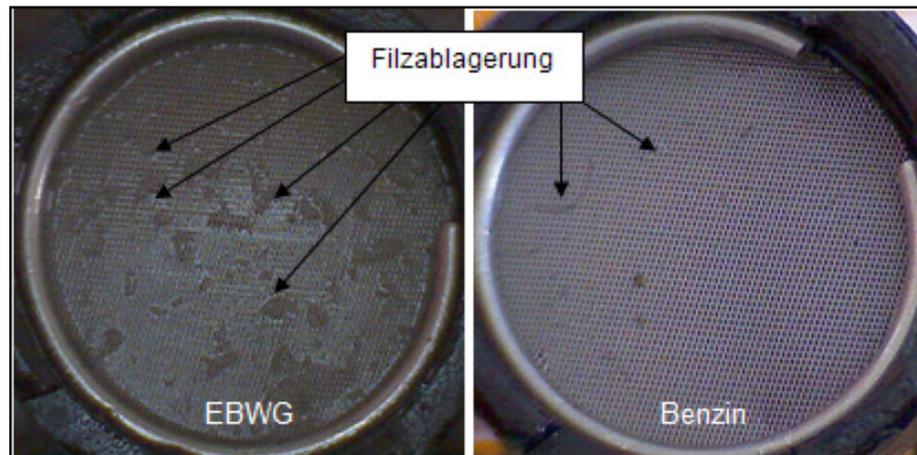


Abbildung 46 Filzablagerung vom Saugkopf 963601122

Das Ergebnis ist bei allen Saugköpfen ohne Sieb ähnlich ausgefallen. Daraus lässt sich schließen, dass um den Saugkopf (Teilenummer: 963601122) mit ethanolhaltigem Kraftstoff nutzen zu können, folgende Maßnahmen getroffen werden müssen: Integrierung eines Siebs in den Saugkopf oder Reinigung des Vergasersiebs bei jeder Maschinenwartung.

Bei der Saugkopfzerlegung konnte starke Filzablagerung im inneren Sieb festgestellt werden (Saugkopfteilenummer: 010114010). Der Vergleich von EBWG zum Super Benzin ist in der Abbildung 47 zu sehen.

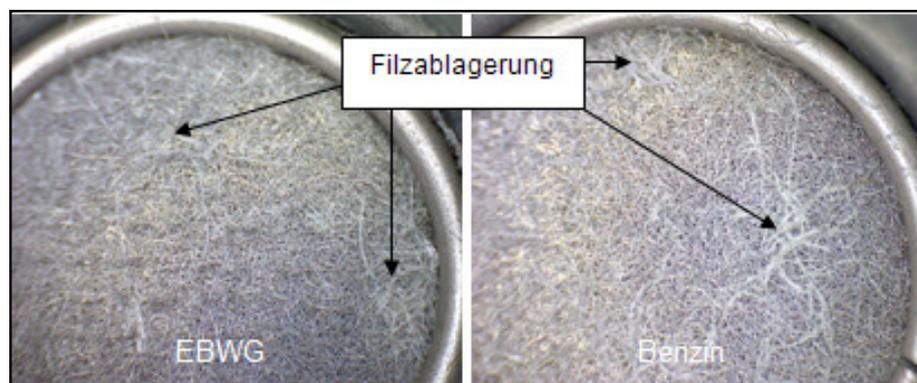


Abbildung 47 Filzablagerung am inneren Sieb vom Saugkopf 010114010

Dieser Vergleich sagt aus, dass sich bei beiden Kraftstoffen ungefähr die gleiche Filzablagerung stattgefunden hat. Daraus folgt, dass der höhere Ethanolgehalt keinen besonderen Einfluss auf den Saugkopf hatte. Die Verwendung von diesem Saugkopf kann bei beiden Kraftstoffen zur Saugkopfverstopfung führen. Da der innere Sieb eine verknottete Struktur hat, setzt sich der Filz so ab, dass immer ein geringer Durchfluss vorhanden sein wird. Bei den beiden anderen Saugköpfen konnten keine besonderen Vorkommnisse festgestellt werden.

6 **Versuchsablauf Motorverhalten**

In diesem Versuchsteil wird das Motorverhalten mit ethanolhaltigem Kraftstoff analysiert. Um festzustellen, wie die handgetragene Motorgeräte auf den ethanolhaltigen Kraftstoff reagieren, werden mehrere Versuche durchgeführt. Es wird ein Polyzyklischer Dauerlauf test durchgeführt sowie das Motorstartverhalten unter verschiedenen Temperaturen und verschiedenen Kraftstoffmischungen analysiert. Des Weiteren wird die zeitabhängige Druckindizierung durchgeführt und ausgewertet.

6.1 **Allgemeine Versuchsvorbereitung**

Zur allgemeinen Vorbereitung gehört:

- Testmaschine auswählen / bestellen
- Thermoelemente einbauen
- Zylinder vermessen
- Kolbenring spalt messen
- Dichtigkeitsprüfung der Triebwerke überprüfen
- Kurbelwellenschlag messen (laut Zeichnung)
- Kompression messen
- Zündkerzenabstand (Mittелеlektrode) messen
- Spaltmaß bestimmen
- Maschinen einlaufen lassen (30 min)

Es werden bei der allgemeinen Versuchsvorbereitung möglichst viele Messungen durchgeführt, um sicher zu sein, dass es sich bei den im Motortest auftretenden Fehlern nicht um Produktionsaussetzer handelt.

Versuchsablauf Motorverhalten

Testmaschinen auswählen/bestellen

Es wird für weitere Tests die Motorsäge „Farmerklasse“ PS-350 C ausgewählt.

In der Tabelle 45 sind die technischen Daten der Maschine aufgelistet:

Hubraum	34,7 cm ³
Bohrung	38 mm
Hub	30,6 mm
Max. Leistung bei Nenndrehzahl	1,7 KW / 9500 1/min
Max. Drehmoment bei Drehzahl	2,1 Nm / 6500 1/min
Leerlaufdrehzahl / Max. Motordrehzahl mit Schiene u. Kette	2800 / 13500 1/min
Schalldruckpegel LpA, eq am Arbeitsplatz nach ISO 22868 1) 3)	100,8 dB(A) / K _{PA} =2,5
Schalleistungspegel LWA , eq nach ISO 22868 1) 3)	110 dB(A) / K _{WA} =2,5
Vergaser	Membranvergaser
Zündanlage	elektronisch
Zündkerze	NGK CMR7A-5
Elektrodenabstand	0,5 mm
Kraftstoffverbrauch bei max. Leistung nach ISO 7293	0,79 kg/h
Spez. Verbrauch bei max. Leistung nach ISO 7293	526 g/kWh
Mischungsverhältnis (Kraftstoff/2-Takt-Öl) -bei Verwendung von DOLMAR-Öl	1:50

Tabelle 45 Technische Daten der Motorsäge PS-350 C

Die ausgewählte Motorsäge ist eine Maschine aus der Mittelklasse. Es werden drei Maschinen der Modellklasse „PS-350 C“ für weitere Tests bestellt und vorbereitet.

Versuchsablauf Motorverhalten

Einbau von Thermoelementen[38]

Für den Einbau von Thermoelementen werden die Motorsägen zerlegt.

Der Zylinder und das Kurbelwellengehäuse werden voneinander getrennt. Da die Kleberaushärtung eine Temperatur von 120°C erfordert, werden sämtliche Bauteile wie z. B. Vergaser, Zündspule etc. von der Motorsäge abgebaut. Um eine Verwechslung zu vermeiden, werden die wichtigsten Bauteile mit der Motorsägenummer gekennzeichnet.

Die Thermoelemente werden in den Zylinder im Kerzen- und im Auslassbereich installiert sowie bei dem Kurbelwellengehäuse im Bereich vom Lager.

Der Einbau im Zylinderbereich erfolgt mithilfe von folgenden Standard- und Spezialwerkzeugen:

- Bohrvorrichtung zur waagerechten Aufnahme von Zylindern
- 1,6 mm Spiralbohrer
- Messlehre zum einstellen der Bohrungstiefe
- Aufnahmedorn für Zylinder (Ø 38)
- Schlosserhammer 300g (Abbildung nicht vorhanden)
- Körner

In der nachfolgenden Abbildung 48 sind einige Werkzeuge gekennzeichnet.

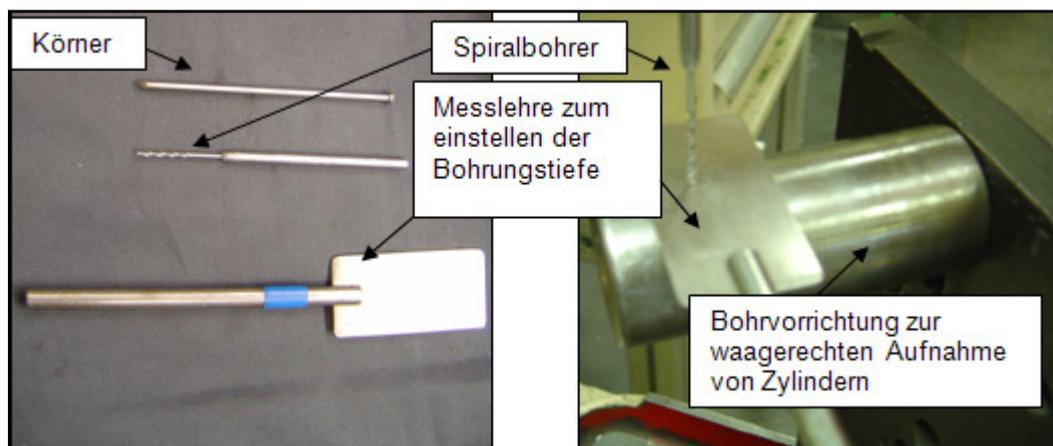


Abbildung 48 Spezialwerkzeuge für den Einbau von Thermoelementen

Versuchsablauf Motorverhalten

Es wird ein Spiralbohrer in die Bohrmaschinen eingesetzt und mit der Messlehre (siehe Abbildung 48 rechts) der Abstand zum Aufnahmedorn eingestellt. Das erfolgt, damit die, durch den Bohrer erzeugte, Bohrungstiefe noch einen sicheren Zylinderwandabstand zu dem Zylinderraum hat. Der Zylinder wird auf den Aufnahmedorn aufgesetzt und im Auslassbereich wird eine Bohrung erstellt (siehe Abbildung 49).



Abbildung 49 Erstellung der Bohrung für den Temperaturfühler

Im Kerzenbereich wird der gleiche Aufnahmedorn verwendet. Mithilfe der, an der Bohrmaschine vorhandenen, Skalierung wird eine Bohrung von 4 mm durchgebohrt (siehe Abbildung 50).

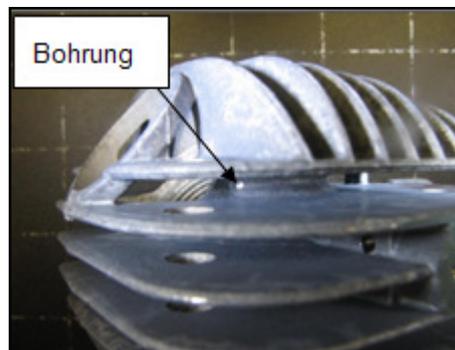


Abbildung 50 Thermofühlerbohrung im Kerzenbereich

In das Kurbelwellengehäuse wird mithilfe von Körner und dem 300 g schweren Schlo-
serhammer eine Bohrstelle auf 12 Uhr vorgekört (siehe Abbildung 51).

Die Tiefe der Bohrung wird im Schnitt A-A erstellt.

Versuchsablauf Motorverhalten

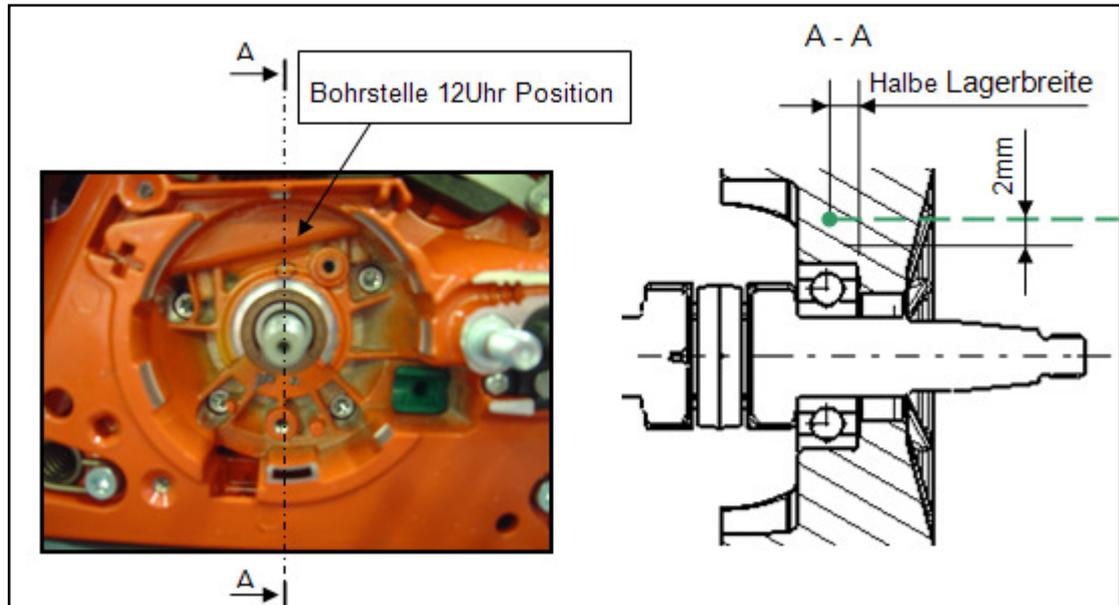


Abbildung 51 Temperaturfühler im Lagerbereich vom Kurbelwellengehäuse

Erstellung des Thermodrahtes[38]

Der Thermodraht wird von einer Thermodrahtrolle auf eine Länge von 350 mm abgeschnitten. An dem Glühende wird der Thermodraht, mithilfe eines Cuttermessers, von dem Isoliermaterial befreit. Mit einem Schweißbrenner werden die Drähte miteinander verschweißt, so dass eine kleine Kugel an der Spitze entsteht. Auf der Abbildung 52 ist der fertige Thermodraht dargestellt.



Abbildung 52 Thermodraht

Versuchsablauf Motorverhalten

Die Thermoelemente werden mit einem speziellen Kleber „Delo Monopox 1197“ eingeklebt. Für die Kleberaushärtung werden die Teile in den Ofen, bei einer Temperatur von 120 °C, eingelegt. Die Aushärtungsdauer beträgt ca. 3 Stunden. Anschließend werden die Bauteile aus dem Ofen herausgeholt und zusammengebaut.

Zylinder vermessen

Es werden Steuerzeiten des Zylinders vermessen sowie Kalottenvolumen ausgelitert.

Der Zylinder wird von dem Kurbelwellengehäuse demontiert.

Die verwendeten Messwerkzeuge sind:

- Digitaler Nutenmessschieber mit Doppelhaken 0,01 mm
- Digitaler Präzisionsmessschieber 100 mm
- Innentaster
- Offsetring
- Messkolben
- Messkerze
- Bürette mit Ständer
- Kolbenringspanner
- Abstandring (Stabilisierungsring)

Für die Laufbuchsenhöhenmessung wird der Nutenmessschieber auf Null kalibriert, damit kein Offset entsteht. Die Vorgehensweise ist in der Abbildung 53 dargestellt.

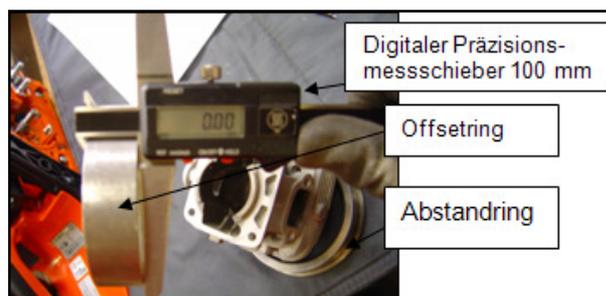


Abbildung 53 Kalibrierung des Nutenmessschiebers

Die Messung der Laufbuchsenhöhe ist am Beispiel eines aufgeschnittenen Zylinders in der Abbildung 54 dargestellt.

Versuchsablauf Motorverhalten

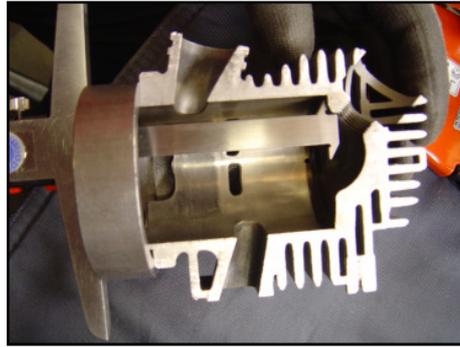


Abbildung 54 Messung der Laufbuchsenhöhe

Die Steuerzeiten werden analog zur Laufbuchsenhöhenmessung durchgeführt. Hier müssen Kantenbezeichnungen unterschieden werden. Beim Eintragen der Ergebnisse in das Vermessungsprotokoll müssen die Kantendefinitionen beachtet werden. In der Abbildung 55 sind die genauen Kantendefinitionen dargestellt.

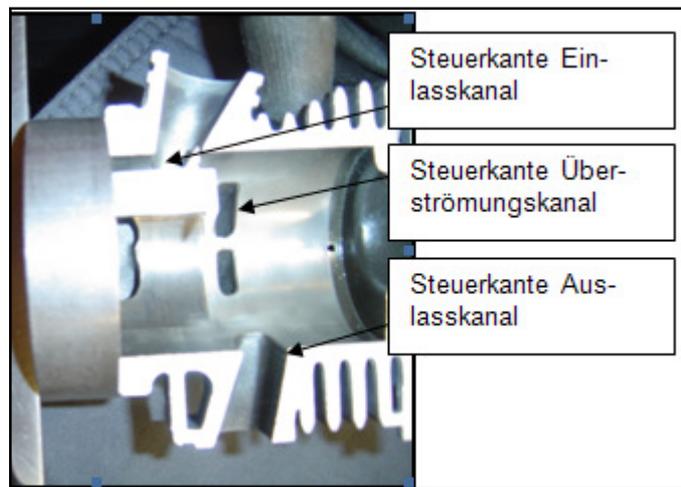


Abbildung 55 Darstellung der Zylindersteuerkanten

Die Massen vom Auslasskanal und dem Einlasskanal werden mithilfe eines Innentastlers abgenommen. Um ein Zahlenwert zu bekommen, wird der Messschieber verwendet. In der Abbildung 56 ist die Vorgehensweise bildlich dargestellt.

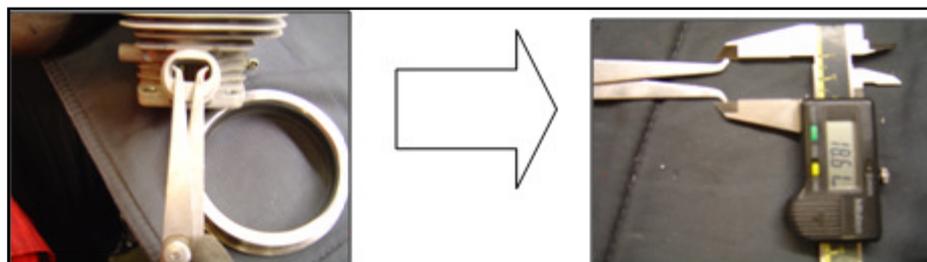


Abbildung 56 Messung des Auslasskanals

Versuchsablauf Motorverhalten

Die Kalottenvolumenermittlung erfolgt nach der internen Arbeitsanweisung mithilfe einer Bürette. Die Abbildung 57 zeigt, wie die Bürette bis zur Nullmarkierung befüllt wird.[38]



Abbildung 57 Justierung der Bürette

In der Abbildung 58 links ist der Messkolben dargestellt. Der Zylinder wird bis zum Anschlag auf dem Messkolben aufgesetzt.

In den Zylinder wird eine Messkerze eingeschraubt (siehe Abbildung 58 rechts). Die Messkerze hat ein Volumen von 1,5 ml, welches später als Offset abgezogen wird.

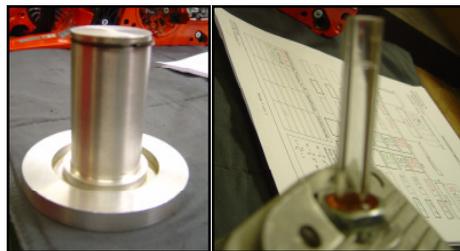


Abbildung 58 Messkolben (links) und Messkerze (rechts)

In den Zylinder wird über die Messkerze das Öl eingefüllt. Der Messkolben wird von unten im Anschlag festgehalten (siehe Abbildung 59).

Versuchsablauf Motorverhalten

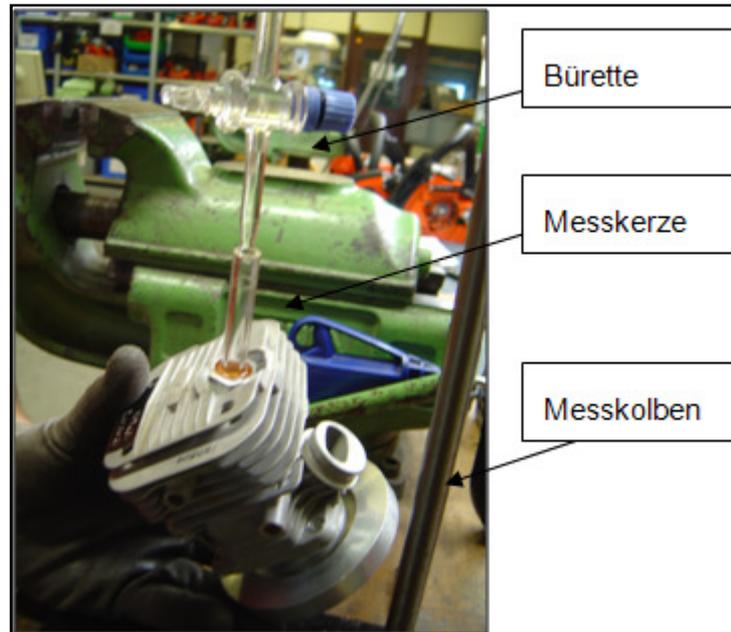


Abbildung 59 Kalottenausmessung

Das Öl wird bis zum Strich der Messkerze aufgefüllt. Danach soll der Zylinder mehrmals um ca. 45° in eine und in andere Richtung gekippt werden. Dadurch werden die angesammelten Luftblasen nach außen befördert. Wenn der Ölpegel gesunken ist, muss der Stand nachgefüllt werden. Wegen der hohen Viskosität des Öls, ist ein Augenblick notwendig, damit das Öl sich setzt. Wenn das Öl einen statischen Stand erreicht hat, wird der Ölstand an der Bürette abgelesen. Es muss von dem abgelesenen Ergebnis das Offset abgezogen werden.

Kolbenringspalt messen

Die Messung erfolgt mithilfe einer Messlehre. Da der Zylinder schon für die Zylindervermessung abgebaut war, wird das ausgenutzt, um die Zeit einzusparen. Der Kolbenring wird von dem Kolben demontiert und in den Zylinder eingeführt. Anschließend wird der Kolbenspalt mit der Messlehre gemessen (siehe Abbildung 60).

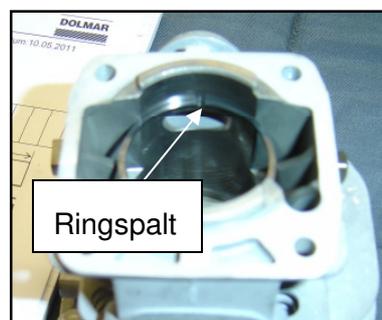


Abbildung 60 Kolbenringspalt Messstelle

Versuchsablauf Motorverhalten

Dichtigkeitsprüfung der Triebwerke

Die Dichtigkeit des Triebwerkes spielt eine wichtige Rolle für das Motorlaufverhalten. Durch die Undichtigkeit kann die Nebenluft angezogen werden, was ein mageres Gemisch zur Folge hat.

Für die Dichtigkeitsprüfung werden folgende Werkzeuge verwendet:

- Handpumpe mit einem Barometer (Anzeige: ≈ -1 bar bis $+1,5$ bar)
- Druckplatte am Ansaugschlauch und am Auslassbereich.

Nachdem der Zylinder montiert wurde, werden am Zylinder der Auslass- und der Ansaugkanal zugemacht. Die Abdeckung erfolgt mit speziell angefertigten Druckplatten. Die Abdichtung ist auf der nachfolgenden Abbildung 61 zu sehen.

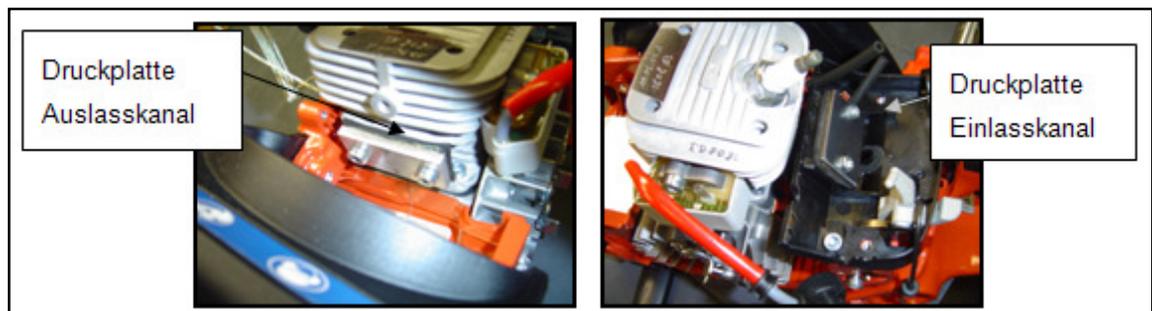


Abbildung 61 Abdichtung des Triebwerkes

Mithilfe der Handpumpe wird zuerst der Druck von 0,5 bar, anschließend ein Unterdruck von 0,5 bar, erzeugt. Es wird ca. eineinhalb Minuten gewartet, der maximale Druckabfall soll nicht mehr als 0,8 bar in der Minute sein. Die Handpumpe wird an den Impulsschlauch angeschlossen (siehe Abbildung 62).

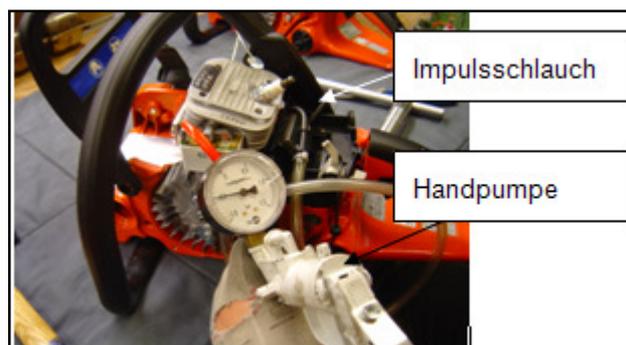


Abbildung 62 Anschließen der Handpumpe

Wenn kein Druckverlust festzustellen ist, kann die Maschine weiter zusammengebaut werden und bei weiteren Versuchen verwendet werden.

Versuchsablauf Motorverhalten

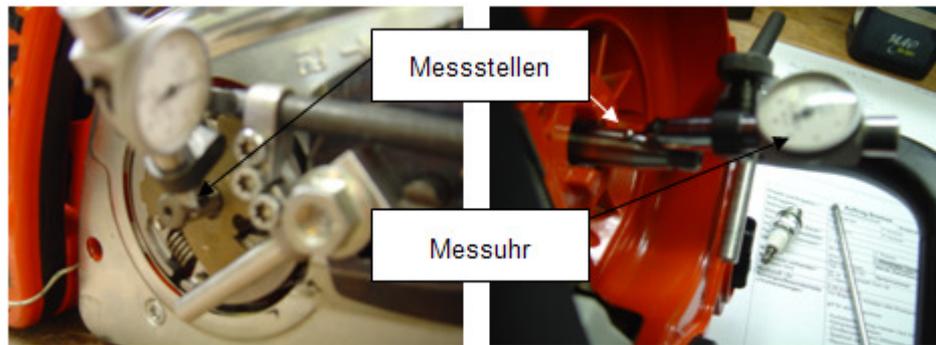


Abbildung 64 Messuhr Einbauposition KS (links), MS (rechts)

Die Messung erfolgt an beiden Seiten der Maschine. Nach dem die Messuhr installiert wurde, wird die Kurbelwelle gedreht. Der Messuhrzeiger wird nach dem höchsten Ausschlag beobachtet. Bei dem höchsten Ausschlag wird die Messuhr auf null eingestellt. Jetzt wird die Kurbelwelle bis zum nächsten höchsten Zeigerausschlag gedreht. Der maximale Wert ist der Kurbelwellenschlag in Millimetern.

Kompressionsdruck messen

Das Kompressionsmaß hat in erster Linie einen Einfluss auf den thermischen Wirkungsgrad. Bei zu niedriger Kompression wird das Kraftstoffgemisch schlecht komprimiert. Die Folge ist eine schlechtere Gemischbildung, dies führt zu einer unvollständigen Verbrennung. Bei einer zu hohen Kompression kommt es zu höheren Drücken und Temperaturen, was zu einer unkontrollierten Verbrennung führt.

Für eine Kompressionsdruckmessung werden folgende Werkzeuge verwendet:

- Kompressionsdruckmessgerät
- Zündkerzenschlüssel

Statt der Zündkerze wird mithilfe eines Verbindungsstücks das Kompressionsdruckmessgerät angeschlossen, wie in der Abbildung 65 dargestellt.

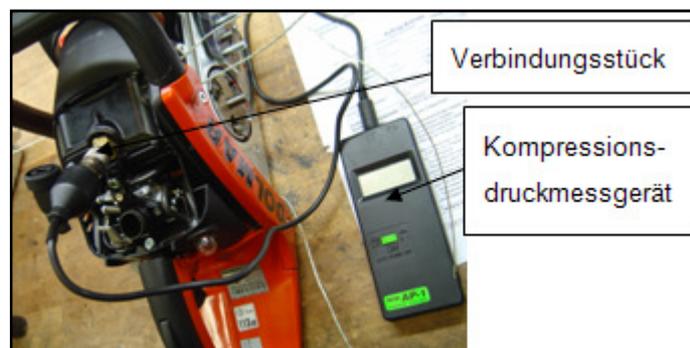


Abbildung 65 Anschließen des Kompressionsdruckmessgerätes

Versuchsablauf Motorverhalten

Der Gashebel wird auf Vollgas eingestellt, damit der Motor den maximalen Liefergrad erreicht. Der Kraftstofftank soll dabei leer sein. Die Maschine wird fünf Mal am Starter gezogen. Das Gerät zeigt den Kompressionsdruck als Digitalanzeige in Bar an.

Zündkerzenmittelelektrodenabstand messen

Der Zündkerzenmittelelektrodenabstand hat einen direkten Einfluss auf die Entflammung des Kraftstoffgemisches. Bei einem zu kleinen Elektrodenabstand überschlägt der Funken zur Mittelelektrode so schnell, dass der Funken nicht ausreicht, um das Kraftstoffgemisch zu ionisieren.

Ein zu großer Elektrodenabstand führt dazu, dass das Kraftstoffgemisch in falschen Bereichen entzündet wird, da der Funken sprung unkontrollierbar ist. Es kann auch passieren, dass die Energie nicht ausreicht, um einen Funken sprung zu erzeugen. Um den Mittelelektrodenabstand messen zu können, werden folgende Werkzeuge verwendet:

- Zündkerzenschlüssel
- Messlehre

Die Zündkerze wird aus dem Zylinder mithilfe des Zündkerzenschlüssels herausgedreht. Mit der Messlehre wird der Elektrodenabstand gemessen, wie in der Abbildung 66 dargestellt.



Abbildung 66 Messung des Zündkerzenabstandes

Versuchsablauf Motorverhalten

Spaltmaß bestimmen

Das Spaltmaß wird bestimmt, um das Verdichtungsverhältnis ausrechnen zu können.

Die Berechnung des Verdichtungsverhältnisses erfolgt mit der folgenden Formel:

$$\varepsilon = \frac{V_h}{V_c} + 1$$

mit:

$$V_h = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot s$$

und

$$V_c = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot t + V_{\text{Kalotte}}$$

Für die Spaltausmessung werden folgende Werkzeuge verwendet:

- Zündkerzenschlüssel
- Weicher Lötendraht
- Messschieber

Da die Zündkerze aus der Zündkerzenmittelelektrodenabstand demontiert worden war, ist die Zündkerzenbohrung jetzt frei. Durch die Kerzenverschraubungsbohrung wird der Lötendraht eingeführt (siehe Abbildung 67).

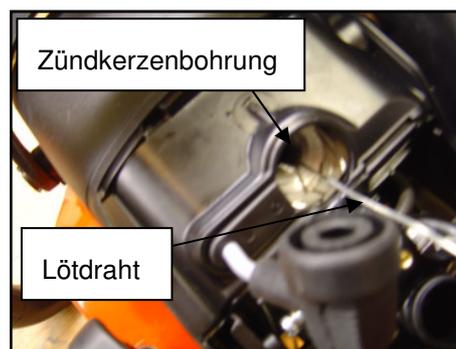


Abbildung 67 Einführung des Lötdrahtes für die Spaltausmessung

Der Kolben soll sich unterhalb des OT befinden. Die Messstelle befindet sich außerhalb des Kalottenvolumens auf dem flachen Kompressionsbereich (siehe Abbildung 68).

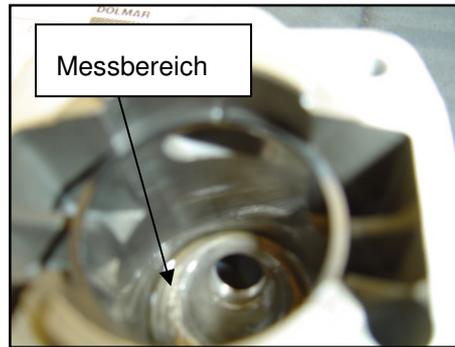


Abbildung 68 Messbereich für die Spaltausmessung

Nachdem der Lötdraht auf der richtigen Position liegt, wird der Starter ein Mal betätigt. Da der Lötdraht aus einem wesentlich weicherem Material besteht als der Kolben und Zylinder, wird der Lötdraht zusammengepresst. Die Breite der zusammengepressten Stelle wird mithilfe des Messschiebers gemessen. Anschließend wird die Zündkerze mit einem Zündkerzenschlüssel wieder reingedreht.

Zündzeitpunkt überprüfen

Es wird geprüft, ob der Zündzeitpunkt richtig eingestellt ist. Der Zündzeitpunkt hat einen direkten Einfluss auf das Motorlaufverhalten. Durch den Zündzeitpunkt wird definiert, wann das Kraftstoffgemisch gezündet werden soll. Der Zündzeitpunkt liegt immer vor OT, damit der maximale Zylinderdruck kurz nach OT entsteht. Der maximale Zylinderdruck darf nicht vor OT entstehen, sonst würde er zu erheblichen Motorschäden führen.

Um den Zündzeitpunkt überprüfen zu können, werden folgende Messgeräte verwendet:

- Stroboskoplampe
- Winkelscheibe (Scheibe mit Winkelskalierung)
- Zündkerzendorn (OT Bestimmung)
- Zündkabelverlängerung
- Markierungspfeil
- Allgemeinwerkzeug

In ersten Schritt wird von der geprüften Maschine die komplette Kupplung demontiert. An die Kupplungsseite wird dann eine Winkelscheibe und ein Markierungspfeil angebracht. Die Winkelscheibe muss richtig eingestellt werden. Mithilfe des Zündkerzendorns wird die Winkelscheibe justiert. Der Zündkerzendorn ist in der Abbildung 69 dargestellt.

Versuchsablauf Motorverhalten



Abbildung 69 Zündkerzendorn

Der Zündkerzendorn wird an die Stelle der Zündkerze angebracht. Der Zylinder wird bis zum Anschlag gebracht. Die Winkelscheibe wird so eingestellt, dass beim Verdrehen der Kurbelwelle in die andere Richtung bis zum Anschlag, sich in beiden Fällen der gleiche Wert am Markierungspfeil einstellt (siehe Abbildung 70). So entsteht an der Winkelscheibe eine exakte OT-Einstellung.

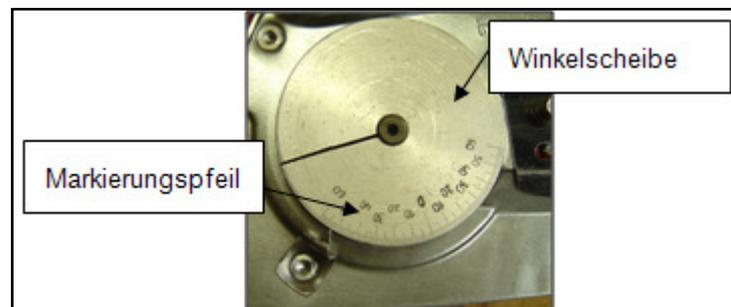


Abbildung 70 Winkelscheibe für die Zündzeitpunktmessung

Nachdem die Winkelscheibe eingestellt worden ist, wird der Zündkerzendorn demon-
tiert. Die Zündkerze wird wieder auf ihre Position angeschraubt. Das Zündkabel muss
mit der Zündkabelverlängerung verlängert werden, um das Anschließen der Strobos-
koplampenzange zu ermöglichen. In der Abbildung 71 ist der gesamte Aufbau darge-
stellt.

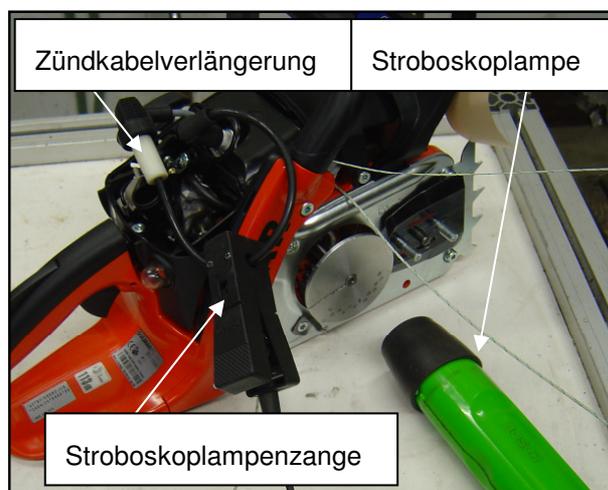


Abbildung 71 Aufbau der Zündzeitpunktmessung

Versuchsablauf Motorverhalten

Jetzt wird der Motor gestartet. Im Zündzeitpunkt wird vom Zündkabel die induktive Zündspannung entnommen. In diesem Moment blitzt die Stroboskoplampe. Jetzt wird die Winkelscheibe angeblitzt, dadurch wird das Ablesen des Zündzeitpunktes ermöglicht.

Messresultate

In den nachfolgenden Tabellen sind die Messresultate dargestellt.

PS-350 C Maschinennummer 2011180893		
Zündkerzenabstand:	0,55	mm
Kurbelwellenschlag		
KS:	0,01	mm
MS:	0,03	mm
Kompressionsdruck:	12,7	bar
Zündzeitpunkt:	24-25	° vor OT

Tabelle 46 Messresultate der Maschine PS-350 C (2011180893)

PS-350 C Maschinennummer 2011180907		
Zündkerzenabstand:	0,55	mm
Kurbelwellenschlag		
KS:	0,08	mm
MS:	0,07	mm
Kompressionsdruck:	12,9	bar
Zündzeitpunkt:	24-25	° vor OT

Tabelle 47 Messresultate der Maschine PS-350 C (2011180907)

PS-350 C Maschinennummer 2011180907		
Zündkerzenabstand:	0,55	mm
Kurbelwellenschlag		
KS:	0,09	mm
MS:	0,03	mm
Kompressionsdruck:	13	bar
Zündzeitpunkt:	24-25	° vor OT

Tabelle 48 Messresultate der Maschine PS-350 C (2011180850)

Versuchsablauf Motorverhalten

Zylinder- bzw. Maschinentyp: PS-350 C Datum 10.05.2011

Maschinennummer	Zylindernummer
2011180893	10.05.11 A
2011180907	10.05.11 B
2011180850	10.05.11 C

57.8	33.8	26.2	30.6	30.6	21.9	12.8
			30.6	30.6		
57.9	33.8	26.2	30.4	30.4	21.8	12.7
			30.4	30.5		
57.8	33.9	26.4	30.4	30.4	21.9	12.7
			30.4	30.5		

Bezeichnung	V _{Kalotte} o. ZK	Ringspalt	Spaltmaß	Verdichtung
10.05.11 A	2,9ml	0,4 mm	0,68	10,4
10.05.11 B	2,7ml	0,35 mm	0,72	10,8
10.05.11 C	2,7ml	0,4 mm	0,60	11,2

Bohrung (=d)
Hub (=s)
Hubvolumen (=V_h)

$$\epsilon = \frac{V_h}{V_c} + 1 \quad V_h = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \text{Hub}$$

$$V_c = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot \text{Spaltmaß} \cdot V_{\text{Kalotte}}$$

Tabelle 49 Protokoll der Zylindervermessung

Versuchsablauf Motorverhalten

6.2 Polyzyklischer Dauerlaufest (PZD)

In diesem Versuch wird die Lebensdauer der Maschine, unter den auf die Realität angepassten Bedingungen, getestet. Am Ende des PZD-Laufs wird die Maschine auf die eventuell entstandenen Fehler untersucht.

Prüfstandaufbau

Der Prüfstand ist in einem Prüfcontainer aufgebaut. Der Prüfcontainer ist in zwei Teile aufgeteilt: „Prüfcontainer 1“ und „Bediencontainer 2“. Der „Prüfcontainer 1“ enthält vier einzelne Kabinen. In jeder Kabine kann nur eine Maschine getestet werden. Im „Bediencontainer 2“ befinden sich ein Kompressor, ein Verteilerschrank, ein 19“-Rack und ein Schreibtisch mit einem Rechner. Mit dem Rechner werden die Prüflinge, über die einzelnen Monitore, überwacht. Eine systematische Darstellung ist in der Abbildung 72 zu sehen.

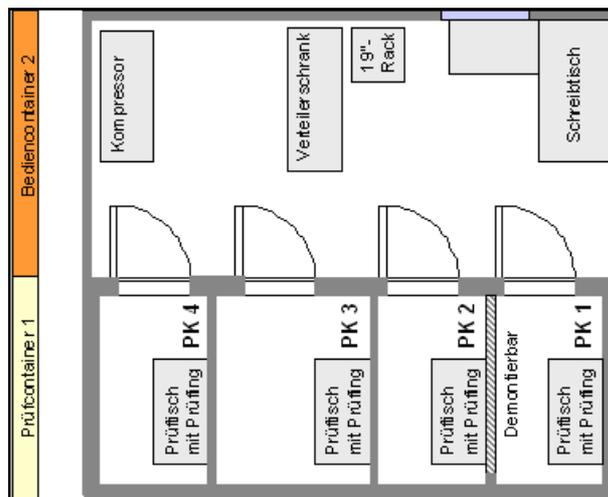


Abbildung 72 Systematische Darstellung des Prüfcontainers

In jeder Prüfkabine befindet sich ein Tisch, auf den ein Prüfgerät installiert wird. Der Prüftisch ist in der Abbildung 73 dargestellt.

Versuchsablauf Motorverhalten

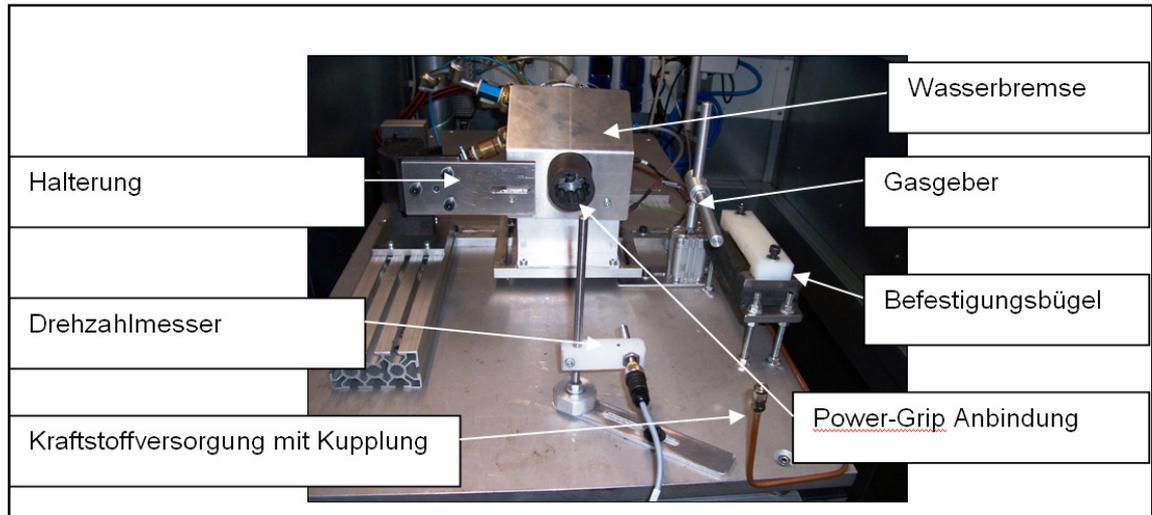


Abbildung 73 PZD-Prüfstandtisch

Die Kraftstoffversorgung erfolgt extern, aus einem Gefahrstoffcontainer, in dem sich ein Lagerbehälter und eine Mischstation für das Zweitaktgemisch befinden. Eine fehlerfreie Kraftstoffversorgung wird mithilfe eines Kraftstoffkreislaufs gewährleistet. Die installierten Sicherheitsvorkehrungen - mehrere gut verteilte NOT-AUS-Taster, Gaswarnanlage zur Überwachung von Schadstoffen in den einzelnen Kabinen, die Brandmeldezentrale sowie eine Lüftungsanlage - ermöglichen eine sichere Bedienung. Die Überwachung und Steuerung wird mithilfe des Programms „LabView“ ermöglicht.

Versuchsdurchführung

Der Versuch wird mit dem oben beschriebenen PZD-Prüfstand durchgeführt. Die getestete Maschine ist PS-350 C mit der Seriennummer 2011/180893. Da der Test mit nur einer Maschine durchgeführt wird, wird dieser Test als eine Stichprobenmessung gewertet.

Die Wahl des Kraftstoffs fiel auf E80 (ZX-3000) zum Einen, weil die Erfahrungen der Langzeitversuche gezeigt haben, dass das Motoröl kein homogenes Gemisch mit dem E85 Kraftstoff bildet und zum Anderen, standen 200 Liter von diesem Kraftstoff zur Verfügung. In der nachfolgenden Tabelle 50 sind physikalische und chemische Eigenschaften vom E80 Kraftstoff aufgelistet.[39]

Versuchsablauf Motorverhalten

Form:	flüssig
Farbe:	klar
Geruch:	spezifisch
Stockpunkt:	ca. -35 °C
Dichte:	ca. 0,75 g/ccm
Dampfdruck:	ca. 50 kPa
Viskosität:	ca. 5 cSt (20 °C)
Flammenpunkt:	< +5 °C
Löslich im Wasser:	teilweise löslich
pH-Wert:	nicht bestimmt
Explosionsgrenzen	
untere:	0,6 Vol % in Luft
obere:	7,5 Vol % in Luft
Thermische Zersetzung:	> +240 °C

Tabelle 50 Physikalische und chemische Eigenschaften vom E80 Kraftstoff

Bevor die Maschine auf dem PZD-Prüfstand aufgebaut wird, wird die Maschine auf 4% CO eingestellt und eine Eingangsmessung mit dem E80 Kraftstoff durchgeführt. In der Eingangsmessung werden die Schadstoffausstoße und Leistungsmerkmale der Maschine aufgenommen. Nach der erfolgreichen Messung wird die Maschine am PZD-Prüfstand montiert. Die Dauer des Tests beträgt 125 Stunden. Während des Laufs wird die Maschine betreut und es werden allgemeine Inspektionen durchgeführt. Es werden Ausschaltkriterien für den Motorlauf festgelegt, um möglichst früh die Fehlerursache feststellen zu können. Es wird eine Zwischenmessung bei 60,25 Stunden durchgeführt. Am Ende des PZD-Laufs wird die Endmessung aufgenommen. Während des Testlaufs werden alle Vorkommnisse dokumentiert.[38] Anschließend wird die Maschine gemäß dem Zerlegungsprotokoll zerlegt.[38]

Versuchsauswertung

Der Test verlief mit Ausfällen der Maschine und unerwarteten Reparaturen. In der Tabelle 51 ist der Testverlauf dargestellt.

Versuchsablauf Motorverhalten

08.06.2011	0h	
Start		
09.06.2011	24h	
KTL gefettet		
14.06.2011	41h	
Kolbenring frei gekratzt / Auslass gereinigt / Dichtigkeitsprüfung durchgeführt		
15.06.2011	52,7h	
Nadellager defekt		
20.06.2011	neuer Start	
Neuer Kolben Komp. und neuer Zylinder; Leistungsbremse auf CO 4% eingestellt		
21.06.2011	62,5h	
KTL gefettet		
22.06.2011	82,5h	
KTL gefettet		
23.06.2011	99,1h	
Zylindertemperatur zu hoch / Durchsicht i.O. / Dichtigkeitsprüfung bestanden / KTL gefettet		
24.06.2011	109h	
KTL gefettet		
25.06.2011	125h	
Test Ende		

Tabelle 51 PZD-Testlaufprotokoll

Am 14.06.2011 ist die Maschine ausgegangen. Es wurde festgestellt, dass der Kolbenring sich festgesetzt hat. Es war außerdem eine starke Verkokung im Auslasskanal erkennbar. Es wurden, wie im Testprotokoll dokumentiert, die Fehler beseitigt und die Maschine weiter zum Laufen gebracht. 24 Stunden nachdem die Fehler beseitigt wurden, kam es zu einem Komplettausfall der Maschine. Der Nadellager ist auseinander gefallen. Es wurde festgestellt, dass der Ansaugschlauch undicht wurde. Das führte dazu, dass die Verbrennung sauerstoffreich wurde. Dadurch entstand eine hohe Verbrennungstemperatur, die zu einer starken Verkokung führte. Aus diesem Grund hat sich der Kolbenring festgesetzt (erkennbar an seitlicher Verkokungsbildung auf der Abbildung 74).

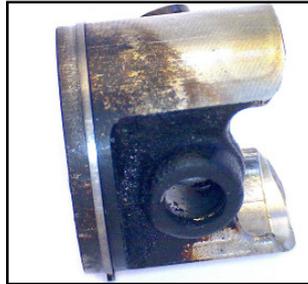


Abbildung 74 Verkokung am ersten Kolben

Dass der Kraftstoff beim Verbrennen eine starke Verkokung aufweist, ist auch im Auslasskanal des Zylinders und auf dem Schalldämpfer zu erkennen (siehe Abbildung 75).

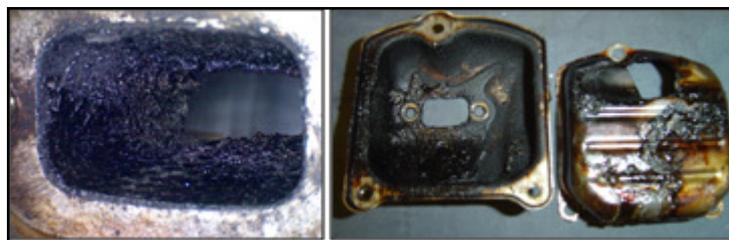


Abbildung 75 Verkokung am Auslasskanal und am Schalldämpfer

Am Zylinderbolzen ist an der bläulichen Verfärbung gut zu erkennen, dass er einer hohen Temperatur ausgesetzt war (siehe Abbildung 76). Dadurch wurde der Bolzen im Durchmesser größer, so dass er den Nadellager auseinander gedrückt hat. Dies führte dazu, dass der Nadellager zerfiel. Es könnte sein, dass die Verkokung in die Lauffläche des Nadellagers durchgedrungen ist und die Schadenentstehung beschleunigt hat.



Abbildung 76 Bläuliche Verfärbung am Zylinderbolzen

Um die weiteren Bauteile beurteilen zu können, wurde die Maschine mit einem neuen Kolben, einem neuen Kolbenring und einem neuen Zylinder ausgestattet. Nach der Einstellung auf 4% CO ist die Maschine wieder für den weiteren PZD-Test bereit. Nach dem Neustart wurde keine Zwischenmessung bei 60,25 Stunden mehr gemacht, da die Maschine mit dem neuen Zylinder ca. 8 Stunden gelaufen ist.

Versuchsablauf Motorverhalten

Am 23.06.2011, nach 99,1 Stunden, kam es erneut zur Temperatursteigerung. Der Dichtigkeitstest zeigte keinen Druckverlust. Die Maschine hat sich nach dem Neustart stabilisiert. Am 25.06.2011 hat die Maschine 125 Stunden Lauf erreicht. Es wurde die Endmessung durchgeführt. Im Anschluss kam es zur Temperatursteigerung und zum Leistungsverlust. Nachdem an der Maschine die Dichtigkeitsprüfung durchgeführt wurde, kam es zum Druckverlust im Bereich zwischen dem Ansauggummi und dem Zylinder. Die Tatsache, dass die Maschine in diesem Bereich undicht wird, ist aus früheren PZD-Läufen mit Super Benzin bereits bekannt. Die Häufigkeit von diesem Vorkommnis kann, bei dieser Maschine, am Ethanolgehalt im Kraftstoff liegen. Um eine allgemein gültige Aussage diesbezüglich treffen zu können, müssen weitere Tests, an mehreren Maschinen, durchgeführt werden. Mangels Zeit können diese Tests hier nicht bearbeitet werden.

Die Maschine wurde nach dem Zerlegungsprotokoll zerlegt. Es wurde festgestellt, dass bei dem zweiten Kolben der Kolbenring einseitig fest war und, dass sich ein ähnliches Verkockungsbild abgezeichnet hat wie am ersten Kolben (siehe Abbildung 77).



Abbildung 77 Verkockung am zweiten Kolben

Auch am Auslasskanal des zweiten Zylinders ist die Verkockung wieder zu erkennen (siehe Abbildung 78).



Abbildung 78 Verkockung am Auslasskanal des zweiten Zylinders

Versuchsablauf Motorverhalten

Es wird vermutet, dass bei längerem Motorlauf der gleiche Schaden entstehen würde wie im ersten Fall. Die hohe Temperatureinwirkung ist auch im Kurbelwellengehäuse, an der Farbveränderung, zu erkennen (siehe Abbildung 79).



Abbildung 79 Farbveränderung am Kurbelwellengehäuse

An der Veränderung der Pleuefarbe ist die Temperatureinwirkung, größtenteils im Kolbenbereich, erkennbar (siehe Abbildung 80).



Abbildung 80 Veränderung der Pleuefarbe

An der Kurbelwelle wurde keine Veränderung festgestellt. Insbesondere wurde auf die Lagerverdrehung genau geachtet, es war keine Lagerverdrehung erkennbar. Auch im Kurbelwellengehäuse war keine Veränderung feststellbar. Dieser Versuch hat gezeigt, dass die festgestellten Schäden durch die Einwirkung von hoher Temperatur entstanden sind, was die Folge des undichten Ansauggummis war. Um festzustellen, ob die Ansauggummiundichtigkeit wegen der ethanolhaltigen Kraftstoffeinwirkung entstanden ist, müssen weitere Untersuchungen durchgeführt werden. Nach Möglichkeit sollen weitere PZD-Läufe mit unterschiedlichen Ethanolgehalten im Kraftstoff durchgeführt werden. Aus Zeitgründen sind weitere Versuchsdurchführungen in dieser Arbeit nicht möglich.

6.3 Versuch: Startverhalten

Beim Startverhaltenversuch wird überprüft, wie der Motor mit den verschiedenen Ethanolgehalten im Kraftstoff, bei verschiedenen Temperaturen, reagiert.

Versuchsaufbau

Der Versuch wird mit Kraftstoffen, die verschiedene Ethanolgehalte aufweisen, durchgeführt. Die getesteten Kraftstoffarten sind: E10, E30, E50, E70, E85 und E85 mit 4% Wassergehalt. Alle Kraftstoffe werden mit mineralischem Dolmar-2-Takt-Öl im Verhältnis 1:50 angemischt. Das Anmischen der verschiedenen Kraftstoffarten wird mit der Berechnungstabelle ermöglicht, die im Kapitel 5.1.2 verwendet und ausführlich erklärt wurde. Es wird für den Versuch eine Motorsäge PS-350 C (Teilenummer: 2011180850) mit präparierten Thermoelementen (am Tankdeckel des Kraftstofftanks, im Auslasskanal, im Kerzenbereich und im Lagebereich von der Kupplungsseite) vorbereitet. Für die Temperatur- und Drehzahlaufnahme wird ein Almemo V5 - Datenlogger vorbereitet. Es müssen eine Kühltruhe mit einem Temperaturbereich bis mindestens -25°C und eine CO-Messanlage für die Vergasereinstellungen vorhanden sein. Aus Lärmgründen soll Gehörschutz getragen werden. Der Versuch soll in einem schallabgeschirmten Raum, mit möglichst kleinen Temperaturschwankungen, durchgeführt werden.

Um möglichst gleiche Umgebungsbedingungen (Außentemperatur, Umgebungsdruck, Luftfeuchtigkeit) zu haben, sollten die Versuche am selben Tag durchgeführt werden. Diese Voraussetzung kann in diesem Fall nicht erfüllt werden, da bei dem Versuch nur mit einer Motorsäge gearbeitet wird. Um die Maschine abzukühlen werden einige Stunden benötigt.

Der Motor wird an die verschiedenen Kraftstoffarten angepasst. Das wird mit einer CO-Anlage ermöglicht. Der Motor wird immer in der Nenndrehzahl auf 4% CO-Wert eingestellt. Die Einstellung erfolgt am Vergaser beim Verdrehen der H-Nadel. Auch die Leerlaufdrehzahl muss zu jeder Kraftstoffart, beim Verdrehen der L-Nadel und der Drehzahlstellschraube, angepasst werden. Obwohl die Nenndrehzahl bzw. H-Nadelstellung keinen Einfluss auf den Leerlauf hat, wird beim Starten auf Halbgas eingestellt. Die H-Nadel hat in Halbgaseinstellung einen direkten Einfluss auf die Kraftstoffzufuhr. Daraus folgt, dass das Einstellen der H-Nadel auf 4% CO-Wert in Nenndrehzahl nicht verzichtbar ist.

Versuchsablauf Motorverhalten

Versuchsdurchführung

Die Motorsäge wird mit E85 voll getankt und, wie oben beschrieben, an den Kraftstoff angepasst. Um ein sicheres Abkühlen zu gewährleisten, wird die Maschine für 24 Stunden in die Kühltruhe eingelegt. Nach 24 Stunden werden an die Maschine die Temperatur- und Drehzahlabnahme, der Datenlogger und der Drehzahlaufnehmer angeschlossen. Das Anschließen von Geräten muss so schnell wie möglich erfolgen, da sonst ein thermischer Ausgleich mit der Umgebung stattfindet. Das würde die Versuchsdurchführung unmöglich machen. Nachdem alles angeschlossen ist, wird der Datenlogger gestartet. Die Startzeit wird aufgeschrieben und die Maschine sofort gestartet. In der Tabelle 52 ist das Startprotokoll dargestellt.

Temperatur Auslass	Zeit
Sofort nach dem Datenlogger Start	
-20°C	
-15°C	
-10°C	
-5°C	
-2°C	
0°C	

Tabelle 52 Startprotokoll-Vorlage

Der Startvorgang wird auf die, im Auslasskanal gemessene, Temperatur bezogen.

Der Start erfolgt durch 5-mal ziehen des Starters in Choke Stellung und 5-mal ziehen des Starters in Halbgas Stellung. Der Vorgang wird in jedem Temperaturbereich durchgeführt, bis der Motor gestartet ist. Nach dem Motorstart wird die Zeit aufgenommen. Der Motor wird ausgeschaltet und der Datenlogger gestoppt. Die Stopzeit muss aufgenommen werden. Der, am Beispiel vom Kraftstoff E85 beschriebene, Starterversuch wird mit anderen Kraftstoffsorten analog durchgeführt.

Versuchsablauf Motorverhalten

Versuchsauswertung

Im Datenlogger gesammelten Temperaturen werden ausgelesen und in eine Excel-Tabelle übertragen. Die Temperaturdaten werden nach Kraftstoffarten sortiert. Aus den sortierten Tabellen werden die Startzeitpunkte herausgesucht. Die vorhandene Motordrehzahl ermöglicht es, durch den Vergleich mit den aufgeschriebenen Startzeiten, den exakten Startpunkt zu finden. Die Thermoelemente waren in vier Messpunkten angebracht. Aus diesen vier gemessenen Temperaturen wird eine Bezugstemperatur festgelegt. Die Bezugstemperatur wird zum Beschreiben des Motorstartverhaltens beim steigenden Ethanolgehalt im Kraftstoff benötigt. Dafür werden bei allen Kraftstoffen Temperaturverläufe in Abhängigkeit von Zeit dargestellt. Alle dargestellten Diagramme zeigen ähnliche Verläufe. In der Abbildung 81 sind die Temperaturverläufe bei Verwendung des E50 Kraftstoffs zu sehen.

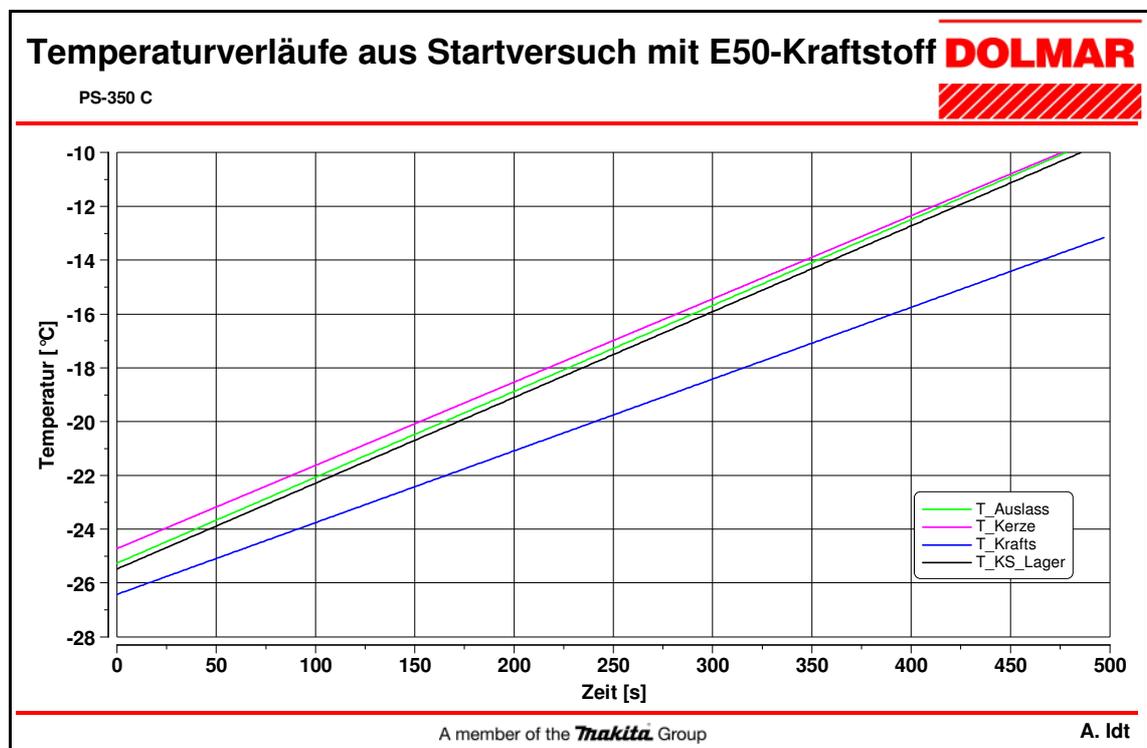


Abbildung 81 Erwärmungstemperaturverläufe über die Zeit

Die in der Abbildung 81 dargestellten Verläufe sind linearisiert. Aus diesen Verläufen ist zu erkennen, dass die Maschine unterschiedliche Temperaturen beim Datenloggerstart aufweist. Die Ursache für die unterschiedlichen Temperaturen, die am Messbeginn entstehen, liegt in der Anschlussdauer von Messgeräten. Diese ungleichmäßige Erwärmung deutet darauf hin, dass der Kraftstofftank mit Kraftstoff sich am langsamsten erwärmt. Der Kraftstoff kann als Bezugstemperatur ausgeschlossen werden, da es viel zu weit von dem Kurbelwellengehäuse entfernt liegt, wo sich das zündfähige Kraft-

Versuchsablauf Motorverhalten

stoff-Luft-Gemisch bildet. Als nächstes wird die Lagertemperatur betrachtet. Auf den ersten Blick scheint diese gut geeignet zu sein. Allerdings ist das Thermoelement viel zu weit außen angebracht, so dass einige Zeit in Anspruch genommen wird, bis der Thermodraht eine Temperaturänderung merkt. Aus diesem Grund ist die Lagertemperatur nicht als Referenztemperatur geeignet. Das nächste Thermoelement befindet sich direkt neben der Zündkerze. In diesem Bereich ist die Temperatur immer wärmer als die Temperatur des zündfähigen Gemisches. Da durch die Verbrennung in diesem Bereich, durch die Verdichtung und durch die von der Zündkerze zugegebene Energie, das Kraftstoff-Luft-Gemisch immer erwärmt wird, ist diese Temperatur ebenfalls nicht so gut geeignet. Zwischen der Kerzentemperatur und der Lagertemperatur befindet sich die Auslasskanaltemperatur. Diese Temperatur ist kühler als die Kerzentemperatur, obwohl das Kraftstoff-Luft-Gemisch nach dem Verdichten ausgestoßen wird. Das liegt daran, dass das angebrachte Thermoelement sich sehr nah an der Zylinderwand befindet und sehr gut auf Temperaturänderungen reagiert. Ein weiterer Grund ist, dass bei jedem Ausstoßvorgang durch Überströmen von frischem Kraftstoff-Luft-Gemisch der Bereich wieder abgekühlt wird. Deshalb wird die Auslasstemperatur als Bezugs-temperatur ausgewählt.

In der Abbildung 82 ist die Starttemperatur in Abhängigkeit vom Ethanolgehalt im Kraftstoff dargestellt.

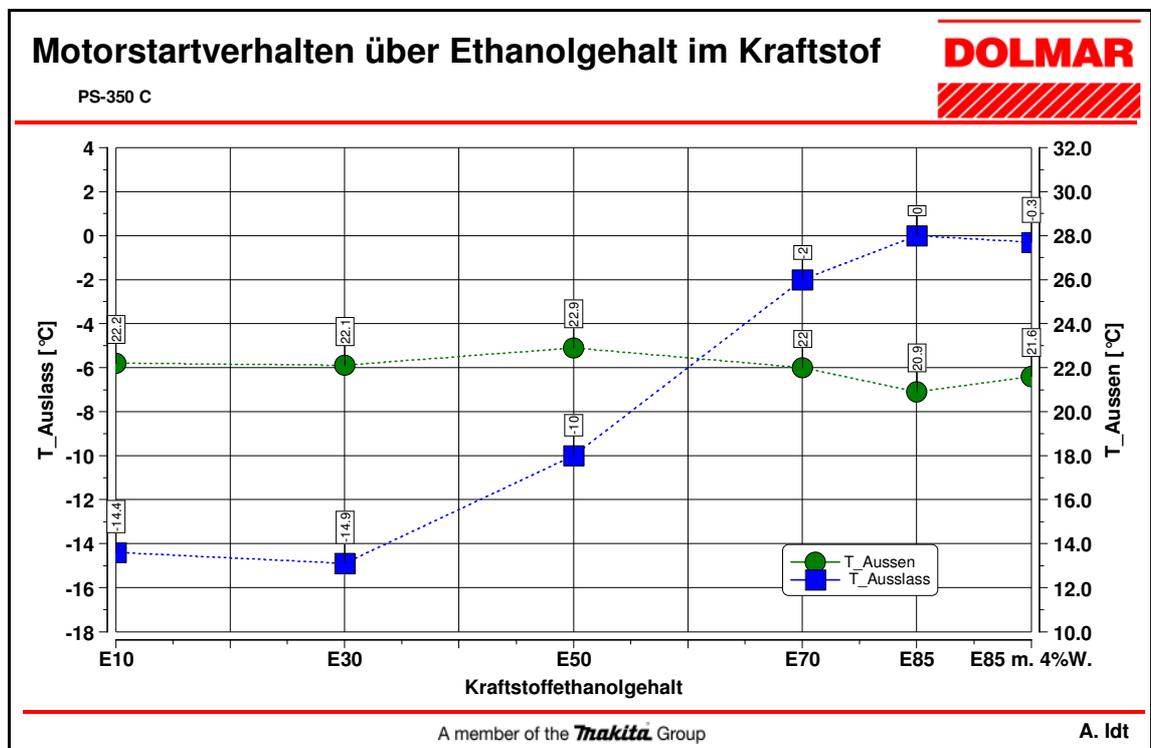


Abbildung 82 Starttemperaturveränderung in Abhängigkeit vom Ethanolgehalt im Kraftstoff

Versuchsablauf Motorverhalten

Es ist deutlich zu erkennen, dass mit steigendem Ethanolgehalt im Kraftstoff, sich das Startverhalten bei Minustemperaturen verschlechtert. Die im Kapitel 3.1, im Abschnitt Dampfdruck und Siedeverhalten, beschriebene Theorie hat sich bestätigt. Je höher der Ethanolgehalt im Kraftstoff ist, desto höher muss die Außentemperatur sein, um den Motor zu starten. In der Abbildung 82 ist deutlich zu sehen, dass ab dem E30 Kraftstoff das Starterverhalten sich dramatisch verschlechtert. Das wiederum ist im Kraftstoff-Dampfdrucke-Diagramm (Abbildung 3 im Kapitel 3.1) am nicht linearen Dampfdruckverlauf erkennbar. Obwohl die Wahl der Bezugstemperatur gut begründet war, kann keine exakte Aussage darüber getroffen werden, bei welcher Temperatur ein zündfähiges Kraftstoff-Luftgemisch vorhanden ist. Aus diesem Versuch sind folgende Überlegungen entstanden, die aber aus Zeitgründen nicht weiter verfolgt werden. Um die Kraftstoff-Luft-Gemischtemperatur von verschiedenen Kraftstoffarten messen zu können, soll ein Thermoelement in das Kurbelgehäuse angebracht werden. Mit der Berücksichtigung des Umgebungsdrucks und der Luftfeuchtigkeit sollen aussagekräftige Ergebnisse entstehen. Wenn ein Thermoelement direkt nach dem Vergaser angebracht wird, kann der Kraftstoff einen kühleren Temperaturwert anzeigen, da der Kraftstoff durch die Verdampfungsenthalpie abgekühlt wird.

6.4 Zeitabhängige Druckindizierung

Die zeitabhängige Druckindizierung wird durchgeführt, um die Zylinderdruckunterschiede bei Verwendung von ethanolhaltigen Kraftstoffen erkennen zu können. Die Druckindizierung wird mit dem ungekühlten Quarzdrucksensor Typ Kistler 6052 A ausgeführt. Im Sensor entsteht eine Spannung. Mithilfe vom Messverstärker Kistler 5011 B wird die Spannung verstärkt und anschließend zum Indiziersystem geleitet. Dort erfolgen die Zylinderdruckdarstellung und die Datenspeicherung. Für die Montage des Sensors wird der Zylinder demontiert. Die Anbringung des Quarzdrucksensors erfolgt im Kalottenbereich des Zylinders. Möglichst so, dass eine glatte Fläche in der Kalotte entsteht. Anschließend wird der Zylinder montiert. Nachdem die Maschine die Dichtheitsprüfung bestanden hat, wird diese am Motorprüfstand eingerichtet (siehe Abbildung 83).

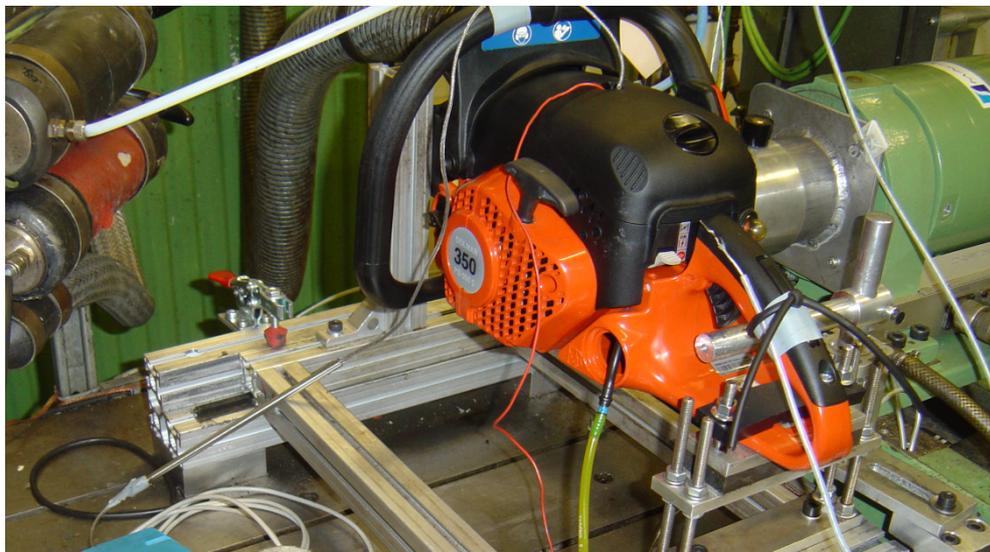


Abbildung 83 Testmaschine auf dem Motorprüfstand bei der Druckindizierung

Für die Druckdarstellung werden verschiedene Kraftstoffsorten ausgewählt. Es wird mit Super Benzin, E85 und E85 mit 4% Wasseranteil indiziert. Für jede Kraftstoffsorte werden folgende Einstellungen verwendet:

Drehzahl:	9500 1/min (Nenndrehzahl)
CO-Wert:	4%
Motortemperatur:	konstante Maximaltemperatur.

Versuchsablauf Motorverhalten

Danach werden Motorkennfelddaten und Abgaswerte aufgenommen. Die erzeugten Ergebnisse werden von Uniplot ausgewertet. Mithilfe einer vorgefertigten Vorlage wird die zeitabhängige Druckindizierung in Abhängigkeit vom Kurbelwellenwinkel dargestellt. Die nachfolgende

Abbildung 84 zeigt die aufgenommenen Zylinderdruckverläufe von unterschiedlichen Kraftstoffsorten. Das Ergebnis wurde aus 64 Verbrennungszyklen gemittelt.

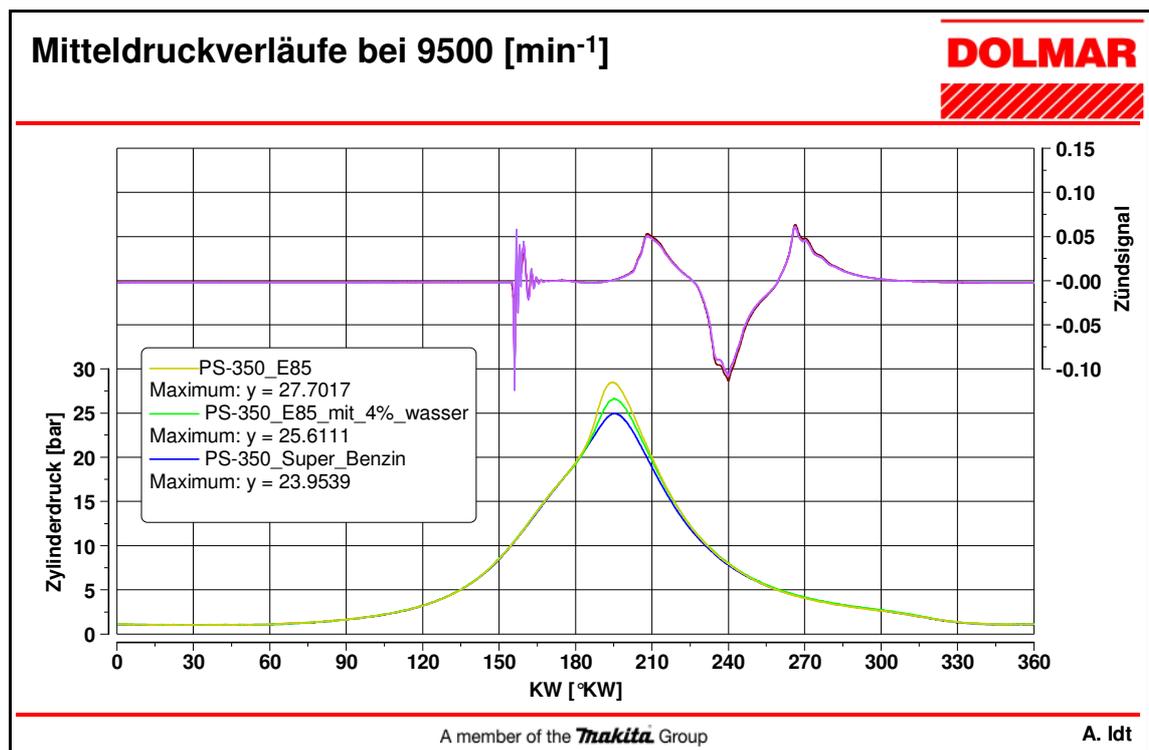


Abbildung 84 Mitteldruckverläufe unterschiedlicher Kraftstoffe

Aus dem Diagramm ist deutlich zu erkennen, dass der mit E85 erzeugte Mitteldruck höher liegt als der von E85 mit 4% Wasseranteil und von Super Benzin. Da das Wasser die Verdampfungsenergie verbraucht, fällt der Druck niedriger aus, als bei reinem E85 Kraftstoff, aber höher als bei Super Benzin. Der hohe Druckverlauf vom ethanolhaltigen Kraftstoff spiegelt sich in Drehmoment- und Leistungsverläufen wider (siehe Abbildung 85). Bei der Nenndrehzahl ist ein höherer Drehmoment- und Leistungsverlauf beim ethanolhaltigen Kraftstoff zu sehen.

Versuchsablauf Motorverhalten

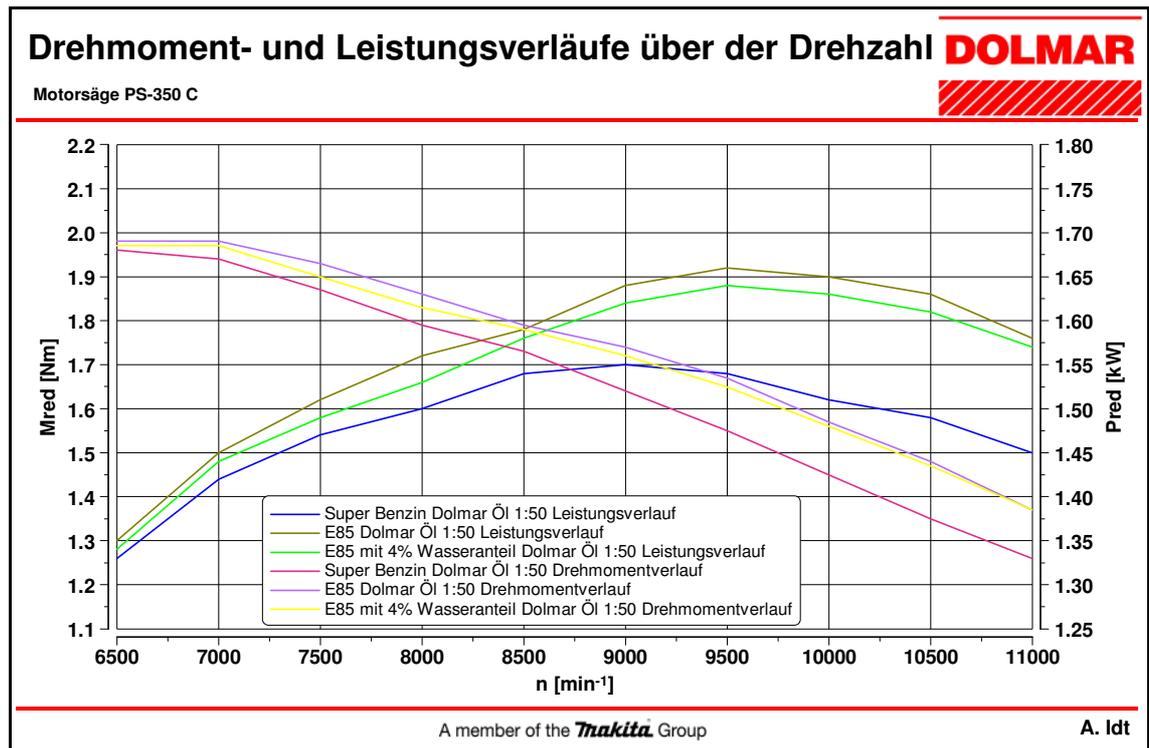


Abbildung 85 Drehmoment und Leistungsverläufe unterschiedlicher Kraftstoffe

Die dargestellten Drehmoment- und Leistungsverläufe deuten darauf hin, dass der höhere Zylinderdruck vom ethanolhaltigen Kraftstoff über dem gesamten Drehzahlbereich zu finden ist. Der Grund dafür ist, dass das Ethanol eine höhere Brenngeschwindigkeit als Benzin hat (siehe Kapitel 3.1). Da E85 über einen niedrigeren Heizwert verfügt, muss von ihm eine höhere Kraftstoffmenge zugeführt werden als von Benzin (siehe Abbildung 86). Hier bestätigt sich die höhere Brenngeschwindigkeit von E85 zu Super Benzin, indem eine größere Kraftstoffmenge in annähernd gleicher Zeit verbrennt.

Versuchsablauf Motorverhalten

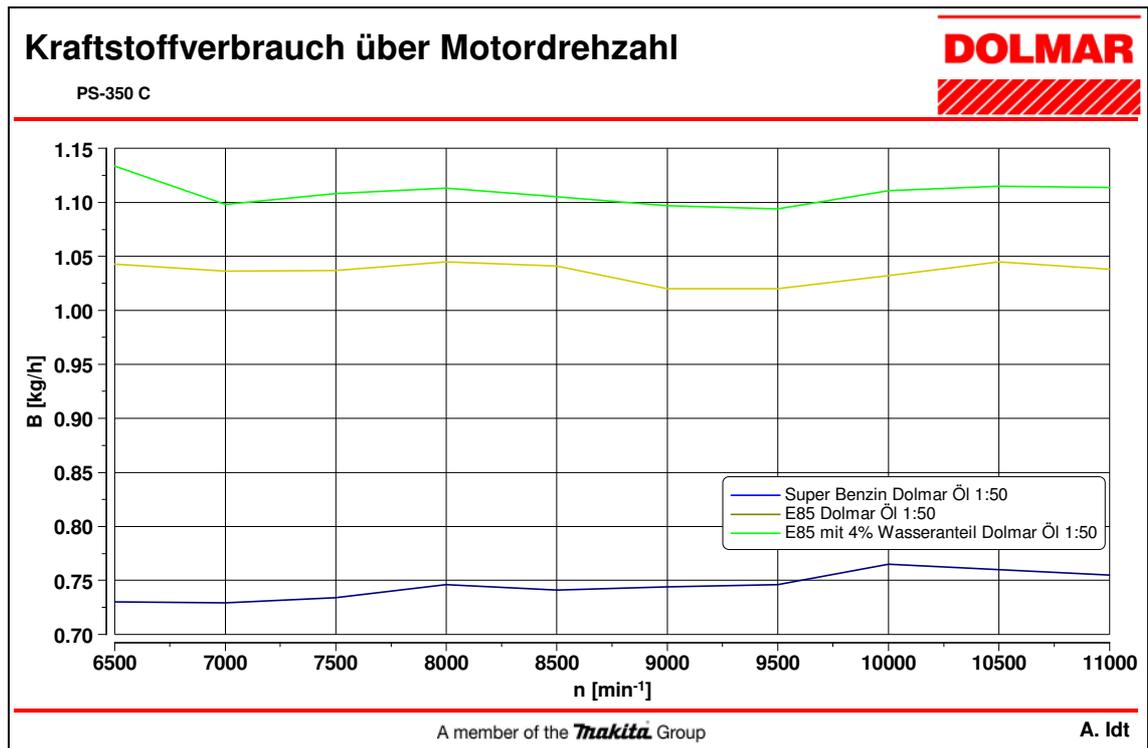


Abbildung 86 Kraftstoffverbrauch unterschiedlicher Kraftstoffe

Im vorhergehenden Diagramm ist zu erkennen, dass der Kraftstoffkurvenverlauf von Super Benzin mit steigender Drehzahl immer ansteigt. Der Kraftstoffverlauf von E85 (mit und ohne Wasseranteil) dagegen ergibt bei 6500 min⁻¹ ein fettes Gemisch, bei 9500 min⁻¹ sinkt der Verbrauch und bei weiteren Drehzahlsteigerungen fettet die Maschine leicht an. Das E85 mit 4% Wasseranteil hat einen höheren Verbrauch als die Vergleichskraftstoffe, da das Wasser keine Energie besitzt, die in Wärme umgewandelt werden kann. Der hohe Kraftstoffverbrauch hat auf der anderen Seite den positiven Motorkühleffekt. In der Abbildung 87 sind die Zylinder- und Lager-Temperaturverläufe dargestellt. Die im Lagerbereich entstehende Temperatur bei Verwendung von E85 (mit und ohne Wasser) liegt niedriger als bei Verwendung von Super Benzin.

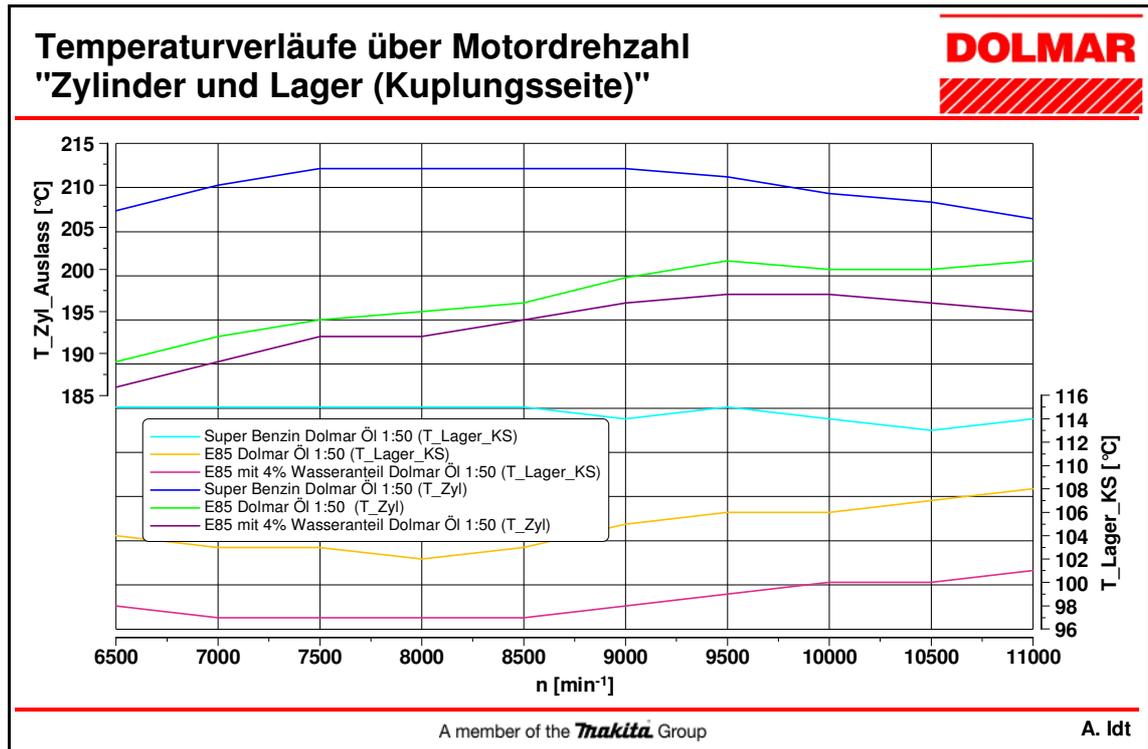


Abbildung 87 Temperaturverläufe unterschiedlicher Kraftstoffe im Auslass- und Lagerbereich

Aus diesen Temperaturverläufen wird der angesprochene Kraftstoffkühleffekt erkennbar. Es ist auch bei einer Kraftstoffsorte deutlich zu sehen, dass bei steigendem Kraftstoffverbrauch die Temperatur sinkt. Ein ähnlicher Temperaturverlauf findet auch im Kerzenbereich des Zylinders statt (siehe Abbildung 88).

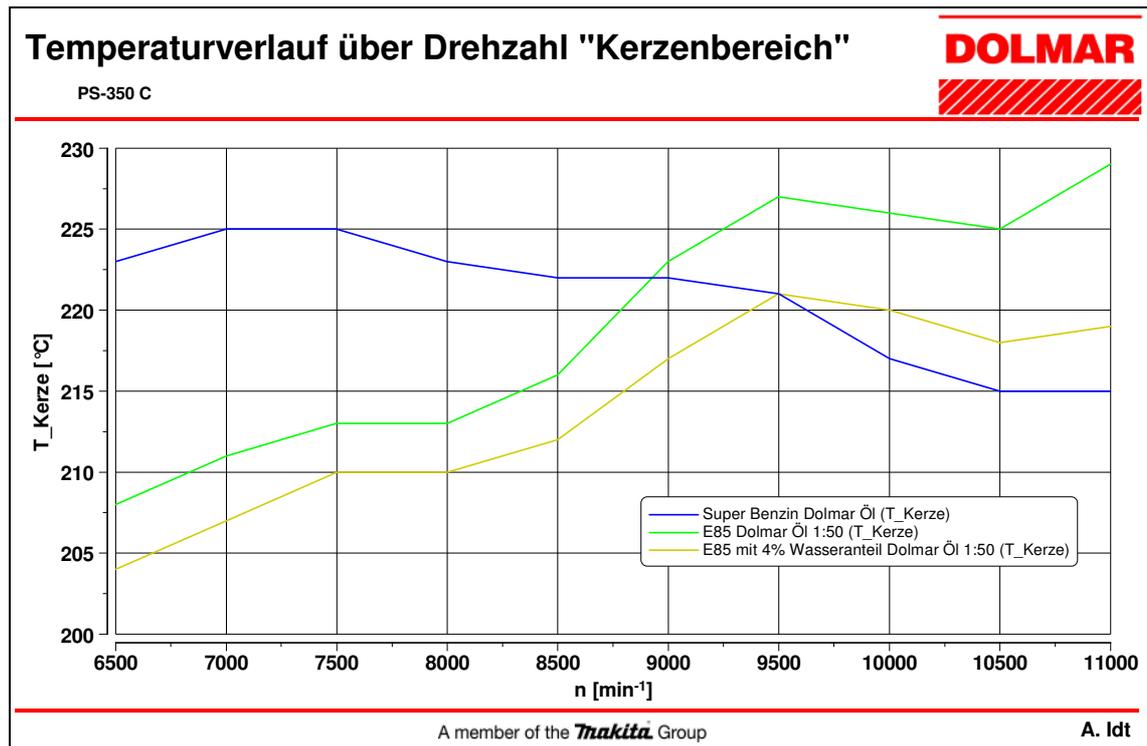


Abbildung 88 Temperaturverläufe unterschiedlicher Kraftstoffe im Kerzenbereich

Die Temperatur im Zylinderbereich bei Verwendung von Super Benzin fällt mit steigender Drehzahl ab. Wobei die Temperatur bei Verwendung von E85 (mit und ohne Wasseranteil) mit steigender Drehzahl ansteigt, so dass die Temperatur ab 9500 min⁻¹ höher ist als bei Super Benzin. Um das zu erklären, wird der Kraftstoffverbrauch unter die Lupe genommen (siehe Abbildung 86). Wie bereits erwähnt, steigt der Kraftstoffverbrauch vom Super Benzin mit steigender Drehzahl an. Das liegt auch daran, dass die Temperatur im Kerzenbereich abfällt. Da das Super Benzin einen niedrigeren Kraftstoffverbrauch aufweist, verursachen hier kleine Kraftstoffverbrauchänderungen größere Temperaturänderungen als beim E85 Kraftstoff. Durch den höheren Zylinderdruck und die höhere Verbrennungstemperatur, steigt die Temperatur beim E85 Kraftstoff (mit und ohne Wasseranteil) mit steigender Drehzahl an (siehe Kapitel 3.1). Mit E85 (mit und ohne Wasseranteil) ist nicht nur ein höherer Zylinderdruck erreicht, es zeigten sich auch in der Schadstoffbildung stellenweise niedrigere Werte. In der Abbildung 89 sind Kohlenmonoxide (CO), unverbrannte Kohlenwasserstoffe (HC), Kohlendioxide (CO₂) und Stickstoffoxide (NO_x) dargestellt.

Versuchsablauf Motorverhalten

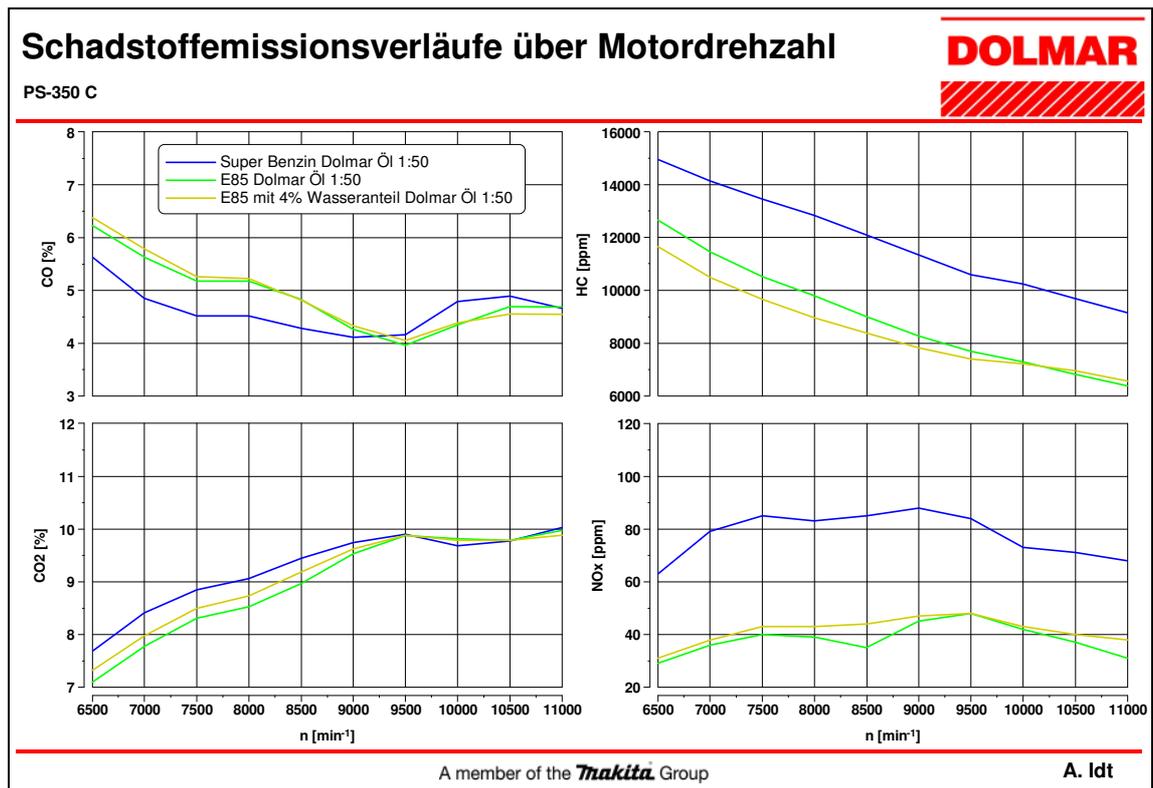


Abbildung 89 Schadstoffemissionen unterschiedlicher Kraftstoffe

In dem Diagramm vom Kohlenmonoxid (CO) ist der eingestellte Wert von 4% CO-Gehalt bei Nenndrehzahl erkennbar. Bei steigender Motordrehzahl hat E85 (mit und ohne Wasseranteil) ein niedrigeres CO-Gehalt im Vergleich zu Super Benzin. Im niedrigen Drehzahlbereich zeigte die Verbrennung des ethanolhaltigen Kraftstoffs einen höheren CO-Gehalt als die vom Super Benzin. In dem Kohlendioxid-Diagramm sind die Verläufe umgekehrt. Das heißt, dass durch die niedrige Verbrennungstemperatur (Abbildung 88), in niedrigen Motordrehzahlbereichen, sich das Kohlenmonoxid nicht in Kohlendioxid umwandeln konnte. In hohen Motordrehzahlbereichen hat das Super Benzin eine geringe Verbrennungstemperatur als E85, deswegen ist auch der CO-Wert höher. Deutlich niedrige Werte sind bei unverbrannten Kohlenwasserstoffen und bei Stickoxiden in der Abbildung 89 (zwei Diagramme rechts) zu erkennen.

Versuchsablauf Motorverhalten

Lambda-Berechnung

Die handgetragene Motorgeräte haben keine Lambda-Regelung, deswegen werden die Motoren nach CO-Gehalt eingestellt. Mithilfe der Brettschneiderformel (siehe Abbildung 90) wird die Berechnung von Lambda durchgeführt, um feststellen zu können, in welchem Lambda-Bereich die Maschine betrieben wird. Die Ergebnisse sind als eine gute Näherung anzusehen.

$$\lambda = \frac{CO_2 + \frac{CO}{2} + O_2 + \left[\frac{1,5103}{3,5 + \frac{CO}{CO_2}} - 0,0088 \right] \cdot (CO_2 + CO)}{1,4227 \cdot (CO_2 + CO + HC)}$$

Abbildung 90 Brettschneiderformel[30]

In der Tabelle 53 sind die gemessenen Abgaswerte bei Verwendung von Super Benzin und die berechneten Lambda-Werte dargestellt.

n	CO	CH	NOX	CO2	O2	Lambda (λ)
min ⁻¹	vol%	ppm	ppm	vol%	vol%	Brettschneider
6499	5,63	14963	63	7,68	5,25	0,967
6999	4,85	14143	79	8,41	4,98	0,987
7500	4,51	13453	85	8,84	4,73	0,992
8000	4,51	12835	83	9,06	4,44	0,982
8499	4,28	12080	85	9,44	4,16	0,982
8999	4,11	11353	88	9,74	3,94	0,983
9499	4,16	10593	84	9,9	3,67	0,974
10000	4,79	10239	73	9,68	3,45	0,947
10498	4,89	9685	71	9,77	3,25	0,939
11000	4,66	9151	68	10,03	3,11	0,943

Tabelle 53 Abgas- und Lambda-Werte von Super Benzin

Versuchsablauf Motorverhalten

Beim E85 Kraftstoff gemessenen Abgaswerte und die berechneten Lambda-Werte sind in der Tabelle 54 zu finden.

n	CO	CH	NOX	CO ₂	O ₂	Lambda (λ)
min ⁻¹	vol%	ppm	ppm	vol%	vol%	Brettschneider
6499	6,23	12647	29	7,1	5,28	0,962
6999	5,62	11460	36	7,78	4,91	0,975
7500	5,17	10512	40	8,3	4,59	0,982
8000	5,17	9791	39	8,53	4,29	0,973
8499	4,83	9011	35	8,96	4,01	0,977
8999	4,26	8263	45	9,53	3,78	0,990
9499	3,96	7686	48	9,87	3,59	0,995
10000	4,34	7285	42	9,81	3,33	0,973
10498	4,69	6812	37	9,78	3,08	0,954
11000	4,68	6375	31	9,97	2,89	0,949

Tabelle 54 Abgas- und Lambda-Werte von E85

Die Abgaswerte, die beim E85 mit 4% Wasseranteil gemessen wurden und die daraus ermittelten Lambda-Werte sind in der Tabelle 55 dargestellt.

n	CO	CH	NOX	CO ₂	O ₂	Lambda (λ)
min ⁻¹	vol%	ppm	ppm	vol%	vol%	Brettschneider
6499	6,38	11659	31	7,32	4,91	0,947
6999	5,78	10489	38	7,98	4,54	0,959
7500	5,26	9658	43	8,5	4,31	0,972
8000	5,22	8957	43	8,73	4,02	0,965
8499	4,81	8371	44	9,18	3,77	0,971
8999	4,33	7819	47	9,62	3,62	0,984
9499	4,05	7389	48	9,88	3,5	0,990
10000	4,38	7200	43	9,78	3,37	0,975
10498	4,55	6943	40	9,78	3,24	0,965
11000	4,54	6565	38	9,88	3,08	0,961

Tabelle 55 Abgas- und Lambda-Werte von E85 mit 4% Wasseranteil

Versuchsablauf Motorverhalten

Aus den berechneten Lambda-Werten wurde ein Diagramm von Lambda-Verläufen über Motordrehzahl erstellt (siehe Abbildung 91).

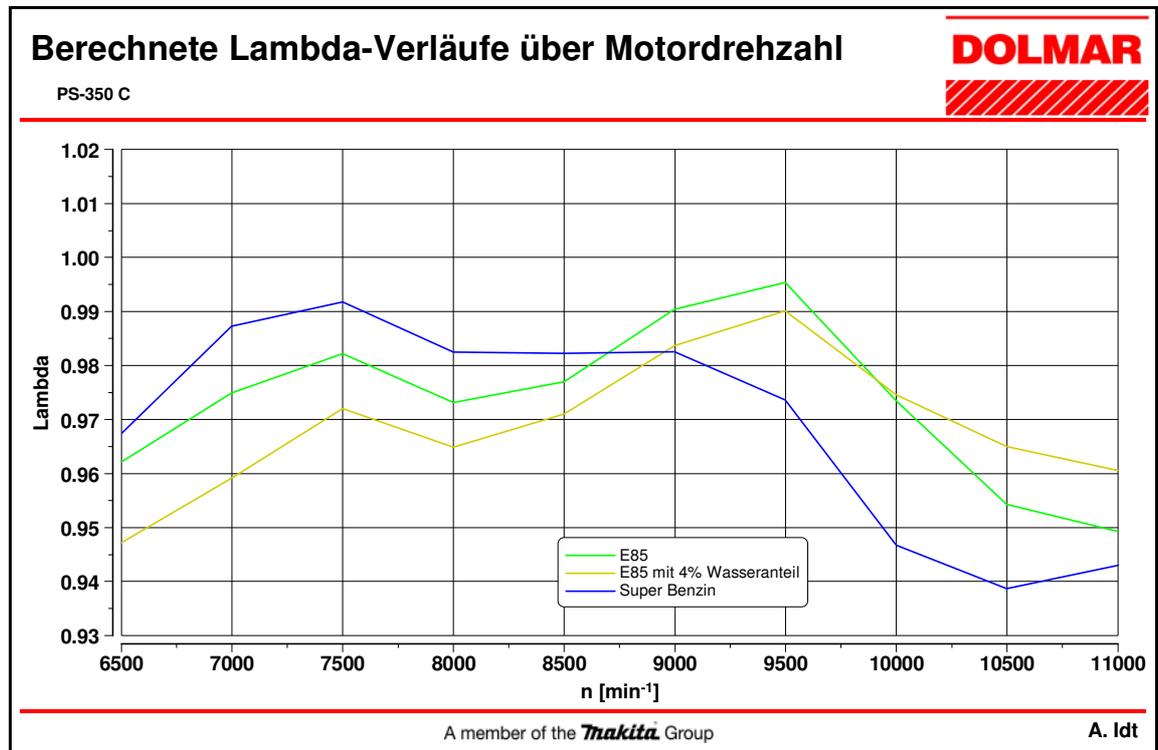


Abbildung 91 Berechnete Lambda-Verläufe unterschiedlicher Kraftstoffe

Aus diesem Diagramm ist zu erkennen, dass sich die Lambda-Verläufe über dem gesamten Drehzahlbereich ändern. Das liegt daran, dass keine Lambda-Regelung vorhanden ist. Das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird unabhängig von der Verbrennung, sondern abhängig von der Drehzahl, mit dem Kurbelgehäuseunterdruck eingesaugt. Die Lambda-Verläufe zeigen an, dass die Maschine so eingestellt ist, dass fettes Kraftstoff-Luft-Gemisch über dem gesamten Drehzahlbereich vorliegt. Diese Einstellung liefert einen zusätzlichen Motorkühleffekt. Es ist zu erkennen, dass bei ethanolhaltigem Kraftstoff die berechneten Lambda-Werte an der Nenndrehzahl höhere Werte aufweisen als bei Super Benzin. Das liegt daran, dass bei ethanolhaltigen Kraftstoffen der unverbrannte Kohlenwasserstoffgehalt in den Abgasen niedriger ist als beim Super Kraftstoff.

7 Fazit

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden positive und negative Auswirkungen des ethanolhaltigen Kraftstoffs auf das Material und das Motorverhalten der handgetragenen Motorgeräte untersucht. Die Bauteile, auf die der Kraftstoff in seinem flüssigen Aggregatzustand einwirkt, wurden in Langzeitversuchen auf Ethanolbeständigkeit untersucht. Für die Analyse der Bauteile, die mit dem Kraftstoff-Luft-Gemisch in Berührung kommen, wurde der Polyzyklische Dauerlauftest (PZD) herangezogen. Des Weiteren wurde das Motorstartverhalten mit verschiedenen Ethanolgehalten im Kraftstoff getestet. Anschließend wurde der Vergleich von E85 (mit und ohne Wasseranteil) zum Super Benzin anhand der zeitabhängigen Druckindizierung, dem Drehmoment, der Leistung, dem Kraftstoffverbrauch, der Temperatur, dem Schadstoffausstoß und dem ausgerechneten Lambda-Wert dargestellt.

Bei den Langzeituntersuchungen waren die Bauteile für ca. 1 Monat im Kraftstoff eingelegt und anschließend mit unterschiedlichen Testmethoden auf die Veränderung und/oder auf die Abschwächung untersucht. In diesen Tests zeigten alle Bauteile, mit Ausnahme der Kraftstoffschläuche, gute Ergebnisse und sind daher für die praktische Anwendung mit ethanolhaltigem Kraftstoff gut geeignet. Die Kraftstoffschläuche haben in den ersten 24 Stunden hohe Quellungen gezeigt. Die Folge davon ist, dass Kraftstoffschläuche zu Kraftstoffschlauchnippeln eine geringere Haltekraft aufweisen. Das kann in der Praxis dazu führen, dass der Kraftstoffschlauch sich von dem Kraftstoffschlauchnippel durch Motorvibrationen trennt. Im weiteren Versuchsdurchlauf wurden mehrere Quellungs- und Schrumpfungs-Zyklen durchgeführt. Am Ende aller Zyklen haben die NBR-Kraftstoffschläuche hohe Schrumpfung gezeigt. Daraus entstand der positive Effekt der guten Haltekraft am Kraftstoffnippel. Nachteilig ist, dass der Kraftstoffschlauch härter geworden ist. Dies würde bei weiteren Stresstests zur Porosität am Kraftstoffschlauch führen. Der FKM-Kraftstoffschlauch zeigte nur eine geringe Schrumpfung. Die Haltekraft ist nur geringfügig gestiegen. In der Praxis kann die Haltekrafterhöhung mit der Veränderung der Kraftstoffnippelgeometrie erzielt werden.

Der PZD wurde als eine Stichprobemessung durchgeführt. Aus den Langzeitversuchen gewonnene Erkenntnis, dass der E85 kein homogenes Gemisch mit Motoröl bildet, führte dazu, dass für den PZD E80 Spezialkraftstoff mit Bezeichnung ZX3000 verwendet wurde. Aus diesem Dauerlauftest waren keine Ethanolauswirkungen erkennbar. Der am Nadellager entstandener Schaden, kann als Folge der hohen Temperatur verstanden werden. Durch die hohe Temperatur ist eine sehr starke Verkokung entstan-

Fazit

den, die zum Festsetzen des Kolbenrings geführt hat. Diese hohe Temperatur ist aus der mageren Verbrennung entstanden. Die Verbrennung wurde mager, weil der Ansauggummi undicht wurde. Alle anderen Bauteile haben keine Auffälligkeit gezeigt.

Das Motorstartverhalten wurde mit unterschiedlichen Kraftstoffmischungen durchgeführt. Dieser Versuch bestätigte die Aussage, dass mit steigendem Ethanolgehalt im Kraftstoff sich unter niedrigen Temperaturen das Startverhalten verschlechtert.

Der Vergleich von E85 (mit und ohne Wasseranteil) zu Super Benzin hat gezeigt, dass E85 Kraftstoff (mit und ohne Wasseranteil) einen höheren Mitteldruck, einen höheren Drehmoment und eine höhere Leistung hat. Aufgrund des niedrigen Heizwertes hat E85 einen höheren Kraftstoffverbrauch als Benzin. In der Praxis ist das als Nachteil anzusehen, da dies bei handgetragenen Motorgeräten zum kürzeren Motorlauf führt, weswegen die Maschine öfter getankt werden muss. Ein Vorteil vom ethanolhaltigen Kraftstoff ist, dass durch den hohen Kraftstoffverbrauch die Motortemperatur sinkt. Die niedrige Temperatur ist die Folge davon, dass in unteren Drehzahlen bei E85 ein höherer CO-Wert als bei Super Benzin entsteht. Des Weiteren sind bei E85 niedrigere unverbrannte Kohlenwasserstoffwerte und niedrigere NO_x-Werte zu finden. Beim Auswerten der Lambda-Verläufe kam heraus, dass dem 2-Takt-Motor ein fettes Kraftstoff-Luft-Gemisch über dem gesamten Drehzahlbereich vorliegt. Durch diese Motoreinstellung wird die zusätzliche Motorkühlung erzielt. Eine weitere Erkenntnis ist, dass wegen der fehlenden Lambda-Regelung kein konstanter Lambda-Wert über dem gesamten Drehzahlbereich eingehalten werden kann.

Trotz aller sorgfältig durchgeführten Untersuchungen sind einige Fragen offen geblieben. Wegen des eingeschränkten Zeitrahmens dieser Arbeit konnten bestimmte Fragestellungen nicht zum Gegenstand dieser Arbeit gemacht werden. Z. B. welches Öl soll verwendet werden, damit ein homogenes Gemisch mit ethanolhaltigem Kraftstoff entsteht? Wie stark verkürzt sich die Lebensdauer der Maschine bei Verwendung des inhomogenen Kraftstoff-Öl-Gemisches? Es wäre auch wichtig zu erfahren, wie die Ergebnisse von unterschiedlichen Ethanolgehalten im Kraftstoff mit mehreren Maschinen nach PZD aussehen würden?

Aus dieser Arbeit geht unter anderem hervor, dass für die Verwendung des ethanolhaltigen Kraftstoffs in den handgetragenen Motorgeräten der Firma Dolmar GmbH eine Vergaseranpassung durchgeführt werden sollte. Vorläufig kann die Verwendung des ethanolhaltigen Kraftstoffs bejaht werden. Um eine endgültige Aussage treffen zu können, müssen weitere Untersuchungen durchgeführt und alle offenen Fragen geklärt werden.

8 Literaturverzeichnis

- [1]. **(Hrsg.), Norbert Schmitz.** *Bioethanol in Deutschland Schriftenreihe,,
Nachwachsende Rohstoffe“.* Münster : Landwirtschaftsverlag, 2003.
378433217X.
- [2]. **Europäisches Parlament Themenpapier Nr.07/2001.**
http://www.europarl.europa.eu/stoa/archive/briefings/07_de.pdf. [Online] [Zitat
vom: 02. 06 2011.]
- [3]. **Poel-Tec.** <http://www.poel-tec.com/bioethanol/index.php>. *Poel-Tec.* [Online]
[Zitat vom: 01. 06 2011.]
- [4]. **Cornel Stan.** *Alternative Antriebe für Automobile Hybridsysteme,
Brennstoffzellen, alternative Energieträger.* Berlin : Springer, 2008 2.,
erweiterte Auflage. 9783540763727.
- [5]. **В.Н.Стабников.** *Перегонка и ректификация этилового спирта.* . 1969.
- [6]. Schematische Darstellung der Herstellung von Bioethanol und von DDGS.
[http://www.cropenergies.com/de/Bioethanol/Produktionsverfahren/schema-
ddgs-de.pdf](http://www.cropenergies.com/de/Bioethanol/Produktionsverfahren/schema-ddgs-de.pdf). [Online] 12.06.2011.
- [7]. **Schäfer, Dr.-Ing. E.h. Richard van Basshuysen und Prof. Dr.-Ing. Fred.**
<http://www.motorlexikon.de/?l=3304>. [Online]
- [8]. **Leitung: Prof. Dr. H.-J. Meyer / Dr. C. Maichle-Mössmer.** Eberhard-Karls-
Universität Tübingen Chemisches Institut Chemische Experimentierübungen
für Lehramtskandidaten WS 07/08. 02.06.2011.
- [9]. **Stephanie Brysch.** *Biogene Kraftstoffe in Deutschland: Biodiesel, Bioethanol,
Pflanzenöl und Biomass-to-Liquid im Vergleich.* Hamburg : Diplomica Verlag
GmbH, 2008. 9783836656719.
- [10]. **Eberhard Breitmaier, Günther Jung,.** *Organische Chemie.* s.l. : Thieme
Georg Verlag, 2005. ISBN: 3135415058.
- [11]. Das chemische 3D-Modell des Ethanols.
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/00/Ethanol-3D-
vdW.png?uselang=de](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/00/Ethanol-3D-
vdW.png?uselang=de). [Online] 03.06.2011.

<Literaturverzeichnis

- [12]. **zusammengestellt von Dr. med. Klaus Frach.** Organikum Organisch-chemisches Grundpraktikum Die Maßnahmen zur Ersten Hilfe im Labor. 02.06.2011.
- [13]. **Seilnachts Didaktik der Naturwissenschaften.** www.seilnacht.com.
http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_ethol.htm. [Online] [Zitat vom: 07. 06 2011.]
- [14]. **Kurt Gieck und Rainer Gieck.** *Technische Formelsammlung.* Deutschland : Gieck Verlag, 2005. ISBN 9783920379258.
- [15]. **(Hrsg.) Richard van Basshuysen und Fred Schäfer.** *Handbuch Verbrennungsmotor.* Fachmedien Wiesbaden : Springer, 2009. ISBN 3834806994.
- [16]. **H. Menrad und A. König.** *Alkoholkraftstoffe;* Wien-New York : Springer-Verlag, 1982. ISBN 3-211-81696-8/0-387-81696-8.
- [17]. **(Hrsg.) Prof. Dr.-Ing. habil. Volkmar Küntscher Prof. Dr.-Ing. habil. Werner Hoffmann.** *Kraftfahrzeug-Motoren .* Würzburg : Vogel Buchverlag, 2006. ISBN: 3834330000.
- [18]. **Congress, Green Car.** <http://www.greencarcongress.com/2009/05/mahle-bp-blends-20090501.html>. [Online] [Zitat vom: 13. 06 2011.]
- [19]. **Maierhofer, Hubert.** http://www.carmen-ev.de/dt/portrait/sonstiges/biom06_gespraech/Meierhofer.pdf. *C.A.R.M.E.N.* [Online] [Zitat vom: 02. 05 2011.]
- [20]. **Günter Merker, Christian Schwarz, Gunnar Stiesch, Frank Otto,.** *Verbrennungsmotoren Simulation der Verbrennung und Schadstoffbildung.* Wiesbaden : Springer Fachmedien , 2006. ISBN-10 3-8351-0080-7.
- [21]. **(Hrsg.) v. Richard van Basshuysen u. Fred Schäfer.** *Lexikon Motorentechnik.* Wiesbaden : Vieweg & Sohn Verlag, 2006. ISBN-13: 9783528139032.
- [22]. **Dr.-Ing. E.h. Richard van Basshuysen und Prof. Dr.-Ing. Fred Schäfer.** motorlexikon.de. <http://www.motorlexikon.de/?l=9405&R=B>. [Online] [Zitat vom: 01. 06 2011.] <http://www.motorlexikon.de/?l=9405&R=B>.
- [23]. **Schäfer, Dr.-Ing. E.h. Richard van Basshuysen und Prof. Dr.-Ing. Fred.** <http://www.motorlexikon.de/?l=2070%20>. [Online] [Zitat vom: 17. 06 2011.]

<Literaturverzeichnis

- [24]. **Oliver Dingel u. Dr. Stephan Liebsch.** http://imperia.rz.ruhr-uni-bochum.de:8207/imperia/md/content/pdf/alt.ottokraftstoffe_08-11-24_out.pdf. [Online] 2008. [Zitat vom: 12. 06 2011.]
- [25]. **Martin Kaltschmitt.** *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren.* s.l. : Springer , 2009 . 3540850945 .
- [26]. <http://www.afdc.energy.gov/afdc/pdfs/41853.pdf>. *Handbook for Handling, Storing, and Dispensing E85.* [Online] 2008. [Zitat vom: 17. 06 2011.]
- [27]. **Benefits, Ethanol-Gasoline Blends: Fuel Economy and Emissions.** <http://www.epa.gov/otaq/presentations/gni-mjb-051303.pdf>. [Online] [Zitat vom: 18. 06 2011.]
- [28]. **C.A.M.E.N.** <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/beispielprojekte/biotreibstoffe/netzwerk/downloads/ethanol-materialvertraeglichkeit.pdf>. [Online] [Zitat vom: 16. 06 2011.]
- [29]. **DOLMAR GmbH.** www.dolmar.de. http://www.dolmar.de/wissen/schulungs__br__material/. [Online] [Zitat vom: 15. 06 2011.]
- [30]. **Professor Dr.-Ing. Volker Weißer.** *Vorlesungsumdruck Verbrennungsmotoren.* SS2010.
- [31]. **Darstellung, Eigene.**
- [32]. **Kern GmbH Technische Kunststoffteile.** Kern GmbH Technische Kunststoffteile,. <http://www.kern.de/cgi-bin/riweta.cgi?nr=1113&lng=1&popup=2>. [Online] [Zitat vom: 20. 07 2011.]
- [33]. **Material Data Center Datenblatt.** <http://www.materialdatacenter.com/ms/de/Hostaform/Ticona/HOSTAFORM+C+9021/b1bba6f1/2434>. [Online] [Zitat vom: 19. 07 2011.]
- [34]. —. <http://www.materialdatacenter.com/ms/de/Hostaform/Ticona/HOSTAFORM+S+27064/1e78a785/2434>. [Online] [Zitat vom: 20. 07 2011.]
- [35]. **Auer Kunststofftechnik GmbH & Co KG.** <http://www.auer-kunststofftechnik.de/pdf/Datenblatt%20PBT%20GF%2030,%20natur.pdf>. [Online] [Zitat vom: 20. 07 2011.]

<Literaturverzeichnis

[36]. **Wilhelm Herm. Müller GmbH & Co. KG.**

<http://www.whm.net/content/de/download/res/13403-6.pdf>. [Online] [Zitat vom:
20. 07 2011.]

[37]. **Angst+Pfister GmbH.** <http://www.angst-pfister.com>. *Datenblatt*

Angst+Pfister GmbH. [Online]

[38]. **GmbH, DOLMAR.** *Werkstattarbeitsanweisung und Testanweisung.*

[39]. **Walter Zepf, Schmierungstechnik.** *Sicherheitsdatenblatt. 78467* Konstanz :
Walter Zepf Schmierungstechnik, 2006.
