

Hochoktan Ottokraftstoffe für Hochleistungsmotoren

Prof.Dr.-Ing. M. Weclas

Prof.Dr.-Ing. H-J. Tretow

Dipl.-Ing. (FH) J. Bernstein

Dipl.-Ing. (FH) J. Wellmann

Institut für Fahrzeugtechnik der Georg-Simon-Ohm
Fachhochschule Nürnberg

Keßlerplatz 12
90489 Nürnberg

Abstract

Seit mehreren Monaten gibt es an Tankstellen in Deutschland neue Sorten Ottokraftstoffe zu kaufen, Shell (V-Power) und Aral (Ultimate 100), jeweils 100 Oktan. Laut Herstellerangabe verhilft dieser Kraftstoff zu mehr Leistung bei gleichzeitig geringerem Verbrauch und verbessertem Beschleunigungsvermögen.

Ziel des hier beschriebenen Projekts war es, durch vergleichende Messungen belastbare Aussagen über Leistung, Beschleunigung und Verbrauch der neuen Kraftstoffe machen zu können.

Es wurde festgestellt, dass keiner der beiden Hochoktankraftstoffe relevante Mehrleistung, Drehmomentzuwachs, Verbrauchersparnis oder Performancegewinn bringt. Die festgestellten Differenzen liegen unter 2%, d.h. an der Messgenauigkeitsgrenze. Hinsichtlich der Leistung war der Referenzkraftstoff (herkömmliches Super Plus von Esso, 98 Oktan) dem Kraftstoff V-Power mit 100 Oktan sogar leicht überlegen. Im unteren Teillastbereich lässt sich bei den Hochoktankraftstoffen eine minimale Verbrauchersparnis feststellen.

1. Einleitung

Ottokraftstoffe müssen vielfältige Anforderungen erfüllen, um für einen Einsatz in Motoren mit Fremdzündung geeignet zu sein. Sie bestehen aus einer Vielzahl von Kohlenwasserstoffen, deren Siedeverlauf wichtig für den einwandfreien Betrieb der Fahrzeuge ist. Die hochsiedenden Bestandteile enthalten viel Energie und wirken sich günstig auf den Verbrauch aus. Der Dampfdruck beschreibt die Verdampfungsneigung eines Kraftstoffs. Witterungsbedingt müssen Ottokraftstoffe im Winter für einen sicheren Kaltstart einen höheren Dampfdruck besitzen als im Sommer.

Ottokraftstoffe müssen klopfest, d. h. gegen Selbstentzündung widerstandsfähig, sein. Das Maß für die Klopfestigkeit ist die Oktanzahl, die im Allgemeinen nach der so genannten Research-Methode (ROZ) bestimmt wird. Die an Tankstellen angebotenen Benzinsorten unterscheiden sich in ihrer Klopfestigkeit: Normalbenzin mit 91 ROZ, Euro-Super 95 ROZ, Super Plus 98 ROZ und aktuell auch mit 100 ROZ. Die besonders klopfesten Kraftstoffe Super Plus und 100 ROZ wurden für Hochleistungsmotoren mit hoher Verdichtung entwickelt. Höhere Klopfestigkeit lässt eine bessere Ausnutzung des Energiegehaltes eines Kraftstoffs zu.

Die Verwendung eines hochoktanigen Kraftstoffs ermöglicht es, die Zündzeiten zu optimieren und hierdurch eine deutliche Wirkungsgradsteigerung zu erreichen. Die Abhängigkeit zwischen Oktanzahl und Lage der Klopfgrenze ist im Bereich handelsüblicher Ottokraftstoffe annähernd linear [1].

Die Motorleistung ist von mehreren Faktoren abhängig:

$$(1) \quad P_e = \eta_e \cdot \frac{p_L}{R_L \cdot T_L} \cdot V_H \cdot \frac{n}{2} \cdot \frac{H_u}{L_{st}} \cdot \frac{1}{\lambda}$$

η_e ist der effektive Wirkungsgrad des realen Motors, p_L , R_L , T_L sind Luftdruck, Gaskonstante und Lufttemperatur an der Ansaugseite des Motors, V_H ist der Hubraum des Motors, n ist die Drehzahl, H_u ist der Heizwert des Kraftstoffs, L_{st} ist das stöchiometrische Luftverhältnis, und λ ist die Luftzahl des Gemisches in den Zylindern. Die Kraftstoffqualität kann durch mehrere Parameter die Motorleistung beeinflussen, insbesondere durch die Optimierung von indiziertem und mechanischem Wirkungsgrad (z.B. reduzierte Reibung), und durch den Heizwert des Kraftstoffs (z.B. Normalbenzin $H_u=42.7\text{MJ/kg}_k$, Superbenzin $H_u=43.5\text{MJ/kg}_k$, bzw. ist H_u/L_{st} für Normalbenzin 2.88MJ/kg_L und für Superbenzin $H_u/L_{st}=2.95\text{MJ/kg}_L$).

Seit mehreren Monaten gibt es an den Tankstellen in Deutschland neue Sorten Ottokraftstoff zu kau-

fen. Die Kraftstoffe, angeboten von Shell (V-Power) und Aral (Ultimate100), haben jeweils 100 Oktan. Herstellerangaben versprechen mit diesen Kraftstoffen mehr Leistung bei gleichzeitig weniger Verbrauch und verbessertem Beschleunigungsvermögen.

In der Presse wird das Thema intensiv diskutiert. Der ADAC oder die Zeitschrift „Autobild“ haben Versuchsreihen durchgeführt, aus deren Ergebnissen sich jedoch nicht erkennen lässt, inwieweit die Testbedingungen die Ergebnisse beeinflusst haben. Am Institut für Fahrzeugtechnik der Fachhochschule Nürnberg wurde wegen dieser ungenauen Aussagen Versuchsreihen gefahren, um unter genau definierten Testbedingungen vergleichbare Ergebnisse zu erhalten und daraus Aussagen über Leistung, Beschleunigung und Verbrauch der neuen Kraftstoffe zu gewinnen. Die Ergebnisse der ersten Phase des Projektes sind in diesem Aufsatz zusammengefasst.

Zum Vergleich verschiedener Kraftstoffe wurden die beiden populärsten Premium-Otto-Kraftstoffe auf dem Markt herangezogen: „**Shell V-Power**“ und „**Aral Ultimate 100**“, beides Ottokraftstoffe mit 100 Oktan, die ca. 8 Eurocent teurer als vergleichbarer Super-Plus Kraftstoff sind. Als Referenzkraftstoff diente ein herkömmlicher Super Plus Kraftstoff mit 98 Oktan. Es handelte sich durchgängig um Winterkraftstoff, da der gesamte verwendete Kraftstoff im Januar/Februar bezogen wurde.

In Kapitel 2 sind der Rollenprüfstand und das Testfahrzeug beschrieben, Kapitel 3 erläutert die Methodologie und die Testbedingungen. Insbesondere werden hier die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse auf dem Rollenprüfstand diskutiert sowie der Kraftstoffwechsel und die Problematik der Kraftstoffvermischung beschrieben. Die Messergebnisse werden in Kapitel 4 dargestellt und diskutiert.

2. Rollenprüfstand und Testfahrzeug

2.1. Rollenprüfstand

Der Funktions- und Leistungsprüfstand LPS (FH Nürnberg) der Firma MAHA Maschinenbau, Haldenwang besteht aus einer Steuerungseinheit und zwei Rollensätzen. Zur Einstellung auf unterschiedliche Achsabstände dient eine Rollensatzverstellung. Umfangreiche Kühlluftgebläse simulieren den Fahrtwind. Der Rollensatz ist mit einer Hebeschwelle, einer elektrischen Wirbelstrombremse und Abdeckplatten ausgestattet.

Der Antriebsstrang besteht aus einer geregelten Gleichstrommaschine und zwei luftgekühlten Wirbelstrombremsen. Zusätzliche Schwungmassen am

vorderen Rollensatz ermöglichen es, unterschiedliche rotierende Fahrzeugmassen zu simulieren (siehe Abb.1).



Abb.1. Rollenprüfstand

Mit dem Funktions- und Leistungsprüfstand LPS ist es möglich, Fahrzeuge mit Otto- und Dieselmotor mit einer Prüfgeschwindigkeit von bis zu 200 km/h (variabel) und einer Gesamtrastleistung von 400 kW zu prüfen. Eine Leistungsmessung bei konstanter Drehzahl, Geschwindigkeit oder Zugkraft wird durch automatische Drehzahl-, Geschwindigkeits- oder Zugkraftregelung ermöglicht. Neben der Motorleistungsmessung können weitere Funktionsprüfungen durchgeführt werden. In Verbindung mit einem Benzin-Verbrauchsmessgerät kann der Verbrauch des Fahrzeugs ermittelt werden. Ein Stoppuhrprogramm dient zur Beschleunigungsmessung zwischen zwei frei wählbaren Geschwindigkeiten. Zur Korrektur von Leistungsdaten nach DIN oder ECE sind ein Barometer und ein Thermometer in der Schnittstellenbox eingebaut. Der Leistungsprüfstand erlaubt die Überprüfung des Tachometers bzw. Kilometerzählers. Alle Messergebnisse werden graphisch dargestellt und ausgedruckt. Technische Daten des Rollenprüfstandes sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Das Kraftstoffverbrauchsmesssystem setzt sich zusammen aus der Rechneinheit 206 mit Printer (Microprozessor mit 8 Programmen und automatisch gesteuertem Drucker), dem Messgeber 206 (4-Kolben Volumenzähler mit Hallgeber und Dreh-sinnerkennung, hohe Messgenauigkeit) und der Messeinheit 4705. Die Messeinheit und der Messgeber sind zusammengebaut und im Fahrzeug auf dem Beifahrersitz platziert.

Das Flowjet-Ventil 4703 besitzt eine eigene Kraftstoffpumpe sowie einen Wärmetauscher. Der Messgeber hat einen maximalen Abweichungsbereich von $\pm 0,5 \%$ bezogen auf den momentanen

Messwert. Der fahrzeugeigene Benzinkreislauf ist in zwei Kreisläufe aufgeteilt.

Tab. 1. Technische Daten des Rollenprüfstandes

Rollensatzmechanik	
Achslast	2,5 t
Rollenbreite pro Rolle	650 mm
Spur min.	520 mm
Spur max.	2120 mm
Rollendurchmesser	502 mm
möglicher Radstand	2000 mm - 3000 mm
Hebeschwelle	min. 5 bar
Elektrische Daten	
Wirbelstrombremse	2 x 200 kW
Messsystem	elektronisches DMS - Messsystem
Netzanschluss	400 V / 50 Hz
Absicherung	32 A
Anzeigebereiche	
Prüfgeschwindigkeit	200 km/h
Radleistung	max. 200 kW pro Achse
Messgenauigkeit	Radleistungsendwert $\pm 2\%$ vom Messwert

Der primäre Kreislauf verbindet den Kraftstofftank mit dem Flowjet-Ventil, der sekundäre Kreislauf verbindet das Ventil mit dem Motor. Die Labor- und Prüfstandsbelüftung wird durch verschiedene Gebläse gewährleistet und verbessert. Diese sind im Detail in Abb.2 dargestellt.

2.2. Versuchsfahrzeug

Als Testfahrzeug wurde ein Audi S4 Avant 4.2 quattro mit Hochleistungs-Benzin-V8-MPI Saugmotor mit serienmäßiger Motorsteuerung und Ventiltrieb gewählt (Abb. 3).



Abb.3. V8-4.2 Liter Benzinmotor des Testfahrzeugs (Audi S4)



Abb.2. Verschiedene Komponente des Belüftungs- und Kühlungssystems

Die wichtigsten technischen Daten des Testfahrzeugs gemäß Angaben der Fa. Audi sind in der Tabelle 2 zusammengefasst. Alle Fahrzeugkomponenten sind Originalserienteile, an Motor, Abgasanlage und Triebstrang wurden keine Änderungen vorgenommen (Abb.4).

Audi S4 Avant 4.2 (Auslieferung des Versuchsfahrzeugs: 07/1993)	206 kW (280 PS) mit Abgasreinigung nach 91/441/EWG
Motor und Getriebe	
Motor-Bauart	8-Zylinder-V-Ottomotor, längs eingebaut
Bohrung x Hub, mm	84,5 x 93
Hubraum, Liter/cm ³	4,2/4172
Max. Leistung, kW bei 1/min nach 80/1269/EWG	206/5800
Max. Drehmoment, Nm bei 1/min nach 80/1269/EWG	400/4000
Verdichtung	10,6
Gemischaufbereitung	Vollelektronische Motorsteuerung (Motronic) mit selektiver Klopfregelung
Abgasreinigung	2 Katalysatoren und Lambda-Regelung
Getriebe	6-Gang-Schaltgetriebe
Batterie	12 V, 88 Ah
Abmessungen	
Länge/Breite/Höhe (bei Leergewicht), mm	4790/1777/1472
Stirnfläche, mm ²	2,14
Luftwiderstandsbeiwert	0,35
Radstand bei Leergewicht, mm	2692
Spurweite vorn/hinten, mm	1569/1534
Kraftstoffbehälter, Liter	80
Rädergröße/Reifen/Reifengröße	8J x 17/Dunlop SP Sport 8000/245/40 ZR 17
Gewichte (Werksangabe)	
Leergewicht, kg	1730
Gewichte (eigene Messung)	
Leergewicht (bei vollem Tank), kg	1762
Gewicht mit Fahrer, kg	1846
Fahrleistungen	
Höchstgeschwindigkeit, km/h	247
Beschleunigung 0-100 km/h, s	6,6
Kraftstoffverbrauch nach 80/1269/EWG	Super Plus, bleifrei mind. 98 ROZ
Liter/100 km bei 90 km/h	9,3
bei 120 km/h	11,3
im Stadtzyklus	18,9
Kraftübertragung	permanenter Allradantrieb mit zentralem Torsendifferential
Übersetzung	I. 3,500, II. 1,889, III. 1,231, IV. 0,967, V. 0,806, VI. 0,685, R. 3,455
Achsantrieb	4,111:1

Tab.2. Technische Daten des Testfahrzeugs

Das Fahrzeug wurde für die Messung auf dem Prüfstand mit einem Kraftstoffverbrauchsmessgerät

ausgerüstet. Aufgrund der hohen thermischen Belastung bei Messungen im Volllastbereich wurden zusätzliche Maßnahmen getroffen, um die Kraftstofftemperatur konstant zu halten.



Abb.4. Serienabgasanlage

Zum einen wurde das Fahrzeug mit einem Kraftstoffkühlsystem ausgestattet. In den Rücklauf des Kraftstoffsystems wurde ein Plattenkühler eingebaut. Dieser kühlte den Kraftstoff mit Leitungswasser, so dass die Temperatur des Kraftstoffes während der Messungen nahezu konstant blieb (Abb.5).



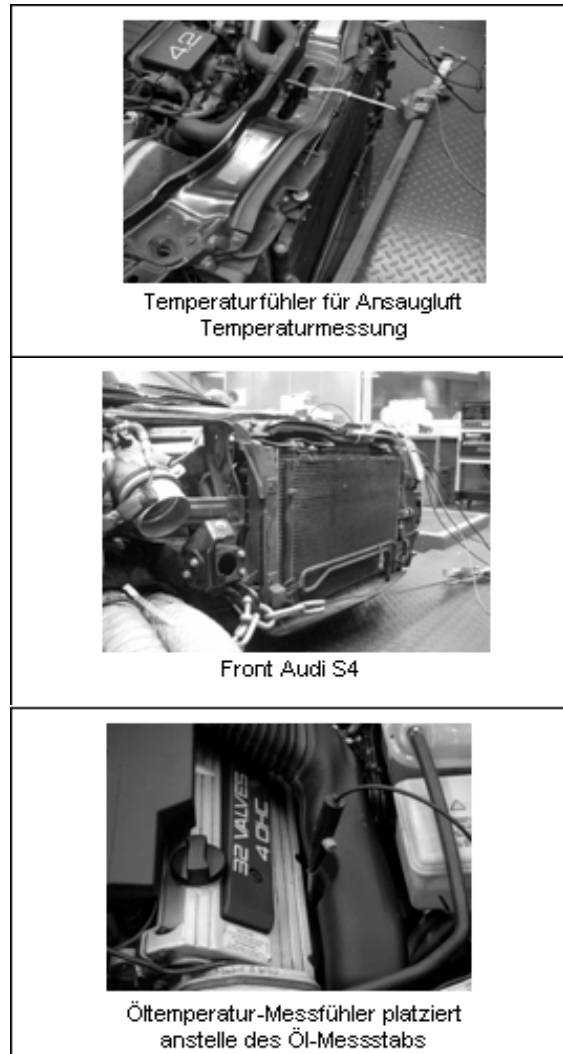
Abb.5. Plattenwärmetauscher des Kraftstoffkühlers

Zum anderen wurde zur verbesserten Wärmeabfuhr die Motorhaube des Fahrzeuges entfernt. Die im Testfahrzeug eingebauten Messeinrichtungen sind in Abb. 6 dargestellt.

2.3. Kraftstoffe

Für dieses Projekt wurden drei Kraftstoffe zum Test ausgewählt. Es sind handelsübliche Ottokraftstoffe, die alle an deutschen Tankstellen verfügbar sind.

Die an Tankstellen angebotenen Benzinsorten unterscheiden sich in ihrer Klopfestigkeit. Normalbenzin hat 91 ROZ, Euro-Super 95 ROZ, Super Plus 98 ROZ und aktuell auch 100 ROZ. Die besonders klopfeste Kraftstoffsorte Super Plus und 100 ROZ wurde für Motoren mit hoher Verdichtung entwickelt, die ursprünglich auf hochoktaniges Benzin angewiesen waren. Höhere Klopfestigkeit lässt eine bessere Ausnutzung des Energiegehaltes eines Kraftstoffs zu.



Temperaturfühler für Ansaugluft
Temperaturmessung

Front Audi S4

Öltemperatur-Messfühler platziert
anstelle des Öl-Messstabs

Abb.6. Messstellen am Motor

Additive für Ottokraftstoffe: Ablagerungen auf Ventilen, Einspritzdüsen und im Ansaugsystem wirken bei Kaltstart wie ein Schwamm und verändern so das Kraftstoff-Luft-Gemisch. Stark verschmutzte Ventile führen außerdem zu Leistungsminderung und erhöhtem Verbrauch. Für die Kraftstoffqualität ist daher neben der ausgewogenen Mischung der verschiedenen Komponenten die Verwendung hochwertiger Kraftstoffzusätze von zunehmender Bedeutung.

Folgende Kraftstoffe wurden für die Durchführung der verschiedenen Messreihen verwendet:

- BP für die Reproduzierbarkeit der Messungen (98 ROZ)
- Aral Ultimate 100 (100 ROZ)
- Shell V-Power (100 ROZ)
- Esso Super Plus als Referenzkraftstoff (98 ROZ).

3. Methodologie und Versuchsbedingungen

Die Messungen wurden in fünf Phasen durchgeführt:

1. Prüfung der Reproduzierbarkeit der Messungen
2. Leistung-Drehmoment bei Volllast für alle drei getesteten Kraftstoffe
3. Elastizitätsmessungen für alle drei getesteten Kraftstoffe
4. Kraftstoffverbrauchmessungen bei unterschiedlichen Lasten für alle drei getesteten Kraftstoffe.
5. Wiederholung der Reproduzierbarkeit der Messungen

3.1. Reproduzierbarkeit der Messungen

Dieser Teil des Messprogramms beinhaltet neben der Leistungsmessung auch Elastizitäts- und Verbrauchsmessungen mit BP 98 ROZ Kraftstoff. Ziel dieser Messungen war es, die Toleranzgrenzen des Prüfstandes zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigten, dass die Reproduzierbarkeit der Messungen sehr hoch ist, sie liegt bei 98%. Zur Leistungsmessung steht die Möglichkeit der kontinuierlichen und der diskreten Leistungsmessung zur Verfügung. Die kontinuierliche Leistungsmessung hat keine abgelegten Einzelwerte und bietet zur Nachvollziehbarkeit lediglich einen Prüfausdruck, der nicht elektronisch speicherbar ist.

Daher bietet sich die diskrete Leistungsmessung an. Durch feine Abstufungen der Einzelwerte war hier hohe Genauigkeit zu gewährleisten. Der Vergleich zwischen den zwei Messverfahren zeigt eine sehr gute Übereinstimmung hinsichtlich der ausgegebenen Maximalwerte (Abb.7).

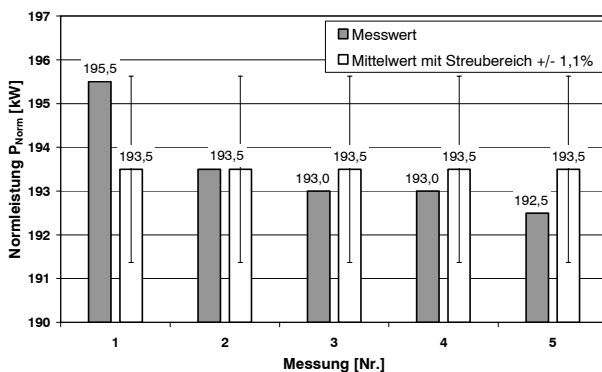


Abb.7. Leistung: Reproduzierbarkeit der Messungen (Kraftstoff: BP 98 ROZ)

Die Ergebnisse für Reproduzierbarkeit der Elastizitätsmessungen sind in Abb. 8 zusammengefasst. Durch eine arithmetische Mittelung von 10 Messwerten ist die Abweichung sehr gering und liegt unter 2.5%.

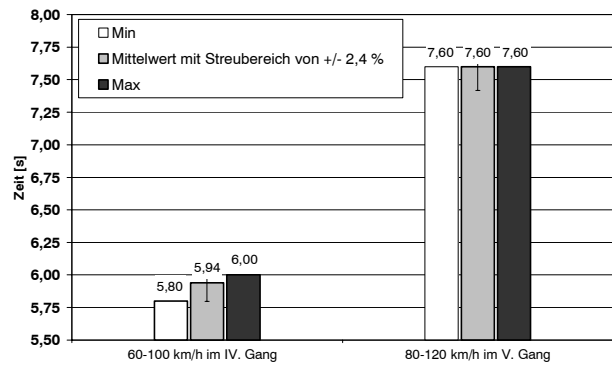


Abb.8. Elastizität: Reproduzierbarkeit der Messungen (Kraftstoff: BP 98 ROZ)

Diese sehr hohe Reproduzierbarkeit der Messungen ist auch bei Verbrauchsmessungen bestätigt worden (Abb. 9 bis 12). Hier liegt die relative Abweichung liegt zwischen 0.6% und maximal 1.6%.

Testbedingungen für die Einzelleistungspunkte waren:

- 15% Leistung: 1500N Zugkraft bei 2200 U/min
- 30% Leistung: 2000N Zugkraft bei 3250 U/min
- 60% Leistung: 2750N Zugkraft bei 4500 U/min
- 100% Leistung: 3250 N Zugkraft max. erreichte Drehzahl.

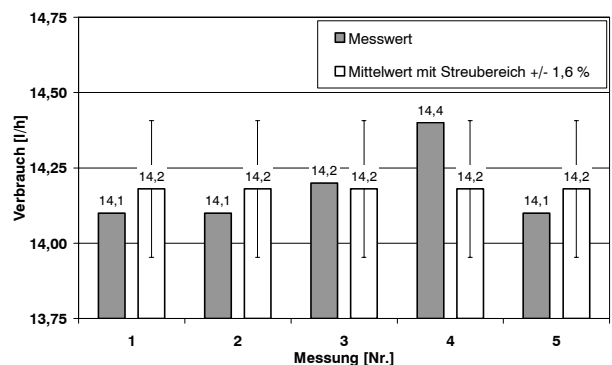


Abb.9. Kraftstoffverbrauch bei 15% Last: Reproduzierbarkeit der Messungen (Kraftstoff: BP 98 ROZ)

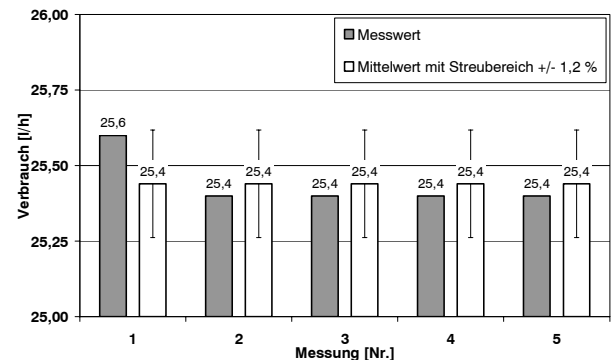


Abb.10. Kraftstoffverbrauch bei 30% Last: Reproduzierbarkeit der Messungen (Kraftstoff: BP 98 ROZ)

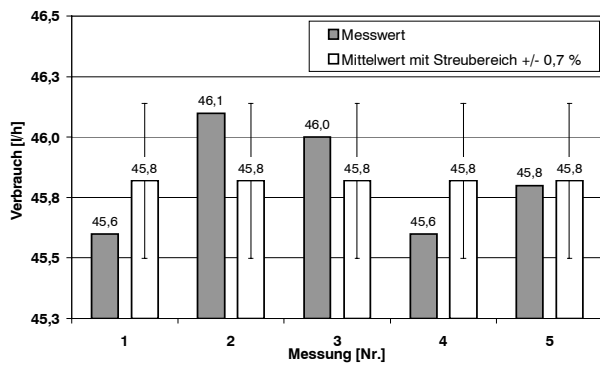


Abb.11. Kraftstoffverbrauch bei 60% Last: Reproduzierbarkeit der Messungen (Kraftstoff: BP 98 ROZ)

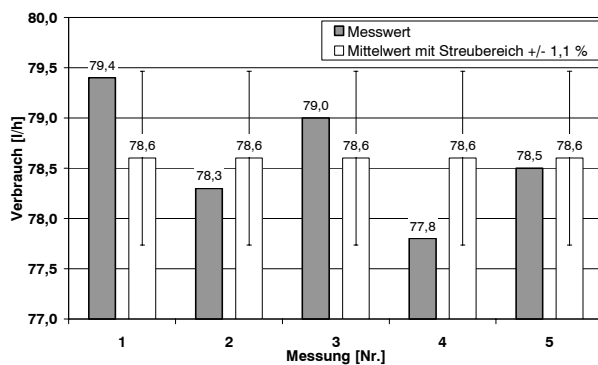


Abb.12. Kraftstoffverbrauch bei 100% Last: Reproduzierbarkeit der Messungen (Kraftstoff: BP 98 ROZ)

3.2. Kraftstoffwechsel und die Problematik Kraftstoffvermischung

Die drei ausgewählten Ottokraftstoffen (Esso Super Plus 98 ROZ; Shell V-Power 100 ROZ; Aral Ultimate 100 ROZ) sind von unabhängigen Tankstellen gekauft worden. Es wurden beschriftete Kraftstoffkanister aus dem Fachhandel (geprüft nach UN-Norm) verwendet, welche vorgereinigt waren. Als Tankgefäß wurde der bordeigene Fahrzeugtank in Originalzustand und Originalunterbringung genutzt. Auf einen externen Tank wurde aus Gründen der Authentizität im realen Fahrbetrieb verzichtet, obwohl die Kraftstoffwechsel mit weniger Aufwand hätten durchgeführt werden können. Um dem Problem der Vermischung verschiedener Kraftstoffe im Kraftstoffkreislauf des Fahrzeuges entgegenzutreten wurde eine Prozedur zur Spülung festgelegt. Die Spülung wird jeweils bei der Umstellung auf einen anderen Kraftstoff angewendet. Diese stellt sich in 8 Schritten dar:

1. Tankbehälter unter zu Hilfenahme der fahrzeu-geigenen Kraftstoffpumpe entleeren

2. Eine definierte Menge von 10 Litern Referenzkraftstoff (Esso Super Plus) in den Tank einfüllen
3. 8 Liter (nach Benzin-Verbrauchsanzeige) im Betriebspunkt mit 30 % der maximalen Leistung (2000 N Last bei 3250 U/min) verfahren
4. Tankbehälter unter zu Hilfenahme der fahrzeu-geigenen Kraftstoffpumpe entleeren
5. Einfüllen von 10 l des zu messenden Kraftstoffes
6. 8 Liter (nach Benzin-Verbrauchsanzeige) im Betriebspunkt mit 30 % der maximalen Leistung (2000 N Last bei 3250 U/min) verfahren
7. Tankbehälter unter zu Hilfenahme der fahrzeu-geigenen Kraftstoffpumpe entleeren
8. Tank mit 60 Litern des zu messenden Kraftstoffes befüllen

3.3. Messparameter und charakteristische Größen

Verglichen werden sollten vorrangig die Leistungssteigerung, die Elastizität und der Kraftstoffverbrauch. Entscheidend war außerdem, dass alle Einflüsse vergleichbar berücksichtigt und kontrolliert werden. Darunter fallen Luftdruck der Reifen, Kraftstofftemperatur, Kühlluftstrom, Kühlmitteltemperatur, Motoröltemperatur, Abgastemperatur, Luftdruck und Lufttemperatur der Umgebung. Weitere Größen waren während aller Messungen gleich. Hierzu zählen die elektrische Verbrauchsleistungen, die über alle Messungen konstant blieben, Art und Füllstand des Motoröls, Art und Füllstand des Kühlmittels, Belüftungssituation der Zuluft, der Abluft und der Abgasabsaugung. Die Wartung des Fahrzeuges lag rund 2500 km zurück und umfasste neben dem ordnungsgemäßem Ölfilterwechsel den Einbau neuer Zündkerzen und neuer Luftfilter.

Kraftstoffdichte

Vor Beginn der Versuchsreihen wurde die Kraftstoffdichte der jeweiligen Ottokraftstoffe in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur mit einem Aärometer bestimmt. Die Umrechnung der Kraftstoffdichte auf die Normtemperatur (15 °C) erfolgte mit der Gleichung

$$(2) \quad \rho_{15^{\circ}\text{C}} = \rho_{\vartheta} + a \cdot (\vartheta - 15^{\circ}\text{C})$$

(Faktor a nach DIN 51759).

Die normierten Kraftstoffdichten sind in der Tabelle 4 dargestellt.

Kraftstoff	Kraftstoffdichte		
	ρ [kg/m ³]	t [°C]	ρ_{Norm} [kg/m ³]
BP 98	0,766	14	0,765
Esso Super Plus 98	0,744	12,5	0,742
Shell V-Power 100	0,755	9,5	0,751
Aral Ultimate 100	0,748	11	0,745

Tab. 4. Gemessene und normierte Kraftstoffdichte

Normierte Leistung

Die Motorleistung hängt unter anderem von der Lufttemperatur und dem Luftdruck ab (siehe Gl.1). Um Messungen unter verschiedenen Bedingungen (an unterschiedlichen Tagen oder Tageszeiten) vergleichen zu können, wird die gemessene Motorleistung auf die reduzierte Leistung nach DIN 70200 umgerechnet. Die reduzierte Leistung bezieht sich auf eine Normtemperatur von 20 °C und einen Normluftdruck von 1013 hPa. Die Berechnung erfolgt nach Gleichung:

$$(3) \quad P_{\text{red}} = K_a \cdot P_{\text{mot}}$$

K_a ist ein Korrekturfaktor nach DIN 70200; p ist der atmosphärische Luftdruck am Prüfstand in mbar und T ist die Lufttemperatur am Prüfstand in Kelvin. K_a ist wie folgend definiert:

$$(4) \quad K_a = \frac{1013}{p[\text{mbar}]} \cdot \sqrt{\frac{T[\text{K}]}{293\text{K}}}$$

Testbedingungen

Randbedingungen für alle geplanten Messungen waren gleich und folgendermaßen festgelegt:

- Warmer Motor nach Öltemperatur und Kühlwasseranzeige.
- Fahrzeug warmgefahren (Getriebe, Reifen, etc) nach AUDI-Vorgabe für dieses Fahrzeug am Rollenprüfstand
- Gebläse und Abgasabsaugung immer gleich eingestellt
- Motorölstand und Ölsorte
- Getriebeölstand und Ölsorte
- Kühlwasserstand
- Beladungszustand des Fahrzeugs ist immer gleich (Fahrer +Tankfüllung nach Festlegung, sonst leer)
- Reifendruck immer gleich mit 3 bar auf allen Rädern (kontrolliert)

- Kraftstofftemperatur nahezu konstant mit $T_K=18-25$ Grad Celsius
- Luftdruck, Lufttemperatur, Luftfeuchte (gemessen)
- Alle Ergebnisse werden normiert und rückgerechnet auf Normbedingungen.

Um ein besonders aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, wurden immer fünf gleiche Messungen durchgeführt und dann gemittelt. So werden lokale Abweichungen wirkungsvoll eliminiert. Des weiteren wurde an drei aufeinander folgenden Tagen mit ähnlicher Witterung (Temperatur/ Luftfeuchte/ Luftdruck), der gleichen abgestimmten Sequenz und nahezu gleichen Tageszeiten gemessen, um vergleichbare Bedingungen zu gewährleisten. Diese Daten wurden direkt am Ansaugtrakt vor dem Fahrzeug aufgenommen.

4. Messergebnisse

4.1. Leistung - Drehmoment Charakteristik

In der ersten Messreihe wurde Shell V-Power geprüft. Die diskrete Leistungsmessung erfolgte in Stufen von 100 U/min und der Drehmomentverlauf wurde vom Prüfstand berechnet. Es wurden 5 Messungen hintereinander durchgeführt und die Einzelwerte zu einer Gesamtkurve gemittelt. Als Zweites wurde nach der erwähnten Spülphase der Kraftstoff Esso SP 98 gemessen. Die dritte Messreihe bezog sich dann auf Aral Ultimate100 – siehe Abb.13.

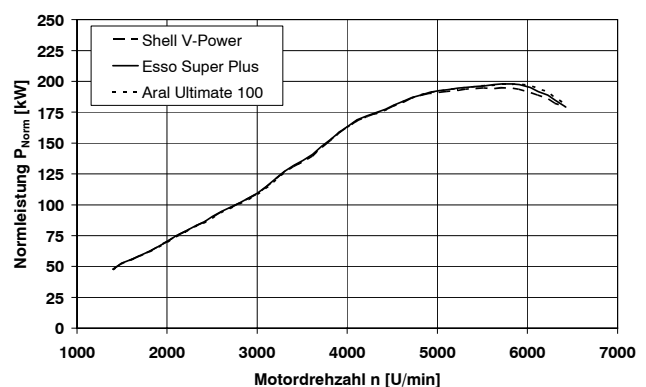


Abb.13. Normierte Leistung als Funktion von Drehzahl für drei getestete Kraftstoffe

Der maximale Unterschied zwischen Esso Super Plus und Shell V-Power beträgt 3.8 kW in einem Drehzahlbereich von 5900 bis 6000 U/min. Das entspricht einem Unterschied von gemittelt 2.0 %. Der maximale Unterschied zwischen Aral Ultimate und Shell V-Power beträgt 5.6 kW bei einer Drehzahl von 6200 U/min. Das entspricht einem Unterschied von 3.0 % - siehe Abb. 14.

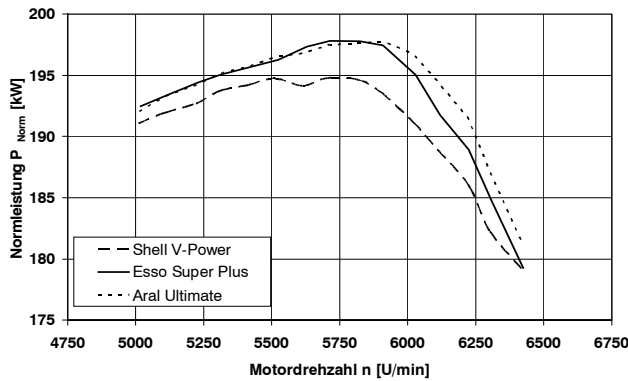


Abb. 14. Normierte Leistung als Funktion von Drehzahl für drei getestete Kraftstoffe (nur ausgewählter Drehzahlbereich)

Die Nennleistung beträgt:

- Shell V-Power: 195 kW bei 5640 U/min
- Esso Super Plus: 198 kW bei 5768 U/min
- Aral Ultimate: 198 kW bei 5820 U/min

Der Unterschied beträgt hier 1.5 %. Somit liegt die Differenz im Rahmen der vom Hersteller des Prüfstandes angegebenen Messgenauigkeit von $\pm 2\%$.

Die Drehmomentverläufe für die drei getesteten Kraftstoffe sind in Abb.15 dargestellt. Erneut ist festzustellen, dass die Unterschiede sehr gering sind, was die detaillierte Darstellung in Abb. 16 zeigt.

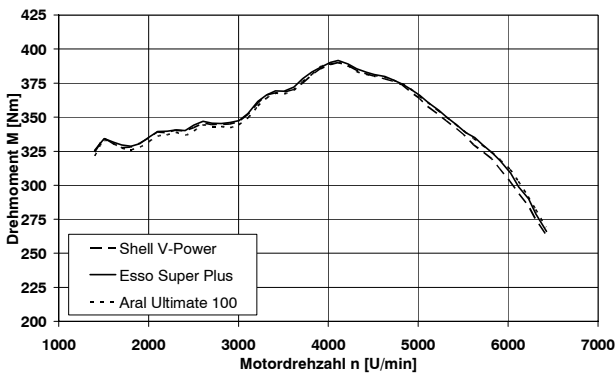


Abb.15. Drehmoment als Funktion von Drehzahl für drei getestete Kraftstoffe

Der maximale Unterschied zwischen Esso Super Plus und Shell V-Power beträgt 5.8 Nm bei einer Drehzahl von 6000 U/min. Das entspricht einem Unterschied von gemittelt 1.9 %. Der maximale Unterschied zwischen Aral Ultimate und Shell V-Power beträgt 8.4 Nm bei einer Drehzahl von 6000 U/min. Das entspricht einem Unterschied von 2.7 %.

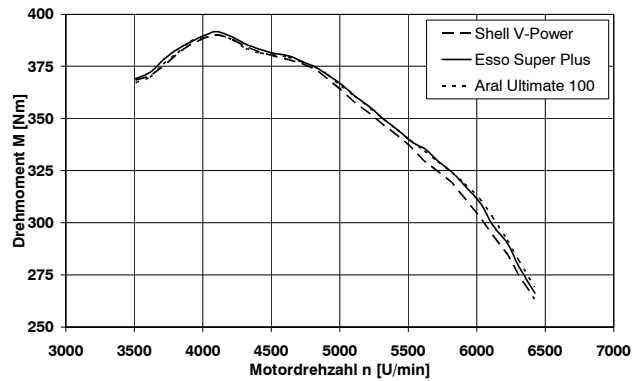


Abb.16. Drehmoment als Funktion von Drehzahl für drei getestete Kraftstoffe (nur ausgewählter Drehzahlbereich)

Das Nenndrehmoment beträgt:

- Shell V-Power: 390 Nm bei 4075 U/min
- Esso Super Plus: 391 Nm bei 4073 U/min
- Aral Ultimate: 390 Nm bei 4070 U/min

Der Unterschied beträgt hier 0.2 %. Somit liegt die Differenz im Rahmen der vom Hersteller des Prüfstandes angegebenen Messgenauigkeit von $\pm 1\%$.

4.2. Elastizität

Die Erwartungen an diesen Test waren hoch, versprechen die Hersteller doch vor allem ein deutlich verbessertes Beschleunigungsvermögen. Die Ergebnisse beider Tests ergeben sich entsprechend Abb. 17.

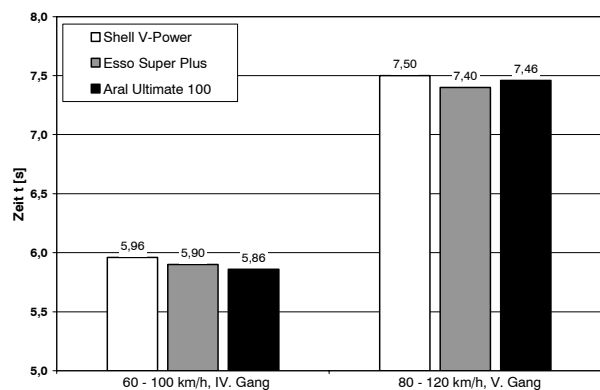


Abb.17. Elastizität (Gang 4 und 5) für drei getestete Kraftstoffe

Auch hier zeigen sich nur sehr geringe Abweichungen. Die Abweichungen beim Test von 60 auf 100 km/h im 4. Gang betragen nur etwa 0.1 s im Mittel, was einem Unterschied von 1.7 % entspricht. Ebenfalls eine Abweichung von 0.1 s ergibt die Messung von 80 auf 120 km/h, was einem Unterschied von 1.3 % entspricht.

Die Erwartungen wurden nicht erfüllt. Gerade Shell V-Power verspricht ein verbessertes Beschleunigungsvermögen, erreichte im Test jedoch das schlechteste Testergebnis.

4.3. Kraftstoffverbrauch

Bei allen Leistungspunkten war kein nennenswerter Verbrauchsunterschied feststellbar. Lediglich beim Punkt schwächster Last war mit den Hochleistungskraftstoffen beim spezifischen Verbrauch eine minimale Reduktion feststellbar.

Der volumetrische Kraftstoffverbrauch der getesteten Kraftstoffe ist in Abb. 18 und der spezifische Kraftstoffverbrauch in Abb. 19 dargestellt.

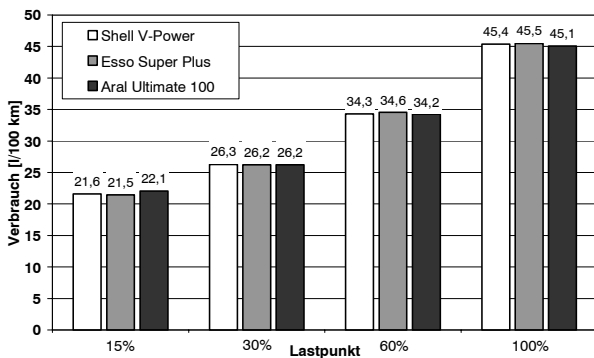


Abb.18. Volumetrischer Kraftstoffverbrauch für vier Lastpunkte

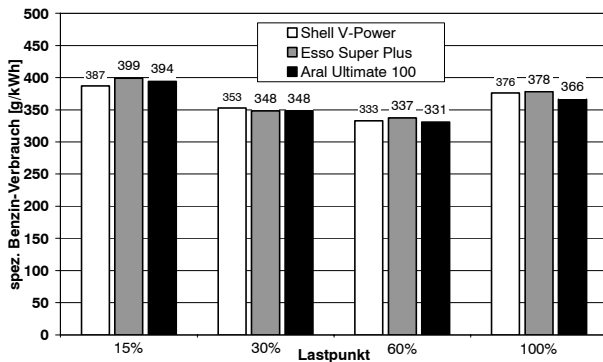


Abb.19. Spezifischer Kraftstoffverbrauch für vier Lastpunkte

nautigkeitsgrenze. Leistungsmäßig war der Referenzkraftstoff (herkömmliches Super Plus von Esso 98 ROZ) dem Kraftstoff V-Power (100 ROZ) von Shell sogar messbar knapp überlegen. Im unteren Teillastbereich lässt sich bei den Hochoktankraftstoffen eine minimale, jedoch kaum wahrnehmbare Verbrauchersparnis feststellen, die aber in keinem Verhältnis zum Mehrpreis und den Angaben der Kraftstoffhersteller steht. In konventionellen, weniger auf Leistung ausgelegten Ottomotoren ist eine noch geringere Auswirkung zu erwarten.

Literatur

[1] Abschlußbericht Sonder-Forschungsbereich 224 „Motorische Verbrennung“, Aachen 2001.

5. Fazit

Es wurde festgestellt, dass keiner der beiden Hochoktankraftstoffe relevante Mehrleistung, Drehmomentzuwachs, Verbrauchersparnis oder Performancegewinn bringt. Die festgestellten Differenzen liegen unter etwa 2% d.h. an der Messge-