

Motorcharakteristik, Motorenprüfung und – Beurteilung

Inhalte

- » Geschichte Schleppertest
- » Normen - Motortest
- » Konkrete Leistungsmessungen
 - › Vollastkennlinie
 - › Messwerte und -Bereiche und deren Bedeutung
 - › DLG Power-Mix

- » Verbrauchsmessungen
 - › Muscheldiagramm
 - › Emissionsmessungen

Geschichte der Schleppertests in Deutschland



- » **1913** erste Traktor- und Motorflugtest in Kleinwanzleben
- » **1928:** Bau des Schlepperprüffeldes in Bornim bei Berlin nach amerikanischen Vorbild
- » nach dem zweiten Weltkrieg testet das KTL auf hochschul- und herstellereigenen Prüfständen
- » **1949:** Umbau eines US-Militärfahrzeugs zum Zugleistungsmesswagen, Umzug nach Marburg
- » **1954:** Bezug des Prüffeldes in Darmstadt-Kranichstein
- » **1968:** die DLG übernimmt die Testtätigkeit, Inbetriebnahme des heutigen Prüffeldes in Groß-Umstadt
- » **1971** Inbetriebnahme des ersten Messwagens mit Wirbelstrombremse
- » Messeinrichtungen und Prüffeld werden kontinuierlich auf die aktuellen Anforderungen abgestimmt



Definierte Rahmenbedingungen sind die Basis für die Vergleichbarkeit von Ergebnissen

DIN-, SAE-, ISO oder ECE-PS

Früher

» **DIN** (D**eutsche** I**ndustrie**-N**orm**)

= Leistung eines Motors der ***selbstständig funktioniert***
d.h. mit Kraftstoff-, Wasser- und Einspritzpumpe und mit
Luftfilter, Auspuff, Lüfter und Lichtmaschine

» **SAE** (S**ociety** of A**utomotiv** E**ngineers** –Norm)

⇒ = Leistung eines Motors
der lediglich die Kraftstoffpumpe antreibt (***künstliche Ernährung***)

⇒ Leistungsangabe des gleichen Motors ist nach SAE-
Messungen höher

von SAE nach DIN müssen etwa 5 – 10 % abgezogen werden

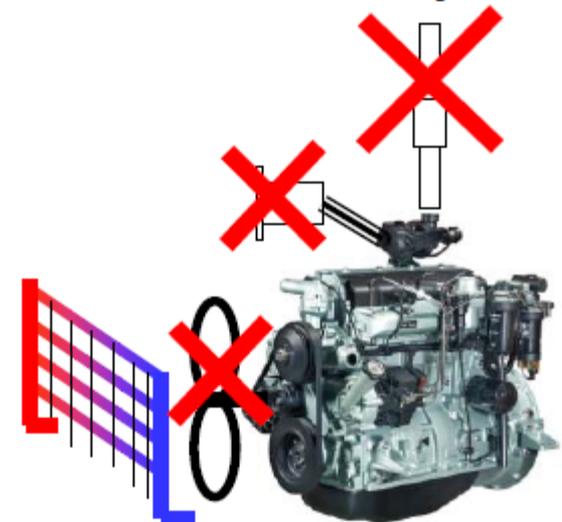
Normen

Normen

SAE J1995	Bruttoleistung	Motorenleistung
ISO TR 14396		
EG 97/68		
2000/25/EG		
ECE R24	Nettoleistung	
EWG 80/1269		
DIN 70020		
OECD		Zapfwellenleistung

SAE J 1995

- **Bruttoleistung am Motor gemessen**
- **Amerikanische Norm**
- **Messung ohne Nebenaggregate**
- **Ohne Luftfilter, ohne Lüfter, ohne Schalldämpfer**
- **Hauptsächlich bei Maschinen amerikanischen Ursprungs anzutreffen**

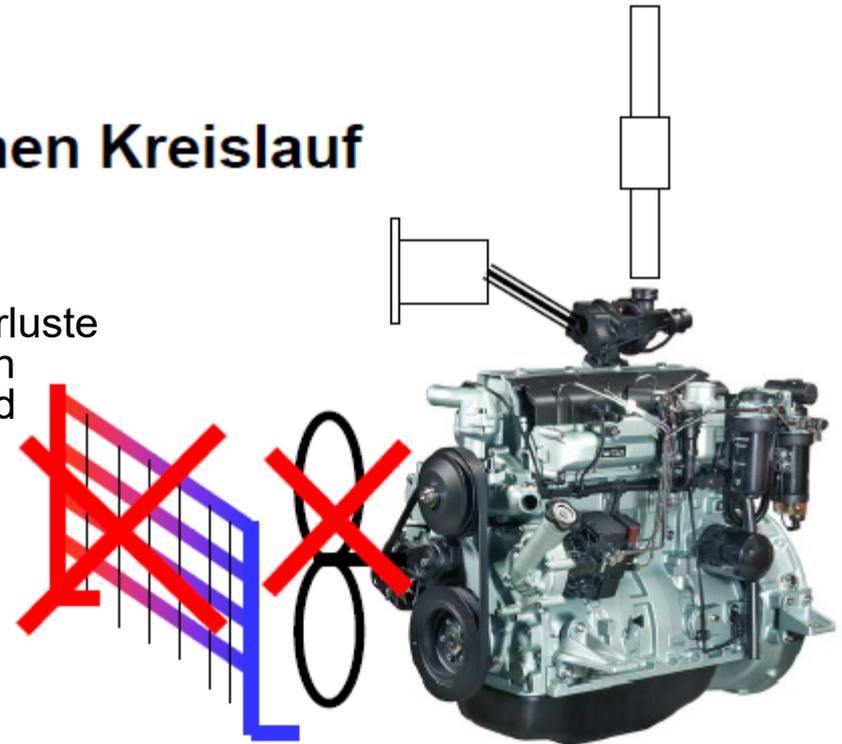


ISO TR 14936

- **Bruttoleistung am Motor gemessen**
- **Motor ohne Nebenaggregate, wie Lüfter und Kühlradiator**
- **Kühlung erfolgt über externen Kreislauf**

ISO TR14396

Diese Messnorm berücksichtigt nur die Leistungsverluste durch Schalldämpfer und Luftfilter. Die gesamten Leistungsverluste für das Kühlsystem (Lüfter und Kühlradiator) bleiben aber unberücksichtigt.

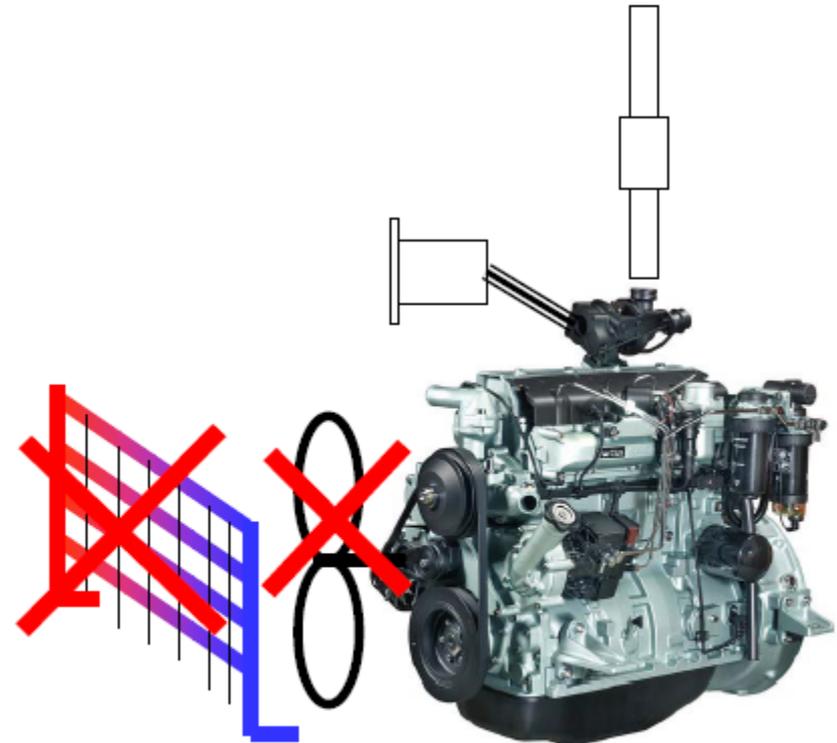


EG 97/68

- **Bruttoleistung am Motor gemessen**
- **Entstand im Zusammenhang mit der Einführung der Abgasrichtlinien**
- **Messung ohne Lüfter**

EG 97/68 (oder 2000/25/EG)

Diese Messnorm wird für die Abgasmessung der Motoren verwendet. Der Leistungsverlust durch den Lüfter ist nicht berücksichtigt.

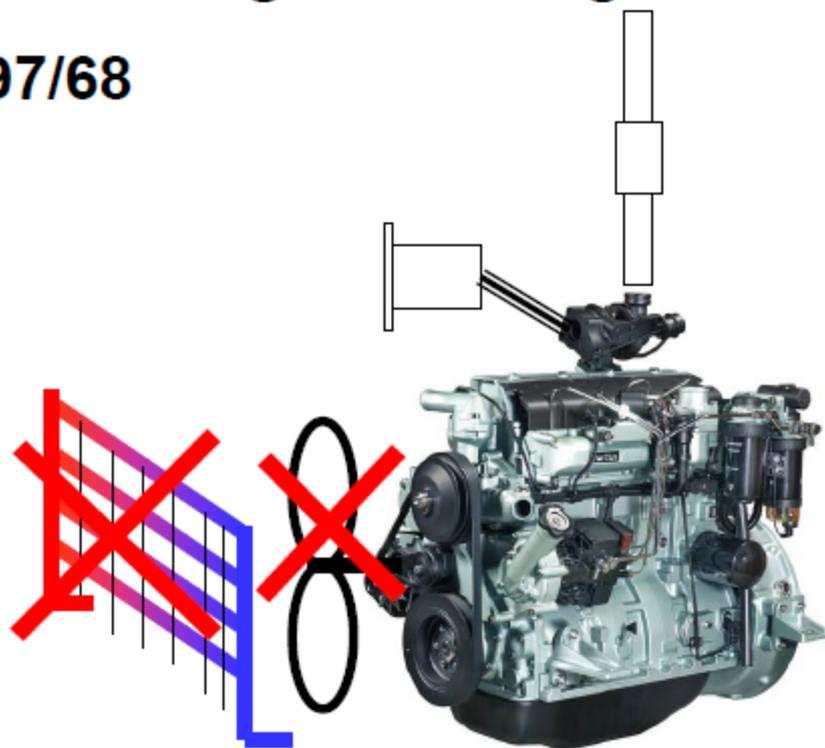


2000/25/EG

- **Bruttoleistung am Motor gemessen**
- **Steht im Zusammenhang mit der Abgasmessung**
- **Messung identisch mit EG 97/68**

2000/25/EG

Diese Messnorm wird für die Abgasmessung der Motoren verwendet. Der Leistungsverlust durch den Lüfter ist nicht berücksichtigt.

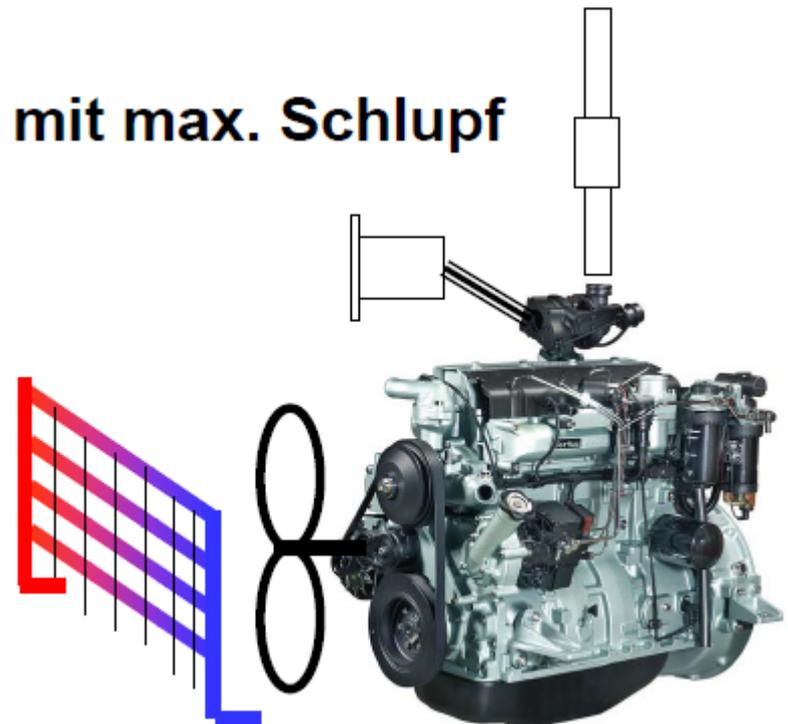


ECE R24

- **Europäische Norm**
- **Nettoleistung am Motor gemessen**
- **Lüfter läuft mit**
- **Bei Viskolüftern allerdings mit max. Schlupf**

- **ECE R24**

Bei dieser Messnorm werden Leistungsverluste der Komponenten wie Kühler und Schalldämpfer berücksichtigt. Auch der Lüfter ist angebaut. Bei Viskolüftern darf dieser allerdings mit maximalem Schlupf betrieben werden. Das heißt: der Lüfter dreht nur mit sehr geringer Drehzahl mit.

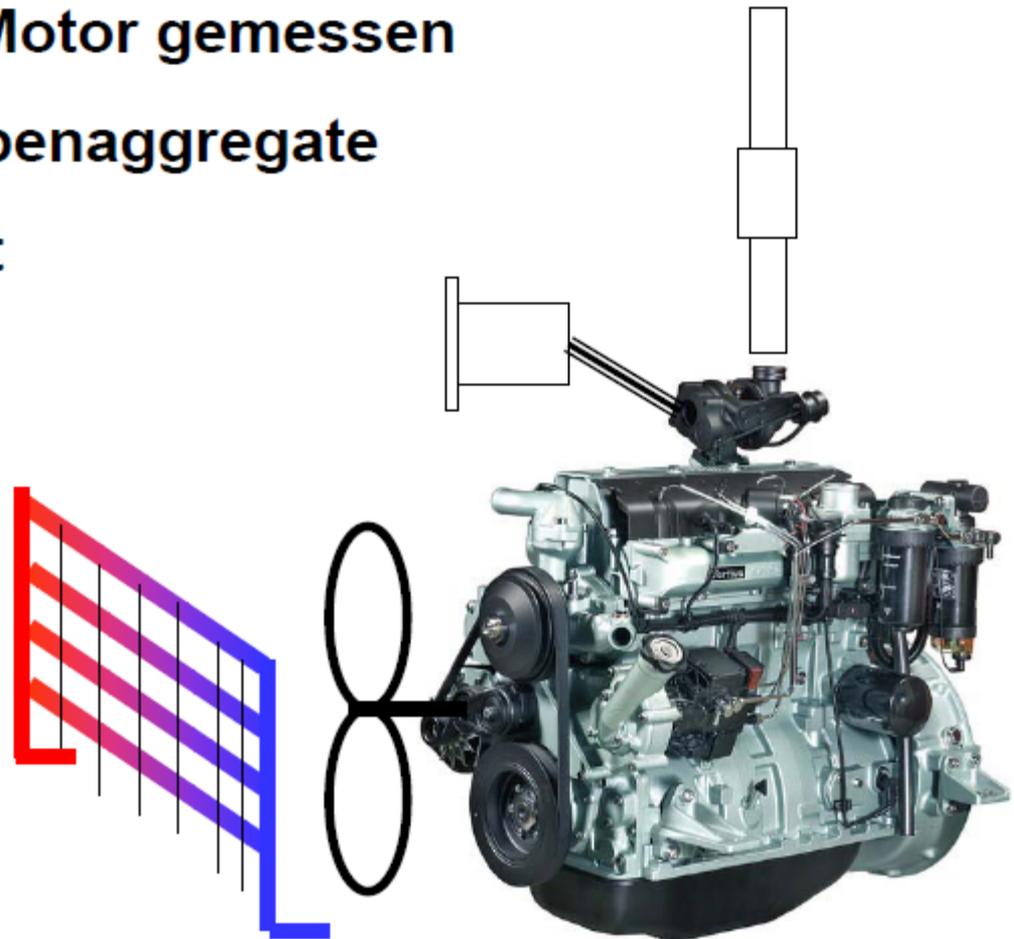


DIN 70020

- **Nettoleistung am Motor gemessen**
- **Berücksichtigt Nebenaggregate**
- **Lüfter läuft voll mit**

DIN 70020

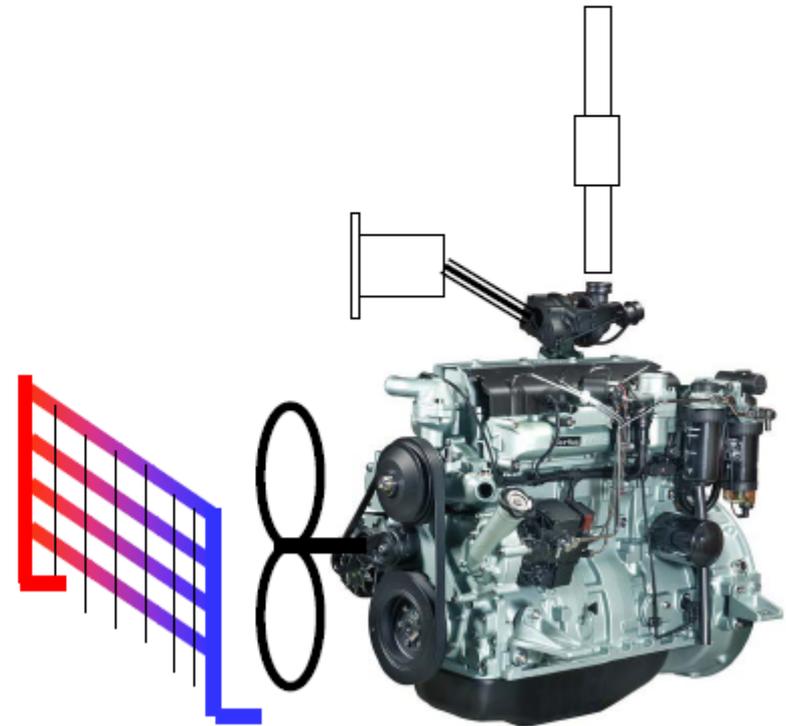
Bei der Messung der Motorleistung nach dieser deutschen Norm werden die Leistungsverluste der gesamten Motorperipherie (unter anderem Lüfter, Kühler, Schalldämpfer) berücksichtigt.



EWG 80/1269

- **Nettoleistung gemessen am Motor**
- **Berücksichtigt Lüfter und andere Nebenaggregate**
- **Viscolüfter mit Schlupf**

Wie alte DIN 70020
jedoch klar definierte
Umgebungsbedingungen



Die Motorleistungsmessungen

Einen deutlichen Einfluss auf die Messungen hat der Kühlerventilator (bei 100 kW Motor bis zu 5 kW und mehr Leistungsaufnahme). Ähnliches gilt für Klimaanlage und Luftkompressor.

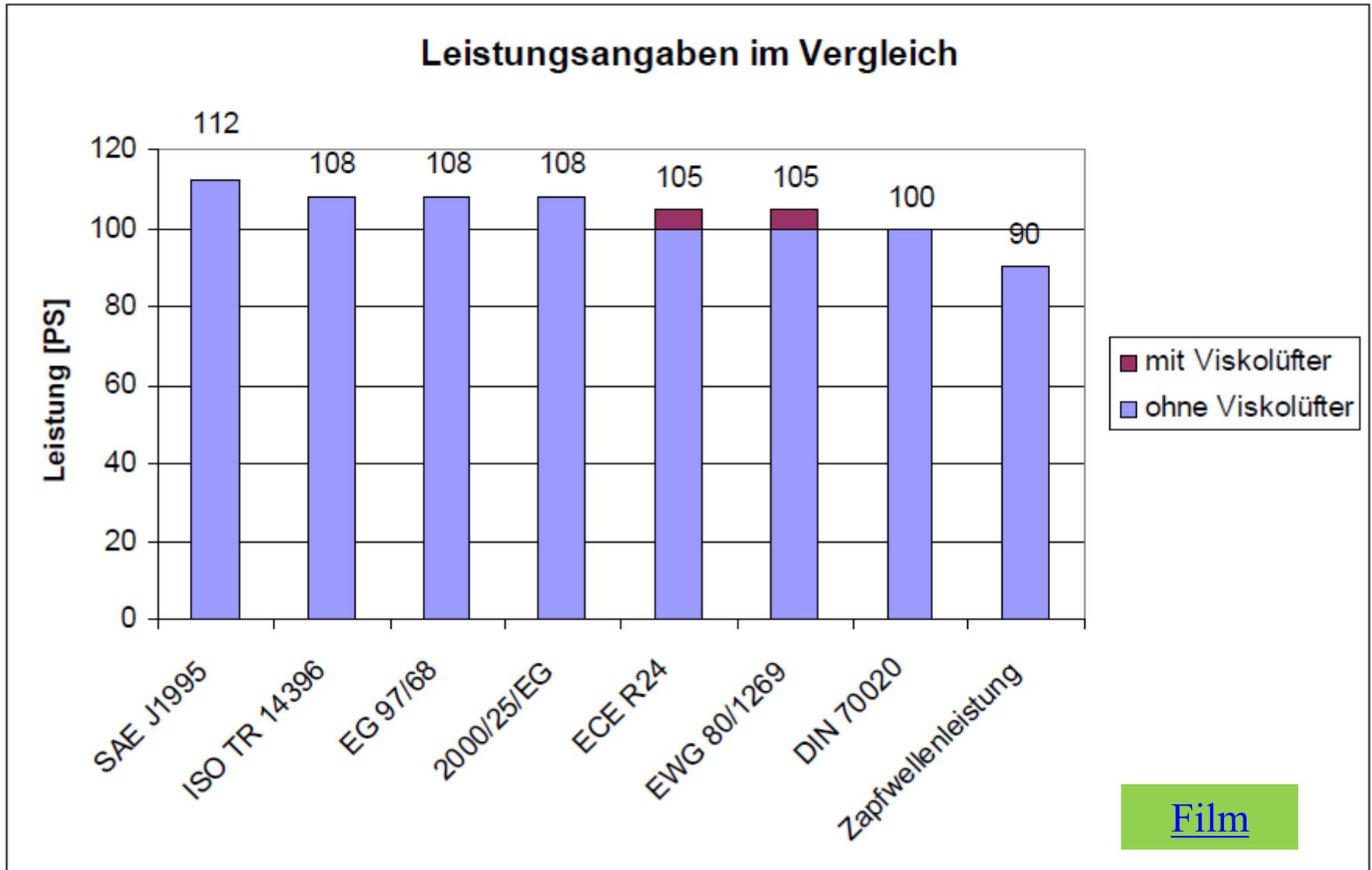
Trotz Motoren mit Überleistung und Konstantleistungscharakteristik ist die Leistung bei Nenndrehzahl noch eine geeignete Vergleichsebene, da die Maximalleistung bei unterschiedlichen Drehzahlen erreicht wird.

Zapfwellenleistung

Hier werden die Verluste durch Nebenaggregate wie Hydraulikpumpe, Klimakompressor sowie die Getriebeverluste berücksichtigt.

Messung an der Wirbelstombremse im Praktikum

Leistungsangaben im Vergleich

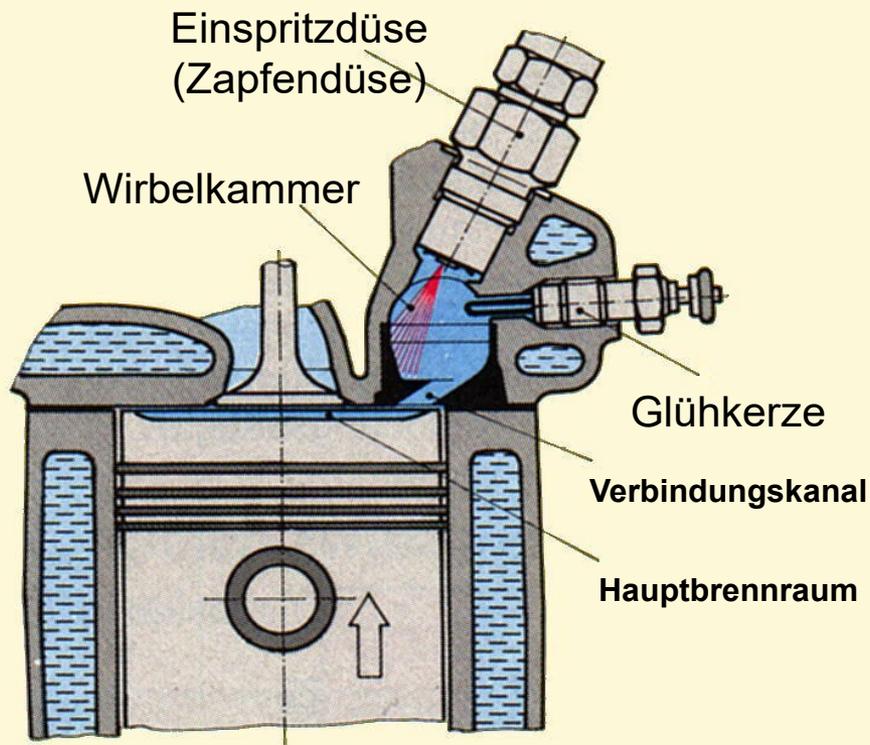




Wirbelkammer- Vorkammermotoren

Charakteristik

- Einfache Zapfendüse
- Düsenöffnungsdruck 100–120 bar
- Geringer Einspritzdruck (unter 500 bar)
- Weites Verdichtungsverhältnis
- Geringer Verdichtungsdruck
 - Kraftstoffunempfindlich
 - Starthilfe erforderlich
 - Kraftstoffverbrauch hoch
- Abgase jenseits jeder heutigen Norm



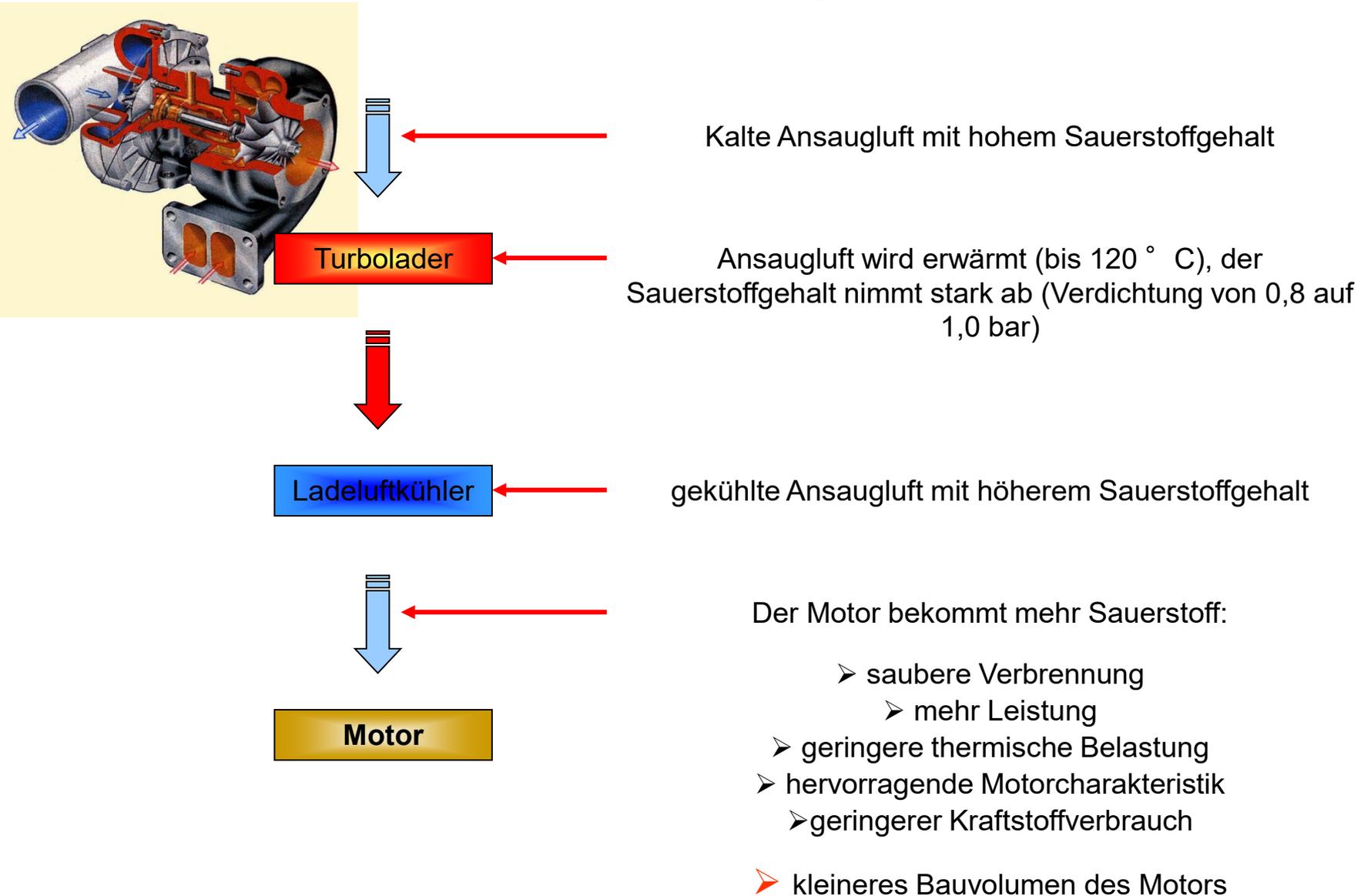
Wesentliche Meilensteine bei der Motorentwicklung

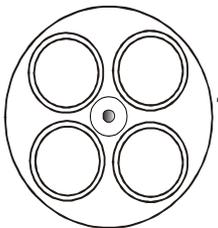
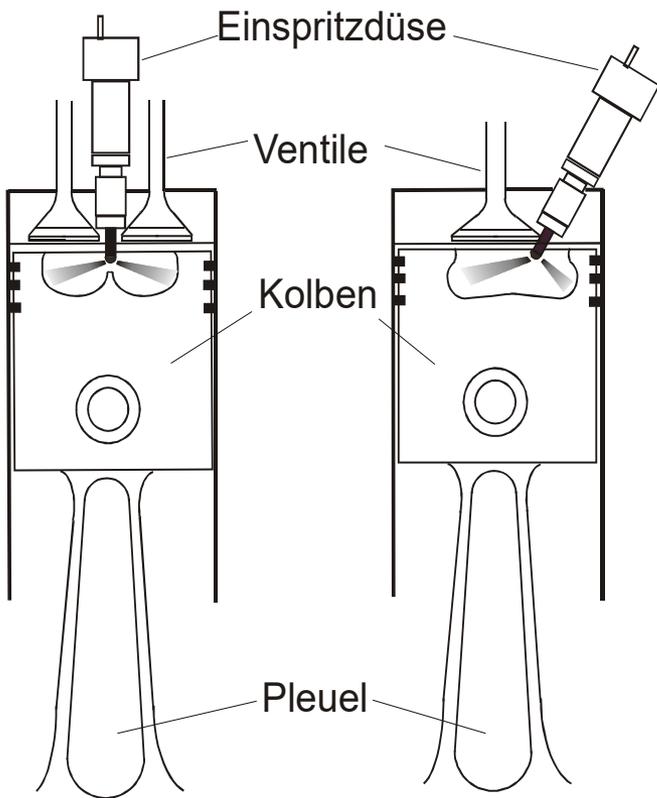
Wichtige Effekte

- | | |
|--|---|
| » Direkteinspritzer | 15 -20% weniger Verbrauch |
| » Brennraumgestaltung, Drallkanal | Verwirbelung im Zylinderraum |
| » Turbolader mit Ladeluftkühlung | Baukastenerweiterung,
Drehmomentanstieg,
Leistungssteigerung,
Geräuschdämpfung |
| » Höhere Einspritzdrücke | Leistungssteigerung, geringerer
Verbrauch |
| » Mehrlochdüsen | Brennraumoptimierung |
| » Vierventiltechnik | zentrierte Einspritzung,
Brennraumoptimierung |
| » Turbolader mit variabler Turbinengeometrie | Motorcharakteristik |
| » Common Rail | Motorcharakteristik, Verbrauch |
| » Optimierung der Kühlung | Leistungssteigerung –
Nettoenergie - Outcome |
| » Kraftstoffoptimierung | höhere Energiedichte, geringerer
Verbrauch, Emissionen |
| » Abgasrückführung | Grenzwerte Stickoxide |

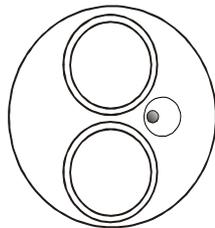
**Die Entwicklung im Motorenbau ging bisher nur in eine Richtung:
zu **mehr Wirtschaftlichkeit**, also **mehr Leistung** aus **weniger Hubraum**
Derzeit findet eine Überlagerung statt: **Einhaltung der Abgasnormen****

Turbolader mit Ladeluftkühlung - Funktionsprinzip

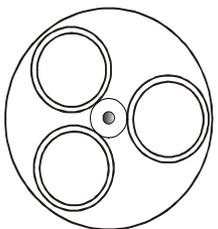




4- Ventile



2- Ventile

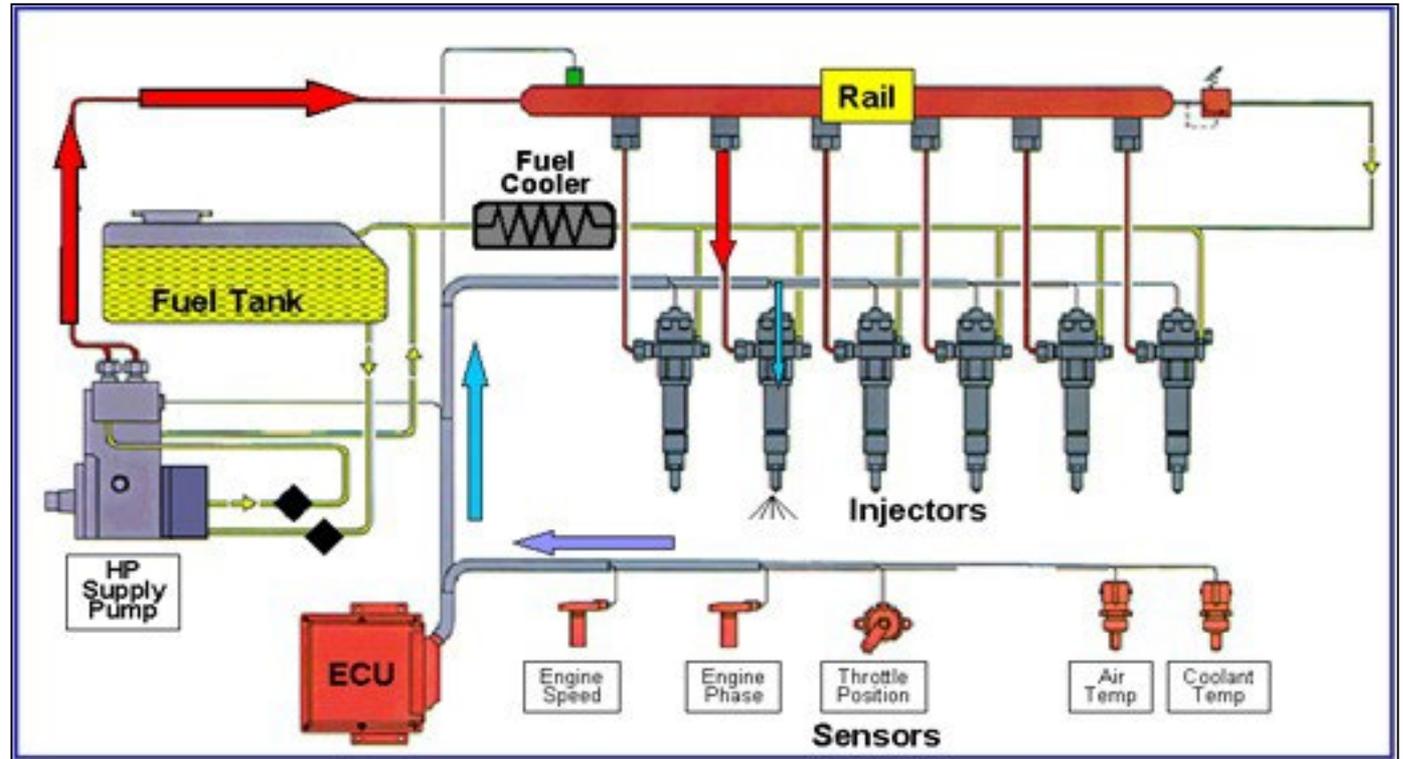
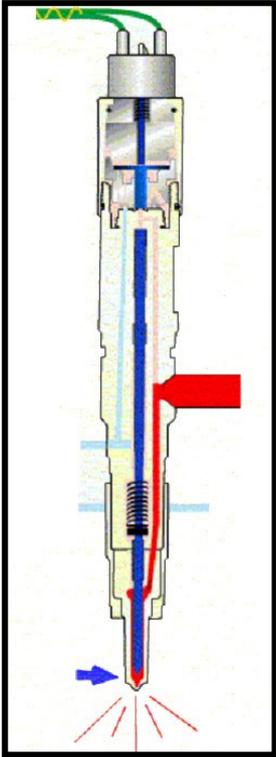


3- Ventile

Drei- und Vierventiler ermöglichen zentrale Anordnung der Einspritzdüse

- ⇒ Gleichmäßige Kraftstoffverteilung im Brennraum
- ⇒ Weniger Drall erforderlich
- ⇒ Bessere Abgaswerte
- ⇒ Geringfügig reduzierter Verbrauch aufgrund geringerer Strömungsverluste
- ⇒ Bessere Zylinderfüllung, vor allem beim Saugmotor

4V-CommonRail



„Common Rail“ = gemeinsame Schiene – nur bei diesem Speichereinspritzsystem erfolgt die Druckerzeugung unabhängig von der Einspritzung

- Einspritzmenge und Zeitpunkt werden über das Magnetventil gesteuert
- Innerhalb des Kennfeldes frei wählbarer Einspritzdruck
- Hohes Druckangebot auch bei niedrigen Drehzahlen
- Flexibler Einspritzbeginn mit Vor- und Nacheinspritzbeginn möglich
- Durch Voreinspritzung sanfter Druckanstieg und weiche Verbrennung.

➔ Dadurch ruhiger Motorlauf und bessere Abgase

Drehmoment

- » Kurz vor dem oberen Totpunkt wird Diesel in den Zylinderraum eingespritzt, der sich mit der komprimierten Luft vermischt
- » Es erfolgt zeitverzögert die Selbstzündung und Explosion (Zündverzug)
- » Der Kolben wird nach unten gedrückt und führt im Zylinderraum eine geradlinige Bewegung aus
- » Die Bewegung und Kraft wird mittels Pleulstange auf die Kurbelwelle übertragen und dort in eine Drehbewegung bzw. Drehkraft umgewandelt – es entsteht ein Drehmoment und eine Drehzahl
- » Drehmoment x Drehzahl = Leistung

Leistung

$$\frac{\text{Drehzahl [U/min]} \times \text{Drehmoment [Nm]}}{9550 \text{ (Faktor)}} = \text{Leistung [kW]}$$

Beispiel:

$$\frac{2000 \text{ U/min} \times 500 \text{ Nm}}{9550} = 104,7 \text{ kW}$$

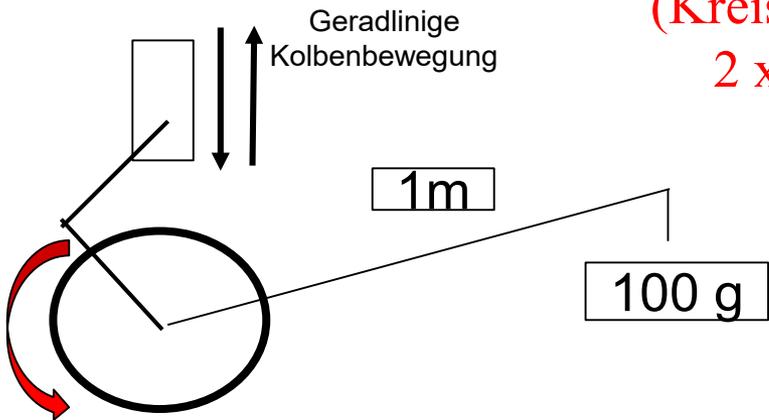
Leistung (W) = Geschw. (m/sec) x Kraft (N)

$$(\text{Kreisumfang} \times \text{Drehzahl}) \times \text{Kraft} = \text{Leistung in W}$$

$$2 \times 1 \text{ m} \times 3,14 (\pi) \times 2000 \text{ U/min} / 60 \text{ sec} \times 500 \text{ N} =$$

$$104.666,667 \text{ W}$$

$$= 104,7 \text{ kW}$$

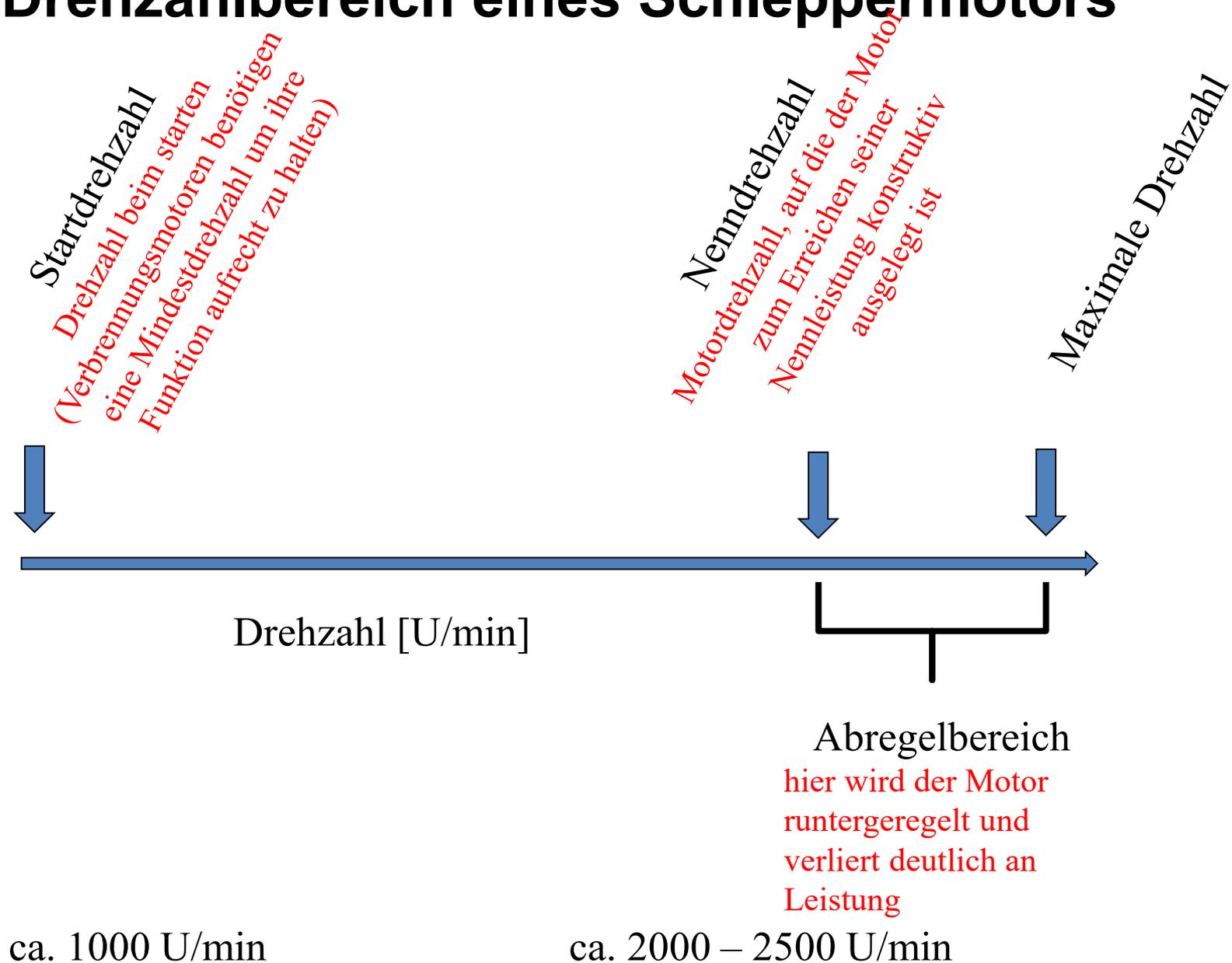


Drehbewegung an der Kurbelwelle

$$= 1 \text{ Nm} = \sim 0,981 \text{ Nm}$$

500 Nm	
	
50 kg	1 m
100 kg	0,5 m
200 kg	0,25 m

Drehzahlbereich eines Schleppermotors



Motorprüfstand der DLG in Groß-Umstadt



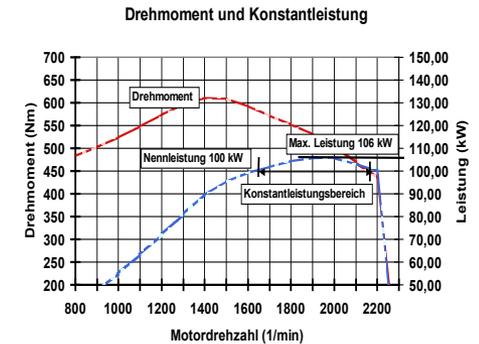
Wirbelstrombremse



Eine Wirbelstrombremse ist eine Bremse, die Wirbelstromverluste einer im Magnetfeld bewegten Metallscheibe zur Bremsung nutzt.

Im **Praktikum** wird die Wirbelstrombremse eingesetzt, um an der Zapfwelle einen Traktor ausgehend von Vollgas (Messung mit **vollgespannten Regler** – Einstellung bleibt auf Vollgas) in Stufen auf eine bestimmte Drehzahl **runter-zu-bremsen**.

Das entsprechende **Drehmoment** (und die zugehörige **Leistung**) wird bei jeder dieser Drehzahlstufen ermittelt – es entwickelt sich eine entsprechende **Drehmoment- und Leistungskurve** in Abhängigkeit von der Drehzahl (**Vollastkennlinie**).



Funktion

Bewegt sich eine Metallplatte in einem Magnetfeld, werden in ihr Spannungen induziert, die wiederum durch den elektrischen Widerstand der Metallplatte und ihrer Geometrie Wirbelströme zur Folge haben.

Die Ströme erzeugen selbst wieder ein Magnetfeld, das dem äußeren entgegengesetzt ist (Lenzsche Regel).

Der elektrische Widerstand der Metallplatte bildet für die Wirbelströme einen ohmschen Verbraucher, wodurch die Bewegungsenergie in Wärme umgesetzt wird.

Die Magnetisierbarkeit der Metallplatte spielt keine Rolle, allein die elektrische Leitfähigkeit ist entscheidend.

Ablauf der Messung im Praktikum

- » Die Zapfwelle des Messtraktors wird über die Gelenkwelle mit der MAHA-Wirbelstrombremse verbunden.
- » Es erfolgt zunächst ein Systemabgleich – Schaffung einer Kommunikationsebene zur Datenübertragung
- » Der Traktor muss für die Messung und die Darstellung der Ergebnisse zunächst näher definiert werden
- » Im Praktikum führen wir eine diskrete Messung durch und ermitteln die Vollastkurve
- » Gemessen wird zunächst das Drehmoment in Abhängigkeit der Belastung (Bremsung), die Leistung wird vom System errechnet

Ablauf der Messung im Praktikum

Wählen Sie die Fahrzeugdaten aus.
Eingabe mit <F8 WEITER> bestätigen.



**Definition
Traktor**

Zur Ermittlung der Motordrehzahl
Schaltfläche "Neuer Fahrversuch"
betätigen.



Messung im Praktikum

Abgleich-Drehzahl eingeben oder voreingestellten Wert übernehmen. Mit <ENTER> bestätigen.

Fahrzeug auf die eingestellte Drehzahl beschleunigen und einige Sekunden konstant halten.

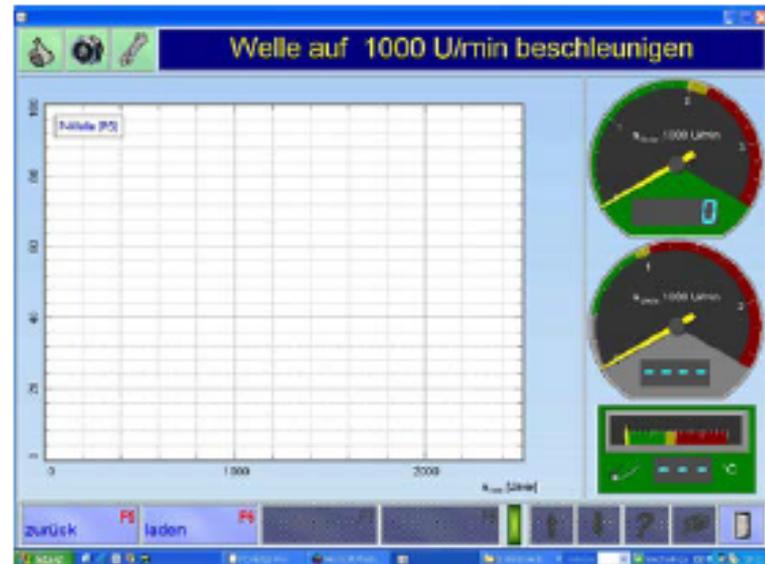
Diese Drehzahl wird gespeichert.



Langsam und gleichmäßig bis zur Start-Drehzahl beschleunigen.

Nach Erreichen der Start-Drehzahl Vollgas geben und halten.

Der Prüfstand fängt an, Messdaten aufzunehmen.



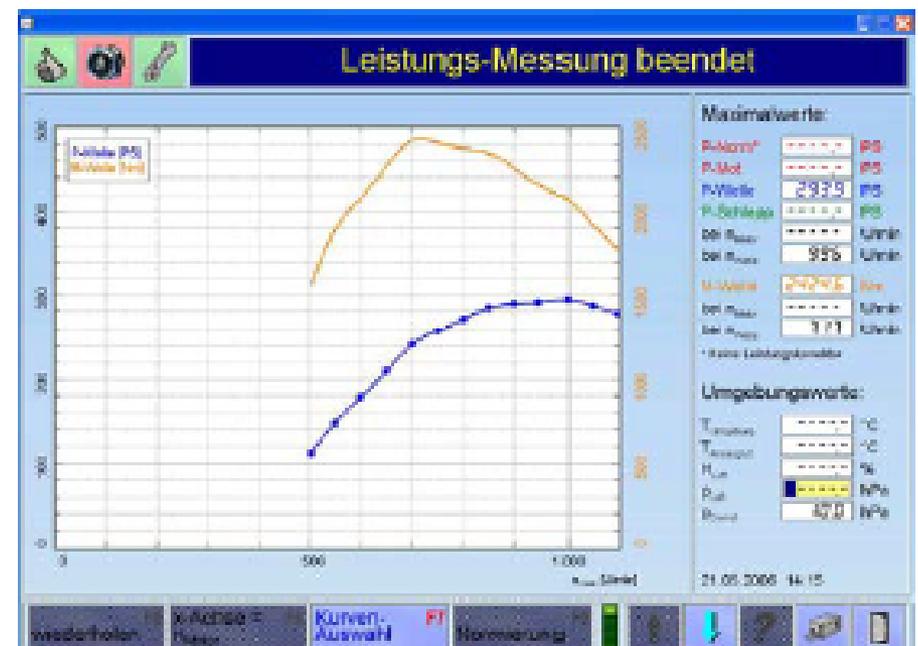
Messung im Praktikum

Unter Volllast wird der erste eingegebene Messpunkt angefahren. Die Wirbelstrombremse des Prüfstandes hält die Drehzahl 5 Sekunden (bzw. entsprechend der vorgewählten Haltezeit) und legt die Messung dieses Punktes ab.

Danach löst sich die Bremse wieder und der nächste Messpunkt wird angefahren. Der Motor bleibt dabei unter Volllast.

Wenn alle Messungen erfolgt sind, erscheint in der Statuszeile die Meldung "Leistungs-Messung beendet".

Die Wellenleistung und Wellendrehzahl werden graphisch dargestellt.

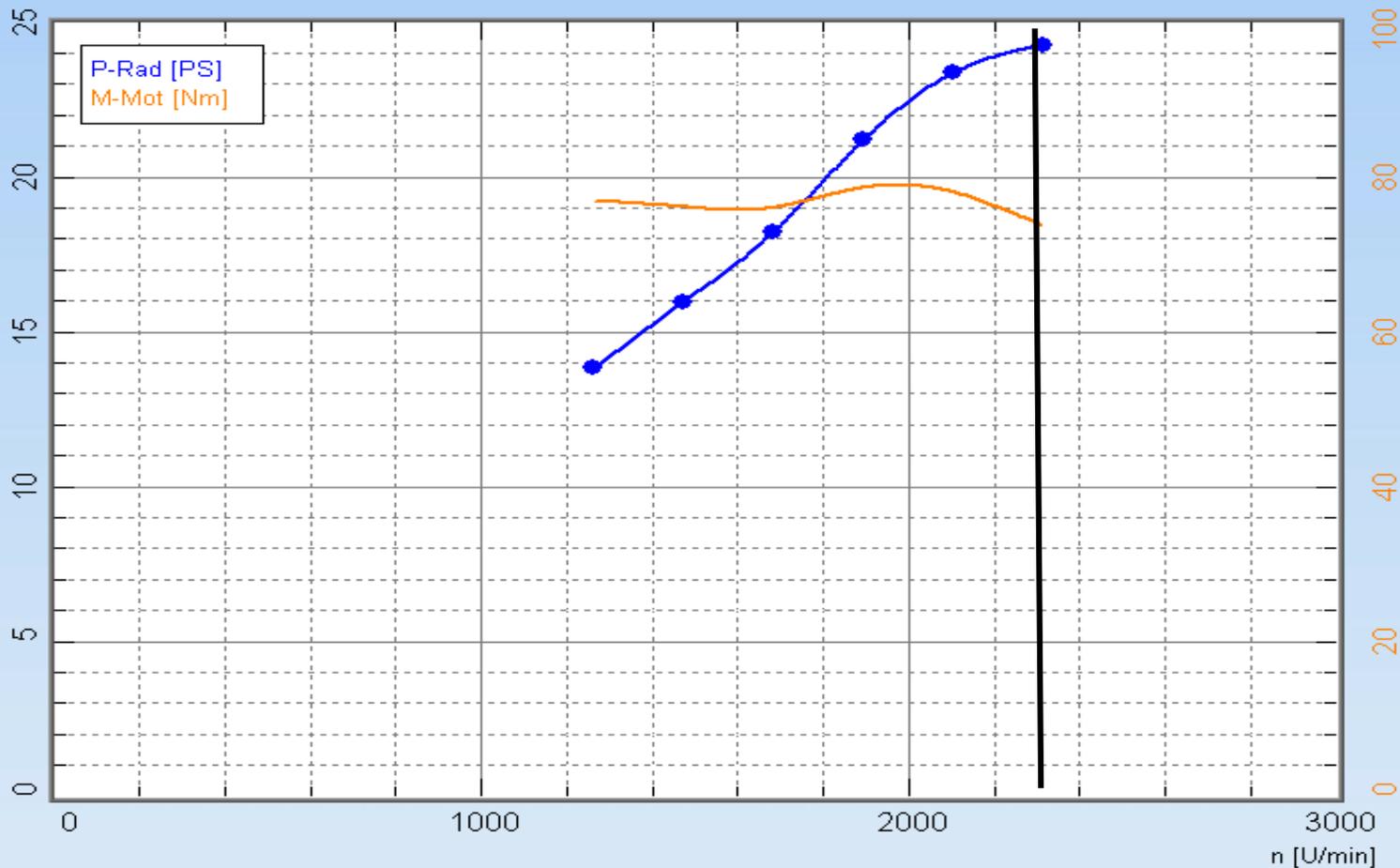


Alter Motor

LPS 500



Leistungs-Messung beendet



Maximalwert

P-Norm*

P-Mot

P-Rad

P-Schlepp

bei

M-Mot

bei

* Keine Leistungsko

Umgebung

T_{Umgebung}

$T_{\text{Ansaugluft}}$

H_{Luft}

P_{Luft}

P_{Dampf}

08.05.2014 13:30

wiederholen **F5**

x-Achse = v **F6**

Kurven-Auswahl **F7**

Normierung **F8**



Motor - Steyr

Drehmomentanstieg

Konstantleistungsbereich

Drehzahlabfall

ZW-500

Leistungs-Messung beendet



Maximalwerte:

P-Norm*	-----	PS
P-Mot	-----	PS
P-Rad	164.4	PS
P-Schlepp	-----	PS
bei	1950	U/min
	919	U/min
M-Mot	636.1	Nm
bei	1600	U/min
	753	U/min

* Keine Leistungskorrektur

$m_{\text{Rot-Fzg}}$ 60.0 kg

Umgebungswerte:

T_{Umgebung}	-----	°C
$T_{\text{Ansaugluft}}$	-----	°C
H_{Luft}	-----	%
p_{Luft}	-----	hPa
p_{Dampf}	10.0	hPa

24.04.2008 17:50

wiederholen F5

x-Achse = v F6

Kurven-Auswahl F7

Normierung F8



DE

6%



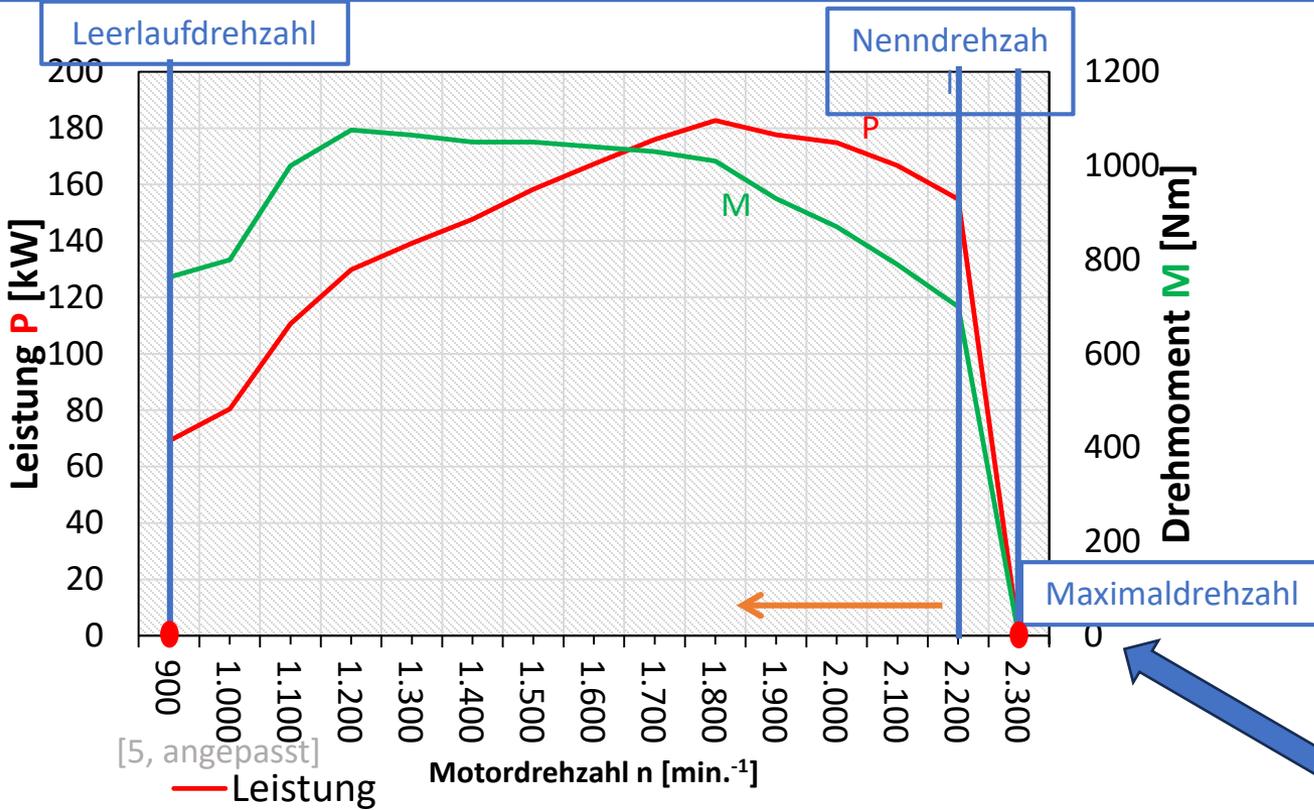
10:54

22.04.2020

Motorkennlinie - Drehzahlbereiche

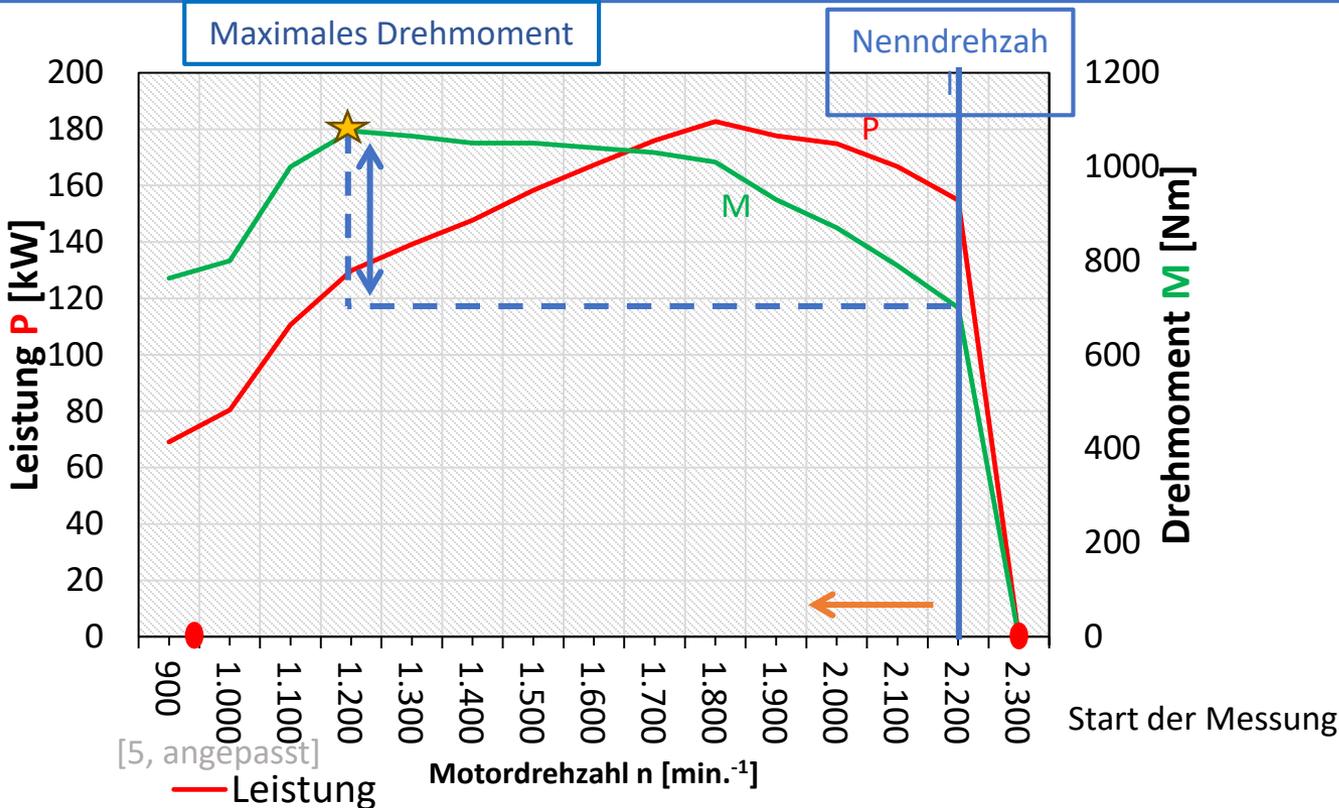


[3]



Start der Messung

Motor Kennlinie - Drehmoment & Drehzahl



Drehmomentanstieg (a_M):

$$a_M = \frac{M_{max} - M_n}{M_n} \times 100 \%$$

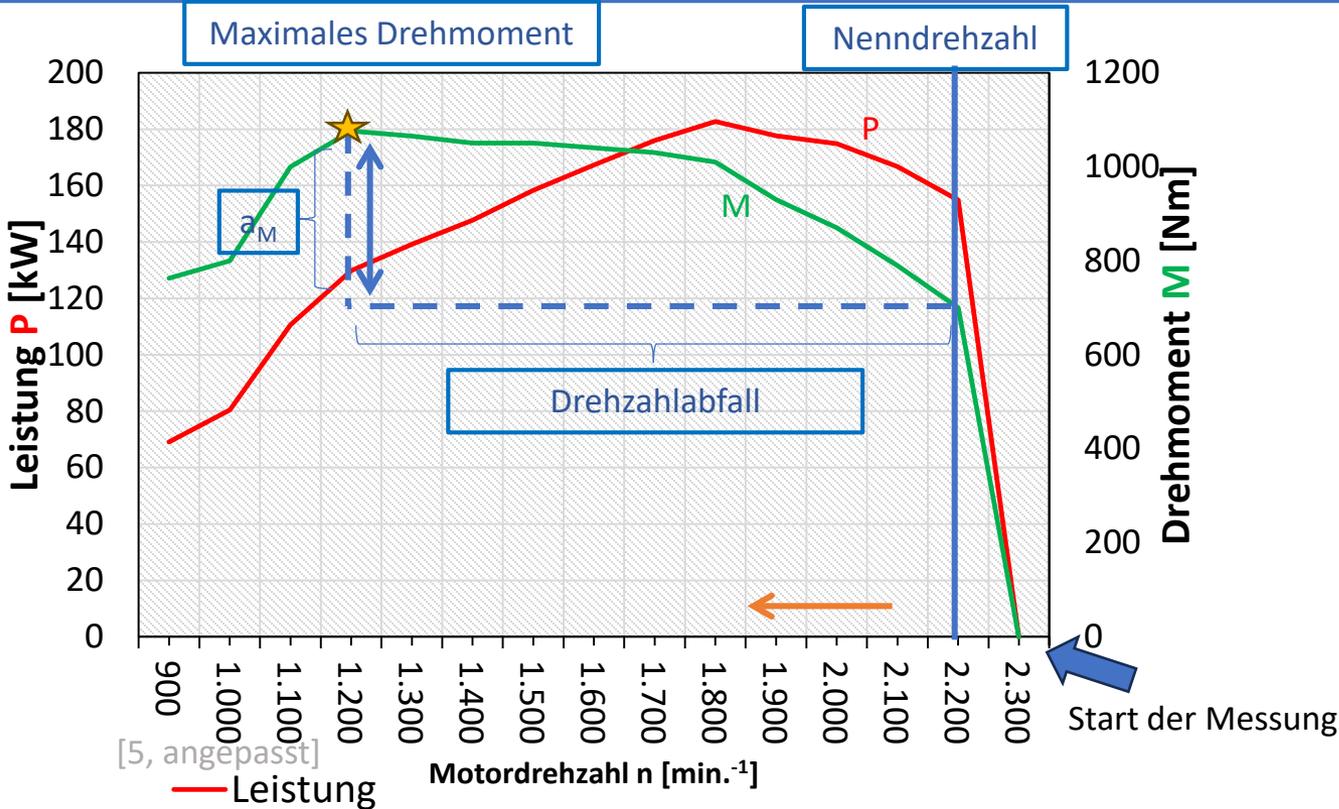
Drehzahlabfall (B):

$$a_n = \frac{n_N - n_{max}}{n_N} \times 100 \%$$

Anfahrmoment (C):

$$C = \frac{M_n}{M_0} \times 100 \%$$

Motorkennlinie – Beispiel roter Traktor



Drehmomentanstieg (a_M):

$$49,8 \% = \frac{1076 - 719}{719} \times 100 \%$$

Drehzahlabfall (B):

$$45 \% = \frac{2200 - 1200}{2200} \times 100 \%$$

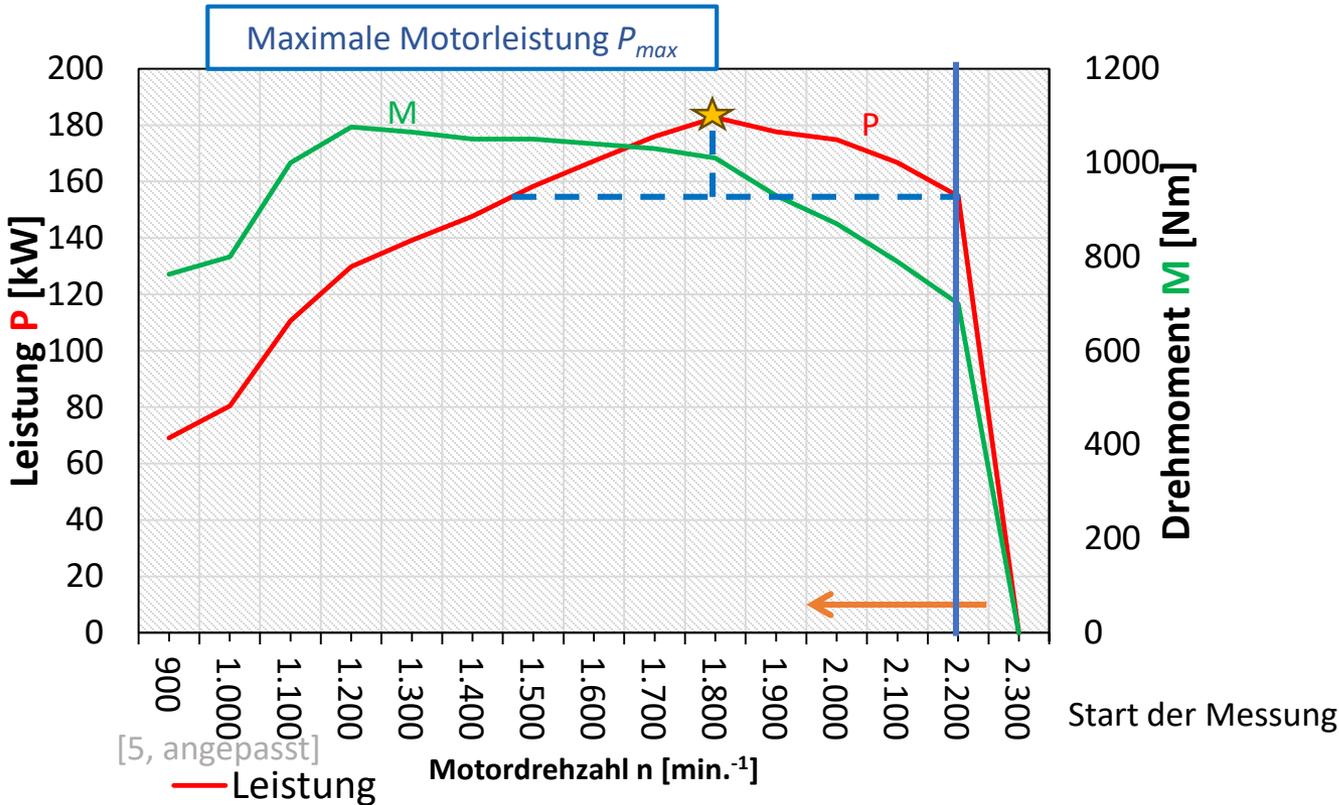
Anfahrmoment (C):

$$109 \% = \frac{700}{763} \times 100 \%$$



[3]

Motorkennlinie - Leistung



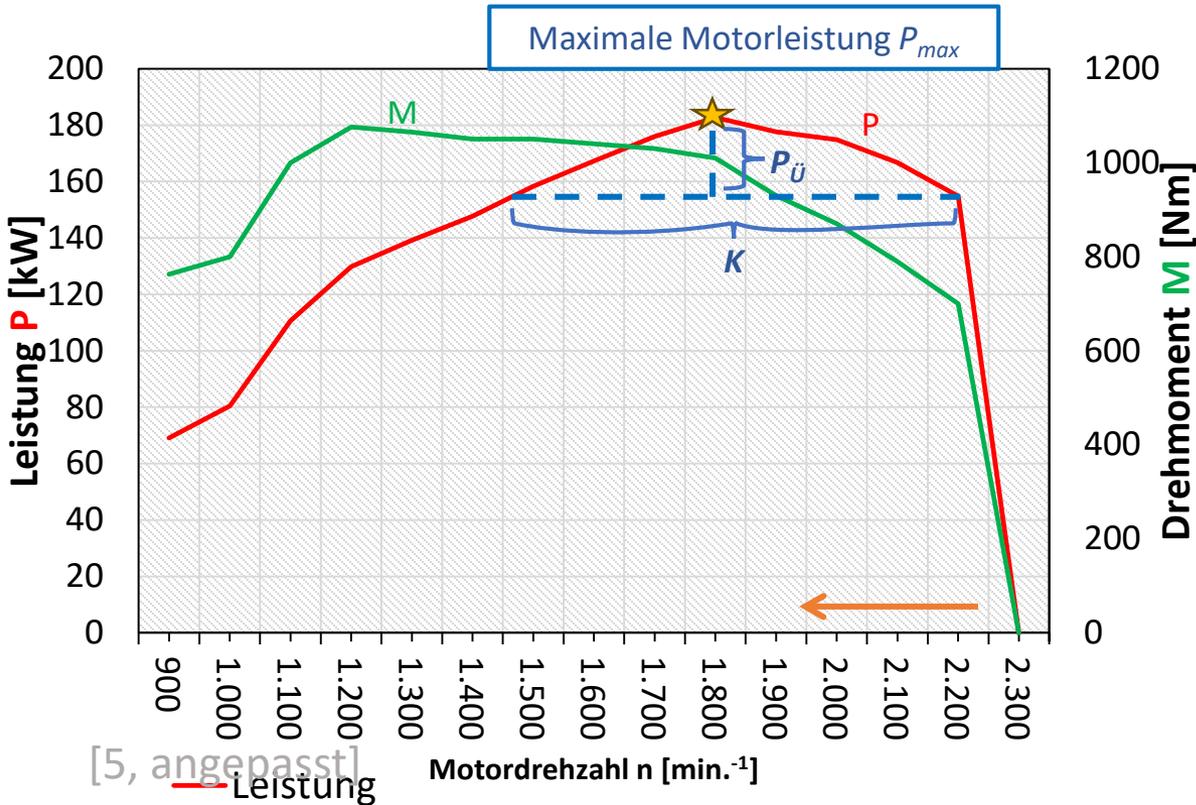
Konstantleistungsbereich (K)

Überleistung (PÜ):

$$P\ddot{U} = Pm_{ax} - PN$$



Motorkennlinie – Beispiel roter Traktor



Konstantleistungsbereich (K)

Überleistung (PÜ):

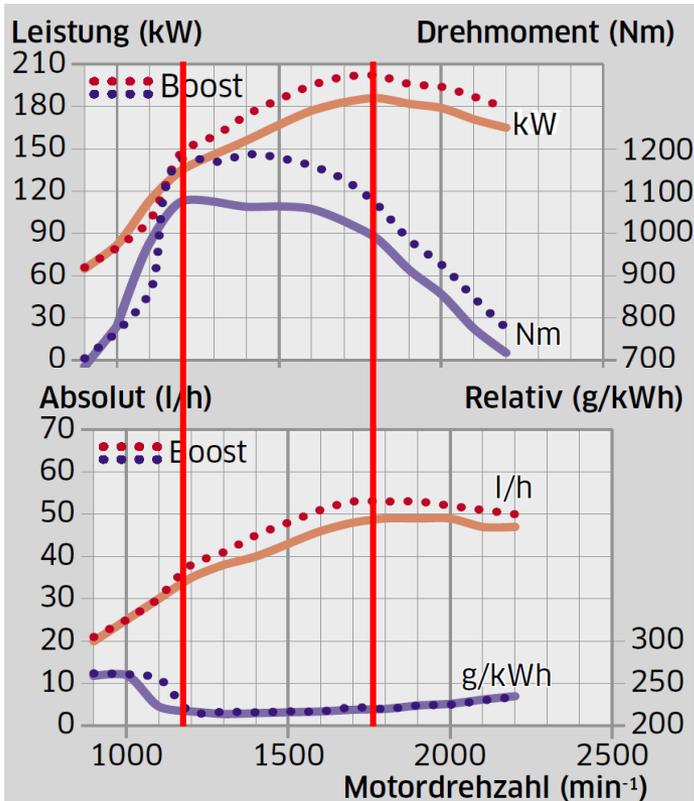
$$28 \text{ kW} = 186 \text{ kW} - 158 \text{ kW}$$



[3]

[5, angepasst]

Motorkennlinie – Kraftstoffverbrauch



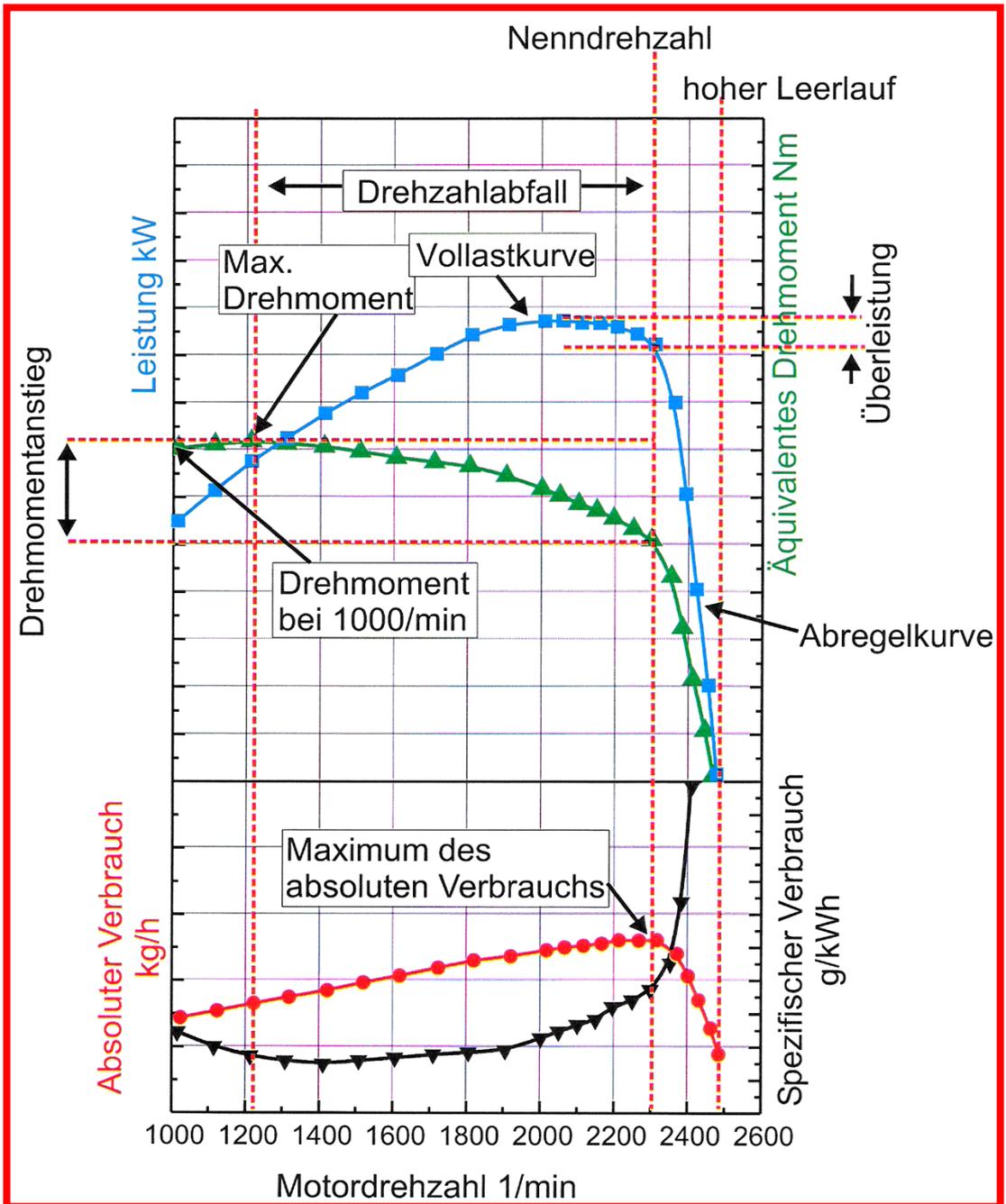
[5, angepasst]

Absoluter Verbrauch (l/h)

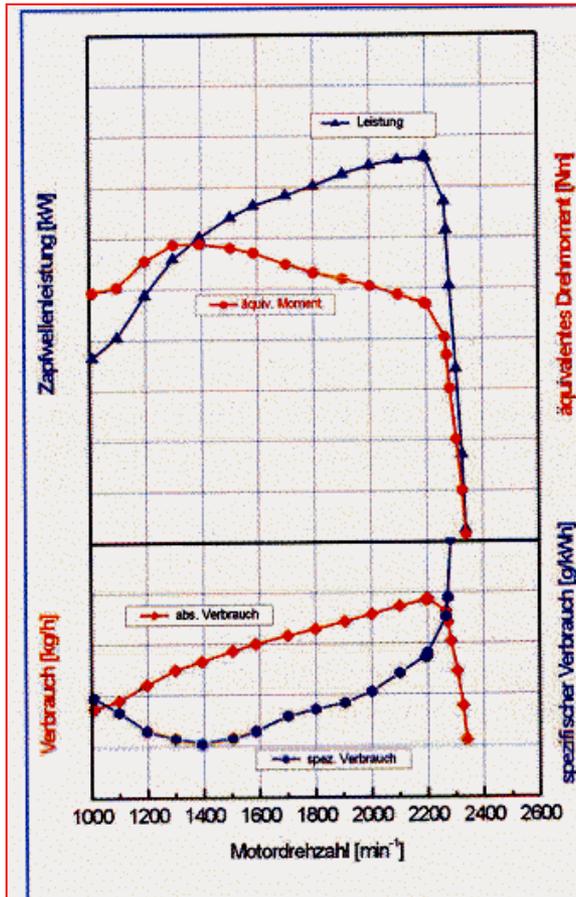
Spezifischer Verbrauch (g/kWh)



[3]

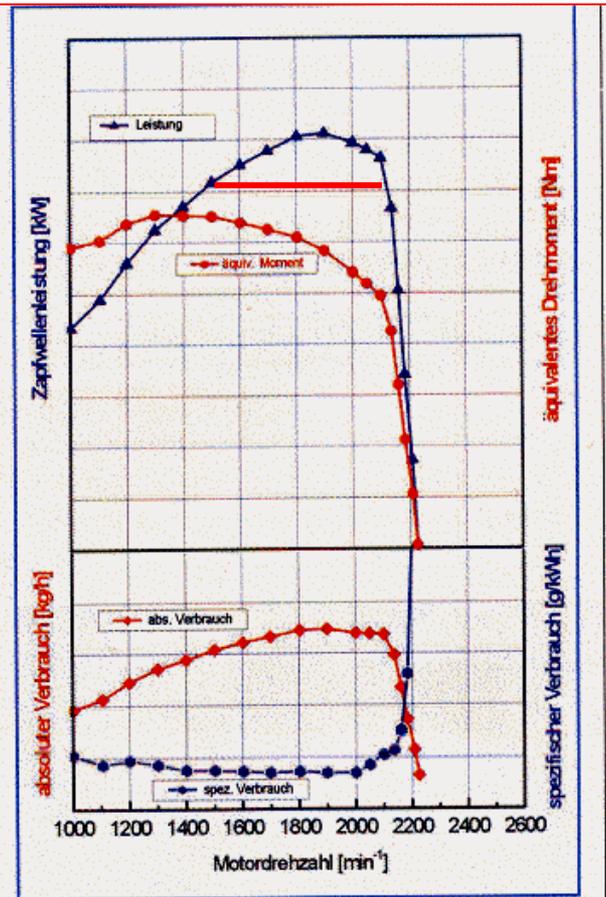


Alter Motor



- Maximalleistung bei Nenndrehzahl

Moderner Motor



- Maximalleistung bei reduzierter Drehzahl
- Überleistung
- Konstantleistung
- geringer spezifischer Verbrauch

Definitionen

Nenndrehzahl: Motordrehzahl, auf die der Motor zum Erreichen seiner Nennleistung konstruktiv ausgelegt ist. Bei Traktoren liegt im Allgemeinen die Nenndrehzahl bei 2100 bis 2500 U/min.

Nenndrehmoment: Drehmoment bei Nenndrehzahl (M_N)

Nennleistung: Leistung bei Nenndrehzahl (P_N)

M_{max} : Maximale Drehmoment

P_{max} : Maximale Leistung

Vollastkennlinie: beschreibt die Abhängigkeit der Drehzahl unter Belastung vom Drehmoment des Motors bei voll gespanntem Regler (Vollgas)

Die Motorleistung ist das Produkt aus Drehmoment und Drehzahl

Definitionen

- » **Drehmomentanstieg**: Differenz des Drehmoments bei Nenndrehzahl (M_n) zum maximalen Drehmoment (M_{max}) (in % des Drehmoments bei Nenndrehzahl)

$$\text{Drehmomentanstieg in \%} = (M_{max} - M_N) / M_N \times 100$$

- » **Drehzahlabfall**: Drehzahlbereich in % um den die Motordrehzahl von Nenndrehzahl bis zum max. Drehmoment abfällt.

$$\text{Drehzahlabfall in \%} = (n_N - n_{Max}) / n_N \times 100$$

- » **Überleistung**: Plus an Leistung gegenüber der Leistung bei Nenndrehzahl

- » **Konstantleistungsbereich**: Der Drehzahlbereich, bei Motoren mit Überleistung, von P_N - bis die Leistung bei fallender Drehzahl wieder die Nennleistung erreicht

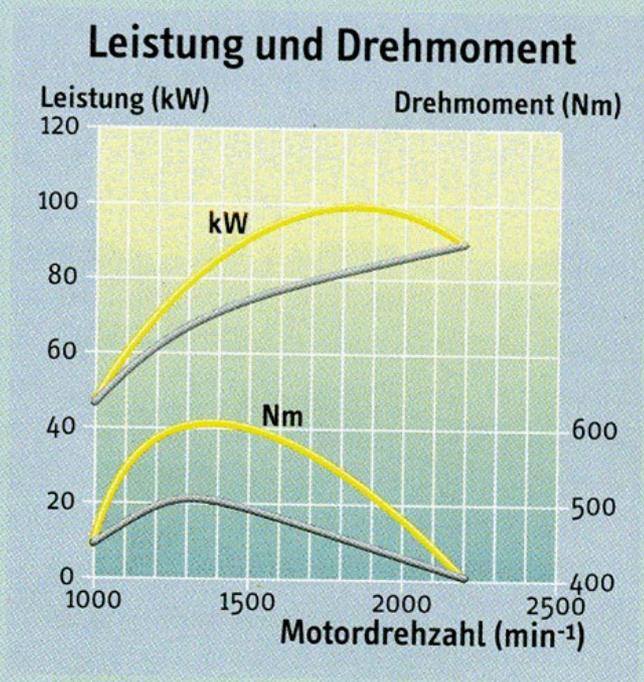
Leistung und Drehmoment

Die Kraft (also das Drehmoment) eines Motors wird in Newton-Meter (Nm) gemessen. 1 Nm ist etwa die Kraft, die 100 g an einem 1 m langen Hebel ausüben. Die Leistung in Kilowatt (kW) errechnet sich aus dem Drehmoment (also der Kraft) mal der Drehzahl pro Minute (min^{-1}). Um bei dieser vereinfachten Rechnung auf die richtige Einheit zu kommen, muss das Ergebnis nur noch durch den Faktor 9 550 geteilt werden.

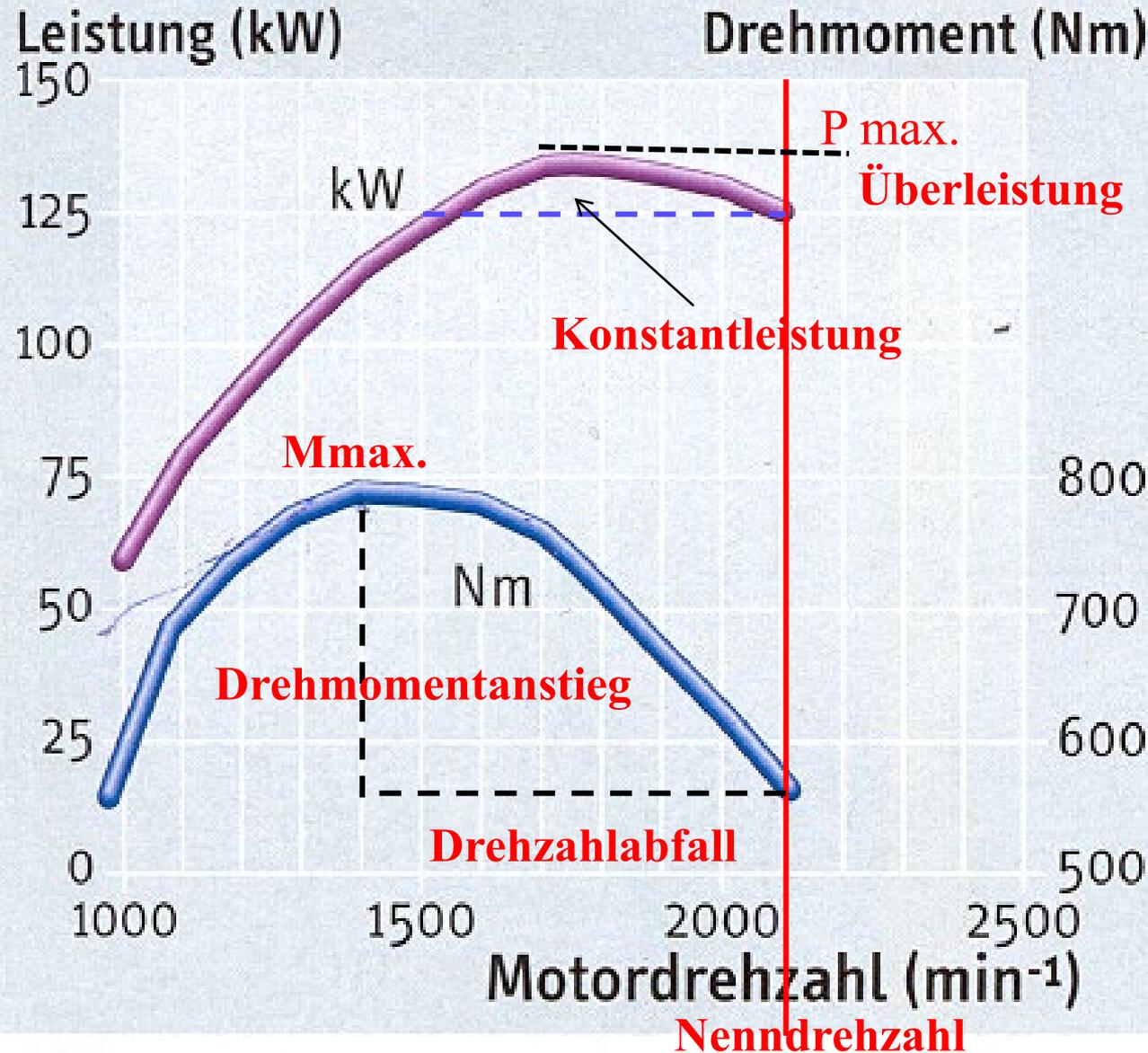
Die gelben Kurven zeigen den typischen Verlauf von Leistung (oben) und Drehmoment (unten) bei einem modernen Motor: Das Drehmoment beträgt in diesem Beispiel 400 Nm bei der Nenndrehzahl von $2\,200\ \text{min}^{-1}$. Daraus errechnet sich eine Nennleistung von

92 kW. Aufgrund des starken Drehmomentanstiegs (untere gelbe Kurve) auf 530 Nm bei $1\,800\ \text{min}^{-1}$ steigt auch die Leistung (obere gelbe Kurve) auf 100 kW an. Der Motor hat also gut 8 kW „Überleistung“. Erst bei $1\,500\ \text{min}^{-1}$ fällt die Leistung wieder unter die Nennleistung. Diesen Drehzahlbereich (hier gute 30 %) nennt man „Konstantleistungsbereich“.

Die schwarzen Kurven zeigen zum Vergleich einen Motor ohne „Konstantleistung“ oder gar „Überleistung“. Hier ist der Drehmomentanstieg (untere schwarze Kurve) weniger steil, sodass die Leistung (obere schwarze Kurve) bei sinkender Motordrehzahl sofort abfällt.

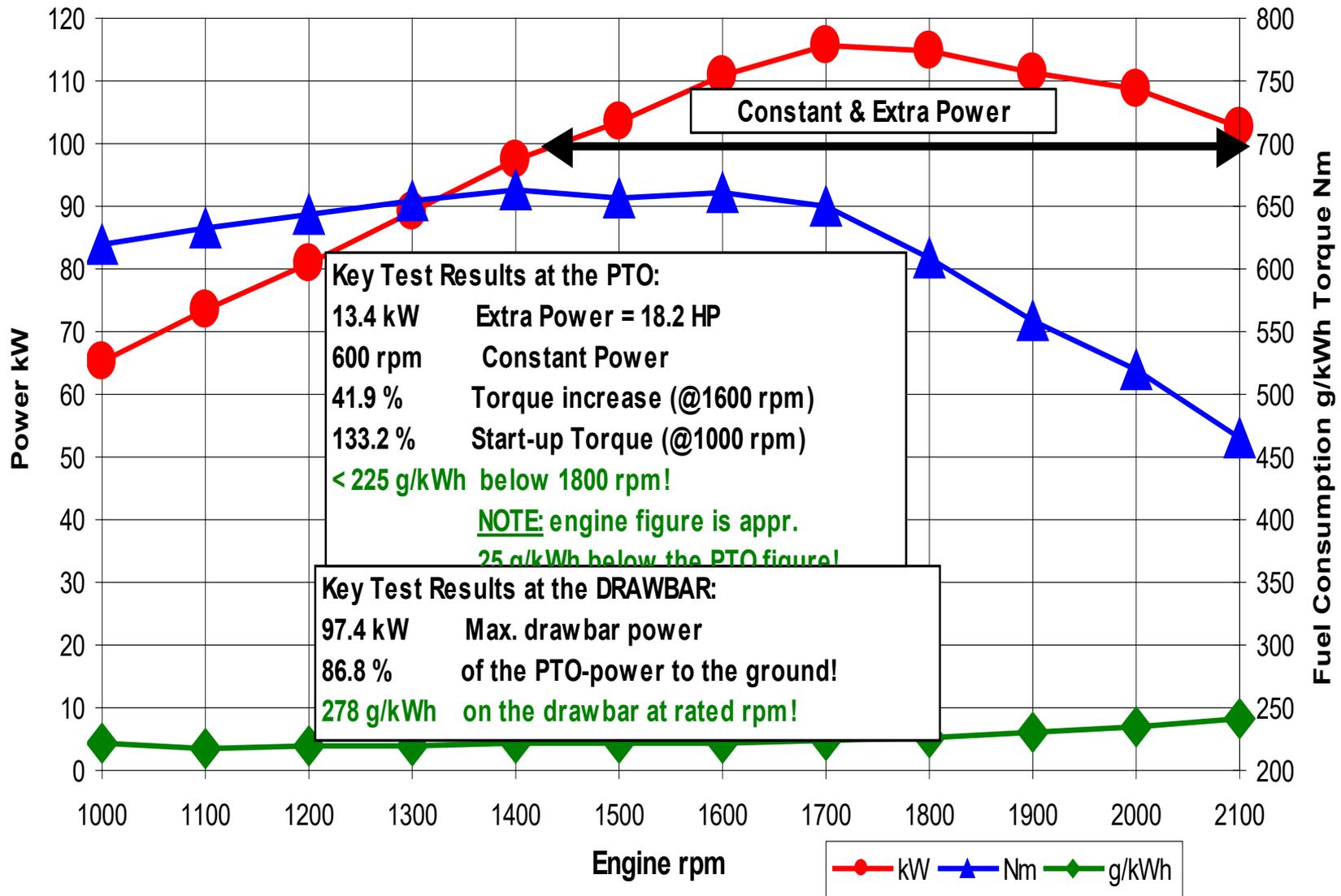


Leistung und Drehmoment

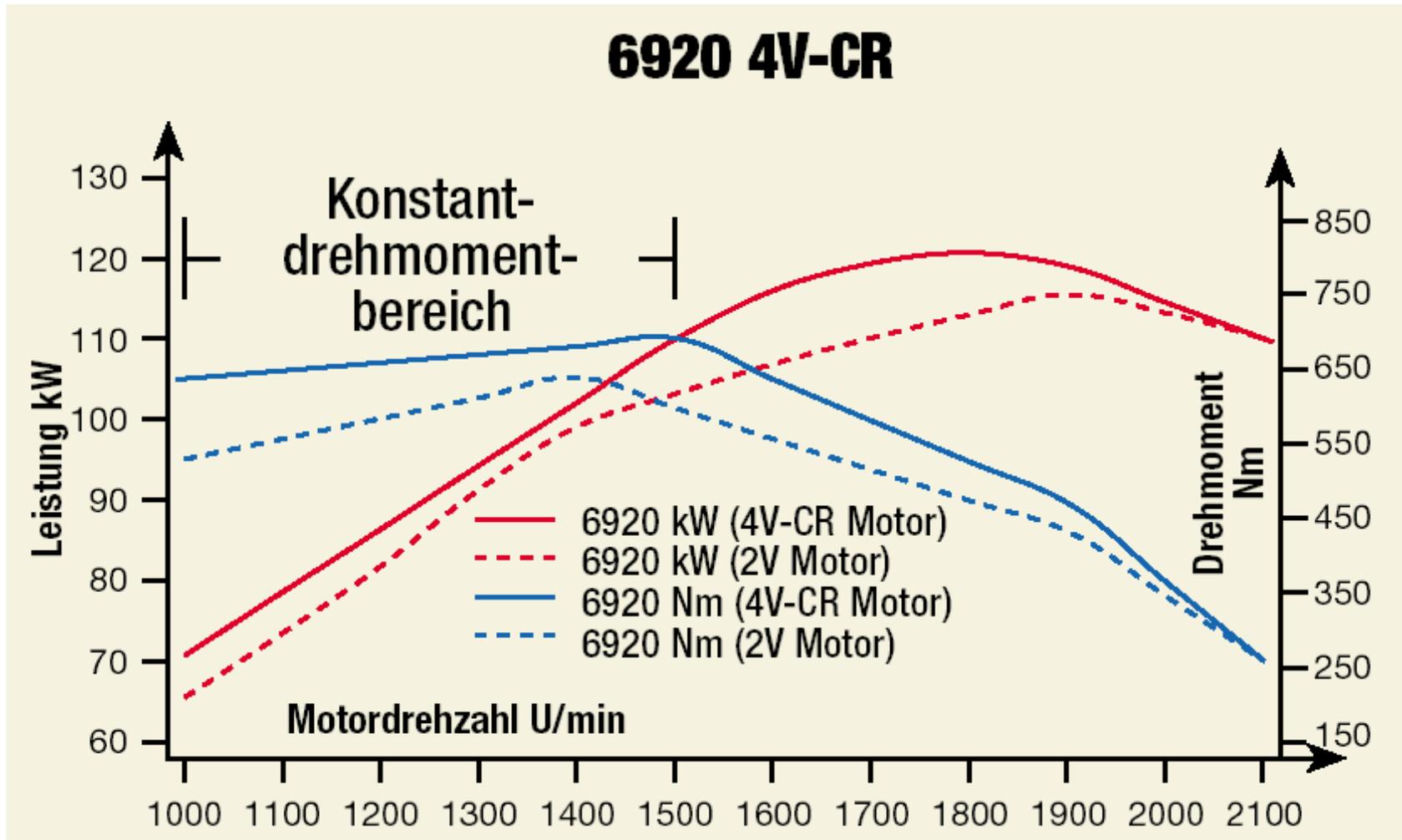


Darstellung von Leistung und Drehmoment der Zeitschrift Profi, hier Fendt 818 Vario

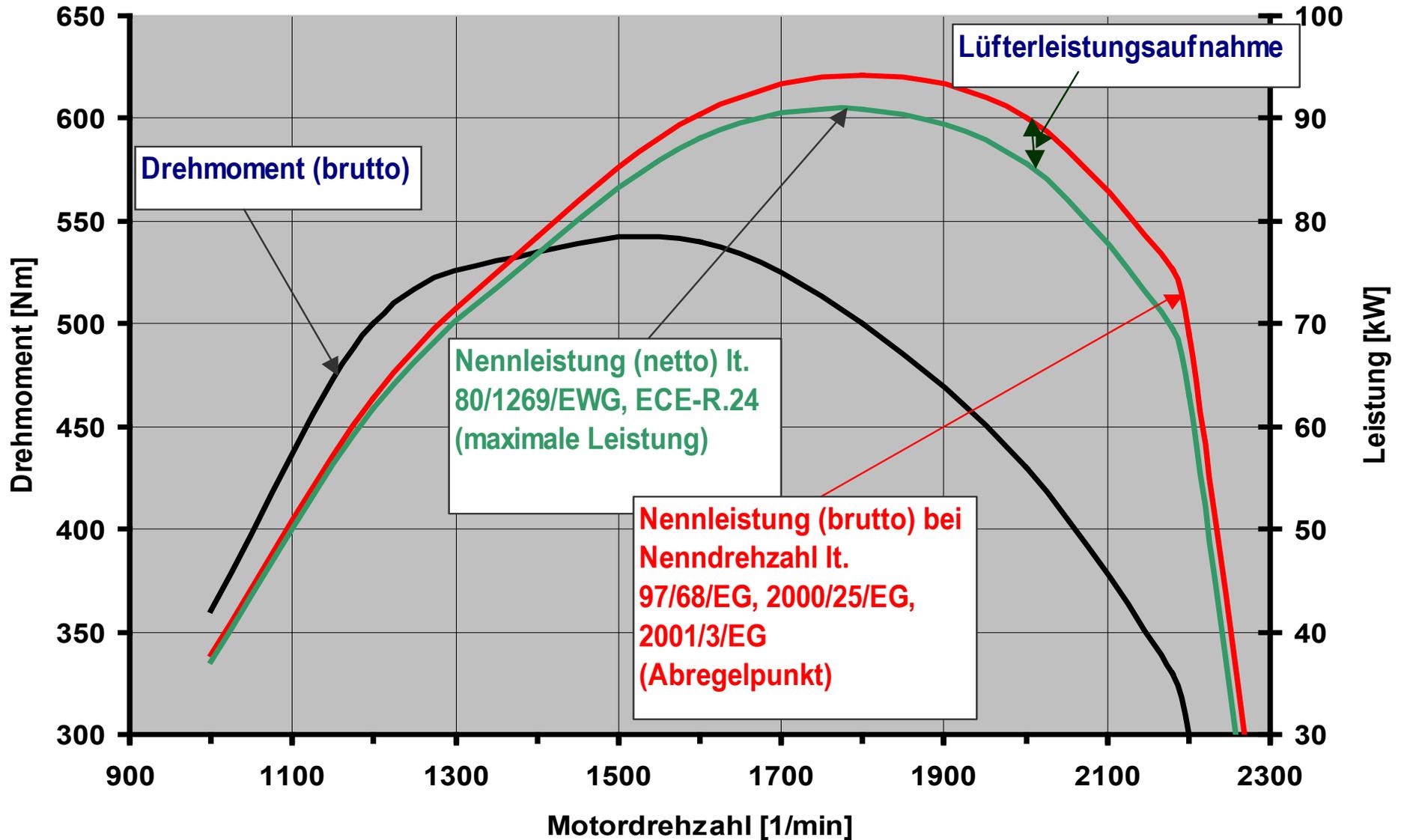
Beispiel für guten Standard (DLG Messung)



Charakteristik Motor J.D. Vergleich 42V-CR u.



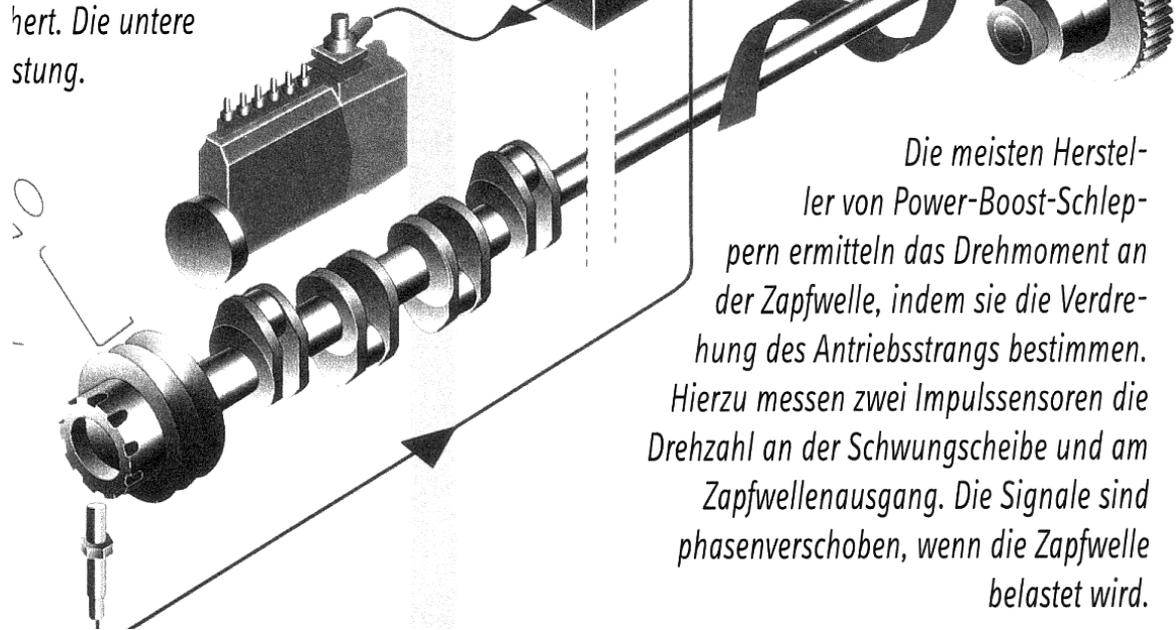
Lüfterleistungsaufnahme



Power Boost (Zusatzleistung) an der Zapfwelle

2000 2200
Umdrehzahl (min^{-1})

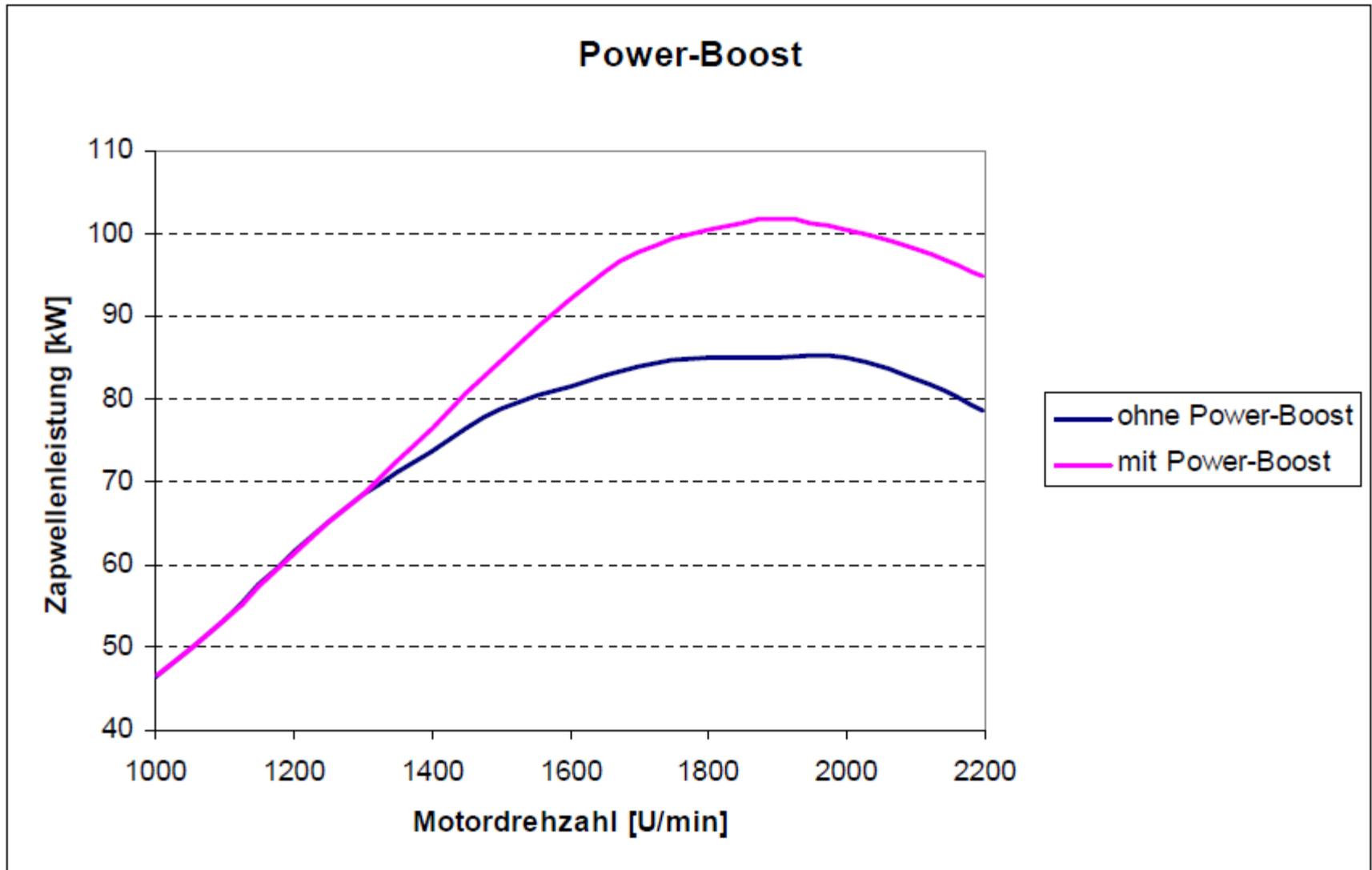
herst. Die untere
Stellung.



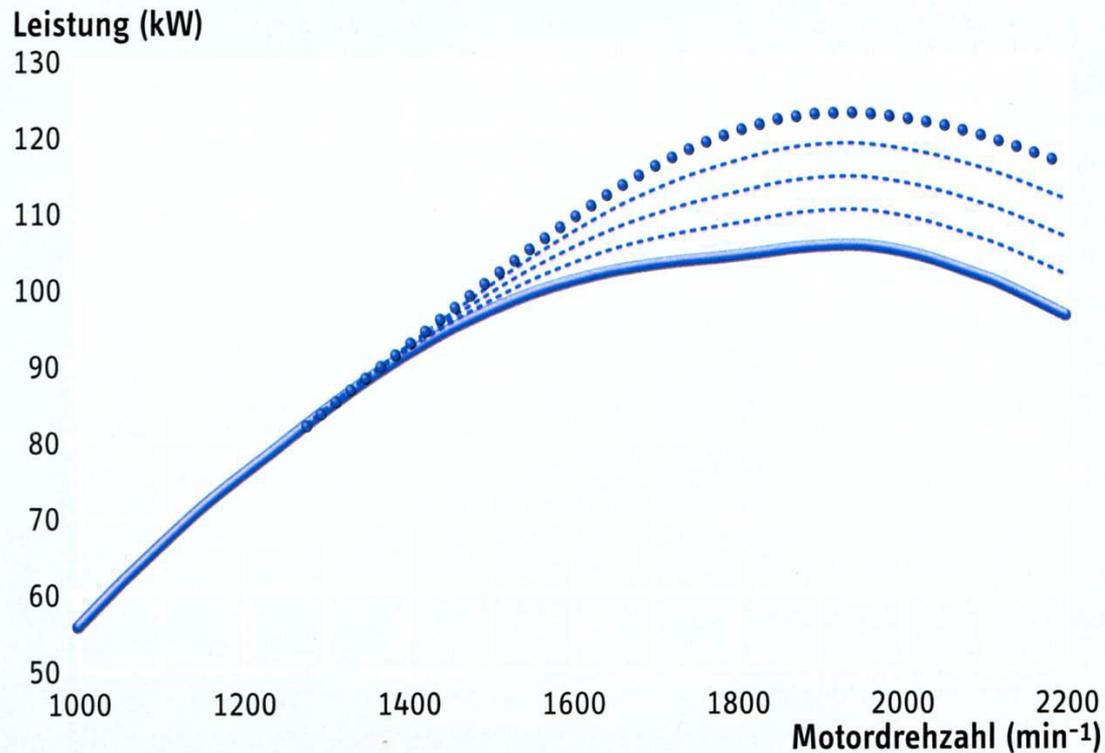
Die meisten Hersteller von Power-Boost-Schleppern ermitteln das Drehmoment an der Zapfwelle, indem sie die Verdrehung des Antriebsstrangs bestimmen. Hierzu messen zwei Impulssensoren die Drehzahl an der Schwungscheibe und am Zapfwellenausgang. Die Signale sind phasenverschoben, wenn die Zapfwelle belastet wird.

Das Drehmoment an der Zapfwelle wird von Sensoren gemessen, die das Kraftstoff-Einspritzsystem steuern, um mehr Drehmoment freizugeben, wenn man schwierige Bedingungen zu bewältigen hat. Sobald die Belastung abnimmt, sinkt auch die Leistung wieder ab, was einen perfekten Ausgleich zwischen optimaler Leistungsabgabe und bestmöglichem Kraftstoffverbrauch zur Folge hat.

Motoren mit Power-Boost



Leistung beim New Holland TS 135 A

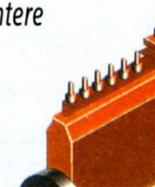


Beim New Holland TS 135 A sind fünf Volllastkennlinien im Motorsteuergerät gespeichert. Die untere Linie zeigt den Verlauf der Leistung ohne Boost und die obere die maximale Boost-Leistung.

Dazwischen wird ab 1300 Motorumdrehungen in Stufen

Leistung bei Bedarf hinzugeschaltet.

Grafik: Tovornik

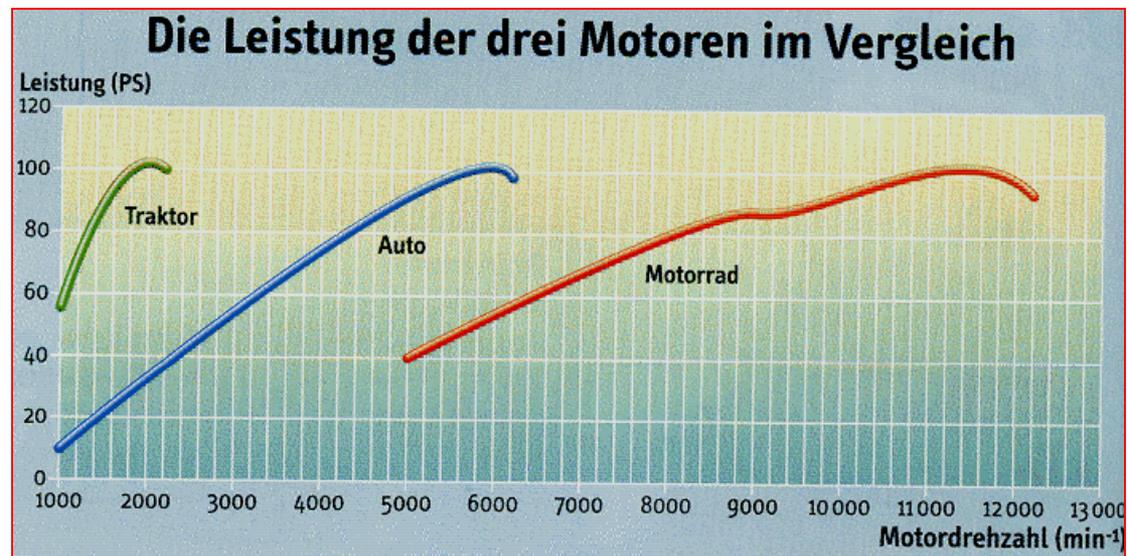
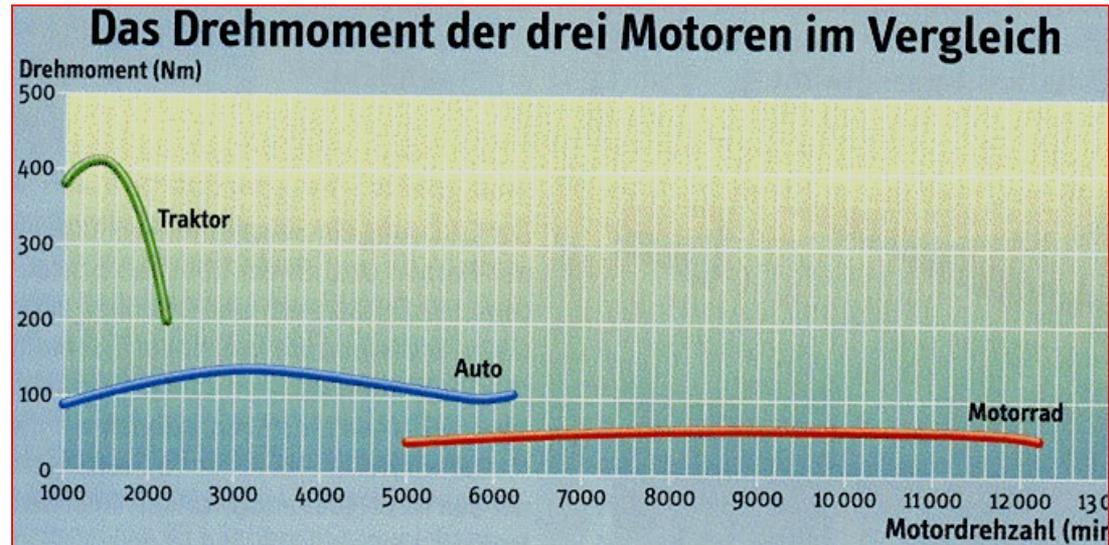


TECHNISCHE DATEN IM VERGLEICH

Verschiedene Motoren mit 74 kW/100 PS Leistung

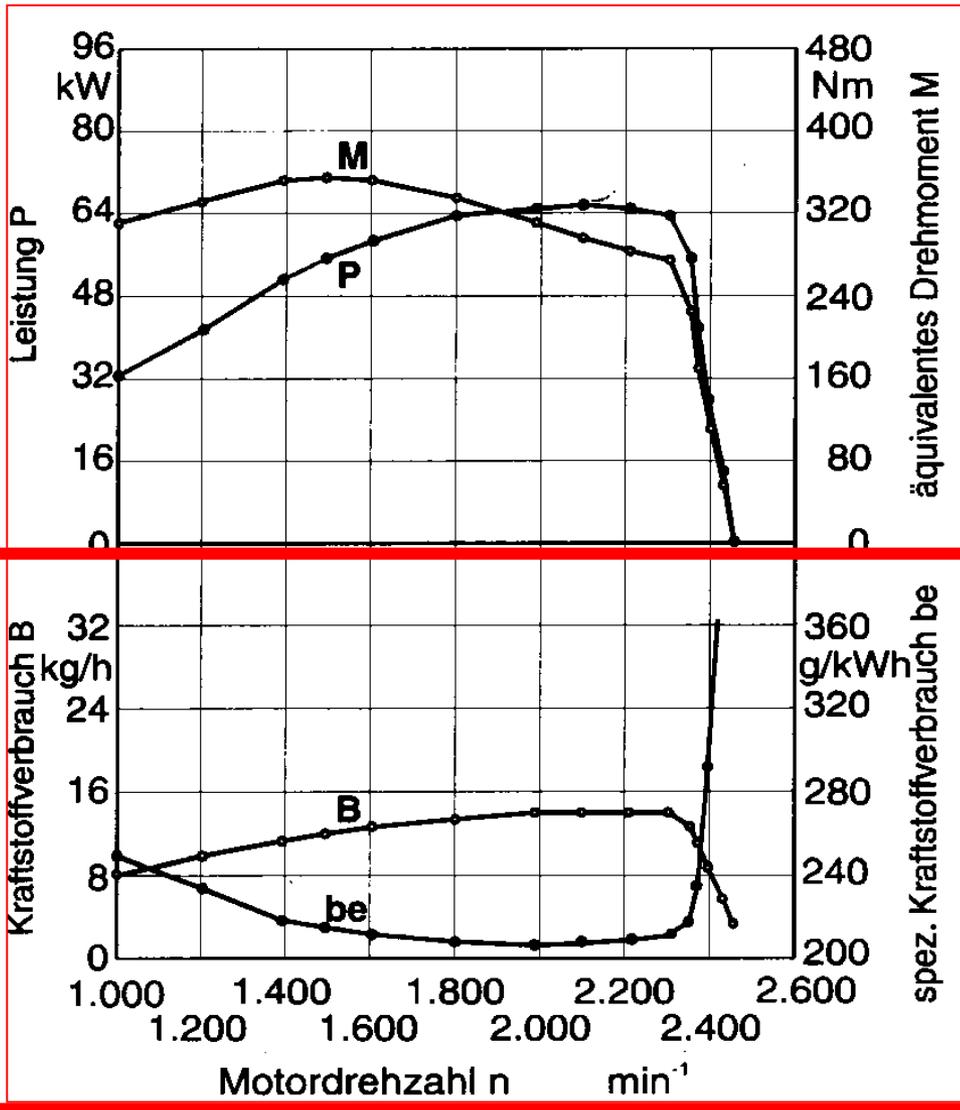
	John Deere 6400	Opel Astra 1,6 Si	Kawasaki ZXR 750
Motorbauart	Diesel	Otto	Otto
Motorleistung	74 kW/100 PS	74 kW/100 PS	74 kW/100 PS
Zylinderzahl	4	4	4
Hubraum	4 530 cm ³	1 597 cm ³	749 cm ³
Nenn Drehzahl	2 300 min ⁻¹	5 800 min ⁻¹	11 000 min ⁻¹
maximales Drehmoment	404 Nm	135 Nm	72 Nm
...bei Drehzahl	1 400 min ⁻¹	3 400 min ⁻¹	8 800 min ⁻¹
Anzahl der Vorwärtsgänge	12 bis 24	5	6
Höchstgeschwindigkeit	40 km/h	185 km/h	245 km/h
Leergewicht	4 100 kg	1 055 kg	234 kg
Zulässiges Gesamtgewicht	7 500 kg	1 555 kg	415 kg
Nutzlast	3 400 kg	500 kg	184 kg

100 PS im Vergleich





Volllastdiagramm mit Verbrauch



$$P \text{ [kW]} = \frac{M \text{ [Nm]} \cdot n \text{ [min}^{-1}\text{]}}{9550}$$

Verbrauch

B = absoluter Verbrauch
[kg/h]

Steigt mit der Drehzahl

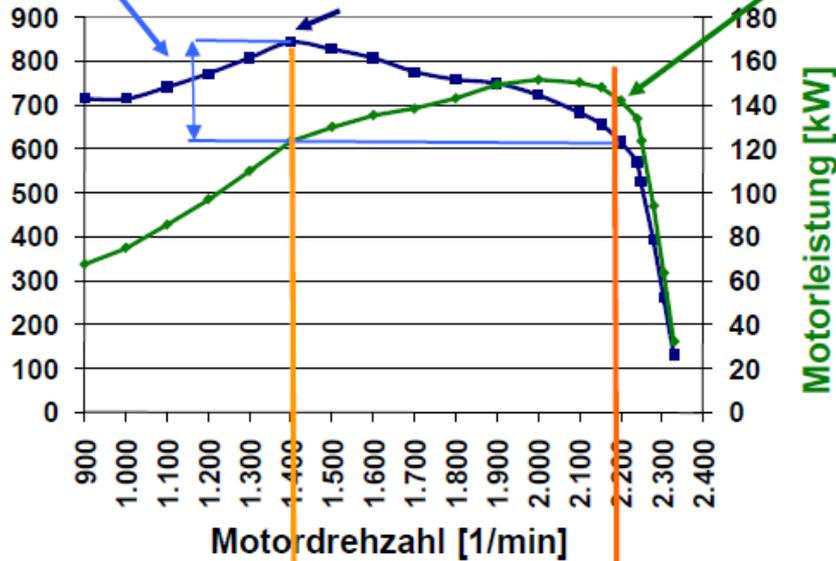
be = spezifischer Verbrauch
[g/kWh] geringste Werte bei
der stärksten Belastung

Drehmomentanstieg

Äquivalentes Drehmoment [Nm]

Nennleistung bei Nenndrehzahl

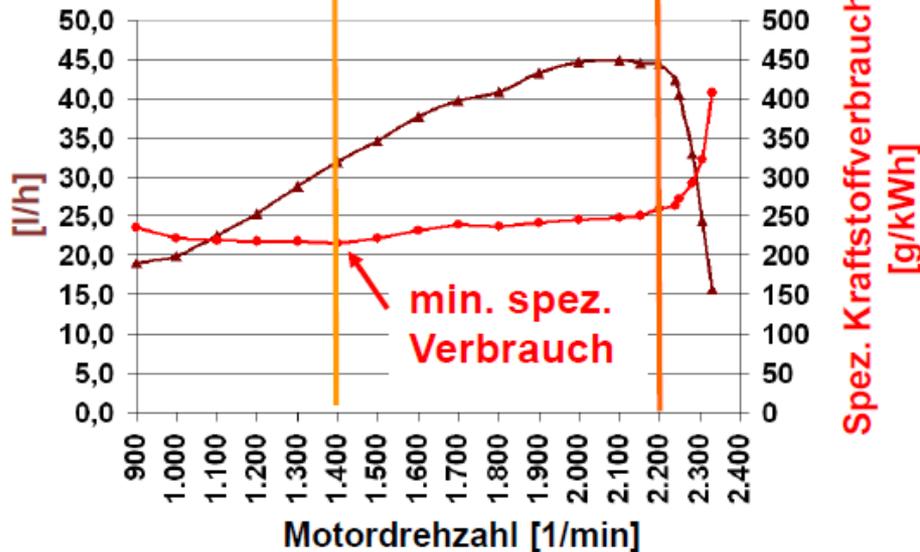
Max. Drehmoment



Motorlinien - Vollastkurven

$$l/h = \frac{g/kWh * kW}{840g/l}$$

Kraftstoffverbrauch [l/h]



- ➔ **Prospektangaben beziehen sich meist auf min. spezifischen Verbrauch!**
- ➔ **Begrenzte Aussagekraft!**

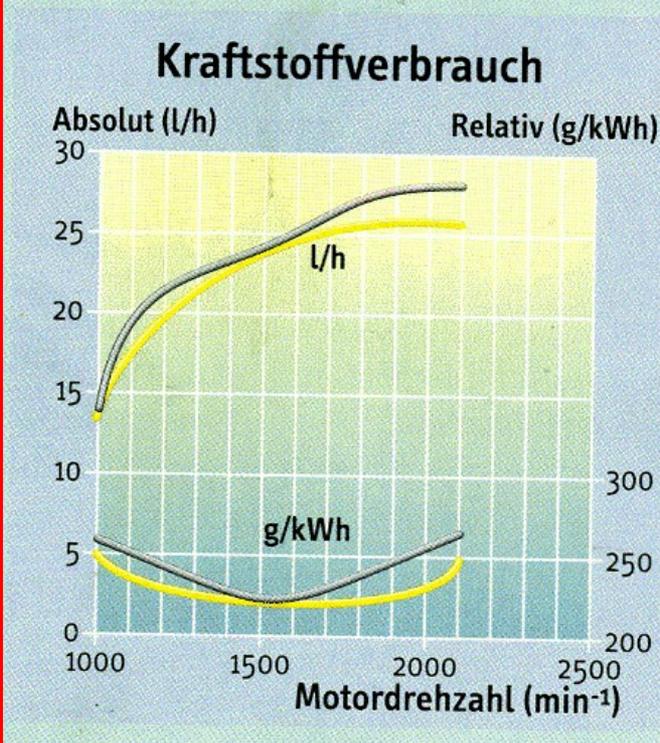
Kraftstoffverbrauch unter Volllast

Die Grafik zeigt den Kraftstoffverbrauch unter Volllast. Der spezifische Verbrauch (untere Kurven) wird in Gramm je Kilowattstunde (g/kWh) Zapfwellenleistung angegeben. Multipliziert man diesen Wert mit der tatsächlichen Leistung bei der entsprechenden Motordrehzahl (und als Faustzahl den Faktor 1,2 für die Umrechnung von Gewicht auf Volumen), erhält man den absoluten Verbrauch in l/h (obere Kurven).

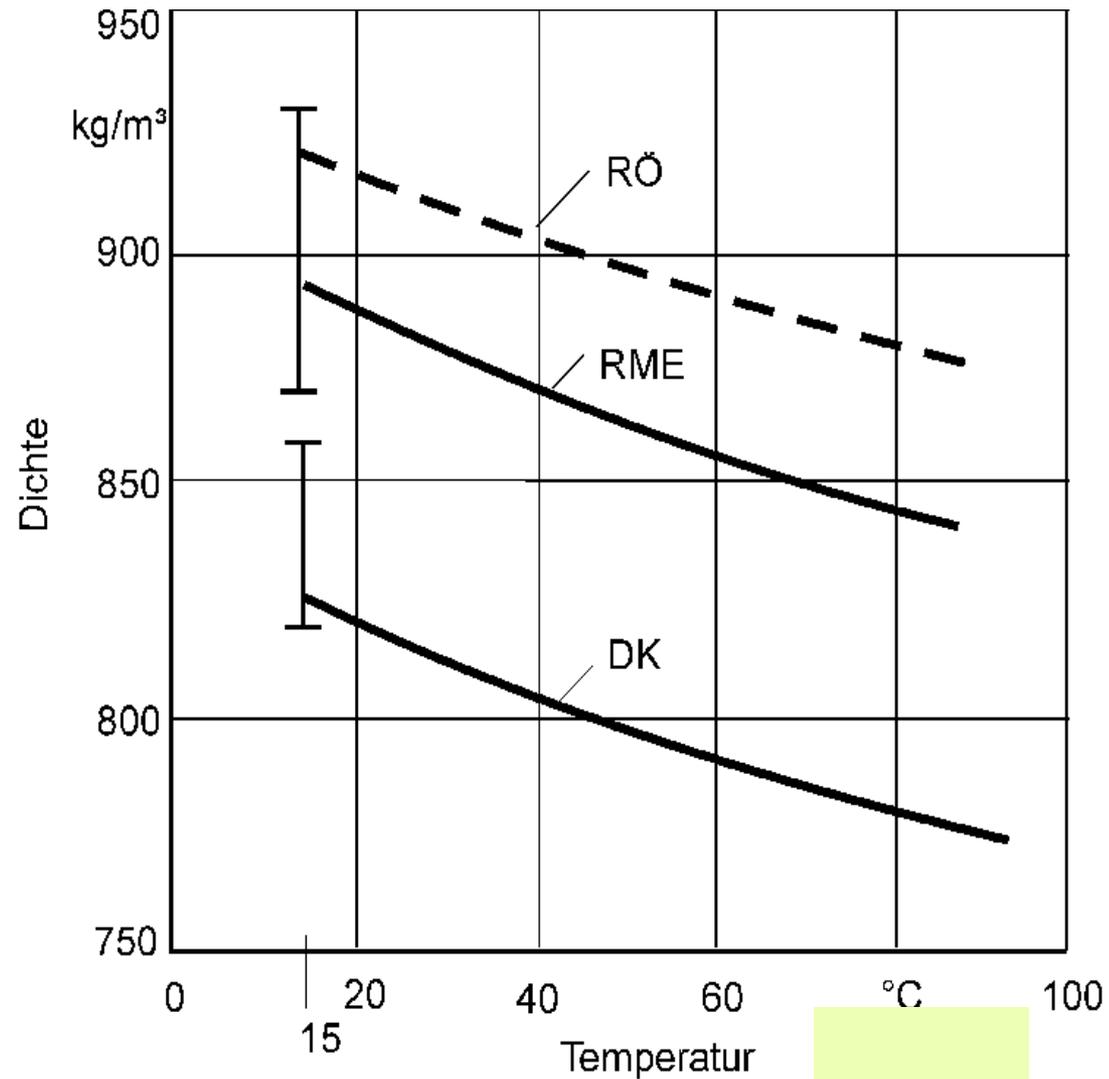
Die gelben Kurven zeigen den typischen Verlauf bei einem sparsamen Motor: Die Kurve für den spezifischen Verbrauch liegt im Idealfall möglichst niedrig und hat einen flachen Verlauf. Das heißt, bei Nenndrehzahl liegt der Verbrauch bei 250 g/kWh und sinkt dann relativ schnell und über einen weiten Drehzahlbereich auf nur 220 g/kWh.

Dementsprechend bleibt der absolute Verbrauch trotz steigender Motorleistung zunächst auf etwa gleichem Niveau, bevor er sinkt.

Die schwarzen Kurven zeigen zum Vergleich einen weniger sparsamen Motor. Hier liegt der spezifische Verbrauch (untere schwarze Kurve) nur in einem schmalen Drehzahlbereich auf einem niedrigen Niveau. Dementsprechend ist auch der absolute Verbrauch über den gesamten Drehzahlbereich höher.



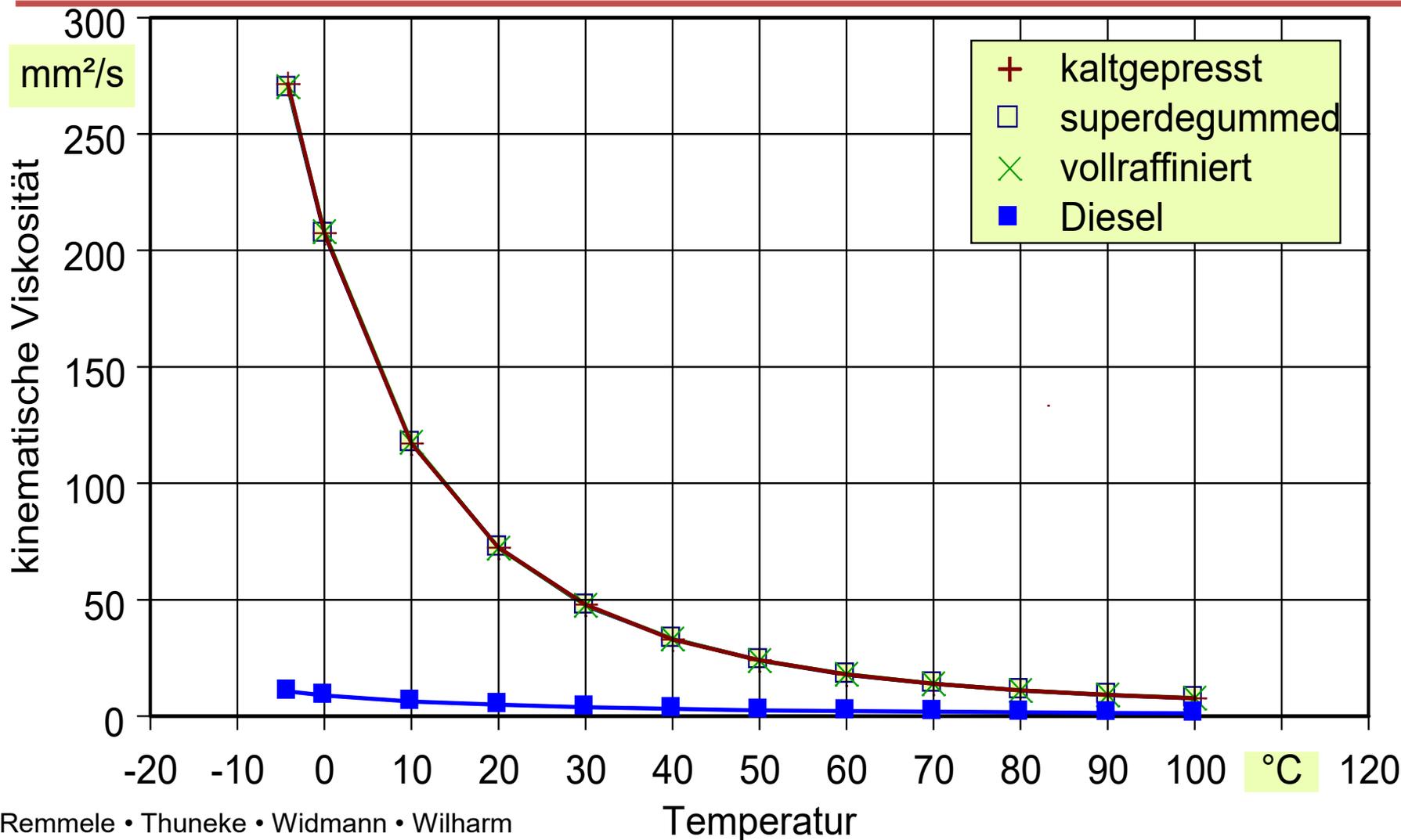
Dichte-Temperaturverhältnis verschiedener Kraftstoffe



Quelle: Tschöke, H. 1997

Remmele

Viskositätsverlauf von Rapsöl verschiedener Raffinationsstufen und Dieselkraftstoff



Remmele • Thuneke • Widmann • Wilharm

Definitionen

» Kraftstoffverbrauch:

» **Motorkennfeld**: zeigt den spezifischen Kraftstoffbedarf eines Motors für den gesamten Lastbereich, d.h. bei unterschiedlicher Leistungsabnahme, in Form eines **Muscheldiagrammes**

B = absoluter Kraftstoffverbrauch (B) in kg/h (steigt mit der Motordrehzahl parallel zu Motorleistung an

b_e = spezifischer Kraftstoffverbrauch/ Leistung in g/kWh
o. kg/ kWh

Dichte Kraftstoff: 0,82

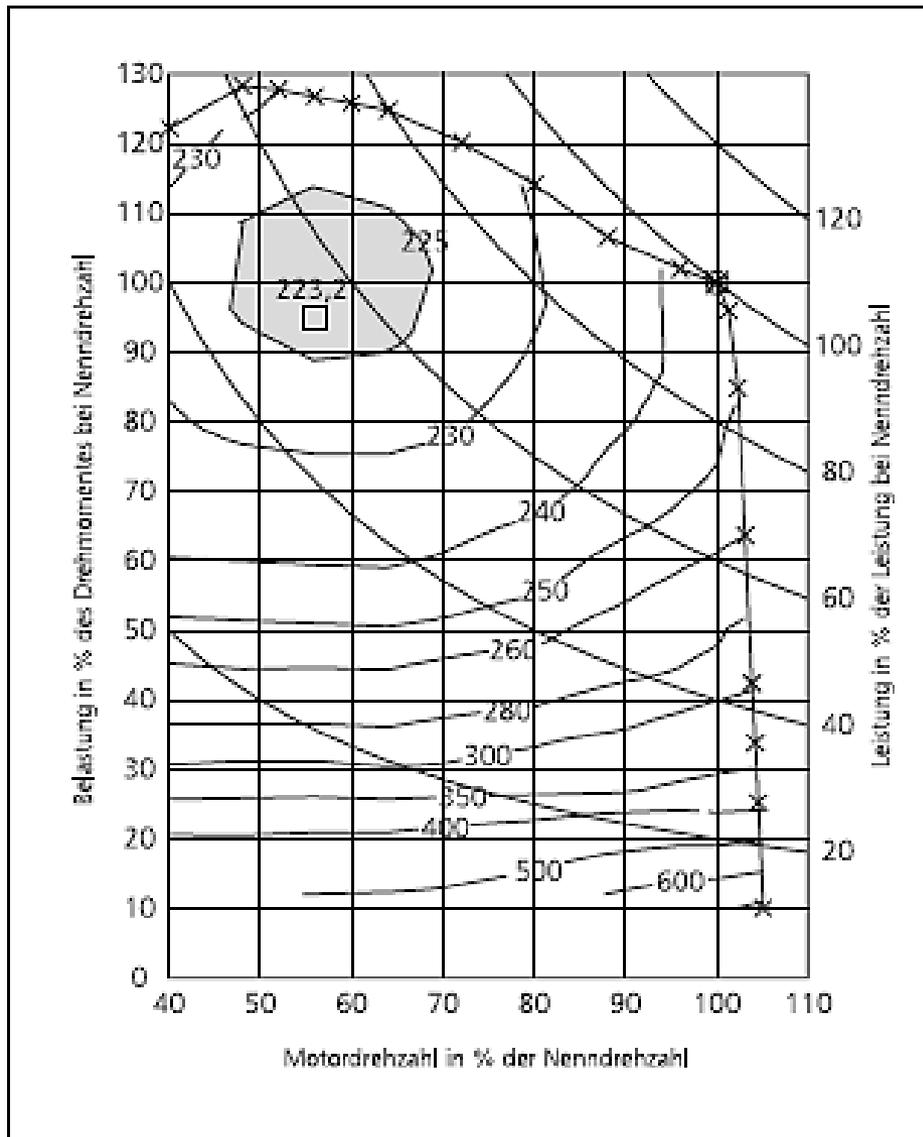
Kraftstoffverbrauch (l/h) eines 100 kW Traktors im Teillastbereich bei unterschiedlichen Drehzahlen im Vergleich zum Fahren mit Vollgas

[UPPENKAMP 2006]

Angeforderte Leistung (kW)	Drehzahl (U/min)						Vollgas
	1100	1300	1500	1700	1900	2100	
20	6,2	6,1	6,4	7,0	8,0	9,5	10,5
40	11,2	11,0	11,2	11,8	12,8	14,2	15,0
60	16,4	16,0	16,1	16,7	17,6	19,0	19,5
80		21,1	21,1	21,6	22,5	23,8	24,0
100				26,5	27,4	28,6	

- ➔ Im Drehzahlbereich von ca. 1300 bis 1700 U/min ist der Treibstoffverbrauch am geringsten.
- ➔ Ein guter Fahrer versucht in diesem Bereich zu fahren.

Motorkennfeld



Das Motorkennfeld (Muscheldiagramm)

Im Gegensatz zur Vollastkurve stellt das Motorkennfeld den spezifischen Treibstoffverbrauch über den ganzen Motorbetriebsbereich von Nulllast bis Vollast und von Tiefdrehzahl bis zur oberen Abregeldrehzahl dar. Auf dem Prüfstand werden am Motor etwa in 100 Einzelmesspunkten, verteilt im ganzen Drehzahl- und Lastbereich von unbelastet bis Vollast, der Treibstoffverbrauch gemessen. Die Punkte gleichen Verbrauches werden dann mit Linien verbunden und es entstehen die sogenannten Muschelkurven oder Kurven gleichen Verbrauches.

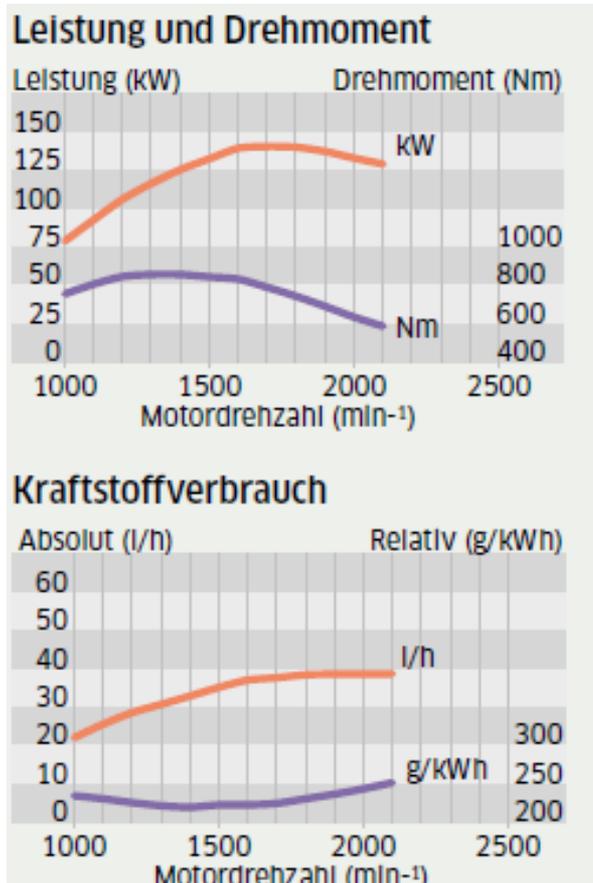
Muscheldiagramm II

licht die Darstellung des Kennfeldes für den spezifischen Treibstoffverbrauch in g/kWh . Auf dem Prüfstand wird am Traktor etwa in 100 Einzelmesspunkten, verteilt im Drehzahlbereich von 1000 min^{-1} bis zur obersten Leerlaufdrehzahl und im Lastbereich von unbelastet bis Vollast, der Treibstoffverbrauch gemessen. Die Punkte gleichen Verbrauches werden dann mit Linien verbunden und es entstehen die sogenannten Muschelkurven oder Kurven gleichen Verbrauches. Abbildung 2 zeigt das Muscheldiagramm eines Traktormotors. Die Achse Motor-

drehzahl (Abszisse) stellt den nutzbaren Drehzahlbereich in Prozent der Nenn-drehzahl dar, die Achse Belastung (linke Ordinate) das nutzbare Drehmoment in Prozent des Drehmomentes bei Nenn-drehzahl und die Achse Leistung (rechte Ordinate) die Leistung in Prozent der Leistung bei Nenndrehzahl. Innerhalb dieser Fläche sind die Linien konstanten Treibstoffverbrauches eingetragen. Wir erkennen sofort: Die Zone mit dem besten spezifischen Treibstoffverbrauch $< 240 \text{ g/kWh}$ (schraffiert) liegt im oberen eher linken Teil der Fläche, im Bereich der Be-

lastung über 70% und einer reduzierten Motordrehzahl. Will man also treibstoffsparend Traktor fahren, muss man durch richtige Drehzahl und Gangwahl versuchen, den Motor in dieser treibstoffgünstigen Zone zu betreiben. Man sollte also wenn immer möglich einen grösseren Gang wählen und die Motordrehzahl auf etwa 60 bis 80% der Nenn-drehzahl, das sind beim Traktor etwa $1500 \text{ bis } 1800 \text{ min}^{-1}$, reduzieren. Die Grafik zeigt es: In diesem Drehzahlbereich arbeitet der Dieselmotor optimal, mit dem geringsten spezifischen Treibstoffverbrauch und ausserdem noch bei reduziertem Lärm und Abgasausstoss.

Daten Fendt 720

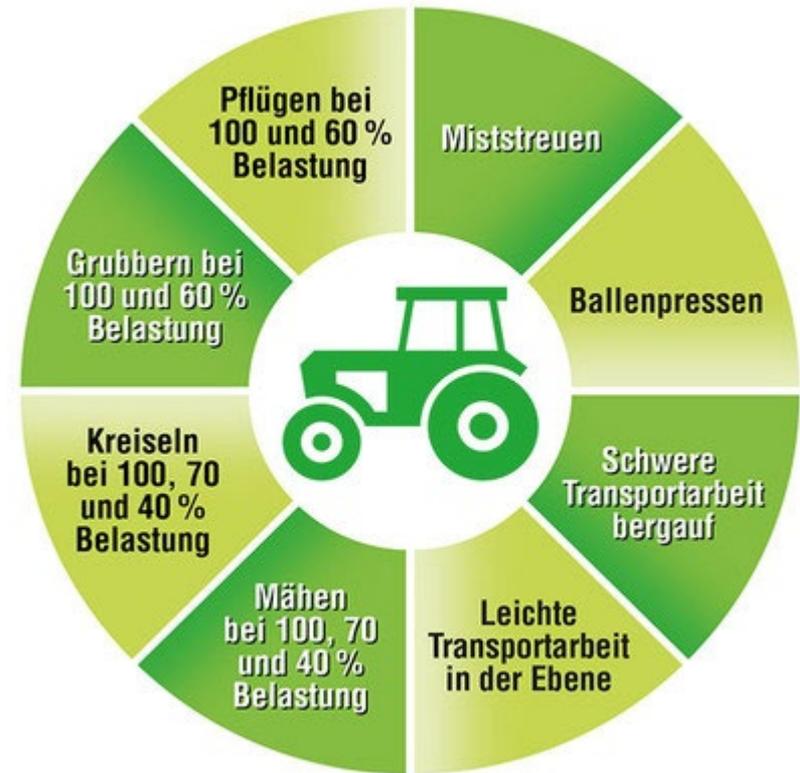


Kraftstoffverbrauch im Kennfeld

Arbeitsbereiche	Leistung	Drehzahl	g/kWh	l/h
Normzapfwelle 540	100%	1867	235	38,7
Sparzapfwelle 540E	100%	1499	223	35,3
Normzapfwelle 1000	100%	1903	237	38,8
Sparzapfwelle 1000E	100%	1528	223	35,6
Motor im Abregelbereich	80%	max.	262	32,2
Hohe Leistung	80%	90%	242	29,9
Transportarbeiten	40%	90%	280	17,3
Wenig Leistung, ½ Drehz.	40%	60%	242	14,9
Hohe Leistung, ½ Drehz.	60%	60%	230	21,4

DLG Power Mix

Auf Basis typischer Arbeitsbelastungen eines Traktors in der Praxis hat die DLG-Prüfungskommission 14 Belastungszyklen festgelegt, unter denen der Kraftstoff- und AdBlue-Verbrauch, die Leistungsfähigkeit und letztendlich die Energieeffizienz des Gesamtfahrzeugs bestimmt werden. Die Belastungszyklen spiegeln typische Feld- und Transportarbeiten sowohl im Teil- als auch Volllastbereich wider. Geprüft werden reine Zugarbeiten, z. B. mit Pflug oder Grubber, sowie gemischte Arbeiten, die neben dem Fahrtrieb die Zapfwelle und das Hydrauliksystem belasten. Dies ist beispielhaft während Feldarbeiten mit Kreiselegge, Mähwerk, Stallungstreuer oder Ballenpresse der Fall. Auch schwere und leichte Transportarbeiten werden abgebildet, um die Effizienz auf der Straße zu testen und so eine Gesamtaussage über die Energieeffizienz von Traktoren im praktischen Einsatz unter reproduzierbaren Bedingungen zu erhalten.



PowerMix



Zugleistung



Felddaten

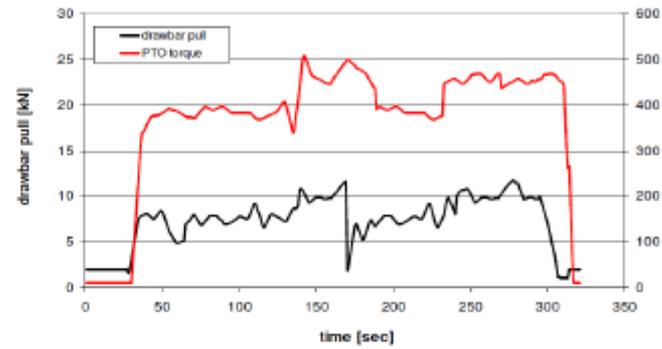
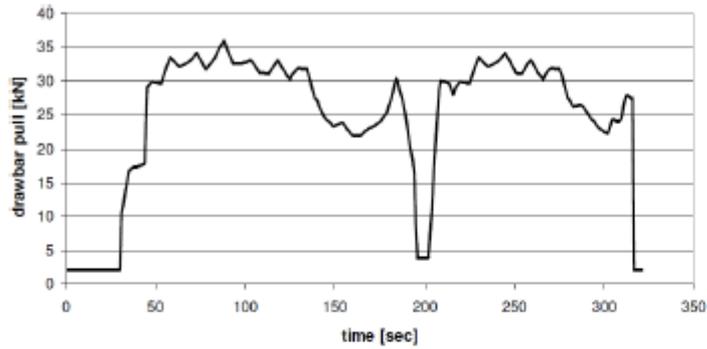
Zugleistung
Zapfwellenleistung



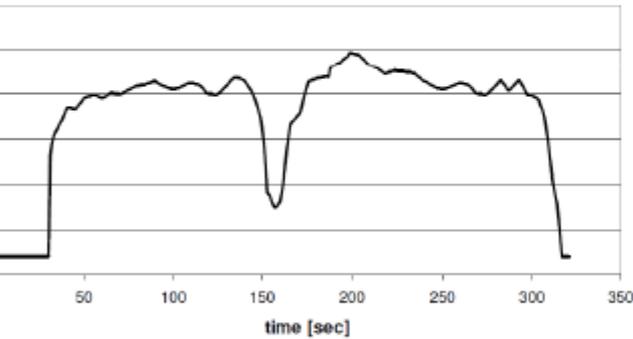
Zugleistung
Zapfwellenleistung
Hydraulikleistung

PowerMix

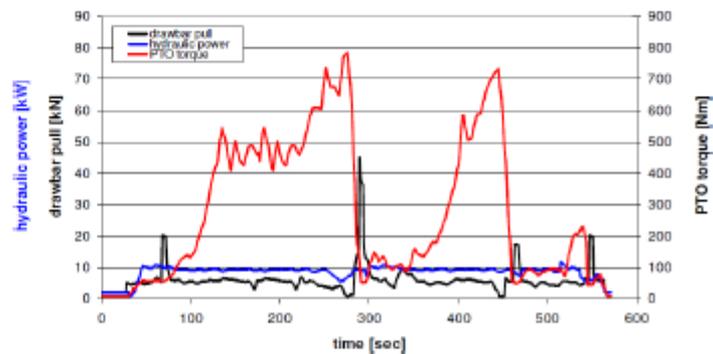
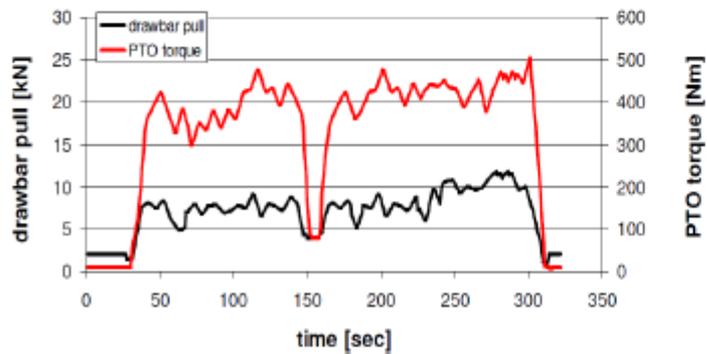
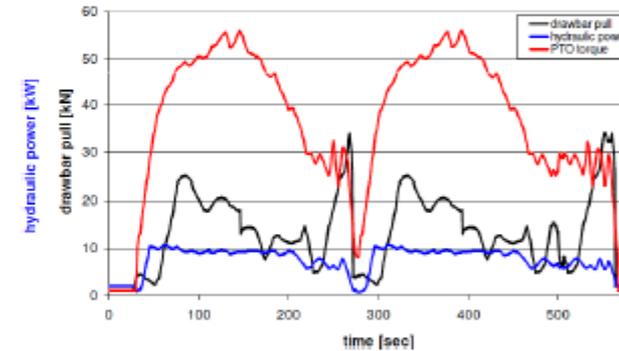
Zugleistung



Zugleistung
Zapfwellenleistung



Basic cycles



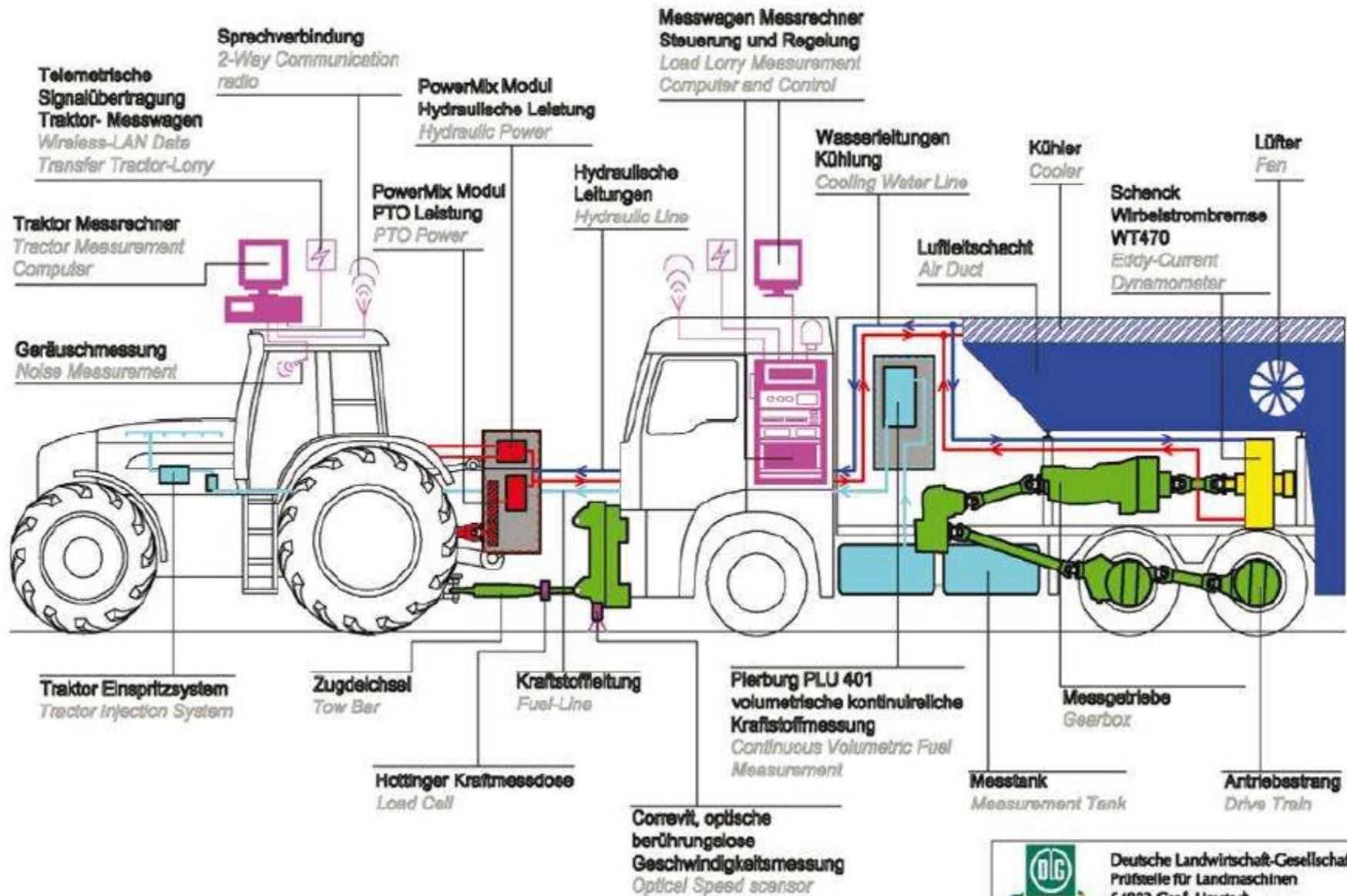
Zugleistung
Zapfwellenleistung
Hydraulikleistung



DLG Zugleistungsmesswagen



DLG Zugleistungsmesswagen



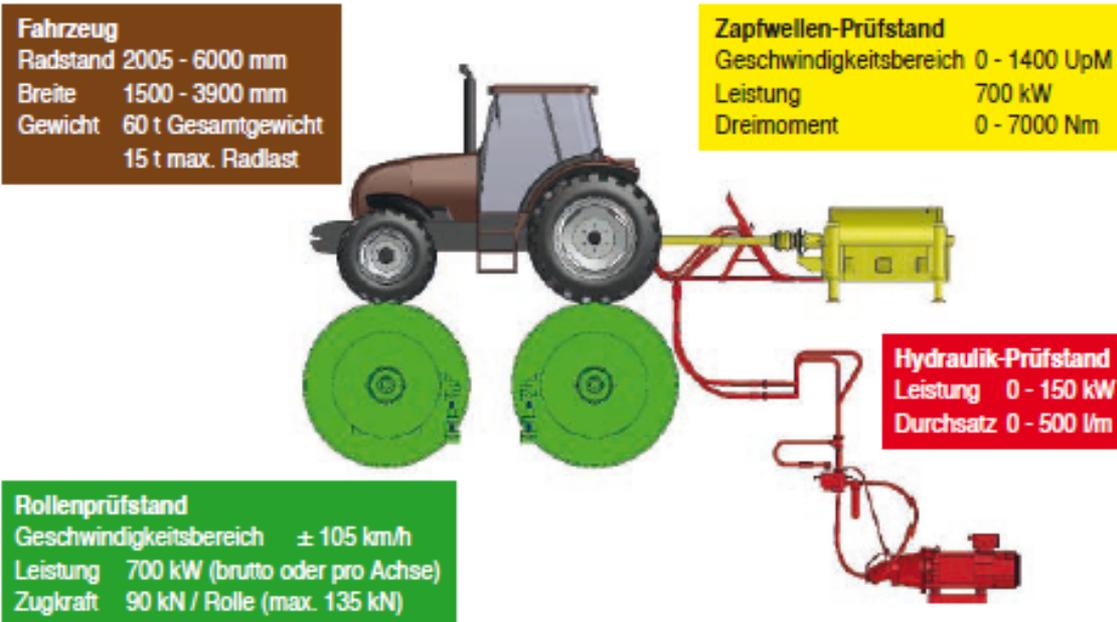
Deutsche Landwirtschaft-Gesellschaft
Prüfstelle für Landmaschinen
64823 Groß-Umstadt



DLG-Rollenprüfstand

Internationale Test-Kompetenz auf höchstem Niveau

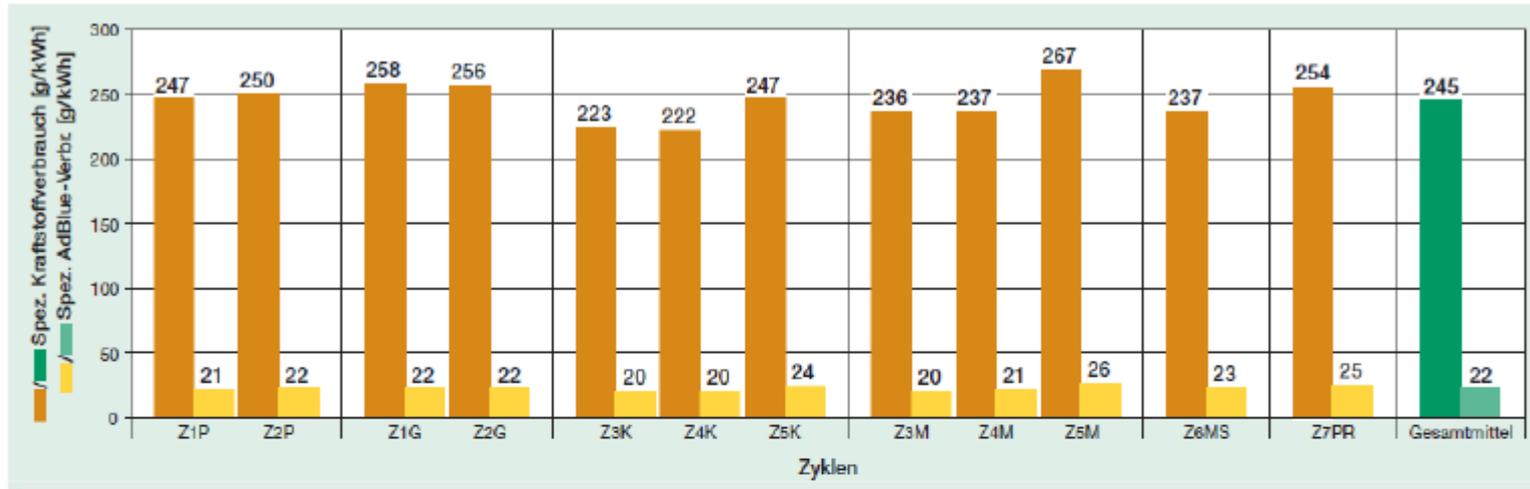
Der Rollenprüfstand des DLG-Testzentrums Technik und Betriebsmittel ist weltweit führend im Bereich technischer Prüfung von Landmaschinen und Nutzfahrzeugen. Er kombiniert höchste Komplexität mit Funktionalität und zeichnet sich durch seine extrem leistungsfähige Messeinrichtung aus. Die Ingenieure des DLG-Testzentrums sind in der Lage, Traktoren und Nutzfahrzeuge reproduzierbar so zu belasten, wie es im realen Einsatz der Fall ist. Dabei ist es möglich, alle zu- und abgeführten Energien zu erfassen. Beginnend bei den zugeführten Diesel- und AdBlue-Mengen über die abgegebenen Nutzleistungen an Rädern, Zapfwelle und den hydraulischen Schnittstellen bis zu den resultierenden Abgasemissionen von Fahrzeugen mit bis zu 700 kW (≈ 1.000 PS). Ebenso ist es möglich die gesamte Wirkungsgradkette des elektrischen Energieverbrauchs von Elektro- und Hybridfahrzeugen zu messen.





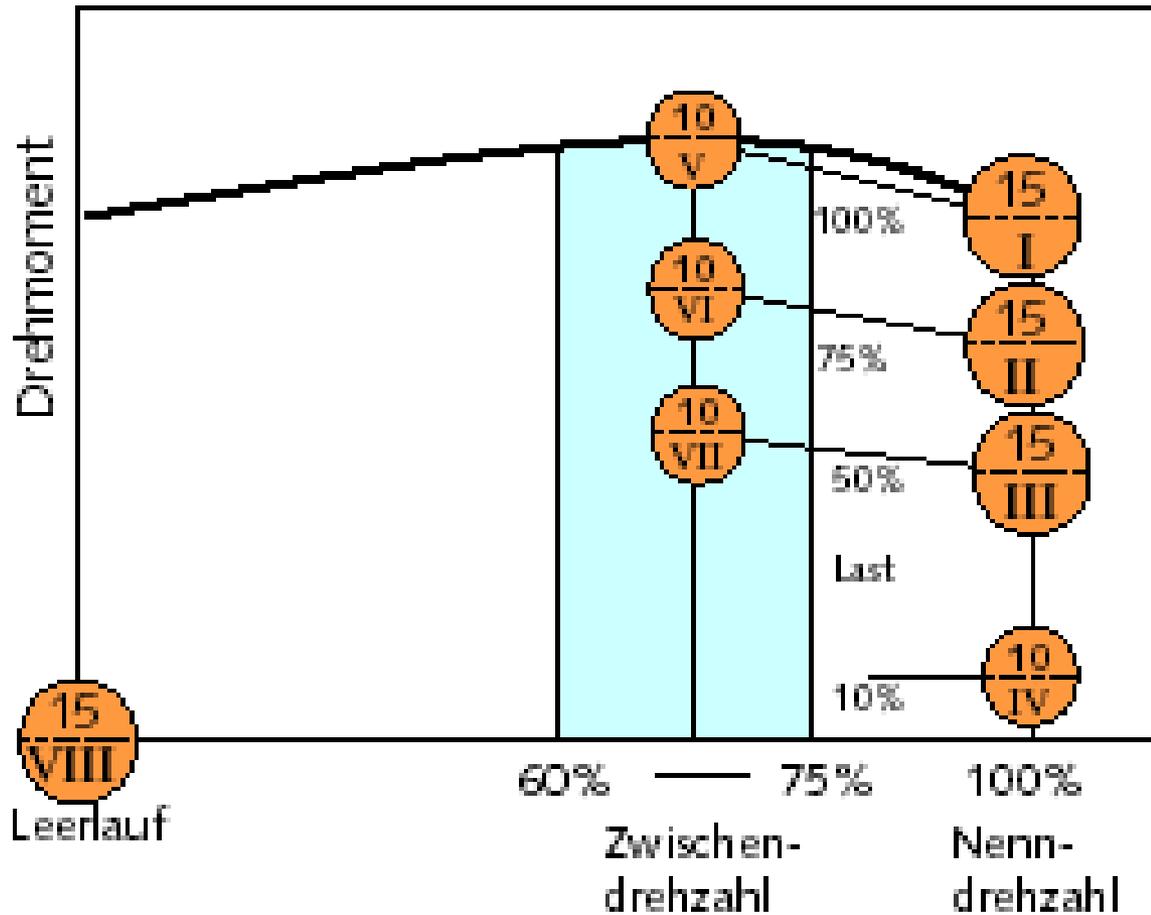
DLG-Datenblatt zum PowerMix

Ergebnisse im DLG-PowerMix



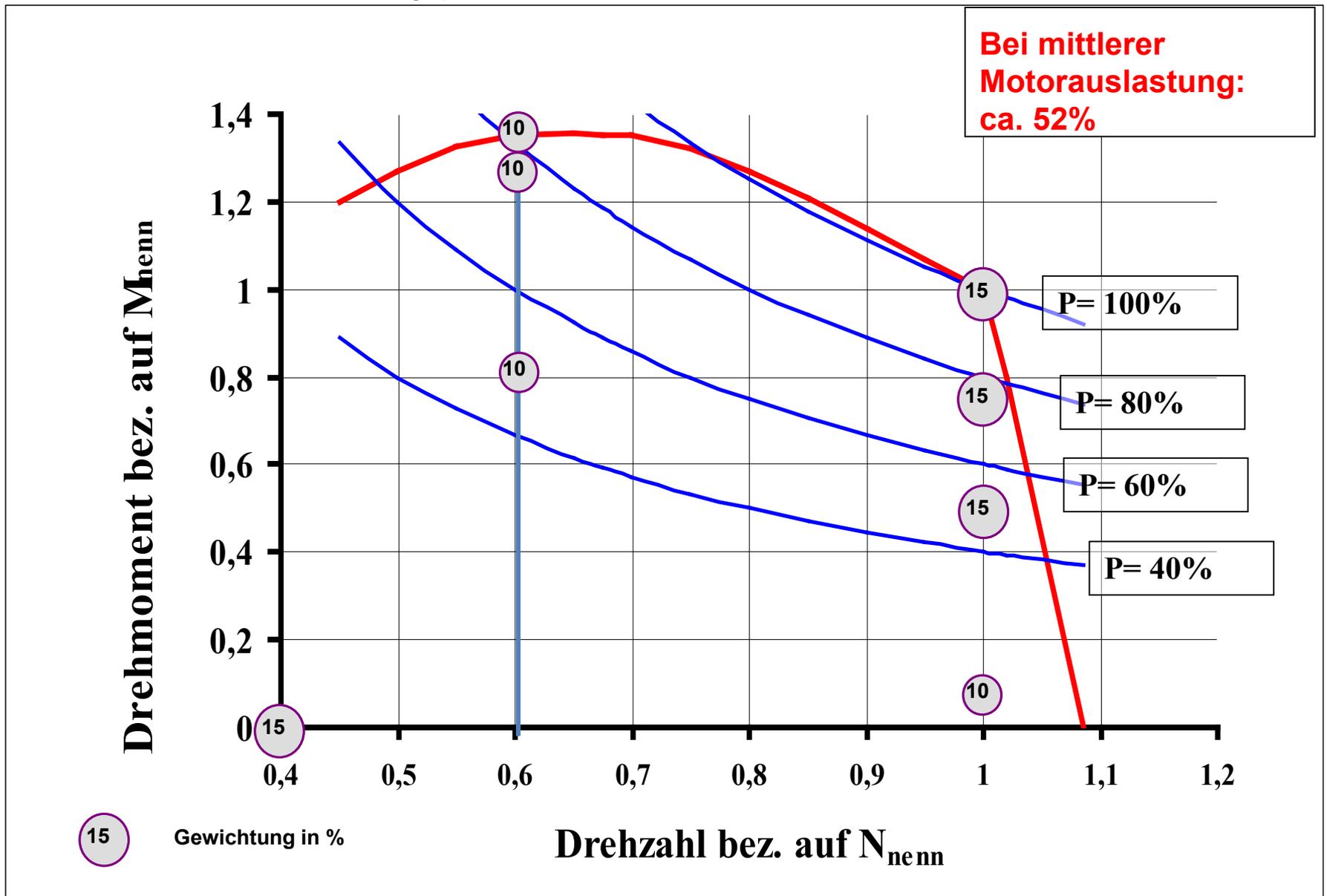
Schwerpunkt	Zyklus		Mittelwerte				
			Motordrehzahl	Geschwindigkeit	Spez. Kraftstoffverbr.	Spez. AdBlue-Verbrauch	Rel. Verbr. AdBlue zu Kraftstoff
Zugarbeit	Pflügen 100%	Z1P	1342 min ⁻¹	6,7 km/h	247 g/kWh	21 g/kWh	6,6 Vol-%
	Pflügen 60%	Z2P	1350 min ⁻¹	8,6 km/h	250 g/kWh	22 g/kWh	8,7 Vol-%
	Grubbern 100%	Z1G	1747 min ⁻¹	9,5 km/h	258 g/kWh	22 g/kWh	6,4 Vol-%
	Grubbern 60%	Z2G	1312 min ⁻¹	11,2 km/h	256 g/kWh	22 g/kWh	8,7 Vol-%
Zapfwellenarbeit	Kreiseln 100%	Z3K	1625 min ⁻¹	5,7 km/h	223 g/kWh	20 g/kWh	6,8 Vol-%
	Kreiseln 70%	Z4K	1393 min ⁻¹	5,8 km/h	222 g/kWh	20 g/kWh	7 Vol-%
	Kreiseln 40%	Z5K	1412 min ⁻¹	5,8 km/h	247 g/kWh	24 g/kWh	7,4 Vol-%
	Mähen 100%	Z3M	1587 min ⁻¹	14,8 km/h	236 g/kWh	20 g/kWh	6,3 Vol-%
	Mähen 70%	Z4M	1395 min ⁻¹	15,4 km/h	237 g/kWh	21 g/kWh	6,8 Vol-%
	Mähen 40%	Z5M	1408 min ⁻¹	15,4 km/h	267 g/kWh	26 g/kWh	7,2 Vol-%
Hydraulische Arbeit	Mistschneen	Z6MS	1542 min ⁻¹	6,7 km/h	237 g/kWh	23 g/kWh	7,4 Vol-%
	Ballenpressen	Z7PR	1544 min ⁻¹	9,6 km/h	254 g/kWh	25 g/kWh	7,4 Vol-%
Gesamtmittel im DLG-PowerMix					245 g/kWh	22 g/kWh	6,9 Vol-%

ISO 8178 8-Stufen-Test Typ C1




 Gewichtung in %
 Messpunkt

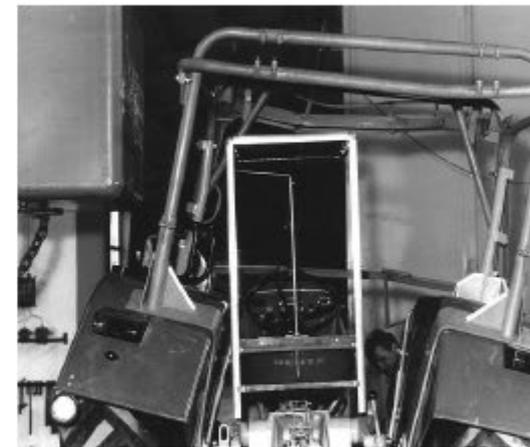
8-Stufen Test Typ C1 nach ISO8178 für



Unfälle mit Ackerschleppern



Die ersten genormten Tests

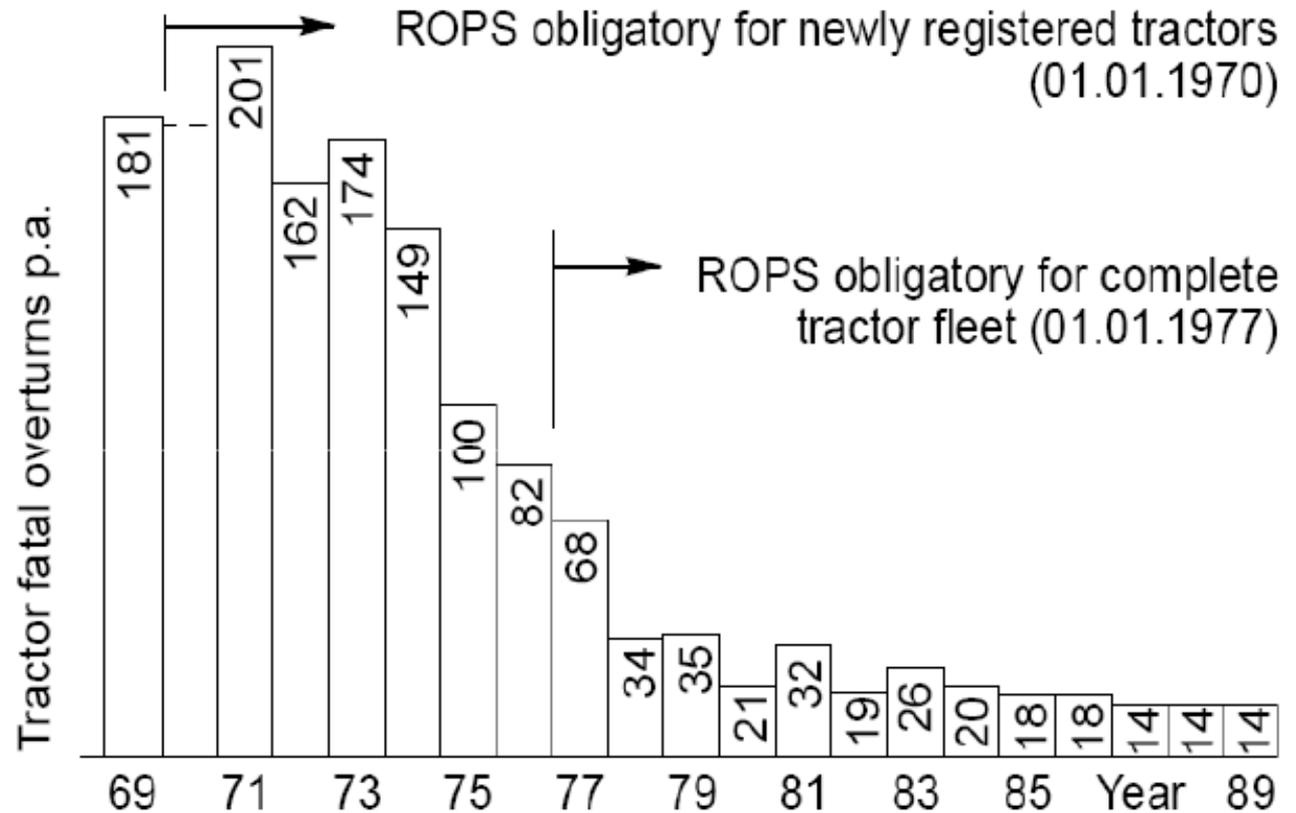


Prüfung

- Der Freiraum darf zum Bestehen der Prüfung nicht berührt werden



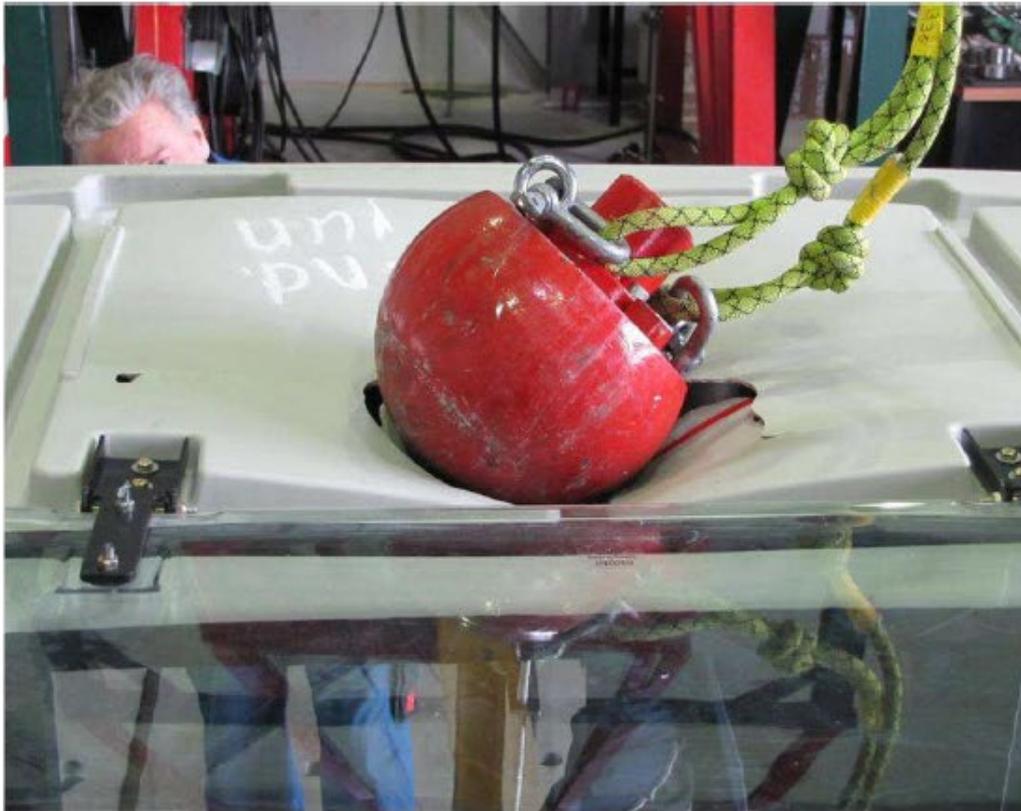
Entwicklung der Unfallzahlen bei Ackerschleppern mit tödlichem Ausgang



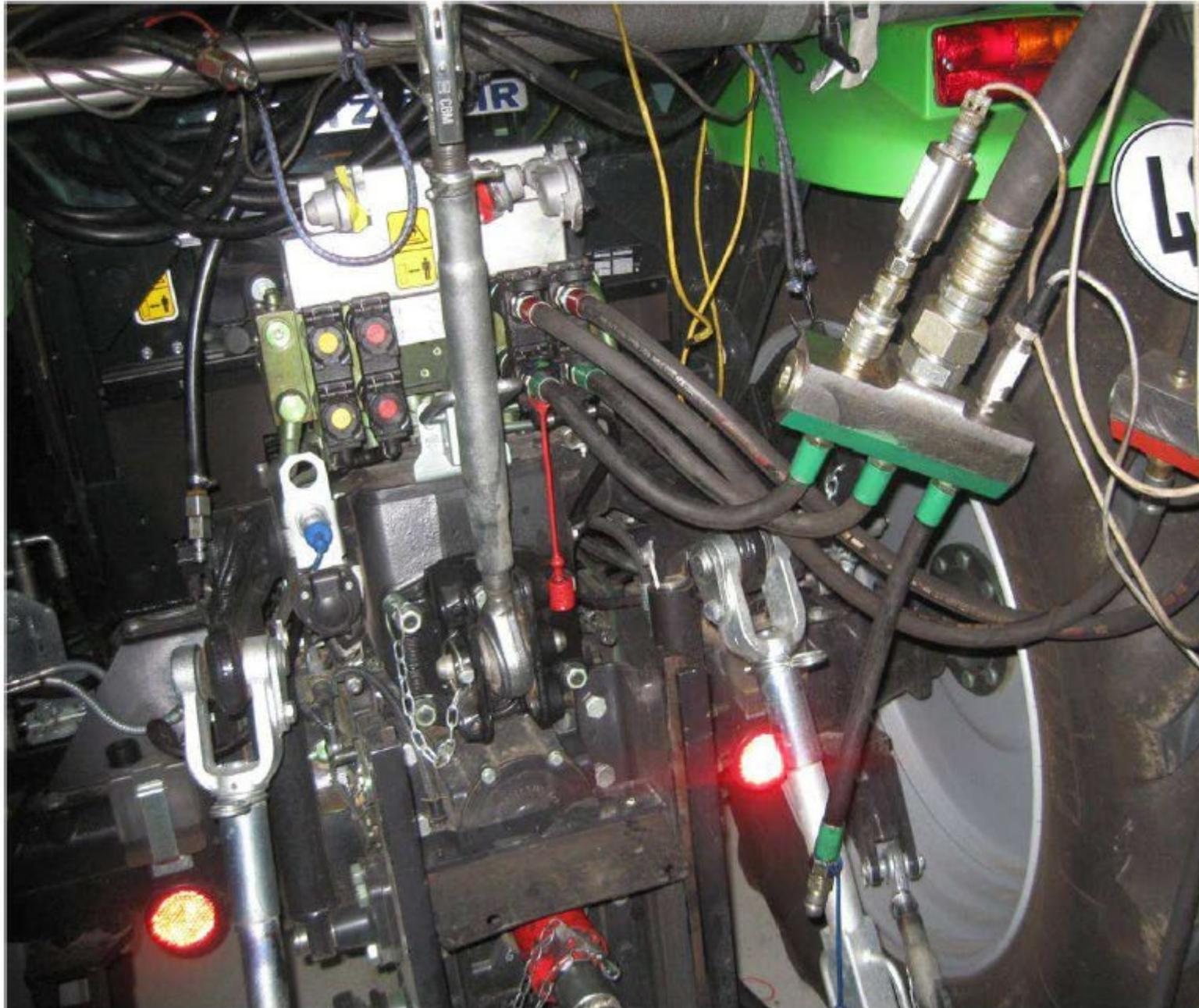
ROPS = roll over protection

Prüfung der Kabinen und Schutzaufbauten FOPS

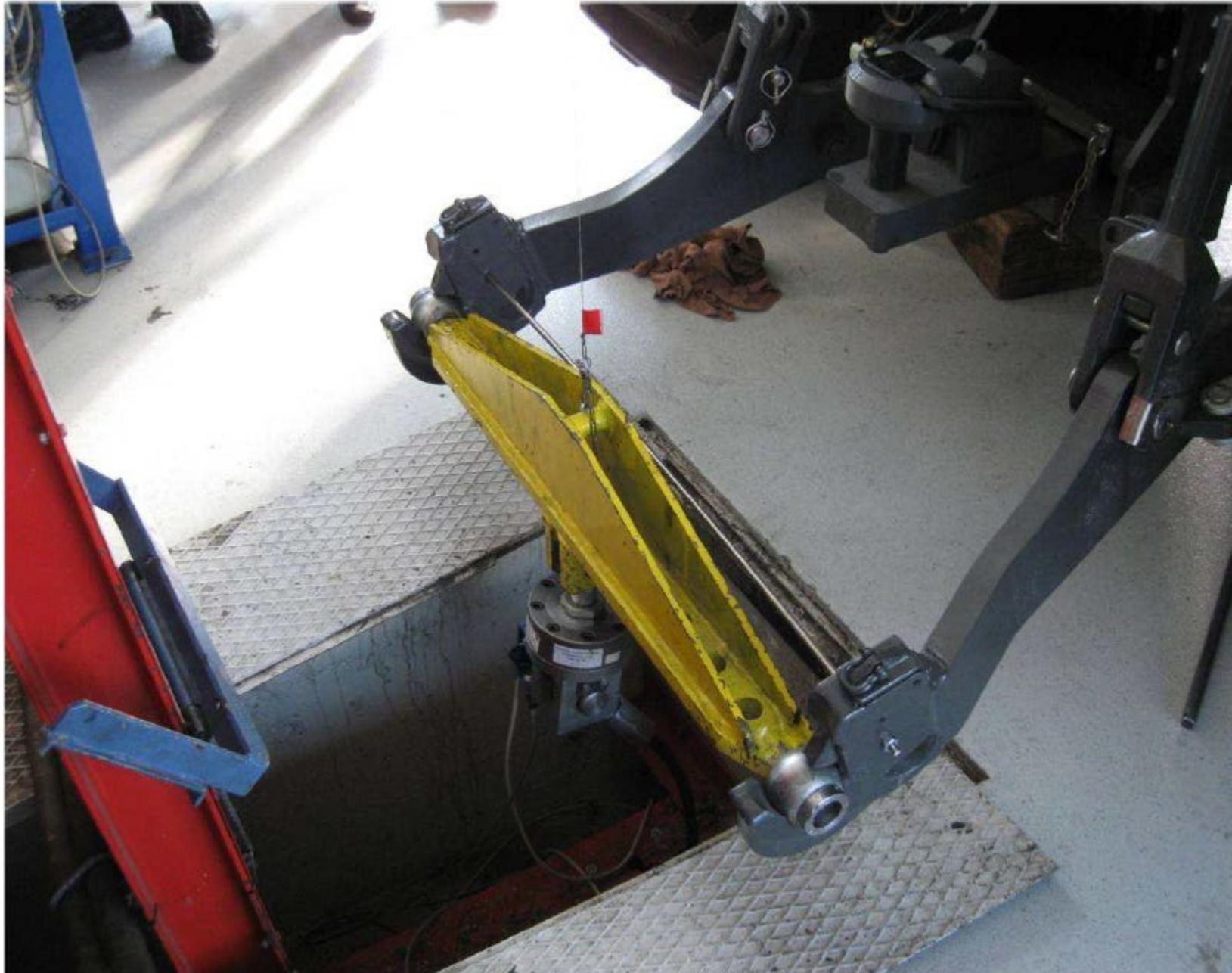
- **Schutzeinrichtung gegen herabfallende Gegenstände**
- OECD (Land- oder Forst-Zugmaschinen)
- ISO (Baumaschinen)



Hydraulikleistung OECD Code 2

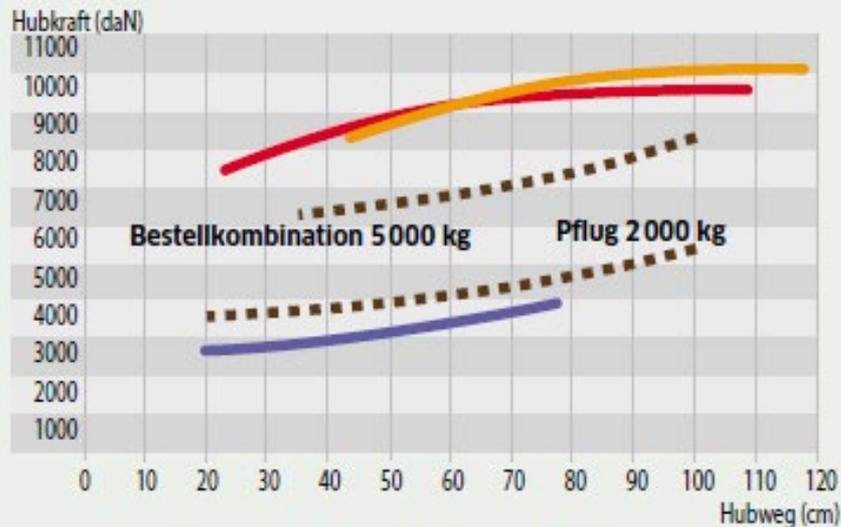


Hubkraft OECD Code 2



Hubkraft und Hubkraftbedarf

Fendt 720 Varlo: Die rote Kurve zeigt die Hubkraft (90 % des Maximalwertes) als durchgehende Hubkraft an den Koppelpunkten der Unterlenker. Die gelbe Kurve zeigt die Hubkraft bei verkürzten Hubstreben – etwa 800 daN mehr bei 11 cm weniger Hubweg. Aufgrund der nach oben steigenden Hubkraft hebt der 720er auch eine 5 t schwere Bestellkombination problemlos aus.

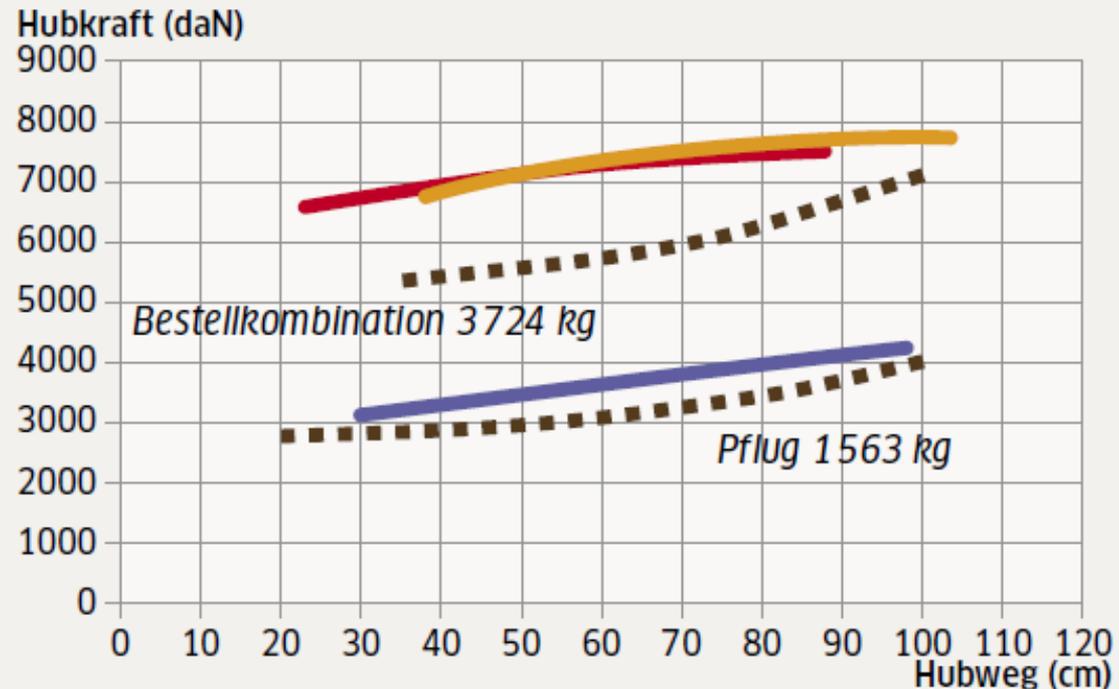


- Fronthubwerk: durchgehend 2703 daN, Hubweg 57,4 cm
- Hubstreben lang: durchgehend 7428 daN, Hubweg 85,4 cm
- Hubstreben kurz: durchgehend 8275 daN, Hubweg 74,1 cm



Das Heck ist aufgeräumt, Hubkraft und Ölfördermenge passen. Ordentlich Aufpreis kosten aber die LED-Arbeitscheinwerfer und auch die LED-Rücklichter.

HUBKRAFT UND HUBKRAFTBEDARF

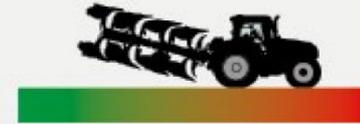


Zetor Crystal 170 HD: Die Hubkraft steigt nach oben hin zwar nicht wesentlich an, reicht aber auch für die 3,7 t schwere Bestellkombi gut aus. Das Kürzen der Hubstreben ändert die Hubkraft kaum.

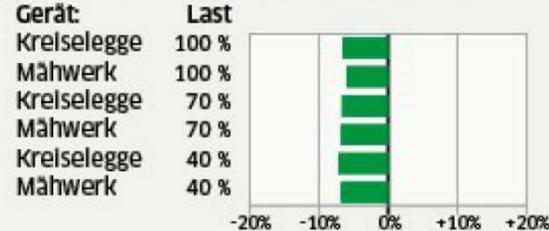
- Fronthubwerk: durchgehend 3 123 daN, Hubweg 68,0 cm
- Hubstreben lang: durchgehend 6 582 daN, Hubweg 64,7 cm
- Hubstreben kurz: durchgehend 6 750 daN, Hubweg 65,4 cm

DER VERBRAUCH BEI FELDARBEITEN

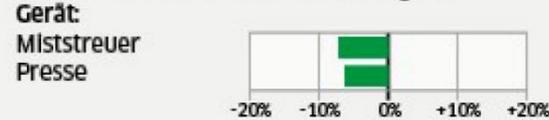
Zugarbeiten: Im Mittel 273 g/kWh



Zapfwellenarbeiten: Im Mittel 259 g/kWh



Gemischte Arbeiten: Im Mittel 276 g/kWh



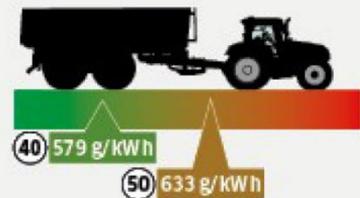
Powermix:

AdBlue: 7,0 %

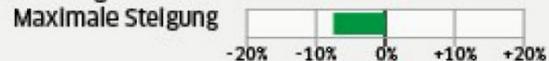


DER VERBRAUCH AUF DER STRASSE

In der Ebene:



Am Berg:

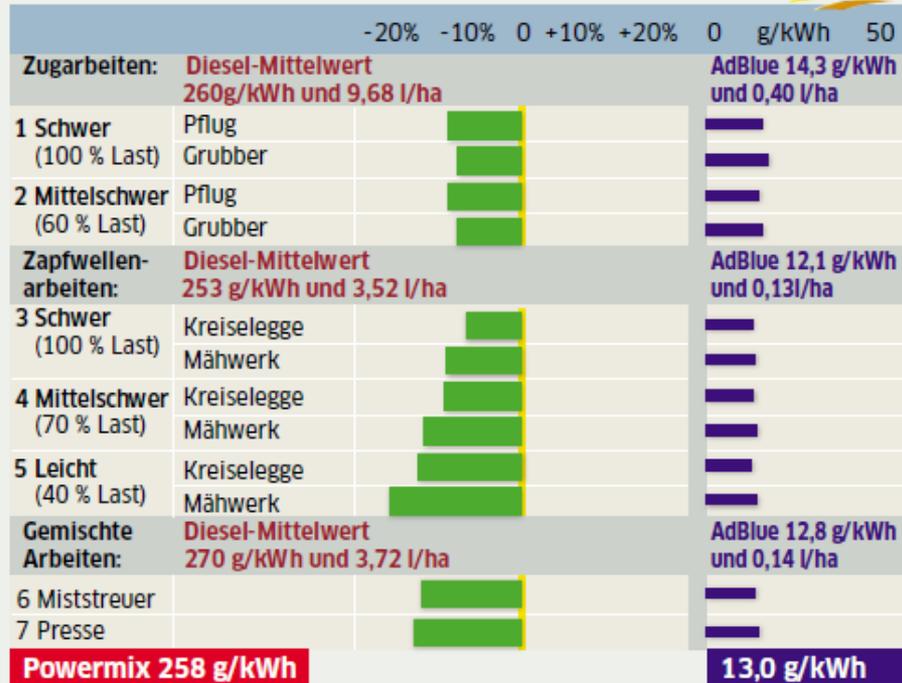


AdBlue: 8,3 %

Der Maxxum 150 von Case IH ist durchweg in allen Mess-Zyklen sparsamer als das Mittel aller bisher getesteten Traktoren. Mit einem Powermix-Gesamtwert von 266 g/kWh (+24 g/kWh AdBlue) ist der Maxxum somit fast 4 % sparsamer. Fast genauso verhält es sich beim Transport: Zumindest bei 40 km/h (mit nur 1525 Touren) liegt der Maxxum 10 % unter dem Mittel.

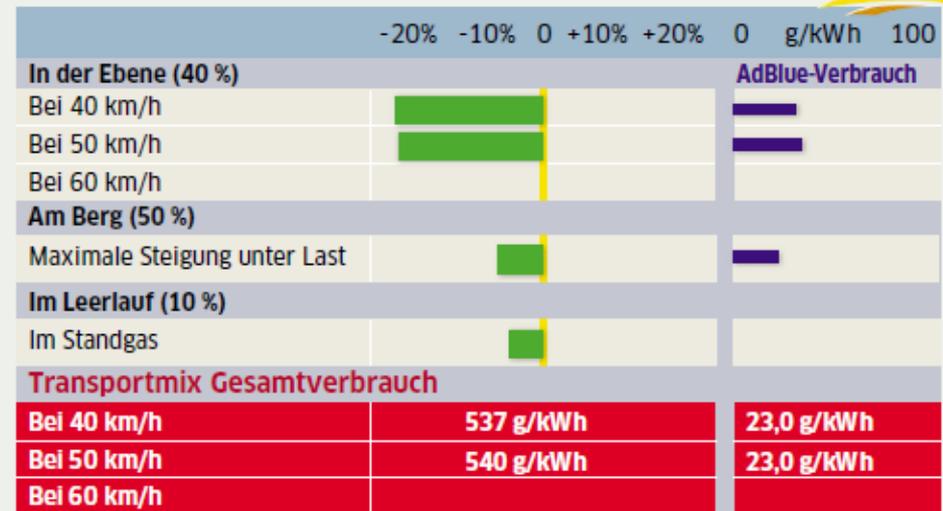
Fendt 720 Vario

Der Verbrauch bei Feldarbeiten



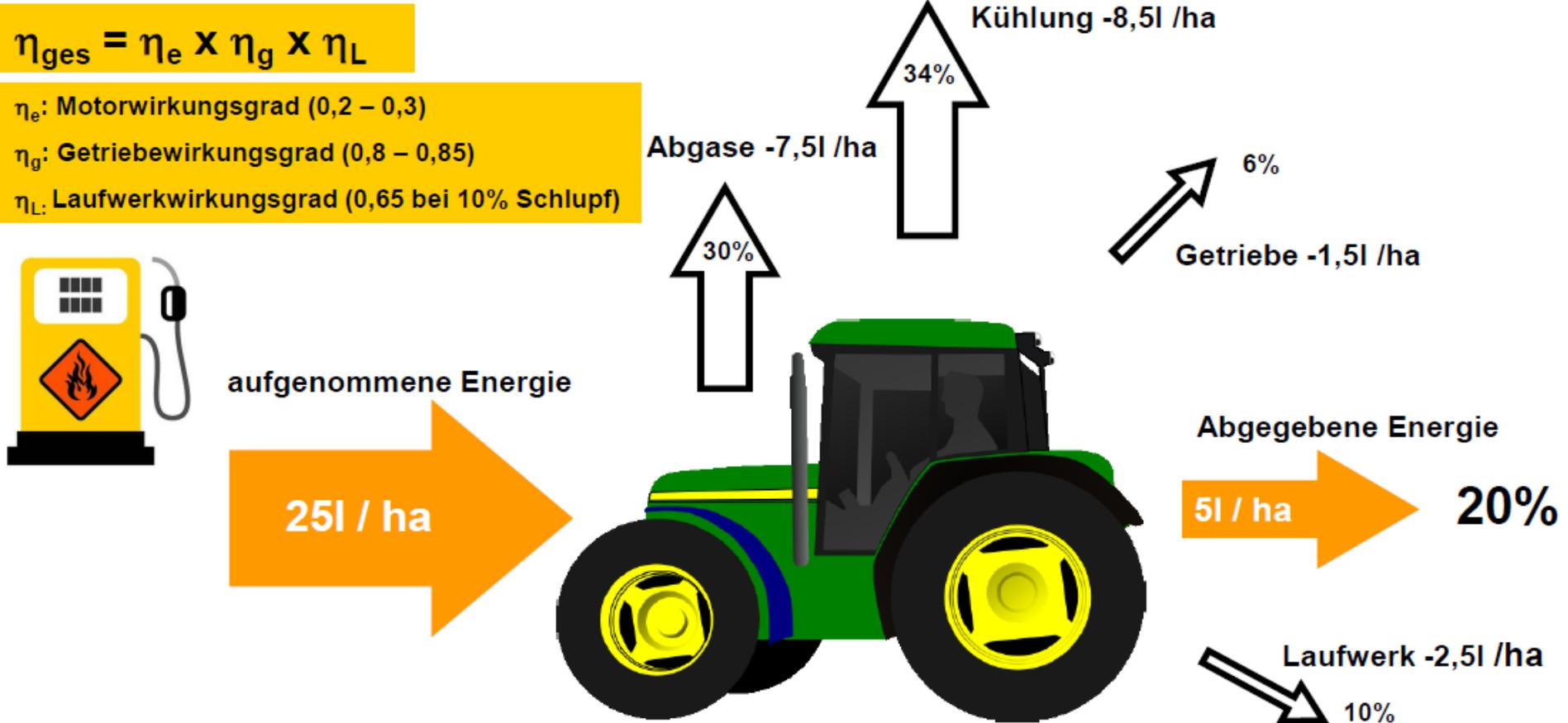
Unten links steht der Powermix-Wert in g/kWh als Mittel aller 7 gemessenen Zyklen. Die Mittelwerte der Bereiche „Zugarbeiten“, „Zapfwellenarbeiten“ und „Gemischte Arbeiten“ sind mit dem Kraftstoffverbrauch in Gramm pro Kilowatt und Stunde und in Litern pro Hektar in der Tabelle in roter Schrift angegeben. Den Verbrauch von AdBlue (der ja kein Treibstoff, sondern ein Betriebsstoff ist) zeigt die rechte Grafik. Die Balken sind schmaler, da AdBlue preiswerter ist als Diesel; in blauer Schrift sind die Mittelwerte aufgeführt. Die gelbe Grundlinie der linken Grafik markiert den Durchschnitt aller bisher gemessenen Powermix-Kandidaten. Die Länge der Balken zeigt, wie viel der Schlepper in dem jeweiligen Zyklus prozentual besser (grün) oder schlechter (rot) war als der Durchschnitt aller bisher gemessenen Powermix-Kandidaten. Der Mittelwert für den Powermix liegt im Durchschnitt aller gemessenen Testkandidaten derzeit bei 291 g/kWh. Der Fendt Vario 720 liegt beim Powermix im Dieselverbrauch bei allen Arbeiten deutlich unter den Mittelwerten. Der Powermix-Gesamtwert ist bei Diesel um 11,0 % besser als der Mittelwert aller bisher gemessenen Kandidaten. Der zusätzliche AdBlue-Verbrauch betrug im Mittel 3,8 Liter pro 100 Liter Diesel.

Der Verbrauch auf der Straße



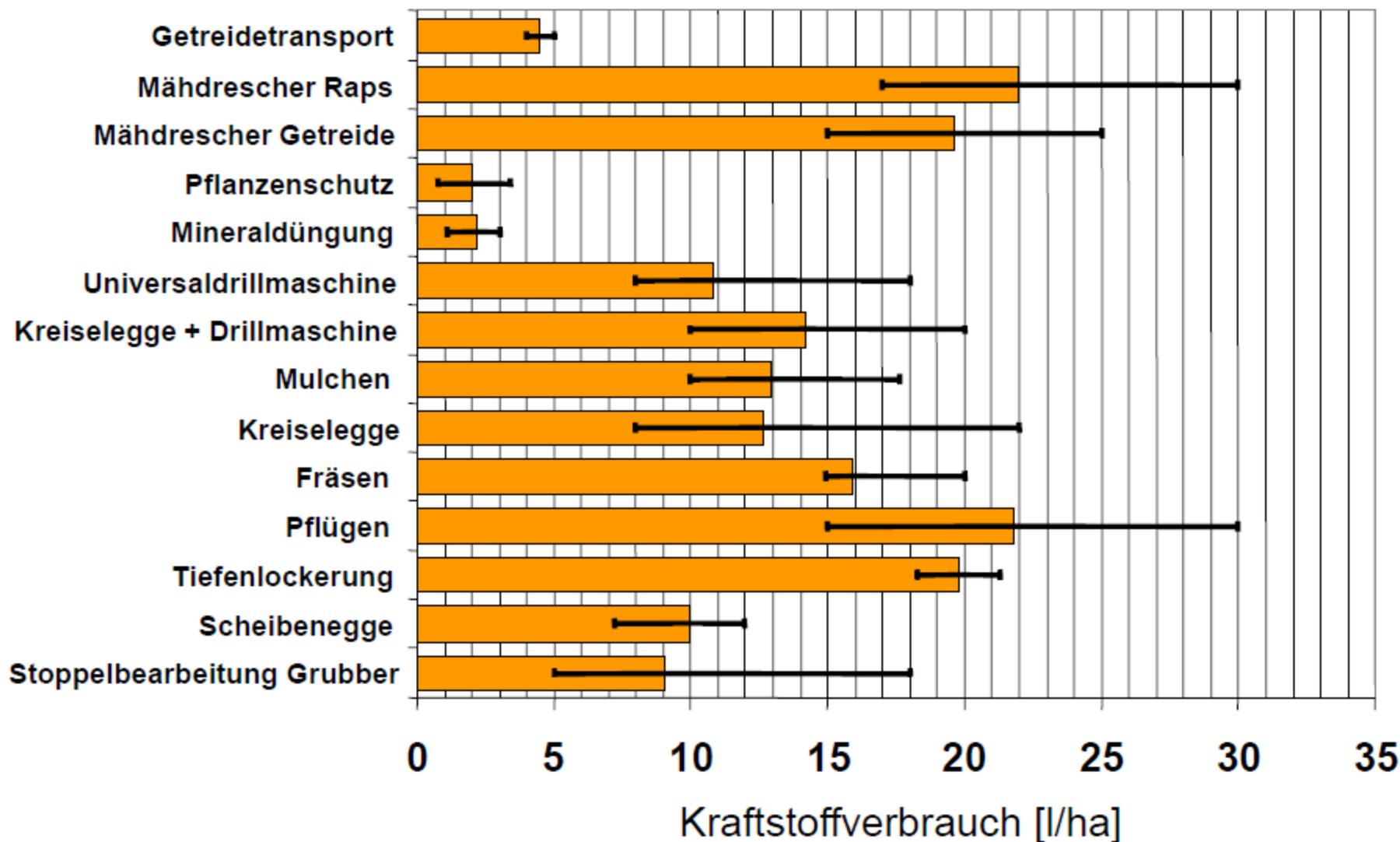
Der Transporttest der DLG wird zurzeit auf der Straße durchgeführt. Der Testkandidat geht mit einem (passend zur gemessenen Zapfwellenleistung ballastierten) Anhänger auf einen Rundkurs, die Messungen werden jeweils dreimal wiederholt. Das Gesamtergebnis errechnet sich aus den gewichteten Einzelergebnissen von 50 % Bergfahrt, 40% Fahrt in der Ebene und 10 % Leerlauf. Die gelbe Grundlinie in der Grafik markiert den jeweiligen Mittelwert aller bislang im Straßenverkehr getesteten Traktoren. Die Länge der Balken zeigt, um wie viel der Testkandidat prozentual besser (grün) oder schlechter (rot) abschnidet im Vergleich zum Durchschnitt. Der Mittelwert für den Transporttest auf der Straße liegt aktuell bei 588 g/kWh mit 40 km/h und bei 577 g/kWh mit 50 km/h. Der Fendt Vario 720 erzielte in der Ebene und am Berg Verbrauchswerte deutlich unter dem Mittelwert. Der Gesamtverbrauch lag bei 40 km/h um 8,2 % unter dem Durchschnitt, bei 50 km/h waren es 6,2 %.

Energiefluss beim Traktor (vgl. KUTZBACH 1989)



➔ Bei Zugarbeit am Feld wird nur ca. 20 % der eingesetzten Energie des Kraftstoffes in effektive Zugleistung umgesetzt.

Kraftstoffverbrauch verschiedener landwirtschaftlicher Arbeiten (HOLZ 2006)



Der Kraftstoffverbrauch schwankt bei den verschiedenen