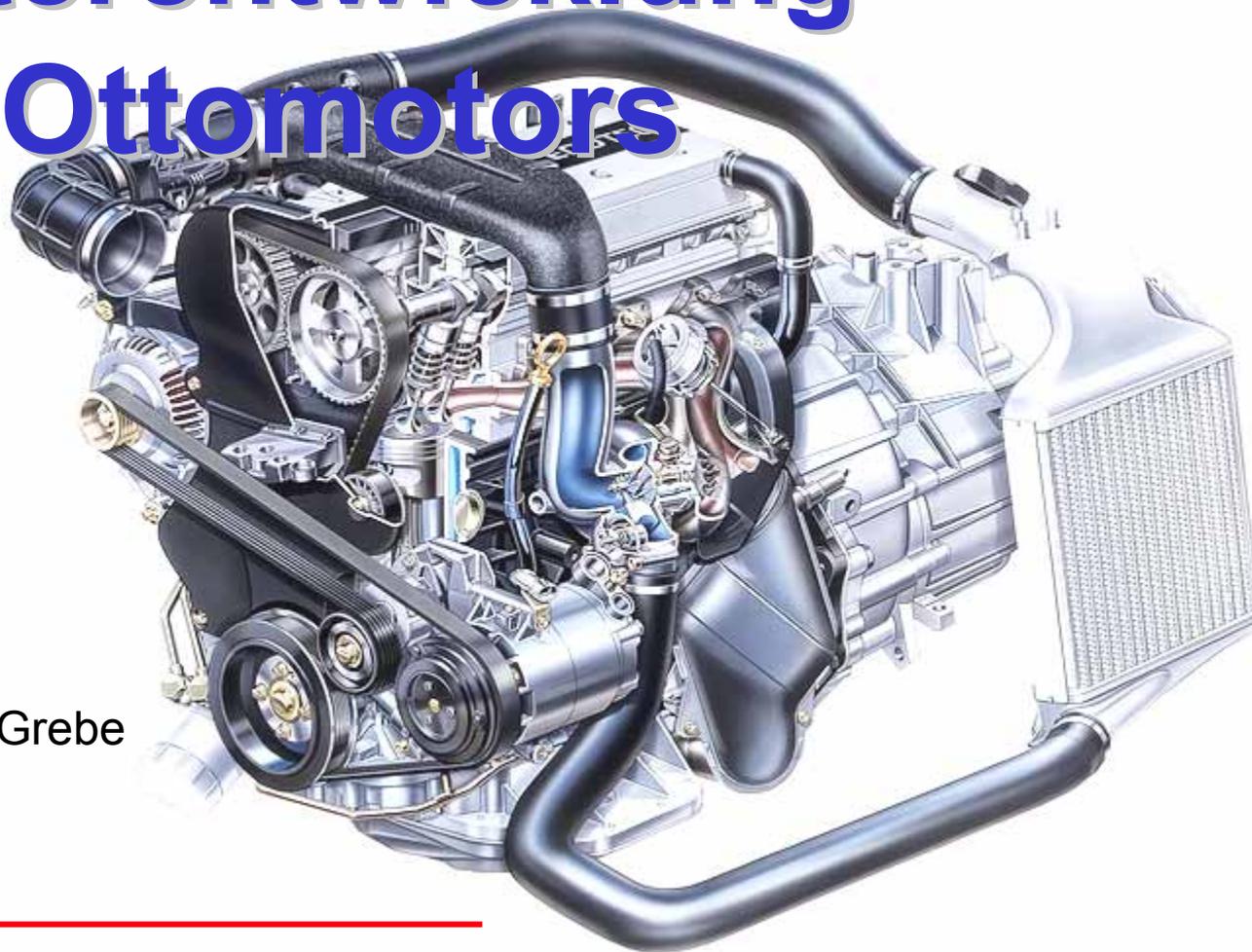


Weiterentwicklung des Ottomotors



Dr. Uwe D. Grebe



GM Powertrain

Gliederung

1. Entwicklungsrandbedingungen
 - 1.1 Gesetzliche Vorschriften
 - 1.2 Anforderungen von der Kundenseite
2. Verbrauchsreduzierung
 - 2.1 Thermodynamik
(Benzindirekteinspritzung, variable Ventiltriebe, Ladungsverdünnung, ...)
 - 2.2 Reibungsreduzierung**
 - 2.3 Downsizing, Lastpunktverschiebung**
 - 2.4 Alternative Kraftstoffe
3. Vollastverbesserung
 - 3.1 Luftaufwandsverbesserung bei freisaugenden Motoren
 - 3.2 Aufladung
4. Reduzierung der Abgasemissionen
 - 4.1 Motorinterne Maßnahmen
 - 4.2 Abgasnachbehandlung
5. Verbesserte Architektur
 - 5.1 Gewichtsreduzierung
 - 5.2 Kostenreduzierung
 - 5.3 Komfortverbesserung
6. Aktuelle Technologieeinführungen bei Ottomotoren
7. Entwicklungstendenzen für die Zukunft

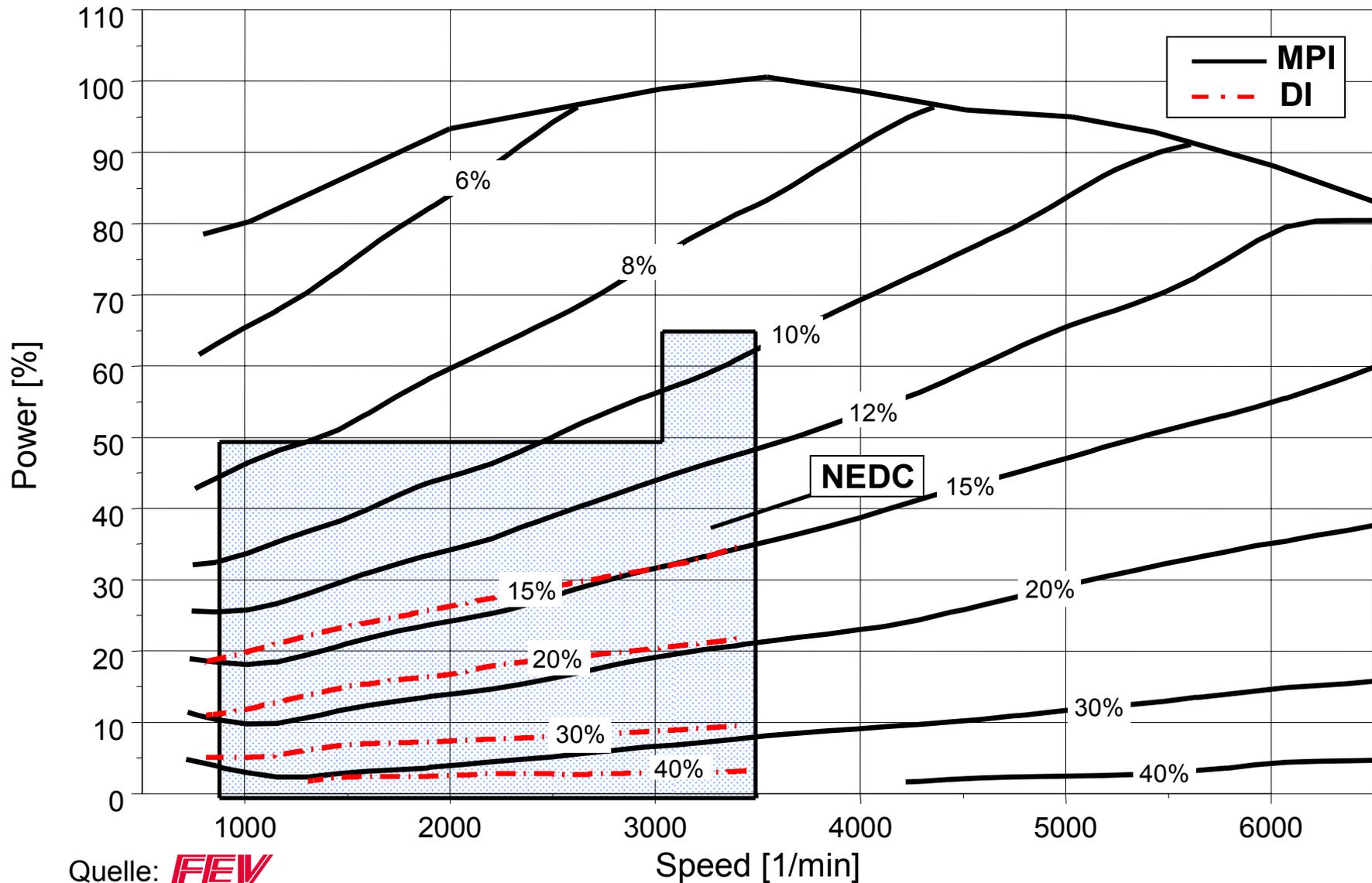
Sinn und Notwendigkeit

Parasitäre Verluste des Motors:

- Reibung der gegeneinander bewegten Teile
- Ventilations- und Panschverluste im Motor
- Reibung der Nebenaggregate
- Verluste aller zum Betrieb des Motors benötigter Komponenten (Öl-, Wasser-, Kraftstoffpumpe, ...)

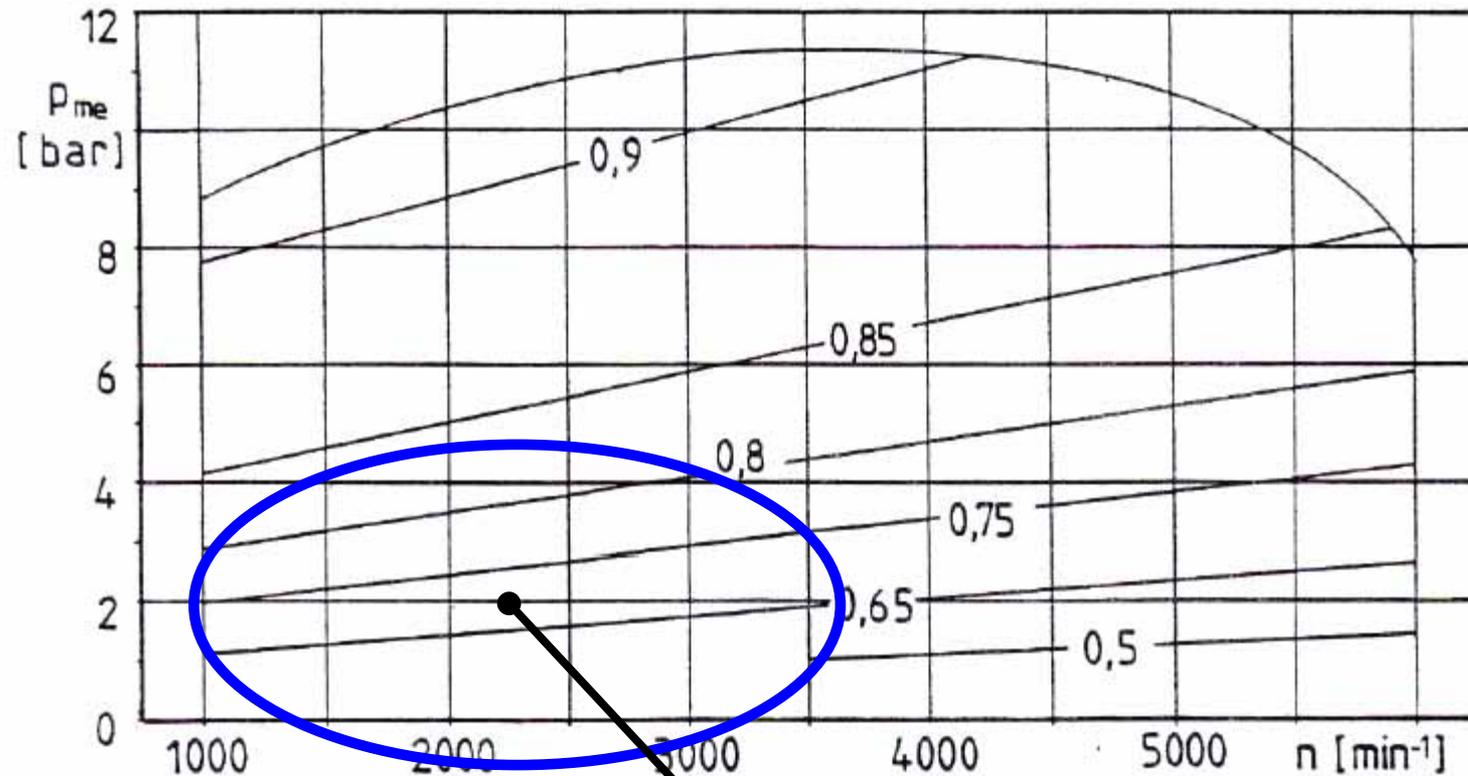
Reduzierung der mechanischen Verluste („Reibung“) führt zu einer generellen Verbrauchsreduzierung

Reibungsverluste bezogen auf die freigesetzte Arbeit



Quelle: **FEV**

4-Takt Ottomotor



MVEG-Test Zyklus relevanter Bereich

Quelle: Manuskript of Internal combustion engines
Prof. Hohenberg, TU Darmstadt

**Durchschnittlicher mech.
Wirkungsgrad: 70 %**

Faustformel

$$\eta_m = \frac{\text{Nutzarbeit an der Kupplung}}{\text{Indizierte Arbeit am Kolben}} = \frac{W_e}{W_i}$$
$$\eta_m = \frac{p_{me}}{p_{mi}} = \frac{p_{me}}{p_{me} + p_{mr}}$$

$$\frac{\Delta be}{be} = (1 - \eta_{me}) \frac{\Delta p_{mr}}{p_{mr}} \quad \text{Faustformel (Goetz AG)}$$

mit be : spezifischer Kraftstoffverbrauch [g/kWh]

Δbe : Absenkung spezifischer Kraftstoffverbrauch [g/kWh]

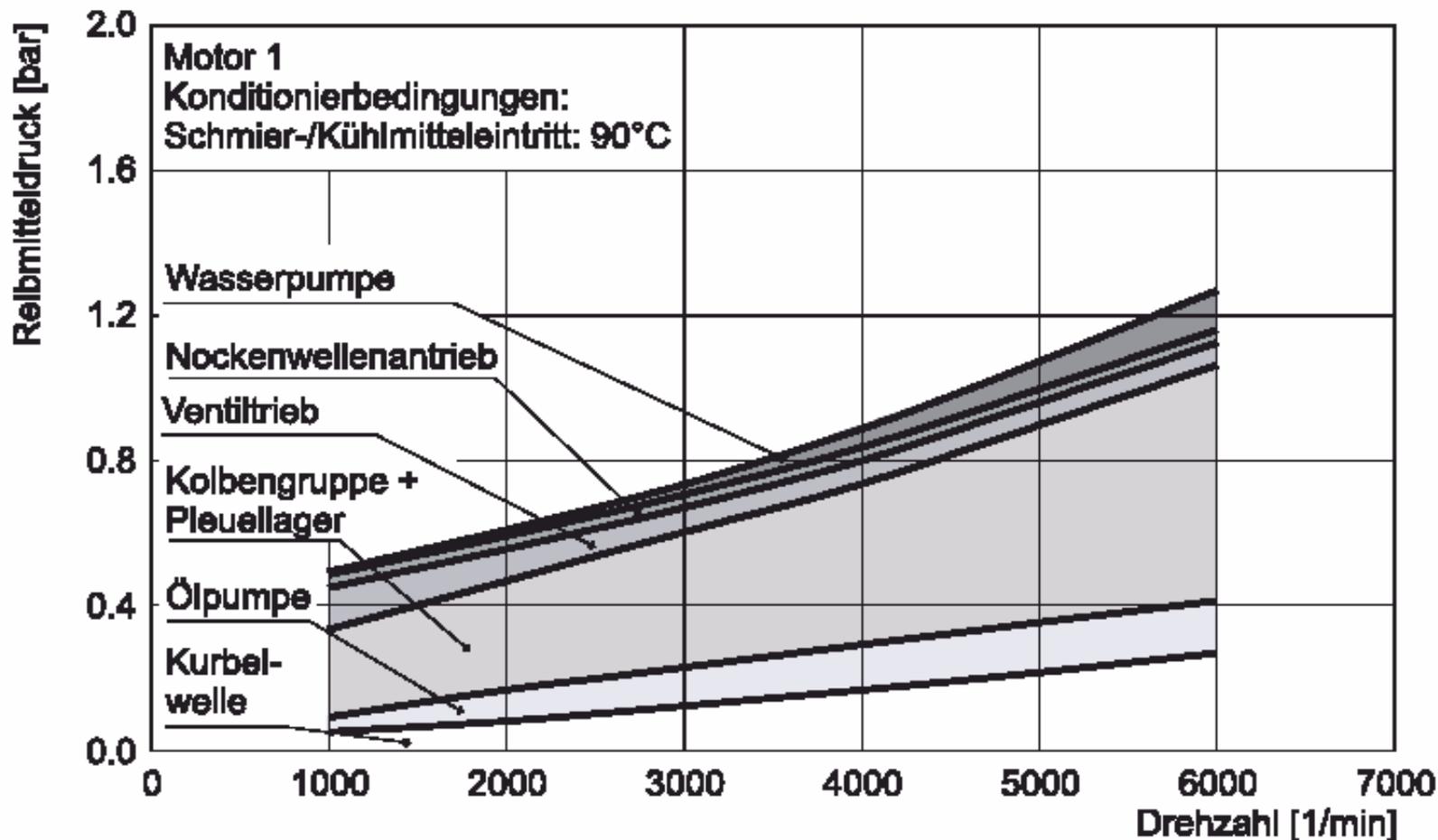
η_{me} : mechanischer Wirkungsgrad [-]

p_{mr} : Reibmitteldruck [bar]

Δp_{mr} : Absenkung Reibmitteldruck [bar]

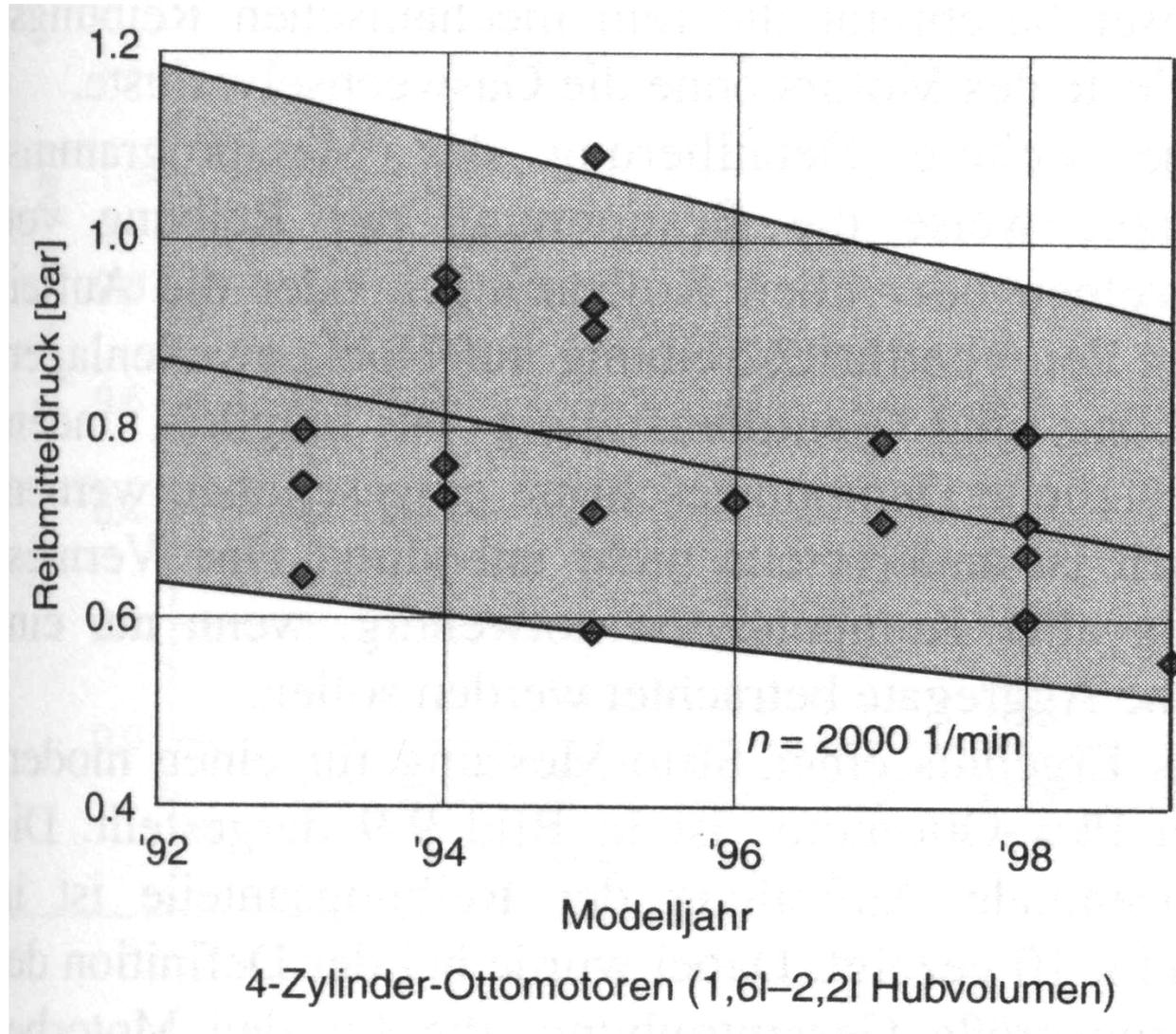
Mit einem durchschnittlichen mech. Wirkungsgrad von 0,7
→ 0,023 bar Änderung im Reibmitteldruck
→ bewirkt 1 % im effektiven Wirkungsgrad / Verbrauch

Reibmitteldruck



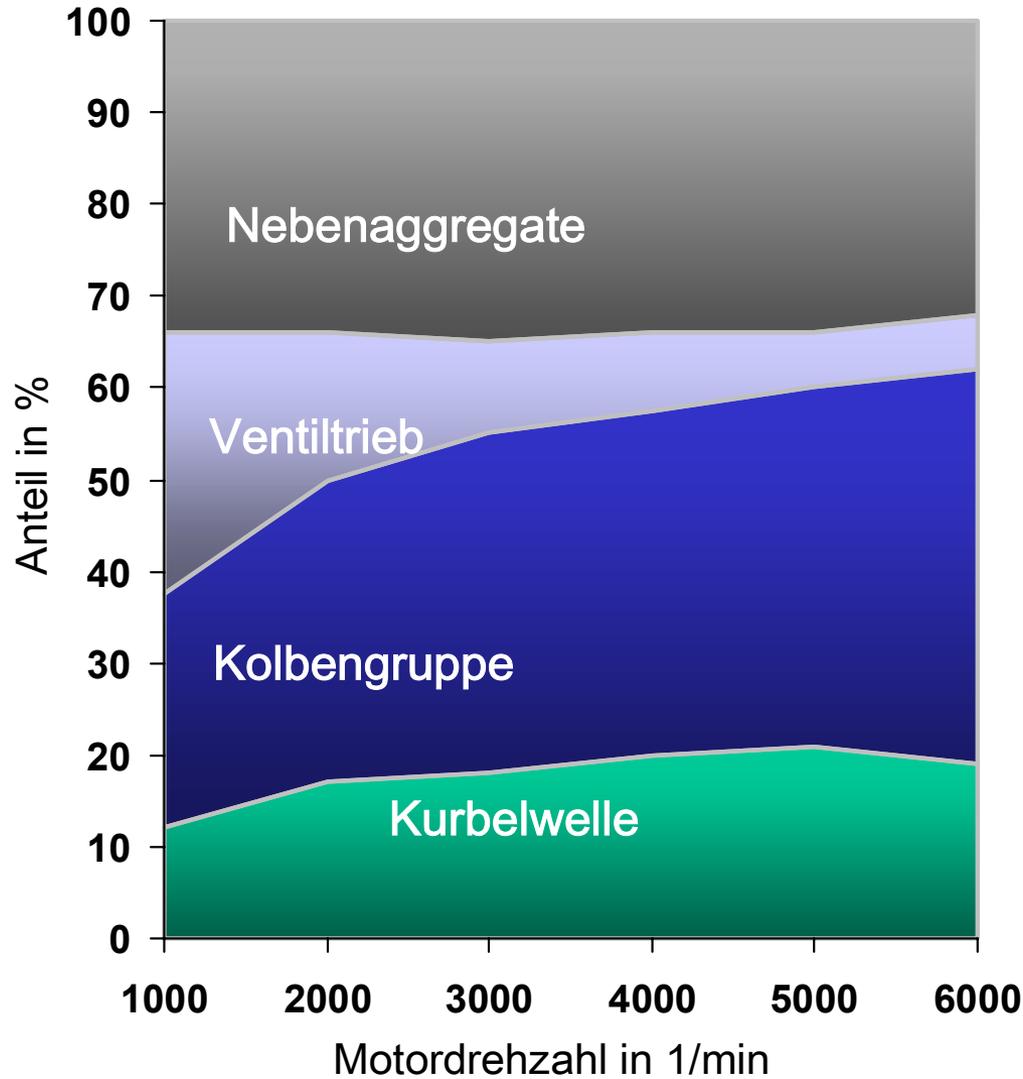
Source: Manuskript of Internal combustion engines
Prof. Hohenberg, TU Darmstadt

Entwicklung der Reibung



Quelle: van Basshuysen/Schäfer,
Handbuch Verbrennungsmotoren

Motorreibung Anteil der Baugruppen



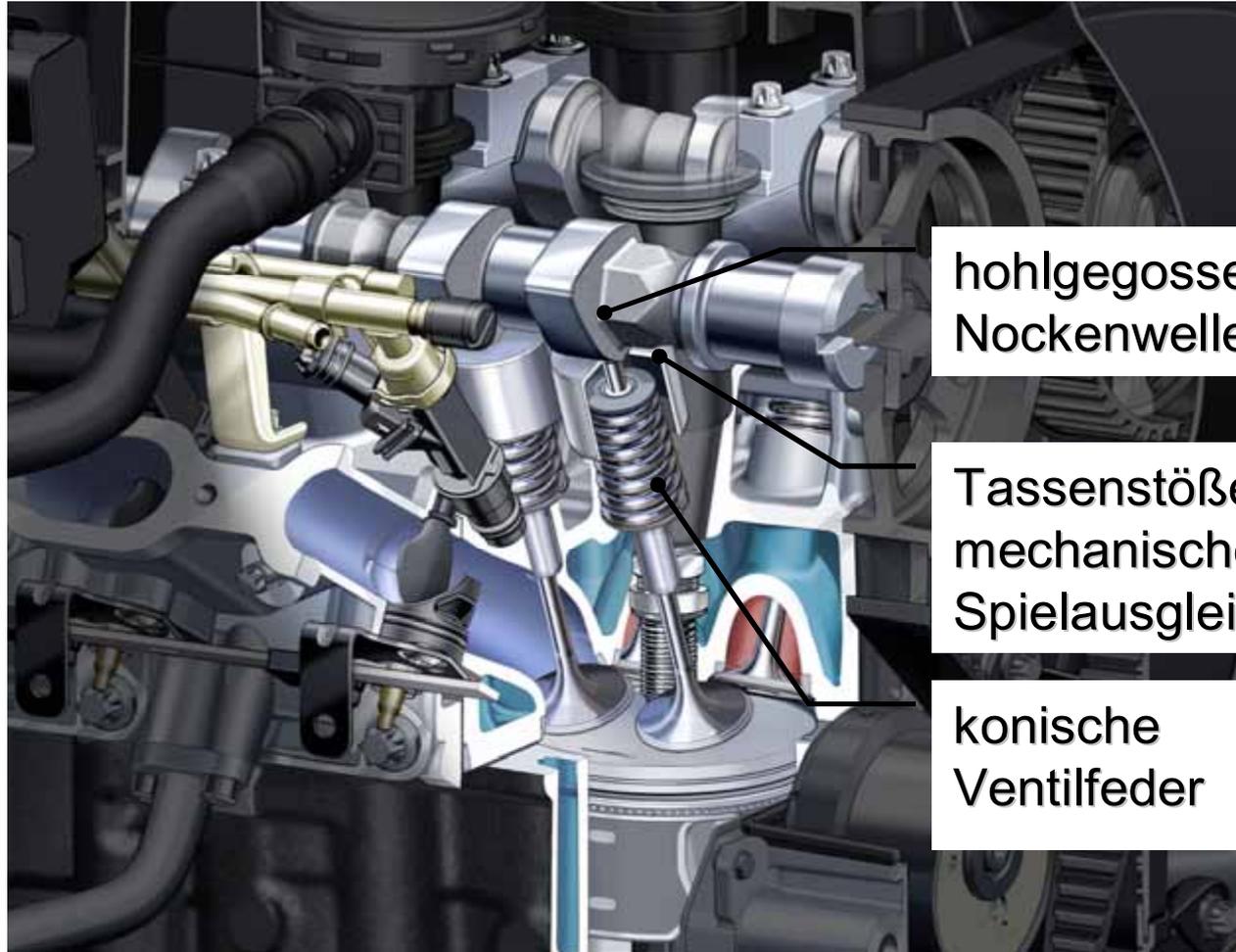
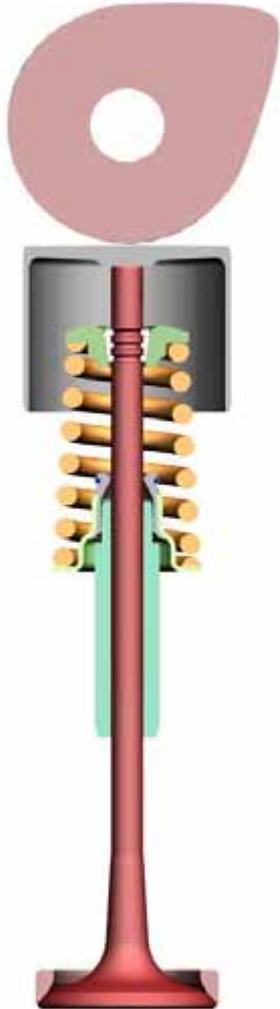
Verbesserung der Reibungsbedingung

- Vermeidung von Grundkreisreibung
- Übergang auf Rollreibung
- Verbesserung der hydrodynamischen Schmierbedingung

Massenreduzierung

- Erlaubt bei gleicher dynamischer Auslegung eine Reduzierung der Federkraft und damit der Normalkraft in der Reibfläche

Tassenstößel - Ventiltrieb



hohlgegossene
Nockenwelle

Tassenstößel mit
mechanischem
Spielausgleich

konische
Ventilfeder

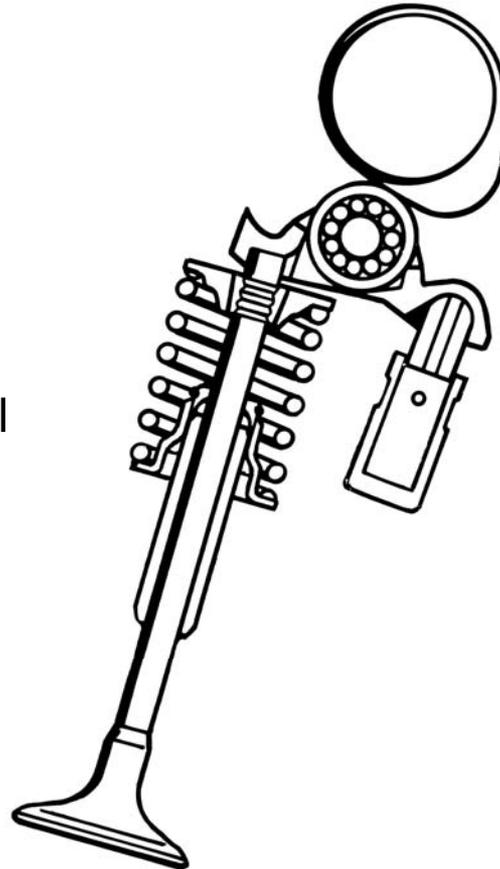
Rollender Abgriff im Ventiltrieb



Schlepphebel

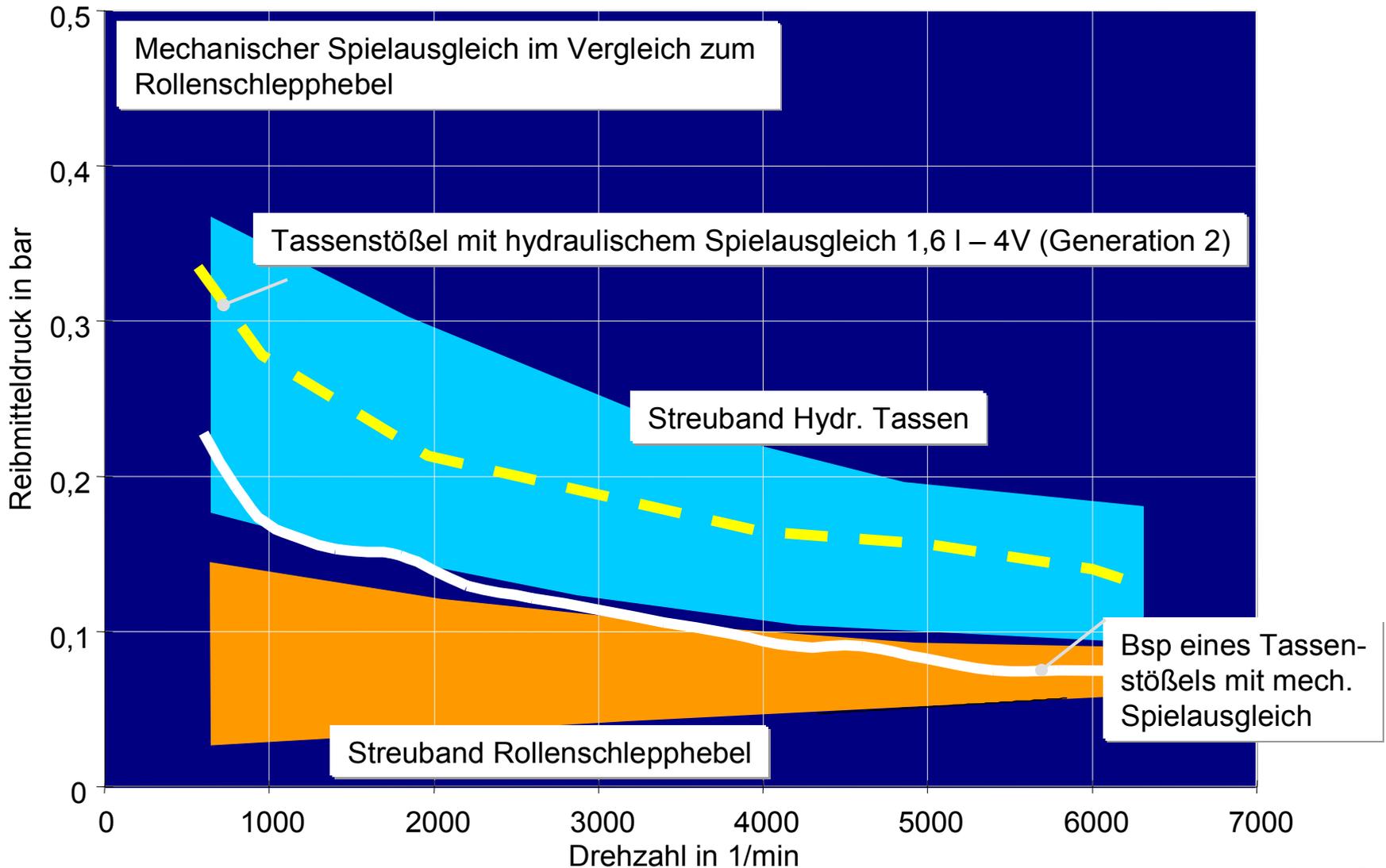


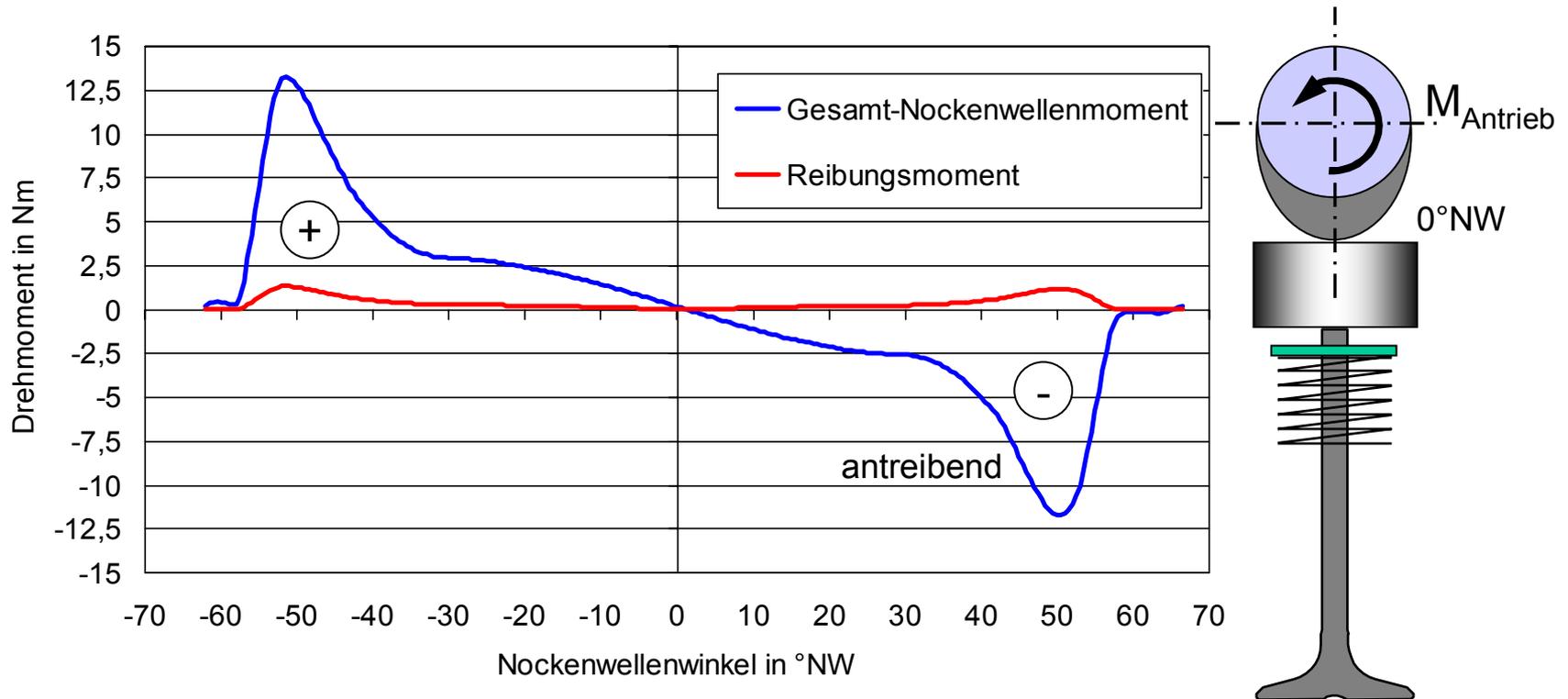
Kipphebel



Rollreibung zwischen Nocke
und Schlepphebel

Streubänder nach FEV





Beim Schließen des Ventils wird Arbeit geleistet !
Nur die Reibungsverluste sind aufzuwenden



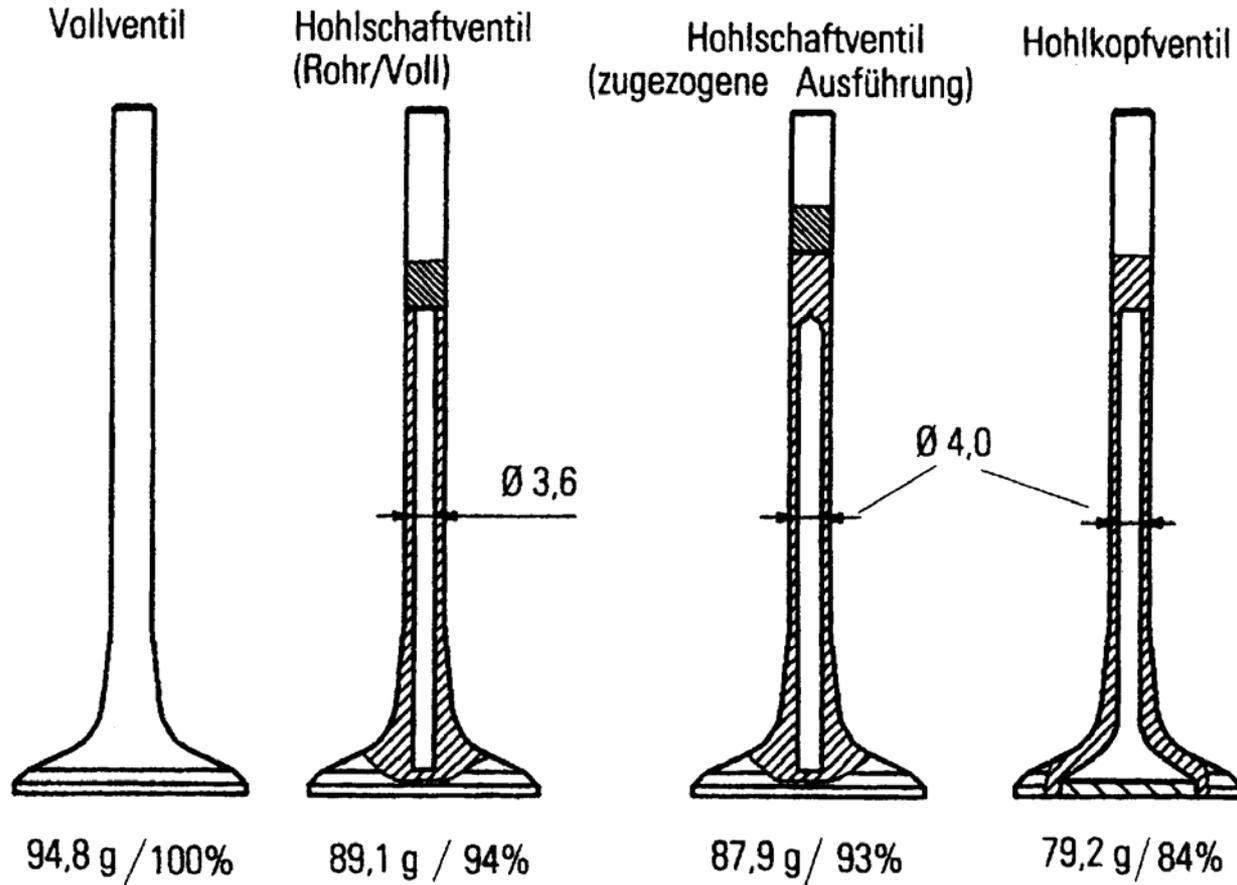
Möglichkeiten

- Verringerung des Schaftdurchmesser
- Hohlventile
- Kalotten in den Ventilköpfen

Materialwahl:

- AlTi (Titanaluminid)
- Keramik

Hohlventile



Tellerdurchmesser: 40 mm Schaftdurchmesser: 7 mm Ventillänge: 120 mm

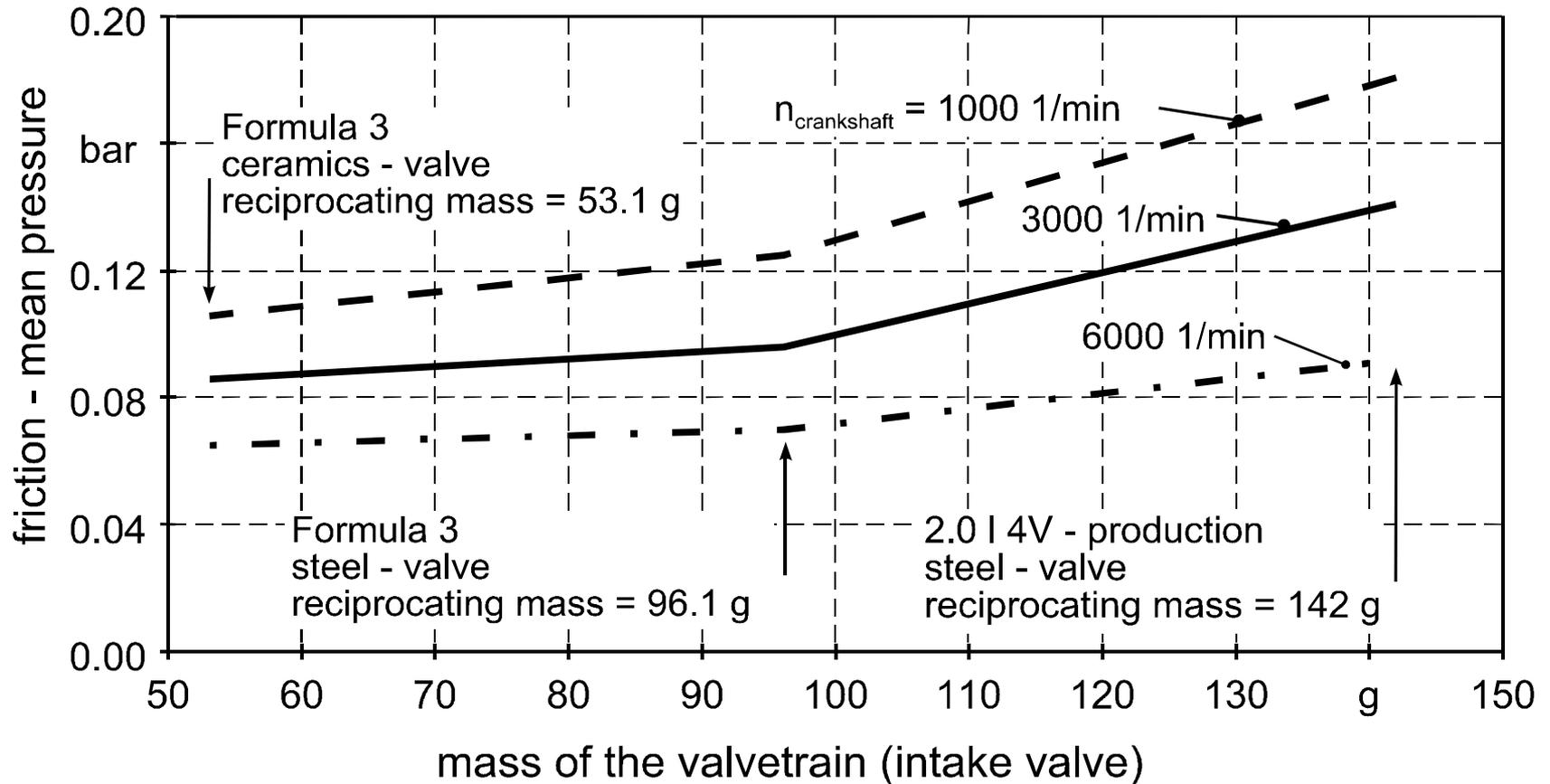


Keramikventile

Keramikventile

- Gewichtsreduzierung bis 50%
- Sehr günstiges Verschleißverhalten
- Bauteilprüfung in der Fertigung nicht zerstörungsfrei möglich
- Bei Ventilschaden dringen die Bruchstücke durch die Gaspulsationen in alle Zylinder → Motortotalschaden

Reduzierung der Ventilmasse



Beispiel: Formel 3 Rennmotor

Möglichkeiten und Grenzen

Bauteile für Massenreduzierung

- Ventil (mit Ventilkeilstücken und Federteller)
- Ventulfeder (bewegte Windungen !)
- Übertragungselemente (auf das Ventil reduzierte Masse ist relevant)

Wirkung

- Reduzierung der Federkraft bei gleicher dynamischer Auslegung (Grenzdrehzahl)
- Reduzierung der Massenkraft infolge der Beschleunigungen

Grenzen für die Reibungsreduzierung

- Bei der Feder ist die Zuhaltekraft bei geschlossenem Ventil und die Federrate ebenfalls relevant.
→ die Reibungsreduzierung flacht mit der Gewichtsreduzierung ab

- Stilllegen von Ventilen in Teilbereichen des Motorkennfelds (bei Mehrventilmotoren: nur minimal notwendige Anzahl der Ein- und Auslassventile betreiben; bei Mehrzylindermotoren: Abschalten von Zylindern)
- Reduzieren des Ventilhubes



Beispiel:
Ventil deaktivierung

Verbesserung der Reibungsbedingung

- Optimierung der Kolbenringspannung
- Reibung am Kolbenhemd: Optimierung der hydrodynamischen Reibung
- Wälzlagerung im Kurbeltrieb

Massenreduzierung

- Vermindert die Massenkräfte und damit der Normalkräfte an den Reibflächen

Thermomanagement

- Steuerung der Motortemperatur (Motoröltemperatur) in Abhängigkeit der Motorlast

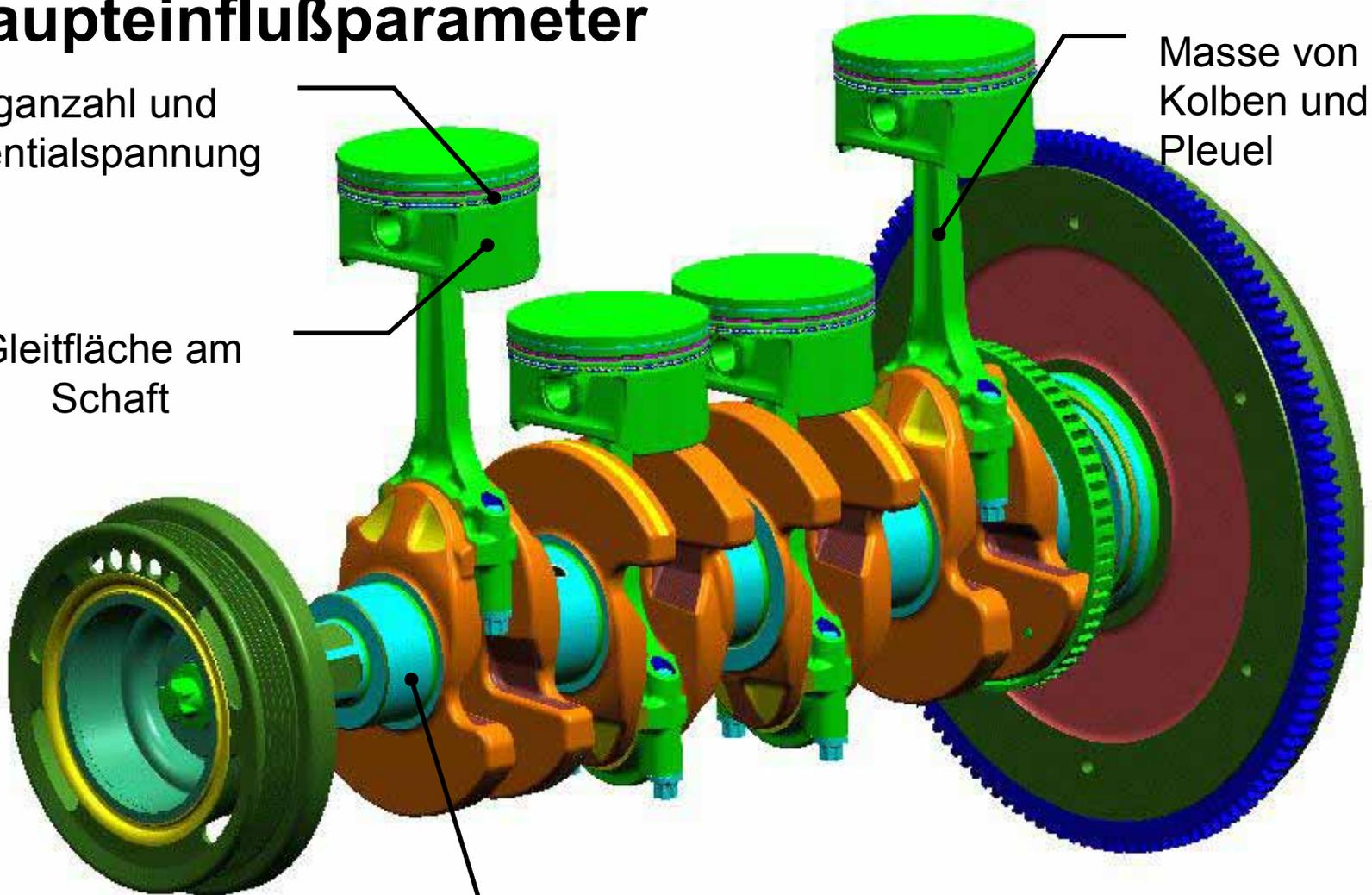
Haupteinflußparameter

Ringanzahl und
Tangentialspannung

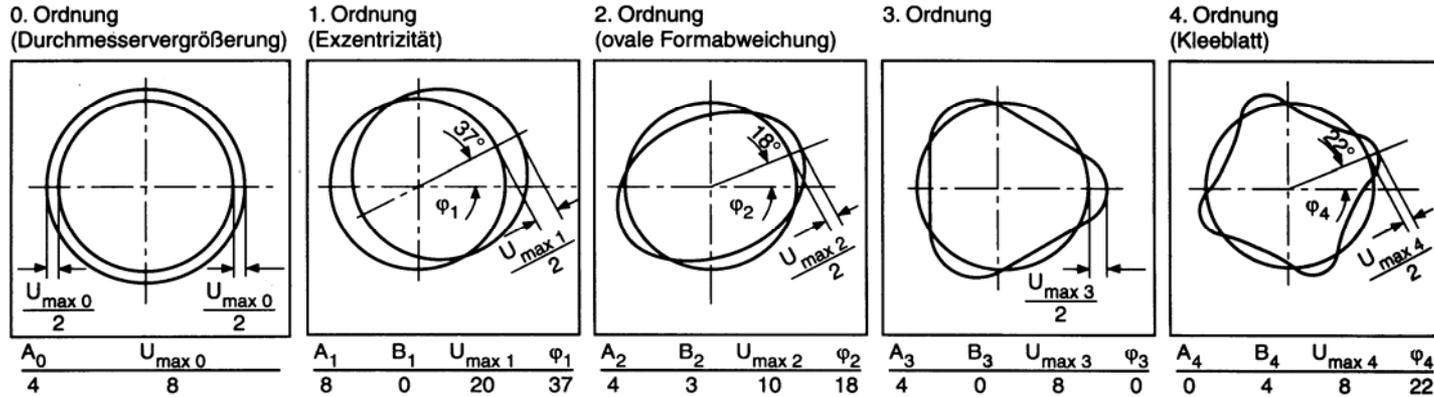
Gleitfläche am
Schaft

Masse von
Kolben und
Pleuel

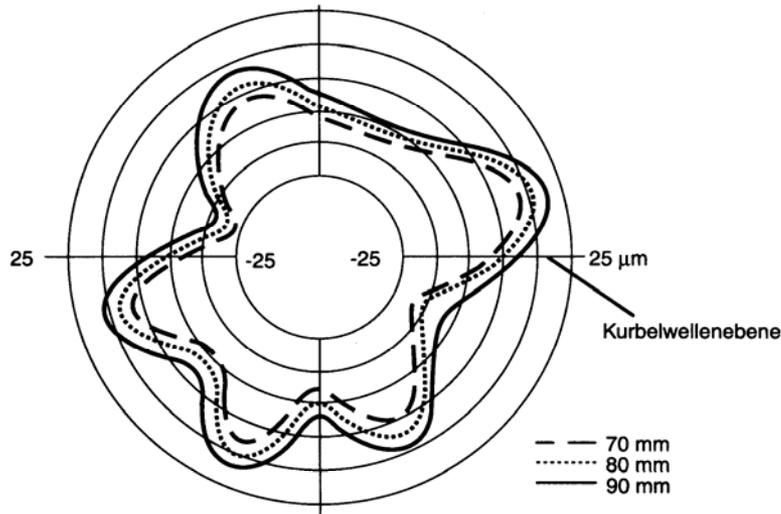
Lagerdurchmesser



Zylinderrohrverformung



Radialplot



Axialplot

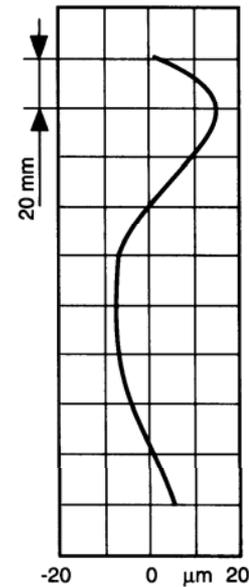


Abb. 11.8. Definition der Buchsenverzugsordnungen und Verformungsplots einer Buchse – Radial- und Axialplot

Quelle: Affenzeller, Gläser: Lagerung und Schmierung von Verbrennungsmotoren

Die Kolbenringe müssen durch die Tangentialspannung der Zylinderrohrform folgen, um

- Blow-by von Arbeitsgas in das Kurbelgehäuse zu minimieren
- Öl zu dosieren (minimale Schmierfilmdicke zur Funktion der Kolbengruppe)

Minimierte Laufbuchsenverformung erlaubt

- Reduzierte Ringspannung
- Reduzierte Reibungskräfte

Bild 2:
Bohrung 1 (links):
Gelaserte Kreuzstruktur auf Ringpaketbreite im oberen Umschaltspunkt
Bohrung 2 (rechts):
Optikkopf mit Hauptspindel in der ZLB eines Motorblocks (Arbeitsposition)

Fig. 2:
Bore 1: Laser-Structured cross hatch at the top reversal point (width of ring package)
Bore 2: Optical head with main spindle in the bore surface of an engine block (working position)

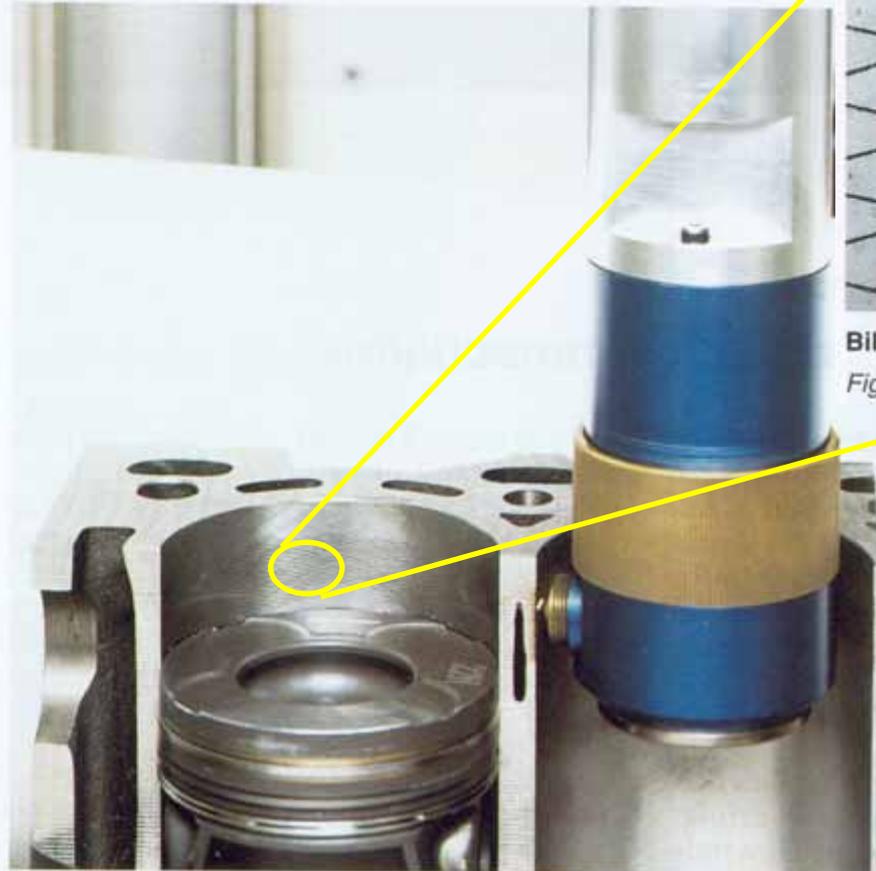
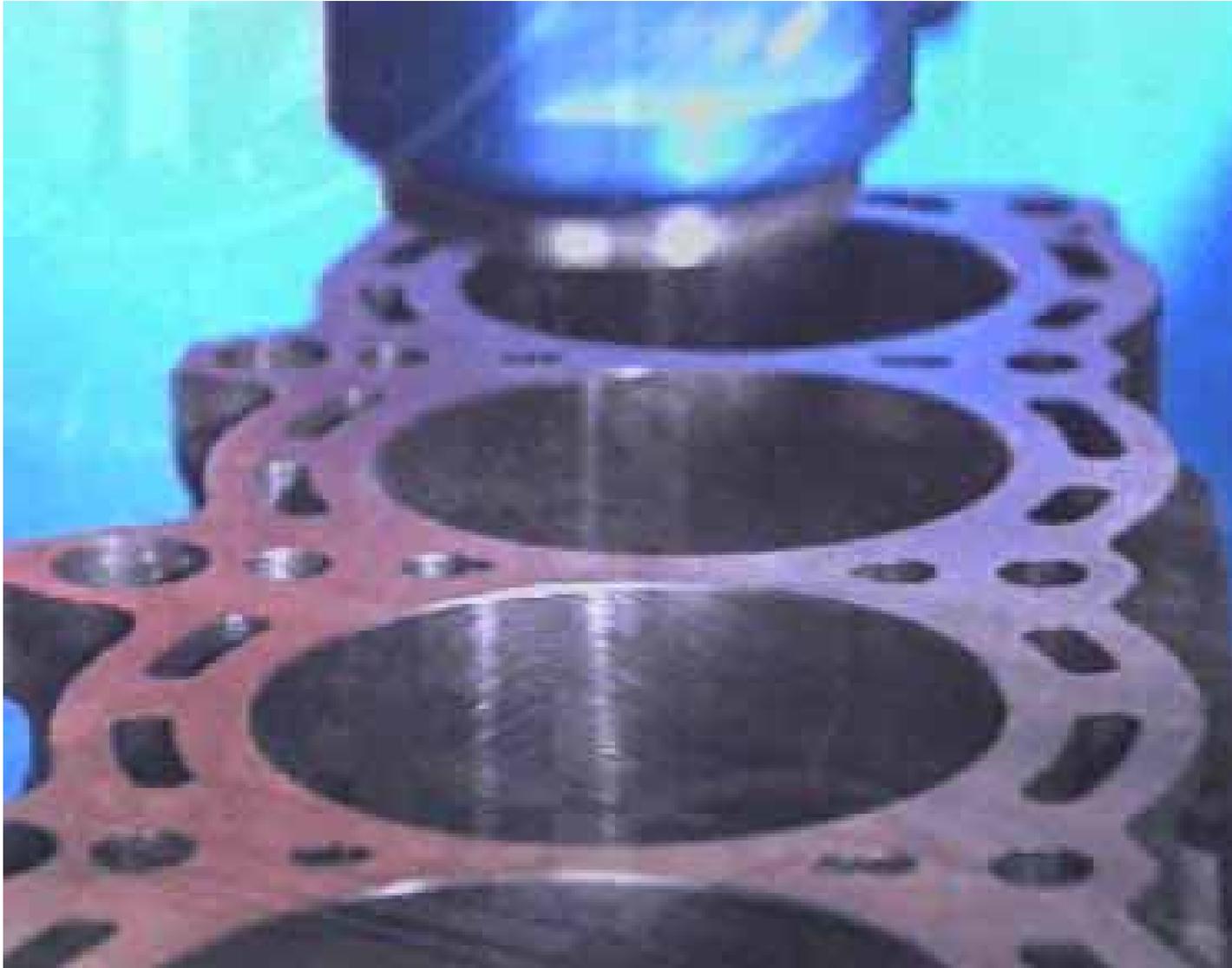


Bild 3: Lasergehonte Kreuzstruktur

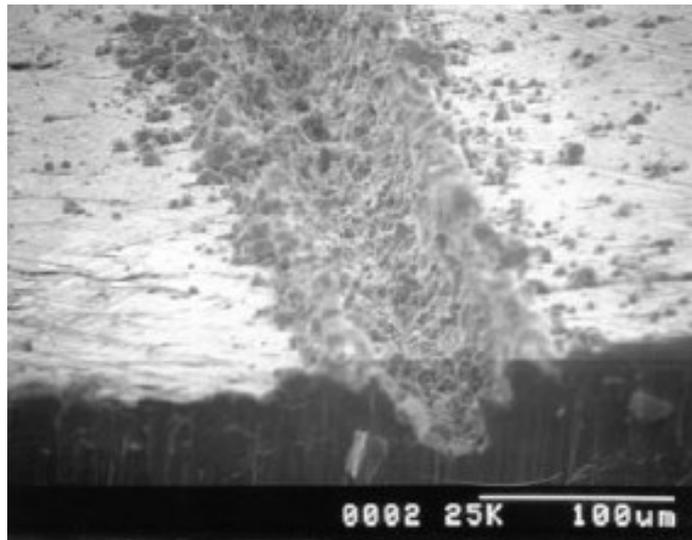
Fig. 3: "Laser-honed" cross hatch

Laserstrukturierung erlaubt glatte Laufbuchsen. Die Ölmenge zur Schmierung wird durch die laserstrukturierten Vertiefungen bereitgestellt.

Laserstrukturierung der Laufbuchse



- Lasered Pocket:



**Grat nach
Laserbehandlung**

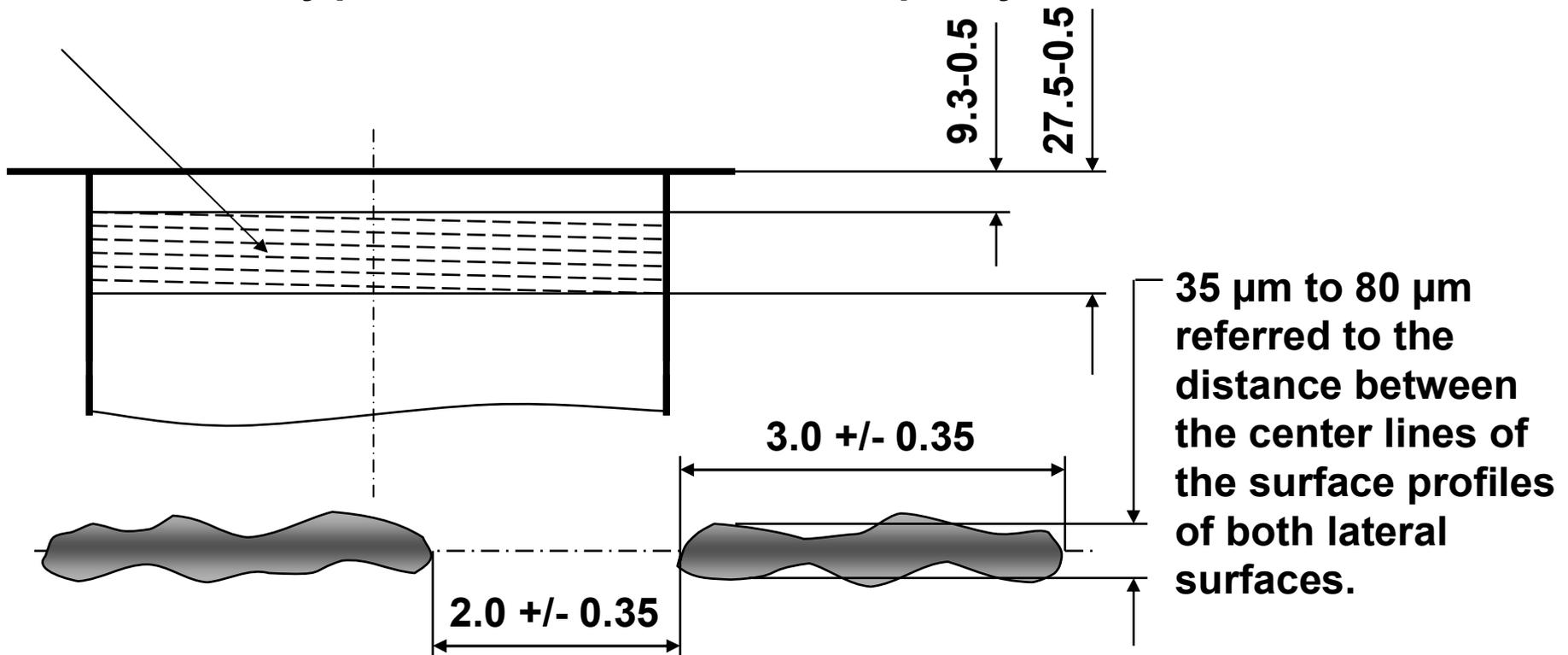


**Oberfläche nach
Entgraten und Finish-
Honen**

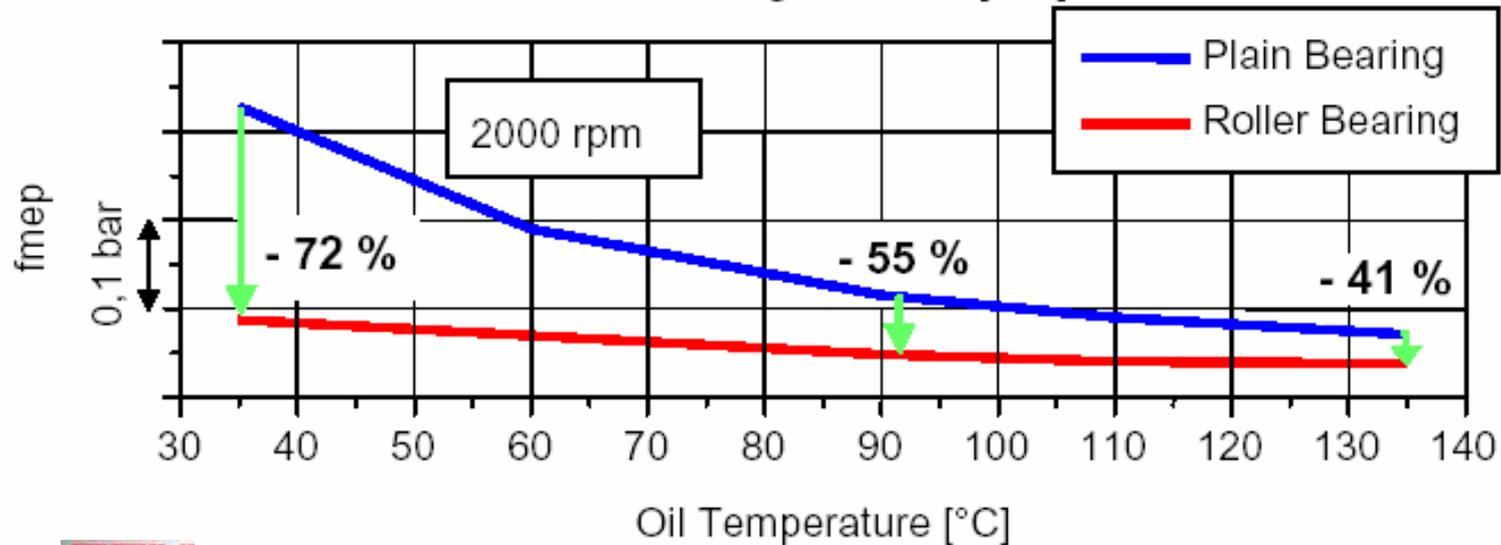
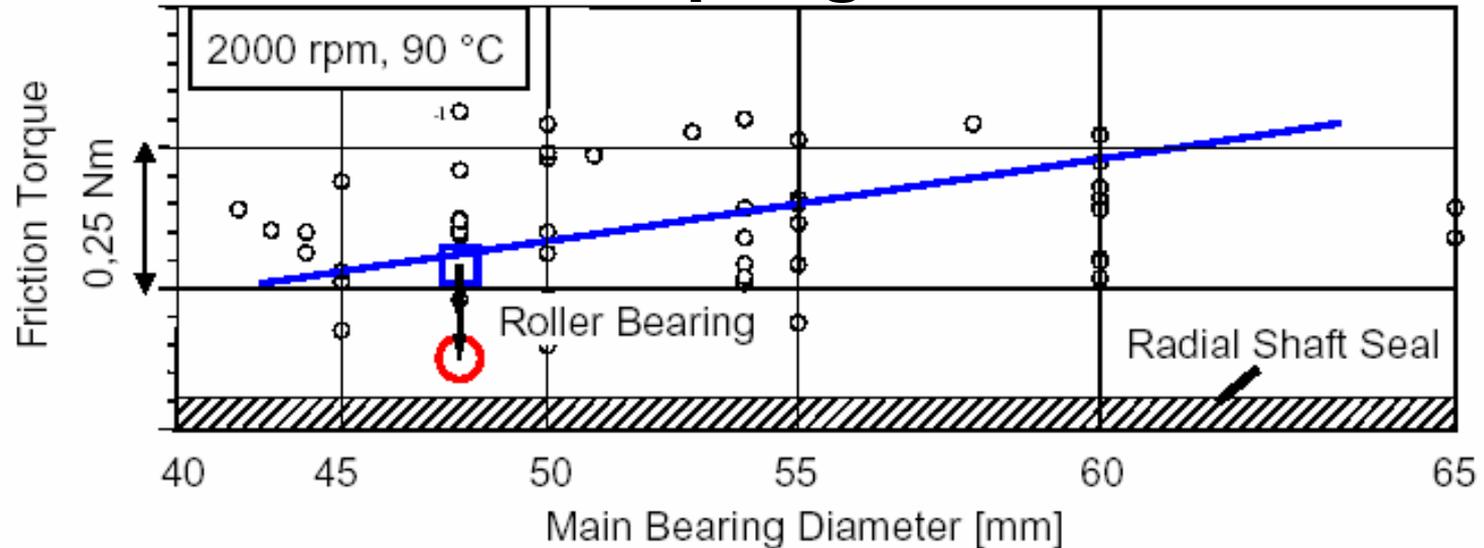
- Laser Pocket Specifications Fam. II DI-Diesel (Production)

In this area laser pockets on RHS
helix pitch 2 +/- 0.2 mm
consecutively positioned.

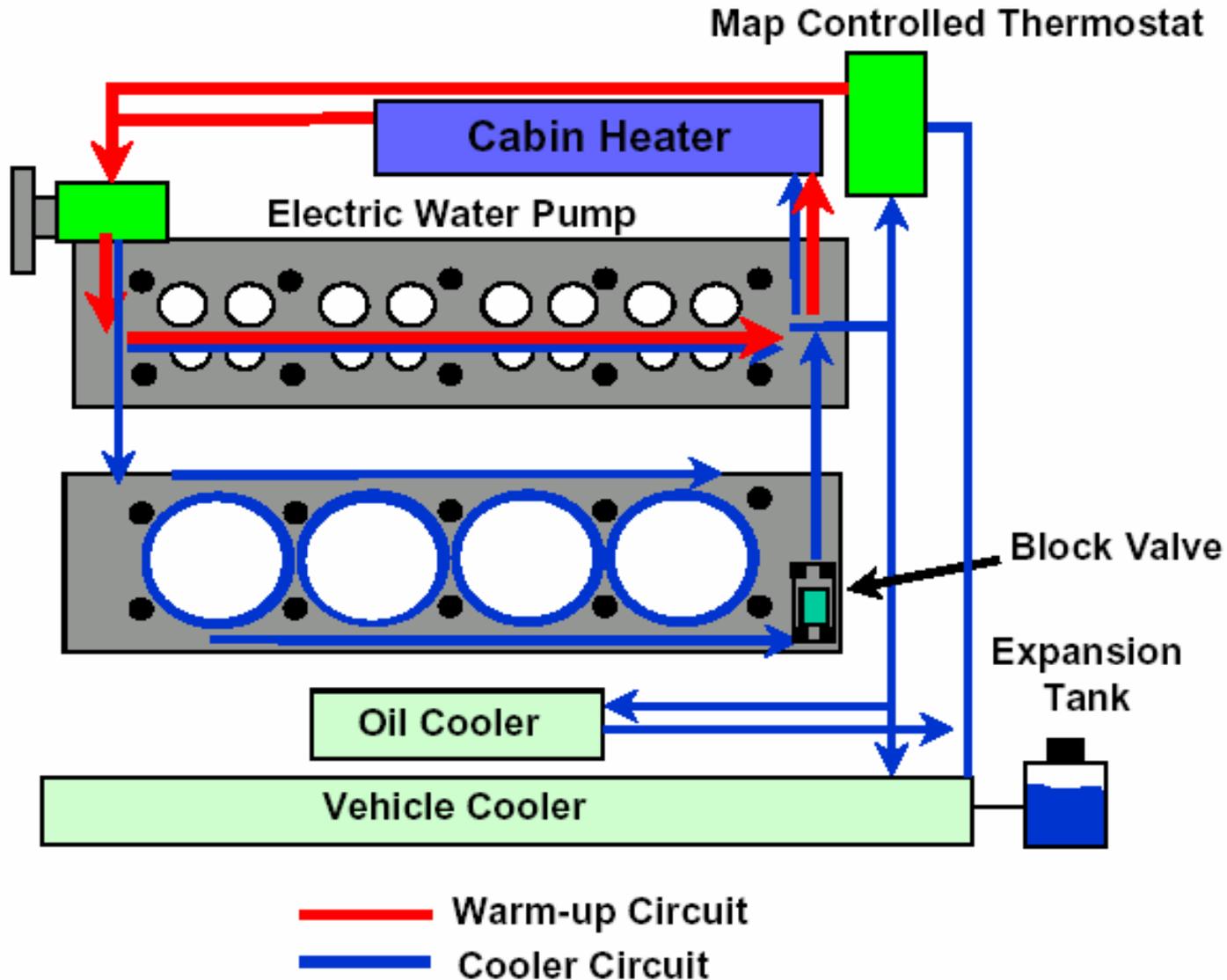
R_{max} in the pocket area > 20 μ m,
for 80% min. of 10 measurements
per cylinder block controlled.

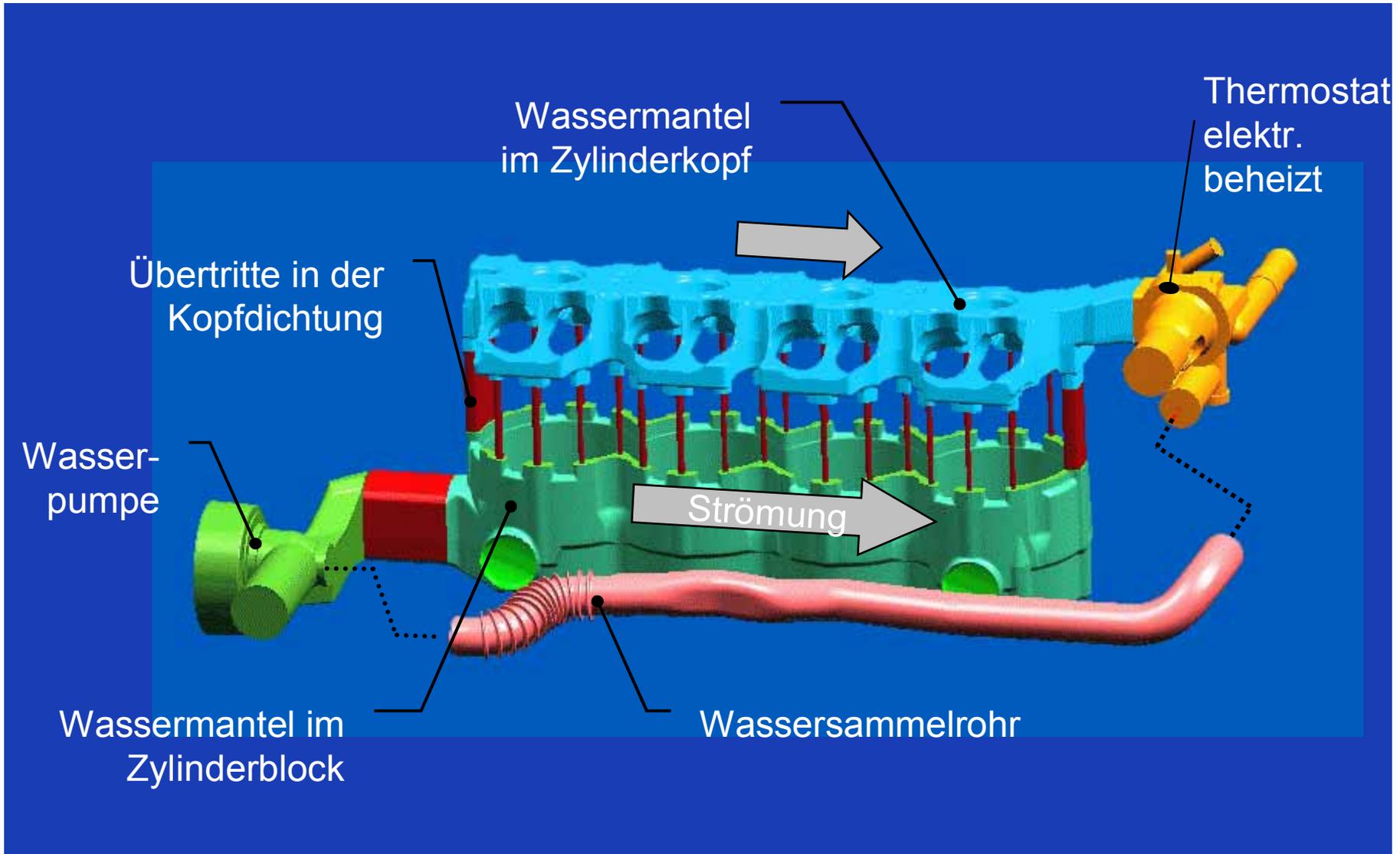


Reibmoment der Hauptlager

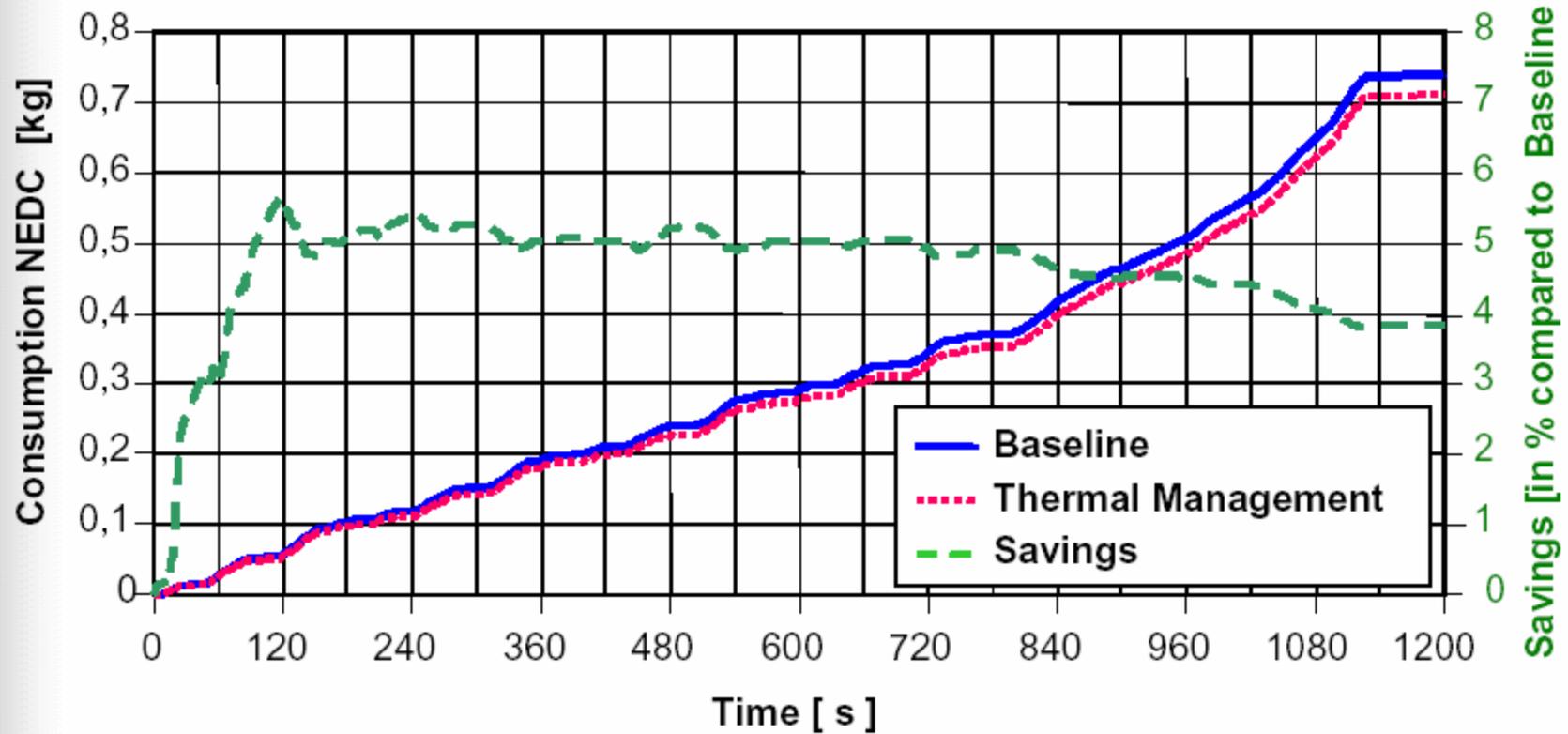


Thermomanagement





Einfluß auf den Verbrauch im Testzyklus



Wirkungsweise

Elektrisch beheiztes Thermostat erlaubt kennfeldgesteuerte Öffnung des Thermostats

Teillast

- Hohe Kühlmitteltemperatur (ca. 105 – 110 °C)
- Höhere Öltemperatur, weil die Wärmeübertragung an das Kühlwasser vermindert ist
- Viskosität des Öls sinkt → Reduzierte Reibung

Volllast

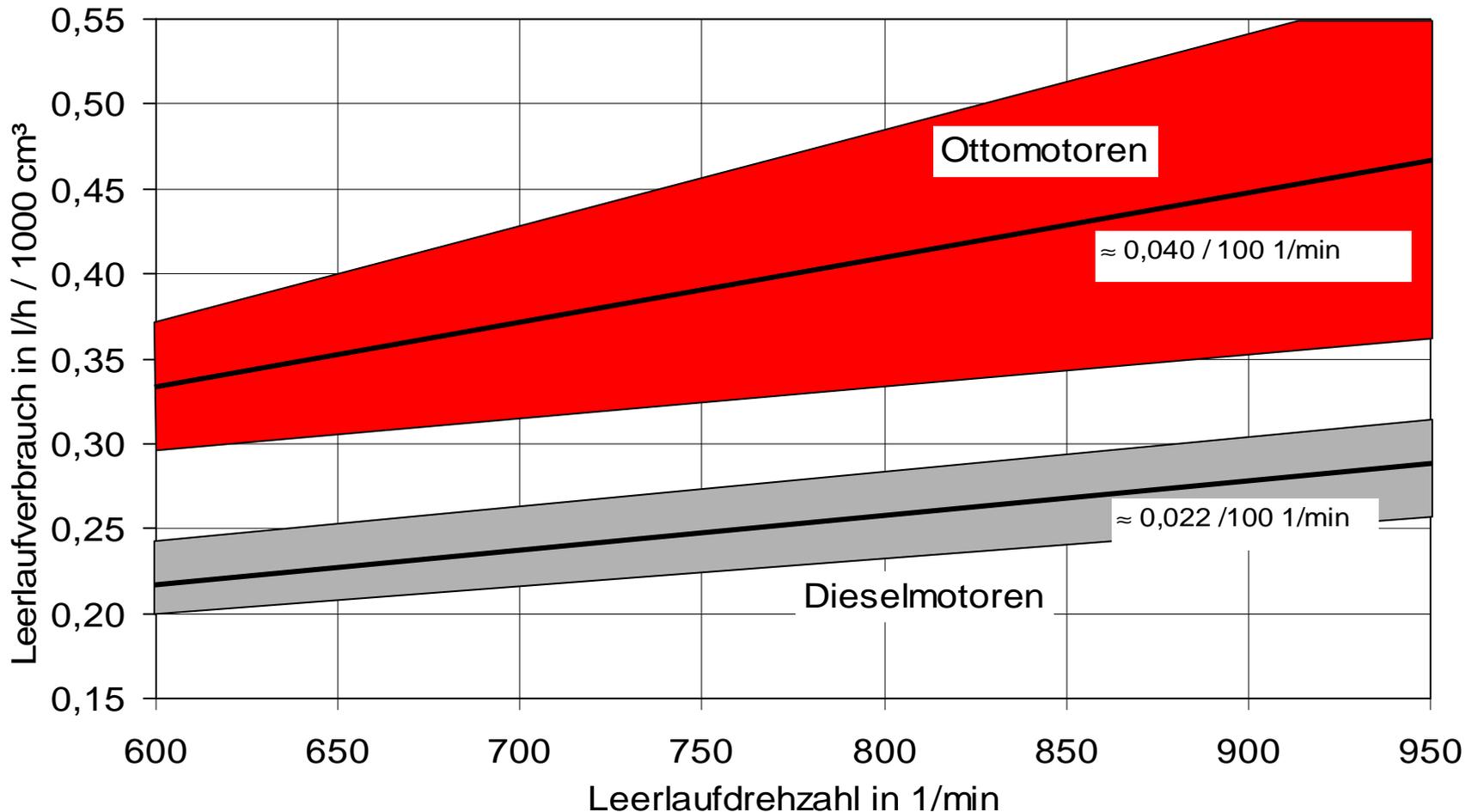
- Maximale Kühlung für kühlen Zylinderkopf
- Optimierte Randbedingung für das Klopfverhalten
- Maximierte Zylinderfüllung

Reduzierung der Leerlaufdrehzahl verringert den Verbrauch
Daumenregel:

Reduzierung um **100 1/min** ergibt

- Ottomotor
0,04 l/h pro 1000 cm³ Motorhubraum
- Dieselmotor
0,022 l/h pro 1000 cm³ Motorhubraum

Abhängigkeit von der Leerlaufdrehzahl



Grenzen

- Verbrennungssystem
 - Ottomotor mit äußerer Gemischbildung erlaubt ca. 500 – 600 1/min
 - Benzindirekteinspritzung erlaubt niedrigere Drehzahlen wegen stabiler Gemischbildung und exakterer Zumessung
- Pumpenauslegung
 - Öldruck muß sicher gestellt sein (eventuell größere Ölpumpe mit höherer Antriebsleistung !)
- Nebenaggregatetrieb
 - Generator begrenzt die Drehzahlabsenkung
(weitere Verbesserungen durch niedrige Massenträgheit, Entkoppelungselement – Freilauf, ...)
 - Steuertrieb - Dynamik
- Anfahrbarkeit des Fahrzeugs
 - Motordrehzahl ist für den Einkuppelvorgang (Kupplungsmodulation notwendig)

Gliederung

1. Entwicklungsrandbedingungen
 - 1.1 Gesetzliche Vorschriften
 - 1.2 Anforderungen von der Kundenseite
2. Verbrauchsreduzierung
 - 2.1 Thermodynamik
(Benzindirekteinspritzung, variable Ventiltriebe, Ladungsverdünnung, ...)
 - 2.2 Reibungsreduzierung
 - 2.3 Downsizing, Lastpunktverschiebung
3. Vollastverbesserung
 - 3.1 Luftaufwandsverbesserung bei freisaugenden Motoren
 - 3.2 Aufladung
4. Reduzierung der Abgasemissionen
 - 4.1 Motorinterne Maßnahmen
 - 4.2 Abgasnachbehandlung
5. Verbesserte Architektur
 - 5.1 Gewichtsreduzierung
 - 5.2 Kostenreduzierung
 - 5.3 Komfortverbesserung
6. Aktuelle Technologieeinführungen bei Ottomotoren
7. Entwicklungstendenzen für die Zukunft

Downsizing

Fahrzeug verkleinern ?



Downsizing

Fahrzeug verkleinern ?



Luft-, Roll- und Beschleunigungswiderstand

Luft- und Beschleunigungswiderstand

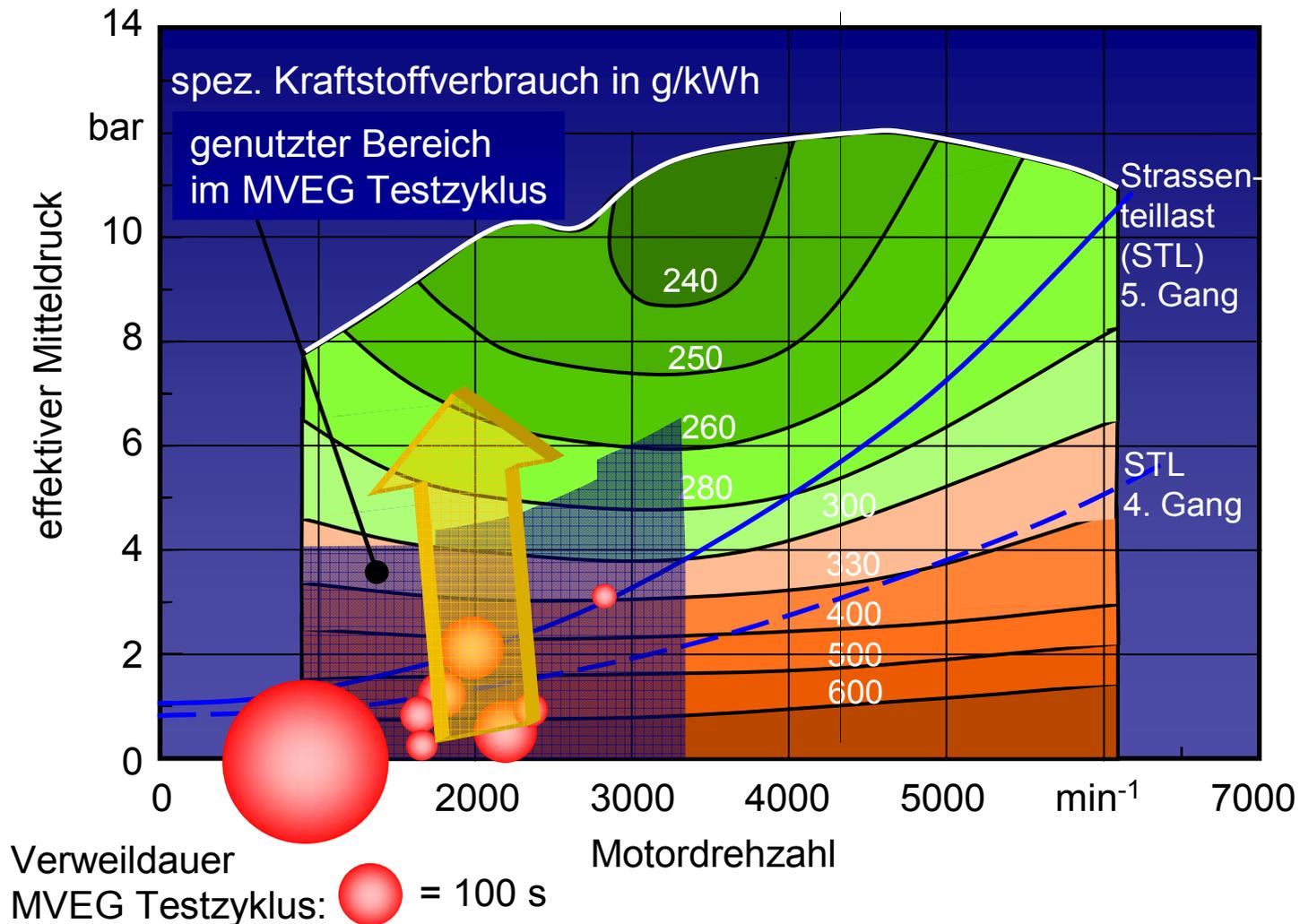
$$c_w \cdot A \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 + e_m \cdot m \cdot a$$



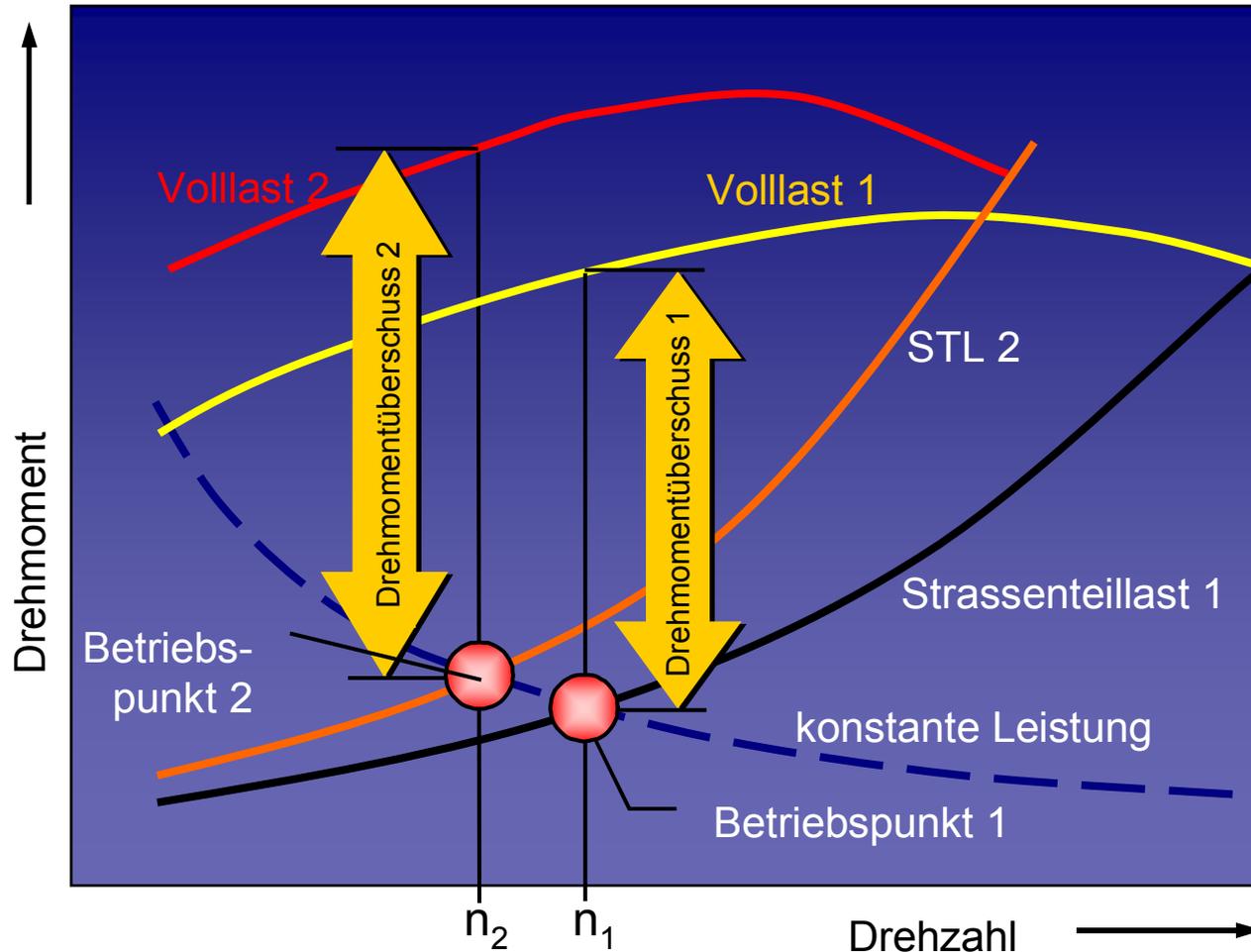
$$f_R \cdot m \cdot g$$

Rollwiderstand

Europäischer Testzyklus (Mittelklasse-PKW, 2l Motor)



Volllast für gleiche Beschleunigungselastizität



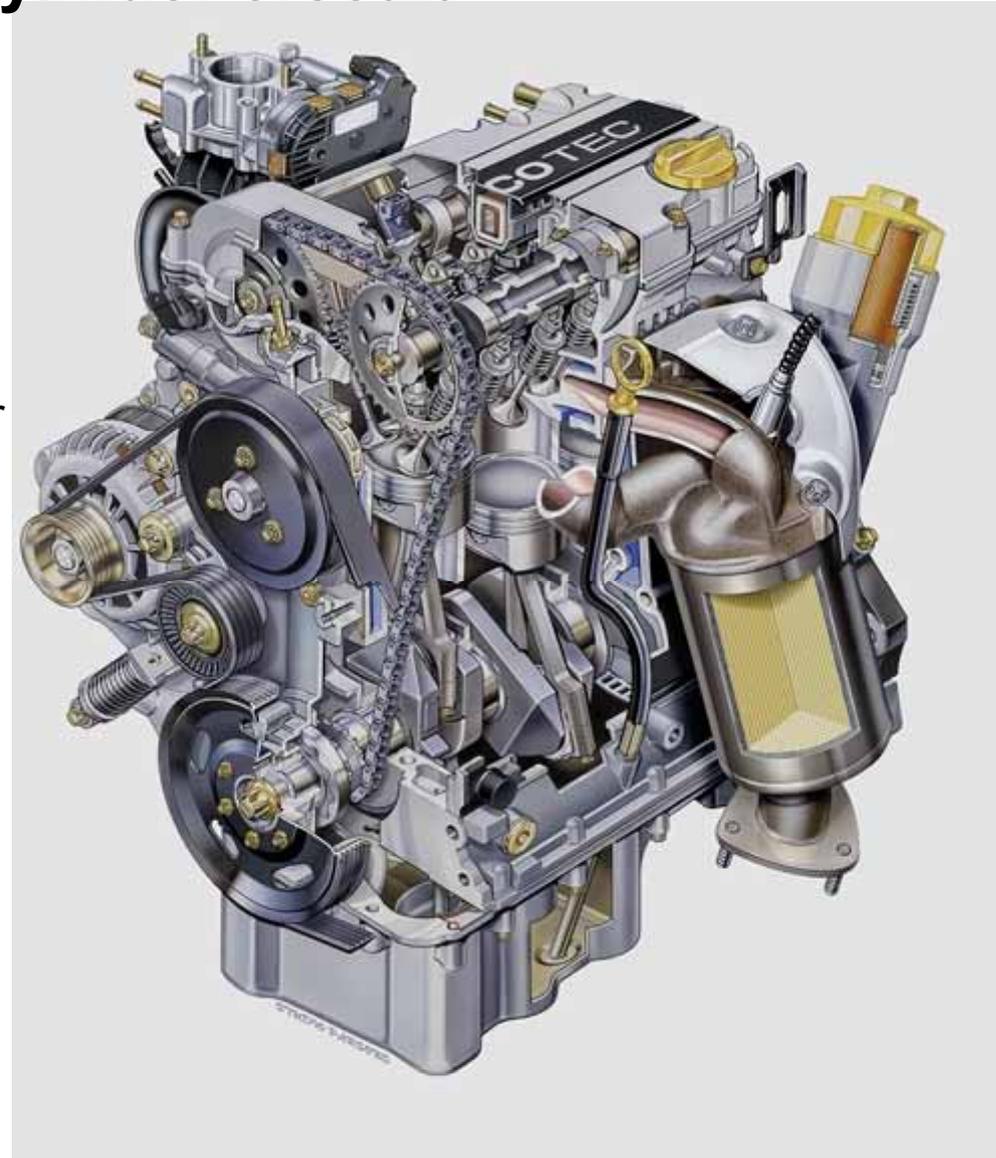
Leistungsgleicher Dreizylinder ersetzt Vierzylinder

Dreizylinder Vierventilmotor

- Hubraum: 1,0 l
- 43 kW / 85 Nm
- ersetzte 1,2 l Zweiventilmotor bei gleichzeitig verbesserten Fahrleistungen

10 % Verbrauchsvorteil durch

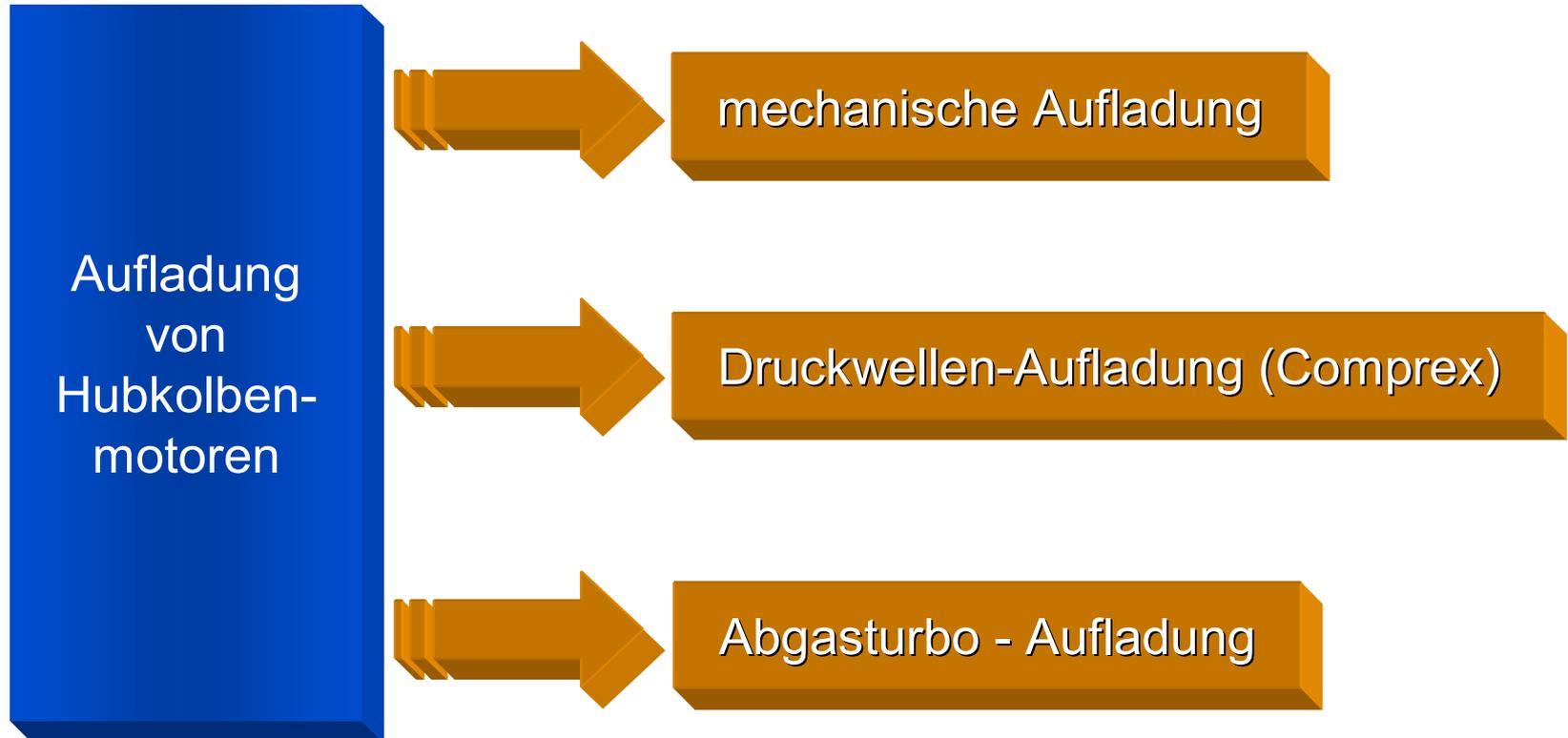
- Hubraumreduzierung
- Reibungsreduzierung



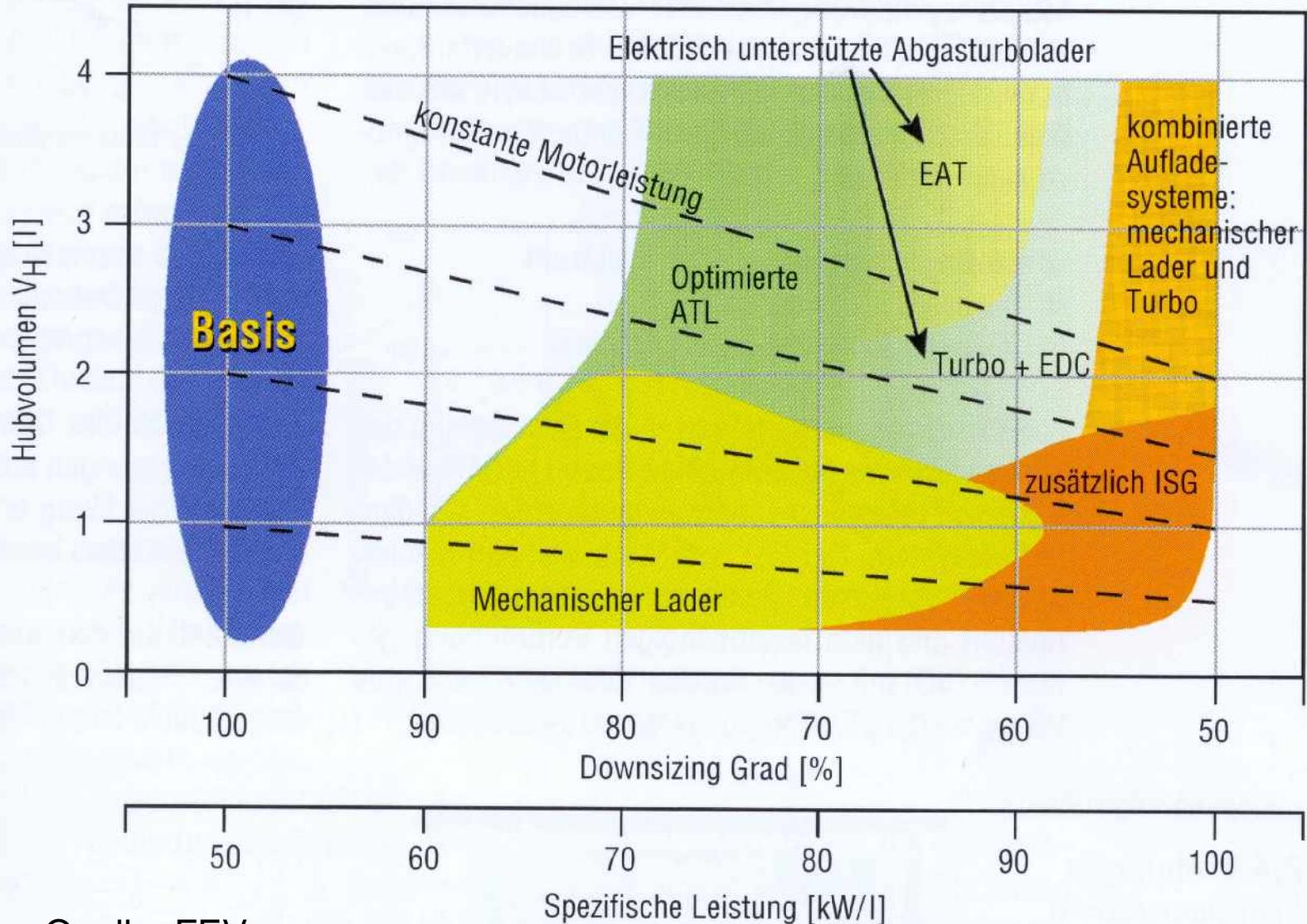
Prinzip

- Mitteldruckanhebung durch Kompression der Ansaugluft
- Reibungsreduzierung durch kleinere Motoren
- Gewichtsreduzierung des Motors
- geringere Packageabmessungen
- Bedarfsorientierte Kontrolle der Vollast
(Aufladegrades): Mehr Leistung aus kleinem Hubraum

Technische Möglichkeiten



Verbrauchsreduzierung durch Downsizing



Quelle: FEV