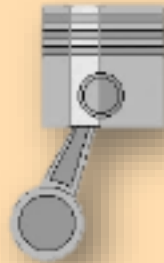


Labor Emissionen WS21/22

Prof. Dr.- Ing. U. P. Thiesen
Dipl. - Ing. I. Behr, M.H.Edu.

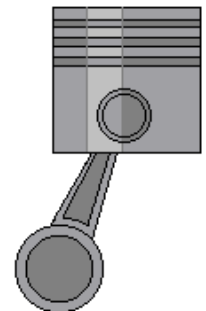


Nur für den Gebrauch im Labor Emissionen
im Wintersemester 2022-23

Ziele

Die Studierenden können:

- die Abgasanalyseanlage die eingesetzte Messtechnik beschreiben und erklären
- das Messverfahren Zylinderinnendruckindizierung in seinen Grundzügen beschreiben und exemplarisch an einem Zylinder anwenden
- die ermittelten Messwerte den mechanischen Kenngrößen des Prüfstands gegenüberstellen und beurteilen
- mögliche Messunsicherheiten bewerten und die Plausibilität von Messdaten überprüfen
- die Messergebnisse fachgerecht darstellen, kritisch diskutieren und Maßnahmen ableiten, die geeignet sind den Schadstoffausstoß zu reduzieren oder das Betriebsverhalten des Verbrennungsmotors zu verbessern



Opel A18XER

Allgemeines

Bauform:	4-Zylinder in Reihe DOHC 16V
Verstellbare Nockenwelle:	Einlass- und Auslassseite
Bohrung:	80,5 mm
Hub:	88,2 mm
Pleuellänge:	129,75 mm
Volumen:	1796 cm ³
Verdichtung:	10,5:1
Leistung:	103 kW (140 PS) bei 6300 ¹ / _{min}
Drehmoment:	175 Nm bei 3800 ¹ / _{min}
Abgassystem:	Geregelter Katalysator (Euro 5)

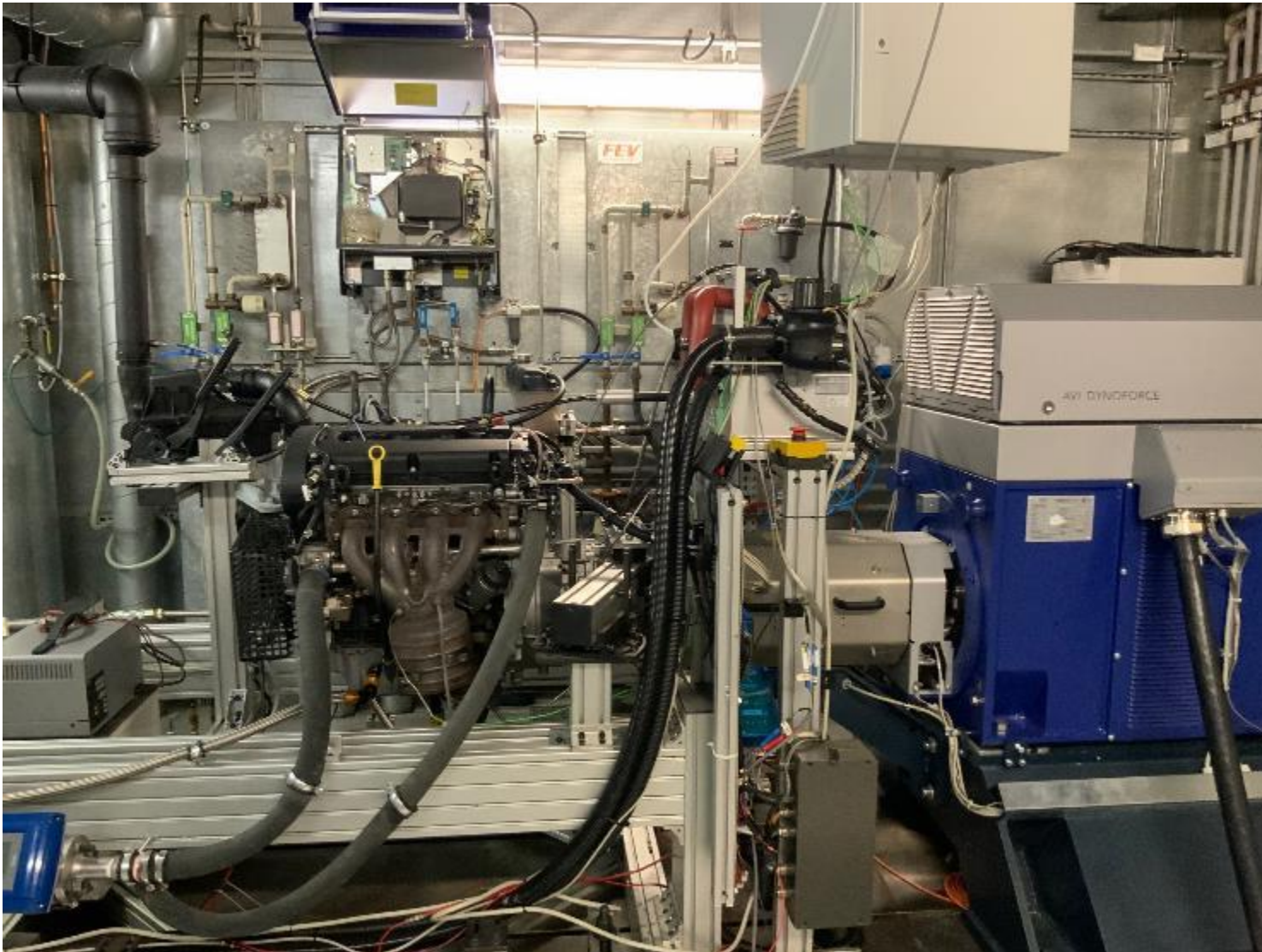
Übersetzungen des originalen M32WR-Getriebes

1. Gang:	3,818
2. Gang:	2,158
3. Gang:	1,475
4. Gang:	1,067
5. Gang:	0,875
6. Gang:	0,744
Rückwärtsgang:	3,545
Achsübersetzung:	4,180



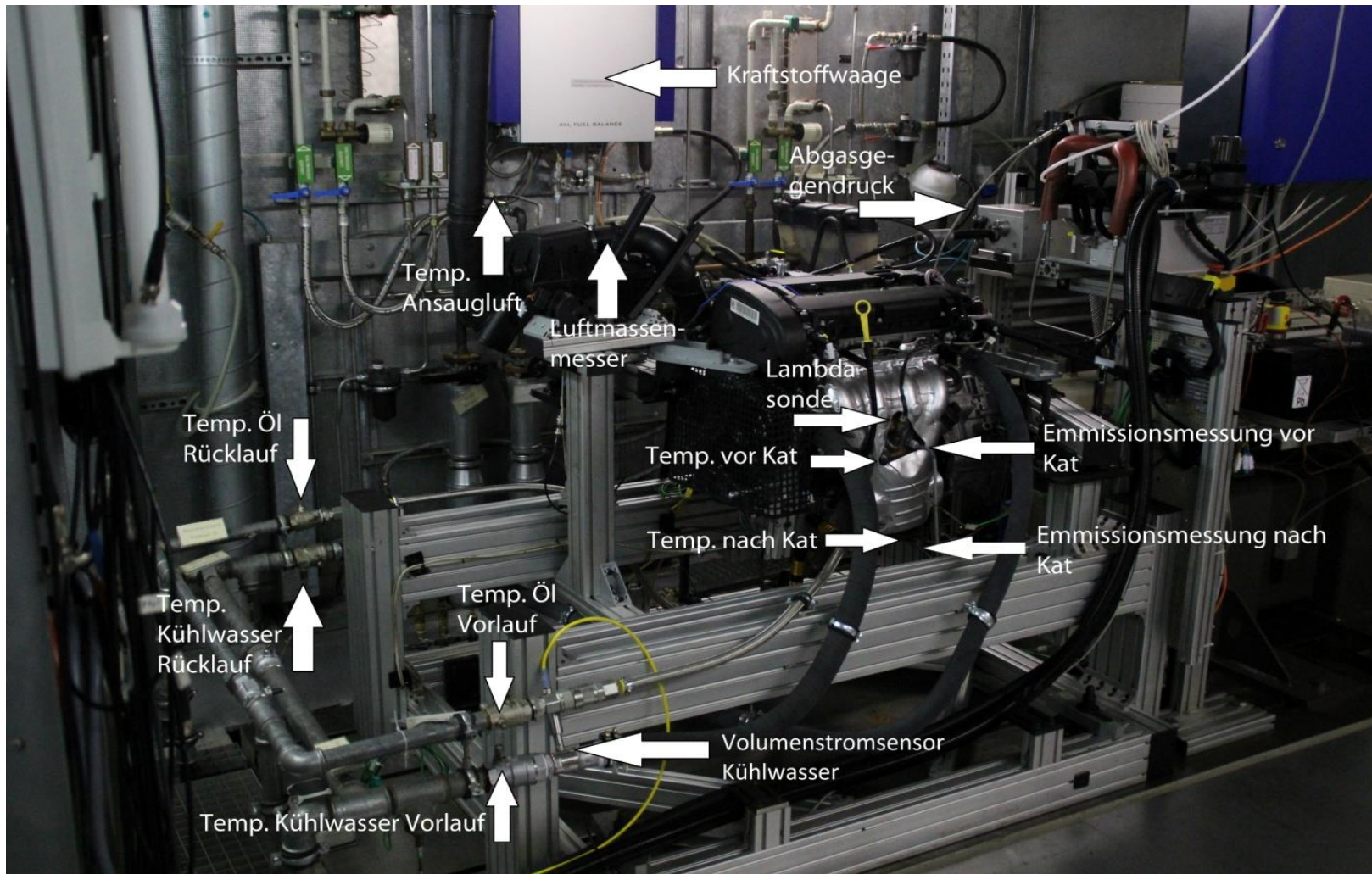
4-Takt-Ottomotor der Adam Opel AG

Beschreibung des Prüfstands



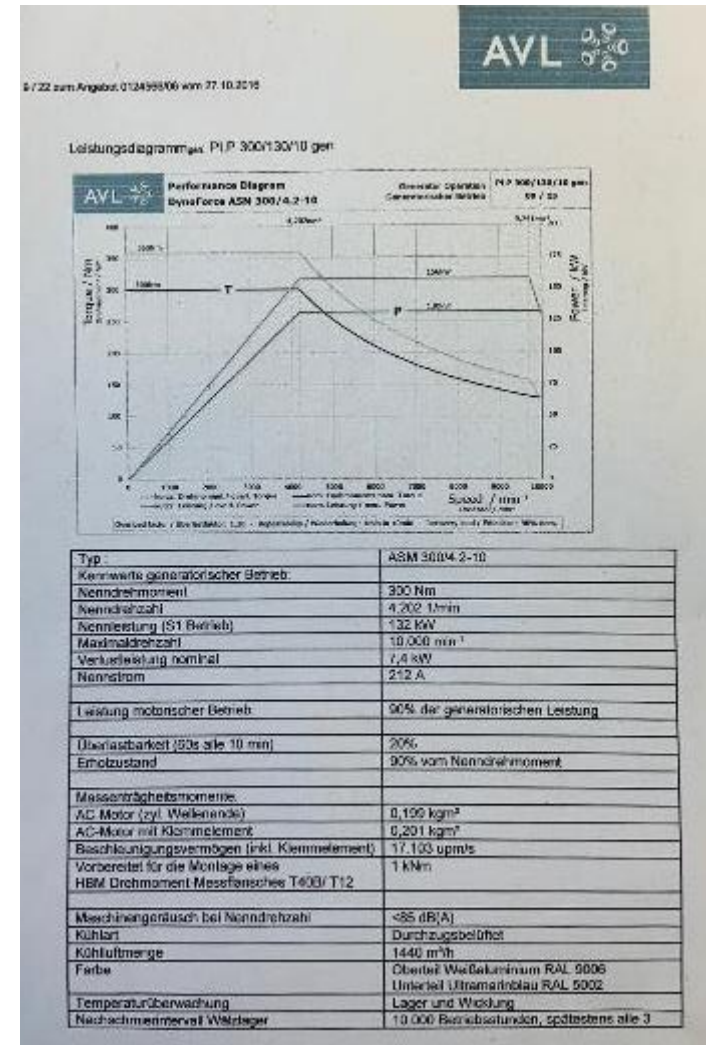
Beschreibung des Prüfstands

Messmöglichkeiten im Motorprüfstand



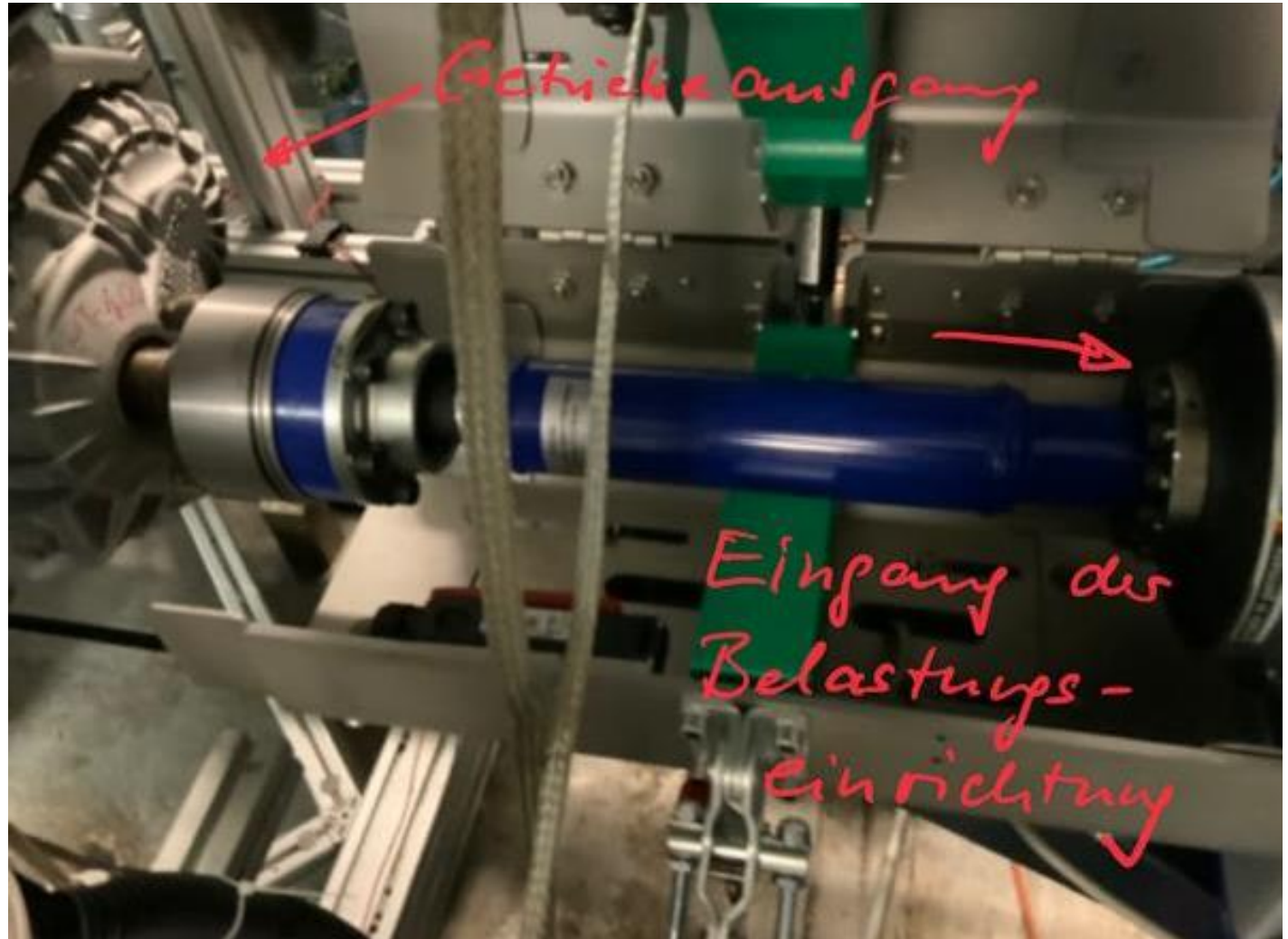
Beschreibung des Prüfstands

Asynchronmaschine als Belastungseinrichtung und ihr Kennfeld



Beschreibung des Prüfstands

Wellenverbindung zwischen Motor und Asynchronmaschine



Beschreibung des Prüfstands

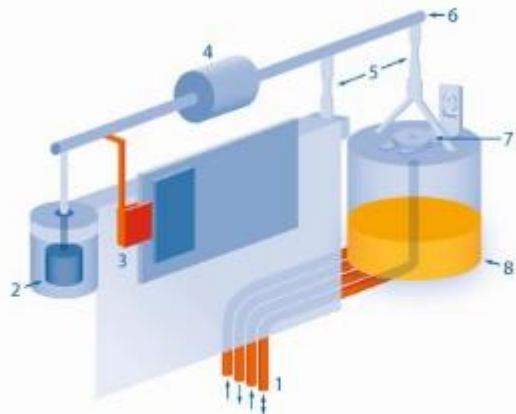
AVL Fuel Balance

Innenansicht der Kraftstoff -
Verbrauchsmesseinrichtung
AVL Fuel Balance
und Einbindung in den Prüfstand
→ Kühlung des Vor-und Rücklaufs

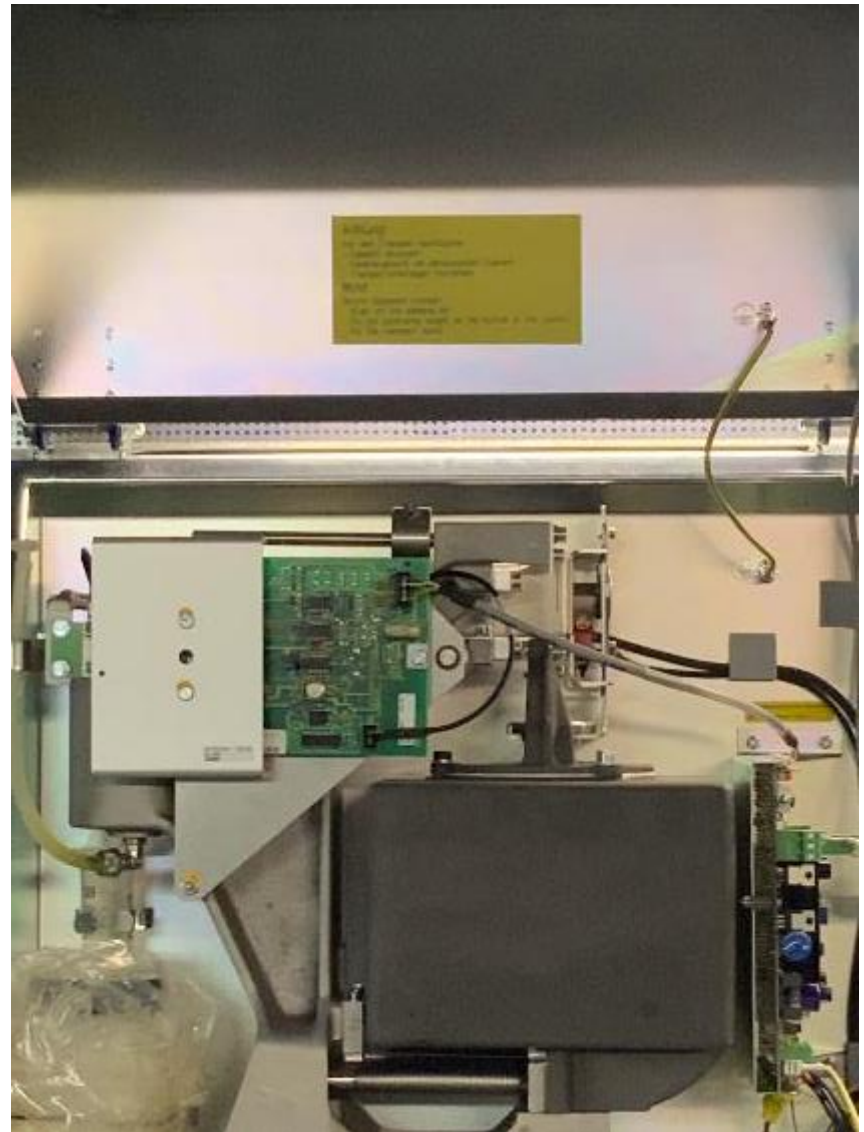


Beschreibung des Prüfstands

Innenansicht und Messprinzip der
Kraftstoff -
Verbrauchsmesseinrichtung
AVL Fuel Balance



- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| 1 Fuel supply connections (4) | 5 Blade spring |
| 2 Damping device | 6 Measurement beam |
| 3 Capacitive sensor | 7 Calibrating weight |
| 4 Tara weight | 8 Measuring vessel |



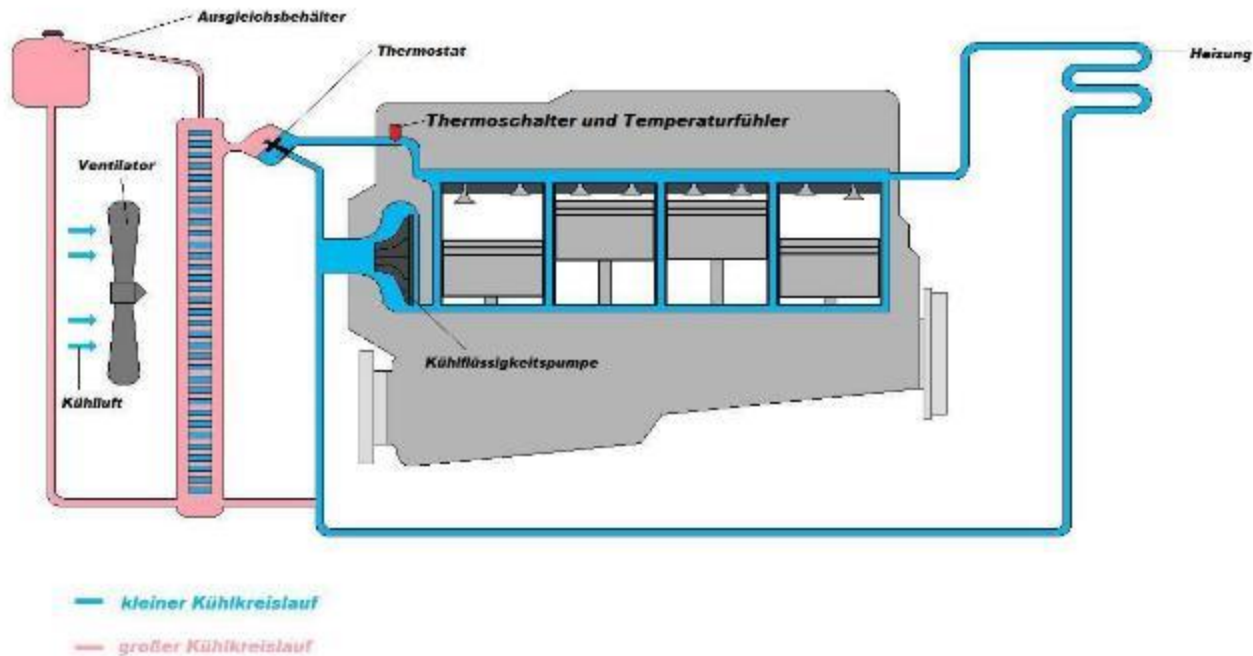
Beschreibung des Prüfstands



Messung der Ansaugluftmasse in der Leitung der Luftzufuhr zum Motor mittels Luftmassenmesser

Beschreibung des Prüfstands

schematischer Aufbau eines Kühlkreislaufs



Beschreibung des Prüfstands

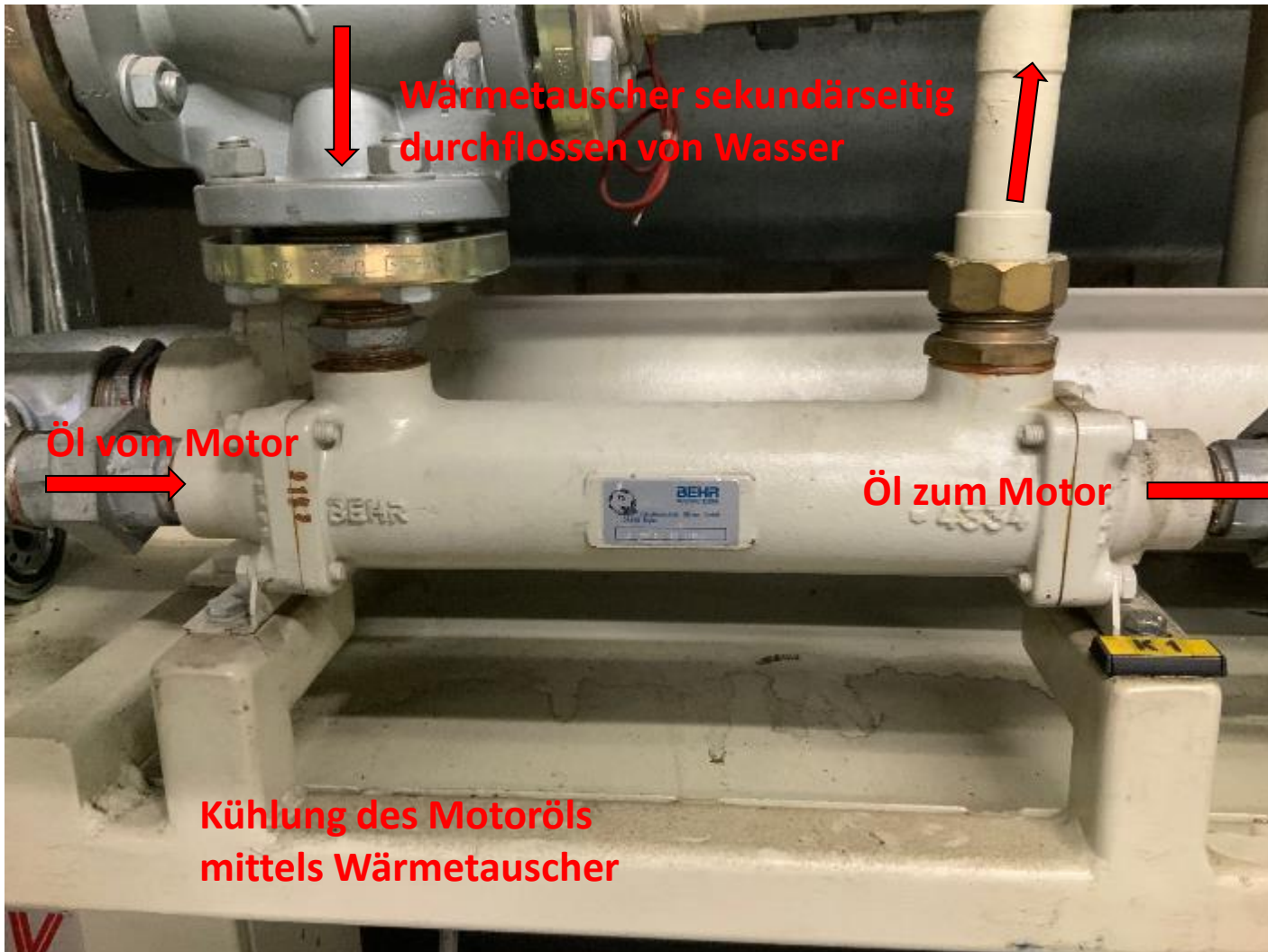
Aufbau des Kühlkreislaufs im Motorprüfstand



im Untergeschoss: Einrichtung zur Kühlung von Öl und Kühlwasser mit je einem Wärmetauscher

Beschreibung des Prüfstands

schematischer Aufbau eines Kühlkreislaufs im Motorprüfstand



Messstellenübersicht

Parameter	Messsystem
Kraftstoff	
Zylinderinnendruck	AVL Indizierzündkerze, Indiziergerät DEWESOFT
<u>Temperaturen</u>	
Abgastemperatur	Thermoelement Typ K NiCr-Ni
Ölwannentemperatur	
Umgebungstemperatur Ölwanne	
Kühllufttemperatur	
Zylinderkopftemperatur	
Ansaugluft	
<u>Abgasqualität</u>	
CO	AVL AMA 4000
CO ₂	
HC	
NO _x	
O ₂	
Lambda	

Messgrößen

- Welche Messgrößen können am Motorprüfstand ermittelt werden?
- zugeführte Kraftstoffmasse $\dot{m}_{Kr}$
- zugeführte Luftmasse $\dot{m}_L$
- Drehzahl n
- Drehmoment M
- Hubvolumen V_h, V_H wobei $V_H = V_h z$
- Zahl der Zylinder z
- Taktzahl $i = 0,5$ für 4- Takt Motoren (1 für 2- Takt Motoren)
- Position des Motors α in °Kurbelwinkel bezogen auf den Zünd- OT
- Druck in einem Zylinder p_i , daraus u.a. der Spitzendruck und weitere Größen
- Rohwerte der Abgasemissionen incl. Lambda

Rechengrößen

Was kann aus den ermittelten Messgrößen berechnet werden?

Effektive Motorleistung $P_e = M \cdot 2 \pi n$ oder auch $P_e = p_e V_H n \cdot 0,5$

daraus kann der effektive Mitteldruck p_e errechnet werden: $p_e = P_e / V_H n \cdot 0,5$

effektiver spezifischer Kraftstoffverbrauch

$be = \dot{m}_{Kr} / P_e$ oder auch $be = \frac{1}{H_u \eta_e}$

Beschreibung des Prüfstands

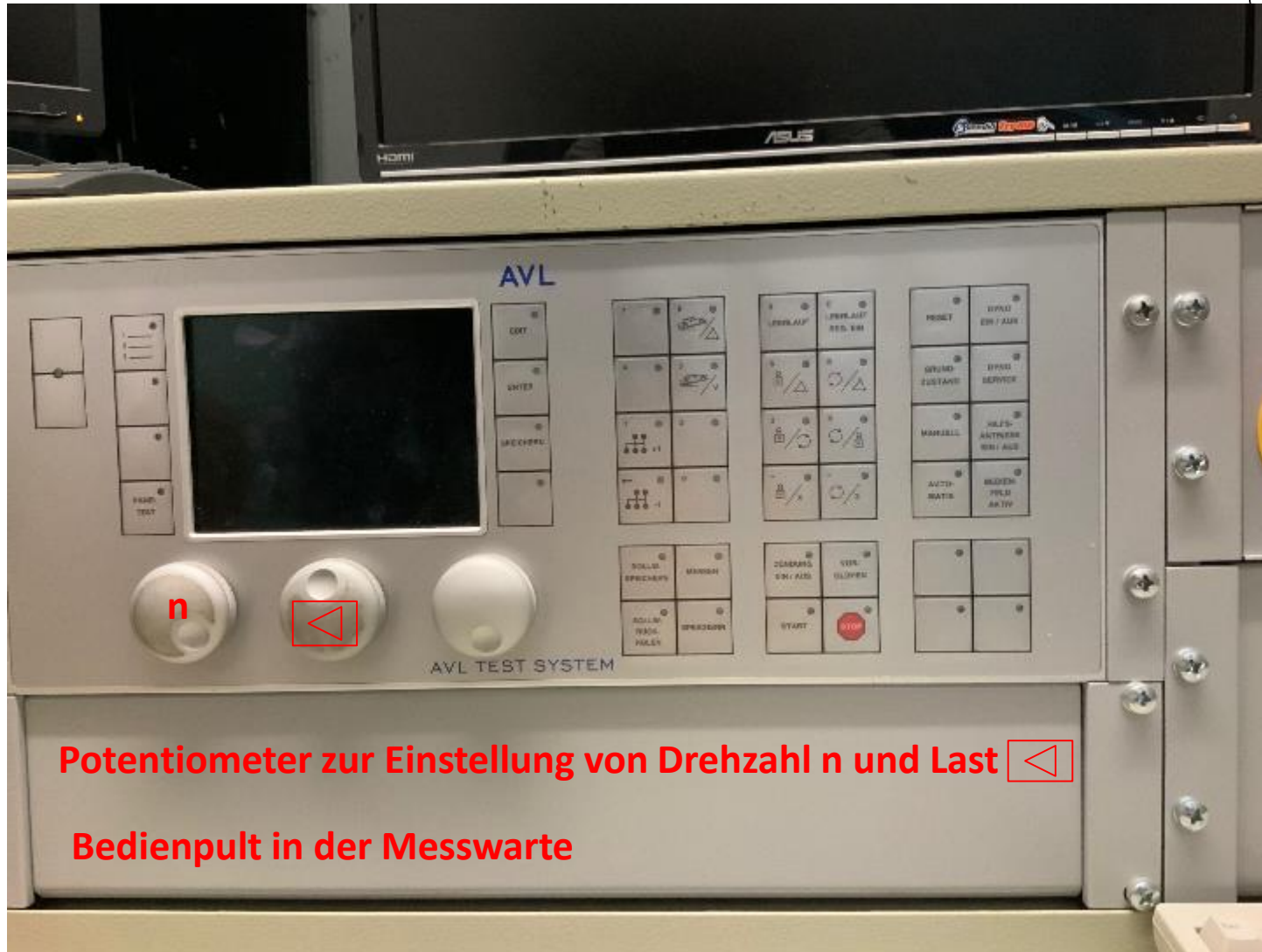


Bedienpult in der Messwarte



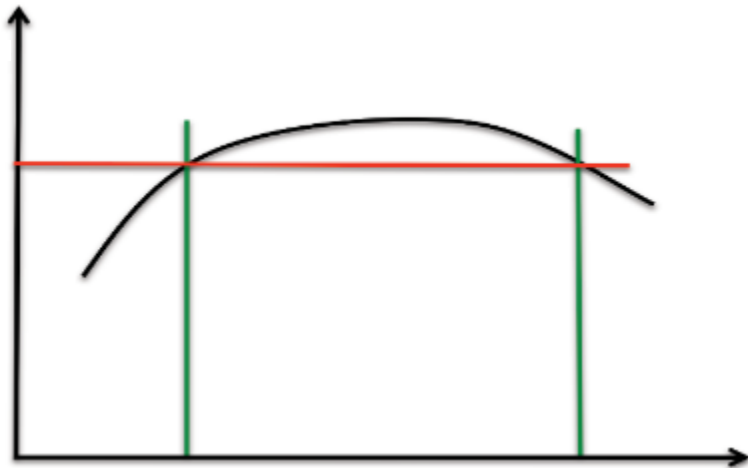
**Gaspedal $\leftrightarrow$ Fahrhebelversteller
zur Einstellung der Motorlast
auch Winkel genannt in %**

Beschreibung des Prüfstands



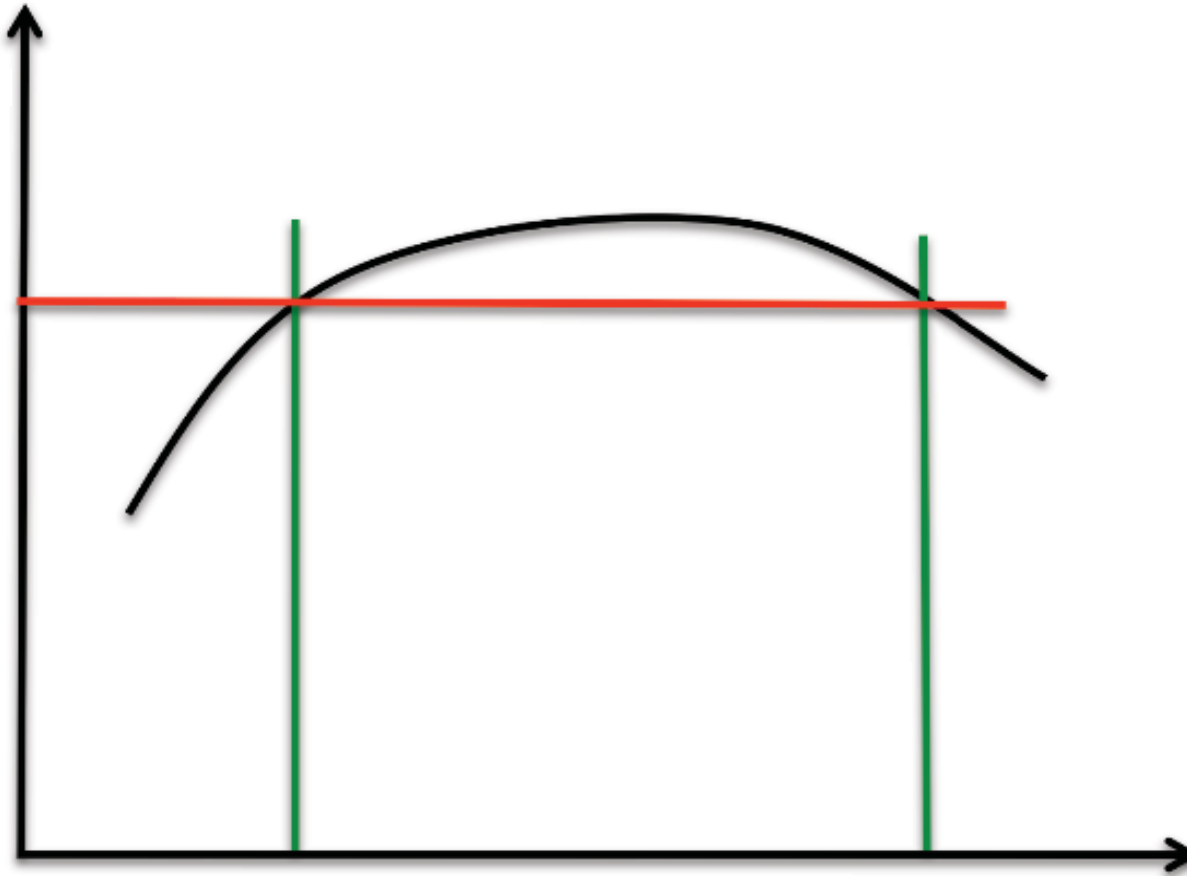
Beschreibung des Prüfstands

Regelkreis zwischen der Lastanforderung und Belastungseinrichtung
(Asynchronmaschine)



Allgemein gilt: Ein Regelkreis ist stabil wenn die Variation einer Eingangsgröße, hier des Winkels, ein eindeutiges Ergebnis zur Folge hat. Dies wird hier über die Regelungsart Winkel / Drehzahl realisiert (Winkel an der Drosselklappe bzw. dem Fahrhebelverstellgerät jeweils am Motor; Drehzahl an der Belastungseinrichtung).

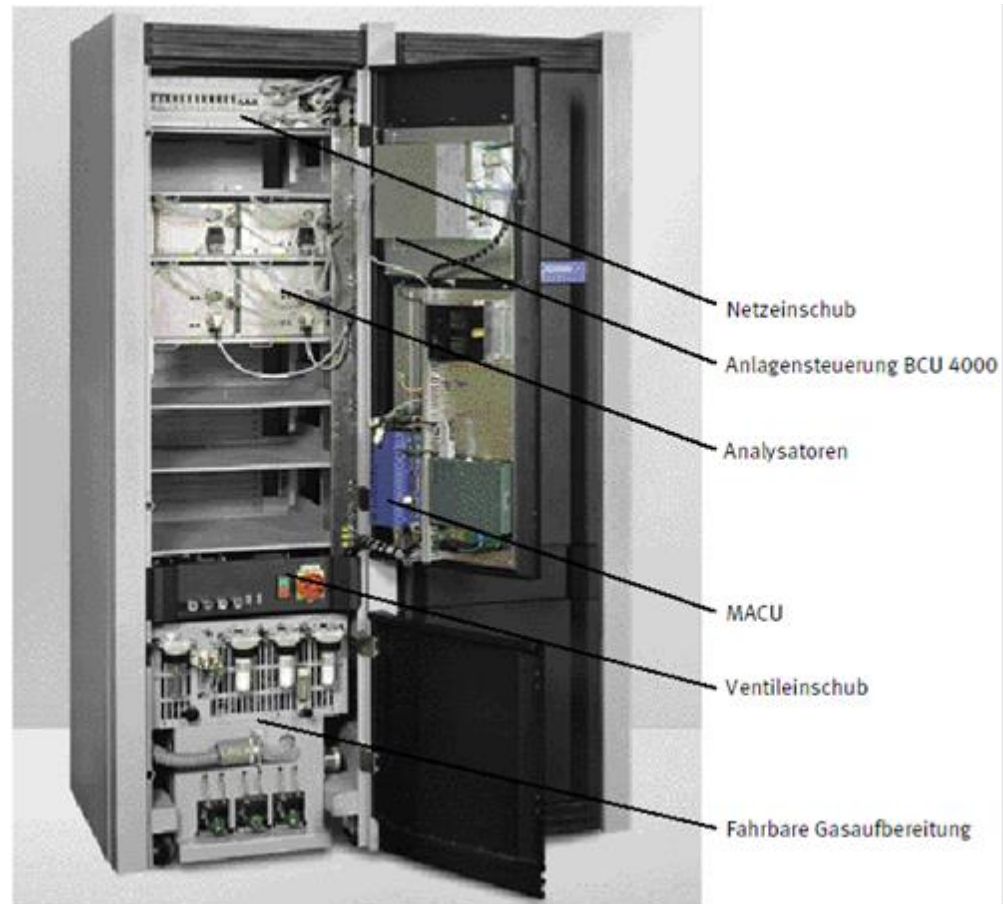
Beschreibung des Prüfstands



Regelkreis zwischen der Lastanforderung und Belastungseinrichtung
(Asynchronmaschine)

Beschreibung des Prüfstands

Die Abgasmessanlage AMA 4000, Fa. AVL



Relevanz von Abgasmessungen

Treibhauseffekt

CO ₂	1
CH ₄	28
N ₂ O	265
FCKW	13.900

Global Warming Potential **GWP**

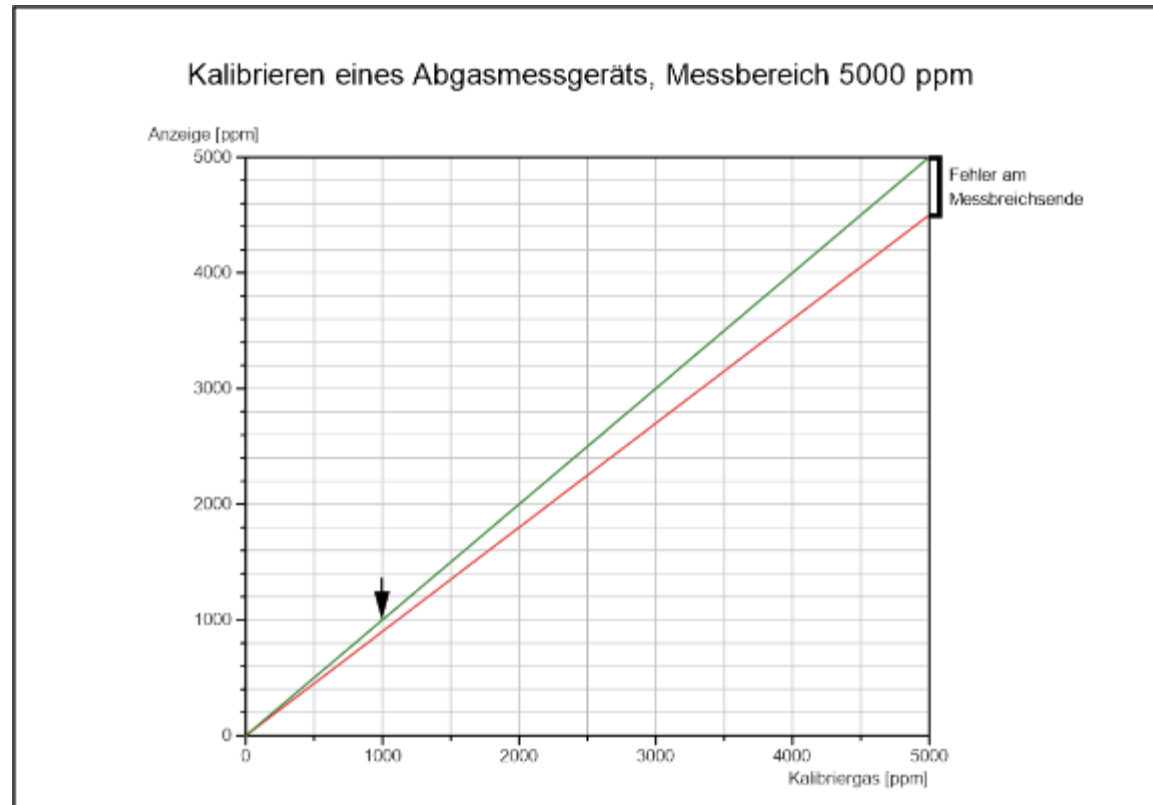
gemäß dem Bericht des Intergouvernemental Panel on Climate Change
IPCC aus 1995 bezogen auf 100 Jahre

Beschreibung des Prüfstands

Die Abgasmessanlage AMA 4000, Fa. AVL

Komponente	Analysenmethode
CO	Nicht-Dispersive-Infrarot-Absorption (NDIR)
CO ₂	Nicht-Dispersive-Infrarot-Absorption (NDIR)
THC	Summen-Flammenionisationsdetektor (Summen-FID)
NO _x	Chemilumineszenzdetektor mit Konverter (CLD)
O ₂	Paramagnetischer Analysator

Die Abgasmessanlage AMA 4000, Fa. AVL

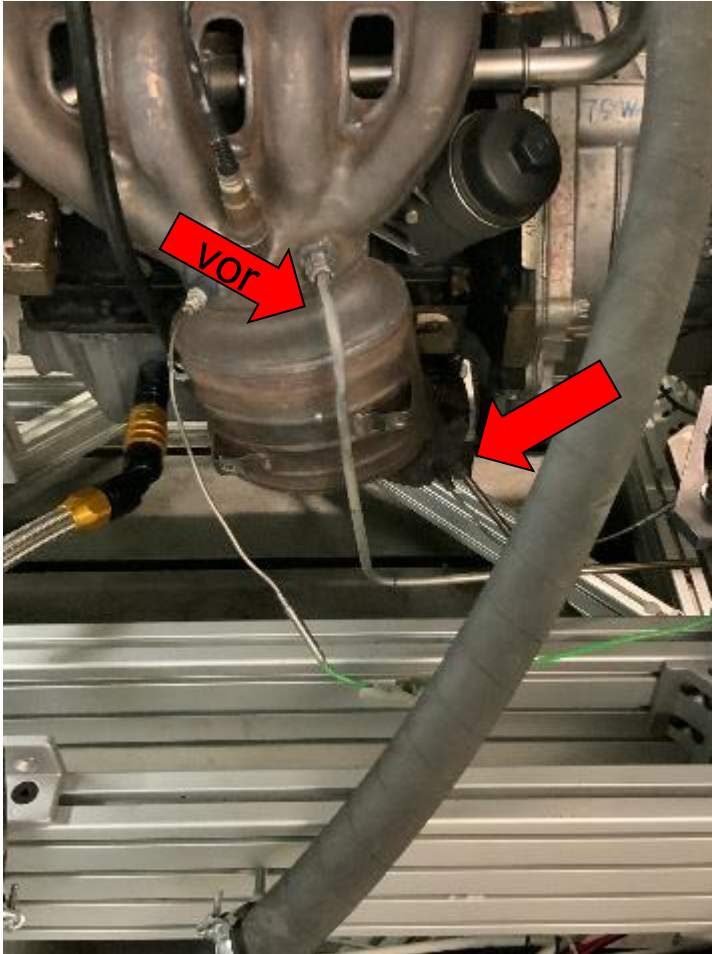


Zum Kalibrieren der Abgasmessanlage werden Prüfgase benötigt:

1. Nullgas → reiner Stickstoff N₂ für alle Analysatoren
2. ein besonders Prüfgas pro Analysator und Messbereich → z.B. 5000 ppm CO in N₂

Beschreibung des Prüfstands

Entnahmestellen für Abgas vor und nach Katalysator



Abgasemissionen

- Abgase entstehen durch unvollständige Verbrennung
- Die Konzentration ist maßgeblich von der Gemischzusammensetzung bzw. Temperatur abhängig
- Kenngröße $\lambda = \frac{\text{real vorhandene Luftmenge}}{\text{theoretisch notwendige Luftmenge zur vollst. Verbrennung}}$

Abgasemissionen

Kohlenstoffdioxid CO₂

- kein Schadstoff, aber trägt zum Treibhauseffekt bei
- nahezu proportional zum Kraftstoffverbrauch
- entsteht neben Wasser bei jeder vollständigen Verbrennung von Kraftstoffen
- entsteht auch durch die Oxidation von Kohlenstoffmonoxid

Abgasemissionen

Kohlenstoffmonoxid CO

- starkes Atemgift, sehr schnell tödlich, bindet Sauerstoff in der Lunge
- entsteht als Zwischenprodukt bei der CO₂-Bildung
- wird gefördert durch Sauerstoffmangel oder inhomogenes Gemisch

Abgasemissionen

Kohlenwasserstoffe HC

- bestehen aus einer Vielzahl von Komponenten, teilweise krebserregend
- entsteht aufgrund abgebrochener Reaktionen durch fehlende Aktivierungsenergie
- Entstehung wird zudem gefördert durch zerklüfteten Brennraum, Fehlzündungen, Verunreinigungen im Kraftstoff (bspw. durch Öl)

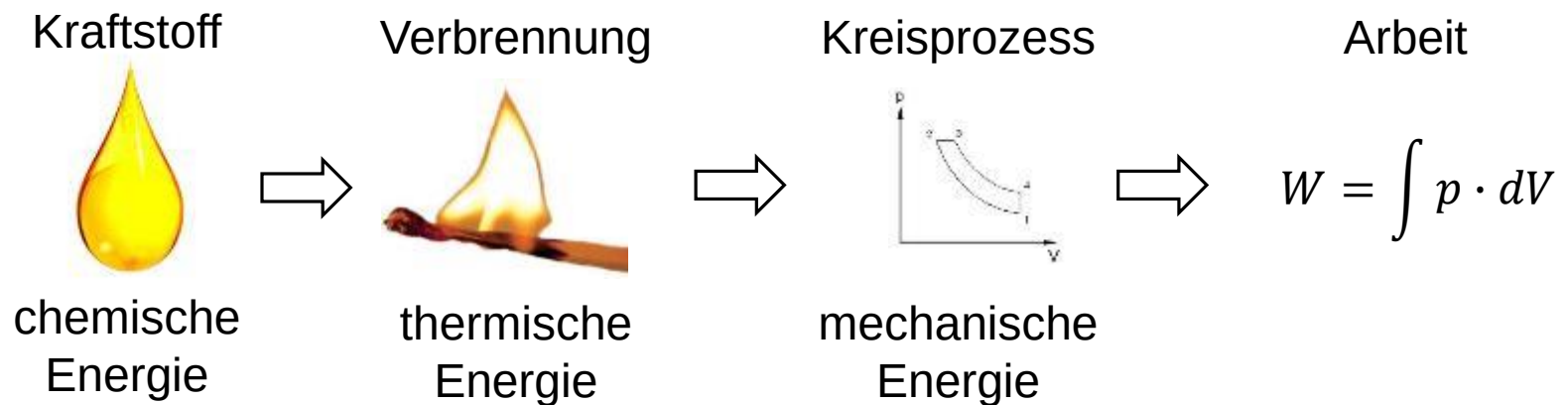
Abgasemissionen

Stickoxide NO_x

- entsteht aus Sauerstoff und Stickstoff N_2 aus den Nebenreaktionen
- Stickstoffmonoxid NO ungiftig, in Reaktion mit Umgebungsluft entsteht NO_2
- fördert Ozonbildung, schädigt Schleimhäute und Atmungsorgane

Zylinderdruckindizierung

ENERGIEUMSETZUNG



V = Volumen im Zylinder

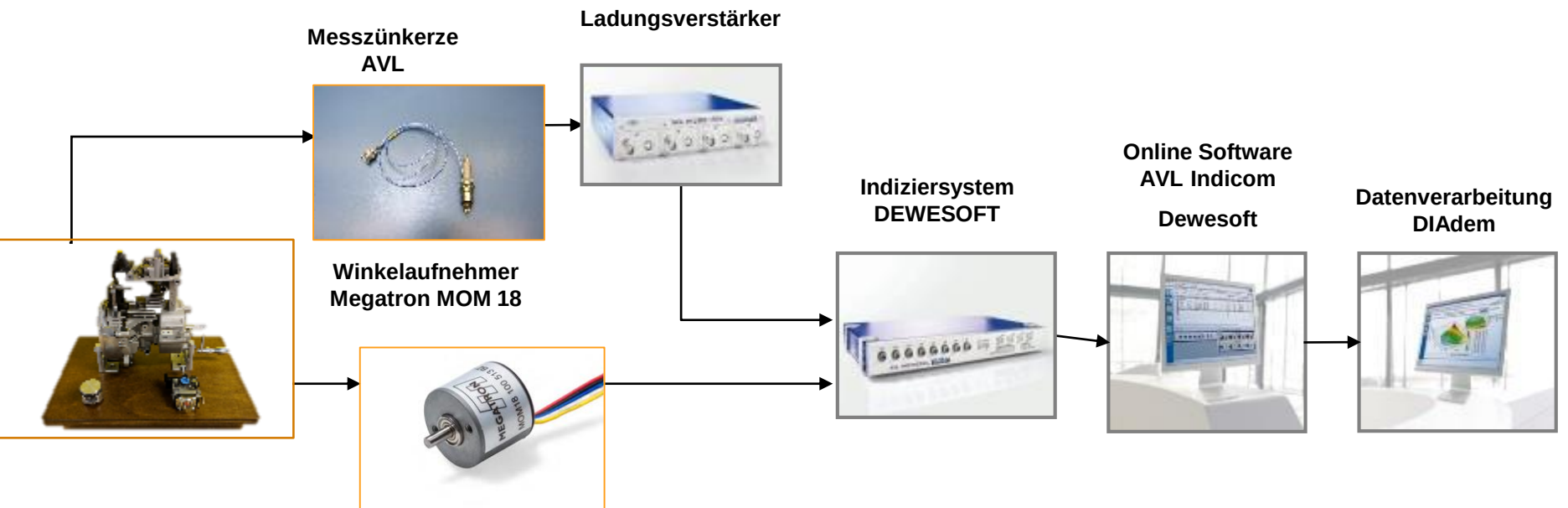
p = Zylinderdruck

HISTORIE



Das von Nikolaus August Otto erwartete Indikatordiagramm (1876)

INDIZIERMESSKETTE



KENNGRÖSSEN MITTELDRUCK

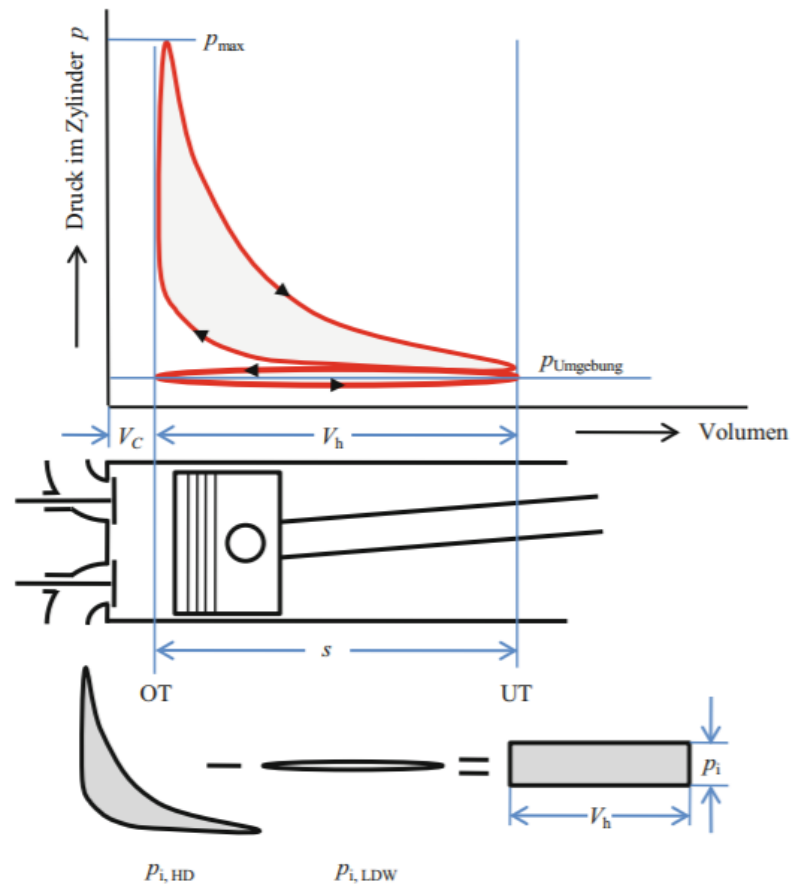
Definition: (Quelle: van Basshuysen, Schäfer; Lexikon Motorentechnik, Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, 2004)

Der Mitteldruck ist eine dimensionsbehaftete Kennzahl, die es ermöglicht, Motoren unterschiedlicher Hubräume miteinander zu vergleichen. Er stellt die auf das Hubvolumen bezogene Arbeit je Arbeitsspiel dar und hat physikalisch die Einheit eines Druckes.

Erweiterungen: (Quelle: van Basshuysen, Schäfer; Lexikon Motorentechnik, Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, 2004)

- Je höher der Mitteldruck bei vergleichbaren Motoren ist, um so höher ist sein Wirkungsgrad und um so niedriger sein Kraftstoffverbrauch.
- Hoher Mitteldruck bei niedrigen Drehzahlen ermöglicht variable Getriebeübersetzungen zur weiteren Verbrauchssenkung.
- Gängige Mitteldruckdefinitionen sind der effektive Mitteldruck, indizierte Mitteldruck und Reibmitteldruck

KENNGRÖSSEN MITTELDRUCK



KENNGRÖSSEN MITTELDRUCK

indizierter Mitteldruck

Einflussgrößen:

- V_H = Hubvolumen => Konstant
- p = Zylinderdruck
- V = Volumen

$$p_i = \frac{1}{V_H} \cdot \int_{-360}^{360} p \cdot dV$$

PIEZOELEKTRISCHER DRUCKSENSOR



Varianten:

- Zündkerzenadaptionen M10 bis M14
- Glühkerzenadaptionen M8 und M10
- Ungekühlte Sensoren mit verschiedenen Dichtungs- und Befestigungskonzepten zwischen M5 und M8
- Wassergekühlte Sensoren mit verschiedenen Befestigungskonzepten zwischen M8 und M14
- Monitoringsensoren M10 und M14

Piezelektrischer Drucksensor Typ AVL ZI21_U5D

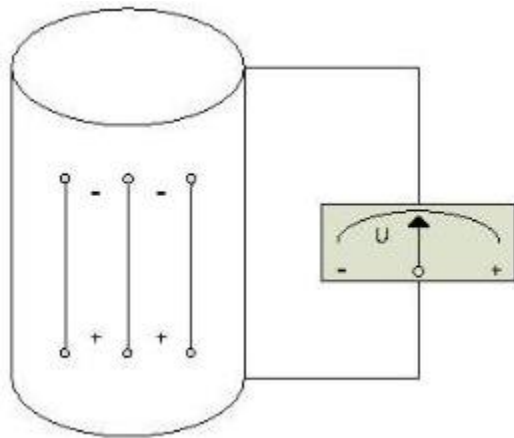
Sensortyp	
Messbereich	
Sensorempfindlichkeit	
Gewicht	
Anzugsdrehmoment	
Temperaturbereich	

Einführung in die Indizierung

DRUCKSENSOREN

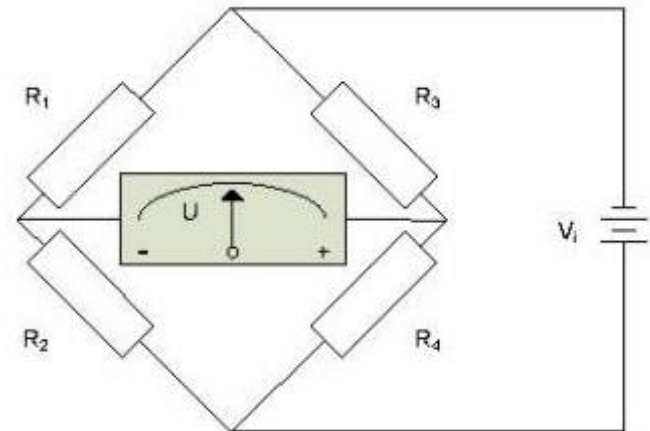
Piezoelektrischer Drucksensor

- Durch Druck auf einen Kristall wird eine elektrische Ladung erzeugt
- Temperaturstabil, hohe Eigenfrequenz, einzig Differenzdruckmessung möglich



Piezoresistiver Drucksensor

- Membran hat eine Widerstandsbrücke, welche den Widerstand durch Verformung der Membran verändern
- Absolutdruck- und Differenzdruckmessung möglich



Einführung in die Indizierung

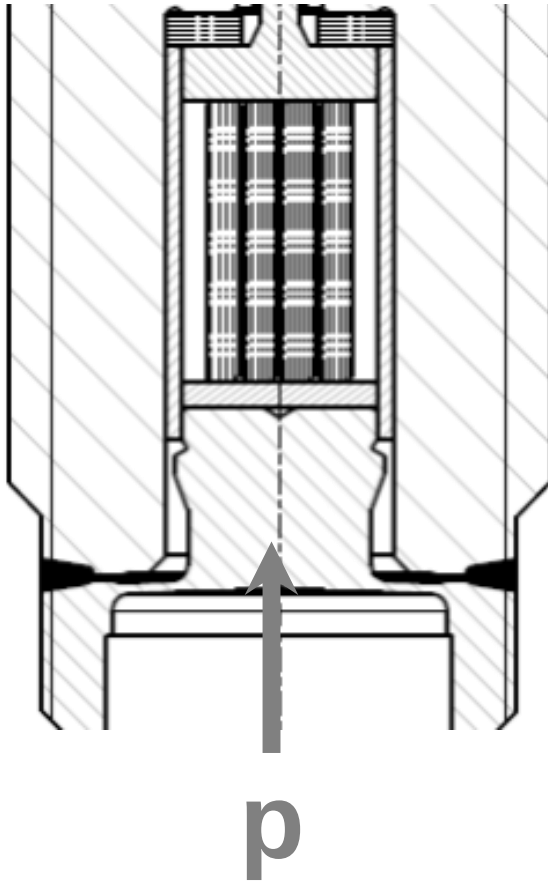
PIEZOELEKTRISCHER DRUCKSENSOR



- Messung des Zylinderinnendrucks
- Relativdruckmessung
- Piezoelektrischer Druckaufnehmer
- hohe Temperatur- und Druckbelastung
- Umsetzung Druck in Ladung
- hohe Isolation ($> 10^{14}\Omega$)
- vorzugsweise kleine Leitungslängen

Einführung in die Indizierung

PIEZOELEKTRISCHER DRUCKSENSOR



- Druckbeaufschlagung der Membran
- Umsetzung des Drucks in Kraft auf die Messelemente
- mechanische Deformation der Messelemente führt zur proportionalen Änderung der elektrischen Polarisation

Einführung in die Indizierung

SIGNALVERSTÄRKER

VARIANTEN



Varianten:

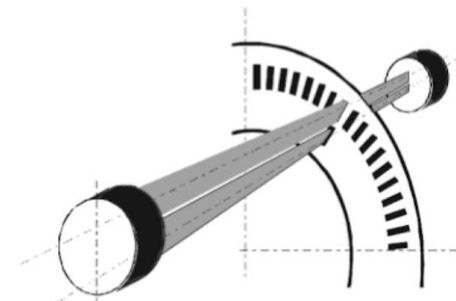
- Ladungsverstärker
 - hier wird Ladung in Spannung umgewandelt und kann dann über größere Leitungslängen weiter transportiert werden
- Intelligente Ladungsverstärker (z.B. pmax, noise oder knock Kalkulation)
- Mehrzweckverstärker für
 - DMS Sensoren
 - Piezoresistive Sensoren
 - Spannungsverstärker
 - Induktive Wegaufnehmer

Einführung in die Indizierung

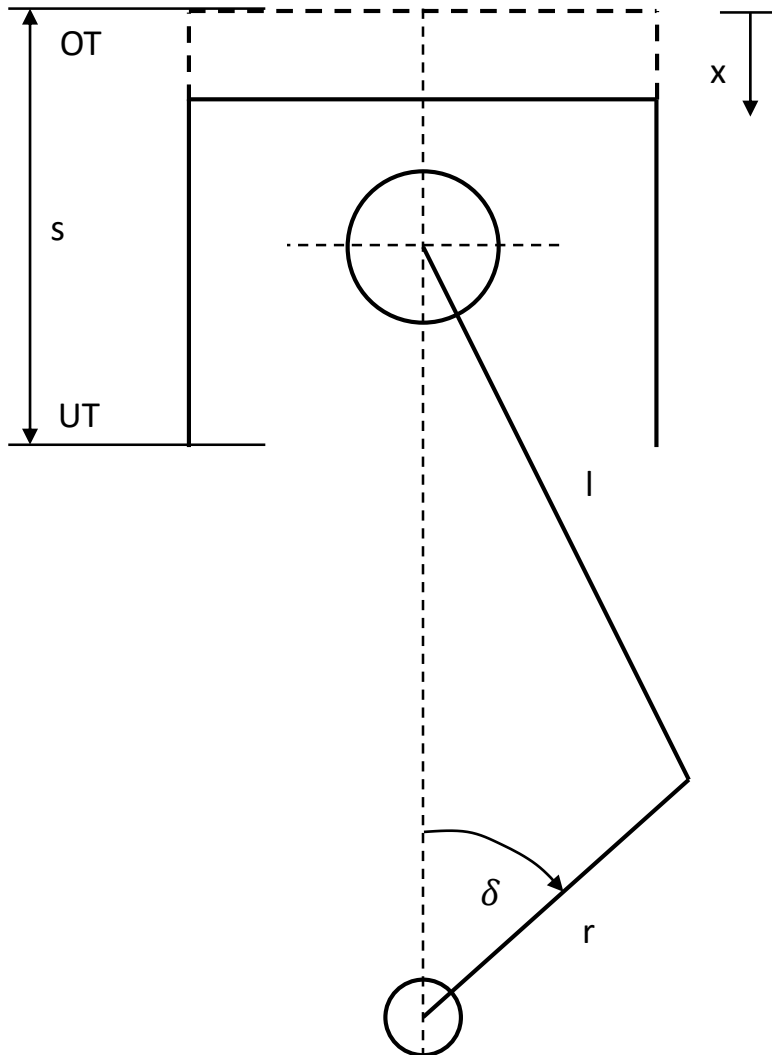
WINKELAUFNEHMER



- Erfassung des Kurbelwinkels
- mechanische Abtastung von des Triggers von 1 °KW oder 0,5 °KW
- mechanische Abtastung der Referenz (OT)
- optisches Messverfahren (Durchlichtverfahren)
- Umsetzung des optischen Signals in TTL Signale oder LVDS Signale



ZUSAMMENHANG KURBELWINKEL UND VOLUMEN



$$\varepsilon = \frac{V_H + V_K}{V_K}$$

$$V_H = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot x$$

$$x \approx r \cdot \left(1 - \cos \delta + \frac{r}{4 \cdot l} \cdot (1 - \cos 2 \cdot \delta) \right)$$

$$r = \frac{s}{2}$$

(ohne Exzentrizität zwischen Pleuelauge und Kurbelwellenlager = Desaxierung)

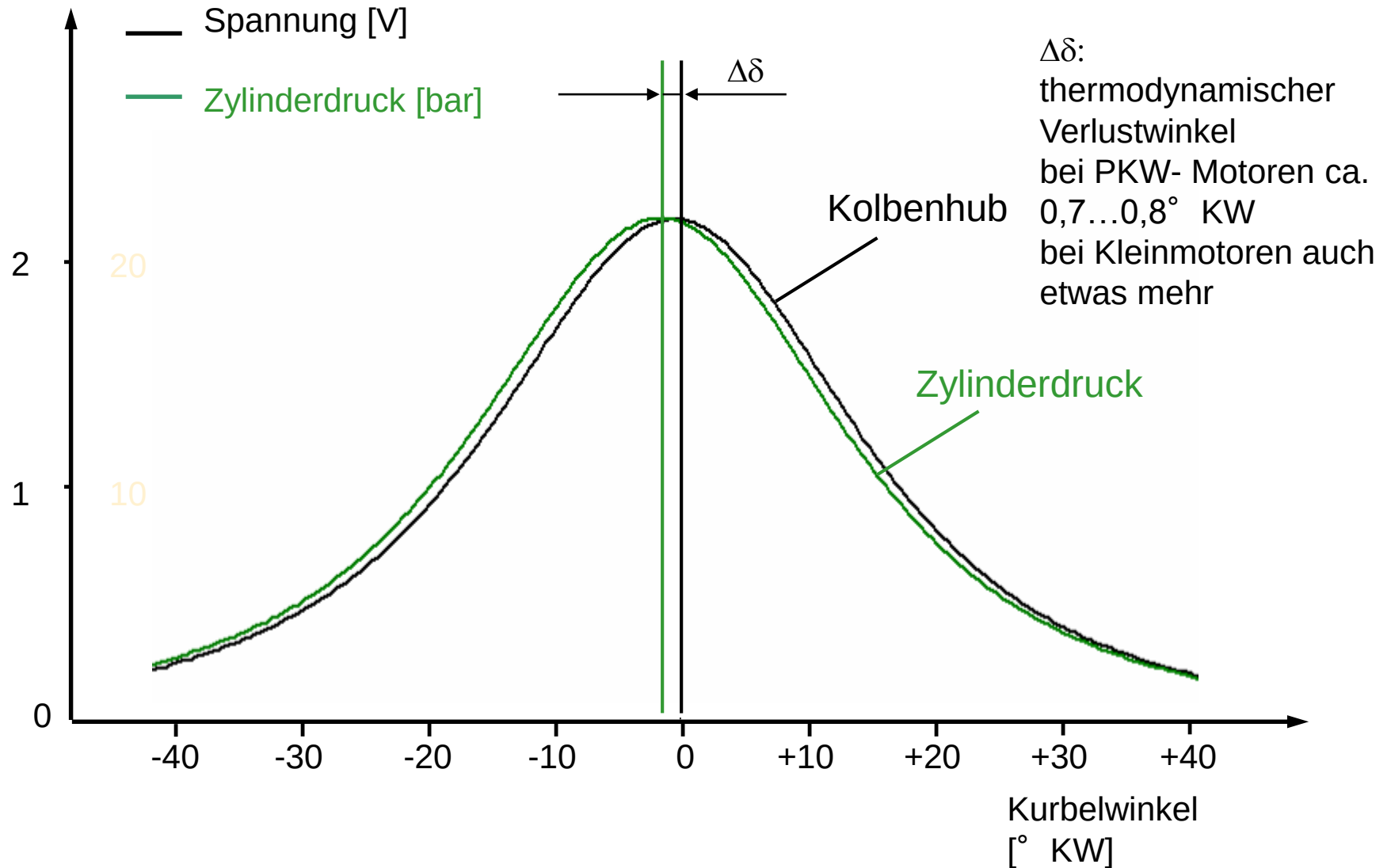
OT BESTIMMUNG

Die OT Bestimmung liefert den zeitlichen Zusammenhang (Versatz) zwischen dem Zylindervolumen (Kurbelwinkel) und dem Druckverlauf.

Arten der OT Bestimmung:

- Messuhr
Die Messuhr ist ein mechanisches Verfahren, welches manuell eingesetzt werden kann. Eine Verbindung mit einem geschleppten Motor ist nicht möglich.
- Kapazitiver Aufnehmer
Mit Hilfe des kapazitiven Wegaufnehmers wird qualitativ der obere Totpunkt bestimmt. Der kapazitive Aufnehmer stellt die genaueste Methode dar.
- Druckaufnehmer
Mit Hilfe des Druckaufnehmers wird der Schleppdruckverlauf bestimmt. Der Druckaufnehmer hat den maximalen Druck vor dem tatsächlichen OT. Grund hierfür sind Blowby Gase und Wandwärmeverluste.

OT BESTIMMUNG



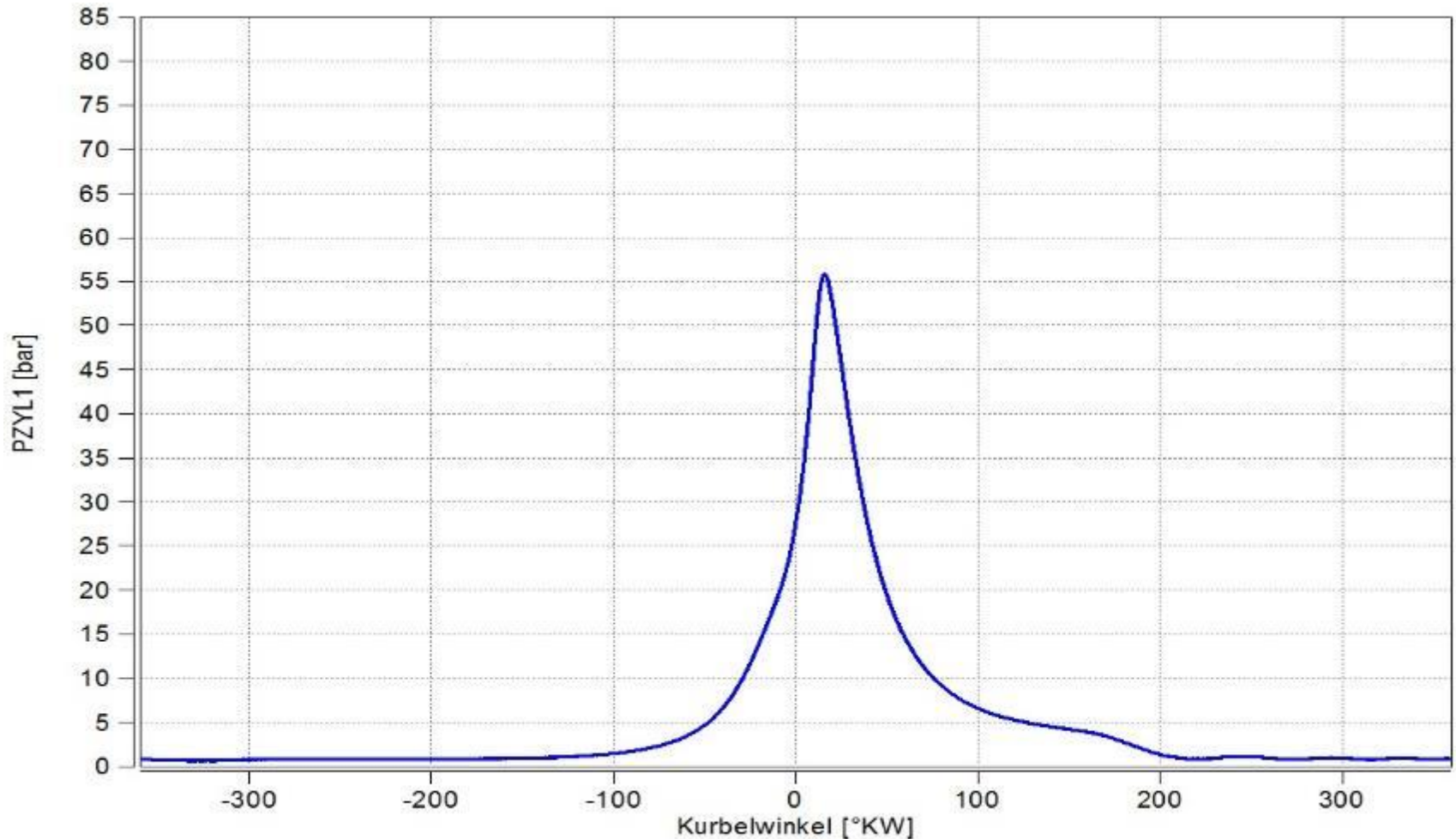
DAS INDIZIERGERÄT

Sirius, Fa. Dewesoft



- Datenerfassungseinheit mit 8 Kanälen , Abtastrate bis zu 800kHz je Kanal
- Parametrierung von Erfassungseinheit und Verstärker
- Abspeicherung der Messdaten
- Nachberechnung und Visualisierung

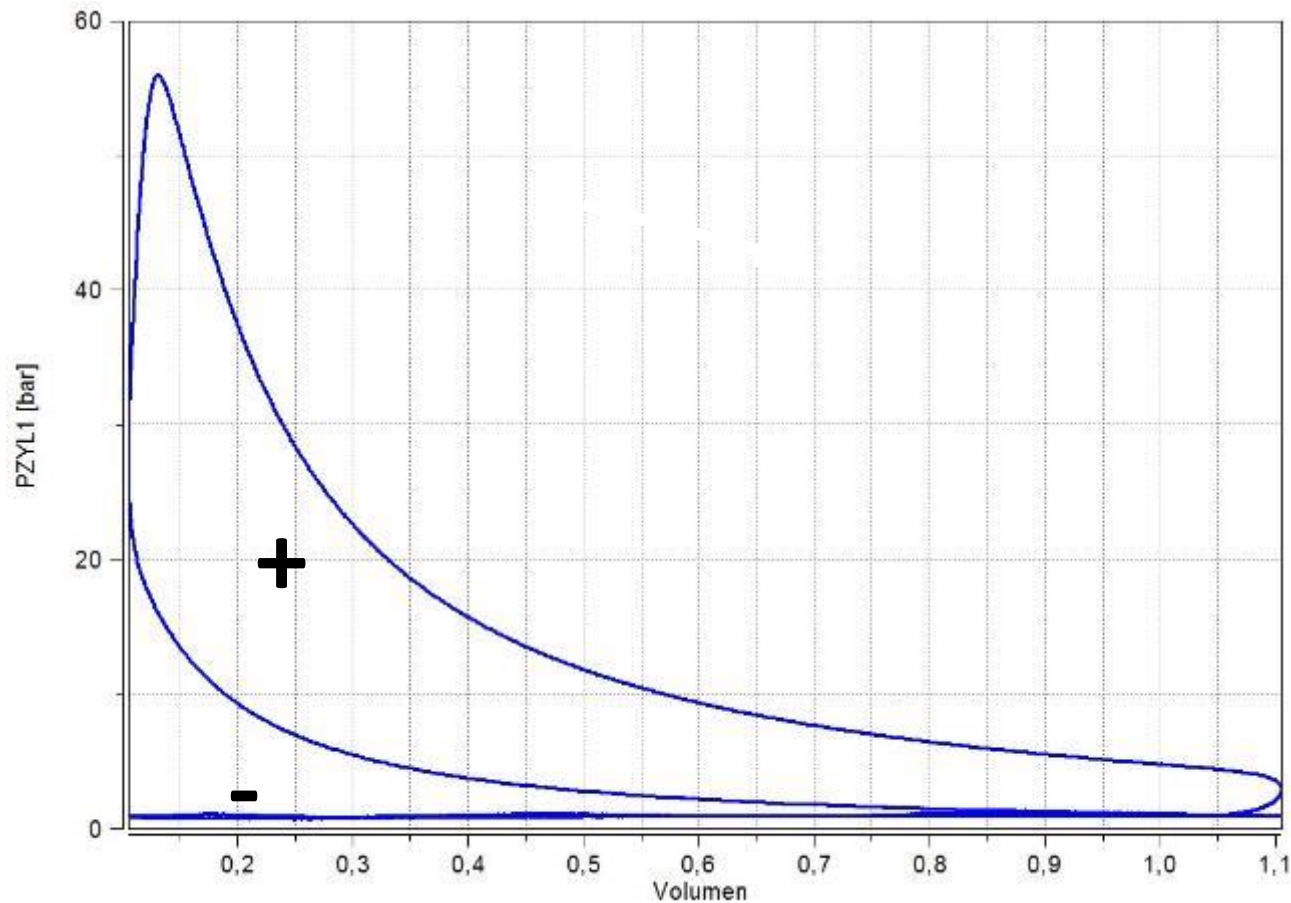
HOCHDRUCKINDIZIERUNG am Beispiel Opel 1,8l



Einführung in die Indizierung

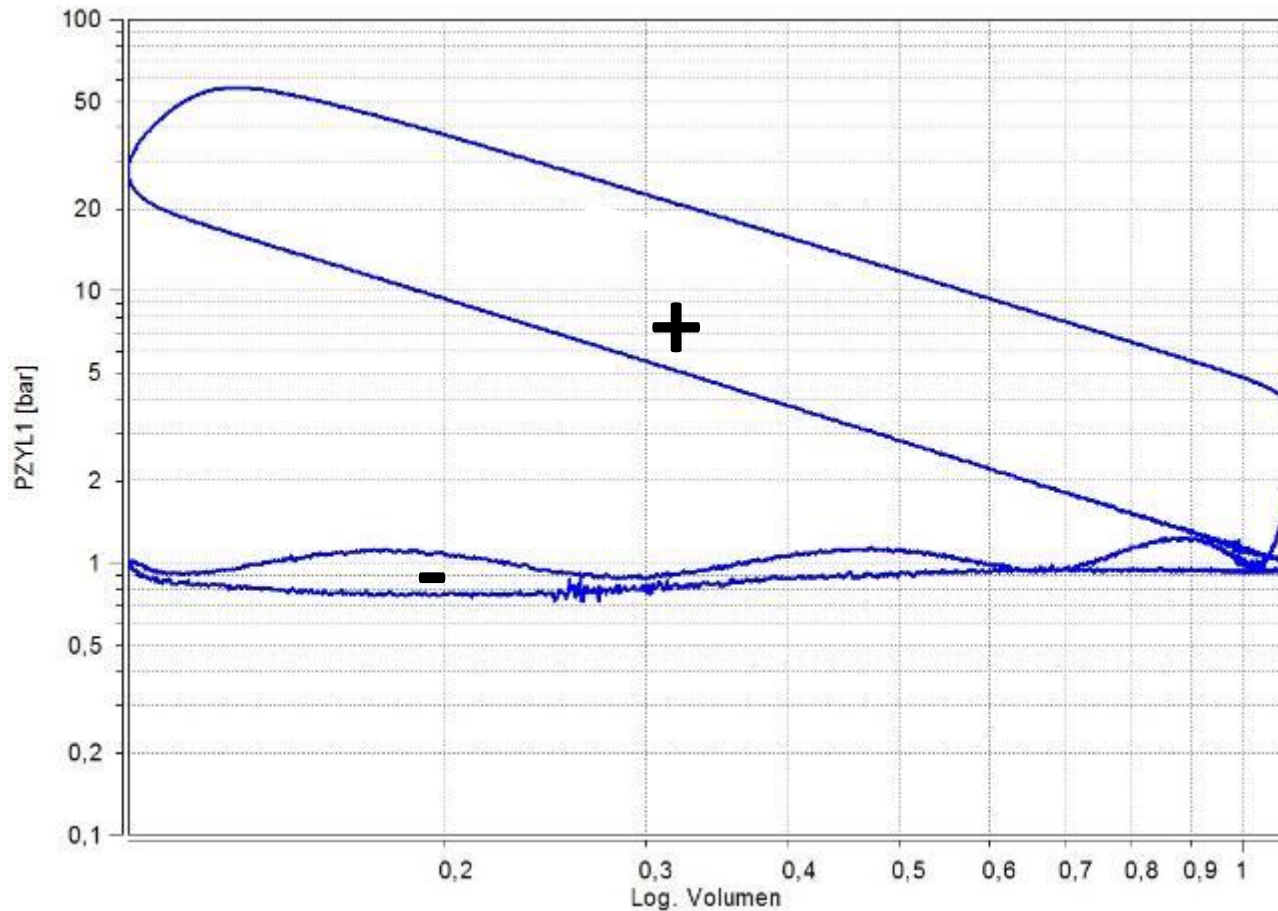
KENNGRÖSSEN MITTELDRUCK

DRUCKINDIZIERUNG am Beispiel Opel 1,8l



Einführung in die Indizierung KENNGRÖSSEN MITTELDRUCK

DRUCKINDIZIERUNG am Beispiel Opel 1,8l

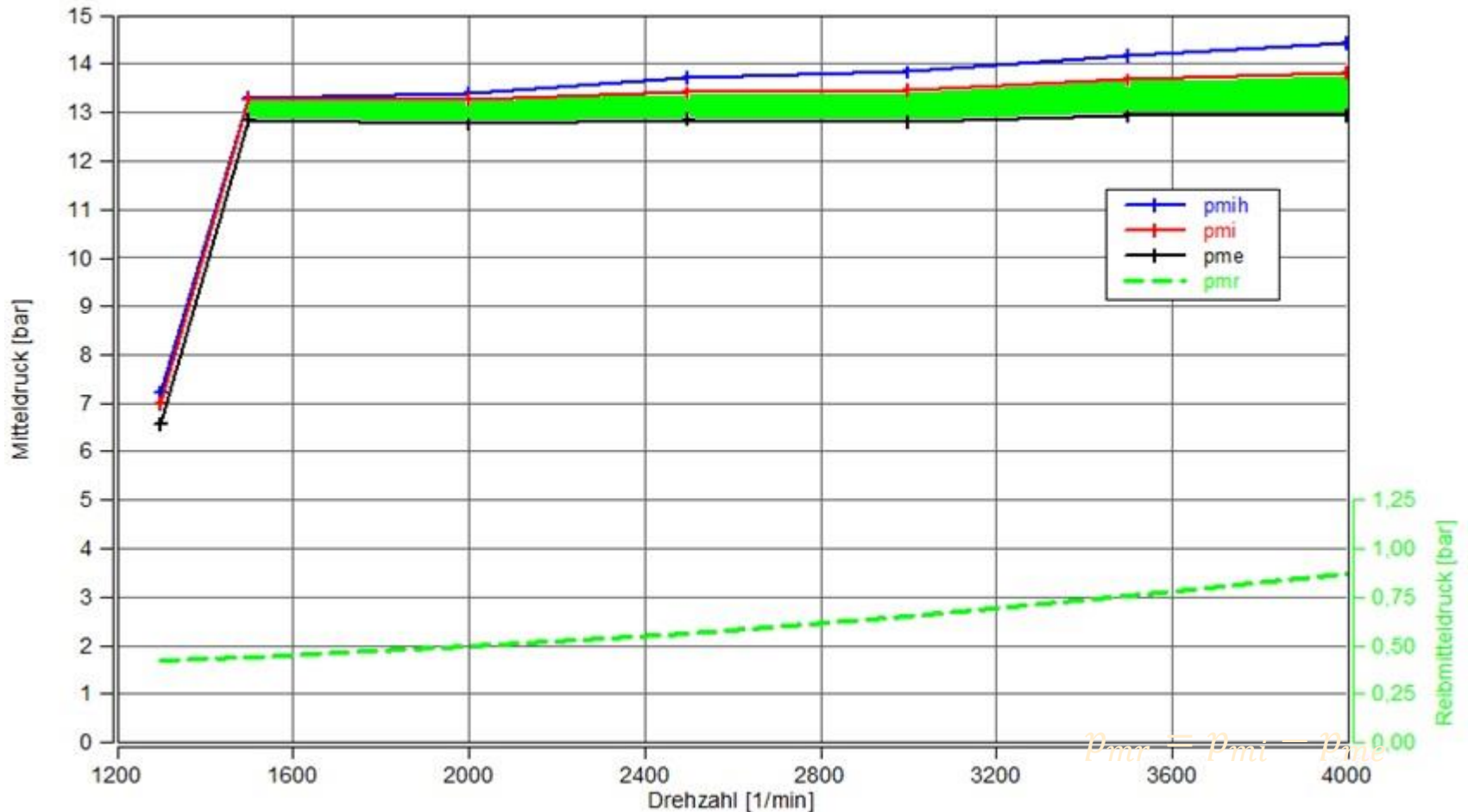


Einführung in die Indizierung

KENNGRÖSSEN

MITTELDRUCK

DRUCKINDIZIERUNG am Beispiel Opel 1,8l



Einführung in die Indizierung

KENNGRÖSSEN

BRENNVERLAUF / HEIZVERLAUF

Definition: (Quelle: van Basshuysen, Schäfer; Lexikon Motorentechnik, Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, 2004)

Der Brennverlauf kennzeichnet die zeitliche Umsetzung des Kraftstoffs bzw. des Luft-Kraftstoff-Gemisches.

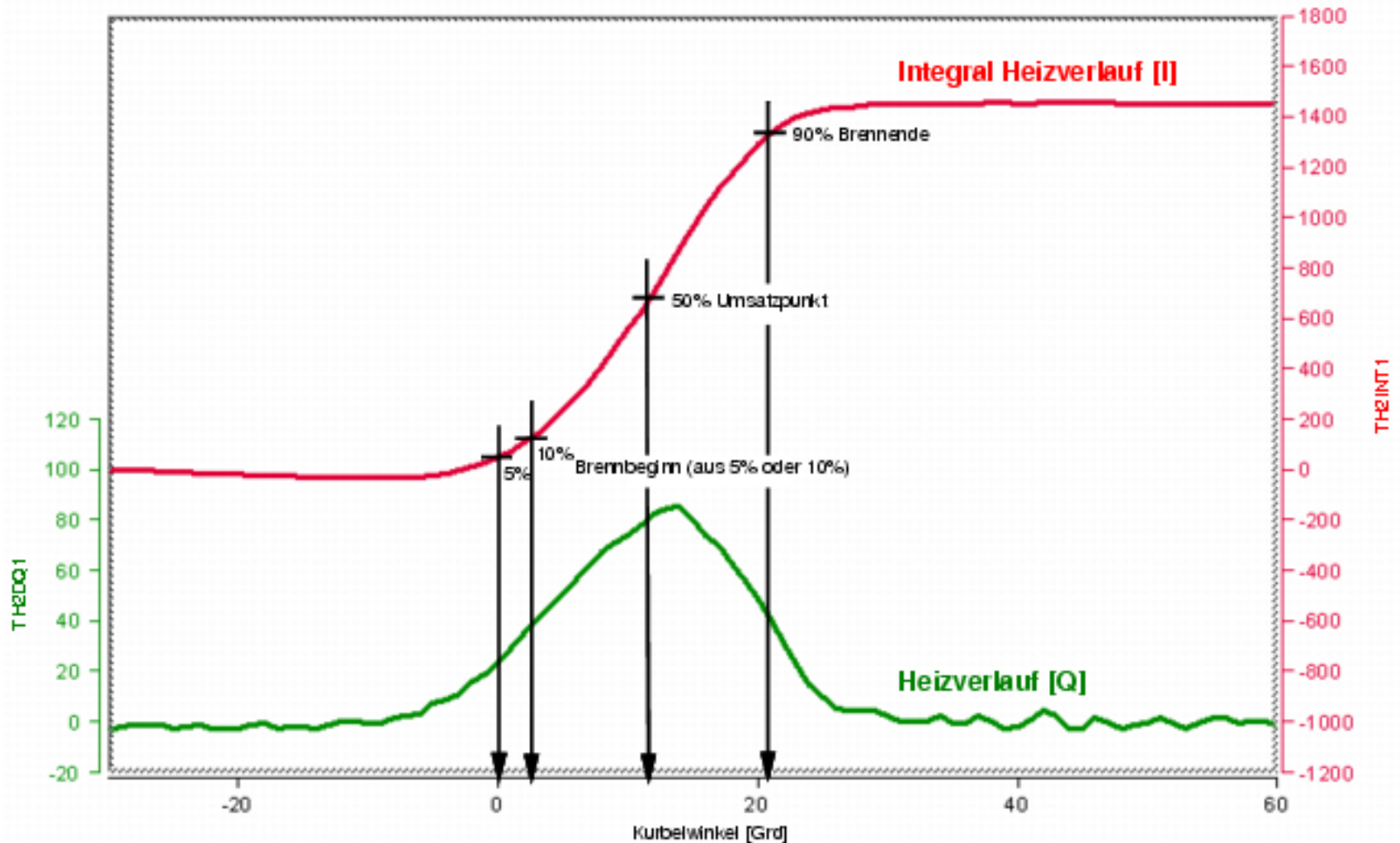
Erweiterungen: (Quelle: van Basshuysen, Schäfer; Lexikon Motorentechnik, Vieweg & Sohn Verlag, Wiesbaden, 2004)

- Gütegrad zeigt den Unterschied zwischen dem Vergleichsprozess des vollkommenen Motors und des realen Brennverlaufes
- Der maximale Gütegrad wird bei einer Verbrennungsschwerpunktlage bei OT erreicht, was zu Lasten des Gesamtwirkungsgrades, Bauteilbelastungen und Stickoxide geht. Der beste Wirkungsgrad wird hingegen je nach Motorart bei 5°KW bis 20°KW erreicht (z.B. Otto bei 6 bis 10°KW).

Unterschied Heizverlauf und Brennverlauf:

- Der Heizverlauf ist der Brennverlauf unter Vernachlässigung der Wandwärmeverluste

Einführung in die Indizierung KENNGRÖSSEN



Einführung in die Indizierung

KENNGRÖSSEN

BRENNVERLAUF / HEIZVERLAUF

Kenngrößen des Heiz- und Brennverlaufs:

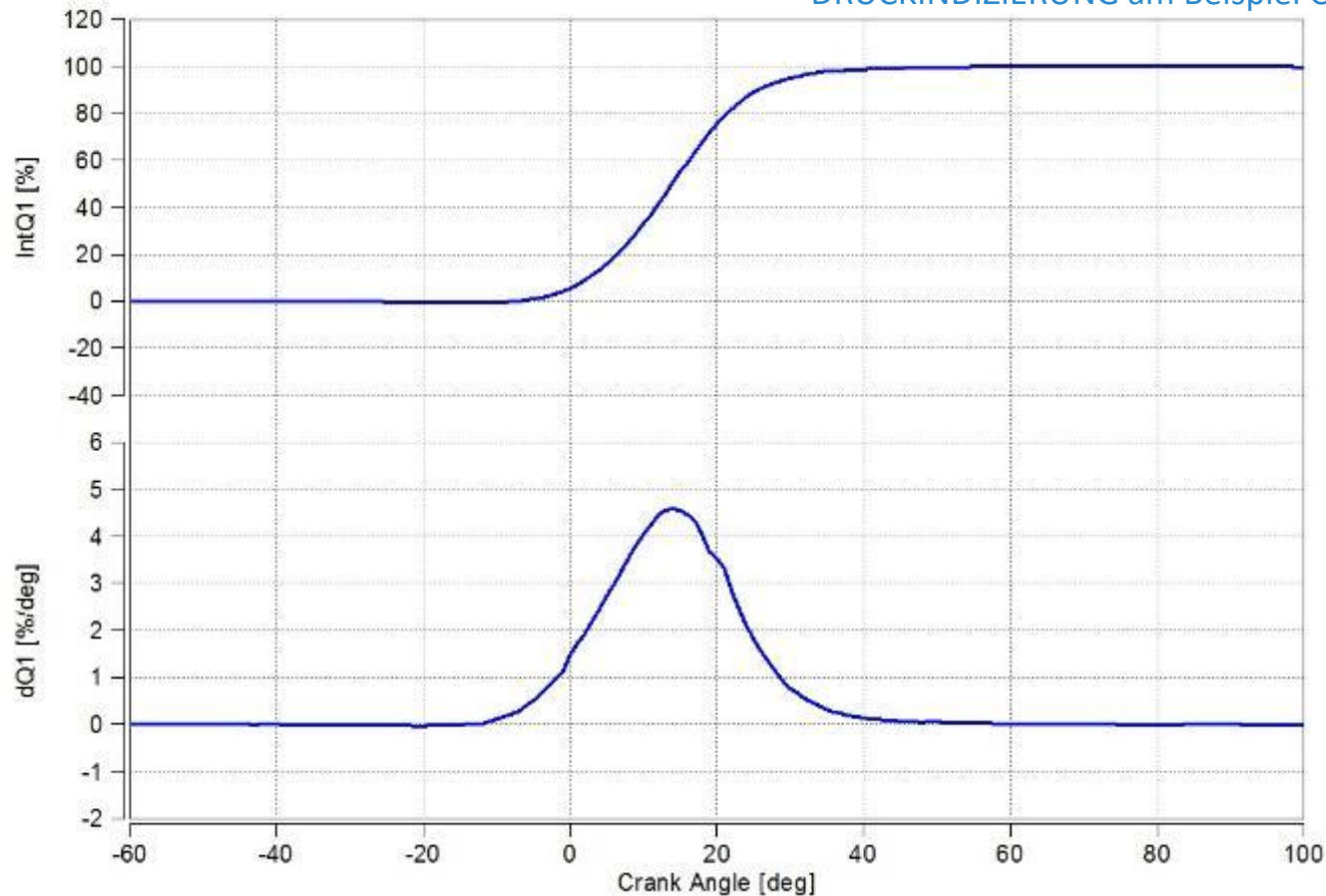
- **Differentieller Verlauf**
Der differentielle Verlauf zeigt die Energieumsetzung je Kurbelwinkel. Hieraus kann die Rate der Verbrennung und die Brenngeschwindigkeit abgelesen werden.
- **Integraler Verlauf**
Der integrale Verlauf zeigt die umgesetzte Energie absolut (J, J/m³) oder relativ (%). Aus diesem Verlauf werden die Energieumsatzpunkte abgelesen.
- **Energieumsatzpunkte**
Die Energieumsatzpunkte geben den Grad Kurbelwinkel an, an welchem eine definierte Energiemenge umgesetzt wurde (5%, 50%, 95%). Zusätzlich können weitere Informationen der Verbrennung wie Brennbeginn, Brenndauer, Verbrennungsschwerpunktlage, etc. abgelesen werden.

Einführung in die Indizierung

KENNGRÖSSEN

BRENNVERLAUF / HEIZVERLAUF

DRUCKINDIZIERUNG am Beispiel Opel 1,8l



Einführung in die Indizierung

KENNGRÖSSEN

BRENNVERLAUF / HEIZVERLAUF

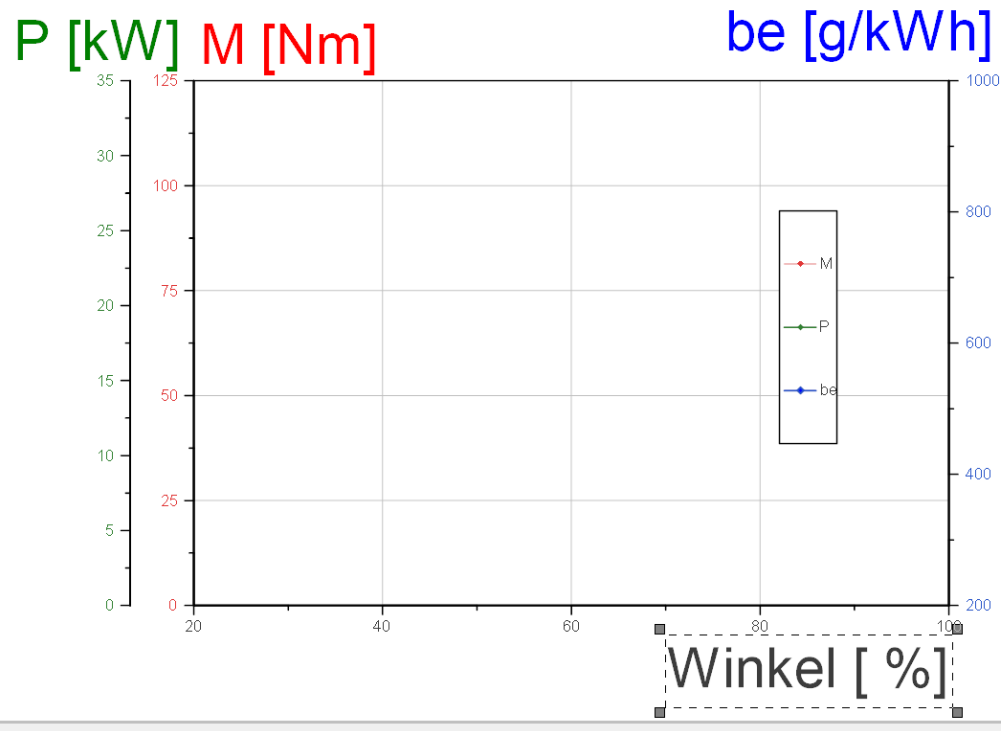
Polytropenkoeffizient

Der Polytropenkoeffizient ist das Verhältnis der spezifischen Wärmekapazität des jeweiligen Gemisches bei konstanten Druck bzw. Volumen.

Typische Werte:

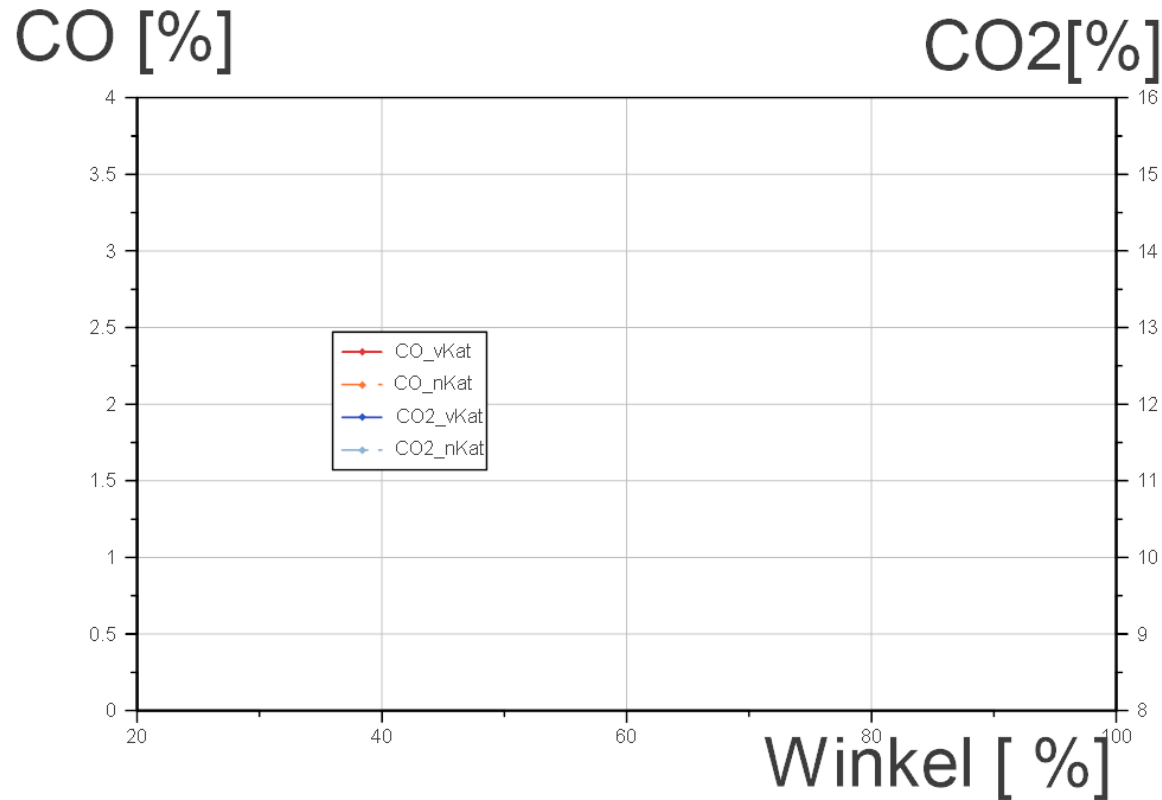
Stoff / Gemisch	Trockene Luft	Benzin	Benzin DI	Diesel
Polytropen-koeffizient Kompression	1,40	1,32	1,35	1,37
Polytropen-koeffizient Expansion		1,27	1,30	1,30

Aufgaben und Auswertungen



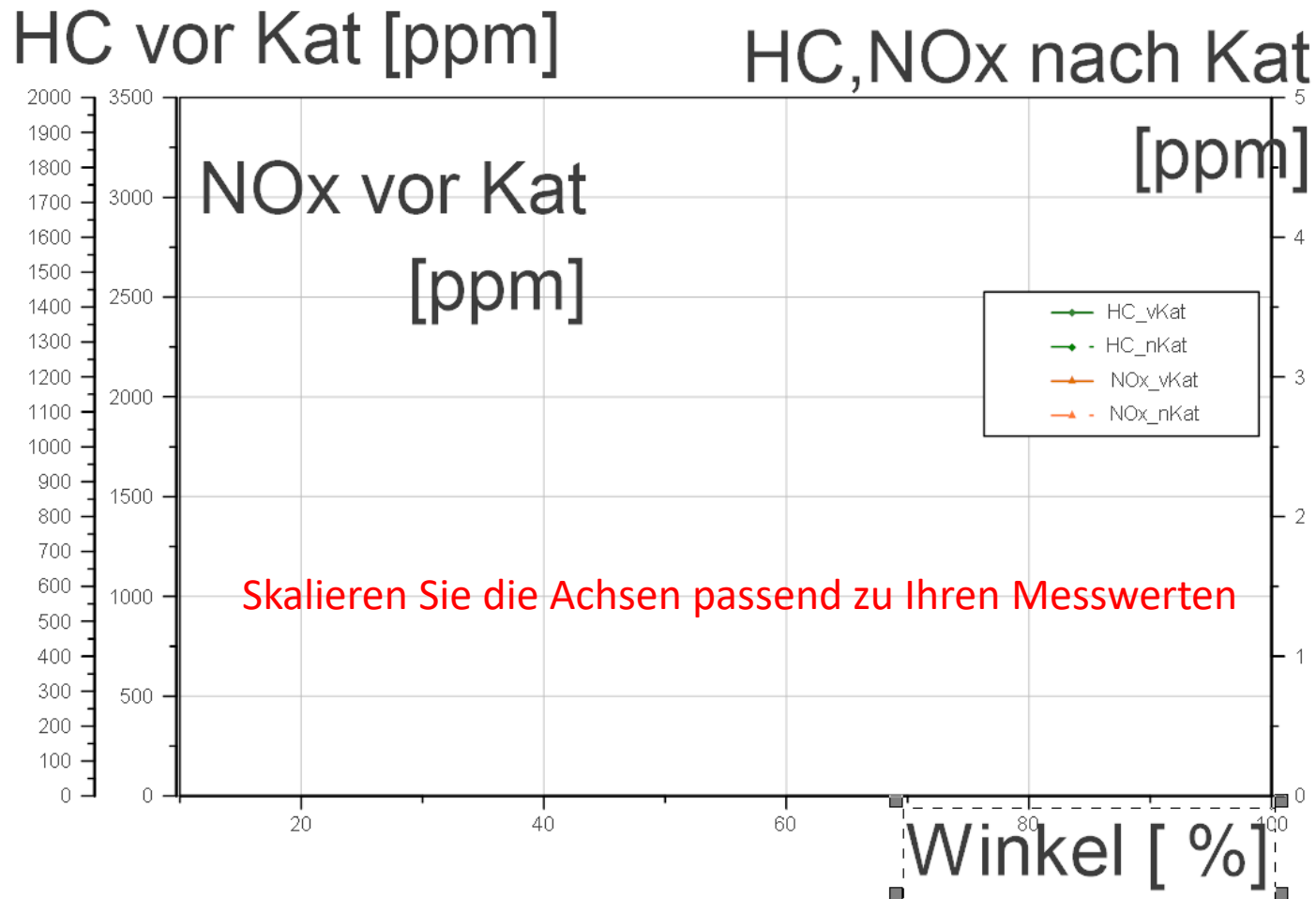
Skalieren Sie die Achsen passend zu Ihren Messwerten

Aufgaben und Auswertungen

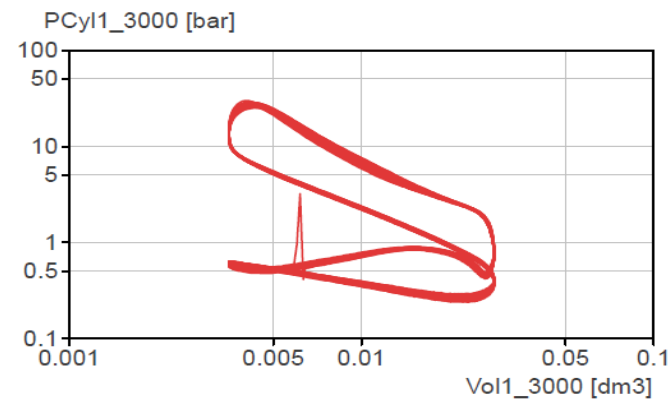
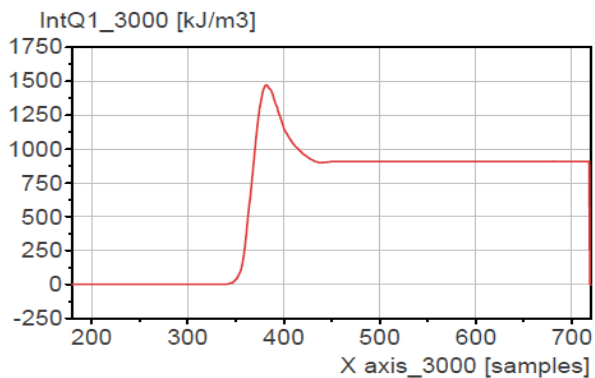
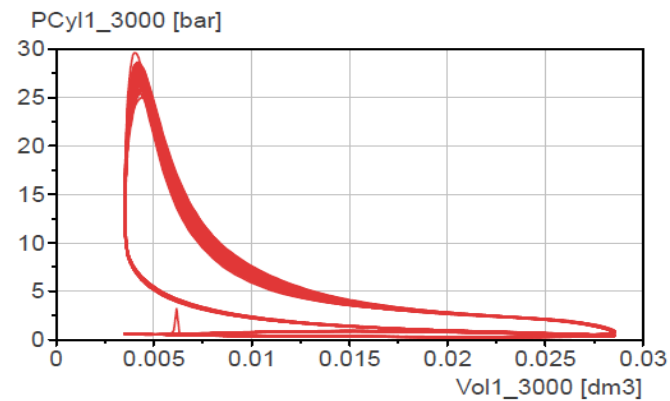
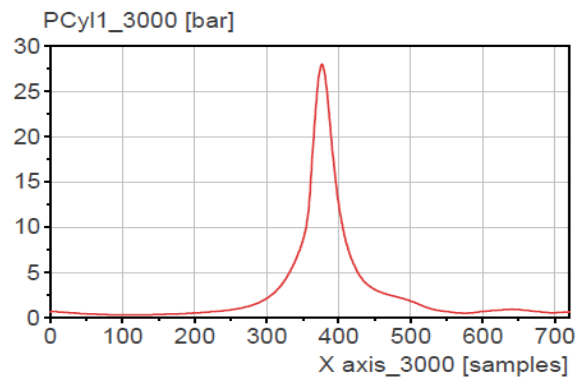


Skalieren Sie die Achsen passend zu Ihren Messwerten

Aufgaben und Auswertungen



Aufgaben und Auswertungen



LITERATUREMPFEHLUNGEN

- Thiesen; Skriptum Emissionen von Verbrennungsmotoren; University of Applied Sciences Frankfurt; Frankfurt; 2020
- von Basshuysen, Schäfer; Lexikon Motorentechnik; Springer Vieweg Verlag; Wiesbaden; 2006
- Teichmann, Merker; Handbuch Verbrennungsmotoren; Springer Vieweg Verlag; Wiesbaden; 2014
- Pischinger; Indizieren am Verbrennungsmotor; AVL List GmbH; Graz; 2002
- AVL List GmbH; Hilfe AVL Indicom 2014; AVL List GmbH; Graz; 2013
- AVL List GmbH; Hilfe AVL Concerto 2014; AVL List GmbH; Graz; 2013
- Online Hilfen der Fa. Dewesoft, 2020