

Ermittlung der Kennlinie einer Verbrennungskraftmaschine

Ermittlung der Kennlinien einer Verbrennungskraftmaschine

1. Messreihe:

$n = 30000 / \text{min} = \text{const.}$

Motor: 4-Takt-Diesel 1,5l VW 4 Zylinder-Reihen

Bremse: Zöllner Wirbelstrombremse Typ 2-220

b	1016 mbar	V_H	1,471 dm ³
θ_R	18 °C	V_{K1}	50 cm ³
ρ_{K0}	0,836 g/cm ³ bei	V_L	1 m ³
θ_{K0}	15 °C	H_u	4,2*10 ⁴ kJ/kg
Y_K	0,0008 g/cm ³	L_{min}	14,5 kg Luft/kg Kraftstoff
$l_{\text{theor.}}$	0,7024 m	$\rho_{K\text{mitte}}$	0,826 g/cm ³ bei
a	4	$\theta_{K\text{mitte}}$	23 °C
		R	288 J/(kgK)

Nummer	Uhrzeit	n	F	U_K	t_K	ϑ_K	$\theta_{\text{öi}}$	ϑ_{AS}	ϑ_L	t_L	SZ	ϑ_{SZ}
		1/min	N	1	s	°C	°C	°C	°C	s	Bosch	°C
1	12:51	3000	10	4124	82,1	21	84	175	21,4	30,2	2,9	71
2	12:55	3000	19	3358	66,0	22	95	180	21,6	29,9	3,2	62
3	12:57	3000	29	2818	55,7	22	98	198	21,7	29,7	3,4	63
4	13:00	3000	41	2391	46,6	22	100	244	21,7	29,8	3,6	99
5	13:05	3000	49	2175	43,0	23	107	271	22,3	29,8	3,6	87
6	13:07	3000	60	1940	38,3	23	108	294	22,1	30,3	3,5	88
7	13:09	3000	69,5	1746	34,8	23	110	334	22,1	30,8	3,4	96
8	13:11	3000	81	1560	30,9	23	110	378	22,4	31,0	3,2	103
9	13:13	3000	89	1421	28,2	23	110	409	22,5	31,1	3,1	110
10	13:14	3000	101	1256	24,7	23	110	459	22,5	31,2	3,0	119
11	13:16	3000	110	1135	22,4	23	112	538	22,6	31,7	2,8	130
12	13:18	3000	121	959	19,1	23	114	637	22,6	32,1	4,3	149
13	13:20	3000	122	910	17,9	23	115	693	22,6	32,3	5,6	168

Bemerkung: $V_K = 50 \text{cm}^3$

	n	P _e	M _d	p _{me}	B	b _e	b _H	η _w	η _L	λ
Nummer	1/s	kW	Nm	N/cm ²	kg/h	g/kWh	g/m ³	%	%	1
1	50,23	2,2	7,0	6,0	1,8	816,9	13,6	10,5	89,6	5,43
2	50,88	4,3	13,3	11,4	2,3	528,0	16,7	16,2	89,4	4,40
3	50,59	6,5	20,4	17,4	2,7	412,2	19,9	20,8	90,5	3,74
4	51,31	9,3	28,8	24,6	3,2	343,7	23,5	24,9	88,9	3,12
5	50,58	10,9	34,4	29,4	3,5	316,1	25,8	27,1	90,2	2,87
6	50,65	13,4	42,1	36,0	3,9	289,4	28,9	29,6	88,6	2,52
7	50,17	15,4	48,8	41,7	4,3	277,6	32,2	30,9	88,0	2,25
8	50,49	18,0	56,9	48,6	4,8	266,6	36,0	32,1	86,9	1,98
9	50,39	19,8	62,5	53,4	5,3	266,4	39,5	32,2	86,8	1,80
10	50,85	22,7	70,9	60,6	6,0	265,6	44,7	32,3	85,7	1,57
11	50,67	24,6	77,3	66,0	6,6	269,8	49,5	31,8	84,6	1,40
12	50,21	26,8	85,0	72,6	7,8	290,3	58,6	29,5	84,4	1,18
13	50,84	27,4	85,7	73,2	8,3	303,4	61,7	28,2	82,8	1,10

Berechnungen für das Willans-Diagramm:

Die Werte sind nochmals neben dem Diagramm notiert.

P_{e max} aus Tabelle

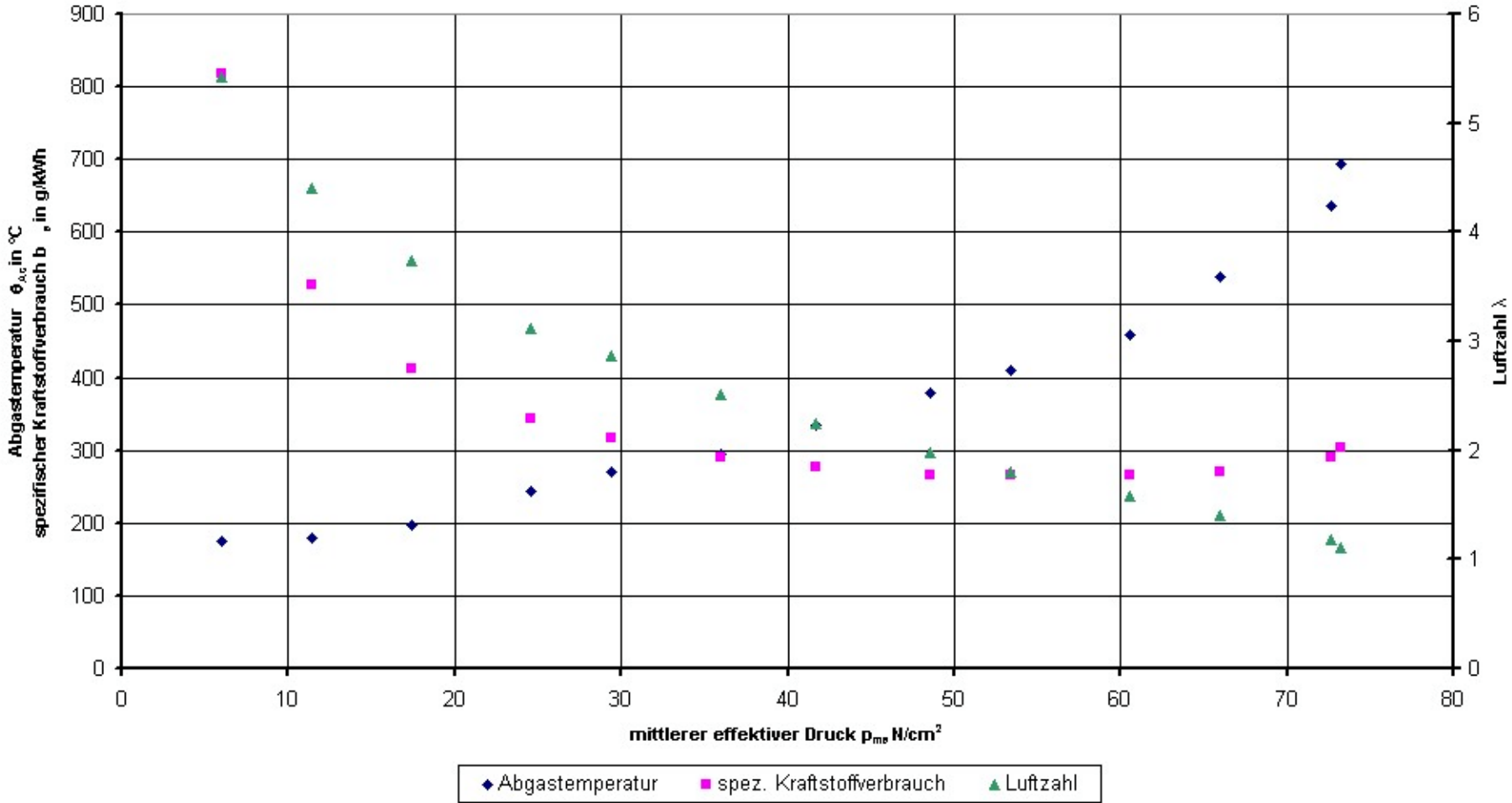
$$P_r = \frac{P_{e \max}}{p_{me \max}} \cdot p_{mr} = \frac{27,4}{73,2} \cdot 20 = 7,5 \text{ kW}$$

$$p_{mL \max} = p_{me \max} + p_{mr} = 73,2 + 20 = 93,2 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

$$\eta_{m \max} = \frac{P_{e \max}}{P_{mL \max}} = \frac{27,4}{93,2} = 0,294\% \approx 0,29\%$$

$$b_{e \min} = \frac{b_H}{p_{me}} = \frac{60 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}}{80 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}} = 270 \frac{\text{g}}{\text{kWh}}$$

Spezifischer Kraftstoffverbrauch b_e , Luftverhältnis λ und Abgastemperatur θ_{as} für VW 1,5l Diesel bei $n=2100/\text{min}=\text{const}$



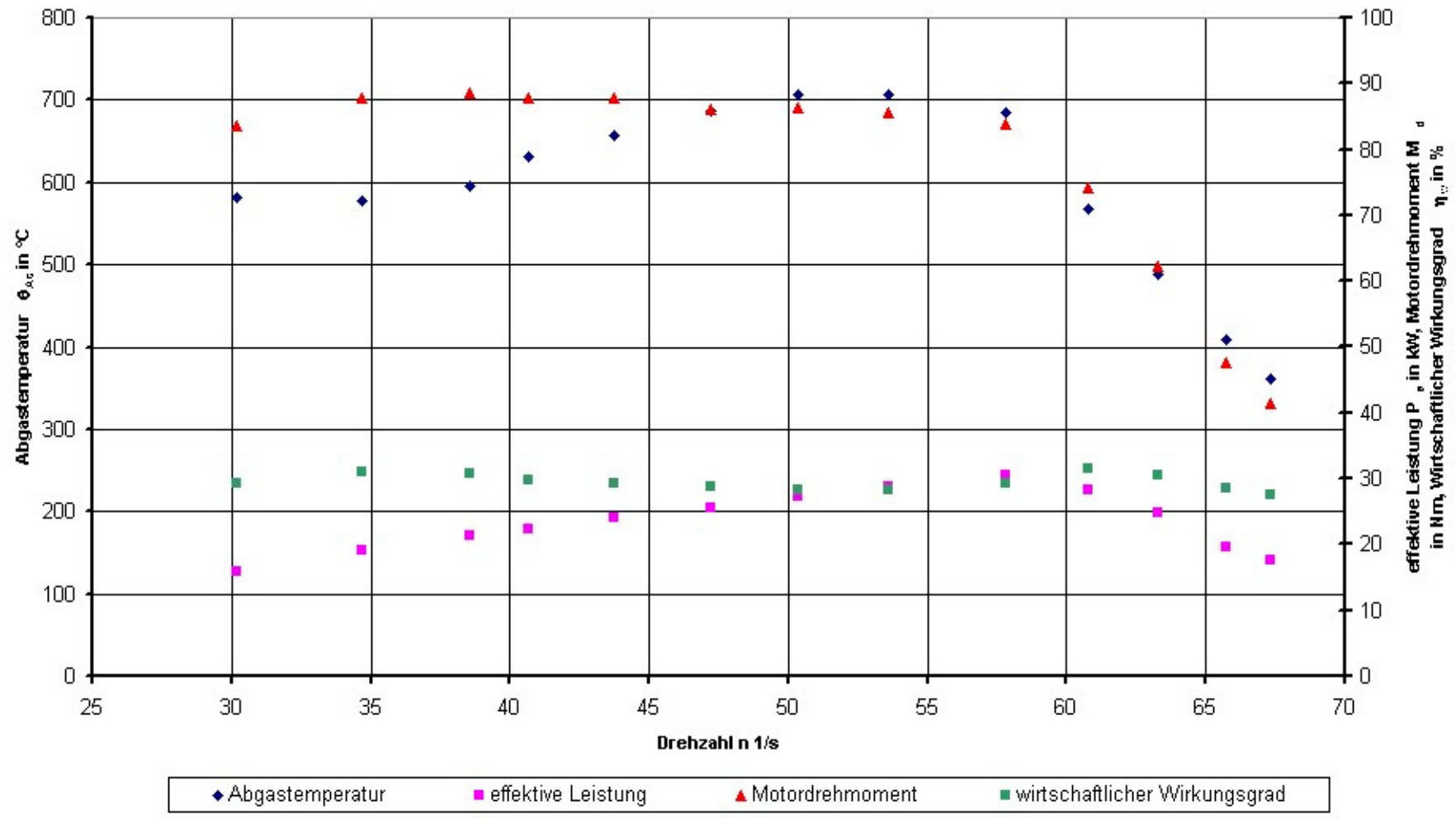
Ermittlung der Kennlinie einer Verbrennungskraftmaschine

2. Messreihe: "Vollgas"												
Nummer	Uhrzeit	n	F	U _K	t _K	ϑ _K	ϑ _{Öl}	ϑ _{AS}	ϑ _L	t _L	SZ	ϑ _{SZ}
		1/min	N	1	s	°C	°C	°C	°C	s	Bosch	°C
1	13:54	1800	119	1930	64,0	23	90	582,0	22,5	54,3	6,9	83
2	13:57	2000	125	1955	56,4	23	96	577,0	22,6	44,1	4,4	114
3	13:59	2200	126	1920	49,8	23	99	596,0	22,7	39,2	3,9	129
4	14:01	2400	125	1879	46,2	23	102	631,0	22,9	38,3	4,1	139
5	14:02	2600	125	1846	42,2	23	104	657,0	22,9	35,1	4,0	153
6	14:03	2800	122,5	1842	39,0	23	107	687,0	22,7	34,1	5,0	165
7	14:04	3000	123	1802	35,8	23	110	706,0	23,3	32,3	6,1	177
8	14:06	3200	122	1823	34,0	23	114	707,0	23,7	30,5	6,1	190
9	14:07	3400	119,5	1930	33,4	23	117	685,0	24,1	28,9	4,6	200
10	14:09	3600	105,5	2357	38,8	23	120	568,0	24,3	26,0	3,1	206
11	14:12	3750	88,5	2720	43,0	23	125	488,0	23,6	24,8	3,7	193
12	14:13	3900	68	3285	50,0	23	125	408,0	23,8	23,6	3,7	189
13	14:13	4000	59	3676	54,6	23	125	362,0	23,6	23,0	4,0	180
14	14:16	4100	49	4108	59,4	23	125	332,0	23,5	22,4	3,8	170

Bemerkung: V_K=100cm³

Nummer	n	P _e	M _d	p _{me}	B	b _e	b _H	η _w	η _L	λ
	1/s	kW	Nm	N/cm ²	kg/h	g/kWh	g/m ³	%	%	1
1	30,16	15,8	83,6	71,4	4,6	293,4	58,2	29,22	83,0	1,17
2	34,66	19,1	87,8	75,0	5,3	275,7	57,4	31,09	88,9	1,27
3	38,55	21,4	88,5	75,6	6,0	278,5	58,5	30,78	90,0	1,26
4	40,67	22,4	87,8	75,0	6,4	286,9	59,8	29,88	87,3	1,20
5	43,74	24,1	87,8	75,0	7,0	292,0	60,8	29,35	88,6	1,19
6	47,23	25,5	86,0	73,5	7,6	298,6	61,0	28,71	84,4	1,14
7	50,34	27,3	86,4	73,8	8,3	304,0	62,3	28,20	83,6	1,10
8	53,62	28,9	85,7	73,2	8,7	303,0	61,6	28,29	83,1	1,10
9	57,78	30,5	83,9	71,7	8,9	292,1	58,2	29,34	81,4	1,14
10	60,75	28,3	74,1	63,3	7,7	271,0	47,6	31,63	86,1	1,47
11	63,26	24,7	62,2	53,1	6,9	279,9	41,3	30,62	86,7	1,72
12	65,70	19,7	47,8	40,8	5,9	301,6	34,2	28,42	87,7	2,10
13	67,33	17,5	41,4	35,4	5,4	310,7	30,6	27,59	87,8	2,35
14	69,16	15,0	34,4	29,4	5,0	334,7	27,3	25,61	87,8	2,63

Effektive Leistung P_e , Motordrehmoment M_d , Wirkungsgrad η_w und Abgastemperatur θ_{As} für 1,5l VW Dieselmotor bei konstanter Stellung des Drehzahlverstellhebels ("Vollgas")



Fehlerbetrachtung

Die Fehlerbetrachtung wird bei den Größen „maximale Leistung“, der zugehörigen „Drehzahl“ und „minimaler Kraftstoffverbrauch“ bezüglich der größtmöglichen Fehler der zusammengesetzten Größen durchgeführt.

Geschätzte Genauigkeiten der einzelnen Messgrößen:

$$\Delta F = \pm 2N$$

$$\Delta U_K = \pm 0,5$$

$$\Delta t_K = \pm 0,2s$$

$$\Delta V_K = \pm 0,5\text{cm}^3$$

$$\Delta \rho_K = \pm 0,002\text{g/cm}^3$$

Tabellarische Ermittlung der größtmöglichen Fehler:

Größe	Wert	abs.Fehler	rel. Fehler	Ergebnis
F/N	122	$\pm 2N$	$\pm 1,7\%$	
U_K	910	$\pm 0,5$	$\pm 0,1\%$	
t_K/s	17,9	$\pm 0,2s$	$\pm 0,7\%$	
P_e/kW	27,4		$\pm 2,5\%$	18,9kW $\pm 0,5kW$
bei $n/1/s$	50,84		$\pm 0,8\%$	35,4/s $\pm 0,3/s$
V_K/cm^3	50	$\pm 0,5\text{cm}^3$	$\pm 1\%$	
$\rho_K/\text{g/cm}^3$	0,836	$\pm 0,002\text{g/cm}^3$	$\pm 0,2\%$	
F/N	90	$\pm 2N$	$\pm 2,2\%$	
U_K	1421	$\pm 0,5$	$\pm 0,04\%$	
$b_e/\text{g/kWh}$	266,4		$\pm 3,44\%$	262,5g/kWh $\pm 9\text{g/kWh}$

Diskussion

Die Laborübung dient dazu, die Eigenschaften eines 1,5 l VW-Dieselmotors mit Hilfe der aus den Messwerten erstellten Diagramme kennen zu lernen und zu beschreiben und durch Vergleiche mit den Literaturwerten zu beurteilen. Die Grundlage hierzu bilden zwei Messreihen.

Messreihe 1:

In dem ersten Diagramm zu dieser Messreihe ist das Luftverhältnis λ , der spezifische Kraftstoffverbrauch b_e und die Temperatur des Abgases in Abhängigkeit vom mittleren effektiven Druck p_{me} aufgetragen.

Die Luftzahl λ gibt das Verhältnis von der tatsächlich zugeführten Luftmenge zur theoretisch benötigten Luftmenge an. Die Messungen ergeben Werte von anfangs $\lambda = 5,43$, die dann auf $\lambda = 1,10$ bei Vollast abnehmen.

Die gemessenen λ - Werte entsprechen der von der Literatur angegebenen Werte, die für Dieselmotoren bei $\lambda = 1,2 - 40$ liegen.

Die Abgastemperatur nimmt mit steigendem Druck zu und erreicht bei einem Mitteldruck von $73,2 \text{ N/cm}^2$ einen Spitzenwert von 693°C .

Der spezifische Kraftstoffverbrauch b_e ist das Verhältnis von verbrauchtem Kraftstoff zur abgegebenen Leistung. Im Diagramm ist der Wert für b_e anfangs sehr hoch, da im Bereich niedriger Last die Verluste durch Reibung und den Betrieb der Nebenaggregate (Lichtmaschine, Wasserpumpe, usw.) im Verhältnis zur abgegebenen Leistung sehr hoch sind. Bei steigender Leistungsabgabe fällt dann jedoch der spez. Kraftstoffverbrauch auf ein Minimum von $265,6 \text{ g/kWh}$ und steigt darauf hin wieder leicht an.

Der ermittelte Minimalverbrauch wird bei $n = 50,85 \text{ s}^{-1}$ erzielt und kann so nicht als wirklicher Minimalverbrauch des Motors angesehen werden, da für dessen Beurteilung das gesamte Kennfeld erforderlich ist. Für ein solches Verbraucherkennfeld wären weitere Messreihen mit verschiedenen jeweils konstant gehaltenen Drehfrequenzen notwendig, um daraus das so genannte "Muscheldiagramm" zu erstellen. Hieraus ließe sich dann der tatsächliche minimale Kraftstoffverbrauch dieses Dieselmotors ermitteln.

Die im Diagramm zur Ermittlung von p_{mr} dargestellte Kurvenschar von Ursprungsgeraden repräsentieren jeweils Linien konstanten spezifischen Verbrauchs. Dabei ist diejenige Gerade, die die eingezeichnete Kennlinie (Willians-Linie) tangiert, die Gerade des geringsten spezifischen Verbrauchs. Der aus dem durchgeführten Versuch ermittelte minimale Kraftstoffverbrauch für $b_{e \min}$ liegt bei ca. 270 g/kWh . Dies liegt im Bereich der in der Literatur angegebenen Werte, die zwischen $200- 275 \text{ g/kWh}$ zu entnehmen sind.

Verlängert man die Willians-Linie nach links, so existiert ein Schnittpunkt mit der Ordinate oberhalb des Ursprungs, der den Grundverbrauch von $b_H = 11 \text{ g/m}^3$ angibt. Das ist der Kraftstoffverbrauch, der durch die mechanischen Verluste an Kolben, Kolbenringe, Lager, Nebenaggregaten usw. entsteht, ohne dass der Motor darüber hinaus noch effektive Leistung abgibt.

Bringt man die Willians-Linie zum Schnitt mit der Abszisse, so erhält man den Wert für den mittleren Reibdruck $p_{mr} = 20 \text{ N/cm}^2$, woraus sich die Reibleistung in kW ergibt. Addiert man die Beträge des mittleren Reibdruckes und des mittleren effektiven Drucks, so erhält man den mittleren indizierten Druck p_{mi} , der in unserem Fall 93 N/cm^2 beträgt.

Der Quotient aus dem mittleren effektiven Druck und dem mittleren indizierten Druck ergibt den mechanischen Wirkungsgrad des Motors. Der aus den Messgrößen ermittelte Wert liegt bei 78 %. Die Literatur gibt für den mechanischen Wirkungsgrad bei Dieselmotoren Erfahrungswerte von 75% bis 86% an. Der gemessene mechanische Wirkungsgrad entspricht diesen Angaben.

Messreihe 2:

In dem erstellten Diagramm sind die effektive Leistung, das Drehmoment, der wirtschaftliche Wirkungsgrad und die Abgastemperatur in Abhängigkeit von der Drehzahl aufgetragen.

Bei der Verstellhebelstellung "Vollgas" wird die maximale Leistung und das maximale Moment vor dem typischen Abknicken der Kurven, wie es bei einem Dieselmotor durch die Abregelung bedingt ist, erreicht.

Der wirtschaftliche Wirkungsgrad η_w ist das Verhältnis von Nutzleistung zu der im Kraftstoff zugeführten Wärmeleistung. Bei der Messung liegt der beste Wert bei $n = 60,75 \text{ s}^{-1}$ mit $\eta_w = 31,63 \%$. Als maximaler Wert für Diesel gelten laut Literatur $\eta_w = 30 - 45 \%$. Die Messung liegt somit genau in diesem Bereich.

Die Abgassammeltemperatur θ_{AS} steigt mit zunehmender Leistung an, wobei sie, wenn die maximale Leistung überschritten ist, wieder abnimmt. Der Höchstwert der Abgassammeltemperatur liegt bei 707°C und einer Drehzahl von $53,62 \text{ s}^{-1}$.