

B-35

I.G. FARBENINDUSTRIE AKTIENGESellschaft LUDWIGSHAFEN/RHAIN

Technischer Prüfstand Oppau

Kurzbericht Nr. 305

Über die

Temperatur- und Bleiempfindlichkeit von Flugkraftstoffgemischen
aus 60 Vol.-% VP 705 und 40 Vol.-% EF 100 bzw. CV₂-Aromaten.

Ageschlossen am 3. März 1945

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Itzenkowski

Die vorliegende Ausfertigung enthält
21 Blätter, davon 17 Schaublätter

27514

3. März 1941 W1/Gr

Temperatur- und Bleiempfindlichkeit von Flugkraft-
stoffgemischen aus 60 Vol. % VT 705 und 40 Vol. % ET 100
bezw. CV₂b-Aromaten.

Nach dem Überladeverfahren wurden am BMT 132 Einzylinder-Flugmotor Nr. 5, Op. 290, bei einem Verdichtungsverhältnis von 1:8 und bei verschiedenen Ladelufttemperaturen von 50, 100, 150 und 200°C die Klopfgrenzkurven für folgende Kraftstoffgemische:

VT 705 + ET 100 (60:40 Vol. %)

VT 705 + CV₂b-Aromaten (60:40 Vol. %)

ermittelt. Diese beiden Kraftstoffgemische wurden ohne und mit 0,12 bzw. 0,16 Vol. % BTA-Zusatz gefahren. Die Klopfgrenzkurven sind in den Schaubildern TPr. 3.1062 bis 1067 wiedergegeben.

In einer weiteren Versuchsreihe wurden die Klopfgrenzkurven für Flugbenzol und ET 100 ohne Bleizusatz bei 160, 180, 200 und 220°C Ladelufttemperatur aufgenommen (TPr. 3.1068). Es war ursprünglich beabsichtigt, ET 100 und Flugbenzol bei Ladelufttemperaturen von 50 bis 200°C und bei 0 bis 0,16 Vol. % BTA zu untersuchen. Dies war leider nicht möglich, denn die Arbeitsdrücke p_{me} an der Klopfgrenze (im Kraftstoffüberschussgebiet) waren für Flugbenzol auch bei einer Ladelufttemperatur von etwa 200°C so hoch, dass die Ermittlung der Klopfgrenzwerte den Überlademotor gefährdet hätte.

Wie bereits im Kurzbericht Nr. 304 ausgeführt, weisen die nach dem Überladeverfahren ermittelten Klopfgrenzkurven bestimmte ausgezeichnete Punkte auf:

1. Der höchste Arbeitsdruck p_{me} mit der zugeordneten Luftüberschusszahl λ , (im Kraftstoffüberschussgebiet);

2. der niedrigste Arbeitsdruck p_{me2} mit der zugeordneten Luftüberschusszahl λ_2 (im Luftüberschussgebiet).

Aus diesen Grundwerten (vgl. TPr.S. 1069, Bild 1 oben) lassen sich weitere Beziehungen herleiten:

$$1) \Delta p_{me} = p_{me1} - p_{me2}$$

$$2) \Delta \lambda = \lambda_2 - \lambda_1$$

$$3) \tan \alpha = dp_{me} / d\lambda$$

Die aus den Klopfgrenzkurven der untersuchten beiden Kraftstoffmischungen ermittelten p_{me1} , p_{me2} , Δp_{me} , λ_1 , λ_2 , $\Delta \lambda$ und $dp_{me}/d\lambda$ -Werte sind in den Schaublättern TPr.S. 1070 bis 1078 in Abhängigkeit von der Ladelufttemperatur, vom Bleigehalt und von der Motoroktanzahl wiedergegeben. Daraus lassen sich folgende Schlüsse über die Temperatur- und Bleiempfindlichkeit, sowie über den Zusammenhang mit der Motoroktanzahl ziehen.

I. Temperaturempfindlichkeit.

A) p_{me1} , p_{me2} , und Δp_{me} -Werte.

1. Die p_{me1} und p_{me2} -Werte fallen mit zunehmender Ladelufttemperatur anfangs schneller, später langsamer ab (TPr.S. 1070 und 1071). Die Temperaturabhängigkeit ist

- bei CV₂b-Aromaten-Zusatz grösser als bei ET 100 - Zusatz
- bei Bleizusatz grösser als bei den unverbleiten Kraftstoffgemischen,
- bei den p_{me2} -Werten grösser als bei den p_{me1} -Werten.

1) Δp_{me} ist ein Mass für die Empfindlichkeit eines Kraftstoffes hinsichtlich Klopfverhalten bei Änderung des Kraftstoffluftgemisches.

2) $\Delta \lambda$ ist ein Mass für die Verlagerung der Punkte P 1 und P 2

3) Neigung der Tangente im Wendepunkt.

2. Die Δp_{mo} - Werte wachsen mit zunehmender Ladelufttemperatur anfangs schnell, später, langsamer an (TPr.S.1072)

- a) Bei CV_2 -b-Aromaten-Zusatz sind die Δp_{mo} -Werte grösser als bei BT 100 - Zusatz,
- b) bei Bleizusatz ist der Einfluss der Ladelufttemperatur auf die Δp_{mo} -Werte grösser als bei unverbleiten Kraftstoffen.

B) λ_1 -, λ_2 -, $\Delta \lambda$ - und $dp_{mo}/d\lambda$ - Werte.

1. Mit erhöhter Ladelufttemperatur nehmen die λ_2 -Werte zu, die λ_1 -Werte dagegen ab (TPr.S.1073). 4)

2. Mit zunehmender Ladelufttemperatur wachsen die $\Delta \lambda$ - Werte rasch an. Die Temperaturabhängigkeit ist bei Bleizusatz grösser als bei den unverbleiten Kraftstoffen (TPr.S.1074).

3. Die $dp_{mo}/d\lambda$ - Werte ändern sich bei den unverbleiten Kraftstoffen nur wenig (TPr.S.1075). Bei Bleizusatz streben die $dp_{mo}/d\lambda$ - Werte einem Höchstwert zu, um dann wieder abzufallen, dieses unerwartete Verhalten wäre noch einer eindeutigen Nachprüfung zu unterziehen.

II. Bleisensibilität.

Der Bleizusatz wirkt sich bei niedrigen Ladelufttemperaturen ausserordentlich stark aus, mit zunehmender Ladelufttemperatur wird jedoch sein Einfluss immer geringer (TPr.S.1076 und 1077).

4. u.h., der Punkt P 2 wandert in das Gebiet des grösseren Luftüberschusses, der Punkt 1 dagegen in das Gebiet höheren Kraftstoffüberschusses.

5) bestimme bei den CV_2 -b-Aromaten (Verlauf der Klopffrenzkurve, p_{me1} - und p_{me2} -Werte)

Der Einfluss des Bleigehaltes auf die p_{me_1} - und p_{me_2} -Werte ist,

- 1.) von der Kraftstoffzusammensetzung,
- 2.) von der Ladelufttemperatur

abhängig. Wie der Vergleich der TPr.3.Blätter 1076 und 1077 zeigt, sind die p_{me_1} -Werte CV₂b-Aromaten-Zusatz mit verschiedenem Bleigehalt, einer viel stärkeren Veränderung unterworfen als bei ET 100-Zusatz. Bei dem CV₂b-Aromaten-Zusatz macht sich der Bleigehalt am stärksten bei der niedrigen Ladelufttemperatur bemerkbar, wie folgende Gegenüberstellung zeigt:

	CV ₂ b-Aromaten-Zusatz + 0,16 Vol.-% BTA	ET 100-Zusatz + 0,16 Vol.-% BTA
Ladelufttemperatur 50°	$p_{me_1} = 21 \text{ at}$	15 at
100	" = 17,2	13,7
150	" = 16,3	12,6
200	" = 16	11,3

Während bei ET 100 mit zunehmender Ladelufttemperatur beim Abfall der p_{me_1} -Werte eine gewisse Stetigkeit zu beobachten ist, ändern sich bei CV₂b-Aromaten-Zusatz mit steigender Ladelufttemperatur die p_{me_1} -Werte anfangs schnell, später nur noch wenig.

Auch bei den p_{me_2} -Werten wird die Bleiwirkung von der Ladelufttemperatur stark beeinträchtigt. Am besten gibt hier wiederum eine Gegenüberstellung über die gegenseitige Abhängigkeit von Bleigehalt und Ladelufttemperatur Aufschluss:

	CV ₂ b-Aromaten-Zusatz + 0,16 Vol.-% BTA	ET 100-Zusatz + 0,16 Vol.-% BTA
Ladelufttemperatur 50°	$p_{me_2} = 13 \text{ at}$	10,6
100	" = 5,9	6,8
150	" = 3,9	5,0
200	" = 3,2	4,0

Daraus ist bei niedriger Ladelufttemperatur von 50° der p_{me_2} -Wert grösser bei CV₂b-Aromaten-Zusatz, aber schon bei etwa 100° Ladelufttemperatur tritt eine Überschneidung ein, denn jetzt liegen die p_{me_2} -Werte bei ET 100 Zusatz höher.

III. Zusammenhang mit der Motoroktanzahl.

Auf Blatt TPr.S.1069 (Bild 2 unten) ist die Motoroktanzahl in Abhängigkeit vom Bleigehalt aufgetragen. Danach weist die Kraftstoffmischung aus 60% VT 705 und 40% ET 100 bei 0,12 Vol.% Bleigehalt eine Motoroktanzahl von 100 auf, während bei 40 Vol.% CV_2 -b-Aromaten-Zusatz die Motoroktanzahl nur 92 beträgt. Im Gegensatz dazu liegen, wie Blatt TPr.S.1078 zeigt, die Klopfgrenzkurven bei CV_2 -b-Aromaten-Zusatz höher als bei ET 100 - Zusatz, wie folgende Gegenüberstellung bei 50°C Ladelufttemperatur ergibt:

	MOZ	p_{me_1} at	p_{me_2} at
40% CV_2 -b-Aromaten-Zusatz + 0,12 Vol.% BTL	92	19,3	13,9
40% ET 100 - Zusatz + 0,12 Vol.% BTL	100	11,8	9,8

Die gleichen Feststellungen, wie bei den beiden untersuchten Kraftstoffmischungen hinsichtlich Temperaturempfindlichkeit macht man, wenn man die Klopfgrenzkurven von unvermischten Stoffen bei verschiedenen Ladelufttemperaturen aufnimmt, wie dies auf Blatt TPr.S.1068 für ET 100 und Flugbenzol bei 160, 180, 200 und 220° Ladelufttemperatur geschehen ist. Legt man beispielsweise bei der Luftüberschusszahl $\lambda = 0,85$ einen Schnitt, so ergeben sich folgende Arbeitsdrücke p_{me} :

	für ET 100	für Flugbenzol
Ladelufttemperatur 160°	5,9 at	13,6 at
200°	5,2	6,9
220°	4,7	4,4

Daraus erkennt man, wie stark sich im Gegensatz zu ST 100 der Arbeitsdruck bei Flugtensol mit der Ladelufttemperatur ändert.

Der grössere Einfluss der Ladelufttemperatur bei aromatischen Kraftstoffgemischen konnte auch noch in einer weiteren Versuchsreihe nachgewiesen werden. Aus den schon wiederholt aufgenommenen Klopfgrenzkurven für B 4, C 3, C 2 und ST 100 (sämtlich mit 0,12 Vol.-% H₂O) wurden bei verschiedenen Verdichtungsverhältnis von 6,5 bzw. 8 und bei verschiedener Ladelufttemperatur von 80 bzw. 130° die p_{ne1} -, p_{ne2} - und Δp_{ne} -Werte ermittelt. Bildet man nun bei gleichem Verdichtungsverhältnis die Unterschiede aus den p_{ne1} -, p_{ne2} - und Δp_{ne} -Werte bei 80 und 130° Ladelufttemperatur, so erkennt man, dass bei den aromatischen Kraftstoffen C 2 und C 3 diese Unterschiede grösser sind als bei ST 100 oder B 4, wie die nachstehende Zahlentafel zeigt.

Verdichtungsverhältnis 1:8

	Ladelufttemperatur = 130°	Ladelufttemperatur = 80°	Unterschied infolge Änderung der Lade- lufttemperatur
<u>ST 100</u>			
p_{ne1}	17,3	17,6	0,3
p_{ne2}	13,2	16,7	3,5
Δp_{ne}	4,1	0,9	3,2
<u>C 2</u>			
p_{ne1}	17,5	18,1	0,6
p_{ne2}	6,5	12,5	4,0
Δp_{ne}	9,0	5,6	4,4
<u>C 3</u>			
p_{ne1}	15,5	16,1	0,6
p_{ne2}	7,2	11,5	4,3
Δp_{ne}	8,3	4,6	3,7
<u>VT 2</u>			
p_{ne1}	10,6	10,7	0,1
p_{ne2}	5,8	8,1	2,3
Δp_{ne}	4,2	2,6	1,6

*) In diesem Falle handelt es sich um von der DVL aufgenommene Klopfgrenzkurven.

Verdichtungsverhältnis 1:6,5

	Ladelufttemperatur - 30°	Ladelufttemperatur - 80°	Unterschied infolge Änderung der Lade- lufttemperatur
<u>S. 100</u>			
P_{m0_1}	21	22,5	0,4
P_{m0_2}	17,8	17,4	3,6
ΔP_{m0}	3,3	1,1	2,2
<u>S. 2</u>			
P_{m0_1}	22,4	23,5	1,1
P_{m0_2}	15,6	17,5	3,9
ΔP_{m0}	8,8	6,0	2,8
<u>S. 3</u>			
P_{m0_1}	19,2	20,6	1,4
P_{m0_2}	12,6	15,8	4,2
ΔP_{m0}	7,6	4,8	2,8
<u>S. 100</u>			
P_{m0_1}	2,3	2,7	0,4
P_{m0_2}	8,6	12,1	2,5
ΔP_{m0}	3	1,6	2,1

Wittke

Penig

Klopfgrenzkurven.

Verflüchtungsverhältnis 1:8

Ladelufttemperatur — °C

Motor Nr. 100/100

Motor Nr. 5

Bau: Op 290

Benennung: Motor 100/100, 20 rel. % ET 100 (unverbleit)

Vers. Nr.

01 — 1000

20 — 1100

10

10 — 1200

17

18 — 1500

15

14 — 1400

13

12 — 1300

11

Nutzdruck

Ladedruck

10 — 1200

9

8 — 1100

7

6 — 1000

5

4 — 900

3

2 — 800

1

0

0,7

0,8

0,9

1,0

1,1

1,2

1,3 λ

27522

50°

100°

150°

200°

Klopfgrenzkurven

Verdünnungsverhältnis 1:0

Ladungstemperatur — °C

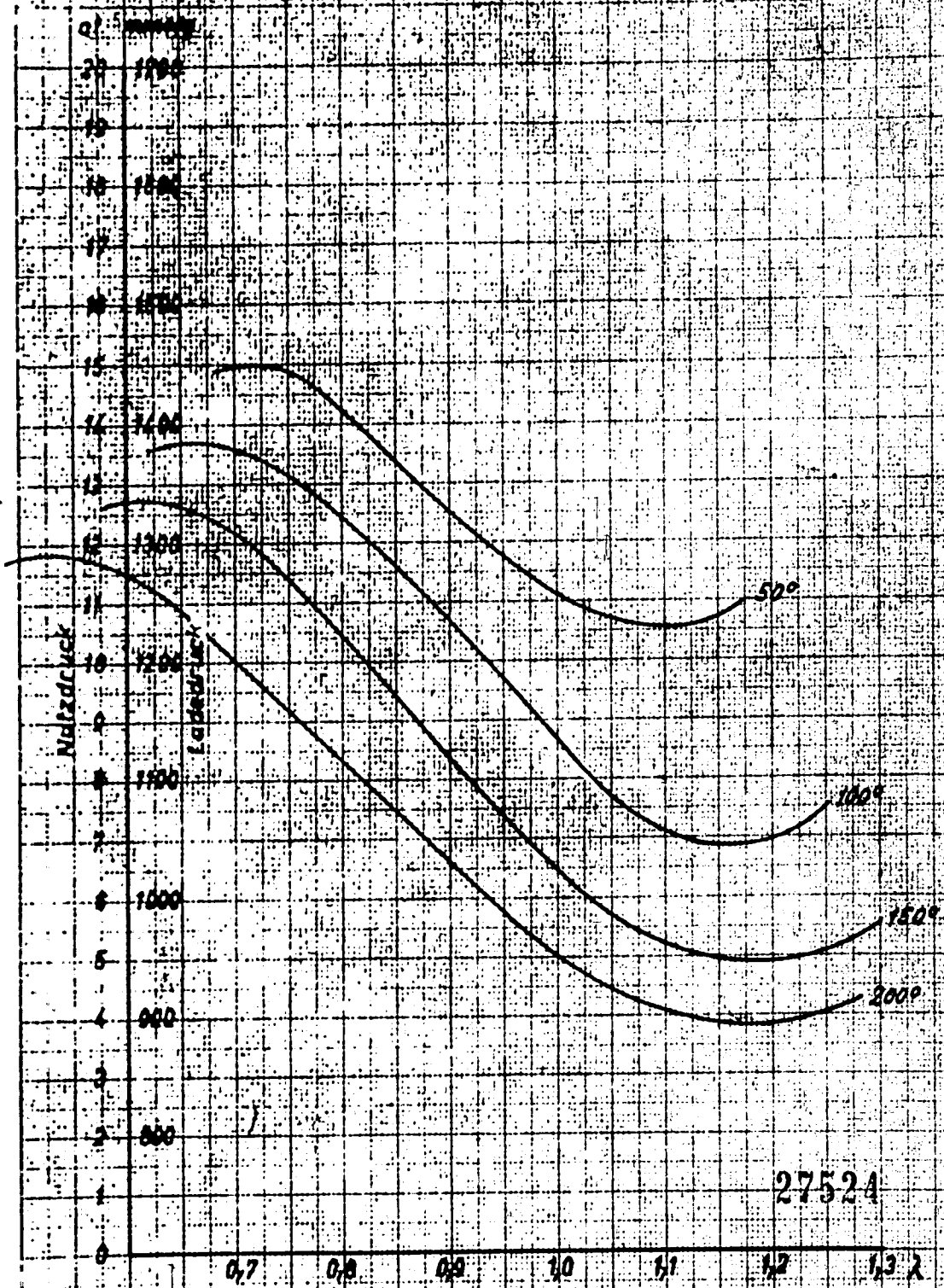
Motor 1000 1000

Motor Nr. 5

Rev. 2000

Probe: 4000 / 10000 + 10000 + 21500 B.T.A.

Vers. Nr.



27524

Klopfgrenzkurven.

Verdichtungsverhältnis 1:6

Ladelufttemperatur: — °C

Motortyp: BMW 132

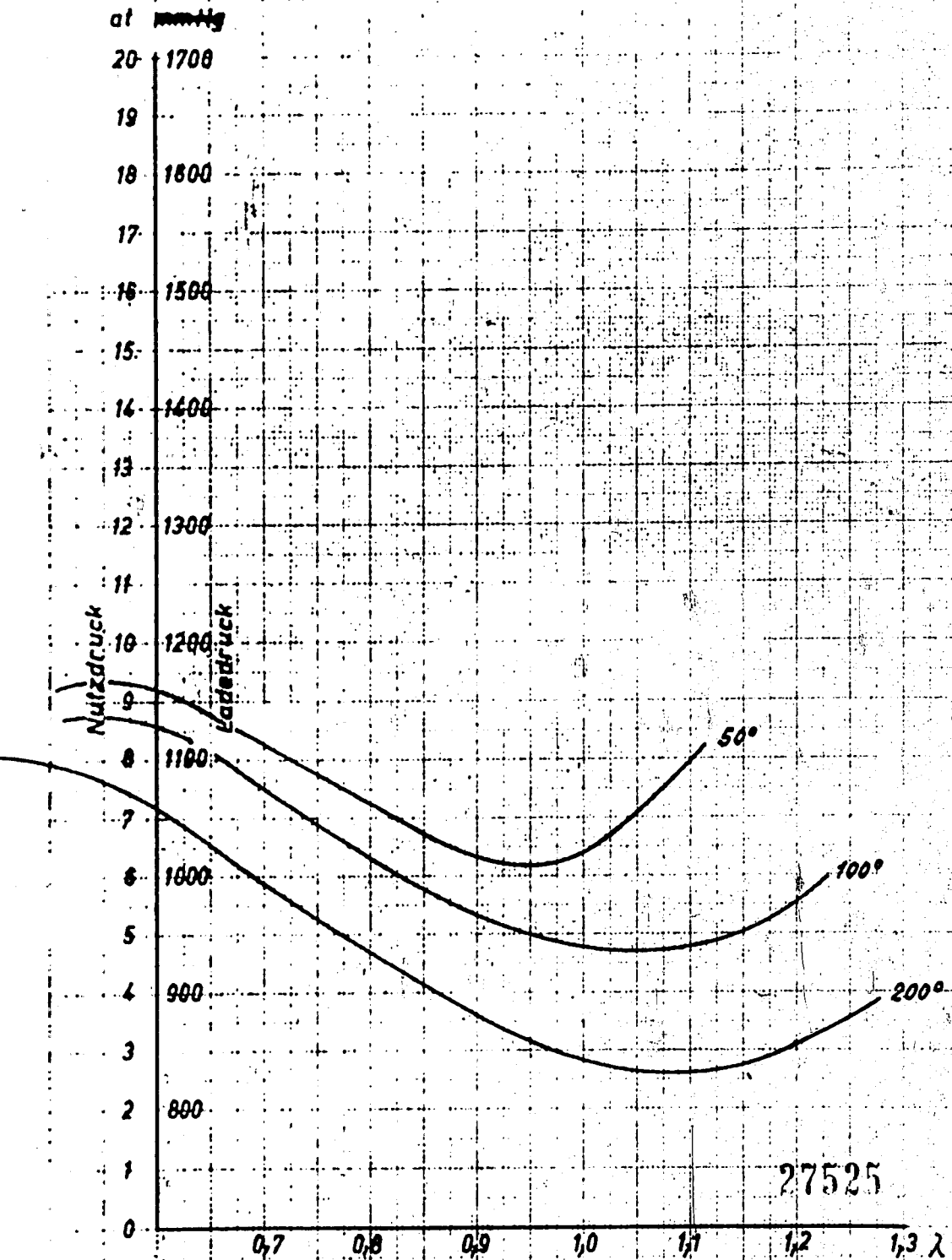
Motor Nr.: 5

Bau: Op. 290

Probe: 60 vol. % VT 705 + 40 vol. % C12 Aromaten (unverbleit)

Vers. Nr.

" "
" "



Klopfgrenzkurven

Verdichtungsverhältnis 1:8

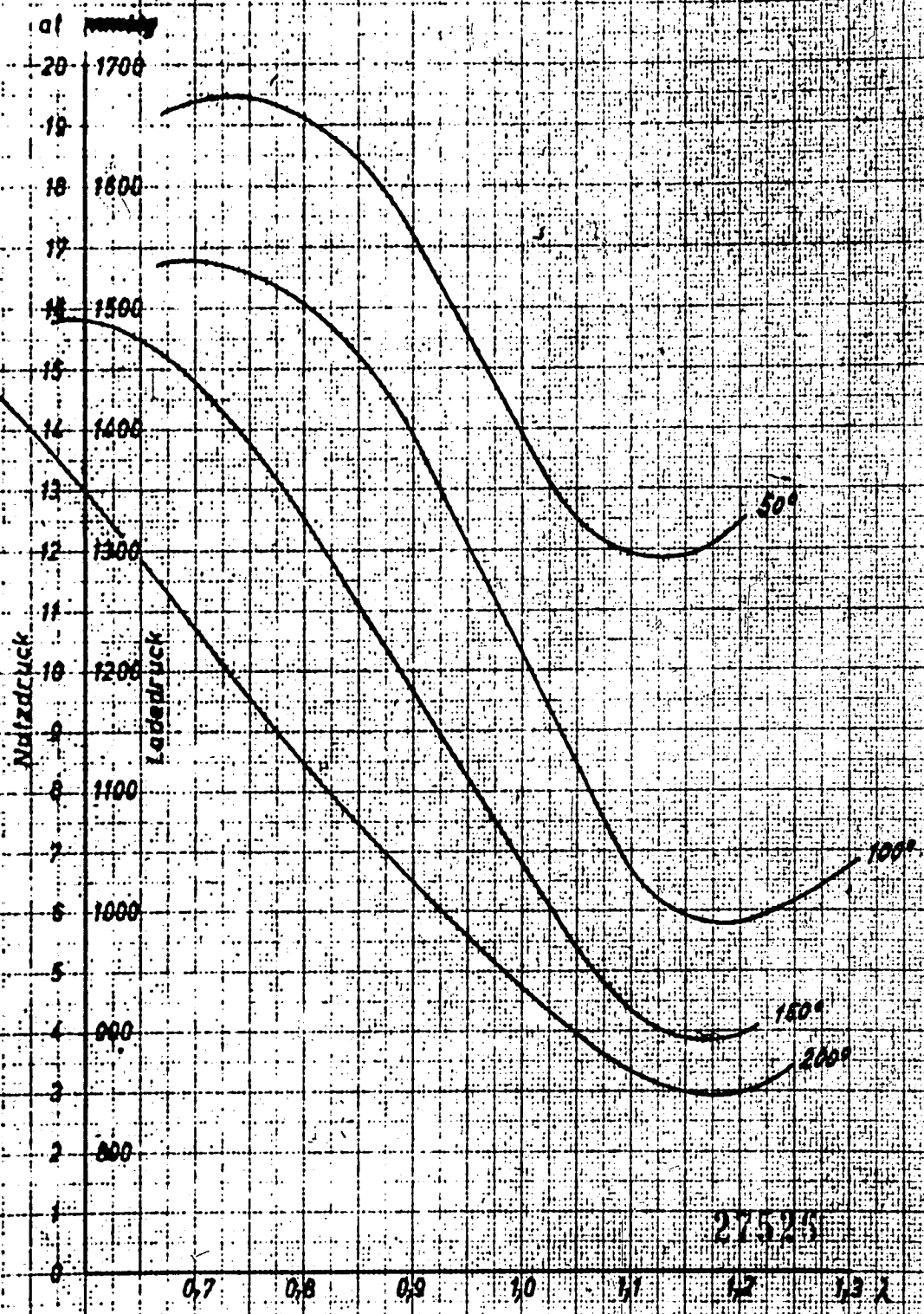
Ladelufttemperatur — °C

Motortyp: BMW 138

Motor Nr.: 5

Bau: Dp. 290

Probe: 60 vol % VT 705 + 40 vol % CV 2 b. Rometan + 0,12 vol % B. T. 2. Vers. Nr.



Klopfgrenzkurven

Verdichtungsverhältnis 1:8

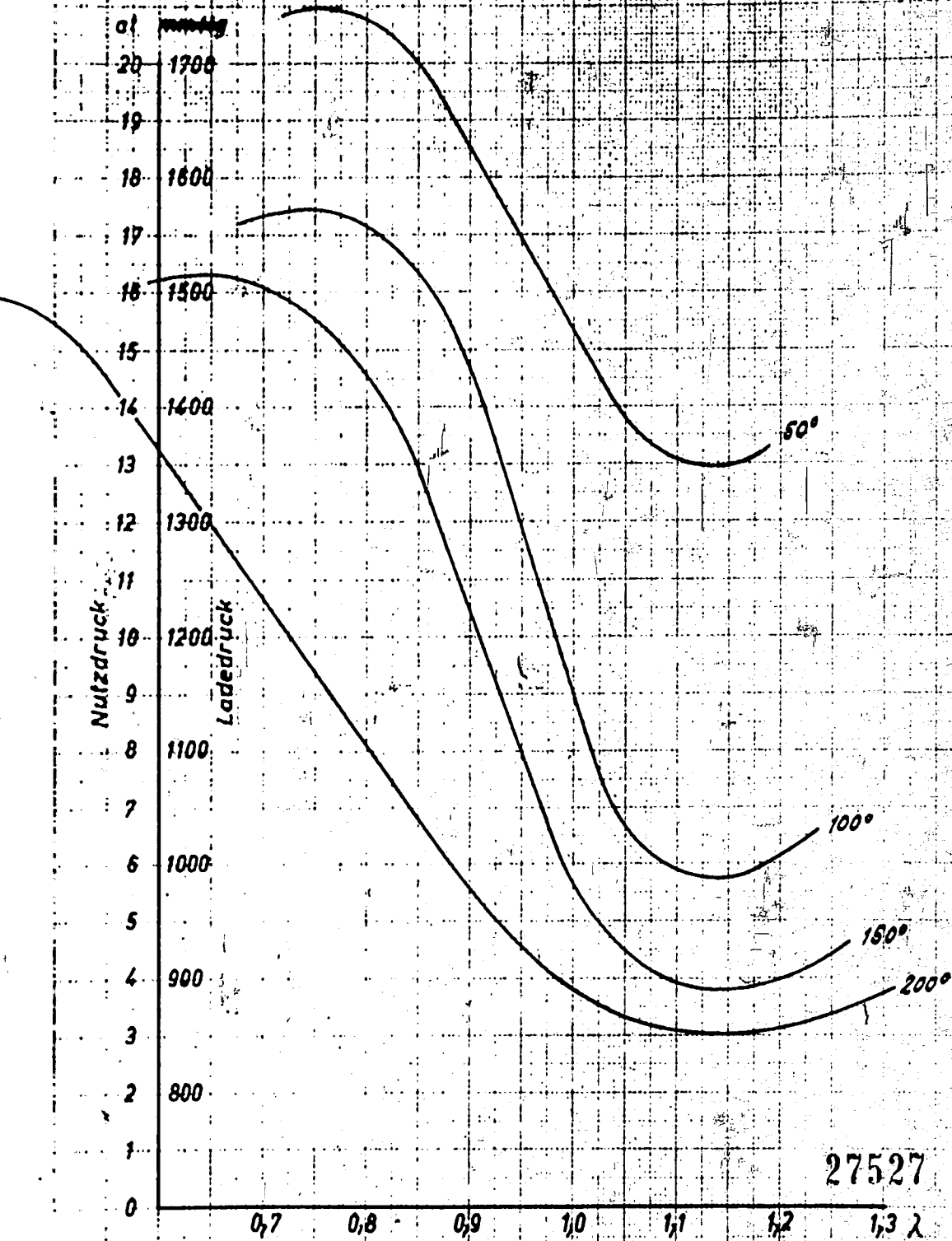
Ladelufttemperatur — °C

Motor typ: BMW 132

Motor Nr.: 5

Wahl: 00.290

Probe: 60 vol % VT 705 + 40 vol % CV 12 A Normale + 016 vol % B.T.A. Vers. Nr.



27527

Kloppfrozkufigen

Verdichtungsverhältnis 1:2

Ladungstemperatur — °C

Motor Typ 112/115

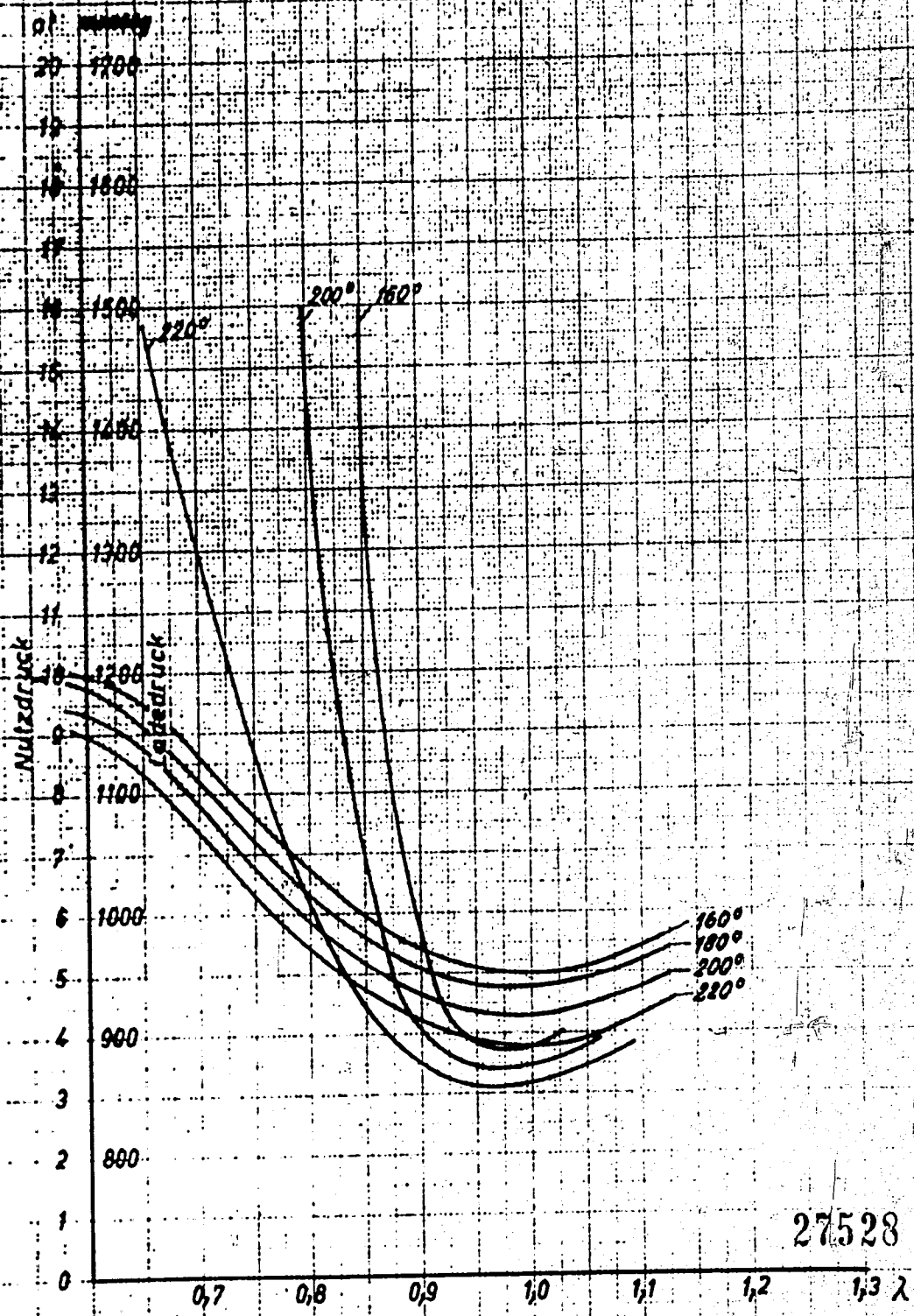
Motor Nr. 3

Bau-Op. 280

Probeflug (unverfäil.)
 11100 (" ")
 " " " "

Vers. Nr.

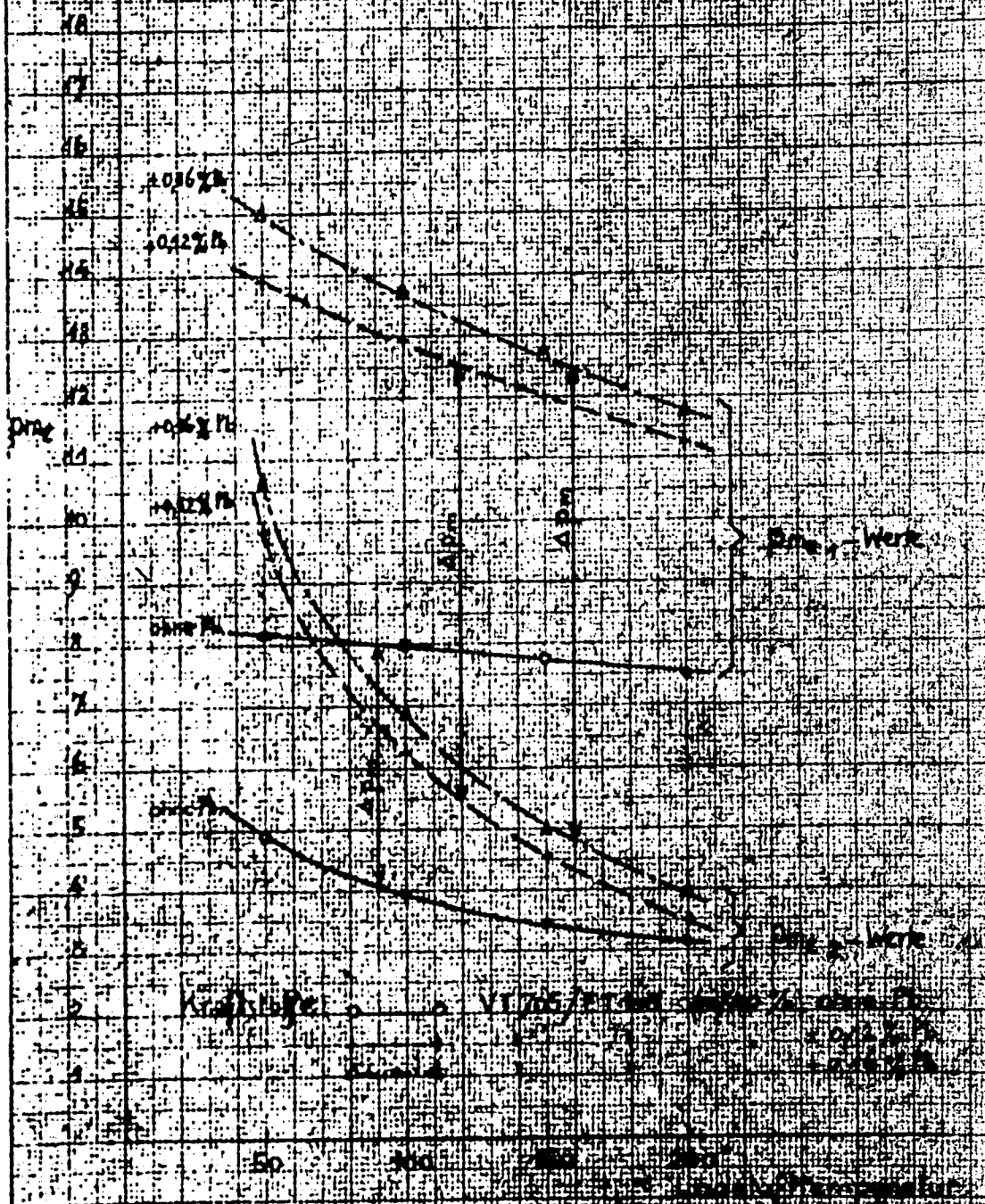
11
 11
 11



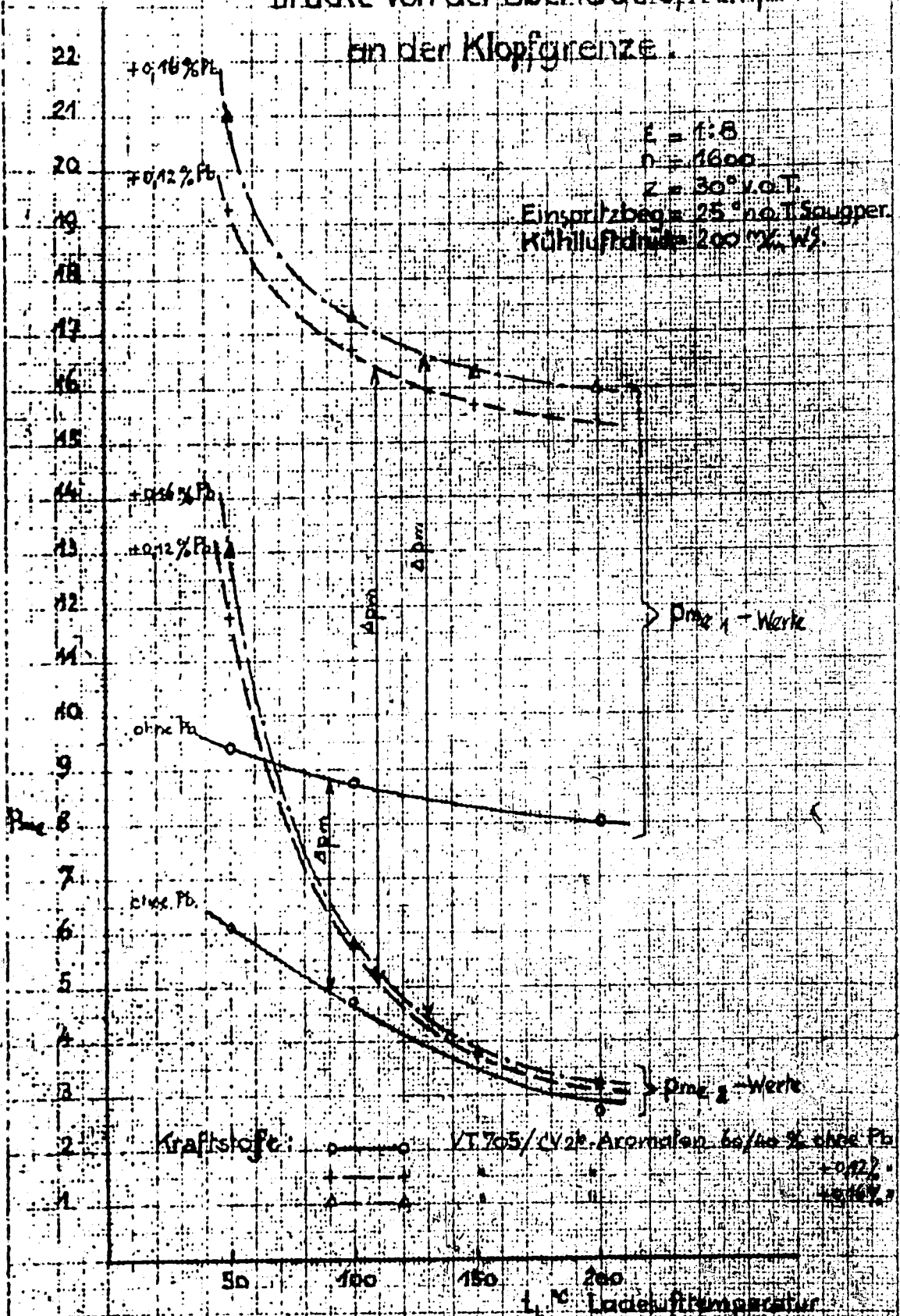
27528

Abhängigkeit der max. u. min. Arbeits- drücke von der Überladelufttemp. an der Klopfgrenze.

$\epsilon = 1,8$
 $n = 1600$
 $Z = 30 \times 40$
Einsatzöl: Shell 25° n. n. l. Sauger
Klopftrommel: 200 g / cm²



Abhängigkeit der max. u. min. Arbeits- Drücke von der Überladelufttemp. an der Klopfgrenze.



27539

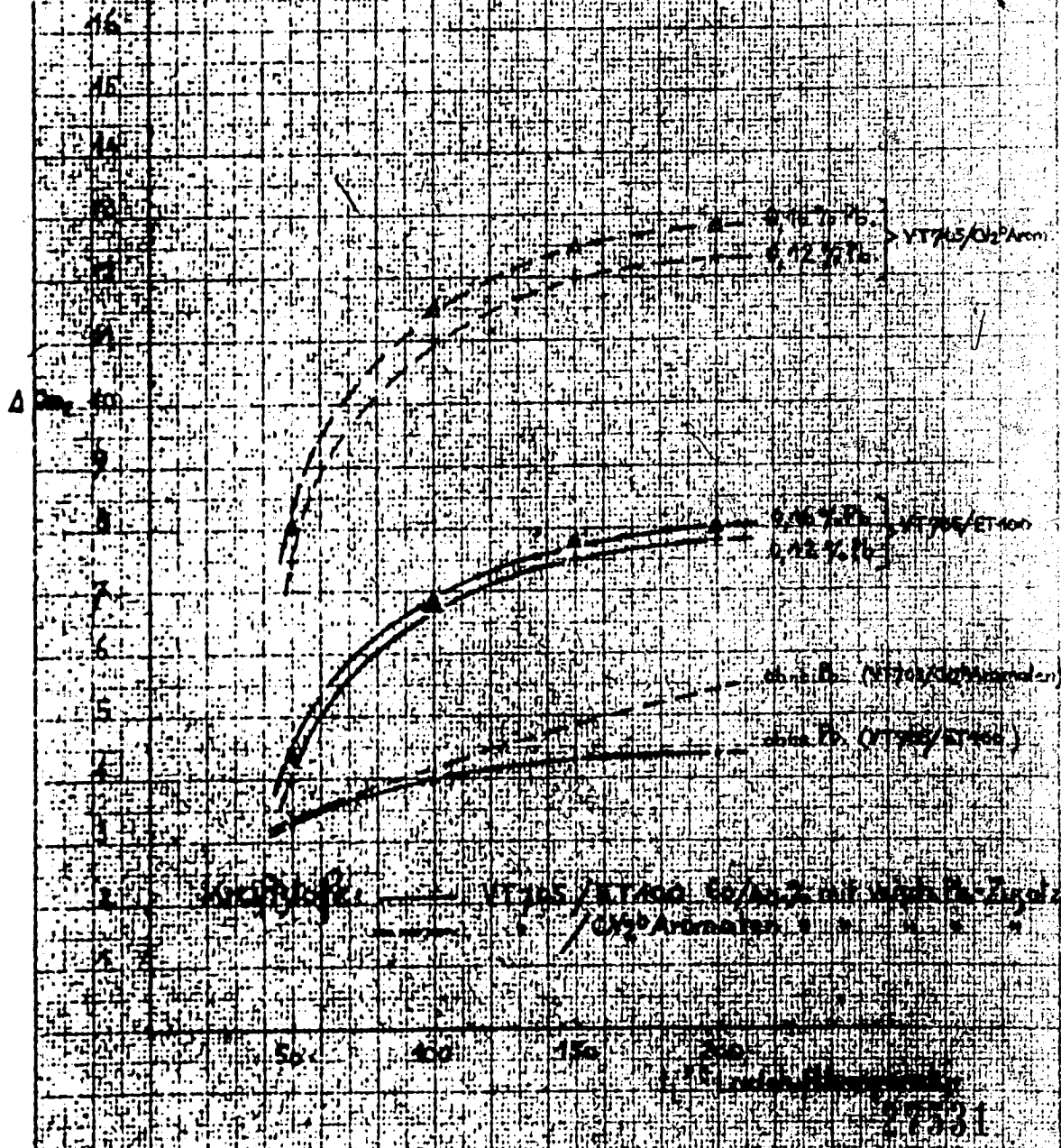
Abhängigkeit des Δp_{H_2} -Druckes von der Überladelufttemp. an der Klopfgrenze.

$\delta = 1:8$

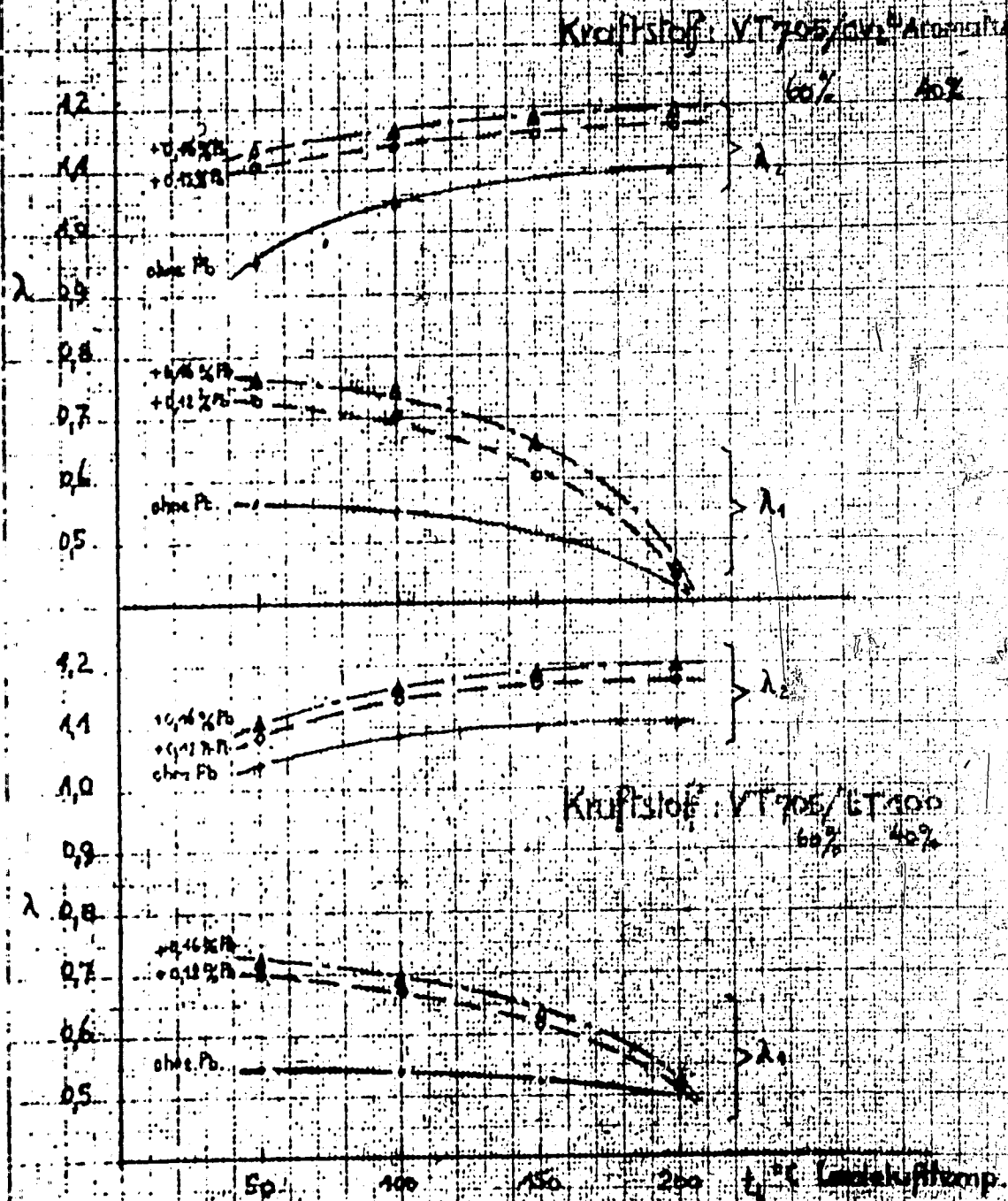
$n = 1600$

$\lambda = 50 \text{ v. O.T.}$

Einströmtemp. $25^\circ \text{ v. O.T. (Seitig.)}$
Kühlluftdruck 200 mm WS.



Abhängigkeit der Luftüberschneppzahl
(an den max. u. min. Arbeitsdrücken) von
der Überlandlufttemperatur an der
Klopfgrenze.

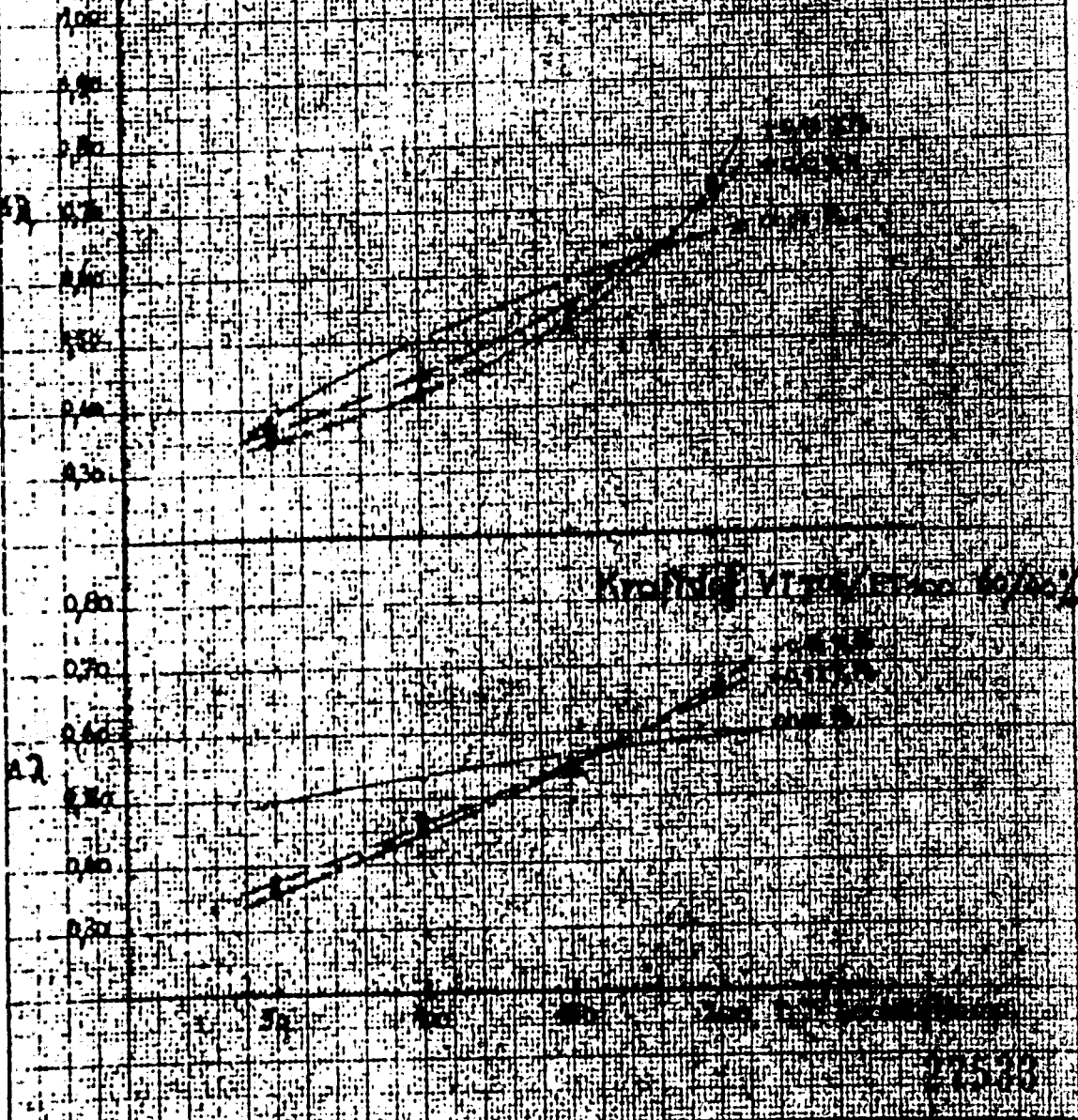


27532

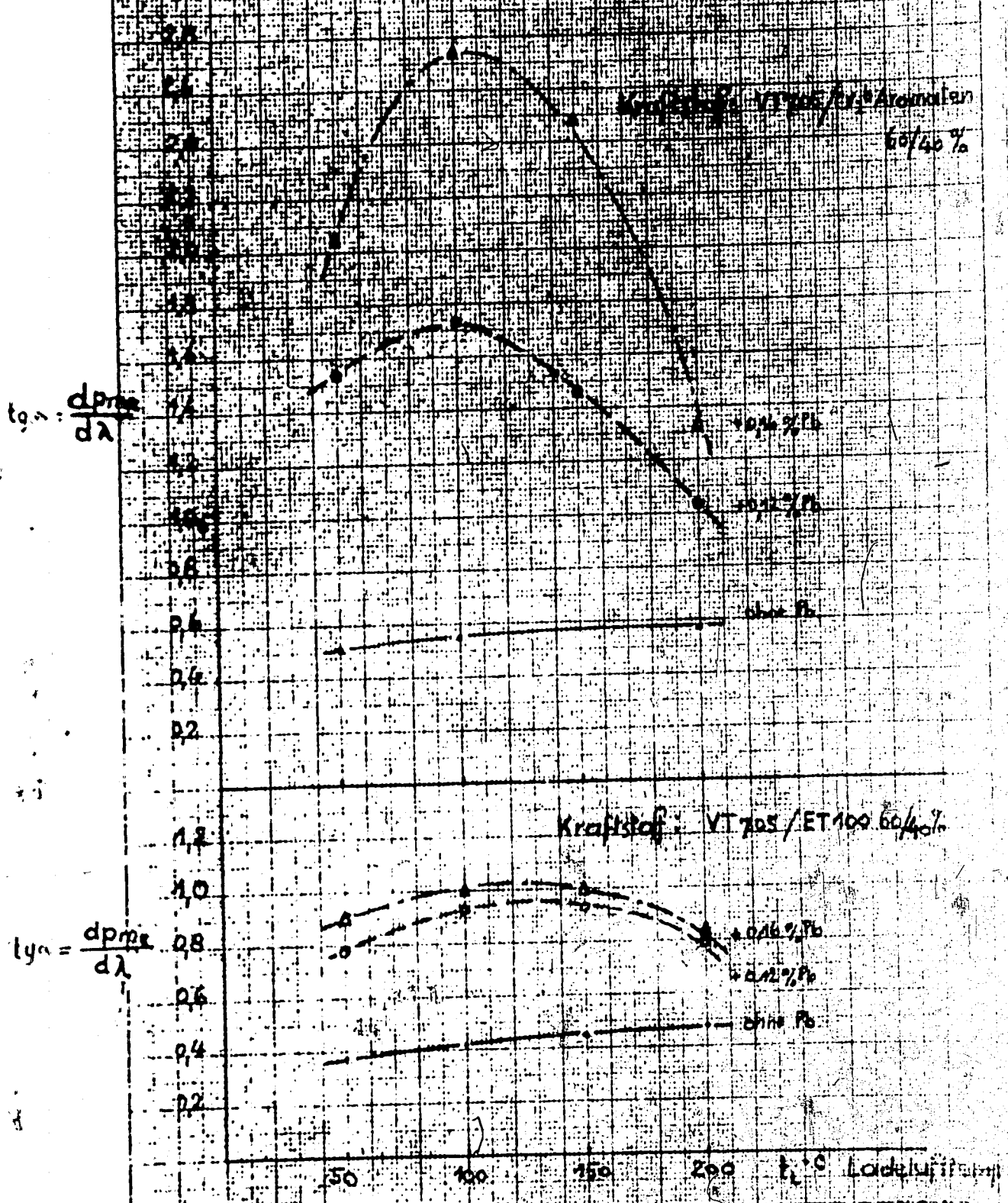
Abhängigkeit der $\Delta\lambda$ -Luftüberschubzahl von der Oberflächentemperatur an der Klopfgrenze

Kunststoff VT 205 (ca. 20% Aromaten)
6% 40%

Kunststoff VT 205 (ca. 20% Aromaten)
6% 40%



Abhängigkeit der $\tan \delta$ -Werte von der Lastlufttemperatur an der Elektrode

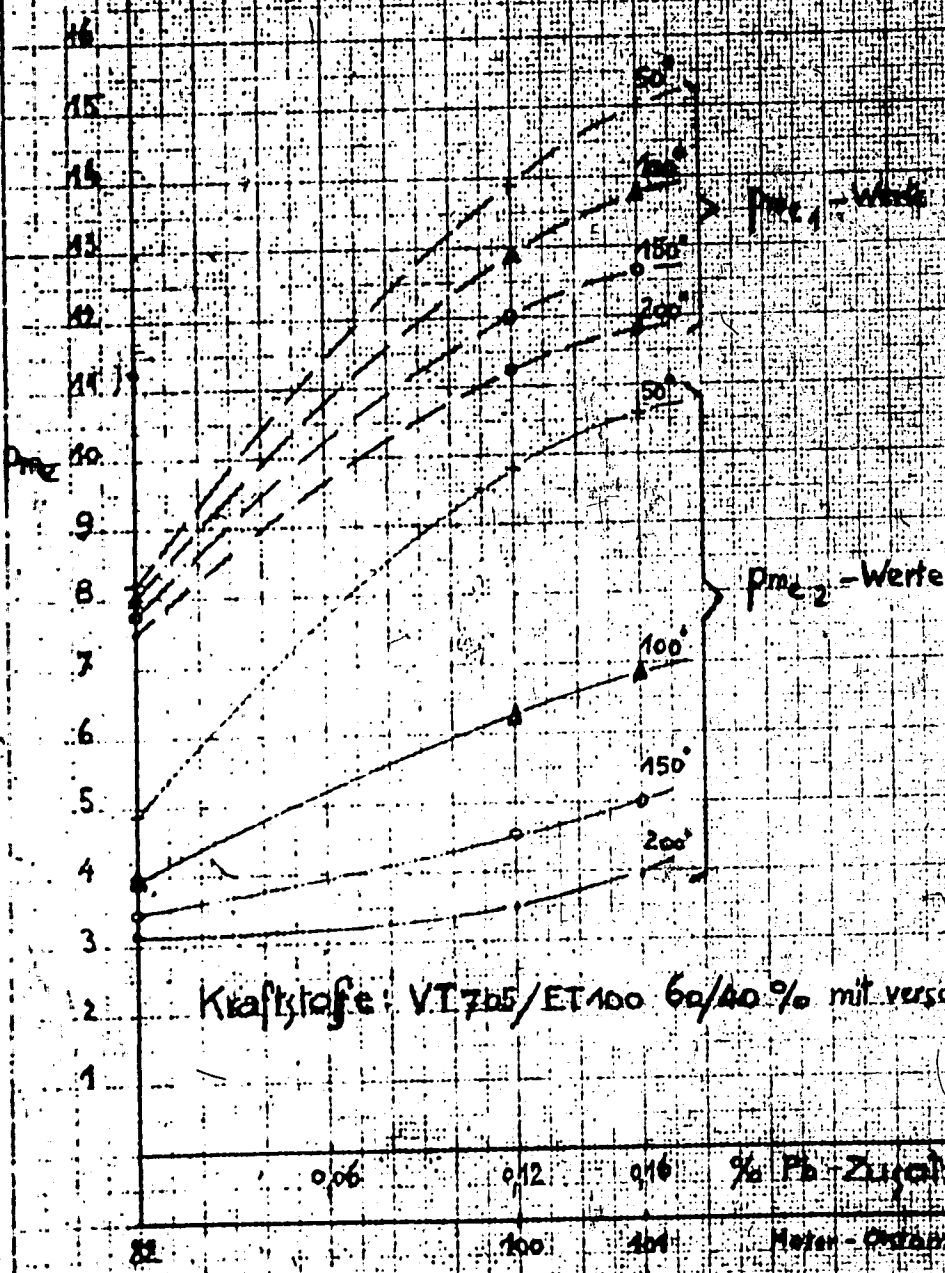


27534

Abhängigkeit der max. um Arbeit Drücke vom Pb-Zusatz an der Klopfgrenze

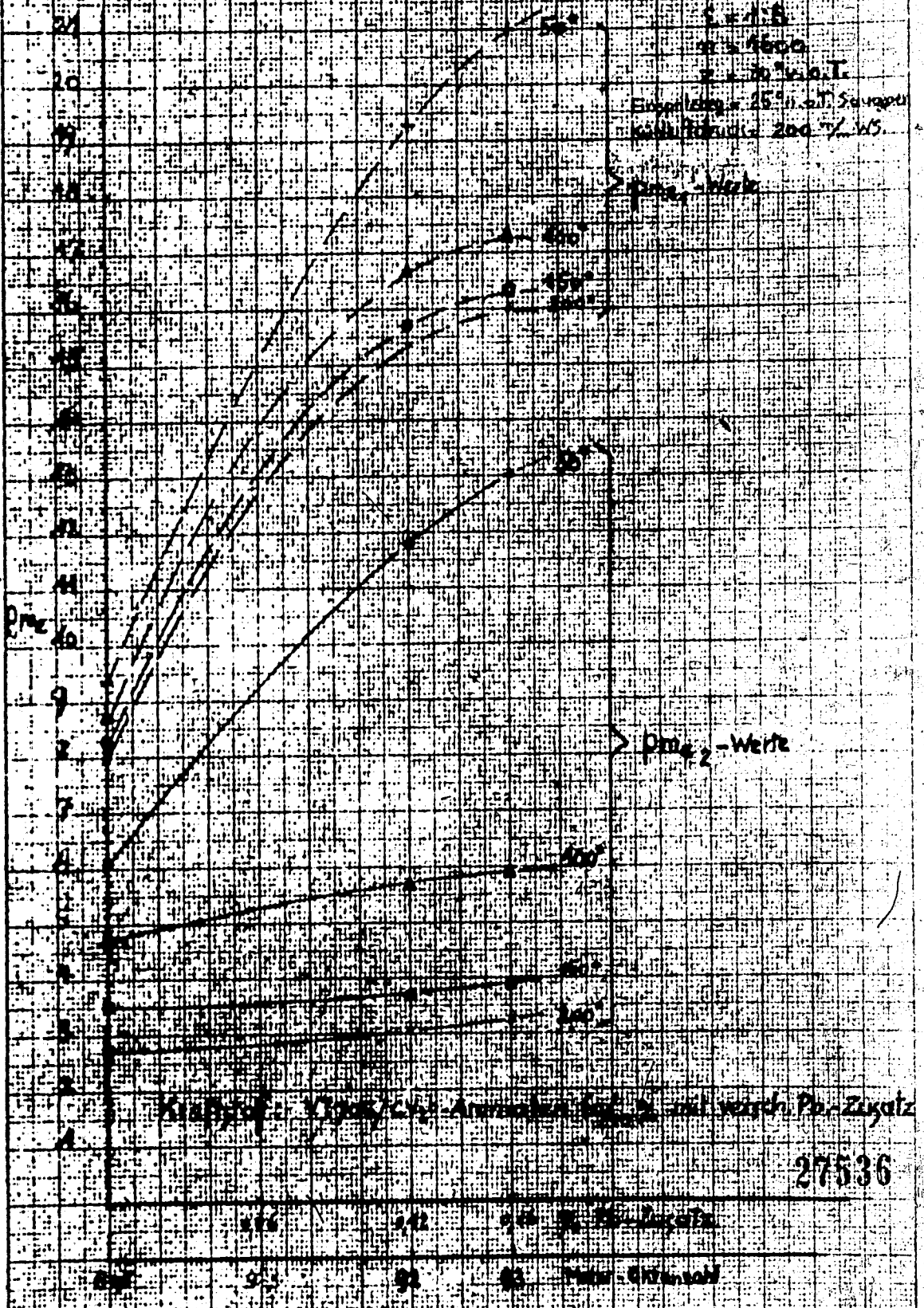
$L = 100$
 $\lambda = 0,001$
 $\sigma_{\text{max}} = 100$

Ergebnisse der Versuche an
Klopfgrenze

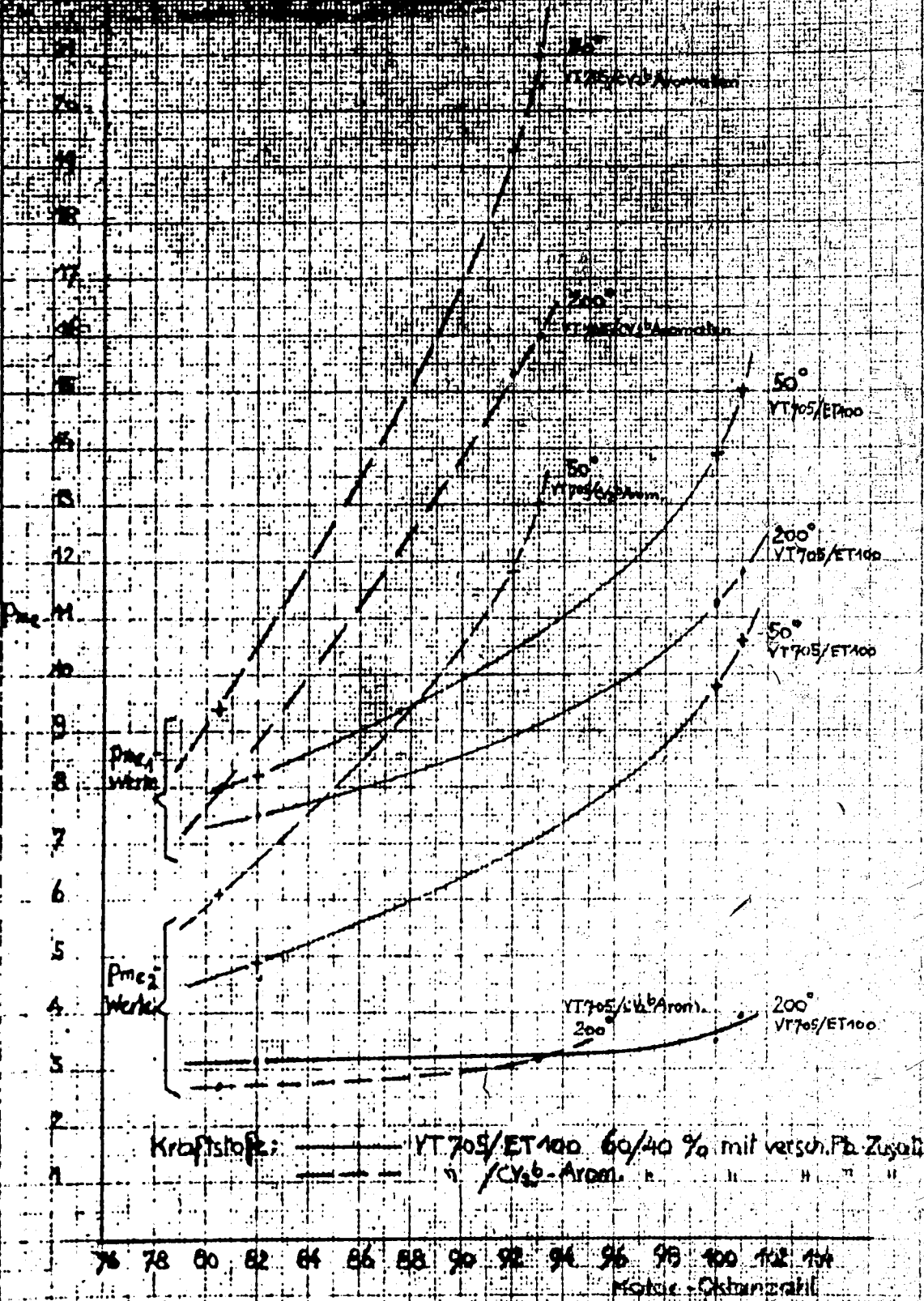


27535

Abhängigkeit der max. u. min. Arbeits- Drücke vom Pb.-Zusatz an der Kippgrenze



Abhängigkeit der max. u. min. Arbeits- drücke von der Motoroktanzahl an der Klopfgrenze.



27537

Fig. 1

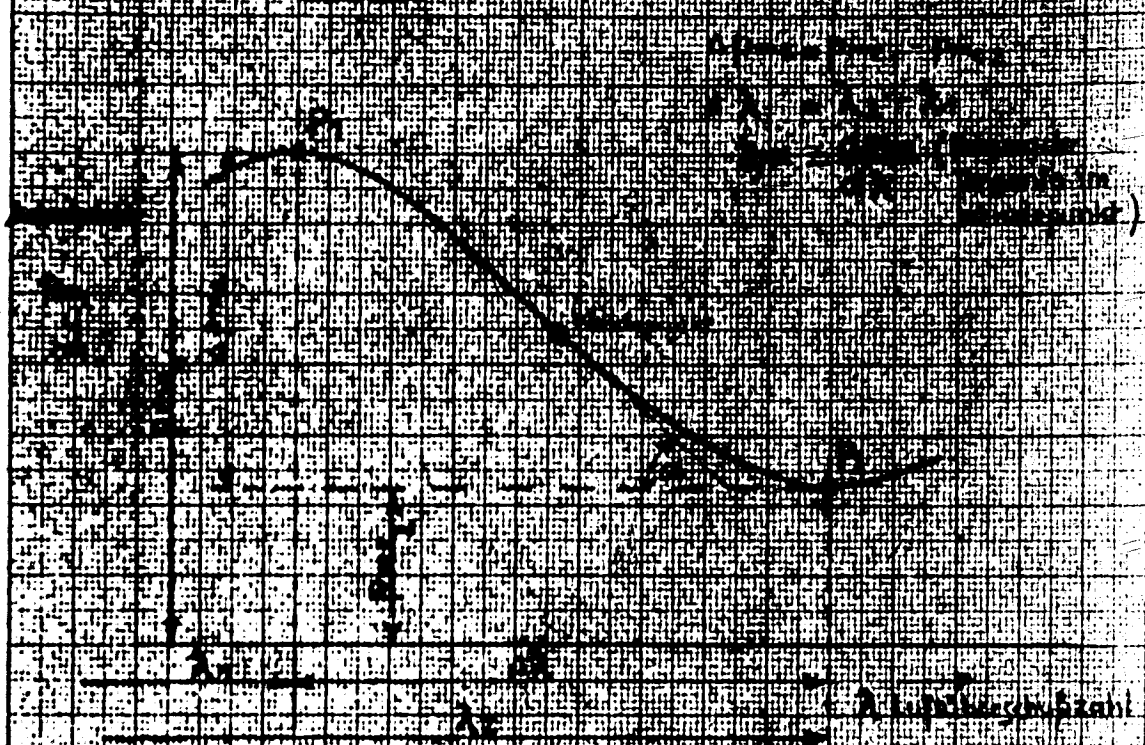
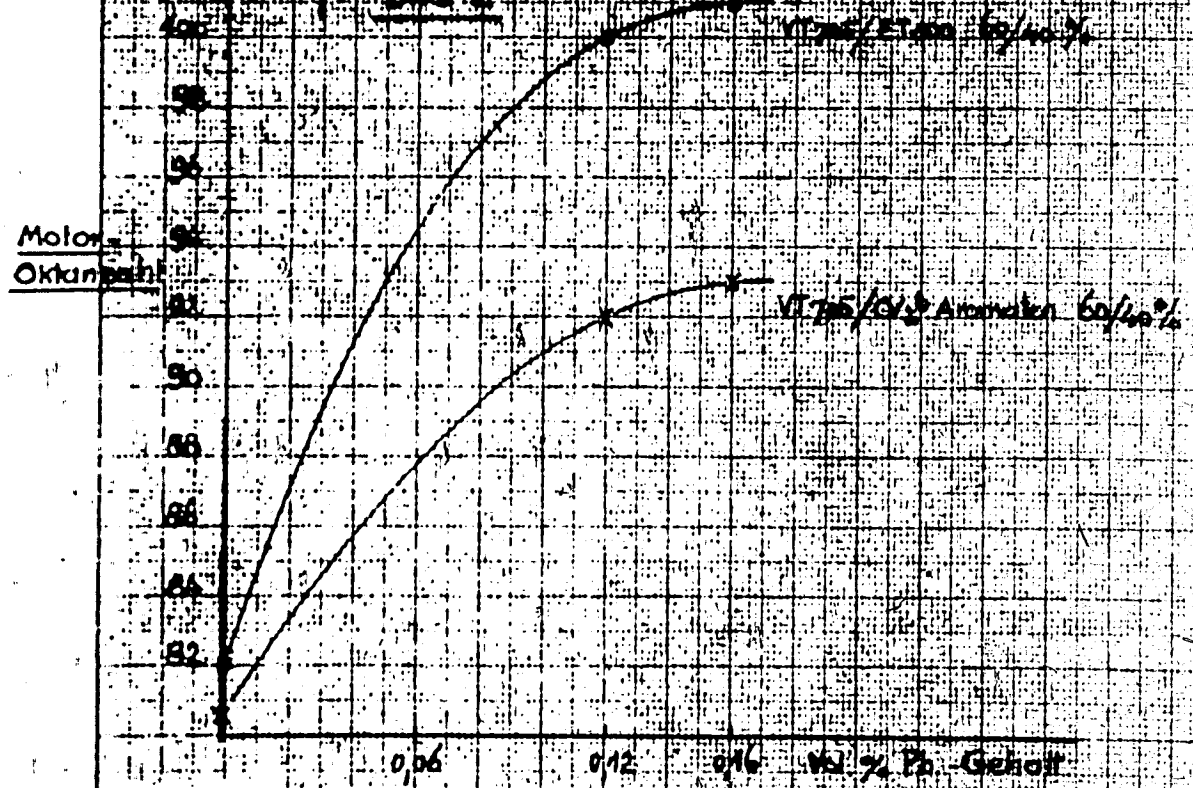


Fig. 2



27538

Centistokes

Viskosität von Kraftstoffen

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

-60

170

160

150

140

130

120

110

100

90

80

70

60

50

40

30

20

10

0

-10

-20

-30

-40

-50

Chemische Untersuchung

Nach dem 2. Versuchungsversuch
 am 12. April 1942
 in der Fabrik
 Chemische Abteilung
 Chemische Abteilung
 Chemische Abteilung

Proben-Nr.	Proben-Nr.	Proben-Nr.	Proben-Nr.	Proben-Nr.
10.001	10.002	10.003	10.004	10.005
10.006	10.007	10.008	10.009	10.010
10.011	10.012	10.013	10.014	10.015
10.016	10.017	10.018	10.019	10.020
10.021	10.022	10.023	10.024	10.025
10.026	10.027	10.028	10.029	10.030
10.031	10.032	10.033	10.034	10.035
10.036	10.037	10.038	10.039	10.040
10.041	10.042	10.043	10.044	10.045
10.046	10.047	10.048	10.049	10.050
10.051	10.052	10.053	10.054	10.055
10.056	10.057	10.058	10.059	10.060
10.061	10.062	10.063	10.064	10.065
10.066	10.067	10.068	10.069	10.070
10.071	10.072	10.073	10.074	10.075
10.076	10.077	10.078	10.079	10.080
10.081	10.082	10.083	10.084	10.085
10.086	10.087	10.088	10.089	10.090
10.091	10.092	10.093	10.094	10.095
10.096	10.097	10.098	10.099	10.100

