

Deutsche Kraftfahrtforschung

Im Auftrage des

Reichs- und Preussischen Verkehrsministeriums

TECHNISCHER FORSCHUNGSBERICHT

Zwischenbericht Nr. 14

über

Versuche mit Methanolzusatz zu Brennstoffen für Vergasermotoren

Bearbeiter: Dr.-Ing. W. Ritzmann
Dr.-Ing. W. Zarnack

Verfaßt bei der
Versuchsanstalt für Verbrennungsmaschinen an der
Technischen Hochschule Berlin

Zur Beachtung!

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstgebrauch des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb des Dienstgebrauchs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anregungen für ihre Arbeiten zu schließen vermögen. Verwendung zu Veröffentlichungen (ganz oder teilweise) sowie Weiterleitung an Persönlichkeiten außerhalb des Dienstgebrauchs des Empfängers ist ausgeschlossen. Der Bericht ist unter Verschluss zu halten.

004016

Nur zum Dienstgebrauch im Ge-
schäftsbereich des Empfängers

Deutsche Kraftfahrtforschung

Im Auftrage des

Reichs- und Preußischen Verkehrsministeriums

TECHNISCHER FORSCHUNGSBERICHT

Zwischenbericht Nr. 14

Über

Versuche mit Methanolzusatz zu Brennstoffen für Vergasermotoren

Bearbeiter: Dr.-Ing. W. Rixmann
Dr.-Ing. W. Zarnack

Verfaßt bei der
Versuchsanstalt für Verbrennungsmaschinen an der
Technischen Hochschule Berlin

Zur Beachtung!

Dieser Bericht ist bestimmt für die Arbeiten im Dienstgebrauch des Empfängers. Der Bericht darf innerhalb des Dienstgebrauchs nur an Persönlichkeiten ausgehändigt werden, die aus dem Inhalt Anregungen für ihre Arbeiten zu schöpfen vermögen. Verwendung zu Veröffentlichungen (ganz oder teilweise) sowie Weiterleitung an Persönlichkeiten außerhalb des Dienstgebrauchs des Empfängers ist ausgeschlossen. Der Bericht ist unter Verschluss zu halten.

I. Teil

Prüfstand- und Fahrversuche1. Versuchsaufgabe

Das Versuchsprogramm war wie folgt festgelegt worden:

A. Auf dem Motoren-Prüfstand sollten 8 verschiedene Brennstoffe, die in einer von dem Auftraggeber bestimmten Zusammensetzung von der Reichskraftsprit G.m.b.H., Berlin, angeliefert wurden, in den gleichen Motor geprüft werden.

In der ersten Versuchsreihe wurden 3 Benzin-Spiritus-Gemische verglichen, für die folgende Zusammensetzungen angegeben wurden:

| | Benzin % | Benzol % | Spiritus % | Methanol % |
|--|-------------|-------------|---------------|---------------|
| Brennstoff 6 (Vergleichsbrennstoff) | 90 | - | 9 | 1 |
| Brennstoff 4 | 89 | - | 9 | 2 |
| Brennstoff 5 | 85 | 4 | 9 | 2 |

Der Methanolzusatz war demnach gering; bei Brennstoff 5 war ein geringer Benzolzusatz gegeben.

In der zweiten Versuchsreihe wurden Dreiergemische üblicher Zusammensetzung mit höheren Methanolzusätzen untersucht:

| | Benzin % | Benzol % | Spiritus % | Methanol % |
|--|-------------|-------------|---------------|---------------|
| Brennstoff 3 (Vergleichsbrennstoff) | 52 | 40 | 7,2 | 0,8 |
| Brennstoff 1 | 50 | 40 | 5 | 5 |
| Brennstoff 2 | 45 | 40 | 5 | 10 |

In der dritten Versuchsreihe wurden zwei Benzin-Benzol-Spiritus-Gemische mit mittlerem Methanolzusatz zu Brennstoff 3 in Vergleich gestellt. Die Zusammensetzung war wie folgt angegeben:

| | Benzin % | Benzol % | Spiritus % | Methanol % |
|--------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| Brennstoff 7 | 52,9 | 40 | 2,5 | 4,6 |
| Brennstoff 8 | 51,6 | 40 | 3,5 | 4,9 |

B. Für die Brennstoffe 1, 2 und 3, die die größten Unterschiede gegeneinander aufweisen mußten, wurde versucht, eine Bestätigung der Prüfstandergebnisse durch praktische Fahrversuche zu erzielen.

C. Die Versuche im Kältetunnel, die das Verhalten der Brennstoffe beim Anlassen unter 0°C klären sollten, werden in einem Nachtrag behandelt.

2. Meßmethode und Prüfstand

Für die Messungen auf dem Prüfstand wurde ein 1,7 Ltr.-Mikro-Motor mit folgenden Hauptabmessungen verwendet:

| | |
|------------------------|----------------|
| Zylinderzahl | 4 |
| Hub | 95 mm |
| Bohrung | 74,3 mm ϕ |
| Zylinderinhalt | 1,65 l |
| U/min | 3500 |
| Verdichtungsverhältnis | 5,6 |
| Ventilanordnung | stehend. |

Für Messung des Drehmomentes diente eine Pendeldynamo in Verbindung mit einer Meßdose.

Für Kontrolle des Wärmezustandes des Motors waren folgende Temperaturmessungen vorgesehen: Ansaugtemperatur vor Ventilkammer von Zylinder 1, Temperatur im Kühlwasserausstritt, Öltemperatur in der Ölwanne, Abgastemperatur hinter dem Auslaßventil von Zylinder 1; ferner wurde der Öldruck abgelesen.

Für besseren Vergleichsmöglichkeit der Ansaug- und Abgastemperaturen wurde bei allen Versuchen die Kühlwasserausstrittstemperatur auf 70°C und die Öltemperatur durch Wasserkühlung der Ölwanne auf 80°C konstant gehalten.

Die Brennstoffmessung erfolgte nach der üblichen volumetrischen Methode mittels geeicher Burette, wobei die Zeit für den Verbrauch von 100 cm^3 Brennstoff gestoppt wurde. Die Temperaturabhängigkeit des spezifischen Gewichtes der Brennstoffe wurde durch Umrechnung mit dem Korrekturfaktor 0,0006 für Benzinge-mische und 0,0007 g/cm^3 für Bensin-Benzol-Gemische berücksichtigt.

Um bei den Vergleichsmessungen zu einwandfreien Resultaten zu kommen, war es notwendig, die Messungen mit den einzelnen Brennstoffen unmittelbar hintereinander zu machen. Drei Brennstoffbehälter mit entsprechenden Umschaltklappen gestatteten sofortiges Umschalten von dem einen auf den anderen Brennstoff (Abb. 1). Für jeden Belastungszustand des Motors wurden dementsprechend unmittelbar hintereinander je 3 Messungen mit den verschiedenen Brennstoffen der Versuchsreihe durchgeführt. Die Brennstoffleitungen waren mit Gefälle möglichst kurz zum Vergaser verlegt. Nach Beendigung einer Messung wurde die Schwimmerkammer des Vergasers leergefahren. Der Schwung von Motor und Dynamo genügte, um die Maschine nach Umschalten auf den neuen Brennstoff sofort unter Belastung weiterlaufen zu lassen.

Die gemessenen Leistungen wurden alle auf 760 mm Hg und 10°C umgerechnet. Trotzdem ergaben sich zwischen den Ergebnissen der einzelnen Versuchstage noch Schwankungen bis zu 2,5 % in der Leistung, die im Zustand des Motors begründet liegen. Für

Die Vergleichsmessung wurde daher an jedem Versuchstage die Bezugskurve mit dem jeweiligen Vergleichsbrennstoff neu ermittelt. Man kann also die Kurven jeder Abbildung (Abb. 2, 3 und 4) immer nur mit der eingezeichneten zugehörigen Bezugskurve vergleichen, nicht aber Kurven in verschiedenen Abbildungen untereinander.

Die Einstellung wurde für jeden Punkt von Hand auf den Bestwert eingestellt. Der Regler des Verteilers war blockiert. Für alle Versuche erwies sich die Bosch-Kerze Typ M 175/1 als ausreichend.

Für die Fahrversuche stand ein 1,7 Ltr.-Adler-Trumpf-Wagen zur Verfügung. Die Motorabmessungen sind die gleichen wie die des Profstanmotors. Als Meßstrecke diente die Avus.

Bei den Fahrversuchen wurden folgende Werte gemessen:

1. Der Verbrauch bei einer Geschwindigkeit von 50, 60, 70 und 80 km/h. Zur Messung wurde ein Anal-Durchflußgerät verwendet, mit dem der jeweilige Augenblickswert an der stets gleichen Stelle der Avus ermittelt wurde. Die Ergebnisse wurden noch durch eine Volummessung kontrolliert, wobei ein 1 Ltr.-Zenith-Meßgerät Verwendung fand;
2. Die Höchstgeschwindigkeit. Diese wurde in der bekannten Weise auf Hin- und Rückfahrt an der gleichen ebenen Stelle gestoppt;
3. Die Beschleunigung im direkten Gang. Hierzu diente ein "5. Kad" in Verbindung mit elektrischer Zeit-Weg-Markierung.

3. Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Leistungs- und Verbrauchsmessungen am Profstan sind in den Abbildungen 2, 3 und 4 dargestellt. Durch eingehende Vorrversuche war für alle Brennstoffe die günstigste Einstellung des Motors für sparsamen Verbrauch (wirtschaftliche Leistung) und für beste Leistung ermittelt worden. Hierbei hatte sich schon ein für die Praxis wichtiges Ergebnis gezeigt, daß für die untersuchten Brennstoffe der gleichen Gruppe auch gleiche Vergasereinstellung am günstigsten war.

Abb. 2 läßt erkennen, daß die Brennstoffe 4, 5 und 6 praktisch vollkommen gleiche Leistung ergeben, wenn der Motor auf beste Leistung einreguliert ist. Auch bei sparsamer Regulierung zeigen sich bei gleicher Vergasereinstellung praktisch gleiche Leistungen, wenn auch die Meßpunkte im oberen Drehzahlbereich über 2000 U/min für Brennstoff 4 und 5 eine ganz geringe Minderleistung gegenüber dem Vergleichsbrennstoff 6 erkennen lassen. In den Verten für den spezifischen Brennstoffverbrauch weisen beide Regulierungen dasselbe Verhalten auf, daß nämlich im mittleren Drehzahlbereich der höhere Methanolsatz einen geringen Mehrverbrauch ergibt.

Abb. 3 zeigt die Leistungs- und Verbrauchskurven für Brennstoff 1, 2 und 3. Der Vergleichsbrennstoff 3 liegt hier bei der sparsamen Regulierung in der Leistung klar über 1

00432.
4
und 2. Umgekehrt ist der spezifische Verbrauch bei 3 am niedrigsten. Durch etwas reichere Vergasereinstellung kann der Leistungsunterschied von Brennstoff 1 und 2 gegenüber 3 natürlich ausgeglichen werden. Die absolut sparsamste Regulierung ist aber für 1 und 2 die gleiche wie für 3. Die Regulierungsversuche haben ergeben, daß sich bei zunehmender Anreicherung des Brennstoff-Luft-Gemisches mit Brennstoff die Leistungskurven immer mehr einander nähern; bei Erreichung der besten Leistung läßt sich ein Unterschied in den 3 Brennstoffen zugunsten von Brennstoff 3 überhaupt nicht mehr nachweisen.

Bemerkenswert war in dieser Versuchsreihe das Verhalten der Ansaugtemperatur. Mit zunehmendem Methanolgehalt war einwandfrei ein Absinken der Ansaugtemperatur festzustellen (Abb. 5 und 6). Aus der durch die niedrige Ansaugtemperatur bedingten besseren Füllung der Maschine erklärt sich auch zum Teil, daß trotz des geringeren Energiegehaltes der an Methanol reicheren Brennstoffe praktisch die gleiche Höchstleistung erreicht wird wie mit dem Vergleichsbrennstoff. Bei sparsamer Regulierung dagegen ergibt trotz der niedrigeren Ansaugtemperatur der geringere Energiegehalt der Brennstoffe 1 und 2 den schon gekennzeichneten Leistungsabfall.

Beachtenswert ist ferner das Verhalten der Abgastemperatur, die bei Regulierung auf beste Leistung für Brennstoff 2 um 25 - 30 °C höher liegt als für Brennstoff 3, während sich bei sparsamer Regulierung, entsprechend der geringeren Leistung für Brennstoff 2, etwas niedrigere Werte ergeben als für 3 (Abb. 5 u. 6).

Die Verbrauchskurven ergeben bei Einstellung auf beste Leistung für die Brennstoffe 1 und 2 keinen höheren Verbrauch als für den Vergleichsbrennstoff. Für sparsame Regulierung ergibt sich beim Vergleich von Brennstoff 2 und 3 im Gebiet über $n = 1800$ U/min ein fast gleichbleibender Unterschied im Verbrauch von 4 % zuungunsten des methanolhaltigen Brennstoffes 2. Der größte Leistungsabfall bei Brennstoff 2 gegenüber 3 beträgt bei $n = 3600$ U/min 4 %.

Abb. 4 zeigt das Ergebnis der Versuche mit mittelgroßer Methanol-Zumischung zu einem Bensen-Benzol-Spiritus-Gemisch. Die Leistungs- und Verbrauchskurven fallen in Abb. 4 praktisch für die 3 Brennstoffe zusammen.

Die oben besprochenen Versuche wurden sämtlich bei vollgeöffneter Drosselklappe vorgenommen. Das Verhalten bei Drossellast zeigen die Abb. 7 und 8. Die Drosselkurven wurden bei $n = 1500$ und $n = 2000$ aufgenommen. Bei $n = 1500$ ließen sich keine nennenswerten Unterschiede feststellen. Die Abweichungen blieben innerhalb der Fehlergrenze des Meßverfahrens. Für $n = 2000$, entsprechend einer Fahrgeschwindigkeit von 50 km/h, sind die Unterschiede ebenfalls gering; sie sind in Abb. 7 und 8 dargestellt. Für Brennstoff 1 und 2, die bei sparsamer Regulierung und Vollast die größten Abweichungen von Vergleichsbrennstoff 3 zeigten, ist auch im Drosselbetrieb keine weitere Vergrößerung des Verbrauches festzustellen.

Fahrversuche

Vor Durchführung der Fahrversuche auf der Ayus wurde der Wagen zur Kontrolle auf den BV - Wagenprüfstand auf größte Wirt-

schaftlichkeit einreguliert. Als Bestwert für die Vergasereinstellung des Versuchswagens wurde für die Hauptdüse 115 - 53 ermittelt.

1. Verbrauchsprüfung

Durchset wurden mit den Brennstoffen 1, 2 und 3 bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten Verbrauchsmessungen mit einem Anal-Gerät durchgeführt, deren Ergebnis in der Tabelle 1 angegeben ist.

Tabelle 1

Verbrauch in Ltr./100 km

| Fahrgeschwindigkeit | 50 | 60 | 70 | 80 | km/h |
|---------------------|------|------|-------|-------|------------|
| Brennstoff 3 | 9,12 | 9,55 | 9,99 | 10,38 | Ltr./100km |
| " 1 | 9,20 | 9,56 | - | 10,57 | " / " |
| " 2 | 9,5 | 9,6 | 10,03 | 10,60 | " / " |

Gegenüber dem Vergleichsbrennstoff 3 ist der Mehrverbrauch von 1 und 2 wohl meßbar, aber geringfügig. Die Werte sind als Mittel aus einer größeren Zahl von Versuchsergebnissen gewonnen.

Zur Kontrolle wurde die Messung bei rd. 80 km/h Fahrgeschwindigkeit noch mit einem Zenith-Meßgerät wiederholt, wobei jeweils 1 Ltr. Brennstoff mit konstanter Geschwindigkeit ausgefahren wurde (Tabelle 2).

Tabelle 2

| Brennstoff | 3 | 1 | 2 |
|------------------------------------|------|------|------|
| Verbrauch Ltr./100 km | 9,44 | 9,64 | 9,68 |
| Durchschnitts-geschwindigkeit km/h | 83,6 | 83,3 | 83,5 |

Der gemessene Unterschied zwischen den 3 Brennstoffen stimmt in der Größenordnung mit den Ergebnissen der Tabelle 1 überein; der absolute Wert ist etwas niedriger, da mit dem Zenith-Gerät ein Durchschnittswert auf einer etwa 10 km langen Strecke der Avus gemessen wurde, während das Anal-Gerät einen Augenblickswert an einer bestimmten Stelle der Avus angibt.

2. Höchstgeschwindigkeit

Die gestoppte Höchstgeschwindigkeit ergab für Brennstoff 2 100,5 km/h, für Brennstoff 3 101,7 km/h. Dieses Ergebnis war auf Grund der früheren Versuche zu erwarten.

3. Beschleunigungsprüfung

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Beschleunigungsmessung wiedergegeben. Die Werte lassen eine Übereinstimmung mit den

Ergebnissen der Prüfstandmessung erkennen. Während der Brennstoff 1 mit 5 % Methanolzusatz gegenüber dem Vergleichsbrennstoff 3 nur kleinere Unterschiede in der Beschleunigungszeit zeigt, sind die Unterschiede von Brennstoff 2 mit 10 % Methanolzusatz gegenüber 3 schon größer.

Tabelle 3

Beschleunigungszeit

| Beschleunigung i. dir Gang | 20-40 km/h | 20-60 km/h | 20-80 km/h |
|----------------------------|------------|------------|------------|
| Brennstoff 3 | 8,0 Sek. | 16,19 Sek. | 27,41 Sek. |
| " 1 | 8,17 " | 16,22 " | 27,63 " |
| " 2 | 8,25 " | 16,18 " | 29,21 " |

Die Verhältnisse werden zum Vergleich noch geeigneter, wenn man aus der Beschleunigungszeit die Motorleistung errechnet, wozu noch das Gewicht des betriebsfertigen, mit 2 Personen belasteten Wagens zu 1189 kg ermittelt wurde. Tabelle 4 zeigt diese Werte.

Tabelle 4

Beschleunigungsleistung

| Mittl. Geschwindigkeit | 30 km/h | 50 km/h | 70 km/h |
|------------------------|---------|----------|----------|
| Brennstoff 3 | 9,35 PS | 15,25 PS | 15,56 PS |
| " 1 | 9,15 " | 15,5 " | 15,29 " |
| " 2 | 9,06 " | 14,8 " | 13,92 " |

Man sieht, daß bei 70 km/h Fahrgeschwindigkeit, entsprechend 2730 U/min des Motors, die Motorleistung für Brennstoff 2 um 1,64 PS tiefer liegt als für Brennstoff 3, während Brennstoff 1 nur 0,27 PS Minderleistung ergab.

Eine sehr unangenehme Nebenerscheinung zeigten die methanolhaltigen Brennstoffe durch ihre schädliche Wirkung auf den Lack der Karosserie. Abb. 9 zeigt, wie bei dem Adler-Trumpf-Versuchswagen durch versehentlich verspritzten Brennstoff der Lack zerstört wurde.

Zusammenfassung

Die Versuche haben gezeigt, daß ein geringer Methanolzusatz bis zu 2 % zu den untersuchten Benzin-Spiritus-Gemischen keinen für die Praxis wesentlichen Einfluß auf Leistung und Verbrauch des Motors hat. Bei Zusätzen von 5 bis 10 % zu den untersuchten Benzin-Benzol-Spiritus-Gemischen erreichen Leistungsabnahme und Mehrverbrauch deutlich meßbare Werte, wenn der Motor auf größte Wirtschaftlichkeit einreguliert wurde. Im Bereich der Regulierung auf beste Leistung waren auch bei 10 % Methanolzusatz keine Leistungs- und Verbrauchsunterschiede meßbar. Die Fahrversuche bestätigten die auf dem Prüfstand gewonnenen Erkenntnisse.

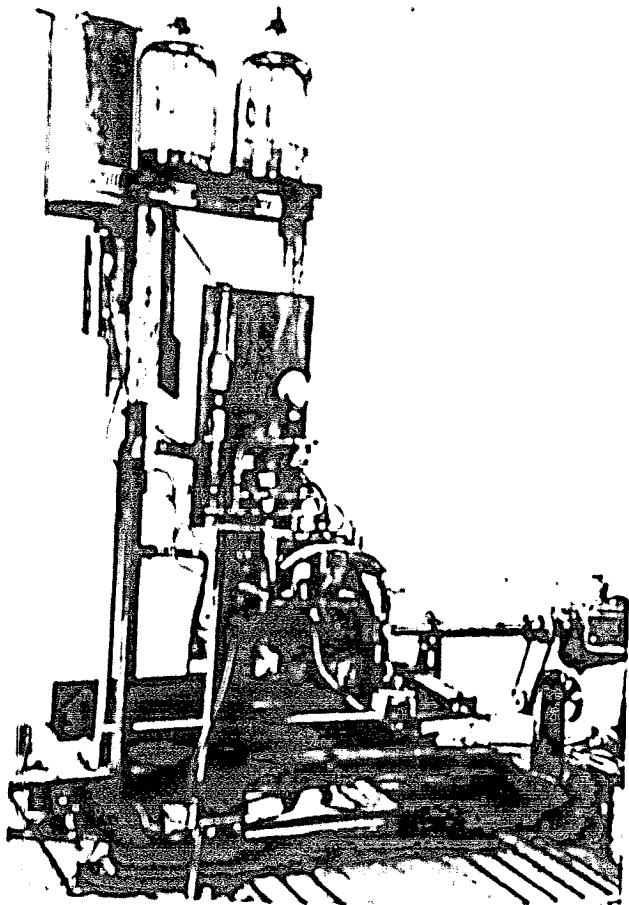
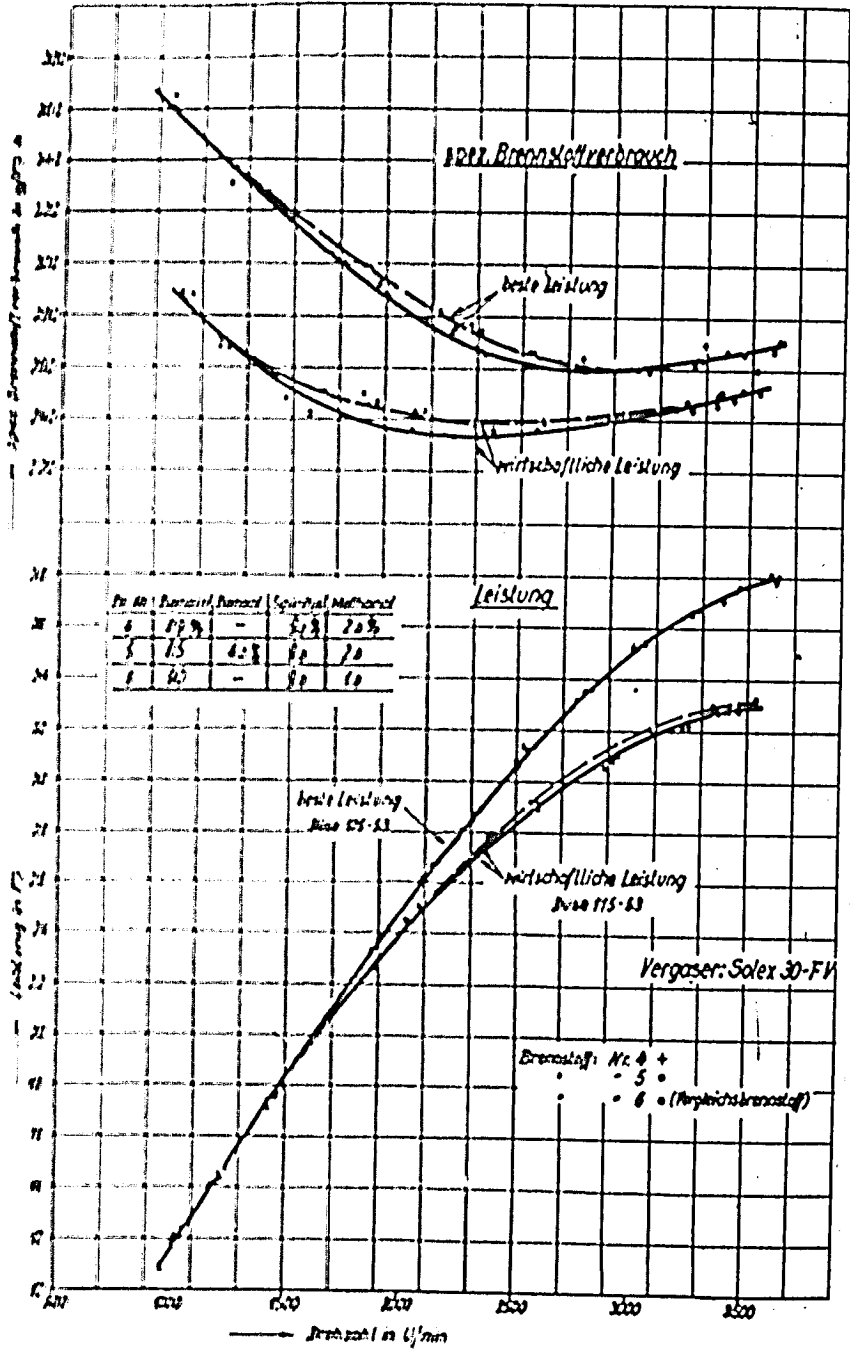


Abb. 1. Einrichtung des Prüfstandes und der Brennstoffgasanlage



Abd. 2 Leistung und spez. Brennstoffverbrauch des 4-Zyl.-171-Adler-Motors.
 Untersuchter Brennstoff: Nr. 4 Benzol-Spiritus-Gemisch mit geringem Melhonol-Zusatz
 Nr. 5
 Vergleichs-Brennstoff: Nr. 6

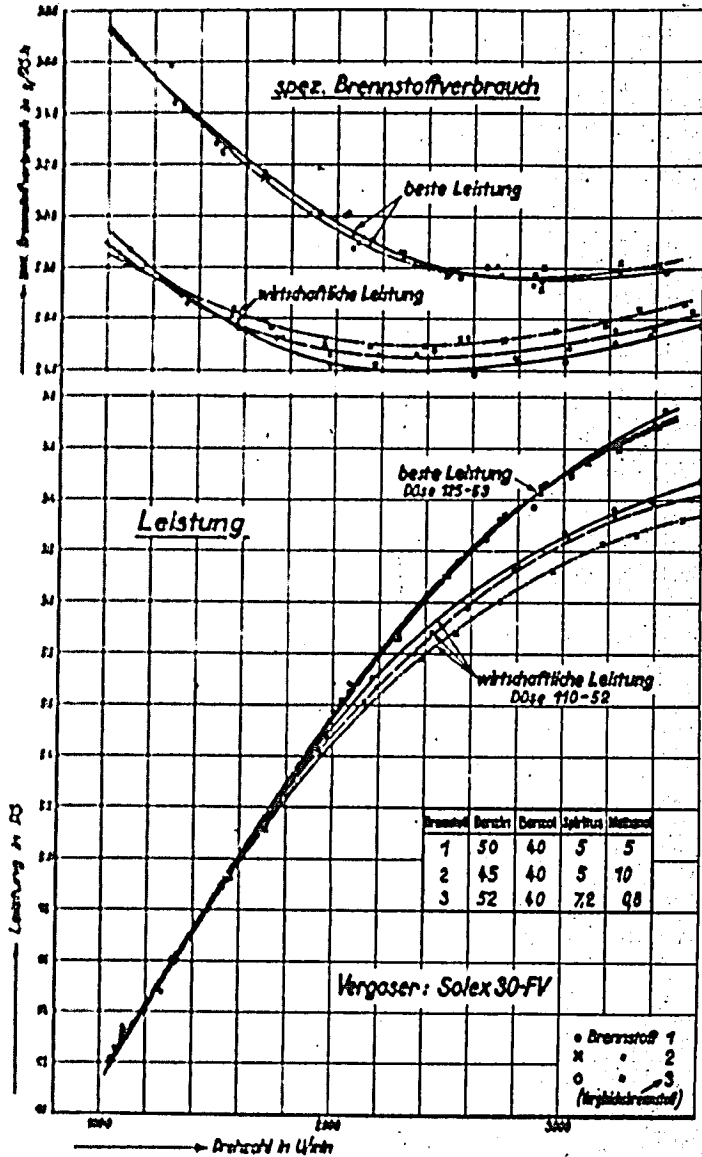


Abb. 3 Leistung und spez. Brennstoffverbrauch des 4 Zyl. 171 Adler-Motors

Untersuchter Brennstoff: 1 u. 2 • Benzol-Benzol-Spiritus-Gemisch mit höherem Methanol-Zusatz
Vergleichsbrennstoff: 3 • • • • • geringeren • • • • •

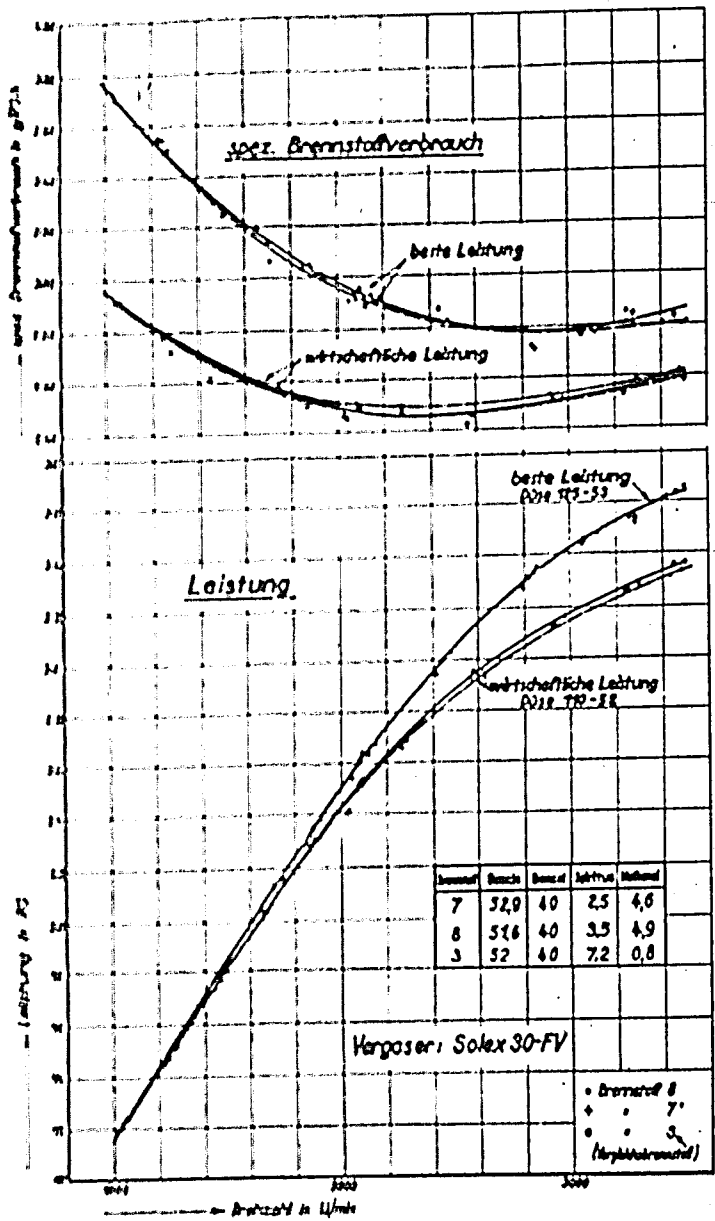


Abb. 4 Leistung und spez. Brennstoffverbrauch des 4-Zyl. 17-l Adler-Motors

Unterschiedl. Brennstoff: 7 u. 8 • Benetz-Benzol-Sphärus-Benetz mit höherem Methanol-Zusatz
Vergaser-Brennstoff: 3 • • • • • geringem • • •

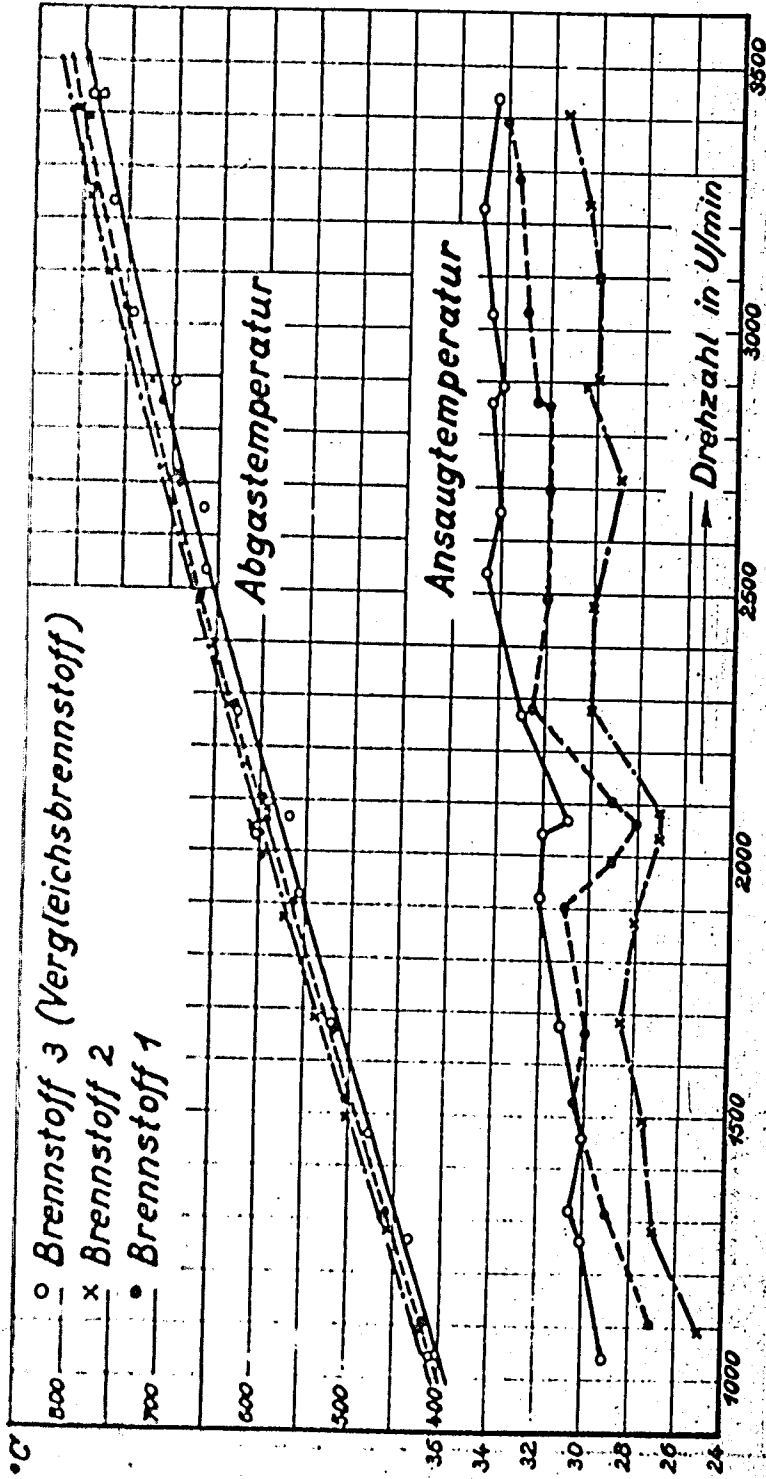


Abb. 5 Ansaug- und Abgastemperaturen für Brennstoff 1, 2 und 3 bei Vollast und bester Leistung. (Adler 171-Motor)

007027

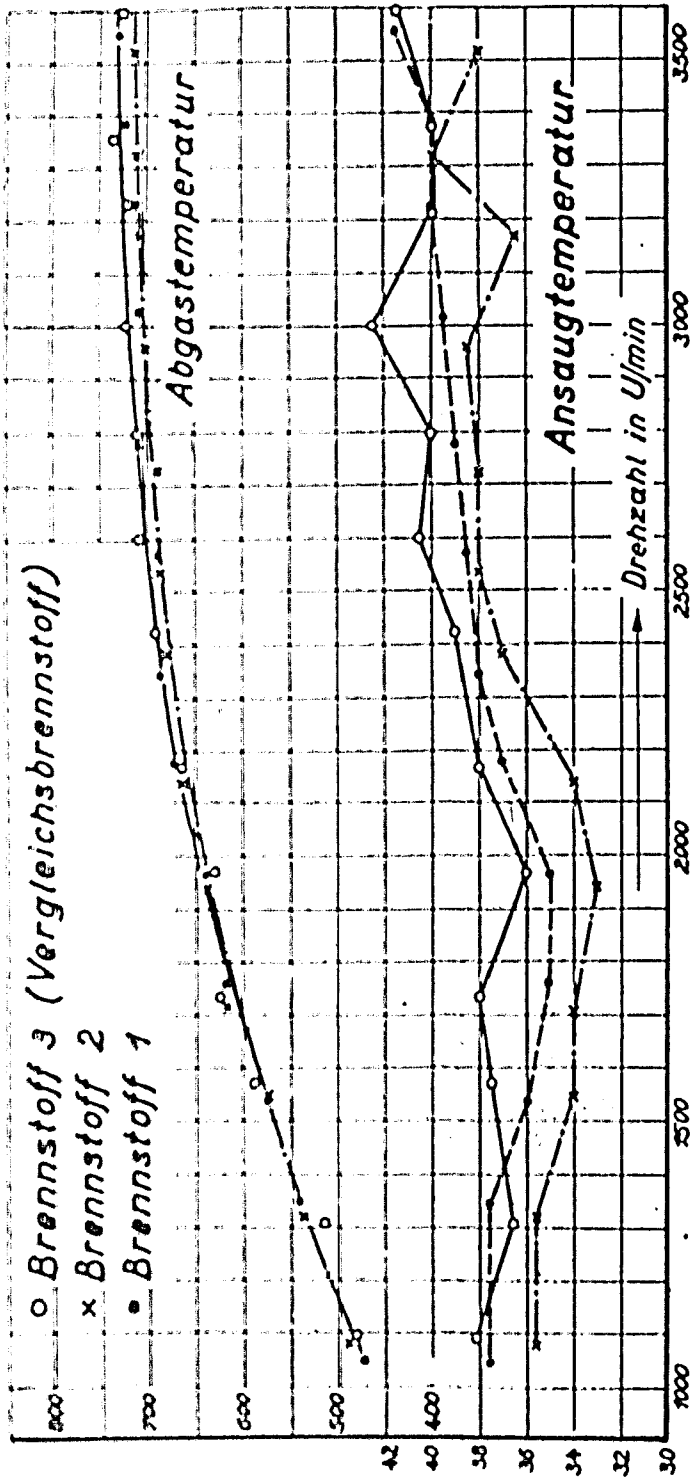


Abb. 6 Ansaug- und Abgastemperaturen für Brennstoff 1, 2 und 3 bei Vollast und wirtschaftlicher Einstellung (Adler 171 - Motor)

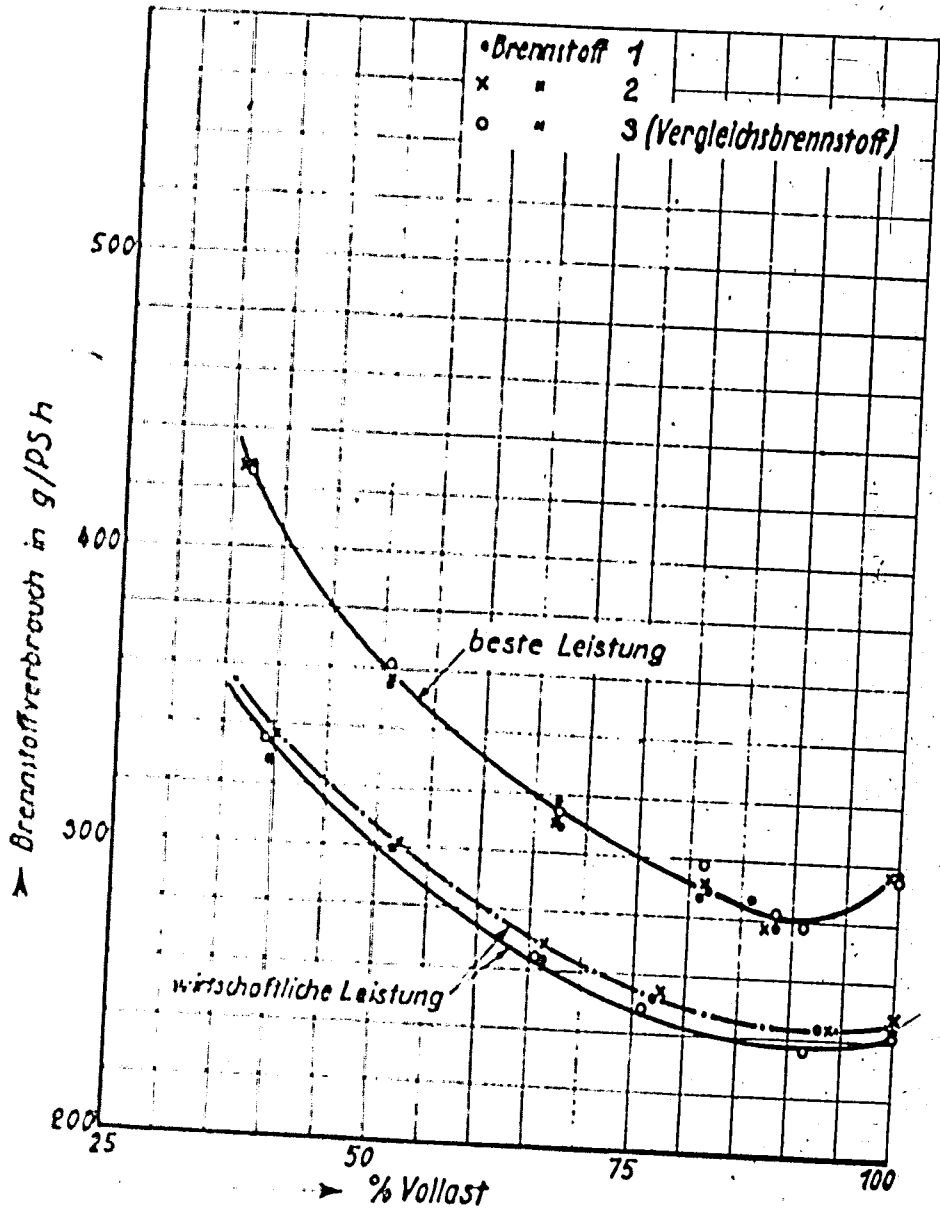
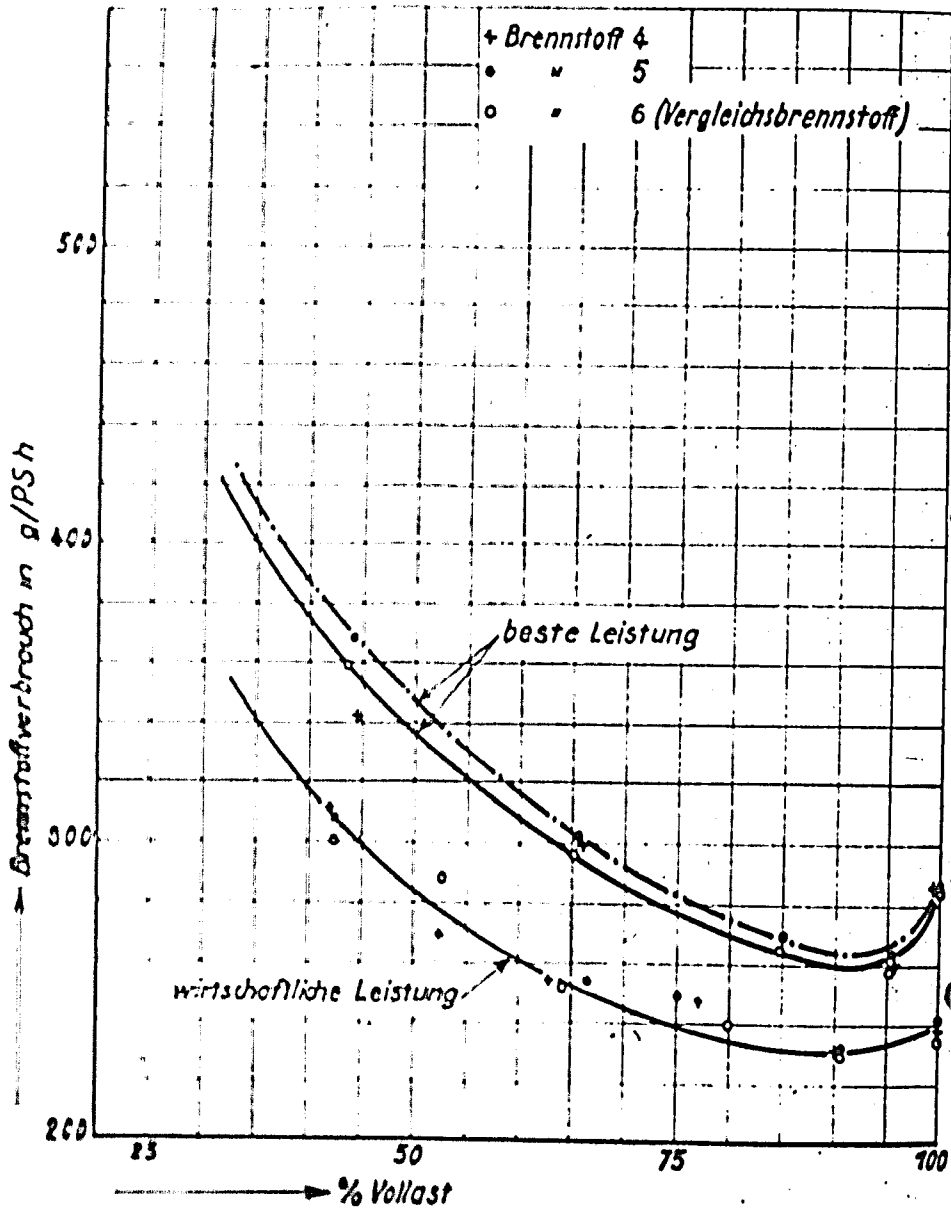


Abb. 7 Drosselkurven für wirtschaftliche und beste Leistung bei $n=2000$ U/min
 1,7 l Adler-Motor
 Brennstoffe : 1, 2, 3



**Abb. 8 Drosselkurven für wirtschaftliche und beste Leistung bei $n = 2000 \text{ U/min}$
 1,7 l Adler-Motor
 Brennstoffe : 4, 5, 6**



II. Teil

Anlaßversuche

Als Ergänzung der Prüfstand- und Fahrversuche mit methanolhaltigen Brennstoffen, über die im Juli d.J. berichtet wurde, wurden noch eingehende Messungen durchgeführt mit dem Ziel, das Verhalten der methanolhaltigen Brennstoffe beim Anlassen bei tiefen Temperaturen zu klären. Für die Vergleichsversuche waren vom Meeressaffort folgende Brennstoffe aus den vorhergehenden Versuchsreihen ausgewählt worden:

A. aus der Benzingruppe

| | | |
|---------------|-----------------------------|------------|
| Brennstoff 6: | Benzin / Xthanol / Methanol | 90 / 9 / 1 |
| Brennstoff 4: | Benzin / Xthanol / Methanol | 89 / 9 / 2 |

B. aus der Benzol-Gemisch-Gruppe

| | | |
|---------------|--------------------------------------|-----------------------|
| Brennstoff 3: | Benzin / Benzol / Xthanol / Methanol | 52 / 40 / 7,2 / 0,8 |
| Brennstoff 2: | Benzin / Benzol / Xthanol / Methanol | 45 / 40 / 5 / 10 |
| Brennstoff 8: | Benzin / Benzol / Xthanol / Methanol | 51,6 / 40 / 3,5 / 4,9 |

Für die Versuche, die im Kältetunnel des Institutes für Kälte- und Trockentechnik der Technischen Hochschule Berlin durchgeführt wurden, fand wieder der 1,7 ltr. Adler-Motor Verwendung. Die Messung sollte sich auf die Feststellung erstrecken, wieviel Umdrehungen des Motors bei Betrieb mit den einzelnen Kraftstoffen notwendig sind, um ihn zu einwandfreiem Anspringen zu bringen. Die Betriebstemperaturen wurden bis zu minus 20° verändert.

Das Verhalten des Motors beim Anlassen, besonders bei tiefen Temperaturen, ist von soviel nur schwer zu erfassenden Umständen abhängig, daß von vornherein Klarheit darüber bestand, daß nur eine größere Zahl von Versuchen einigermaßen Aufschluß über das Verhalten der Brennstoffe geben konnte. Die wesentlichsten Störungsquellen für Anlaßversuche sind der veränderliche Ladezustand der Starterbatterie und der wechselnde Widerstand, den das Öl der Bewegung von Kolben und Kurbelwelle infolge seiner hohen Viskosität bei tiefen Temperaturen entgegengesetzt.

Das Öl wird einmal durch häufiges Starten infolge Zumischung von Brennstoff verdünnt, wodurch sich der Widerstand verringert. Zum anderen folgt das Öl in der Kurbelwanne nur sehr langsam den Temperaturveränderungen im Raum, so daß die Schaffung gleicher Versuchsbedingungen für verschiedene Messungen außerordentlich erschwert ist.

Die Batterie muß beim Anlaßvorgang bei tiefen Temperaturen infolge der durch die hohen Widerstände des Öles bedingten niedrigen Drehzahl des Anlassers sehr große Strommengen liefern, während

Die Klemmenspannung außerdem noch durch den erhöhten inneren Widerstand bei tiefen Temperaturen herabgesetzt wird.

Alle Umstände, wechselläufige Drehzahl und veränderliche Spannung, wirken zusammen auf die Intensität des Zündfunken, die sicher beim Anlaufvorgang von wesentlicher Bedeutung ist.

Um die Meßerggebnisse von allen diesen Nebenumständen weitestgehend unabhängig zu machen, wurde für die vorliegenden Versuche für das Anlassen ein regelbarer Anlaßmotor benutzt, der an die 220 - Voltleitung angeschlossen war, während die 6 Volt-Batterie nur den Zündstrom zu liefern hatte. Der Anlaßmotor ließ sich von einem Bedienungsassistent außerhalb des Kühltunnels schalten und regeln. Die Drehzahl und Leistung des Anlaßmotors wurde automatisch in Abhängigkeit von der Zeit registriert. Er war mit dem Versuchsmotor direkt ohne Übersetzung gekuppelt. Zwischen beiden war aber ein Freilauf angeordnet, daß der Versuchsmotor nach der Zündung unabhängig vom Anlaßmotor laufen konnte. Die Vorrichtung arbeitete in Verbindung mit dem Meßinstrument so exakt, daß jede klassische Leistung des Versuchsmotors durch kurzes Ansteigen der Leistungsleistung markiert wurde (s. Abb. 1). Die Drehzahldiagramme waren ebenfalls registriert und durch Multiplikation mit dem Maßstab wurde die Drehzahl-Umrechnungen des Anlassers bis zum einwandfreien Ausströmen des Versuchsmotors (in der Abb. 1 mit "Start" bezeichnet) ermittelt. Nach jedem Start wurde eine Pause eingelegt, die zum Temperaturausgleich diente.

In die Abgasleitung war ein Gebläse eingebaut, das sofort die Abgase absaugte, um unnötigen Temperaturanstieg der Maschine zu verhindern. Bei geöffneter Drosselklappe wurde außerdem die Maschine mit diesem Gebläse nach jedem Start 3 Minuten bei Stillstand entlüftet. Vor jedem Start wurde die Drehzahl des Anlaßmotors auf den gewünschten Wert von 60 Umdr./min bzw. 40 Umdr./min fest eingestellt und der Motor hierbei nochmals eine halbe Minute lang während des Durchdrehens bei abgestellter Zündung durch das Gebläse entlüftet. In jedem Falle war während des Entlüftens der Ventiler entleert. Durch die vor jedem Versuch vorgenommene Einstellung des Anlaßmotors auf eine Normaldrehzahl wurden die Versuchsergebnisse auch unabhängig von dem jeweiligen Zustand des Öles, denn die Größe des Ölwiderstandes war für das Anlassen völlig gleichgültig, da die Anlaufcharakteristik des Anlaßmotors für alle Versuche in engen Grenzen gleichgehalten wurde.

Der Freilauf der Maschine war so eingestellt, daß der Motor bei - 4 nach gerade gleichmäßig lief. Der Startvergaser des Motors vergaserte nicht bei jedem Start bis zum glatten Lauf eingestellt. Somit wurden während des Starts keine besonderen Hilfen gegeben, nur hatte es sich als vorteilhaft erwiesen, den Luftzutritt durch die Injektoren des Startvergasers bei tiefen Temperaturen zu drosseln, was dann gleichmäßig für alle Betriebsstoffe durchgeführt wurde.

Für Kontrolle des Temperaturzustandes der Maschine wurden vor dem Start folgende Temperaturen abgelesen:

- 1) = Lufttemperatur in der Nähe des Saugrohres
- 1₂) = Temperatur im Ansaugrohr
- 1₃) = Kühlwassertemperatur
- 1₄) = Temperatur in der Ölwanne.

Während des Starts wurde die Temperatur im Ansaugrohr ebenfalls beobachtet, sie ist zur Unterscheidung von t_{01} mit t_{02} bezeichnet.

Die Maschine war mit einer Mischung Glycerin und Wasser zu gleichen Teilen gefüllt.

Versuchsergebnisse

Abb. 1 zeigt zwei typische Anlaßdiagramme, wie sie zur Ermittlung jedes einzelnen Versuchspunktes aufgezeichnet wurden. Bei der Einstellung der Höchstzahl des Anlassers war der Papiertransport des Meßinstrumentes nicht eingeschaltet. Der Ausschlag des Zeigers markiert sich also als gerade Linie in Richtung der Nulllinie. Nach der Drehzahlregulierung wurde der Papiertransport kurz eingeschaltet, die Kurve zeigt das Abklingen der Drehzahl des Anlassers bis zum Nullwert. Bei dem mit "Anlassen" bezeichneten Punkte begann der Startvorgang. Die Drehzahlkurve steigt nach der Form einer Parabel bis zum Höchstwert. Bei dem oberen Diagramm der Abb. 1 springt der Motor nach etwa 7,5 s an ("Start"), die Drehzahl des Motors übersteigt rasch die des Anlassers, wodurch dieser entlastet wird und ebenfalls mehr Umdrehungen macht. Die Spannung wird jetzt abgeschaltet, wodurch auch die Anlasserdrehzahl wieder auf den Normalwert sinkt. Zum Schluß zeigt das Diagramm noch das Auslaufen des Anlassers nach dessen Abschaltung. In dem unteren Diagramm der Abb. 1 ist vor dem Anspringen des Motors noch eine Einzelzündung markiert. Die senkrecht schraffierten Flächen in den Diagrammen sind ein Maß für die Umdrehungen bis zum Anspringen.

Die Versuchsergebnisse sind in den Abb. 2 - 6 dargestellt. Es hat sich gezeigt, daß es für sämtliche untersuchten Brennstoffe eine scharfe Temperaturgrenze gibt, bis zu welcher Überdrehung nach dem Start möglich ist. Innerhalb einer Temperaturspanne der Lufterluft von 1 bis 2 °C ergab sich bei Erreichung der Grenze leichter Start oder Unmöglichkeit des Startens. Es erwies sich auch als vergeblich, an der Temperaturgrenze etwa durch Steigerung der Umdrehungszahl des Anlassers von der normalen Drehzahl $n = 60$ Umdr./min auf 120 Umdr./min einen Start bewirken zu wollen.

Die untersuchten Benzin-Alkoholgemische, Brennstoff 4 und Brennstoff 6, zeigen beide als äußerste Temperaturgrenze für das Anspringen - 21,2 °C (Abb. 2 u. 3). Der Brennstoff 4 mit 1% Methanolzusatz zeigte sich gegenüber Brennstoff 6 mit nur 1% Methanolzusatz insofern überlegen, als viel weniger Versager im Laufe der Versuche auftraten; auch startete die Maschine mit Brennstoff 4 bei Temperaturen zwischen -10 und -14 °C viel stabiler mit weniger als zwei Umdrehungen, während für Brennstoff 6 im gleichen Temperaturgebiet meist 4 bis 6 Umdrehungen für den Start notwendig waren. Brennstoff 6 zeigte dabei bei tiefen Temperaturen weit häufiger die Neigung zur Entmischung als Brennstoff 4.

Die Frage der Entmischung verdient hier besondere Erwähnung, weil es nicht ohne weiteres ersichtlich ist, wodurch die Entmischung des in den Schwimmergehäuse des Vergasers befindlichen Brennstoffes verursacht wurde. In jedem Falle war der Brennstoff im Vorratsbehälter nicht entmischt und ähnliche Untersuchungen haben zweifelsfrei ergeben, daß eine Selbstenmischung bei Temperaturen von -20° bei weitem noch nicht gegeben ist. Es muß also dem

Brennstoff von außen her während des Starts Wasser zugeführt worden sein. Vertrennungswasser von gelegentlichen Rückzündungen im Saugrohr kann durch den Kanal des Startvergasers, der über der geschlossenen Drosselklappe mündet, in das Schwimmergehäuse eingebracht sein; oder es ist die Feuchtigkeit, die von den im Raum anwesenden Personen in der Nähe der Saugöffnung des Vergasers ausgetreten wurde, in den Vergaser gelangt und hat zur Entmischung Veranlassung gegeben.

In Bezug auf den Methanol-Zusatz in Brennstoff 4 und 6 kann gesagt werden, daß der geringfügige Mehranteil von nur 1 % bei Brennstoff 4 gegenüber Brennstoff 6 eine geringe Verbesserung der Startfreudigkeit gebracht hat.

Beim Vergleich der Versuchsergebnisse der Brennstoffe 2, 3 und 8, die je 40 % Benzol enthielten, zeigt Brennstoff 8 mit 4,2 % Methanol und 3,5 % Äthanol bessere Starteigenschaften als die Brennstoffe 2 und 3, die höhere Äthanol- oder Methanolzusätze aufwiesen. Mit Brennstoff 8 startete die Maschine ebenso zuverlässig bis zur Grenztemperatur, wie zuvor mit Brennstoff 4 in der Benzolgruppe beobachtet wurde, nur liegt die Grenze etwas höher bei $-19,5^{\circ}\text{C}$. Mit Brennstoff 3 ließ sich zwar gelegentlich auch noch bei $-19,5^{\circ}\text{C}$ nach etwa 96 Umdrehungen ein einwandfreier Start erzielen; jedoch war weit häufiger der Start schon bei Temperaturen unter -14 bis -15°C unsicher, was durch zahlreiche Versuche belegt ist (Abb. 5).

Noch träger als Brennstoff 3 war Brennstoff 2 mit 10 % Methanolzusatz, für den die äußerste Grenze bei $-17,5^{\circ}\text{C}$, unsicherer Start aber schon bei -12 bis -14°C gefunden wurde (Abb. 6). Daß nicht das Benzol, sondern nur das ungünstige Äthanol-Methanol-Verhältnis dieses Verhalten bedingen kann, zeigt der sichere Start mit Brennstoff 8 (Abb. 4), der den gleichen Benzolanteil von 40 % wie die Brennstoffe 2 und 3 enthält.

Man kann also sagen, daß der höhere Äthanolgehalt in Brennstoff 3 sich ungünstiger für das Startvermögen auswirkte als der höhere Methanolgehalt, der in Brennstoff 8 an die Stelle von Äthanol getreten war.

An die Motorversuche wurde eine Reihe von physikalisch-chemischen Messungen angeschlossen mit dem Ziel, eine Erklärung für das Verhalten der Brennstoffe beim Anlassen zu geben.

Die Neigung zum Entmischen wurde durch Titration mit Wasser bei verschiedenen Temperaturen untersucht. Das Ergebnis zeigt Abb. 7. Die Benzolgemische zeigten sich widerstandsfähiger gegen Wassereinsatz als die Benzin-Alkohol-Gemische. Auffallend und im Widerspruch zu den Beobachtungen bei den Motorversuchen stehend ist das Verhalten von Brennstoff 4, der niedrigere Werte im Wasserzitter zeigte als Brennstoff 6. Bei den Startversuchen war wohl bei Brennstoff 4 im Gegensatz zu Brennstoff 6 wegen des meist schnellen Starts keine Möglichkeit zu weiterer Wasseraufnahme gegeben, so daß auch nicht so leicht Entmischung eintreten konnte.

Der Erklärung des Startverhaltens wurde auch die Siedekurve mit herangezogen. Der Siedeverlauf der untersuchten fünf Brennstoffe ist in Abb. 8 dargestellt. Die Benzin-Alkohol-Gemische (Brennstoff 4 und 6) zeigen in ihrem Siedeverhalten genau das-

selbe Zeit. Ihr Siedebeginn sowie der erste Teil der Siedekurve bis zum 10 % - Punkt liegt eindeutig unter den Werten für die Benzol-Genische. Die höchsten Werte zeigt hier Brennstoff 3, während Brennstoff 4 sehr nahe an die Benzine herankommt. Abgesehen von Brennstoff 2 zeigt sich für den Siedeverlauf die gleiche Reihenfolge, wie sie für das Startverhalten beobachtet wurde, d.h. der gleiche Brennstoff startete am so leichter, je tiefer die Temperaturwerte für den Siedeanlauf liegen. Brennstoff 2 fällt deswegen aus der Reihe, weil durch den im Verhältnis zu den anderen Brennstoffen hohen Methanolgehalt eine hohe Siededepression bedingt ist.

In einer weiteren Versuchsreihe wurden noch Messungen über den Dampfdruck der 5 Brennstoffe angestellt bei Temperaturen zwischen - 5 und - 27 °C. Es zeigte sich dabei, daß die Brennstoffe den leichtesten Start ermöglichten, für die die höchsten Dampfdruckwerte gemessen wurden. Die Unterschiede im Dampfdruck der 5 Brennstoffe wurden im Torricellischen Rohr ermittelt, wobei für Brennstoff 4 und 6 die höchsten Werte, für Brennstoff 2 und 3 die auch am schwierigsten starteten, um etwa 25 % niedrigere Werte gefunden wurden. Brennstoff 5 lag in der Mitte zwischen beiden Gruppen. Der Dampfdruck nimmt mit sinkender Temperatur stark ab. Ein direkter Zusammenhang zwischen Dampfdruck und Startgrenze ließ sich infessen noch nicht ermitteln, weil bei der Dampfdruckbestimmung im Torricellischen Rohr bei der Untersuchung von Gemischen und Genischen, wie im vorliegenden Falle, nur relative Werte gemessen werden, die in gewissen Umfang von der in das Vakuum der Röhre eingebrachten Brennstoffmenge abhängig sind.

Wären infessen die eingebrachten Brennstoffmengen für den Vergleich der Brennstoffe untereinander konstant gehalten, so lassen die so gefundenen Werte für den Dampfdruck, wie oben gezeigt, Rückschlüsse auf das Startverhalten bei tiefen Temperaturen zu. Über die näheren Zusammenhänge zwischen Startgrenze und Dampfdruck müssen jedoch noch weitergehende systematische Untersuchungen angestellt werden.

Die Versuche haben ferner ergeben, daß zur restlosen Klärung über das Bestehenkommen der Startgrenze und deren Abhängigkeit von der Brennstoffzusammensetzung und von der Temperatur der Außenluft das vorhandene Material noch nicht ausreicht. Hier spielt vor allem noch die Explosionsgrenze mit hinein, die in dem tiefen Temperaturbereich noch nicht untersucht worden ist.

Zusammenfassung

Zusammenfassend ist zu sagen, daß in den untersuchten Benzol-Alkohol-Genischen ein geringer Methanolgehalt von 2 % fördernd auf das Startverhalten des Brennstoffes wirkte. Bei den untersuchten Benzol-Benzol-Alkohol-Genischen zeigte sich, daß der Ersatz eines Teiles Äthanol durch Methanol wie in Brennstoff 8 gegenüber Brennstoff 1 für das Startverhalten günstig ist, daß hingegen durch einen Zusatz von 5 % Äthanol und 10 % Methanol wie in Brennstoff 2 das Startverhalten gehemmt wird.

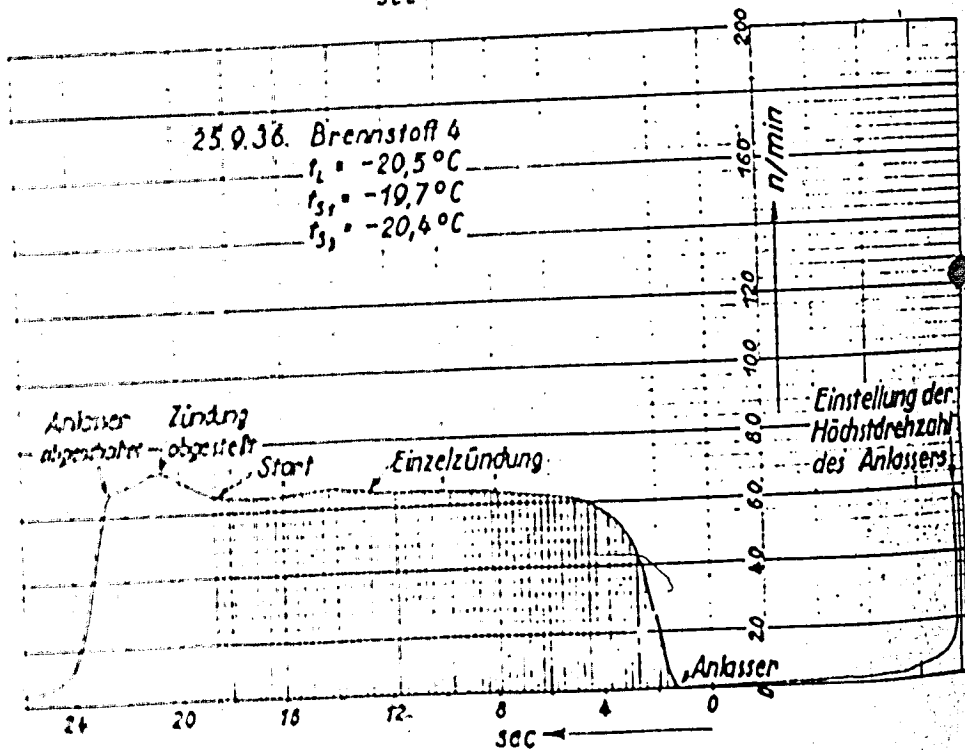
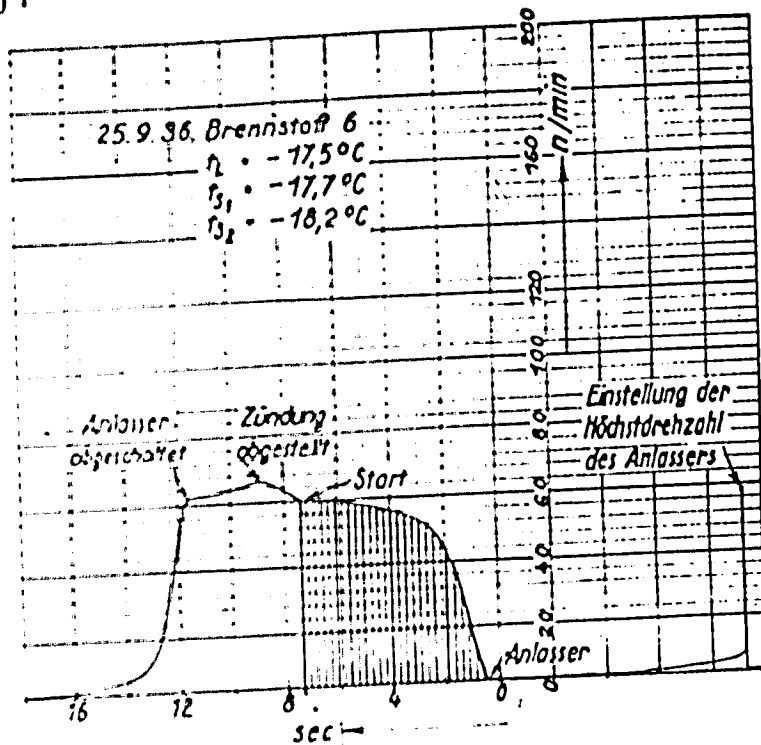


Abb. 1. Anlassdiagramme ohne und mit Einzelzündung

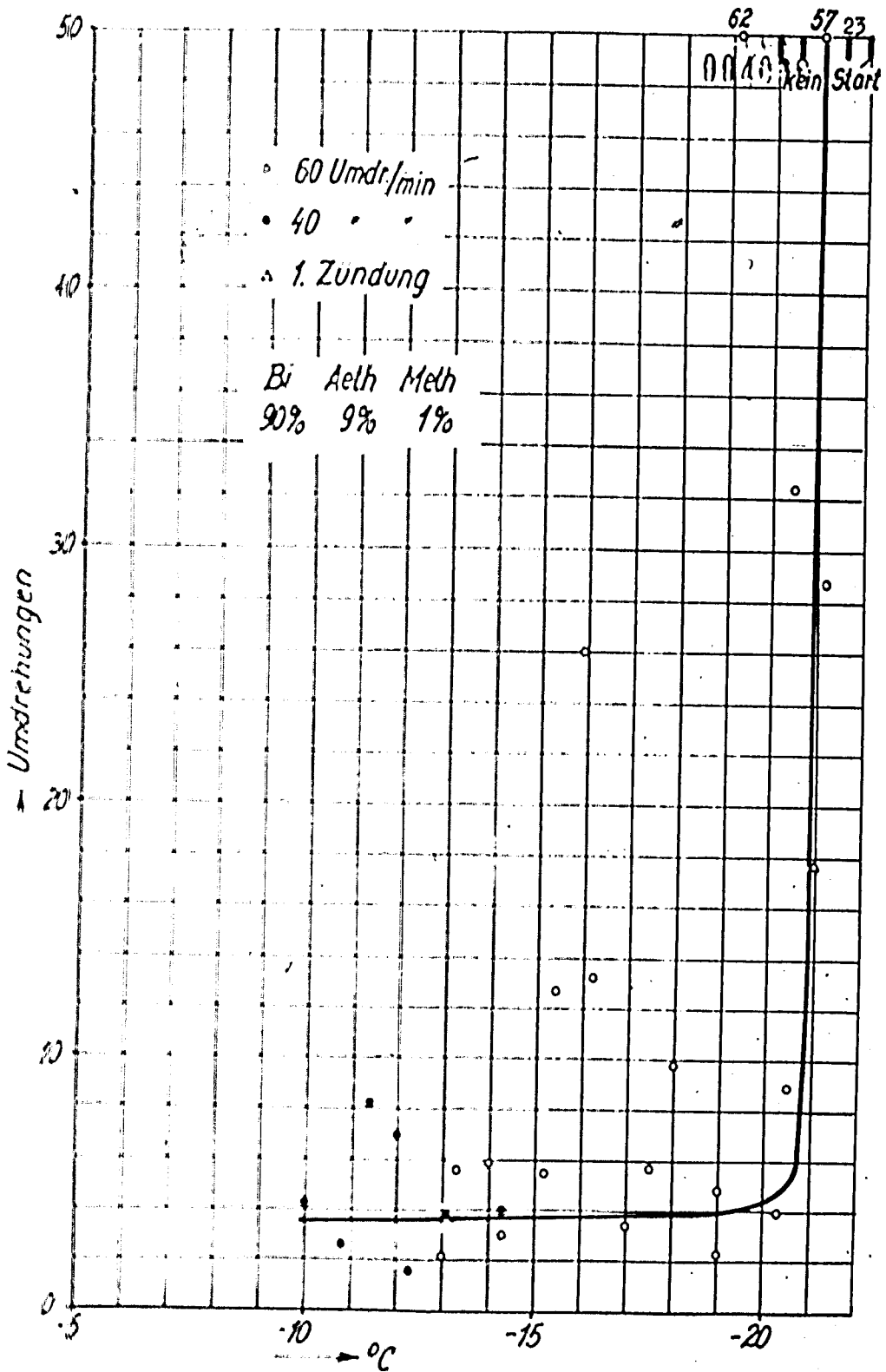


Abb. 2. Brennstoff 6. Umläufe bis zum Start in Abhängigkeit von der Temperatur

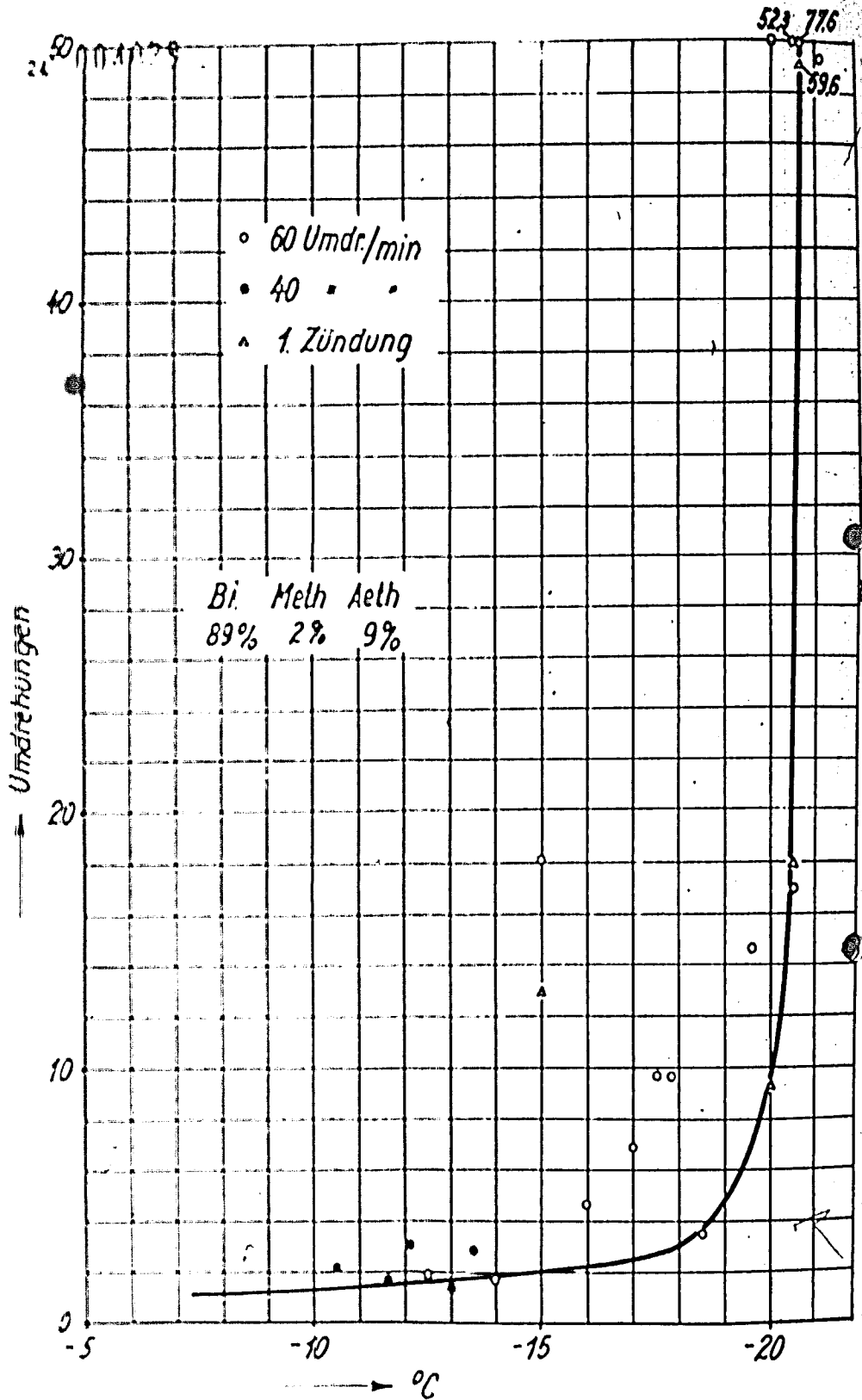


Abb. 3. Brennstoff A. Umläufe bis zum Start in Abhängigkeit von der Temperatur

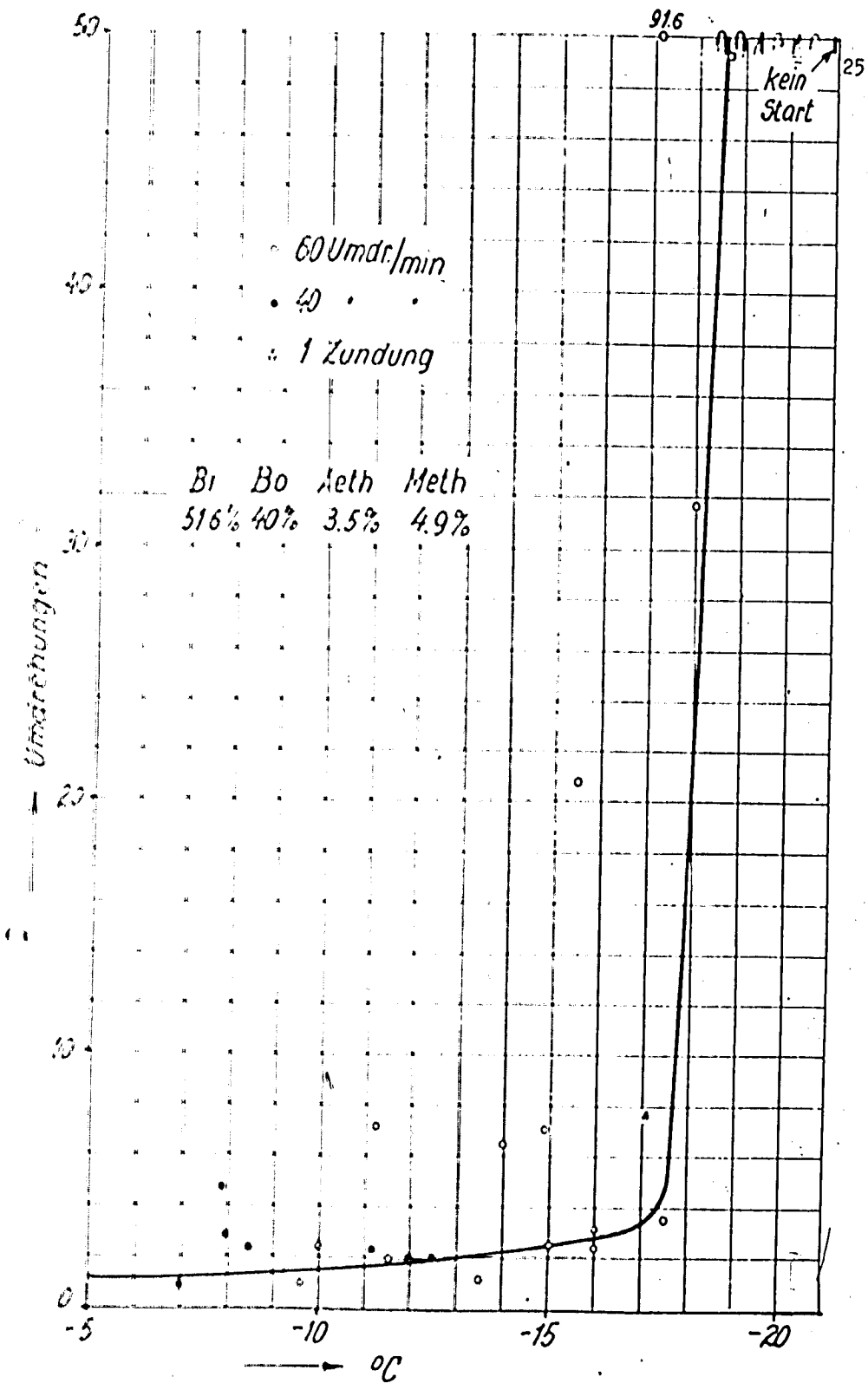


Abb. 4. Brennstoff B. Umläufe bis zum Start in Abhängigkeit von der Temperatur

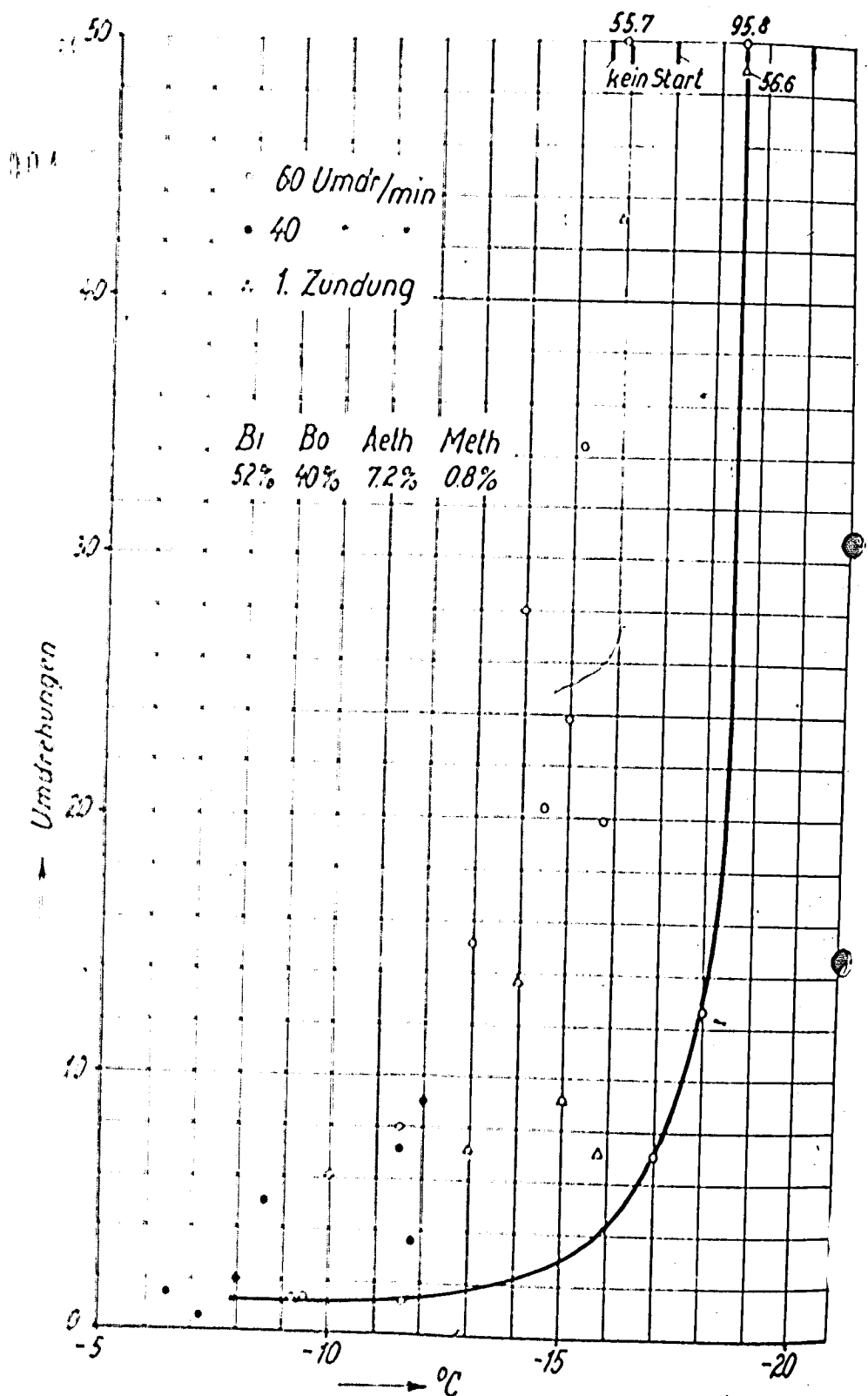


Abb. 5. Brennstoff 3. Umläufe bis zum Start in Abhängigkeit von der Temperatur

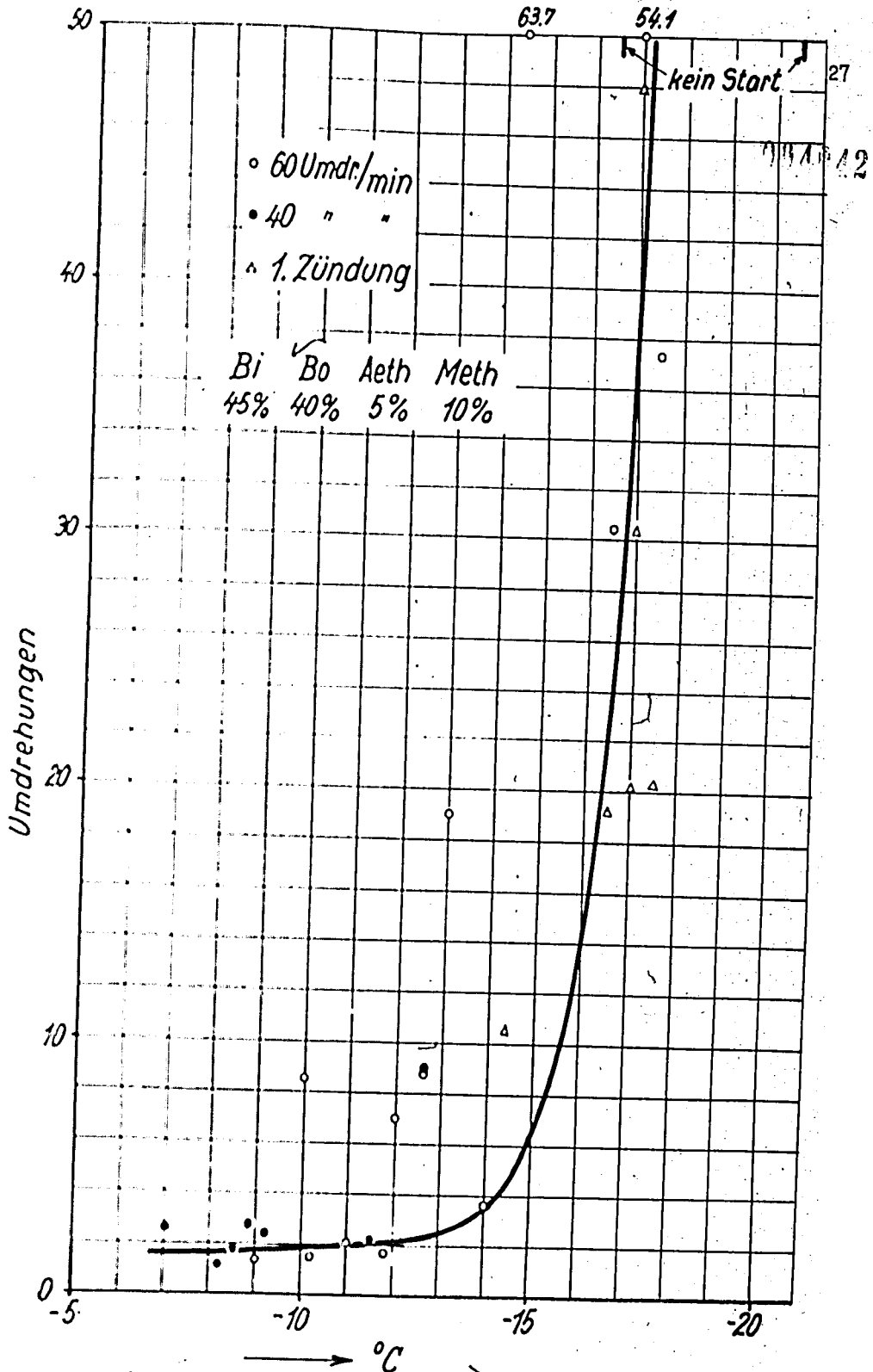


Abb. 6. Brennstoff 2. Umläufe bis zum Start in Abhängigkeit von der Temperatur

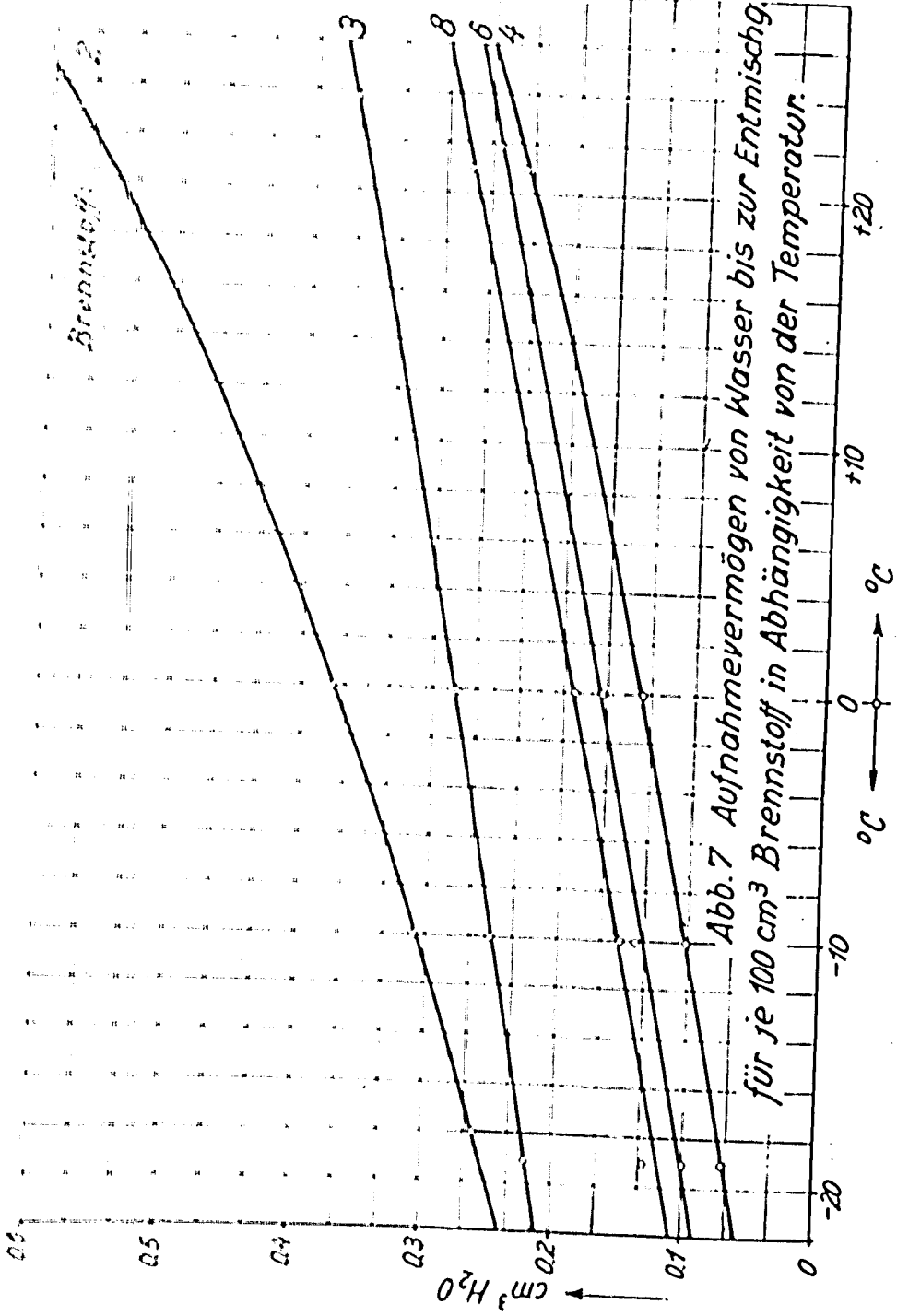


Abb. 7 Aufnahmevermögen von Wasser bis zur Entmischung.
für je 100 cm³ Brennstoff in Abhängigkeit von der Temperatur.

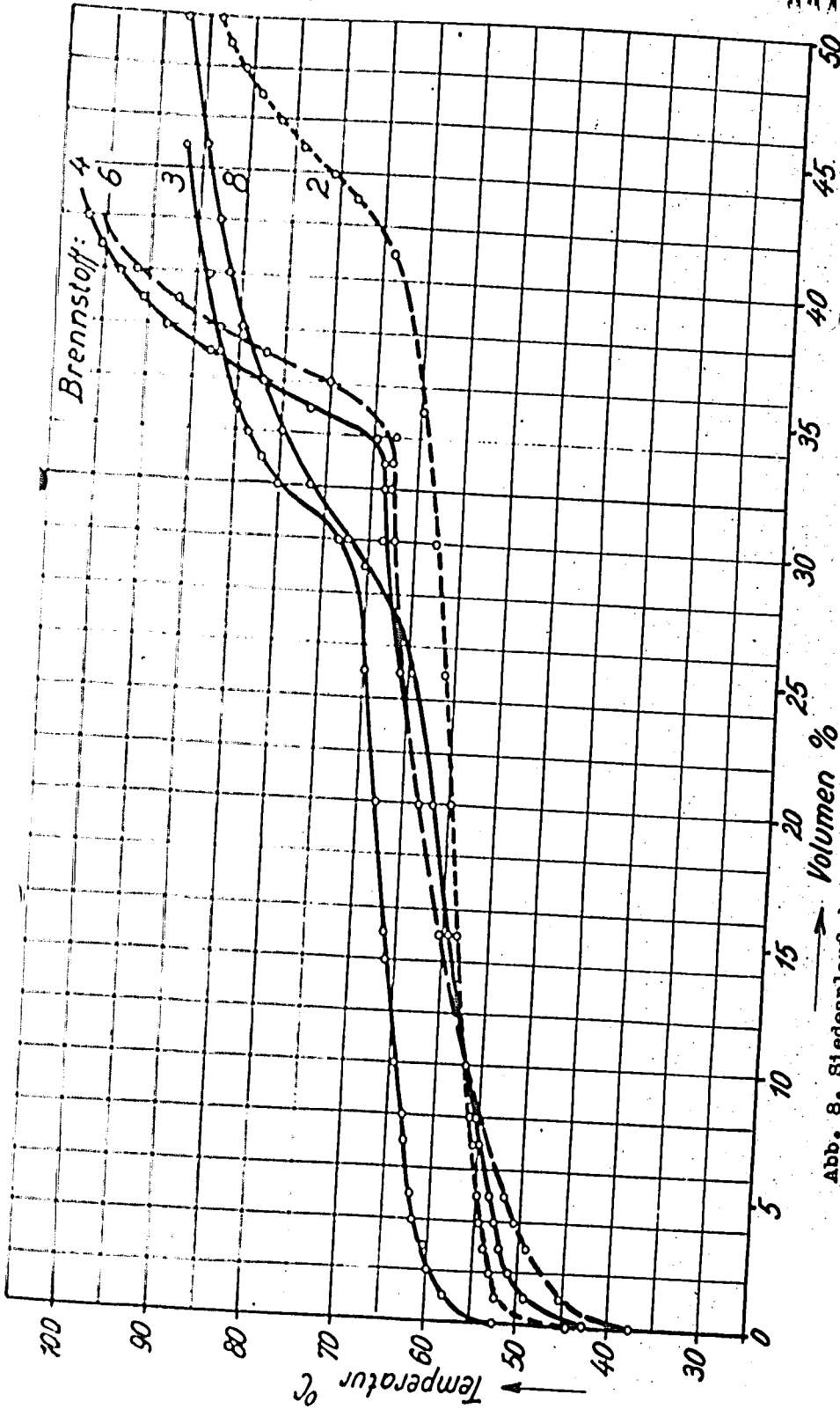


Abb. 8. Siedeanlauf der Brennstoffe