

bei Schrägstellung zur Fahrtrichtung, wie sie unter der Einwirkung von Seitenkräften infolge der seitlichen Nachgleichheit der Luftreifen eintritt, stets in die Fahrtrichtung rückstellende Momente erfährt, während auf das hecklastige Fahrzeug abdröhnende Momente wirken. Die Bodenkraftmomente lassen sich also in gewissen Grenzen durch konstruktive Maßnahmen beeinflussen.

Da auch die Luftkraftmomente um den Schwerpunkt durch Formgebung des Kraftfahrzeugs und durch Anordnen von Heckflossen beeinflusst werden können, (vgl. 8) kann für ein gegebenes Fahrzeug und für eine bestimmte Achslastverteilung erreicht werden, dass die Luft- und Bodenkraftmomente sich völlig ausgleichen. Das Fahrzeug ist dann fahrtrichtungsstabil.

An einigen Kraftfahrzeugen des Instituts wurden diese Erkenntnisse verwirklicht. Die Nachprüfung ihrer Fahrtrichtungshaltung im Modellverfahren auf einer "laufenden Strasse" bestätigte die Richtigkeit der Überlegungen und früherer Messungen. Wurde das un gelenkte Modellfahrzeug auf der "laufenden Strasse" einer seitlichen Zugkraft ausgesetzt, die nach Angriffspunkt und Grösse der im Windkanal gemessenen resultierenden Luftkraft eines mit richtigen Flossen versehenen Wagens entsprach, so behielt es bei bestimmter Lastverteilung seine Fahrtrichtung ohne Lenkungsänderung bei. Auch Probefahrten mit dem Fahrzeug auf der Strasse ergaben die vorteilhafte Wirkung der Flossen auf die Fahrtrichtung bei Seitenwind.

Über die gesamten experimentellen Untersuchungen zur Entwicklung des fahrtrichtungsstabilen Kraftwagens liegt ein zusammenfassender Bericht vor (Deutsche Kraftfahrzeugforschung, Heft 44).

Eine theoretische Untersuchung über das Fahrverhalten des Kraftfahrzeugs in dem Bereich, in dem man die Seitenführungskraft der luftbereiften Räder - die weniger stark als der Raddruck ansteigt - dem Schräglaufwinkel des Rades verhältnissmässig ansetzen darf, brachte eine weitere Klärung der Vorgänge. Es konnten die Hauptgleichungen für die Be-

wegung des Fahrzeugs bei Windstille aufgestellt werden, mit denen man die Bahn des Fahrzeugs bei vorgegebenem Lenkeinschlag oder den für eine bestimmte verlangte Bahn notwendigen Lenkeinschlag berechnen kann. Ausserdem konnten die Voraussetzungen angegeben werden, unter denen der Schwimmswinkel klein bleibt, d.h. der Fahrzustand stabil ist. Schliesslich wurde der Einfluss eines mässigen Seitenwindes untersucht und die Bedingung gefunden, unter der ein Fahrzeug gegen Seitenwind unempfindlich ist, d.h. keinen zusätzlichen Lenkeinschlag verlangt, um geradeaus zu fahren. Die gewonnenen Erkenntnisse sind im Zwischenbericht Nr. 70 der Deutschen Kraftfahrtforschung niedergelegt.

n) Grundlagen zur Steuerung der Anhänger-Druckluftbremsen durch die Deichselkraft.

Frühere Untersuchungen der Deichselkräfte zwischen Zugwagen und Anhänger beim Bremsen mit Druckluft- und Auflaufbremsen ergaben zwar, dass die Auflaufbremsen die Verzögerung des Anhängers besser an die des Zugwagens angleichen als die Druckluftbremsen. Jedoch traten bei Auflaufbremsen mitunter unerwünscht hohe Deichseldruckkräfte auf. Der erwähnte Nachteil der sonst als verkehrssicherer anzusprechenden Druckluftbremsen soll - wie schon im 9. Jahresbericht ausgeführt - mit Hilfe einer zusätzlichen Steuerung der Bremsdrücke durch zulässige Auflaufkräfte des Anhängers behoben werden.

Die Nachprüfung einiger schon vorhandener "Auflaufbremsventile" ergab die Unbrauchbarkeit der meisten von ihnen, da es damit nicht möglich war, eine stetige Bremsdruckregelung abhängig vom Auflaufweg zu erreichen; vielmehr veränderten sich die Anhänger-Bremsdrücke beim Betätigen des Ventil-Auflaufhebels sprunghaft.

Ein besser geeignetes Auflaufbremsventil wurde an einem im Institut gebauten Sonderprüfstand weiterentwickelt und in Bremsfahrversuchen an einem Lastzug erprobt. Die Versuche ergaben zwar noch Schwingungen der Deichselkräfte, doch liess sich auf diese Weise bereits eine dem Auflaufweg annähernd verhältnissmässige Regelung des Bremsdruckes im Anhänger zusätzlich zu der bisher üblichen Regelung erreichen.

Über die bisherigen Ergebnisse wird in einem Zwischenbericht der Deutschen Kraftfahrtforschung berichtet werden.

Die Versuche gehen weiter und lassen erwarten, dass das gesteckte Ziel in absehbarer Zeit verwirklicht wird.

n) Fahrverhalten von Einachsanhängern.

Die Untersuchungen der Ursachen des Pendelns von Einachsanhängern und der Mittel zu ihrer Verhütung wurden im laufenden Geschäftsjahr abgeschlossen.

Die durch Aufspritzen der Bewegungsspuren auf die Strasse festgestellten Fahrbewegungen eines Einachsanhängers wurden übereinstimmend auch im Modellversuch auf einer "laufenden Strasse" festgestellt. Die Anwendbarkeit des im Institut entwickelten Modellverfahrens für derartige Untersuchungen konnte damit erneut nachgewiesen werden. Die Versuche ergaben, dass das Pendeln nicht nur durch die Lage des Schwerpunktes beeinflusst wird, der nicht hinter der Anhängerachse liegen soll, sondern auch durch die Lage des Kupplungspunktes zwischen Anhänger und Zugwagen in Bezug auf die Längsachse, um die der Anhänger seitlich wippt. Wenn der Kupplungspunkt in dieser Wippachse liegt, werden durch das Wippen keine die Pendelung fördernden Seitenkräfte auf die Kupplung übertragen.

Bremsung des Anhängers und vor allem eine Dämpfung der Anhängerbewegungen um den Kupplungspunkt wirken vermindert auf das Anhängerpendeln. Ein Bericht hierüber erscheint als Zwischenbericht der Deutschen Kraftfahrtforschung.

o) Leichtbau eines Wagenkörpers.

Diese Aufgabe ist bereits in dem Abschnitt II über Konstruktions- und Entwicklungsarbeiten berücksichtigt worden.

p) Geräuschuntersuchungen an geschlossenen Fahrzeugen.

Während der Berichtszeit wurden die Geräuschuntersuchungen an geschlossenen Fahrzeugen nicht fortgesetzt.

Zur Durchführung von Drehungsmessungen, die im Zusammenhang mit den Schwingungsuntersuchungen zweckmässig

erschienen, wurde zum FKPS-Schwingungenergieverfahren ein Geber mit 4 mm Messstrecke gebaut und geprüft. Die Arbeiten waren bis Ende der Berichtszeit noch nicht abgeschlossen.

3. Kraft- und Schmierstoffe.

q) Abhängigkeit des Zündverzugs von der chemischen Zusammensetzung bei Dieselmotorkraftstoffen.

Das im Institut entwickelte Zündverzugs-Messverfahren (vgl. III) wurde an zahlreichen Dieselmotorkraftstoffen verschiedenen Ursprungs erprobt und stets sind weitgehende Übereinstimmung mit den auf andere Weise ermittelten Werten gefunden. Der allgemeinen Anwendung dieses einfachen Verfahrens für Dieselmotorkraftstoffe steht nunmehr nichts mehr im Wege. Für Ottomotorkraftstoffe ist das Verfahren jetzt so weit entwickelt, dass eine Erprobung auf breiterer Grundlage vorgenommen werden kann.

r) Motorische Abnutzung bei Verwendung synthetischer Kraftstoffe und deren Gemische.

Die bisherigen Ergebnisse dieser Untersuchung sind im Zwischenbericht Nr. 74 der Deutschen Kraftfahrtforschung niedergelegt.

4. Bereifung.

s) Untersuchungen über die Einwirkungen vom spezifischen Bodendruck auf den Reifenverschleiß.

Auf Grund der in früheren Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse wurden die Bewegungsverhältnisse zwischen Reifen und Fahrbahn weiter untersucht, da sie für die vorzeitige Abnutzung der Reifen von besonderer Bedeutung sind. Mit der Bodendruckmessereinrichtung, wobei ein Quarzgeber als Druckmessgerät diente, wurde für einen Personenwagenreifen die Bodendruckverteilung in der Aufstandsfläche des Reifens im Stillstand und während der Fahrt bei verschiedenen Innendrücken und Belastungen gemessen. Dabei zeigte sich, dass

der Innendruck grossen Einfluss auf die Bodendruckverteilung hat und dass durch eine Erhöhung des Innendruckes die verschleissfördernden Eigenbewegungen der Profilatollen verringert werden können. Die Untersuchungen sollen auf eine möglichst grosse Zahl von verschiedenen Profilen ausgedehnt werden, um den Einfluss der Profilgestaltung bestimmen zu können.

Es wurde damit begonnen, die Auswirkung einer Innendruckerhöhung auf Rollwiderstand und Abnutzung von Lastwagenreifen zu untersuchen. Versuche mit Reifen mittlerer Grösse zeigten, dass durch die Erhöhung des Innendruckes der Rollwiderstand und die innere Erwärmung herabgesetzt werden können. Die erzielbare Verbesserung ist jedoch wesentlich geringer als beim Personenwagenreifen. Auch lässt sich der Druck nur bis zu einer bestimmten Grenze vorteilhaft steigern, da nach Ueberschreiten dieser Grenze der Rollwiderstand wieder zunimmt. Die zahlenmässige Bestimmung der Abnutzung in Abhängigkeit vom Innendruck erfordert langwierige Versuche, die noch nicht abgeschlossen werden konnten.

t) Entwicklung eines Temperatur-Messgerätes für Reifentemperaturen.

In Fortsetzung der Arbeiten des Vorjahres, deren Ergebnisse im FKFS-Bericht 298 "Eichung eines Einstichthermoclementes" zusammengefasst sind, wurde das Einstichmessgerät des Instituts in Richtung auf fehlerfreies Arbeiten in praktischen Betrieb und auf grösstmögliche Sicherheit gegen äussere Beschädigungen weiterentwickelt. Durch Gewichtsverminderung und kleine Verbesserungen am Halter und an der Nadel wurde das Gerät handlicher und unempfindlicher gegen unsachgemässe Behandlung gemacht.

Das Gerät wurde anlässlich umfangreicher Reifentemperatur-Messungen im Versuchsbetrieb erprobt und unter Berücksichtigung der dabei gewonnenen Erfahrungen weiter verbessert. Da es bei der Industrie Anklang fand, wird es nunmehr in zwei Ausführungen in kleinen Serien hergestellt, wobei die eine Ausführung eine Veränderung der Einstichtiefe zwischen 0 und 20 mm, die andere eine solche zwischen 20 und 40 mm gestattet.

000182

V. Forschungsarbeiten für Sonderzwecke.

Ausser den vorgenannten Arbeiten wurden weitere Arbeiten im Auftrag von Industriewerken und behördlichen Stellen durchgeführt, die mit einem Bericht abgeschlossen worden sind:

Leistungs- und Widerstandsuntersuchungen an einem Personenkraftwagen	VKPS 300
Untersuchung einer Schleuderschutzvorrichtung	" 305
Untersuchung über die von Lastkraftwagen noch tragbaren Längen von Steigungsstrecken (Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen)	" 308
Leistungssteigerung von Fahrzeug-Dieselmotoren durch Sauerstoffzusatz	" 309
Kurvengängigkeit und Reifenverschleiss eines Dreiachs-Anhängers	" 311
Luftwiderstands- und Strömungsuntersuchungen an Omnibusmodellen	" 315
Erprobung einer Sandstreuvorrichtung für Kraftfahrzeuge (Forschungsgesellschaft für das Strassenwesen)	" 315
Experimentelle Untersuchungen über die Fahrtrichtungsstabilität eines Rennwagenmodells	" 317
Luftkraftmessungen an einem Stromlinienkrafttrad	" 321
Vergleich der Fahrwiderstände zweier Personenkraftwagen	" 323
Strahlantrieb für Rennwagen	" 325
Untersuchung an bimetallicchen Kolbenringen	" 326
Einfluss der Vorderradaufhängung eines Personewagens auf seine Fahrsticherheit	" 327
Leistungsmessungen an verschiedenen Fahrzeugen auf dem Kraftwagenprüfstand	" 330
Luftkraftmessungen an Personenwagenmodellen	" 338
Drehschwingungsuntersuchungen an Fahrzeug-Dieselmotoren	" 340
Untersuchungen an Gusskurbelwellen	" 343

Versuche zur Verbesserung des Kühlluftgebläses an einem 3,5 t-Lastwagen. FKFS 362

Gutachtliche und beratende Tätigkeit des Institutleiters und einzelner Sachbearbeiter in Sonderfragen in wesentlichen für:

- 1) den Generalinspektor für das deutsche Strassenwesen
- 2) das Hauptamt für Technik in der Reichsleitung der NSDAP
- 3) die Korpsf hrung des NSKK
- 4) den Inspektor für technische Ausbildung und Geräte des NSKK
- 5) Reichsamt für Wirtschaftsausbau
- 6) das Amt für Technik in der NSDAP, Gauleitung Württ.-Hohenzollern
- 7) Gerichte.

VI. Berichtswesen, Vortragswesen und sonstige wissenschaftliche Tätigkeit.

a) Forschungsberichte

Die Ergebnisse der im Rahmen des Forschungsplanes des Reichsverkehrsministeriums durchgeführten Arbeiten wurden in folgenden Berichten zusammengefaßt, die fast alle als Schluss- oder Zwischenberichte der Deutschen Kraftfahrzeugforschung erschienen sind oder demnächst erscheinen werden (s.a. unter Veröffentlichungen VI b):

Der Leistungsbedarf zur Kühlung des Fahrzeugmotors und seine Verminderung	FKFS 290
Einfluss der Luftkräfte auf die Stabilität des Kraftfahrzeugs und die Seitenkräfte	" 293
Aufgaben bei der Bremsung des Lastzugs	" 294
Geh�useuntersuchung am mittleren Windkanal	" 296
Eichung eines Einstichthermoelements	" 298
Versuche über das motorische Verhalten synthetischer Ottokraftstoffe	" 307
Die Fahrlage des Kraftfahrzeugs in der Kurve	" 312

000184

Ueber die Fahrtrichtungshaltung des schnellfahren- **FAPS 319**
des Kraftfahrzeugs

Die Luftkräfte und Luftkraftmomente und die aero- **324**
dynamischen Mittel zur Beeinflussung der Fahrt-
richtungshaltung

Das Kühlgebläse des Kraftfahrzeugs und sein betrieb- **345**
liches Verhalten

Betriebsanleitung zum FAPS-Kraftstoffprüfmotor **189 XXXVII**

b) Veröffentlichungen des Institutleiters und
seiner Mitarbeiter, denen zum Teil ein Vortrag
voranging, mit Erkenntnissen aus den im In-
stitut durchgeführten Arbeiten:

- 1) H. Fuchs: Blick in ein Forschungsinstitut für Kraftfahr-
wesen, Motorkritik, Bz. 19 (1939) Nr. 15, S.499
- 2) O. Dietz: Ueber das Spuren und Pensen von Lastkraft-
wagenanhängern, ATZ Bd. 42 (1939) Heft 15, S.427
- 3) Luftwiderstandsmessungen und Strömungsuntersuchungen
am 2,5ℓ-Adlerwagen, ATZ Bd. 42 (1939) Heft 16, S.447
- 4) A. Kimmel: Grundsätzliche Untersuchungen über die bei
den Drehschwingungen von Kurbelwellen massge-
bende Drehsteifigkeit, Ing.-Arch. Bd. 10 (1933)
H. 35, S.196
- 5) W. Kamm, L. Huber u. P. Schmid: Geschwindigkeitsbegrenzung
und Fahrleistungsaufwand, ATZ Bd. 42 (1939)
H. 18, S.493
- 6) E. Dörr: Reifendruck-Erhöhung auf der Autobahn
ATZ Bd. 40 (1939) Nr. 39, S.1210
- 7) R. Sawatzki: Einfluss der Luftkräfte auf die Fahrtrichtungs-
haltung des Kraftfahrzeugs
ATZ Bd. 42 (1939) H. 19, S.515
- 8) G. Leunig: Schlagwort und technischer Fortschritt,
Deutsche Technik Bd. 7 (1939) Heft 10, S.467
- 9) Geringer Kraftstoffverbrauch - hohe Fahrleistungen
Fahrzeug- u. Karosseriebau, Bd. 39 (1939) H. 19/20, S.224
NSKK-Mann v. 28. Okt. 1939, S. 3
Autom.-Revue, Bd. 14 (1939) Nr. 10, S.18
Deutsche Technik Bd. 7 (1939) Heft 11, S.496
Technik, Gau Württemberg-Hohenzollern (1939) H. 11, S.205
Motor und Sport Bd. 17 (1940) Nr. 32, S.18

- 10) W. Kamm: Fahrgeschwindigkeit und Leistungsüberschuss
Rdsch. Dtsch. Techn. (1939) Nr. 40, S. 3
- 11) Q. Diets u. L. Huber: Brennung des Lastzuges
Deutsche Kraftfahrtforschung H. 32 (1939)
- 12) B. Eckert: Windkanäle,
Neue Kraftfahrer-Ztg., Bd. 14 (1939) Nr. 37, S. 971
Nr. 38, S. 968, Nr. 39, S. 1004, Nr. 40, S. 1019
- 13) E. Dörr: Anpassung des Reifeninnendruckes an Autobahn-
und Stadtverkehr,
Strasse Bd. 6 (1939) H. 17/20, S. 572
- 14) H. Ernst: Der Dieselmotor mit seitengesteuerten Ventilen
ATZ, Bd. 42 (1939) H. 20, S. 539
- 15) O. Widmaier: Untersuchung von Dieselmotorkraftstoffen nach
verschiedenen Prüfverfahren,
Oel u. Kohle Bd. 41 (1939), S. 761
- 16) H. P. Zooppritz: Sandstreuvorrichtungen für Kraftfahrzeuge
als Schutz gegen Glatteis-Gefahr
Mitt. d. Forschungsges. f. d. Strassenwesen
Strasse Bd. 6 (1939) H. 23/24, S. 667
- 17) P. Schmid: Krieg und Kraftfahrt-Forschung
Vierjahresplan, Bd. 4 (1940) Nr. 4, S. 144
- 18) O. Widmaier: Die Bleiempfindlichkeit von Kraftstoffen und
ihre Abhängigkeit von dem chemischen Aufbau
ATZ Bd. 43 (1940) H. 3, S. 63
- 19) M. Kuhm: Stichdrehzähler
ATM (1940) J 162-5
- 20) W. Kamm u. T. B. Schunck: Das Verhalten von Lastkraftwagen
auf Steigungsstrecken
Strassenbaujahrbuch 1939/40
- 21) F. Weinig: Berechnung eines Windkanalgebläses für Kraftwagen-
versuche
ATZ Bd. 43 (1940) H. 6, S. 141
- 22) J. Holzapfel: Die Verwindungssteifigkeit von Kraftwagen-
rahmen
Z. VDI Bd. 84 (1940) Nr. 12, S. 210
- 23) H. Berndorfer u. H. Thomas: Ein einfaches Hilfsmittel zur
Sichtbarmachung der Kühlluftströmung bei luft-
gekühlten Motoren
Luftwissen Bd. 7 (1940) Nr. 4, S. 101
- 24) H. Schmitt: Leistungsbedarf zur Kühlung des Fahrzeug-
motors und seine Verminderung
Deutsche Luftfahrtforschung, Heft 45 (1940)

c) Vorträge im Institut zur Weiterbildung und
Sonnung der Institutsangehörigen unter Teil-
nahme von Vertretern der anliegenden Fachindu-
strierwerke:

Es sprachen:	Über:
O. Sommer	Weg zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs
W. Kamm	Unsere Arbeitsgemeinschaft, ihr Aufbau, ihre Ziele, Wünsche und Erfolge
E. Dürr	Die Reifenwiderstände, neuere Erkenntnisse und ihre Auswirkungen
L. Huber	Die Verbesserung der Fahrtrichtungshaltung des Kraftfahrzeugs im Seitenwind
F. Weinig u. B. Eckert	Die Arbeitsweise der Strömungsmaschinen und das Kühlgebläse eines Kraftwagens als Beispiel
E. Sawatzki	Fahrzeugform und Seitenwindempfindlichkeit
T. E. Schunck	Theoretische Untersuchungen zur Fahrmechanik des gummiereiften Kraftfahrzeugs
O. Widmaier	Die Untersuchung des Kraftstoffes im FKFS- Prüfmotor.

d) Zusammenarbeit mit der Hochschule.

Fortführung der Übungsarbeiten und Diplomarbeiten
der Studierenden im gleichen Rahmen wie im letzten Geschäftsjahr.

e) Bücherei.

Anwachsen des Bestandes der Bücherei an Büchern
und Druckschriften um 411 Stück.
Anzahl der regelmässig bezogenen Zeitschriften: 55
Anzahl der im Berichtsjahr insgesamt entliehenen Bücher:
2497.

VII. Ausbau.

Der Ausbau des Instituts wurde im Rahmen der gege-
benen Möglichkeiten fortgeführt.
Das Kraftwagen-Vollprüffeld, das die Untersuchung

des Verhaltens von Kraftwagen unter der Einwirkung aller in Wirklichkeit auftretenden Kräfte und Momente ermöglicht wird, konnte im Rohbau beinahe fertiggestellt werden.

Die Prüfstände und -einrichtungen sowie die Meßgeräte wurden entsprechend den wachsenden Anforderungen weiter ausgebaut und vervollkommenet.

In Fortsetzung der Arbeiten an dem Modell-Windkanal des Kraftwagen-Vollprüffeldes wurden Untersuchungen über die Ausbildung der Kanalströmung in der gesamten Luftführung durchgeführt. Diese ergaben, dass durch geeignete Verteilung der Strömungsenergie im Austrittsquerschnitt des Gebäudes das Profil des dynamischen Druckes im Düsenaustrittsquerschnitt weitgehend beeinflusst werden kann. Besondere Bedeutung hat diese Feststellung bei Verwendung von Querschnittserweiterungen mit grossem Öffnungswinkel. Wird hier die Strömungsenergie im Eintrittsquerschnitt so verteilt, dass sie gegen die Wand hin leicht ansteigt, so können dadurch Strömungsablösungen wirksam verhindert werden. Die gleiche Wirkung kann durch Verwendung von Leitblechen erreicht werden, jedoch nur unter Inkaufnahme von Reibungsverlusten.

Weitere Untersuchungen bestätigten die Wirksamkeit der am mittleren Windkanal des Instituts angewendeten Massnahmen zur Beseitigung von Luftschwingungen. Auch hier war es möglich, die Schwingungen durch Anordnung von zwei aufeinander abgestimmten Entlüftungsöffnungen im Auffangrohr zu beseitigen.

VIII. Stiftungen.

Das Institut dankt den nachstehend angeführten behördlichen Stellen und Werken für die ihm gegebene Unterstützung.

Beteiligung an den Kosten für die Erstellung des Kraftwagen-Vollprüffeldes:

Zu den Stiftungen, die das Württ. Wirtschaftsministerium, die Stadt Stuttgart, Rob. Bosch G.m.b.H., Stuttgart, Luftschiffbau Zeppelin, Friedrichshafen, und die anderen

in 9. Jahresbericht genannten Werke zur Verfügung stellten,
sind im Berichtsjahre noch Stiftungen der folgenden Stellen
hinzugekommen:

AEG., Technisches Büro, Stuttgart
Danzler-Benz A.G., Stuttgart-Untertürkheim
Dinglerwerke A.G., Zweibrücken
Eberaphöcher, Esslingen
Haushahn, Stuttgart
Krupp A.G., Essen
Kalmody u.Co., Duisburg
Moser, Reutlingen
Stadt Stuttgart
P.Stephan, Bad Cannstatt.

Laufende Stiftungen:

Gebr. Böhler u.Co., Stuttgart
Misol Komm.Ges., Stuttgart-Bad Cannstatt
Vereinigte Sauerstoffwerke, Stuttgart-Untertürkheim

Teilstiftungen:

Adlerwerke, Frankfurt a/Main
Bayerische-Motoren-Werke A.G., München
Robert Bosch GmbH., Stuttgart
Continental-Gummiwerke, Hannover
Elektron Co.m.b.H., Bad Cannstatt
Fürstl.Hohenzollernsche Hüttenverwaltung, Laucherthal
Hirth-Motoren G.m.b.H., Stuttgart-Zuffenhausen
Albert Hirth A.G., Stuttgart-Zuffenhausen
Eberh.Hoeckle, Stuttgart
Kienzle Apparate A.G., Villingen
Klauber u.Simon, Dresden
Längerer u.Reich, Stuttgart
Gottfried Lindner A.G., Ammendorf
Mahle Komm-Ges., Stuttgart-Bad Cannstatt
Popp u. Potthof, Werther i.W.
Reichsbahn-Direktion, Stuttgart

Rhenania-Oessag Mineralölwerke A.G., Stuttgart
Ruhrbenzin A.G., Oberhausen-Holten
Karl Schmidt G.m.b.H., Meckersuhl
Johr. Schoch G.m.b.H., Stuttgart-Feuerbach
Stahlwerke Markot, Meicken i.W.
Vereinigte Kugellagerfabriken, Schweinfurt.
Gebr. A.u.E. Waiss, Stuttgart-Wangen.

B. Abteilung Flugmotoren.

I. Allgemeines.

Mit Kriegsbeginn hat das Institut in der Flugmotorenabteilung eine Reihe von Arbeiten, die sich erst in längerer Zeit auswirken konnten, zurückgestellt. Dafür wurden die vordringlichen Aufgaben stärker gefördert und insbesondere eine weitgehende Zusammenarbeit mit der Industrie aufgenommen. Die Abteilung Kraftfahrzeugwesen wurde mit Arbeiten auf dem Flugmotorengebiet betraut und konnte durch die dort vorhandenen Einrichtungen wesentliche Versuche über Fahrwerksfragen rasch zum Anlauf bringen. Grössere Ausbauarbeiten konnten nicht durchgeführt werden.

II. Geleistete Arbeiten.

1) Arbeiten der Konstruktionsgruppe.

Die Konstruktionsarbeiten an Vielzylindermotoren mit kleinen Einzylindern und an Schiebersteuerungen verschiedener Art wurden mit Kriegsbeginn zurückgestellt. Die Erfahrungen kamen in Sonderaufträgen zur Verwertung.

2) Forschungsarbeiten.

a) Arbeiten der Schwingungsgruppe.

Auf dem Gebiete der Drehschwingungen wurden die rechnerischen Untersuchungen über die Schwingungserregung bei mittelbarer Pleuelanlenkung abgeschlossen. Die Untersuchungen an Sternmotoren sowie die Untersuchungen über den Einfluss des Getriebspiels auf das Drehschwingungsverhalten von Getriebemotoren wurden fortgesetzt. Ausserdem wurden Versuche zur Nachprüfung der Koppelercheinungen zwischen den Kurbelwellendrehschwingungen und den Vorbau-Drehschwingungen in Angriff genommen.

Bei den Untersuchungen der Biegeschwingungen von Sternmotorenkurbelwellen wurden die rechnerischen Arbeiten über die Schwingungserregung im wesentlichen abgeschlossen. Die Versuche an Einstern-Biegeschwingungsprüfstand wurden mit verschiedenen Gegengewichten sowie verschiedenen auf dem Hubsapfen angebrachten Ersatzmassen fortgeführt. Ebenso wurden die Arbeiten am Doppelstern-Biegeschwingungsprüfstand nach Einbau der Erregung 7. Ordnung fortgesetzt.

Die Untersuchungen über die Biegesteifigkeit und Biegedauerfestigkeit zusammengesetzter Wellen erstreckten sich auf Versuche an hirthverzahnten Wellen sowie an Schrumpfverbindungen.

b) Arbeiten der Motorengruppe.

Luftkühlungsuntersuchungen.

Die Entwicklung eines Rauchkanals ermöglichte die einfache Darstellung des Verlaufes der Kühlluftströmung in der Verrippung luftgekühlter Motoren. Kühlversuche an elektrisch geheizten Rippenzylindern waren auf die Ermittlung besonders wirksamer Verrippungen und Luftführungen gerichtet. Als sehr wirksam erwiesen sich dabei Luftführungen, durch deren Formgebung die Turbulenz der Kühlluft vor ihrem Auftreffen auf den Zylinder verstärkt wird. Versuche an Einzylindermotoren erbrachten die Bestätigung der im Rauchkanal und am Rippenzylinder gewonnenen Erkenntnisse. Modellversuche im Windkanal dienten der Untersuchung des Formwiderstandes und der Druckverteilung an Motorgondeln mit Sternmotoren und der Schaffung der Grundlagen für die Gestaltung der Motorhauben für Doppel- und Mehrsternmotoren.

Untersuchungen an Kolben und Kolbenringen.

Die in langjährigen Versuchen gewonnene Erkenntnis, dass bei richtiger Bemessung der Spiele des Kolbens und

Vermeidung thermischer Überlastungen fast immer der Kolbenring den Anlass zu Störungen bildet, konnte immer wieder bestätigt werden. Das Festbremsen der Ringe ist abhängig von Art und Menge des Schmierstoffes, von der thermischen Belastung und vom Abdichtungsvermögen, wobei der Ringwerkstoff eine Rolle spielt. Das Brechen der Ringe wird durch geringe Schmiermittelausfällung und ungleichmäßige Radialdruckverteilung stark begünstigt. Nach den hierüber angestellten Untersuchungen scheinen axiale Biegebeanspruchungen bei stellenweise zu starkem Haften der Ringe an Zylinder die unmittelbare Ursache des Ringbrechens zu bilden.

Untersuchungen über Klopfen.

Die messtechnische Erfassung der Klopferscheinungen wurde insbesondere mit elektrischen Messverfahren gefördert. Die an Kolben und Leichtmetallköpfen beim Klopfen festgestellten Anfressungen treten vorwiegend bei reichem Gemisch und starker Vorwärmung an spaltartigen Stellen im Klopfzentrum auf.

Untersuchungen an Leichtmetallzylindern.

Es wurden sehr erfolgreiche Versuche mit verchromten Leichtmetallzylindern durchgeführt, die eine wesentliche Senkung der Kolbenringtemperaturen infolge kleinerer Kolbenspiele und besserer Wärmeleiteigenschaften ergaben. Im Einzylinderversuch konnte der Mitteldruck erheblich gesteigert werden, ohne dass Kolbenfressen eintrat, wie es unter gleichen Bedingungen beim Graugußzylinder der Fall ist.

c) Arbeiten der Chemiegruppe.

Ein Schnellverfahren zur Bestimmung des Bleitetraäthylgehaltes in Kraftstoffen wurde entwickelt, das eine Bleitetraäthylbestimmung in etwa 8 min durchzuführen gestattet.

Mit dem im Verbrennungsraum von Flugmotoren gebildeten Bleibromid wurden Korrosionsversuche an Kupfer, Zink, Aluminium und Leichtmetall-Legierungen unter verschiedenen Bedingungen durchgeführt.

An verschiedenen Flugmotoren-Kraftstoffen wurde der Einfluss von Schwefelverbindungen auf die Klopfestigkeit im Zusammenhang mit der Verbleiung geprüft. Gleichzeitig wurde die Harzbildung bei diesen schwefelhaltigen Kraftstoffen untersucht.

An einen Einsylindermotor wurden Versuche über die Rückstandsbildung von Schmierölen durchgeführt. Hierbei wurde in der Hauptsache der Einfluss des im Kraftstoff enthaltenen Bleitetraäthyls auf das Schmieröl festgestellt. Weiter wurden Versuche durchgeführt, die Teilchengrösse von Schmierölrückständen mikroskopisch zu bestimmen und dabei die darin enthaltenen Bleikristalle mengenmässig zu erfassen.

Die Alterungsvorgänge von Schmierölen wurden am Noack-Gerät verfolgt und der Einfluss von Zusätzen mit hohem Dipolmoment auf das Schmieröl bestimmt.

Ein bekanntes Verfahren zur Vakuum-Destillation von Ölen wurde verbessert und für Siedeanalysen sowie fraktionierte Destillation ausgebaut. Frischöle und gebrauchte Öle wurden nach diesem Verfahren hinsichtlich ihres Siedeverhaltens miteinander verglichen.

Zur Bestimmung der Zusammensetzung von Schmierölen wurden Versuche durchgeführt und in diesem Zusammenhang die Waterman-Analyse erprobt.

d) Arbeiten der Gruppe für Wälzlager.

Die Entwicklung für Flugmotorenlager hat zu sehr hohen Drehzahlen geführt, bei denen die betriebssichere Lagerung Schwierigkeiten bereitet. Es wurden Versuche bis zu Geschwindigkeitsziffern (d_n) von 875 000 entsprechend 45 m/s Wellenumfangsgeschwindigkeit durchgeführt, die auf noch höhere Geschwindigkeitsziffern ausgedehnt werden sollen. Die Frage der Entstehung und Abführung der Wärme ist entscheidend für die Beherrschung hoher Drehzahlen und steht in engem Zusammenhang mit der Frage der zweckmässigsten Schmierung.

Ausserdem wurden Versuche über das Einarbeiten der Wälzkörper als Folge von Erschütterungen im Stillstand durchgeführt, wobei aufschlussreiche Erkenntnisse über den Vorgang selbst gewonnen werden konnten.

Weitere Untersuchungen befassten sich mit der Ermüdung von Laufbahnen und Wälzkörpern unter der in Lager vorliegenden Wälbeanspruchung bei verschiedenen Krümmungsverhältnissen.

e) Arbeiten der Gruppe für elektrische Meßtechnik.

Zur Untersuchung der bei den verschiedenen Forschungsarbeiten anfallenden meßtechnischen Arbeiten wurden mehrere Meßgeräte und Meßverfahren neu entwickelt oder verbessert.

Zur rasch aufeinanderfolgenden Messung von Temperaturen mittels Thermoelementen wurde ein Gerät aufgebaut, bei dem die Thermospannungen über einen Wähler nacheinander einer Braunschen Röhre zugeführt werden. Das Schirmbild dieser Röhre zeigt unmittelbar das Temperaturfeld des ausgemessenen Gegenstandes. 100 Meßstellen können so in etwa 10 s abgetastet werden.

Zur Messung von Drehschwingungen wurde ein nach dem gegeninduktiven Meßverfahren arbeitendes Gerät weiter entwickelt, das den Meßwert unmittelbar anzeigt, wobei nur eine einzige Eichung notwendig ist.

Die Möglichkeiten zur Messung des Klopfbeginns am Ottomotor wurden untersucht. Es zeigte sich, dass durch Abtasten der Wände des Zylinders oder des Kopfes der Beginn des Klopfens genau angezeigt werden kann, und zwar beim Einzylindermotor durch eine Braunsche Röhre oder ein Zeigergerät, bei Mehrzylindermotoren wenigstens durch die Braunsche Röhre. Zur Trennung der Klopferschwingungen von Erschütterungen, die durch die Ventilstösse hervorgerufen werden, sind besondere Maßnahmen getroffen worden.

Für die Abnahme der Wandschwingungen bewähren sich sowohl dynamische Geber als auch Quarzgeber, die durch Einschrauben in einen Blindstopfen als Beschleunigungsanzeiger wirken. Mikrophone geben weniger klare Aufnahmen.

Das Spektrallinien-Umkehrverfahren zur Messung der Temperaturen bei der Verbrennung aus den Na- und K-Linien wurde zur Eichung des Photozellen-Meßverfahrens herangezogen und damit dann wesentliche Erkenntnisse erzielt.

Zur Verfeinerung des piezoelektrischen Druckmeßverfahrens wurde eine grössere Anzahl von Quarzgebern auf Erschüt-

terungsempfindlichkeit und Lage der Eigenfrequenz untersucht. Beide Werte konnten durch konstruktive Maßnahmen günstig beeinflusst werden. Ferner wurden die Gleichstromverstärker für dieses Meßverfahren wesentlich verbessert.

f) Arbeiten der Gruppe Strömungsmaschinen.

Die Entwicklungsarbeiten an Axialgebläsen wurden in der Richtung fortgesetzt, hohe Druckstufen zu erreichen. Dazu wurde ein einstufiges Rad entworfen und gebaut, dessen Schaufeln Joukowski-Profil besitzen. Bei den Versuchen konnte mit einem Liefergrad $\varphi = 0,4$ und einer Druckziffer $\psi = 0,6$ ein Gebläsewirkungsgrad von 88,5 % und entsprechend bei $\varphi = 0,55$ und $\psi = 0,75$ ein Gebläsewirkungsgrad von 80 % erreicht werden.

Zur weiteren Erhöhung des Stufendruckes wurden an einem einstufigen Axialgebläse Spaltflügel verwendet, die nach den bisherigen Versuchen Erfolge versprechen.

In Erprobung befindet sich ein dreistufiger Axiallader für einen 1000-PS-Flugmotor mit etwa 6 km Gleichdruckhöhe.

g) Arbeiten der Gruppe für Höhenversuche.

Im Großmotorenprüfstand der Höhenanlage wurden während der Berichtszeit Industrierversuche durchgeführt.

An wesentlichen Ausbauarbeiten ist die Erhöhung der Bremsleistung des Grossmotorenprüfstandes durch zusätzliche Kupplung einer Wasserbremse und der Anschluss eines Prüfbettes an die Höhenlage zu nennen.

Mit dem im Laufe des Berichtsjahres in Betrieb genommenen Einzylinder-Höhenprüfstand wurde der Einfluss der Änderung des Kühlluftzusatzes mit der Höhe auf die Wärmeabführung am luftgekühlten Zylinder untersucht. Zu diesem Zweck wurden bei gleichen Motortemperaturen in wechselnden Höhen die zur Wärmeabfuhr notwendigen Kühlluftmengen und Druckgefälle bestimmt.

h) Arbeiten der Gruppe für Fahrwerkmechanik.

Die Untersuchungen erstreckten sich auf Einzelräder und auf ganze Fahrwerke. Sie wurden im Modellverfahren, teilweise auch an naturgrossen Rädern auf der Lauftrommel und

im Schlepptversuch sowie auf rechnerischen Wege durchgeführt. Das Flattern von Einzelrädern wird durch die Grösse des Machlaufs, seitliche Reifenweichheit und anderweitige Elastizitäten in der Befestigung beeinflusst. Das Rollen beim Lande- und Startvorgang von Flugzeugen ist nur dann stabil, wenn der Schwerpunkt vor dem festen Hauptfahrwerk liegt. Beim heute üblichen Heckrad ist dies nicht der Fall, so dass die Neigung zum Ausbrechen vorhanden ist. Dagegen entsprechen Bugradanordnungen dieser Forderung und zeigen im Versuch selbst bei Schielandungen und Überfahren von Hindernissen stetige Richtungshaltung.

3) Sonstige wissenschaftliche Tätigkeit.

Während der Wintermonate berichteten die Institutsangehörigen an einem wöchentlich stattfindenden Vortragsabend über ihre Arbeiten (vgl. A VI c). Zu den Pachttagungen wurden jeweils die Sachbearbeiter entsandt.

Neben den ZWB-Berichten und Berichten über Untersuchungen, die im Auftrage von Industrierwerken vorgenommen sind, hat das Institut eine Reihe von Arbeiten veröffentlicht, über die unter A VI b teilweise berichtet wurde. Darüber hinaus sind hier noch folgende Veröffentlichungen zu nennen:

- W. Kamm, Ergebnisse von Versuchen mit geometrisch ähnlich gebauten Zylindern verschiedener Grösse und Folgerungen für die Flugmotorenentwicklung. Schriften der Deutschen Akademie d. Luftf.-Forschung H.12 (1939).
- O. Widmaier, Siedeverhalten und Rückstandsbildung von Flugmotoren-Kraftstoffen. Jahrbuch 1939 der Deutschen Luftf.-Forschung, Ausg. Triebwerk.
- A. Kimmel, Untersuchungen über die Erregung der Dreh- und Biegeschwingungen bei Flugmotoren. Jahrbuch 1939 der Deutschen Luftf.-Forschung, Ausgabe Triebwerk.
- W. Hampp, Die Belastbarkeit von Rolle und Laufbahn bei Rollenlagern. Jahrbuch 1939 der Deutschen Luftf.-Forschung, Ausgabe Triebwerk.

- F. Weinig, Die zu einem Axialgebläse gleichwertige Profilpolare. Jahrbuch 1939 der Deutschen Luftf.-Forschung, Ausgabe Triebwerk.
- B. Eckert, Versuche an einem Axial-Kühlluftgebläse. Jahrbuch 1939 der Deutschen Luftf.-Forschung, Ausgabe Triebwerk.
- W. Krautter, Außenabmessungen vielzylindriger Sternmotoren auf Grund der Luftkühlungsbedingungen. Jahrbuch 1939 der Deutschen Luftf.-Forschung, Ausgabe Triebwerk.

Streng vertraulich

SD 5

II. Jahresbericht

des Forschungsinstituts für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren

an der Technischen Hochschule Stuttgart

(1940/41)

000199

**BEZIRK VON
FORSCHUNGSINSTITUT FÜR
KRAFTFAHRESEN UND FAHRZEUG-MOTOREN
AN DER TECHN. HOCHSCHULE STUTTGART**

Vertraulich!

000200

II. Jahresbericht

des Forschungsinstituts für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren

an der Technischen Hochschule Stuttgart

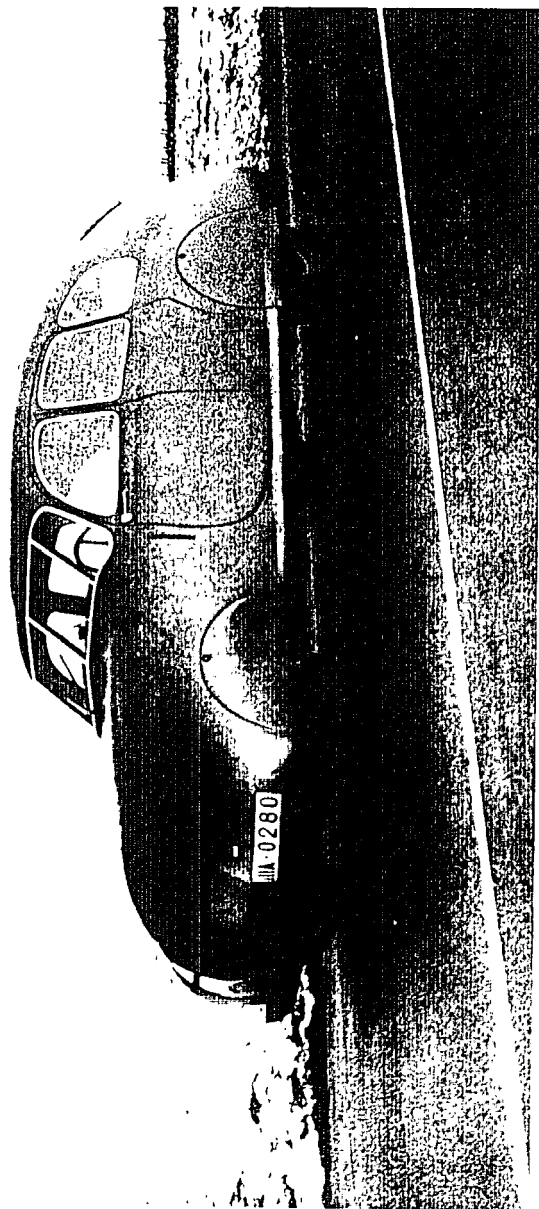
(1940/41)

000201

Inhalts-Verzeichnis

	Seite
I. Die Bedeutung der Grundlagenforschung im Kriege	5
II. Grundlagentische Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	6
1. Triebwerk	6
a) Überleitung des Dieselmotors	6
b) Motorisches Verfahren der Selbstzündung bei Gemischverdichtung	6
c) Schaffung von Grundlagen für Vereinfachung der Einspritzung	7
d) Luftkühlung an Fahrzeugmotoren	7
e) Weiterentwicklung von Meßgeräten	8
2. Fahrwerk	9
f) Luftwiderstands- und Strömungsuntersuchungen	9
g) Steigerung der Fahrstabilität von Kraftwagen	11
h) Steigerung der Verkehrssicherheit im Anhängerfahrbetrieb	11
i) Leichtbau des Kraftfahrzeugs	11
k) Verbesserung der Winterfahrbarkheit des Kraftfahrzeugs	12
3. Kraft- und Schmierstoffe	12
l) Anpassung von Motor und Kraftstoff	12
4. Bereifung	13
m) Reifenverschleiß in Abhängigkeit von Lauffächengestaltung und Innendruck	13
5. Forschungsberichte	14
III. Forschungsarbeiten für Sonderzwecke	14
IV. Veröffentlichungen	16
V. Ausbau	17
VI. Stiftungen	17

000202



I. Die Bedeutung der Grundlagenforschung im Kriege

Der politische Führungsanspruch, den Deutschland gemeinsam mit seinen Verbündeten erhebt und den es in diesem Kriege mit den Waffen durchsetzen gezwungen ist, stützt sich auf seine Überlegenheit den Leistungen auf allen Gebieten menschlicher Betätigung. Der Sieg des deutschen Volkes wird aber nur dann zu einer dauernden friedlichen Zusammenarbeit der Völker auf neuer Grundlage führen, wenn die Leistungen des deutschen Kulturs, Wissenschaft und Technik auch in Zukunft ihren hohen Stand behalten und den Leistungen des deutschen Soldaten in diesem Kriege überbärtig bleiben. Erst dann wird aus der durch die Waffen erzwungenen Anerkennung des deutschen Führungsanspruches die freiwillige Unterwerfung unter das Volk, das auf Grund seiner Leistungen zur Führung berufen ist.

Für die deutsche Technik entsteht aus dieser Ueberlegenheit die Verpflichtung, sich niemals mit dem Erreichten zufrieden zu geben, sondern unermüdet am weiteren Fortschritt zu arbeiten. Es genügt nicht, dasselbe zu leisten wie andere Völker; nur dann, wenn es gelingt, ständig einen Vorsprung aufrechtzuerhalten, kann die deutsche Technik die Führung beanspruchen.

Auf Grund der bitteren Erfahrungen des Weltkrieges weiß das deutsche Volk, daß auch im Kriege die Arbeit am Fortschritt nicht ruhen darf. Selbstverständlich müssen hierbei die Arbeiten, die unmittelbar der Stärkung der Rüstung dienen, den Vorzug erhalten. Die anderen Arbeiten müssen aber zum mindesten in einem solchen Umfange fortgeführt werden, daß die Entwicklung nicht ganz abbricht und eine Grundlage geschaffen wird, auf der die Friedensarbeit ansetzen kann. Die Aufgaben im kommenden Frieden werden zwar andersartig sein als die der deutschen Technik im Kriege gestellt, sie werden aber nicht minder gewaltig sein. Es gilt deshalb, sie von einer möglichst hohen Entwicklungsstufe aus in Angriff zu nehmen. Je höher die Ausgangsstellung ist, desto größer und eindeutiger wird der Einfluß der deutschen Technik auf die künftige Entwicklung. Je bedeutender andererseits die Aufgaben sind, die nach Beendigung des Krieges zu lösen sind, desto größer wird die Auswirkung einer jeden technischen Verbesserung, die heizzeiten vorbereitet worden ist, desto schwieriger aber auch ihre nachträgliche Ausführung.

Die deutsche Kraftfahrtsforschung hat in jahrelanger Friedensarbeit Grundlagen geschaffen, die es der deutschen Industrie gestatten, nach dem Kriege höherwertige Fahrzeuge zu bauen als wir sie vor dem Kriege gehabt haben. Während das Kraftfahrzeug sich bisher in allen Ländern im großen und ganzen empirisch entwickelt hat, ist nunmehr der Zeitpunkt gekommen, durch Anwendung der von der Forschung gewonnenen Erkenntnisse die Möglichkeiten auszuschöpfen, die sich zu seiner weiteren Vervollkommnung noch bieten und die einem gefühlsmäßigen Vorgehen nicht zugänglich sind. Damit ist der Kraftfahrzeugbau im Begriff, den Pfad zu beschreiten, dem der Flugzeugbau schon seit vielen Jahren folgt und der ihn zu seinen großen Erfolgen geführt hat.

Die in den Friedensjahren erarbeiteten Erkenntnisse konnten in der Zwischenzeit an mehreren Versuchsfahrzeugen einer eingehenden Nachprüfung unterzogen werden. Daneben wurden die aus dem jeweiligen Grundgedanken sich ergebenden konstruktiven und herstellungstechnischen Fragen vorgeklärt.

Die Ergebnisse dieser Arbeiten stehen der deutschen Industrie zur Verfügung und ersparen ihr einen großen Teil der sonst notwendigen Entwicklungsarbeit. Darüber hinaus haben die Erfahrungen des Krieges neue Probleme in den Vordergrund gerückt, deren Lösung den Einsatz der Grundlagenforschung erforderte.

Die nachstehenden Abschnitte geben einen knappen Ueberblick über die Fortschritte und den Stand der grundsätzlichen Arbeiten auf dem Gebiete der Kraftfahrt, die das Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart in erster Linie im Auftrage des Reichsverkehrsministeriums durchführt. Wenn diese Grundlagenforschung im Rahmen der derzeitigen Tätigkeit des Instituts auch nur einen kleinen Ausschnitt darstellt, so hilft sie doch, die Entwicklung im Fluß zu

haben und der deutschen Industrie in dem oben angegebenen Sinne den Übergang zu einer befriedigenden Friedensarbeit zu erleichtern. Ueber die Anweisungen, die die Ergebnisse der Untersuchungsarbeiten des Reichsamts für Wirtschaftsausbau auf die Lösung vorliegender Aufgaben der deutschen Wehrmacht haben, wird erst nach dem Kriege berichtet werden können.

II. Grundsätzliche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten¹⁾

I. Triebwerk

a) Ueberladung des Dieselmotors.

Eingehende Untersuchungen des Fahrverhaltens von Lastkraftwagen ergaben, daß der Lastwagenmotor, also auch der Fahrzeugdieselmotor in seiner heutigen Leistungsauslegung nicht genügend an die Steigungen, insbesondere der Reichsautobahnen, angepaßt ist. Da die Ueberwegungsgetriebe zu dem im allgemeinen nur grob gestuft sind, kann die Motorleistung in einem großen Bereich der Steigungen nicht voll ausgenützt werden. Also gerade dann, wenn der größte Leistungsbedarf vorliegt, muß oft im Teillastgebiet des Motors gefahren werden. Geschwindigkeitsabfall, unter Umständen auch erhöhter spezifischer Kraftstoffverbrauch sind die Folge. Wenn man die Möglichkeit schaffen könnte, in betriebmäßig einwandfreier Weise die Motorleistung kurzzeitig zu steigern, so würde das Abhilfe bringen. Eine hohe Durchschnittsgeschwindigkeit ergibt sich nicht so sehr durch Erhöhen der Höchstgeschwindigkeit, als vielmehr der Mindestgeschwindigkeit an Steigungen.

Eine Leistungssteigerung durch vermehrte Kraftstoffzufuhr erfordert eine entsprechend erhöhte Zufuhr von Sauerstoff. Dies ist auf zwei Wegen erreichbar:

Eine erste Möglichkeit besteht in dem Zusatz reinen Sauerstoffs zur Ansaugluft. Sie wurde vom Institut bereits früher untersucht. Es zeigte sich, daß ohne besondere Maßnahmen Leistungssteigerungen bis ungefähr 40% möglich sind. Das Verfahren hat jedoch einige betriebstechnische Nachteile.

Die zweite Möglichkeit besteht in der Ueberladung des Motors, also in der Vergrößerung der Luftladung. Sie erfordert zwar größeren baulichen Aufwand, ist aber wegen der Unabhängigkeit von einem mitzuführenden Sauerstoffvorrat dem ersten Verfahren überlegen. Die Anwendbarkeit der Ueberladung zur kurzzeitigen Leistungssteigerung der Lastwagen-Dieselmotoren soll daher konstruktiv und versuchsmäßig geprüft werden. Die Versuche werden am FKFS-Dieselmotor durchgeführt. Mit Rücksicht auf kriegswichtigere Aufgaben mußten sie längere Zeit ausgesetzt werden.

b) Motorisches Verfahren der Selbstzündung bei Gemischverdichtung²⁾.

Die bisherigen Arbeiten ergaben, daß bei entsprechender Erhöhung der Zündwilligkeit des Kraftstoffes Selbstzündung im gemischverdichtenden Motor in jedem Falle erreicht werden kann. Im allgemeinen treten hierbei jedoch heftige Klopferscheinungen auf, die einen längeren Betrieb des Motors unter diesen Bedingungen verbieten.

Versuche, durch Behandlung der Oberfläche von Kolben und Brennraum die Klopfwirkungen zu vermeiden oder wenigstens zu vermindern, scheiterten. Auch durch konstruktive Maßnahmen, wie Zerklüftung des Brennraums, konnte keine ausreichende Verbesserung erreicht werden.

Die Verwirklichung der Selbstzündung im gemischverdichtenden Motor ist nach den heutigen Erkenntnissen nur dann möglich, wenn es gelingt, das Klopfen selbst zu vermeiden. Der Zusatz von Klopfbremsen, wie z. B. Bleitetraäthyl, zum Kraftstoff ist allerdings kein geeignetes Mittel, weil damit zwangsläufig die Zündwilligkeit des Kraftstoffes unter die zulässige Grenze herabgesetzt wird.

¹⁾ Ueber die konstruktiven Entwicklungsarbeiten sowie die chemischen Untersuchungen, die in den früheren Jahresberichten gesondert behandelt wurden, wird in dem nachfolgenden Abschnitt zusammen mit den übrigen Aufgaben berichtet.

²⁾ Diese Aufgabe wird seit dem 1. Januar 1940 im Auftrage des Reichsamts für Wirtschaftsausbau bearbeitet mit dem Ziel, die Verwendung von Kraftstoffen niedriger Oktanzahl im Fahrzeugmotor zu ermöglichen.

In der Veränderung des Kraftstoff-Luft-Gemisches besteht nun eine weitere Möglichkeit, den Verbrennungsablauf zu beeinflussen. Verändert man in einem Selbstzündungsmotor das Verhältnis von Kraftstoff zu Luft, so zeigt sich zunächst, daß dieser Motor in einem wesentlich größeren Bereich des Mischungsverhältnisses betriebfähig ist als der gewöhnliche Zündmotor. Im größten Teil des Bereichs geht der Betrieb unter heftigen Klopferscheinungen vor sich. Die Gemische werden indessen von einem verhältnismäßig schmalen Bereich nichtklopfender Selbstzündung gebildet und zwar sowohl auf der kraftstoffreichen, als auch auf der kraftstoffarmen Seite. Die auf der kraftstoffarmen Seite sich ergebenden Leistungen und Verbrauchswerte entsprechen ungefähr denen des heutigen Fahrzeug-Dieselmotors. Die Aufgabe besteht nunmehr in der Erweiterung dieses Bereichs und in der Schaffung einer genauen Gemischregelung.

Ueber die bisher vorliegenden Ergebnisse wurde dem Reichsverkehrsministerium anlässlich des Abschlusses der von ihm in Auftrag gegebenen Arbeiten (Deutsche Kraftfahrtsforschung Zwischenbericht Nr. 99) und dem Reichsamt für Wirtschaftsausbau (FKFS-Ber. Nr. 392) Bericht erstattet.

c) Schaffung von Grundlagen für Vereinfachung der Einspritzung.

Die im letzten Jahresbericht geschilderten Schwierigkeiten in der gleichmäßigen Verteilung der von der Membranpumpe geförderten Kraftstoffmenge auf die einzelnen Zylinder rühren von den Druckschwingungen der Kraftstoffsaule in der Einspritzanordnung her. Die Schwingungen entstehen einmal durch die Förderstöße der fortlaufend fördernden Pumpe, weiter durch das Arbeiten des Verteilers, der dem Kraftstoff den Weg zu den einzelnen Zylindern freigibt, schließlich durch den Rückwurf der an den Einspritzdüsen ankommenden Wellen. Die vom Verteiler und von den Düsen ausgehenden Schwingungen überlagern sich dem Förderstoß und bestimmen zusammen mit diesem den zeitlichen Einspritzverlauf. Um vor dem Verteiler einen von Pumpen- und Verteilerstellung möglichst unabhängigen Druck zu erhalten, wurde zwischen Pumpe und Verteiler ein Speicher eingeschaltet. Eine ausreichende Verminderung der Druckschwingungen konnte allerdings bisher lediglich bei einer Speichergröße erreicht werden, die für den Einbau in ein Fahrzeug nicht in Frage kommt.

Eine Ausgleichsmöglichkeit bietet die Erhöhung der Pumpendrehzahl. Bei den ersten Versuchen lief die Pumpe mit halber Kurbelwellendrehzahl, so daß bei einem Vierzylindermotor auf vier Einspritzungen nur ein Förderstoß kam. Durch Verdoppeln der Pumpendrehzahl ließ sich die Verteilung bereits wesentlich verbessern. Einer nochmaligen Verdoppelung der Pumpendrehzahl, die beim Vierzylindermotor die Förderstöße mit den Einspritzungen in Einklang bringen würde, steht insbesondere die Massenträgheit der Pumpenventile entgegen.

Die Gleichmäßigkeit der Verteilung hängt ferner von der Ausführung und dem Zustand der Einspritzdüsen ab. Mit einfachen offenen Lochdüsen gelang es auch bei gleichbleibendem Druck im Speicher und gleichen, vom Verteiler gesteuerten Öffnungszeiten nicht, eine gleichmäßige Verteilung zu erreichen. Es zeigte sich, daß es höchstens mit großem Aufwand möglich ist, offene Lochdüsen herzustellen, die in Bezug auf Querschnitt und Ausflußzahl völlig gleich sind. Aber auch bei derselben Düse ändert sich die Durchflußmenge während der Betriebszeit, weil die Düse trotz Filterung des Kraftstoffes verschmutzt und bei Einbau in die Zylinderwand verkoken kann.

Die Untersuchungen werden mit geschlossenen Düsen weitergeführt, deren Querschnitt veränderlich und einstellbar ist. Das Ziel der Versuche besteht unter anderem in der grundsätzlichen Klärung der Frage, ob es möglich ist, eine völlig betriebsreife Speicher-Einspritzanordnung zu schaffen.

d) Luftkühlung an Fahrzeugmotoren.

Die Aufgabe wurde sowohl von der Seite des Kühlluftgebläses und der Kühlluftführung, als auch von der Seite des Motors, ferner in Bezug auf das Zusammenarbeiten von Motor und Gebläse im Kraftwagen weiterbearbeitet.

Die vom Gebläse aufzubringende Leistung wird durch das Produkt aus der erforderlichen Druckerhöhung der Kühlluft, ihrer Durchsatzmenge und dem Kehrwert des Gebläsewirkungsgrades bestimmt. Die Druckerhöhung hängt neben dem Grad der Fahrwindausnützung und der Druckverteilung am Fahrzeugkörper von der Art der Kühlluftführung ab von der Stelle, an der die Luft in die Motorhaube eintritt, bis zu der Stelle, an der sie diese wieder verläßt. Während heutige Kühlluftführungen

Antreibungsgrade in der Größenordnung von 20 bis 25% aufweisen, lassen sich bei Beachtung aerodynamischer und thermodynamischer Gestaltungsgrundsätze Wirkungsgrade von etwa 70% erreichen. Das angestrebte Ziel, den Leistungsaufwand für die Kühlungsförderung möglichst klein zu halten, verlangt also neben der Entwicklung von Gebläsen mit hohen Wirkungsgraden eine genaue Beachtung der Strömungsverläufe der Kühlluft.

Die geforderte Luftdurchstrommenge richtet sich bei gegebener Lasterwärmung im wesentlichen nach der jeweiligen Motorleistung. Aerodynamisch günstig ausgebildete Kühlanlagen, die zudem thermodynamisch stets Gleichgewicht zwischen abgeführter und anfallender Wärmemenge gewährleisten, verlangen eine Regelung des Gebläses, die sich als Druck-, Schaufelverstellung oder Drehzahlregelung verwirklichen läßt. Wie Untersuchungen des Instituts, die in Heft 51 der Deutschen Kraftfahrtforschung behandelt sind, ergeben, ist die Drehzahlregelung energie- und regeltechnisch betrachtet weitaus die günstigste.

Die für einen vorhandenen Verbrennungsmotor entworfenen und gebauten drei Axialgebläse mit verschiedenem Verlauf der Breite des Gebläseflügels über seiner Länge wurden sowohl am Prüfstand, als auch am Motor auf ihre Eignung untersucht. Die Ergebnisse werden in Heft 67 der Deutschen Kraftfahrtforschung mitgeteilt.

Da das Gebläsegeräusch bei hohen Drehzahlen störend ist, wurde auf Grund neuerer Untersuchungen ein langsamer laufendes Axialgebläse entwickelt. Um trotz der Drehzahlerniedrigung die verlangte Druckerhöhung zu erhalten, wurden für das Gebläse Schaufeln mit Joukowski-Profilen gewählt. Mit diesen Profilen können hohe Auftriebsbeiwerte bei kleinen Widerstandsbeiwerten erreicht werden. Ein derartiges Gebläse wurde gebaut und wird demnächst in die Fahrerprobung kommen. Seine Druckzahl, d. h. die auf den Staudruck der Blattspitzen-Umfangsgeschwindigkeit bezogene Gesamtdruckerhöhung, beträgt einschließlich Leitvorrichtung bis 0,6.

Da die Umfangsgeschwindigkeit, die das Gebläsegeräusch maßgebend beeinflusst, als Folge der Druckzahlerhöhung wesentlich kleiner sein kann, dürfte in Bezug auf die Geräuschminderung das getan sein, was von seiten des Gebläsebauers möglich ist. Es besteht jedoch noch die weitere Aufgabe, Geräuschdämpfer zu entwickeln, welche im wesentlichen den unangenehm empfundenen Pfeifton ausschalten, ohne nennenswerte zusätzliche Strömungs- und Reibungsverluste zu verursachen.

Am ersten Versuchsmotor, der allerdings noch mit dem schnelllaufenden Gebläse ausgerüstet ist, hatte der Einbau von Geräuschdämpfern bei ausreichender Dämpfung eine unzulässig starke Verschlechterung der Motorkühlung zur Folge. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß als Versuchsmotor ein umgebauter, ursprünglich wassergekühlter Motor mit entsprechend engen Kühlluftquerschnitten und nur beschränkten Einbaumöglichkeiten für Geräuschdämpfer dient. Nicht ausreichend große Kühlluftquerschnitte an den heißesten Stellen des Motors, besonders in der Gegend der Auslaßventile und -kanäle, verlangen übermäßig hohe Gebläsedrucke. Diese Auswirkung des Dämpfer-einbaues kann erst an der nächsten Versuchsausführung vermieden werden.

Günstigere Kühlverhältnisse für den Motor sind durch den Einbau von Leichtmetall-Zylinderbüchsen zu erwarten. Solche Zylinderbüchsen können in Bälde in Erprobung genommen werden.

Die Sammlung von Erfahrungen mit dem ersten seitengesteuerten Versuchsmotor, der in Heft 67 der Deutschen Kraftfahrtforschung eingehend beschrieben wird, im Fahrbetrieb wurde fortgesetzt. Die Schmierölkühlung durch den Fahrtwind erwies sich bisher zwar als ausreichend; das Auseinandergehen von Wärmeanfall und -abfuhr beim Bergsteigen und bei Schnellfahrt auf der Autobahn veranlaßt indessen, nach Lösungen zu suchen, die eine bessere Anpassung ergeben.

Auf Grund der Ergebnisse der Fahrversuche mit dem seitengesteuerten Motor wurden Entwürfe für weitere luftgekühlte Motoren angefertigt und Einzylinderversuche vorbereitet.

e) Weiterentwicklung von Meßgeräten.

Um die vom Motor an die Triebräder übertragene Leistung unmittelbar messen zu können, wurde in Ermangelung geeigneter handelsüblicher Geräte ein Leistungsmeßgerät in Entwicklung genommen, das als Meßnabe z. B. zwischen Schaltgetriebe und Gelenkwelle eingefügt werden kann. Das Gerät besteht im wesentlichen aus einem mehrpoligen Magnetkörper mit ungleich bemessenen radialen

Polpaßen, der als Läufer in einem mehrpoligen Ständer umläuft, wobei auch die axialen Luftspalte zwischen Ständer und Läufer ungleich bemessen sind. Die Pole des Ständers werden von Eisenkörpern gebildet, die Spulen tragen.

In unbelastetem Zustand wird bei einem Umlauf des Magnetkörpers in den Spulen des Ständers eine Spannung erzeugt, die der Drehzahl verhältnißig ist. Wird die Welle belastet, so ändern sich die radialen Polspalte des Magnetkörpers. Bei geeigneter Dimensionierung der radialen und axialen Spalte wird diese Spaltweiteänderung eine wesentliche Spannungsänderung nur in einem Teil der Ständer-spulen hervorrufen. In den anderen Spulen wird die Spannung sich nur wenig ändern.

Da der Spannungsunterschied in den beiden Spulengruppen dem Drehmoment verhältnißig ist, erhält man bei Gegeninstandhaltung ein Maß für das Produkt aus Drehzahl und Drehmoment, d. h. für die Leistung. Das Meßergebnis wird am Ausschlag eines Zeigergerätes abgelesen. Eine besondere Stromquelle ist nicht nötig. Versuche mit dieser Meßnabe sind zur Zeit im Gange.

Um Geräuschmessungen leichter durchführen und insbesondere die Wirkung von Dämpfungsmaßnahmen leichter prüfen zu können, wurde unter beratender Mitwirkung der Eberspächer-Werke, Eßlingen, eine schalldämmende Zelle aufgestellt, in der die Schallausbreitung der dem freien Schallfeld entsprechenden Ausbreitung so nahe kommt, daß in vielen Fällen eine genügende Wiederherstellbarkeit der Meßergebnisse möglich ist. Unter Verwendung dieser Zelle wurde ein Dämpfer für den Ansaugkanal eines Kühlluftgebläses gebaut, der das Luftgeräusch um etwa 20 Phon herabsetzt, obwohl bei großem verlangtem Querschnitt nur eine ganz kurze Baulänge zur Verfügung steht. Der Strömungsverlust im Dämpfer dürfte bei Ausnutzung aller Möglichkeiten in erträglichen Grenzen zu halten sein (vgl. II d).

Für Geräuschmessungen im Fahrzeug selbst wurde ein Lautstärkemesser mit Zusatzgerät für Frequenzbestimmung entwickelt, mit dem auch Körperschallschwingungen untersucht werden können. Die Arbeiten an diesem Gerät, das auf die besonderen Bedingungen am Fahrzeug zugeschnitten ist, sind noch im Gange.

2. Fahrwerk

f) Luftwiderstands- und Strömungsuntersuchungen.

Die Untersuchungen über grundsätzliche Formfragen bodennaher Körper, die bereits im Geschäftsjahr 1938/39 begonnen worden waren (vgl. 9. Jahresbericht), aber wegen vordringlicher anderer Arbeiten nicht fortgesetzt werden konnten, wurden im Berichtsjahr wieder aufgenommen.

In einem ersten Teil der Untersuchungen wurde in der Hauptsache die obere Umströmung eines strömungsgünstigen Grundkörpers in einer senkrechten Längsebene beim Anblasen im Windkanal geklärt. Als Grundkörper wurde ein Stromlinienkörper nach Art eines Tragflügels (Tragflügelprofil Göttingen 692) gewählt. Die Abmessungen und die Anordnung des verwendeten Tragflügelabschnittes entsprachen in Bezug auf größte Höhe, Breite (Spurweite), Länge (Radstand) und Bodenabstand etwa den auf den zehnten Teil verkleinerten Abmessungen eines normalen mittelgroßen Kraftwagens. Das Versuchsmodell war so gestaltet, daß durch Auswechseln von verschiedenen ausgebildeten Stücken der obere Verlauf des Bug- und Heckteils geändert werden konnte. An den Seiten war das Modell zunächst senkrecht abgeschnitten, so daß der Einfluß störender Randwirbel, der u. U. von Bedeutung für die Meßergebnisse sein kann, in Kauf genommen werden mußte. Eine Klärung dieses Einflusses so wie der zweckmäßigen seitlichen Gestaltung des Wagenkörpers überhaupt, also auch der Zulässigkeit von Endscheiben bei der geringen Körperbreite, ferner der Ausbildung des Fahrzeugbodens ist späteren Untersuchungen vorbehalten.

Bei diesen ersten Versuchen sollten im wesentlichen zwei Fragen beantwortet werden:

1. Wie beeinflusst die aus verkehrstechnischen Gründen notwendige Verkürzung des langen Tragflügelchwanzes die Heckströmung und den Luftwiderstand? Ist es bei begrenzter Fahrzeuglänge überhaupt nötig, das Dach von der durch die Insassen bedingten größten Höhe mit mehr oder weniger steilem Abfall in eine waagrechte untere Schneide auslaufen zu lassen (Jaray-Form) oder ist die dem Tragflügelprofil entsprechende sanfte Krümmung zweckmäßig bis zum Fahrzeugende beizubehalten, so daß eine senkrechte hintere Abschlußfläche entsteht (abgeschnittenes Heck nach Kamm).

2. Wie wird die Strömung von der Begrenzung beeinflusst? Wird die Umströmung des ursprünglich runden Tragflügelansatzes z. B. durch stufenförmige Abzugen entsprechend dem Profil von Motorhaube und Windkugelhülse verwickelt? Welche Neigung muß bei guter Umlenkung die Windkugelhülse haben, und wie ist hierbei der Übergangsbereich zwischen Windkugelhülse und Deck zu wählen?

Da die Umströmung des Fahrzeugkörpers ein räumlicher Vorgang ist, soll über die Ergebnisse dieser auf die ebene Strömung beschränkten Teiluntersuchung im Zusammenhang mit den Ergebnissen der nach stehenden Versuche über den Einfluß der Randströmungen berichtet werden.

Die im Berichtsjahr 1939/40 durchgeführten Versuche über die Zusammenhänge zwischen der Fahrzeugform und den bei Seitenwind auftretenden Luftkräften und -momenten wurden in Heft 50 der Deutschen Kraftfahrtforschung wiedergegeben.

Dergleichen wurde die Nachprüfung der Modellmessungen im Windkanal durch Auslaufversuche an den entsprechenden Großaufbauten der verschiedenen Fahrzeug-Baumuster mit einem Bericht abgeschlossen (Heft 66 der Deutschen Kraftfahrtforschung). Um die Genauigkeit der Ergebnisse von Auslaufversuchen noch weiter zu erhöhen, wurde im Laufe des Berichtsjahres begonnen, verschiedene Verfahren, nach denen Auslaufversuche ausgewertet werden können, kritisch zu vergleichen, die Berechtigung ihrer jeweiligen Annahmen zu prüfen und sie nach Möglichkeit zu vereinfachen und zu verbessern.

Die Fahrerprobung der mit widerstandsparmen Aufbauten der Kamm-Form versehenen Versuchspersonenkraftwagen (K 1- und K 2-Wagen) wurde fortgeführt. Die zur Erreichung voller Fahrtrichtungsstabilität an einem dieser Fahrzeuge (K 1-Wagen) angebrachten Spaltflossen aus Stahlblech wurden durch solche aus durchsichtigem Kunststoff ersetzt, die die klare Linienführung der Wagenform nicht mehr stören und zudem für überholende Fahrzeuge die Sicht nicht mehr beeinträchtigen (s. Bild).

Die Arbeiten an einem weiteren Versuchswagen waren am Ende des Berichtsjahres soweit gediehen, daß mit seiner baldigen Fertigstellung gerechnet werden kann. Wie bereits im letzten Jahresbericht ausgeführt, soll mit diesem Fahrzeug (K 4-Wagen) der Beweis erbracht werden, daß die vom Institut für die Gestaltung der Außenform aufgestellten Grundsätze sich auch ohne große Eingriffe in die heute übliche Bauweise und ohne wesentliche Abweichung von der heutigen Geschmacksrichtung verwirklichen lassen. Der Wagen erhält eine in der Bedienung weiter vereinfachte Reifendruck-Regleinrichtung (vgl. II m), ferner eine neuartige Lüft- und Heizanlage, die sich zwanglos in die gleichfalls verbesserte Motor-Kühlanlage mit geschlossener Kühlluftführung einfügt.

Der Luftstrom tritt in der Nähe des Staupunkts in die Kühlanlage ein und wird zunächst vom Kühlgebläse auf den zur Überwindung der Strömungswiderstände nötigen Druck gebracht, falls die Geschwindigkeitsenergie des Fahrwinds dazu nicht ausreicht. Hinter dem Gebläse kann der Luftstrom geteilt werden. Der größte Teil der Luft fließt durch den Kühler, der mit Rücksicht auf die strömungsgünstig gestaltete flache Motorhaube besonders niedrig ist, und wird darauf durch einen kurzen Kanal noch vor dem Motorblock zum Fahrzeugboden geführt, wo die Luft durch einen regelbaren Schlitze gleichgerichtet zur umströmenden Luft austritt. Ein der Kühlwassertemperatur ausgesetzter Wärmefühler regelt selbsttätig die Luftaustrittsöffnung und schaltet das üblicherweise nicht mitlaufende Kühlgebläse bei sehr hoher Wassertemperatur (90°) über eine Magnetkupplung ein.

Ein Teil der kalten Frischluft wird im Sommer durch eine geschlossene Luftführung, in die ein Schalldämpfer und ein Staubfilter eingebaut sind, in den Fahrgastraum gedrückt. Im Winter wird die Luft für die Innenraumbelüftung und -heizung in erwärmtem Zustande hinter dem Kühler entnommen und zur Temperaturregelung gegebenenfalls mit kalter Frischluft gemischt. Die Anlage vereinigt in sich die Vorzüge einfacher und wirksamer Belüftung und Beheizung des Fahrgastraumes mit dem Vorteil geringen Leistungsaufwandes für die Motorkühlung. Die künstliche Belüftung entspricht einer dringenden Forderung besonders für strömungsgünstige Wagen, bei denen die Wirbel der Außenluft an kantigen Fensterposten und ihre Belüftungswirkung beim Öffnen eines Fensters fehlen. Wie sich die Anforderungen an Frischluft und Heizung in allen vorkommenden Betriebsfällen auf die Kühlanforderungen des Motors abstimmen lassen, darüber sollen an der ausgeführten Anlage Erfahrungen gesammelt werden.

a) Steigerung der Fahrtrichtungsstabilität von Kraftwagen.

Die über die Fahrtrichtungsstabilität schnellfahrender Kraftfahrzeuge im Institut in dem vergangenen Jahre gemachten Erkenntnisse (Heft 44 sowie Zwischenbericht 89 der Deutschen Kraftfahrtforschung) fanden ihre Bestätigung in Fahrversuchen mit dem seitwindempfindlichen K 1-Wagen. Sie sollen weiter durch Modellversuche nachgeprüft werden, bei denen Modelle strömungsgünstiger Wagenformen (Jaggy-Wagen, Kamm-Wagen mit und ohne Doppeldeckerbau) unter Anwendung der Anholostvorrichtung quer durch den Luftstrom eines Windkanals sollen.

Außerdem sind Fahrversuche an einer Reihe von Wagenmustern im Seitenwind geplant. Die Fahrzeuge sollen bei freigelegter Lenkung mit Geschwindigkeiten zwischen 100 und 140 km/h quer durch den Schraubenstrahl eines dreimotorigen Flugzeuges vom Hammer Ju 52 fahren, und ihr Verhalten dabei soll beobachtet und im Laufbild festgehalten werden.

Bei der Neuaufstellung der Trassierungsgrundsätze für die Reichsautobahnen konnte das Institut auf Grund der vorliegenden Arbeiten über die Fahrlage des Kraftwagens in der Kurve (Heft 44 der Deutschen Kraftfahrtforschung) und die Fahrmechanik des gummibereiteten Kraftwagens (Zwischenbericht 89), ferner von Beobachtungen auf Versuchsfahrten wertvolle Hinweise geben. Zu Beginn einer Linkskurve auf einer Autobahn ohne Übergangsbogen hat der Lenker eines schnellfahrenden Kraftwagens oft das Empfinden, daß der Wagen nach der Bogeninnenseite gezogen wird. Um ein Ausbrechen aus der Fahrbahn zu verhindern, muß er nach rechts gegenlenken, also entgegengesetzt zu der Richtung, die das Nehmen einer Linkskurve verlangt.

Dieser unerwartete Seitenzug ruft beim Fahrer ein Gefühl der Unsicherheit hervor. Er läßt sich indessen zwanglos erklären, wenn man bedenkt, daß die Fahrbahn in der Geraden weit vor der Kurve eine Querneigung nach rechts hat, die auf einem kurzen Stück vor der Kurve in die der Kurvenüberhöhung entsprechende Querneigung nach links verwandelt wird. Auf der nach rechts geneigten Fahrbahn in der Geraden wirkt auf das Fahrzeug die Seitenkomponente der Schwerkraft, zu deren Ausgleich es sich wegen der seitlichen Nachgiebigkeit der Reifen unter einem Schwimmwinkel zur Fahrtrichtung einstellen muß. Verschwindet nun diese Seitenkraft, so wird das Gleichgewicht gestört und das Fahrzeug nach links getrieben. Diese Erscheinung kann vermieden werden, wenn ein Übergangsbogen eingeschaltet wird, auf dem der Übergang von der Rechts- in die Linkquerneigung so abgestimmt wird, daß die in der Geraden wirkende Seitenkraft nach rechts erhalten bleibt.

b) Steigerung der Verkehrssicherheit im Anhängerfahrbetrieb.

Wegen anderer dringender Aufträge konnte an dieser Aufgabe nicht weitergearbeitet werden.

i) Leichtbau des Kraftfahrzeugs.

Wie bereits im 10. Jahresbericht erwähnt, wurde im Institut unter Berücksichtigung der Erkenntnisse des Flugzeugbaues ein selbsttragender Leichtmetallkörper für einen Personenkraftwagen entworfen, mit dessen Herstellung unterdes begonnen werden konnte (K 3-Wagen). Er soll in Zukunft Ausgangsfahrzeug von etwa 30% und dadurch, besonders aber durch strömungsrichtige Ausbildung der Außenform und Anwendung der Reifendruckregelung im Reisedurchschnitt eine Kraftstoffersparnis von etwa 40 bis 50% ergeben.

Die auf Grund der Erkenntnisse der deutschen Kraftfahrtforschung — insbesondere durch strömungsgünstige Formgebung — mögliche Senkung der Fahrwiderstände wirft eine Frage auf, die auch mit dem Problem des Leichtbaues zusammenhängt. Mit der Senkung der Fahrwiderstände wächst bei üblichen Fahrzuständen der Unterschied zwischen verfügbarer und in Anspruch genommener Motorleistung. Nun wäre es nicht richtig, die Motorleistung durch Einbau eines schwächeren Motors entsprechend zu verringern, weil man sich dann des Vorteils hoher Beschleunigungs- und Bergsteigefähigkeit begeben würde. Ein leistungsfähiger Motor würde, aber auf ebener glatter Bahn fahren können. Wollte man außerdem die Festigkeit der Fahrzeugkörper, die Bremsen, Reifen usw. nach der erreichbaren Höchstgeschwindigkeit bemessen, so würde man schwere und damit unwirtschaftliche Fahrzeuge erhalten.

Einen Ausweg bildet der Einbau eines Geschwindigkeitsbegrenzers, der allerdings seinen Zweck nur dann erfüllen wird, wenn durch konstruktive oder polizeiliche Maßnahmen (Plombieren) eine

wirkliche Verstellung oder Außerbetriebung sicher verhindert werden kann. Mit der Entwicklung eines geeigneten Gerätes wurde begonnen.²⁾

b) Verbesserung der Winterfahrbarkeit des Kraftfahrzeugs.

Die Betriebseignung des Kraftfahrzeugs im Winter läßt trotz aller Fortschritte zu wünschen übrig. Die wesentlichen Schwierigkeiten lassen sich in fünf Punkten zusammenfassen:

1. Die Gefahr der Eiskühlung im Kühlwasserlauf des Motors.
2. Die mangelnde Betriebssicherheit des Motors in kaltem Zustande.
3. Die ungenügende Anpassungsfähigkeit der Motor-Kühlvorrichtung an niedrige Außentemperaturen.
4. Der Wunsch nach ausreichender Beheizung des Fahrzeugastrums möglichst unter Verwertung der Motorabwärme und ohne Beeinträchtigung der Luftleistungsfähigkeit.
5. Die geringe Haftung der Fahrzeugräder auf Schnee und Eis.

Die erste Schwierigkeit ist durch die Bereitstellung geeigneter Gefrierschutzmittel seitens der Industrie merklich vermindert; der weitergehende Einsatz luftgekühlter Motoren würde sie völlig beseitigen. Die Voraussetzungen des Anspringens insbesondere von Fahrzeug-Dieselmotoren in der Kälte sind in jüngster Zeit an anderer Stelle weitgehend geklärt worden. Das Institut richtet seine Bemühungen nunmehr darauf, eine möglichst einfache Vorrichtung zu schaffen, die ein Erkalten des Schmierölvorrats im Kurbelgehäuse verhindert, da zähes Schmieröl das Erreichen der für das Anspringen notwendigen Bedingungen sehr erschwert. Versuche mit einem fest unter der Kurbelwanne angebauten flachen Katalyt-Heizkörper waren noch nicht erfolgreich. Es sollen daher noch andere Möglichkeiten untersucht werden.

Zur Lösung der Fragen der zweckmäßigen Regelung der Motor-Kühlanlage und einer geeigneten Fahrzeugastrum-Beheizung hofft das Institut durch seine weiter oben geschilderten Arbeiten beitragen zu können (vgl. II d und II f).

Die Verbesserung des ungenügenden Kraftschlusses zwischen Reifen und verschneiter, insbesondere aber vereister Fahrbahn zählt zu den vordringlichsten Aufgaben der Kraftfahrzeugentwicklung. Die schlechte Haftung auf Eis setzt nicht nur die auf den Boden übertragbare Antriebsleistung auf ein geringes Maß herab und stellt dadurch unter Umständen die Fortbewegung in Frage, sie verhindert auch die Anwendung der Bremsen und erhöht die Schleudergefahr in untragbarer Weise. Auf Eis können auch Schneeketten das Schleudern nicht sicher verhindern. Mit Sand ließe sich die Haftung zwar wesentlich verbessern; die im vorigen Jahr durchgeführten Versuche mit Sandstreuern zeigten aber die große Schwierigkeit des Mitführens der dafür notwendigen großen Sandmengen und die Fragwürdigkeit der Betätigung bei plötzlichem Auftreten der Schleudergefahr.

Ohne die Schwierigkeiten zu verkennen, die die Aufgabe stellt, hat das Institut die Entwicklung einer geeigneten Zusatzeinrichtung in Angriff genommen, die zunächst die Schleudergefahr vermindern soll. Die besten Ergebnisse wurden bis jetzt mit gezahnten Stahlscheiben erhalten, die außen an den Radfelgen nachgiebig befestigt werden. Der Außenhalbmesser der Verzahnung ist dabei im üblichen Fahrzustand etwas kleiner als der Rollhalbmesser des Reifens. Auf vereisten Straßen wird er durch Ablassen von Reifenluft größer als der Rollhalbmesser des Reifens. Versuche auch auf hartem Eis zeigten die günstigen Führungseigenschaften dieser Vorrichtung. Die Vortriebskraft war dabei jedoch noch nicht ausreichend. Der Fortgang der Untersuchung leidet unter der Beschränkung der Erprobungsarbeiten auf einige wenige Wochen im Jahr, in denen die Voraussetzungen dazu gegeben sind.

3. Kraft- und Schmierstoffe

1) Anpassung von Motor und Kraftstoff.

Die Untersuchungen, die das Institut mit dem Ziel durchführte, Grundlagen für ein einheitliches Prüfverfahren für Diesel- und Otto-Kraftstoffe unter Anwendung des im Institut entwickelten Zündverzugs-Meßverfahrens zu schaffen, sind mit je einem Bericht über die bisherigen Ergebnisse der

²⁾ Inzwischen hat die Industrie Geschwindigkeitsregler herausgebracht, mit denen Versuche in Angriff genommen worden sind.

motorischen und des chemischen Versuchs zu einem ersten Abschluß gebracht wurden (Heft 62 der Deutschen Kraftfahrtsforschung).

Die Anwendung des Zündverzugs-Meßverfahrens auf Dieselkraftstoffe ist nunmehr soweit erprobt, daß es für die heute gebräuchlichen Kraftstoffe als praktisch voll einseitig bewiesen werden kann. Namentlich konnten nach einige Verbesserungen vorgenommen werden, die die Handhabung weiter vereinfachen. So gelang es, das Verrotten des Quarzleiters durch Aendern der Quarzform und des Ventilverhaltens im FKFS-Prüfmotor nennenswert abzuschwächen. Ein Hojanettverschluß ermöglicht überdies ein rasches Auswechseln des Ventors. Die Photoselle wurde erschütterungsfrei aufgehängt.

Die Schwierigkeit der Bewertung von Otto-Kraftstoffen nach dem Zündverzug liegt teilweise daran, daß der gesamte Oktanzahlbereich von 0 bis 100 einer Änderung der Cetanzahl in den engen Grenzen von rd. 20 bis rd. 50 entspricht. Geringfügige Ungenauigkeiten in der Bestimmung der Cetanzahl wirken sich infolgedessen auf die Ableitung der Oktanzahl in verstärktem Maße aus. Eine größere Genauigkeit erhält man durch unmittelbaren Vergleich des Prüfkraftstoffes mit Gemischen aus Isooktan und n-Heptan oder deren Unterbezugskraftstoffen, was jedoch wegen des Siedeverhaltens der Kraftstoffgemische, die den üblichen Otto-Kraftstoffen im Zündverzug entsprechen, durch Verwendung anderer Eichkraftstoffe anstelle von Cetan und Alphamethylnaphthalin zu verbittern.

In weiteren Versuchen soll in Ergänzung früherer Untersuchungen die Frage geklärt werden, ob der aus dem Indikator-Diagramm sich ergebende Druckanstieg mit dem von der Photozelle angezeigten ersten Auftreten der Flamme bei sämtlichen in Frage kommenden Kraftstoffen zeitlich genau zusammenfällt. Von der Beantwortung dieser Frage hängt ab, ob Zündverzugswerte, die nach den beiden Verfahren gemessen worden sind, miteinander verglichen werden dürfen.

Die Einzylindermotoren zur Prüfung von Kraftstoffen und motorischen Arbeitsverfahren wurden weiterentwickelt und konnten auch im letzten Jahr der Industrie mehrfach zur Verfügung gestellt werden. Eine weitere Herstellung von Einzylinder-Prüfmotoren und anderen Versuchsgeräten ist jedoch während des Krieges nicht mehr möglich.

4. Bereifung

m) Reifenverschleiß in Abhängigkeit von Laufflächengestaltung und Innendruck.

An der bereits vor zwei Jahren aufgebauten Bodendruck-Meßeinrichtung wurden mit Hilfe eines Dreikomponenten-Dynamometers, das die zwischen Reifen und Fahrbahn auftretenden Kräfte in den drei Raumrichtungen zu messen gestattet (vgl. 9. Jahresbericht), Versuche an Reifen von verschiedener Größe und verschiedenem Aufbau ohne und mit Laufflächenmusterung unter verschiedenen Betriebsbedingungen durchgeführt. Verändert wurden unter anderem Radbelastung, Reifennendruck, Radstellung zur Rollrichtung. Durch eine Schleudereinrichtung kann der Versuchsreifen mit Geschwindigkeiten bis zu 50 km/h über den Meßtisch bewegt werden.

Die Messungen zeigten, daß der Reifennendruck besonders die senkrechte Bodendruckverteilung in der Aufstandsfläche beeinflusst, während die Stellung des Rades zur Rollrichtung die längs- und quer zur Rollrichtung auftretenden Schubspannungen stark in Größe und Richtung verändert. Die Reifen durchgeführten Messungen der senkrechten Bodendruckverteilung feststellte, und die von der Steifheit des Reifenmantels herrühren, treten nur bei niedrigem Reifendruck in Erscheinung. Bei einer Erhöhung des Reifendrucks verschwinden sie und die Druckverteilung nimmt bei weiterer Druckerhöhung sogar einen nach der Mitte zu etwas ansteigenden Verlauf an. In der Längsachse der Aufstandsfläche steigt der Bodendruck zunächst steil an, bleibt dann annähernd auf gleicher Höhe und fällt nach dem Auslaufende zu langsam ab.

Die waagrechten Querschubspannungen sind bei Stellung des Rades in Rollrichtung etwa gleichmäßig nach der Längsachse der Aufstandsfläche zu gerichtet. Rollt das Rad dagegen schräg zur Radachse, so werden die Gummiteilchen in der Aufstandsfläche umso stärker von der Radmittelebene abgelenkt, je mehr sie sich dem Auslaufende nähern. Dadurch entstehen zusätzliche Querschubspannungen im Auslaufteil der Aufstandsfläche. Sobald die Spannungen höher werden als die durch die

Bodendruckverteilung gegebener Luftkrieffe, fangen die Gemmischichten an zu gleiten und rücken sich dabei ab. Dieser von H. Fromm grundräßig zuerst angegebene Vorgang wird durch die Messungen der Schubbrennungsverteilung bestätigt. Berichte über die Ergebnisse der Untersuchungen werden veröffentlicht.

Im Rahmen der Weiterentwicklung der Reifendruckregelung, die sich inzwischen im Fahrbetrieb bewährt hat, wurde ein selbsttätiges Schalthventil geschaffen. Beim Betätigen eines Schaltknopfes am Gerätestell des Kraftwagens werden alle vier Reifen gleichzeitig bis zu einem bestimmten, vorher eingestellten Druck aufgepumpt oder entleert. Eine Verbesserung der Betriebssicherheit brachte der Ertrag des Stufenkollventils, das bekanntlich auf das übliche Reifenventil aufgesetzt wird, durch ein Membranventil.

Auf Grund der Betriebserfahrungen mit dem Einstichmeßgerät für Reifennennentemperaturen erwies es sich als notwendig, die Eichung des Geräts, die bisher nur in Abhängigkeit von der Einstichtiefe vorgenommen wurde, durch Eichmessungen in Abhängigkeit vom Temperaturgefälle für verschiedene Gummimischungen und Gummischichtdicken zu vervollständigen. Streng genommen bedeutet das, daß jedes Reifenmuster eine besondere Eichkurve erfordert. Da aber die Art der Gummimischung einen vernachlässigbaren Einfluß ausübt, und die Gummischichtdicken sich jeweils bei Personenwagenreifen oder Lastwagenreifen nicht sehr unterscheiden, genügt es, für jede der beiden Reifengruppen mittlere Eichkurven aufzustellen.

Der Reifenprüfstand mit ebener Laufbahn wurde mit einer Einrichtung für Rollwiderstandsmessungen versehen und erste Vergleichsmessungen auf ebener Bahn durchgeführt. Aus den Messungen geht hervor, daß der Rollwiderstand auf der Straße bei üblichen Reifendrücken um mindestens 10% niedriger ist als der auf einer Trommel von 1,7 m Durchmesser gemessene.

5. Forschungsberichte

Die Ergebnisse der im Rahmen des Forschungsplanes des Reichsverkehrsministeriums durchgeführten Arbeiten wurden in folgenden Berichten zusammengefaßt, die als Schluß- oder Zwischenberichte (SB oder ZB) der Deutschen Kraftfahrtforschung (DKF) erschienen sind oder demnächst erscheinen werden (s. auch unter Veröffentlichungen IV):

	FKFS-Nr.	DKF-Nr.
Nachprüfung der Luftwiderstandsmessungen an Fahrzeugmodellen	314	SB 66
Die Seitenführungskraft des gummiereiften Rades bei Antrieb und Bremsung	320	ZB 100
Versuche an einem Vergasermotor mit Selbstzündung	333	ZB 99
Zündverzögung und Bewertung des Kraftstoffs	341	SB 63
Zündverzögungsmessungen an Diesel- und Otto-Kraftstoffen	344	SB 63
Erweiterung der Gestaltungsgrundlagen für luftgekühlte Kraftwagenmotoren	348	SB 67
Kühlgebläse für luftgekühlte Kraftwagenmotoren	374	ZB 98 SB 67

III. Forschungsarbeiten für Sonderzwecke

Infolge kriegswichtiger Rüstungsaufträge kann die deutsche Kraftfahrtindustrie sich nur wenig der Weiterentwicklung des Kraftfahrzeugs und besonders des Personenfahrzeugs widmen. Die Entwicklung soll jedoch während des Krieges aus den in Abschnitt I genannten Gründen nicht stillstehen. Infolgedessen wenden sich immer mehr Werke der Fahrzeugindustrie mit Entwicklungsaufträgen an das Institut. Die in letzter Zeit veröffentlichten Versuchsergebnisse, insbesondere mit den vom Institut entwickelten und gebauten strömungsgünstigen Fahrzeugen trugen weiter dazu bei, bei der Industrie den Wunsch nach einer engeren Zusammenarbeit mit der Forschung zu wecken.

Nun kann sich zwar auch das Institut mit derartigen Aufträgen nur soweit befassen, wie es seine Arbeiten im Dienste der deutschen Rüstung zulassen. Da jedoch die Voraussetzungen der erfolgreichen Lösung einer Forschungsaufgabe, nämlich geschulte Fachkräfte und neuzeitliche Versuchs- und Prüfeinrichtungen, beim Institut gegeben sind, ist es ihm häufig möglich, in Ausnutzung einer Lücke in

der Reihe kriegswichtiger Arbeiten und mit Unterstützung durch Hilfskräfte der Industrie den Aufweg schneller und umfassender auszuführen als einem Industriewerk.

Im Berichtsjahr wurden für verschiedene Fahrzeugwerke und Fahrzeugtypen unter Berücksichtigung verschiedener Trieb- und Fahrwerke strömungsgünstige Fahrzeugformen entworfen, Anschauungsmodelle aus Plastik und hierauf Holzmodelle hergestellt und diese im Windkanal untersucht. Bei der Anfertigung von ersten Versuchsaufbauten hat das Institut beratend mitgewirkt.

Die laufenden Kraftstoff- und Schmieröluntersuchungen im Auftrage von Industriewerken nahmen auch im Jahre 1940/41 ihren Fortgang. Es wurden 74 Ölproben und 24 Cetanzahlbestimmungen, ferner 39 Kraftstoff- und 30 Schmierölanalysen durchgeführt.

Außer den vorgenannten Arbeiten sowie Gutachten und beratender Tätigkeit in Sonderfragen für staatliche und parteiantliche Stellen wurden noch folgende Arbeiten durchgeführt, die mit einem Bericht abgeschlossen worden sind:

	FKFS-Nr.
Luftkraftmessungen an Personenkraftwagenmodellen	338
Untersuchungen an Kolbenringen	347
Luftkraftmessungen am Modell eines Rennwagenkörpers ^{*)}	349
Luftkraftmessungen am Modell eines Rennwagens ^{*)}	350
Günstigste Kühlluftführung an einem Omnibus mit Heckmotor	353
Luftkraftmessungen an einem Rennwagen-Modell ^{*)}	356
Luftkraftmessungen am Modell eines Personenkraftwagens	357
Windkanaluntersuchungen zur Klärung der Reifenkühlung sowie allgemeine Luftkraftmessungen an zwei Stromlinien-Rennwagenmodellen ^{*)}	358
Luftkraftmessungen am Modell eines Personenkraftwagens	360
Untersuchung eines Kühlluftgebläses für einen Lastkraftwagen	362
Messungen am ersten Benz-Fahrzeugmotor	364
Messungen an einem Kleindieselmotor	366
Vergleich von Schalldämpfern an einem Fahrzeug-Dieselmotor	367
Luftkraftmessungen an einem Personenkraftwagenmodell	368
Luftwiderstandsmessungen an Modellen von Wohnanhängern ^{*)}	369
Einfluß der Kühlluftführung zweier Baumuster auf den Luftwiderstand	370
Reifenkühlungsuntersuchungen an Rennwagenreifen auf dem Kraftwagenrollfeld	371
Berechnung der Kurbelwellenbelastung eines Fahrzeugmotors	372
Rollwiderstandsmessungen an verschiedenen Reifen	377
Einfluß der Motorleistung auf die Fahrleistungen und den Kraftstoffverbrauch des Lastwagens	378
Motorische Untersuchung von Schieferöl	379
Vergleich verschiedener Dachentlüfter für einen Omnibus	381
Versuche zur Verbesserung des Kühlluftgebläses an einem 3,5 t-Lastwagen	387
Entwicklung eines strömungsgünstigen Wagenaufbaues der K-Form	389
Vergleich zwischen Auslaufversuch und Modellmessung für verschiedene Formen eines Personenkraftwagens	390
Luftwiderstandsmessungen an vier Fahrzeug-Gipsmodellen	391
Untersuchungen zur Entwicklung des Selbstzündungsbetriebs im gemischverdichtenden Motor (Auftraggeber: Reichsamt für Wirtschaftsausbau)	392

^{*)} Berichtmäßiger Abschluß von bereits vor dem Kriege durchgeführten Messungen.

IV. Veröffentlichungen

1. F. Fiedler und W. Kamm: Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Personenkraftwagens
Z. VDI Bd. 84 (1940) Nr. 20 S. 485.
2. H. P. Zaopprig: Wellenförmige Reifenabnutzung.
RAK-Tankwart. Bd. 3 (1940) Nr. 6 S. 4.
3. P. Rickert und T. E. Schenk: Zur Fahrmechanik des gummirosten Kraftfahrzeugs.
Ing.-Arch. Bd. 11 (1940) H. 3 S. 210.
4. L. Huber: Strömungsbilder zum Bodeneinfluß.
Z. VDI Bd. 84 (1940) Nr. 29 S. 522.
5. O. Dieg und R. Harting: Die Fahrlage des Kraftwagens in der Kurve.
Deutsche Kraftfahrtforschung H. 44 (1940).
6. L. Huber: Die Fahrtrichtungsstabilität des schnellfahrenden Kraftwagens.
Deutsche Kraftfahrtforschung H. 44 (1940).
7. F. Weinig: Ausfluß aus einer Düse.
Ing.-Arch. Bd. 11 (1940) H. 4 S. 264.
8. L. Huber⁵⁾: Seitenwind und Fahrtrichtungshaltung des Kraftfahrzeugs.
Z. VDI Bd. 84 (1940) Nr. 38 S. 705.
9. H. Ernst und O. Widmaier: Einheitliches Prüfverfahren für Diesel- und Otto-Kraftstoffe auf der Grundlage der Zündverzugsmessung.
ATZ Bd. 43 (1940) H. 20 S. 501.
10. F. Weinig: Die Zugbeanspruchung der Kühlgebläseflügel von Kraftfahrzeugen durch die Fliehkraft. ATZ Bd. 43 (1940) H. 21 S. 535.
11. E. Neher: Klopfmessungen an Otto-Motoren,
Arch. techn. Messen, September 1940, V 8234—1.
12. Luftwiderstandsmessungen und Strömungsuntersuchungen an dem Modell eines Reichbahn-Omnibusses,
ATZ Bd. 43 (1940) H. 21 S. 550.
13. B. Eckert⁵⁾: Kühlgebläse für Verbrennungsmotoren,
MTZ (Motortech. Z.) Bd. 2 (1940) H. 10 S. 316.
14. A. Kimmel: Die freien Massenkräfte des Sternmotors,
Ing.-Arch. Bd. 11 (1940) H. 6 S. 424.
15. F. Weinig⁵⁾: Ein Vergleich zwischen Kolbenmaschinen und Tragflügelmaschinen mit Hilfe dimensionsloser Kenngrößen,
MTZ Bd. 2 (1940) H. 8 S. 255.
16. G. Schemberger: Untersuchung über die Drehsteifigkeit von Wellen mit Hirth-Verzahnung, MTZ Bd. 2 (1940) H. 10 S. 328.
17. M. Kuhn: Stichtreihzähler, ATZ Bd. 43 (1940) H. 22 S. 567.
18. A. Kimmel: Der Einfluß der Pleuelanlenkung auf das Drehschwingungsverhalten von V-Motoren, MTZ Bd. 3 (1941) H. 1 S. 18.
19. M. Kuhn: Messung von Kolbentemperaturen,
Arch. techn. Messen, Januar 1941, V 8234—2.
20. H. Graff: Ein neues Verfahren zur Bestimmung des Gastemperaturverlaufs in Otto-Motoren, Luftf.-Forsch. Bd. 18 (1941) Lfg. 1 S. 8.

⁵⁾ Der Veröffentlichung ging ein Vortrag voraus oder folgte ihr.

21. K. Meier⁵⁾: Begrenzung von Resonanzschwingungen durch einen Schwinger mit gekrümmter Federcharakteristik,
Luftf.-Forsch. Bd. 18 (1941) Lfg. 1 S. 18.
22. G. Leunig: Grundsätzliche Möglichkeiten einer Bremswegverkürzung bei Kraftwagen und ihre Grenzen,
Z. VDI Bd. 85 (1941) Nr. 12 S. 277.
23. T. E. Schenk⁵⁾: Steigungstrecken und Lastkraftwagen,
ATZ Bd. 44 (1941) H. 6 S. 137.
24. B. Eckert: Das Kraftfahrzeug-Wechselgetriebe, ATZ Bd. 44 (1941) H. 9 S. 225.
25. B. Eckert: Das Kühlgebläse des Kraftfahrzeugs und sein betriebliches Verhalten,
Deutsche Kraftfahrtforschung H. 51 (1941).
26. W. Hampp: Bewegungsverhältnisse in Rollenlagern,
Ing.-Arch. Bd. 12 (1941) H. 1 S. 6.
27. A. Kimmel und J. Lugweiler: Zur Wirkung des Fliehkraftpendels beim Reihenmotor,
Ing.-Arch. Bd. 12 (1941) H. 2 S. 100.
28. E. Sawaghi: Die Luftkräfte und ihre Momente am Kraftwagen,
Deutsche Kraftfahrtforschung H. 50 (1941).

Die in den vergangenen Winterhalbjahren im Institut veranstalteten Vorträge, die sich eines regen Zuspruchs erfreuten, mußten bis auf weiteres ausgesetzt werden.

V. Ausbau

Mit Rücksicht auf den ständig zunehmenden Umfang wehrwichtiger Arbeiten und die beschränkten Raumverhältnisse mußte im Laufe des Berichtsjahres an den vorhandenen Gebäuden und Einrichtungen eine Reihe von Erweiterungen vorgenommen werden.

Nachdem der Rohbau des Kraftwagen-Vollprüffeldes bereits im letzten Berichtsjahr im wesentlichen abgeschlossen war, konnte nunmehr zu seinem Innenausbau geschritten werden. Ueber die Einzelheiten kann erst nach Fertigstellung berichtet werden.

VI. Stiftungen

Das Institut dankt den nachstehend aufgeführten behördlichen Stellen und Werken für die ihm im Berichtsjahr gegebene Unterstützung.

Beteiligung an den Kosten für die Erstellung des Kraftwagen-Vollprüffeldes
(s. auch 9. und 10. Jahresbericht):

Eberspächer, Eblingen
Stadt Stuttgart
G. Zimmermann, Stuttgart.

Laufende Stiftungen:

Gehr. Böhrer u. Co., Stuttgart
Misol Komm.-Gesellschaft, Stuttgart-Bad Cannstatt
Vereinigte Sauerstoffwerke A.-G., Stuttgart-Untertürkheim

⁵⁾ Der Veröffentlichung ging ein Vortrag voraus oder folgte ihr.

000210

Teilnehmungen:

Adlerwerke, Frankfurt am Main
Auto-Michel, Stuttgart
Auto-Union, Chemnitz
Bayerische Motoren-Werke A.-G., München
Robert Bosch G. m. b. H., Stuttgart
Continental-Gummiwerke, Hannover
Daimler-Benz, Stuttgart-Untertürkheim
Dichtungswing-Gesellschaft, Stuttgart
Dürrmer Metallwerke, Düren
Elektron-Ges. m. b. H., Stuttgart-Bad Cannstatt
Emero-Bremsebelag G. m. b. H., Oborn I. Sa.
Englebert Co., Aschen
E. Eppe u. Co., Stuttgart
Ford, Köln-Niehl
C. Freudenberg, Weinheim
W. C. Heraeus G. m. b. H., Hanau
Gebr. Heyne G. m. b. H., Offenbach am Main
E. Hoeckle, Stuttgart
I. G. Farbenindustrie, Ludwigshafen
I. G. Kautschuk-Zentral-Laboratorium, Leverkusen
Jurid-Vertriebsgesellschaft Kirchbach u. Co., Coswig bei Dresden
Mahle Komm.-Ges., Stuttgart-Bad Cannstatt
Messerschmitt A.-G., Augsburg
F. Porsche K.-G., Stuttgart
Reichsbahn-Direktion, Stuttgart
Reichsautobahnen, Oberste Bauleitung, Stuttgart
Ruhrbenzin, Oberhausen-Holten
Karl Schmidt G. m. b. H., Neckarsulm
Gebr. Schoch G. m. b. H., Stuttgart-Feuerbach
Ströhlein u. Co., Stuttgart
Alfred Teves, Frankfurt am Main
Vereinigte Bleicherdefabriken, München
Vomag, Plauen.

SET

000241



FORSCHUNGS-UND
TECHNISCHE HOCHSCHULE
STUTTGART

000212

Diplomarbeit für

Herrn cand. mach. Otto D e m m e r .

Das Startverhalten von Kraftstoffen ist bei Verwendung verschiedener chemischer Zündbeschleuniger am EKPS - Prüfmotor zu untersuchen und auszuwerten.

Abgabedatum:	Von:	Erstellt für:	Erstellt durch:	
1984	1984			

Aufgabe und Ziel der Arbeit.

- I. Verbrennungsvorgänge bei direkter Einspritzung im Dieselmotor.
 - a. Physikalische Vorgänge.
 - b. Chemische Vorgänge.
- II. Verfahren zur Bestimmung der Zündwilligkeit von Kraftstoffen.
 - a. Zündverzugsmessungen.
 - b. Zündverzugsmessungen in Gegenwart von Zündbeschleunigern.
- III. Verbrennungsvorgänge im Motor in gasförmiger Phase.
- IV. Versuchsergebnisse mit:
 - a. Äthylnitrat.
 - b. Schwefelkohlenstoff.
 - c. Acetaldehyd.
 - d. Kraftstoff RS 2
- V. Versuch der praktischen Anwendung.
- VI. Zusammenfassung.

000214

Aufgabe und Ziel der Arbeit.

Es ist die Aufgabe gestellt, mit verschiedenen Zündbeschleunigern das Anlassverhalten von Kraftstoffen zu untersuchen. Ziel der Versuche ist es, festzustellen, inwiefern das Anlassverhalten mit der Cetanzahl in Zusammenhang zu bringen ist und wie sich die verschiedenen Zündbeschleuniger, in geringen Mengen dem Kraftstoff beigegeben, auf sein Anlassverhalten auswirken.

Verbrennungsvorgänge bei direkter Einspritzung im Dieselmotor.

Die Vorgänge bei direkter Einspritzung im Dieselmotor kann man in einen physikalischen und einen chemischen Teil gliedern. Der physikalische Teil zerfällt in Zerstäubung, Erwärmung, Verdampfung des Kraftstoffs und seine Mischung mit der Luft. Der chemische Teil besteht aus den Vorreaktionen, der Zündung und der Verbrennung.

Im folgenden werden die Einflüsse, die nebeneinander hergehen und in ihrem Zusammenwirken im Motor nicht voneinander zu trennen sind, nacheinander besprochen.

1. Die Zerstäubung des Kraftstoffs.

Mittels einer Zapfen- oder Fächerdüse wird im allgemeinen der Kraftstoff mit 80-200 at in den Zylinder eingespritzt gegen einen Verdichtungsdruck von 10 - 15 at und einen Verbrennungsdruck von 40 - 60 at. Gewöhnlich ergibt sich dann, dass der Kraftstoffstrahl als ziemlich geschlossene Flüssigkeitsmasse aus der Düse austritt und auf seinem Wege immer mehr in kleine und kleinste

000215

Tröpfchen zerissen wird. Am harte des Strahles sind die Tropfen kleiner, dort ist auch die Tropfengeschwindigkeit geringer. Auch treten an Fände Firbel auf. 1.) (Schriftumschweis siehe am Schluss der Arbeit.) Die Geschwindigkeit der Kraftstoffteilchen an der Düse beträgt bis zu 100 m/sec, im Mittel ungefähr 20 - 50 m/sec. Die Grösse der Tropfen ist bei verschiedenen Kraftstoffen wegen der verschiedenen physikalischen Eigenschaften nicht gleich. Jedoch gilt, je besser ein Kraftstoff verstäubt ist, desto kürzer ist die Strahllänge und desto besser wird die Ladeluft des Brennraums ausgenutzt. Je kleiner nämlich ein Tropfen ist, desto leichter verdampft er. (Das Verhältnis Oberfläche zu Masse nimmt zu.) Der Zeitbedarf für die Zerstückung der die Zündung einleitenden Kraftstoffmenge liegt nach Nagel 2) in der Grössenordnung von einigen/100000 sec.

Erwärmung und Verdampfung.

Der fein verteilte Kraftstoffnebel verdampft unter Wärmeaufnahme aus der heissen Verbrennungsluft. Eine genaue Berechnung des Wärmeübergangs ist vorläufig noch nicht möglich, da die Form und das Material der Körper, auf die die Wärme übertragen wird, zu verschieden ist und man ausserdem nicht die Relativgeschwindigkeiten zwischen Kraftstoffteilchen und Luft kennt. Besonders bei kleinen Abmessungen hängt der Wärmeübergang sehr stark von der Geschwindigkeit ab. Die Wahl der richtigen Wärmeübergangsziffer zur Berechnung der Tröpfchen-erwärmung und Verdampfung ist deshalb sehr unsicher. Aus Versuchen, die von Nagel durchgeführt wurden, ergab sich, dass die vollständige Verdampfung vom Einspritzende ab ungefähr $6 \cdot 10^{-3}$ sec benötigt.

	Tag:	Erstellt für:	Erstellt durch:	
--	------	---------------	-----------------	--

VERBODEN TOEGANG
aan de inhoud van dit document
als het anderszins anderszins
wordt aangegeven.
1974-1975

4.

000216

Dieser Wert interessiert aber weniger, da zur Zündung nicht der gesamte Kraftstoff verdampft zu sein braucht und auch nicht verdampft ist. Es interessiert vielmehr der Zündverzögerung, das ist die Zeit von Beginn der Einspritzung des Kraftstoffes bis zu seiner Entzündung. Diese ist wesentlich kürzer.

Mischung mit der Luft.

Die Mischung der Kraftstoffteilchen mit der Luft wird konstruktiv mit verschiedenen Verfahren erreicht. Letzten Endes kommt es bei allen Verfahren darauf an, (Luftspeicher, Vorkammer, direkte Einspritzung) dass die Luft in Wirbelung versetzt wird und dadurch möglichst viele Kraftstoffteilchen Gelegenheit haben, mit dem Sauerstoff der Verbrennungsluft in Berührung zu kommen.

Chemischer Anteil.

Vorreaktionen.

Schon bei gewöhnlicher Temperatur kann Kraftstoff oxydieren. Um wieviel eher wird er deshalb reagieren, wenn Druck und Temperatur erhöht werden. Durch umfangreiche Untersuchungen an Ottomotoren hat Mühlner ³⁾ festgestellt, dass diese Reaktionen bei vielen Kohlenwasserstoffen, besonders denen der Paraffinreihe auftreten. Insbesondere stellte er fest, dass mit sinkender Oktanzahl der Anteil der Vorreaktionen zunimmt. Bei diesen Vorreaktionen zerfallen die komplizierten Kohlenwasserstoffmoleküle in Radikale und bilden Peroxyde, und zwar geschieht dies auf dem Wege von Kettenreaktionen. Durch Verzweigung der Ketten kann die Reaktion stark gefördert werden. An kalten Zylinderwänden können die Kettenreaktionen abbrechen.

Verfasser:	Tag:	Erstellt für:	Erstellt durch:
Uhr:	Tag:		



FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION
U. S. DEPARTMENT OF JUSTICE
WASHINGTON, D. C.

000217

Diese Versetzungen können alle in einer kleinen
Zeitraum vorantreiben. Ferner sind es vielgestaltige
Seiten des Verformungsablaufs während dieser
Zeit möglich und wird vorzuziehen, dass eine genaue
Beschreibung der chemischen Vorgänge nicht mög-
lich ist. Jedenfalls ist erwiesen, dass die Verformun-
gen wesentlich zur Aufbereitung der Kraftstoff-
luftgemische beitragen. In Ottomotor treten im
Anschluss an starke Vorreaktionen sehr leicht
Klopferscheinungen auf. Beim Dieselmotor ist die
Erhöhung der Zündwilligkeit durch die Vorreaktio-
nen nur erwünscht.

Verbrennung und Zündung.

In einer Arbeit von Soerlage und Bröze 4) werden folgende drei Anschauungen über den Beginn der Verbrennung und Zündung wiedergegeben:

1. Der Kraftstoff reagiert direkt mit Sauerstoff. Kettenreaktion.
2. Der Brennstoff reagiert zwar mit Sauerstoff, aber bildet namentlich instabile Peroxyde (Moloxys) deren Zerfall die Zündung darstellt.
3. Der Brennstoff wird vergast, (gekrackt) die Vergasungsprodukte, Krackprodukte, reagieren mit Sauerstoff.

Die erste Auffassung darf als überholt gelten. Durch photographische Aufnahmen in Verbrennungsbomben hat man festgestellt, dass die Zündungen immer nur am äusseren Mantel des Brennstoffstrahles auftreten, dort, wo der Strahl schon weitgehend verdampft war. Die Ansicht von Jost 5) zu diesem Punkt ist:

Wenn auch Oxydation von Brennstoffen in der flüssigen Phase eintreten kann,

Erstellt von:	Tag:	Erstellt für:	Erstellt durch:

so wird sich die lebhafteste Oxydation, wie
 sie für die Verbrennung im Diesel be-
 züglich ist, erst in der verdampften Brenn-
 stoff einsetzen, einfach deshalb, weil
 die Temperatur der Unverdampften nicht
 unter dessen Siedepunkt liegen kann.

Die Ansichten 2 und 3 gehen zum Teil in die heuti-
 ge Ansicht über den Ablauf der Verbrennung und
 Zündung mit ein, nämlich, dass alle physikalischen
 und chemischen Vorgänge in komplizierter Wechsel-
 wirkung am Verlauf der Verbrennung und Zündung be-
 teiligt sind. Nur in Grenzfällen führen diese Vor-
 gänge zu einfachen Beziehungen. Diese werden aber
 nie erreicht. Im Grenzfall hoher Temperaturen sind
 allein die physikalischen Vorgänge massgebend, weil
 die chemischen dann als unendlich schnell verlau-
 fend angesehen werden können. Bei niedrigen Tempera-
 turen sind die chemischen Zündverzögerungen massgebend,
 weil dann die chemische Reaktion gegenüber den
 physikalischen Vorgängen sehr schnell verläuft.
 In einzelnen läuft der Vorgang, der zur Verbrennung
 führt, etwa folgendermassen ab:

Der herabgehende Kolben saugt die Verbrennungs-
 luft an. Das Einlassventil schliesst, der Kolben geht
 nach oben, die Luft wird komprimiert. In die kom-
 primierte und damit erhitzte Luft wird ungefähr
 $20 - 30^\circ$ vor OT Kraftstoff eingespritzt. Der Kraft-
 stoff verdampft und entzieht damit der Luft Wärme.
 Vorreaktionen treten auf. Kurz vor, im oder kurz
 nach dem oberen Totpunkt wird das Kraftstoff-
 Luftgemisch, von Zündkernen am Mantel des Kraftstoff-
 strahles ausgehend, entzündet. Der bis dahin einge-
 spritzte Kraftstoff verpufft. Der Kraftstoff, der
 nachgespritzt wird, verbrennt annähernd im Gleich-
 druckverfahren. Wenn zuviel Kraftstoff bis zur



Entzündung eingespritzt wird, d.h. wenn der Zündverzug des Kraftstoffs zu gross ist, dann entzündet sich mehr Kraftstoff als erwünscht ist, der Dieselmotor klopft. Durch Zusatz von Zündbeschleunigern, z.B. Äthylnitrat kann der Zündverzug verringert werden.

Verfahren zur Bestimmung der Zündwilligkeit von Kraftstoffen.

Seit etwa 1934 wird der Zündverzug als Massstab für die Zündwilligkeit von Kraftstoffen angewandt. Der Zündverzug ist als die Zeit definiert, die vom Einspritzbeginn bis zur plötzlichen Drucksteigerung (Entzündung) des Gemischs vergeht. Man hat die Nachteile des Verfahrens in Kauf genommen, um jederzeit wiederholbare Ergebnisse erlangen und diese auf die Zusammensetzung des Kraftstoffs auswerten zu können. Zündverzugsmessungen können nun unter verschiedenen Bedingungen ausgeführt werden. In Deutschland sind folgende Verfahren in Gebrauch:

1. Das IG-Verfahren.

Bei diesem Verfahren bleibt der Zündverzug konstant 18° bei einem Voreinspritzwinkel von 20° . Das Verdichtungsverhältnis wird solange verändert, bis der Zündverzug von 18° erreicht ist. Um Vergleichswerte zu erhalten, wird jetzt eine Mischung aus Cetan und α -Methylnaphtalin hergestellt, die unter denselben Bedingungen denselben Zündverzug hat. Den Anteil des Cetans in Volumprozenten dieser Mischung bezeichnet man dann als die

Titel	Verf.	Erstellt von	Erstellt durch	

8

Cetanzahl des Kraftstoffs. Cetan ist sehr zündwillig, α -Methylnaphtalin sehr zuträge. Je höher also die Cetanzahl ist, desto zündwilliger ist der Kraftstoff.

2. Das FKFS-Verfahren.

Beim FKFS-Verfahren wird folgendermaßen vorgegangen. Der Vereinspritzwinkel bleibt konstant 20° . Für den Kraftstoff wird nicht nur bei einem, sondern bei mehreren Verdichtungsverhältnissen die Cetanzahl festgestellt. Das jeweilige Verdichtungsverhältnis wird konstant gehalten und die Cetan- α -Methylnaphtalinmischung gesucht, die denselben Zündverzug wie die Kraftstoffprobe hat. Man erhält dadurch einen guten Überblick über das Verhalten des Kraftstoffs bei verschiedenen Verdichtungsverhältnissen, da sich oft die Zündwilligkeit und damit die Cetanzahl mit dem Verdichtungsverhältnis ändert. Außerdem kann die Cetanzahl auch bei verschiedenen Temperaturen, -die angesaugte Luft kann mittels einer Heizspirale aufgewärmt werden-, festgestellt werden. Selbstverständlich kann am FKFS-Motor auch nach dem IG-Verfahren geprüft werden.

3. Das HWA-Verfahren.

Nachdem das HWA das Anlassverfahren als ungenau ansieht, die Kraftstoffe werden nach diesem Verfahren überbewertet, ist es auch zum Zündverzugsverfahren übergegangen. Bei diesem Verfahren wird, wie beim IG-Verfahren, der Zündverzug konstant gehalten.

konstant bleibt ausserdem das Verdichtungsverhältnis. Eine Änderung der Betriebsbedingungen wird dadurch erreicht, dass der Ansaugdruck und damit der Verdichtungsdruck verändert wird.

a. Zündverzugsmessungen an Kraftstoffen.

Die Zündverzugsmessungen an Kraftstoffen nach einem der vorhergenannten Verfahren ergaben jeweils übereinstimmende Ergebnisse. Die Brauchbarkeit der Verfahren ist also erwiesen. Es ergab sich nun, dass der Zündverzug sehr stark von dem chemischen Aufbau des Kraftstoffes abhängig ist. Den kleinsten Zündverzug weisen die geraden Paraffine auf, den längsten die ringförmigen Aromate. Die Olefine und Naphtene liegen dazwischen. Einen sehr langen Zündverzug haben auch die verzweigten Paraffine. Diese sind daher im Dieselmotor kaum zu verwenden.

b. Zündverzugsmessungen in Gegenwart von Zündbeschleunigern.

In Gegenwart von Zündbeschleunigern geht die Messung des Zündverzuges genau so vor sich, wie bereits in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben. Es ergibt sich dabei, dass durch geringe Zusätze von Zündbeschleunigern oft schon erhebliche Verkürzung des Zündverzuges und damit Erhöhung der Cetanzahl erreicht wird. Jedoch wirkt derselbe Zündbeschleuniger nicht auf alle Kraftstoffe in gleicher Weise. Manche Kraftstoffe sprechen auf Zündbeschleuniger nur sehr wenig an. In diesem Fall kann die durch die Verdunstung des Zündbeschleunigers notwendige Wärmeaufnahme im Motor sogar eine geringe Verlängerung des Zündverzuges

Erstellt von	Tag	Erstellt für	Erstellt durch
	Tag		

Konstant bleibt außerdem das Verdichtungsverhältnis. Eine Änderung der Betriebsbedingungen wird dadurch erreicht, dass der Ansaugdruck und damit der Verdichtungsdruck verändert wird.

a. Zündverzugsmessungen an Kraftstoffen.

Die Zündverzugsmessungen an Kraftstoffen nach einem der vorhergenannten Verfahren ergaben jeweils übereinstimmende Ergebnisse. Die Brauchbarkeit der Verfahren ist also erwiesen. Es ergab sich nun, dass der Zündverzug sehr stark von dem chemischen Aufbau des Kraftstoffes abhängig ist. Den kleinsten Zündverzug weisen die geraden Paraffine auf, den längsten die ringförmigen Aromate. Die Olefine und Naphtene liegen dazwischen. Einen sehr langen Zündverzug haben auch die verzweigten Paraffine. Diese sind daher im Dieselmotor kaum zu verwenden.

b. Zündverzugsmessungen in Gegenwart von Zündbeschleunigern.

In Gegenwart von Zündbeschleunigern geht die Messung des Zündverzuges genau so vor sich, wie bereits in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben. Es ergibt sich dabei, dass durch geringe Zusätze von Zündbeschleunigern oft schon erhebliche Verkürzung des Zündverzuges und damit Erhöhung der Cetanzahl erreicht wird. Jedoch wirkt derselbe Zündbeschleuniger nicht auf alle Kraftstoffe in gleicher Weise. Manche Kraftstoffe sprechen auf Zündbeschleuniger nur sehr wenig an. In diesem Fall kann die durch die Verdunstung des Zündbeschleunigers notwendige Wärmeaufnahme im Motor sogar eine geringe Verlängerung des Zündverzuges

Titel	Tag	Erstellt für	Erstellt durch

Konstant bleibt ausserdem das Verdichtungsverhältnis. Eine Änderung der Betriebsbedingungen wird dadurch erreicht, dass der Ansaugdruck und damit der Verdichtungsdruck verändert wird.

a. Zündverzugsmessungen an Kraftstoffen.

Die Zündverzugsmessungen an Kraftstoffen nach einem der vorhergenannten Verfahren ergaben jeweils übereinstimmende Ergebnisse. Die Brauchbarkeit der Verfahren ist also erwiesen. Es ergab sich nun, dass der Zündverzug sehr stark von dem chemischen Aufbau des Kraftstoffes abhängig ist. Den kleinsten Zündverzug weisen die geraden Paraffine auf, den längsten die ringförmigen Aromate. Die Olefine und Naphtene liegen dazwischen. Einen sehr langen Zündverzug haben auch die verzweigten Paraffine. Diese sind daher im Dieselmotor kaum zu verwenden.

b. Zündverzugsmessungen in Gegenwart von Zündbeschleunigern.

In Gegenwart von Zündbeschleunigern geht die Messung des Zündverzuges genau so vor sich, wie bereits in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben. Es ergibt sich dabei, dass durch geringe Zusätze von Zündbeschleunigern oft schon erhebliche Verkürzung des Zündverzuges und damit Erhöhung der Cetanzahl erreicht wird. Jedoch wirkt derselbe Zündbeschleuniger nicht auf alle Kraftstoffe in gleicher Weise. Manche Kraftstoffe sprechen auf Zündbeschleuniger nur sehr wenig an. In diesem Fall kann die durch die Verdunstung des Zündbeschleunigers notwendige Wärmeaufnahme im Motor sogar eine geringe Verlängerung des Zündverzuges

Name	Tag	Erstellt für	Erstellt durch	
	Tag			



und damit eine Erniedrigung der Cetanzahl im Gefolge haben.

Verbrennungsvorgang im Motor in kontinuierlicher Phase.

Beim Ansaugen von Kraftstoff-Luftgemischen ergeben sich gegenüber den Vorgängen bei Einspritzung andere Verhältnisse, als die Aufbereitung des Kraftstoffs (Verdampfung, Zerstäubung, Mischung mit Luft) schon vor Eintritt in den Zylinder größtenteils abgeschlossen ist. Die Verteilung des Kraftstoffs im Brennraum ist gleichmäßiger. Das Ansaugen von Kraftstoff-Luftgemisch ist oder war bezeichnend für den Ottomotor. Es eignen sich für diesen Betrieb nur leichtflüchtige Kraftstoffe wie Benzin, Benzol und Alkohol. Diese Kraftstoffe haben einen sehr langen Zündvorzug und sind deshalb im Dieselmotor nicht zu verwenden. Sie werden deshalb fremdgezündet. Der Verbrennungsablauf der Paraffine ist praktisch derselbe wie der bei Selbstzündung. (Es treten also auch Vorreaktionen auf.) Bei Alkoholen und bei Benzol ist ein Übergang durch Vorreaktionen nicht zu bemerken. Eine besondere Art der Verbrennung ist das Klopfen. Während es beim Dieselmotor auf mangelnde Zündwilligkeit zurückzuführen ist, kommt es beim Ottomotor durch die durch Druck und Temperatur erhöhte Zündwilligkeit des Kraftstoff-Luftgemischs. Die heutige Ansicht über das Klopfen ist folgendermassen:

Die Verbrennung wird durch den Zündfunken eingeleitet. Die Flammenfront durchläuft den Brennraum. Das Brennstoff-Luftgemisch dehnt sich

Autoren	Tag	Erstellt für	Erstellt durch	

während der Verbrennung aus und heizt gleichzeitig das noch verbleibende Restgemisch rasch auf. Wenn jetzt die kritischen Druck und Temperaturwerte überschritten werden, bilden sich im Festgemisch Zündkerne, die dessen plötzliche Verbrennung bewirken.

Genauso, wie beim Dieselmotor durch Zusätze die Zündwilligkeit heraufgesetzt werden kann, wird beim Ottomotor durch Zusätze wie Fließtrudthyl oder Eisenkarbonyl die Klopfestigkeit heraufgesetzt. Das beruht auf der kettensabrechenden Wirkung fein verteilter metallischer Zusätze.

Versuchsergebnisse.

Versuchsbedingungen.

Am FKFS-Motor war das Anlassverhalten mit Zündbeschleunigern, nämlich

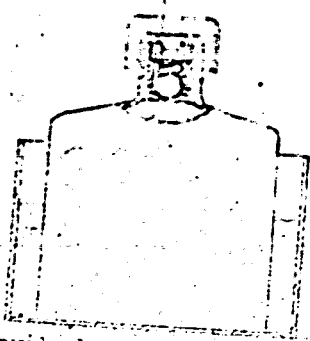
1. Athylnitrat
2. Schwefelkohlenstoff
3. Acetaldehyd
4. Kraftstoff KS 2

in Zusätzen von 0,5; 1; 3; 5% bei Kraftstoff KS 2 ausserdem noch bei 7 und 10 % zu Rohöl und RCH-Öl zu untersuchen. Diese Anlassversuche wurden ausserdem bei Temperaturen zwischen 15 und 105°C gefahren. Im Luftansaugstutzen war eine Heizspirale von 1000 Watt untergebracht, mit der die Heizung vorgenommen wurde. Mittels eines Thermolements wurde die Temperatur nach Erreichung des Beharrungszustandes kurz vor dem Einlassventil über ein

		Erstellt von	Erstellt durch
--	--	--------------	----------------

VERBODEN TOEGANG
TOEGANG VERBODEN
VERBODEN TOEGANG

Millivoltmeter gemessen. Ferner wurden Anlassversuche mit den vier Zündbeschleunigern in verschiedener Phase unternommen. In einem Tauchbad wurde der jeweilige Zündbeschleuniger über seinen Nulldruckpunkt hinaus erhitzt und dadurch lebhaftere Verflüssigung erreicht. Bei 4. war ein (badnotwendiger) lassen Stadienbereich zu hoch lag.



Verdampfungsstopf mit federbelasteter Kugelventil.

Der Motor wurde bei den Anlassversuchen bei einer Drehzahl von ungefähr 350 vom Elektromotor geschleppt. Die Kühlwassertemperatur betrug durchweg 20°C. Die Öltemperatur schwankte zwischen 15° und 30°C. Der Voreinspritzwinkel betrug konstant 20°. Es wurde mit direkter Einspritzung gefahren. (Fächerdüse, Abspritzdruck 120 at) Die Versuche wurden so vorgenommen, dass der Kraftstoff zuerst bei einem Verdichtungsverhältnis angesaugt wurde, bei dem eine Zündung noch nicht zu erwarten war. Dann wurde das Verdichtungsverhältnis bis zum Anspringen des Motors langsam erhöht. Mittels eines Zählwerks wurde dann die Zylinderstellung abgelesen. Das Verhältnis der Zählwerkstellung zum Verdichtungsverhältnis ist bekannt. (Blatt 17 - 22.) Ausserdem wurden die Cetanzahlen der Gemische an einem IG-Prüfmotor festgestellt. (Motoreichkurve Blatt 16, Cetaneichkurve Blatt 13.)

Tag	Erstellt für	Erstellt durch
Tag		

Ergebnisse bei Äthylnitrat.

Der Zusatz von Äthylnitrat zum Kraftstoff in flüssiger Form brachte kaum eine Verbesserung des Anlassverhaltens. Bei Rohöl brachte es in höchstfall eine Verbesserung des kritischen Verdichtungsverhältnisses um etwa $\frac{1}{2}$. (Blatt 1.) Bei RCH - 01 (Blatt 2.) traten sogar leichte Verschlechterungen im Anlassverhalten auf. RCH-01, ein Steinkohlenöl auf rein paraffinischer Basis, ist an sich schon sehr zündwillig. Es ist möglich, dass durch die Verdampfung des Äthylnitrats soviel Wärme gebunden wurde, dass sich eine Verschlechterung im Anlassverhalten bemerkbar machte.

Die Cetanzahlen zeigen bei Rohöl mit wachsendem Äthylnitratzusatz eine beträchtliche Steigerung. Bei RCH-01 brachte Äthylnitrat ebenfalls eine Erhöhung der Cetanzahl. (Blatt 14.)

Ergebnisse mit Schwefelkohlenstoff.

Schwefelkohlenstoff brachte bei Rohöl nur geringe Verbesserungen im Anlassverhalten. (Blatt 3.) RCH - 01 zeigte nach Äthylnitratzusätzen ebenfalls eine Verschlechterung im Anlassverhalten. (Blatt 4) Die Verdampfung von Schwefelkohlenstoff liess den Motor schon bei einer Luftansaugtemperatur von ungefähr 100°C und einem Verdichtungsverhältnis von 4,5 schon ins Laufen kommen. Eine Erklärung dafür bildet vielleicht die Bemerkung von Broeze:

Schwefelkohlenstoff zündet in der Luft bei 150°C durch grosse Affinität zum Sauerstoff. Er hat aber eine grosse thermische Stabilität. Im Motor bedingen Zumischungen von CS_2 zu Brennstoffen verlängerte Zündverzögerungen.

Datum: Tag: Tag:	Eracht für: Tag:	Eracht durch: Tag:	Eracht durch: Tag:
------------------------	---------------------	-----------------------	-----------------------

Ergebnisse bei Äthylnitrat.

Der Zusatz von Äthylnitrat zum Kraftstoff in flüssiger Form brachte kaum eine Verbesserung des Anlassverhaltens. Bei Rohöl brachte es in höchstfall eine Verbesserung des kritischen Verdichtungsverhältnisses um etwa $\pm 1/3$. (Blatt 1.) Bei RCH - 01 (Blatt 2.) treten sogar leichte Verschlechterungen im Anlassverhalten auf. RCH-01, ein Steinkohlenöl auf rein paraffinischer Basis, ist an sich schon sehr zündwillig. Es ist möglich, dass durch die Verdampfung des Äthylnitrats soviel Wärme gebunden wurde, dass sich eine Verschlechterung im Anlassverhalten bemerkbar machte.

Die Cetanzahlen zeigen bei Rohöl mit wachsendem Äthylnitratzusatz eine beträchtliche Steigerung. Bei RCH - 01 brachte Äthylnitrat ebenfalls eine Erhöhung der Cetanzahl. (Blatt 14.)

Ergebnisse mit Schwefelkohlenstoff.

Schwefelkohlenstoff brachte bei Rohöl nur geringe Verbesserungen im Anlassverhalten. (Blatt 3.) RCH - 01 zeigte nach Äthylnitratzusätzen ebenfalls eine Verschlechterung im Anlassverhalten. (Blatt 4) Die Verdampfung von Schwefelkohlenstoff liess den Motor schon bei einer Luftsaugtemperatur von ungefähr 100°C und einem Verdichtungsverhältnis von 4,5 schon ins Laufen kommen. Eine Erklärung dafür bildet vielleicht die Bemerkung von Broeze:

Schwefelkohlenstoff zündet in der Luft bei 150°C durch grosse Affinität zum Sauerstoff. Er hat aber eine grosse thermische Stabilität. Im Motor bedingen Zumischungen von CS_2 zu Brennstoffen verlängerte Zündverzögerungen.

Tag:	Tag:	Erstellt für:	Erstellt durch:



Allerdings zeigte reiner Schwefelkohlenstoff in bestimmten Fällen im Motor ungemein schnell, was dem Brennenbleiben des flüchtigen Stoffes am Geräthüber zugeschrieben werden kann.

Insichtlich zeigte sich bei Rohöl eine geringe Abnahme der Zündwilligkeit, während bei eigenartigerweise bei ROH - 01 eine geringe Zunahme der Cetanzahl in Erscheinung trat. (Blatt 14.)

Ergebnisse mit Acetaldehyd.

Bei Acetaldehyd war durch Einspritzen fast keine Verbesserung oder Verschlechterung des Anlassverhaltens festzustellen. (Blatt 5 und 6.) Acetaldehyddampf allerdings verbesserte das kritische Verdichtungsverhältnis um ungefähr 2 - 3. Acetaldehyd greift Kupfer an. Durch seine niedrige Siedetemperatur scheint es ausserdem als Zündbeschleuniger ungeeignet zu sein. Die Cetanzahl fiel bei Zusätzen zu Rohöl leicht ab, während sie bei ROH - 01 leicht anstieg. (Blatt 15.) Allerdings konnten unter den gewöhnlichen Bedingungen nur Zusätze von 0,5 % gefahren werden, da durch starkes Verdampfen des Acetaldehyds bei grösseren Zusätzen die Förderpumpe nicht mehr einwandfrei arbeitete und dadurch keine genauen Ergebnisse erzielt werden konnten. Jost konnte bei Versuchen mit Acetaldehyd feststellen, dass erst Beimischungen von 30 - 40 % Acetaldehyd zum Kraftstoff Einfluss auf die klopfende Verbrennung im Ottomotor nehmen. Bei dem engen Zusammenhang, der zwischen klopfender Verbrennung im Ottomotor und der Zündwilligkeit des Kraftstoffs im Dieselmotor besteht, kann man ohne weiteres annehmen, dass höhere Zusätze von Acetaldehyd wahrscheinlich den Zündverzug im Motor verkürzen. Nur dürfte es sehr schwierig sein,

Ausgeführt
von

Tag
Tag

Erstellt für

Erstellt durch



Allerdings zeigte keiner Schweißkohlenstoff in bestimmten Fällen im Motor ungemein schnell, was dem Brennenbleiben des flüchtigen Stoffes an Gerstäuber zugeschrieben werden kann.

Tatsächlich zeigte sich bei Rohöl eine geringe Abnahme der Zündwilligkeit, während teilweise bei ROH - 01 eine geringe Zunahme der Cetanzahl in Erscheinung trat. (Blatt 10.)

Ergebnisse mit Acetaldehyd.

Bei Acetaldehyd war durch Einspritzen fast keine Verbesserung oder Verschlechterung des Anlaserverhaltens festzustellen. (Blatt 5 und 6.) Acetaldehyddampf allerdings verbesserte das kritische Verdichtungsverhältnis um ungefähr 2 - 3. Acetaldehyd greift Kupfer an. Durch seine niedrige Siedetemperatur scheint es ausserdem als Zündbeschleuniger ungeeignet zu sein. Die Cetanzahl fiel bei Zusätzen zu Rohöl leicht ab, während sie bei ROH - 01 leicht anstieg. (Blatt 15.) Allerdings konnten unter den gewöhnlichen Bedingungen nur Zusätze von 0,5 % gefahren werden, da durch starkes Verdampfen des Acetaldehyds bei grösseren Zusätzen die Förderpumpe nicht mehr einwandfrei arbeitete und dadurch keine genauen Ergebnisse erzielt werden konnten. Jost konnte bei Versuchen mit Acetaldehyd feststellen, dass erst Beimischungen von 30 - 40 % Acetaldehyd zum Kraftstoff Einfluss auf die klopfende Verbrennung im Ottomotor nehmen. Bei dem engen Zusammenhang, der zwischen klopfender Verbrennung im Ottomotor und der Zündwilligkeit des Kraftstoffs im Dieselmotor besteht, kann man ohne weiteres annehmen, dass höhere Zusätze von Acetaldehyd wahrscheinlich den Zündverzug im Motor verkürzen. Nur dürfte es sehr schwierig sein.

Zusteller
Pfeil

Tag
Tag

Erzukt für

Erzukt durch

3
Forschungsinstitut
für Kraftstoffe
u. Schmierstoffe
Techn. Hochschule
Karlsruhe

wegen des schon erwähnten niedrigen Siedepunktes, das Acetaldehyd ohne besondere Vorrichtungen durch die Kraftstoffpumpe zu bringen.

Ergebnisse bei Kraftstoff KS 2.

Zusätze von KS 2 brachten sowohl bei Kohöl als auch bei RCH - C1 eine Verbesserung des Anlassverhaltens, allerdings nur in geringem Masse. (Blatt 7 und 8.) Durch Verdampfen von KS 2 konnte der Motor nicht zum Laufen gebracht werden. Wahrscheinlich liegt das an der geringen Flüchtigkeit des Kraftstoffs. Sowohl bei Kohöl als auch bei RCH - C1 zeigten sich geringe Erhöhungen der Cetanzahl.

Eine relativ starke Verbesserung des Anlassverhaltens war durch Zusätze von KS 2 zu Mischungen von α -Methylnaphtalin und RCH - C1 zu bemerken. (Blatt 9 - 12.) Es wurden immerhin Verbesserungen im kritischen Verdichtungsverhältnis um $\epsilon = 2 - 4$ erreicht.

Praktische Anwendung von Methylnitrat zur Verbesserung des Startvorgangs.

Es war die Aufgabe gestellt worden, mit möglichst einfachen Mitteln einen Dieselmotor mit Vorkammer bei $\epsilon = 14$ und Verwendung eines handelsüblichen Gasöls anzulassen. Da das Dieselöl bei dieser Verdichtung im kalten Motor nicht mehr zündete, wurde der Vorschlag gemacht, mit einem Zünd-

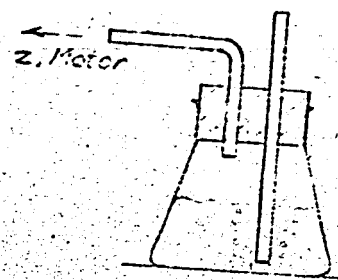
Tag:	Tag:	Erstellt für:	Erstellt durch:
------	------	---------------	-----------------

VERBODEN TOEGANG
A. VERBODEN TOEGANG
B. VERBODEN TOEGANG
C. VERBODEN TOEGANG

000228

Lebensleistung der Zylinder mit Athylnitrat das
Anlassverhalten des Motors zu verbessern.
Es ist bekannt, dass durch das Einströmen von
von Athylnitrat zur Verbrennungsluft im Zylinder
halten von Kraftstoffen wesentlich verbessert wird.
Da zur Vermeidung in der Zylinder das verbrauchte
Hilfsvorrichtungen befestigt werden. (Anlassvorrich-
tung, Verdampfer, usw.) Zur Lösung ist der Motor
nicht in Frage. Es wurde vielmehr versucht, die
Luft mit Athylnitrat von Raumtemperatur zu sätti-
gen. Dazu wurden folgende Versuche gemacht:

1. Die Verbrennungsluft wurde durch ein mit
Athylnitrat gefülltes Gefäß gesaugt.



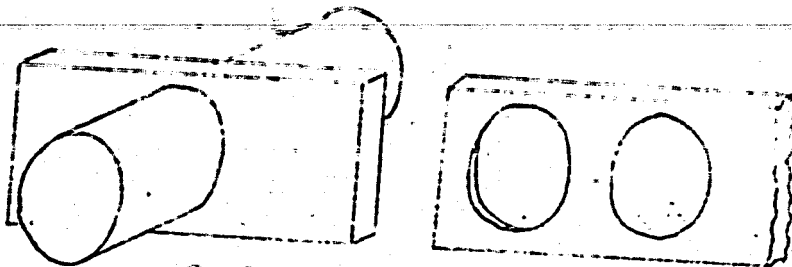
Es zeigte sich, dass scheinbar nicht genügend
Sättigung der Luft eintrat. Jedenfalls traten keine
befriedigenden Verbesserungen im Anlassverhalten
ein.

2. Es wurde Athylnitrat in das Ansaugrohr ge-
spritzt. Das Anlassverhalten verbesserte sich zwar,
das Athylnitrat war jedoch in seinem Verdampfungs-
verlauf nicht zu beherrschen. Es gab Rückschläge,
bei denen das gesamte Athylnitrat im Ansaugstut-
zen verpuffte.

3. Es wurde ein mit Athylnitrat getränktes
Gewebe vor die Ansaugöffnung gehalten. Hier

Tag	Erreicht durch	Erreicht durch	
Tag			

beigleitet sind. Braucht man Ergebnisse. Daraufhin
wurde folgende Anordnung getroffen:



In einer Hülse kann ein Schieber mit einem
freien und einem mit Gewebe überzogenem Durch-
gang hin- und hergeschoben werden.

Damit wurden folgende Versuche gemacht:

a. Bei freiem Durchgang wurde festgestellt,
bei welchem Verdichtungsverhältnis eingespritztes
Rohöl sich entzündete. Bei kaltem Motor (Kühl-
wasser 20°C, Öl 20°C, Motor geschleppt bei 350 U/min)
ergab sich ein Anspringen des Motors bei einem
Verdichtungsverhältnis von 18. (Zahlwerkstellung
115 - 118.)

b. Auf das Gewebe wurde Athylnitrat gebracht.
Bei gleichzeitiger Einspritzung von Rohöl sprang
der Motor bei einem Verdichtungsverhältnis von 12,
Zahlwerkstellung 230, an und blieb am Laufen. Bei
Zahlwerkstellungen unter 230 (240, 250) sprang
der Motor zwar mit Hilfe des Athylnitrats an,
jedoch war das Kraftstoff - Luftgemisch nicht
mehr zündfähig. Der Motor blieb stehen.

c. Wenn Athylnitrat allein angesaugt wurde,

Tag:

Tag:

Erstellt für

Erstellt durch

ergab sich ein Anspringen des Motors bei einem Verdichtungsverhältnis von 2,3. (Zahlserkennung 450) Das Äthylnitrat hatte in allen Fällen Raumtemperatur.

Bei einem Verdichtungsverhältnis von 14 betrug der Verbrauch an Äthylnitrat beim einmaligen Anlassen ungefähr 0,6 ccm. Der Verbrauch an Dieselkraftstoff war unerheblich. Er hängt von verschiedenen Bedingungen ab, z. B. der Drehzahl. Es zeigte sich also, dass das Anlassenverhalten des Rohöls bei genügend feiner Verteilung des Äthylnitrats in den Hintergrund trat. Bestimmend für das Weiterlaufen des Motors war das Verdichtungsverhältnis, unter dem der Motor nicht mehr mit Rohöl betrieben werden konnte.

Um die zum Anlassen nötige Äthylnitratmenge messen zu können, wurde über der Mitte des Schieber eine Messbürette angebracht, an der man das notwendige Volumen ablesen konnte. Ferner wurde das Tuch durch Watte ersetzt, die durch Drahtgaze in ihrer Lage gehalten wurde. Von der Messbürette wurde eine Leitung bis ungefähr in die Mitte der Watte gelegt.

Die Einrichtung ist natürlich behelfsmässig. Jedenfalls wurde gezeigt, dass ein Dieselmotor schon bei Verdichtungsverhältnissen, unter gewöhnlichen Bedingungen zum Anspringen gebracht werden konnte, bei denen es unmöglich war, ihn mit Kraftstoff allein anzulassen. Es ist also möglich, die oft aus Anlässrücksichten hohen Verdichtungsverhältnisse von Dieselmotoren herabzusetzen. Bei Vorkammern werden durch Anwendung von Zündbeschleunigern die Vorheizungen der Vorkammern praktisch überflüssig. Es ist nur zu überlegen, ob die Kosten für die

Tag
Tag

Erstellt für

Erstellt durch

3
FORSCHUNGSBEREICH
FORSCHUNGSABTEILUNG
FÜR VERBUNDENEN
TECHN. HOCHSCHULE
DARMSTADT

Verletzung oder die für eine Zündung, mit der der Zündbeschleuniger fein genug verteilt in den Motor gebracht wird, grösser sind.

Zusammenfassung.

Von den vier Zündbeschleunigern war Äthylnitrat am besten zu verwenden und zeitigte auch in jeder Hinsicht die besten Ergebnisse. Acetaldehyd und Schwefelkohlenstoff sieden schon bei 22, bzw. 44°C, Temperaturen, die bei gewöhnlichem Betrieb schon erreicht werden. Ferner greifen sie Motorwerkstoffe an und haben ausserdem einen durchaus unangenehmen Geruch. Das Wesentlichste jedoch ist, dass sich das Anlassverhalten mit den beiden kaum von dem ohne sie unterscheidet. KS 2 war bei wenig zündwilligen Kraftstoffen von gutem Einfluss hinsichtlich des Anlassverhaltens. Je zündwilliger der Kraftstoff wurde, desto mehr ging sein Einfluss zurück.

Der dampfförmige Zusatz der Zündbeschleuniger brachte in jedem Falle erhebliche Verbesserungen des Anlassverhaltens gegenüber dem Einspritzen des Zündbeschleunigers. Dies wurde auch in dem Versuch der praktischen Anwendung ausgewertet.

Das Anlassverhalten liess sich mit der Cetanzahl insofern in Zusammenhang bringen, als eine hohe Cetanzahl des Grundkraftstoffes gutes Anlassverhalten bedingte, eine niedrigere schlechteres. Die durch Zündbeschleuniger erhöhte Cetanzahl eines Kraftstoffes brachte keine bemerkenswerte Verbesserung des Anlassverhaltens mit sich.

Tag	Erstellt für	Erstellt durch	

VERFAHREN
UND WERKZEUGE
DER VERBREN-
DUNG

Literaturnachweis.

1. P.A.F. Schmidt	Gegenseitige Beeinflussung von Gemischbildung und Zündvorgängen im Verbrennungsmotor.
2. Hägel	Neuere Versuche über die Entstehung und den Ablauf der dieselmotorischen Verbrennung.
3. Kuhlner	Vorreaktionen im Ottomotor.
4. Boerlage und Proeze	Zündung und Verbrennung im Dieselmotor.
5. Jost	Explosions- und Verbrennungsvorgänge in Gasen.
6. Jantsch	Kraftstoffhandbuch.

Tag

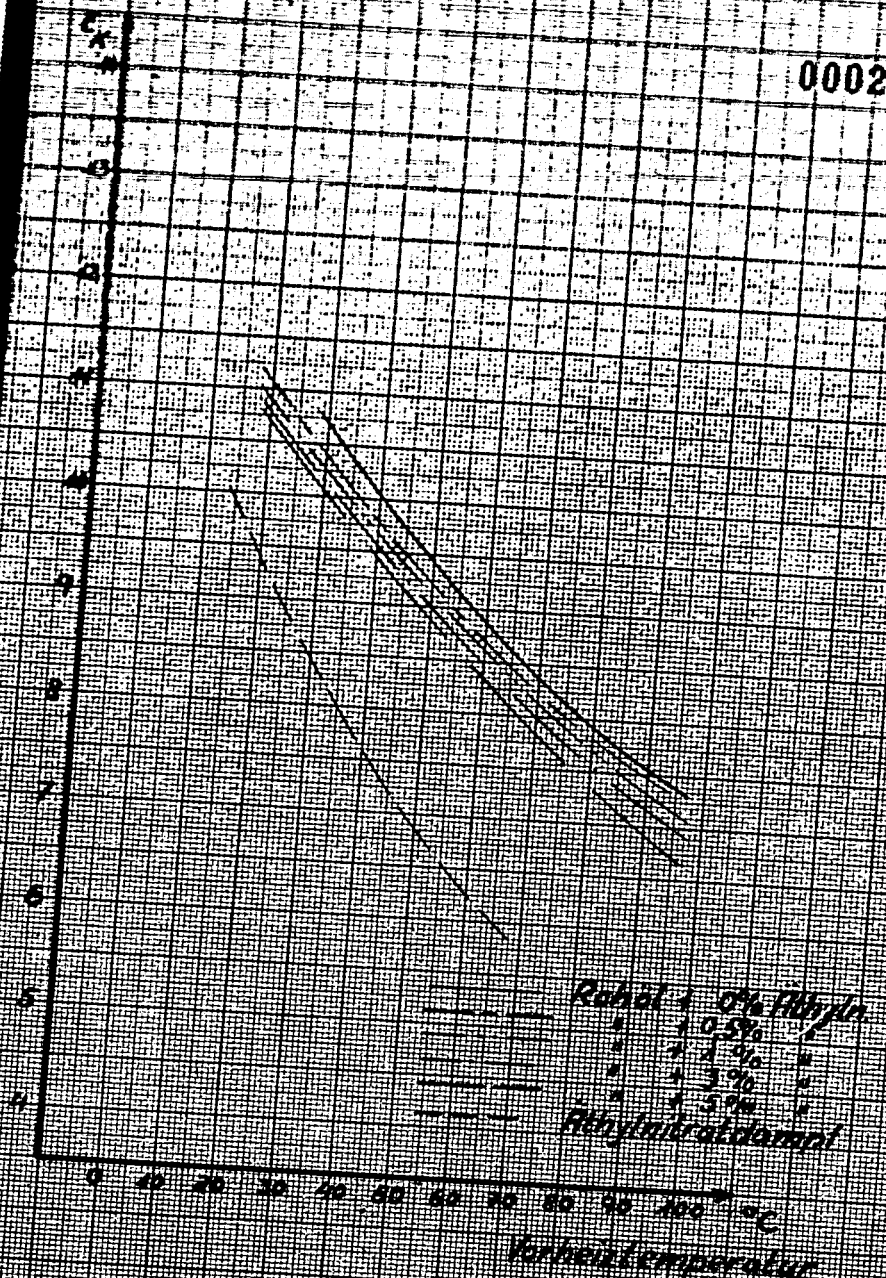
Erstellt von

Erstellt durch

Rohöl + Ethylnitrat

Blatt 1

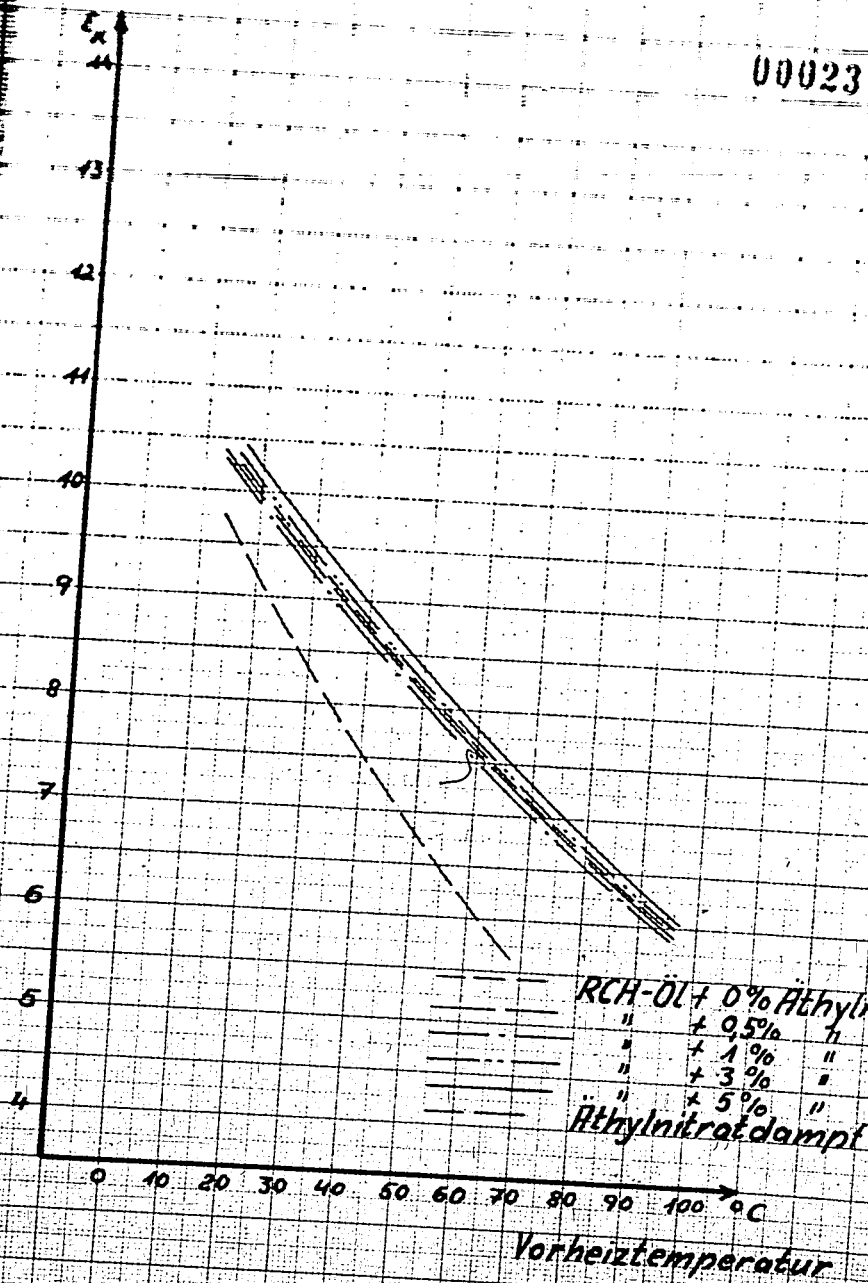
000233



RCH-ÖL + Äthylnitrat

Blatt 2

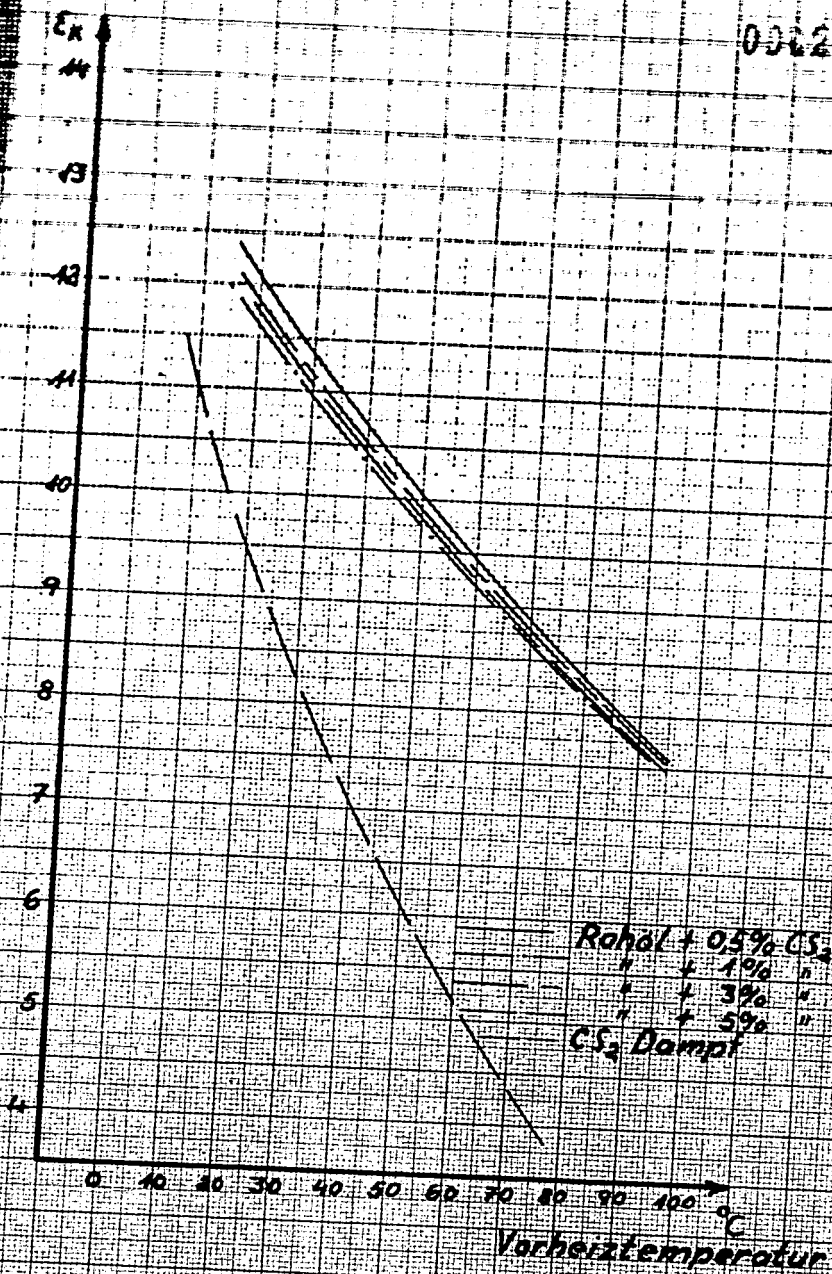
000234



Rohöl + CS₂

Blatt 3

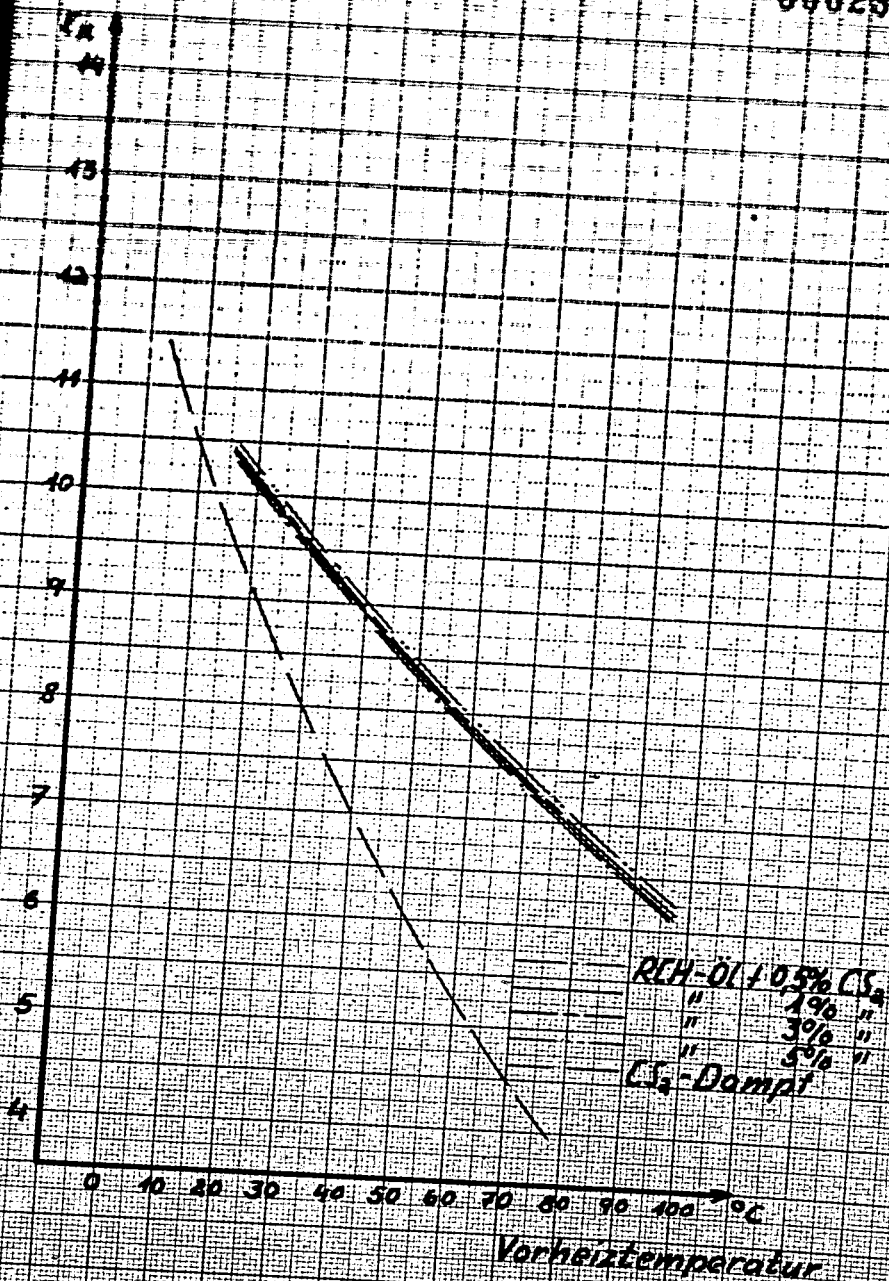
002235



REH-OL + CS₂

Blatt 4

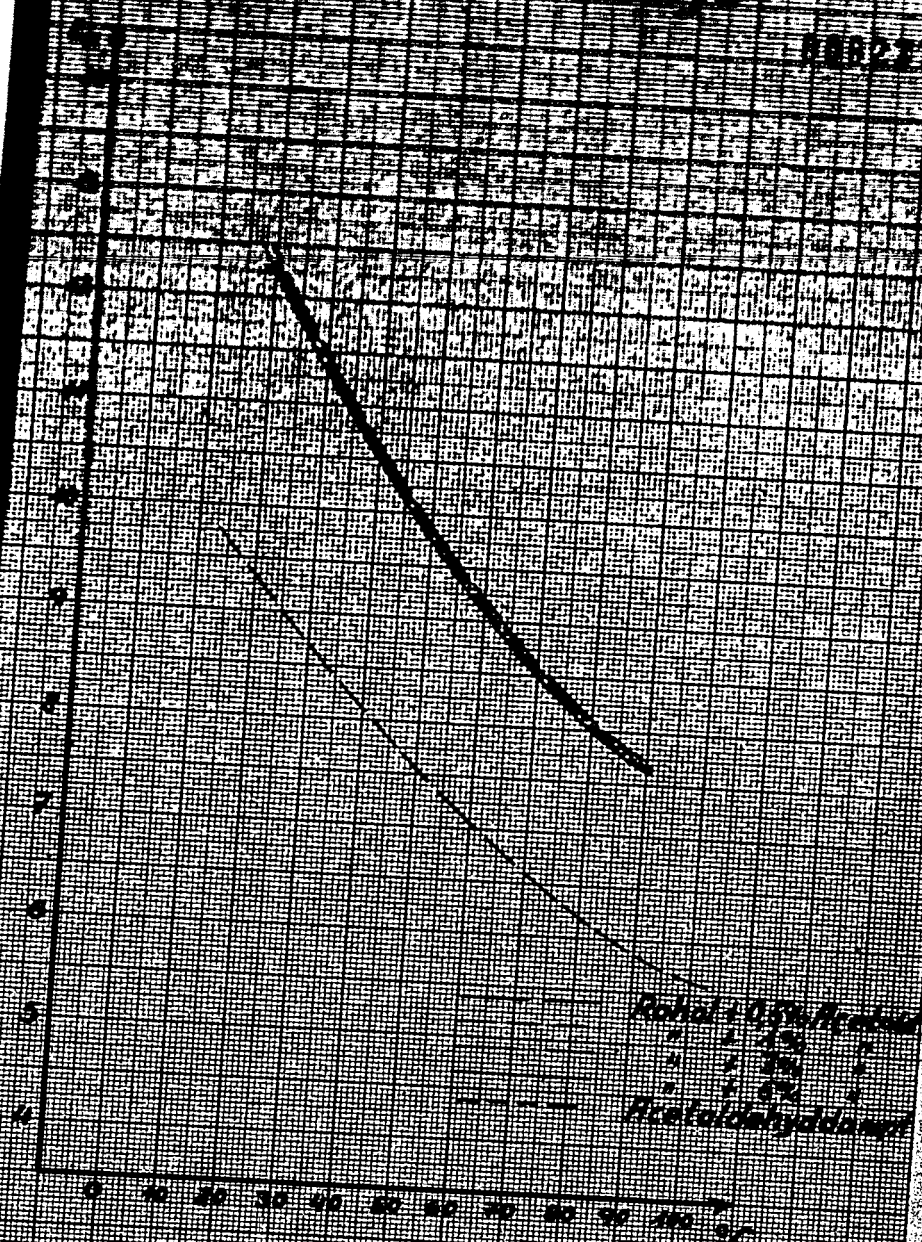
000236



Rehohol + Nickelhydroxid

Rehohol

0.08237



Rehohol + Nickelhydroxid

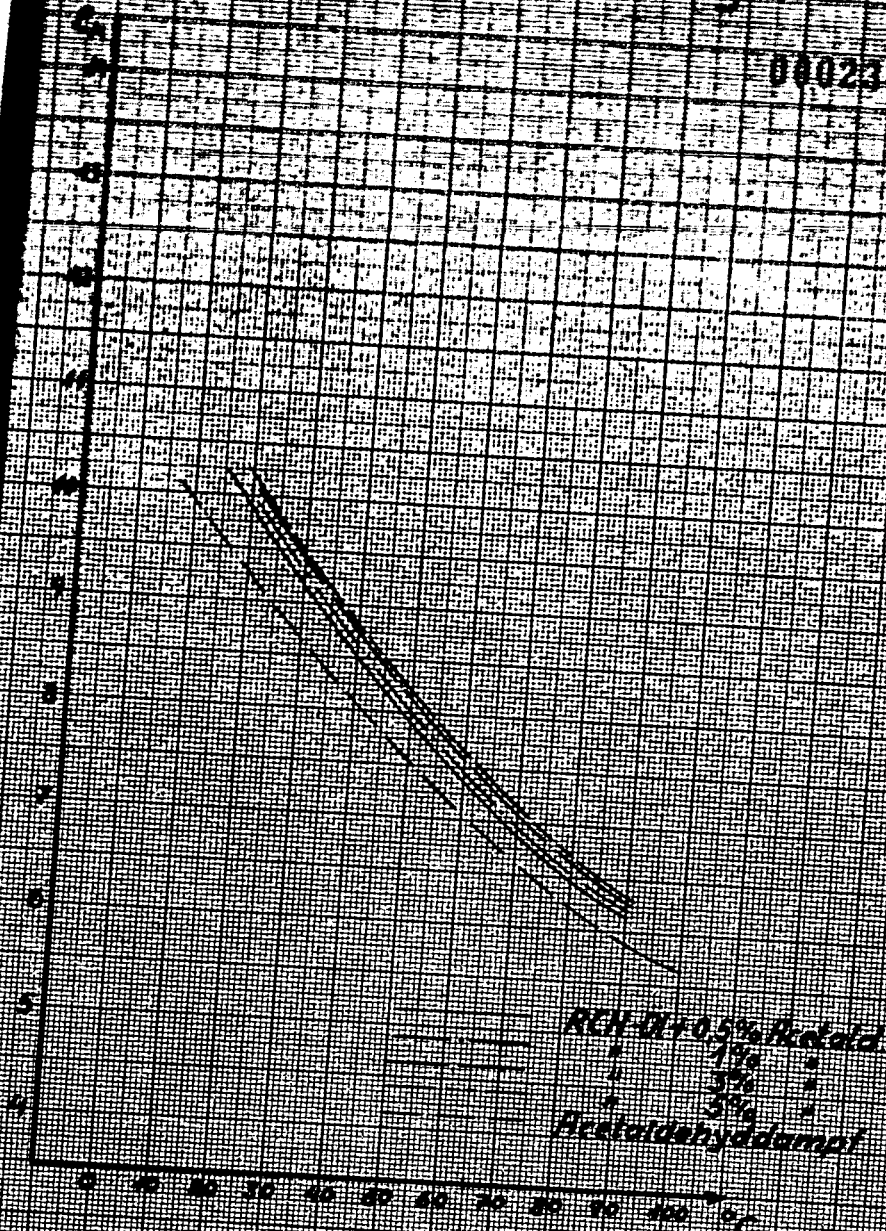
Rehohol

Verweiltemperatur

PCHE-DI + Acetaldehyd

Blatt 6

000238



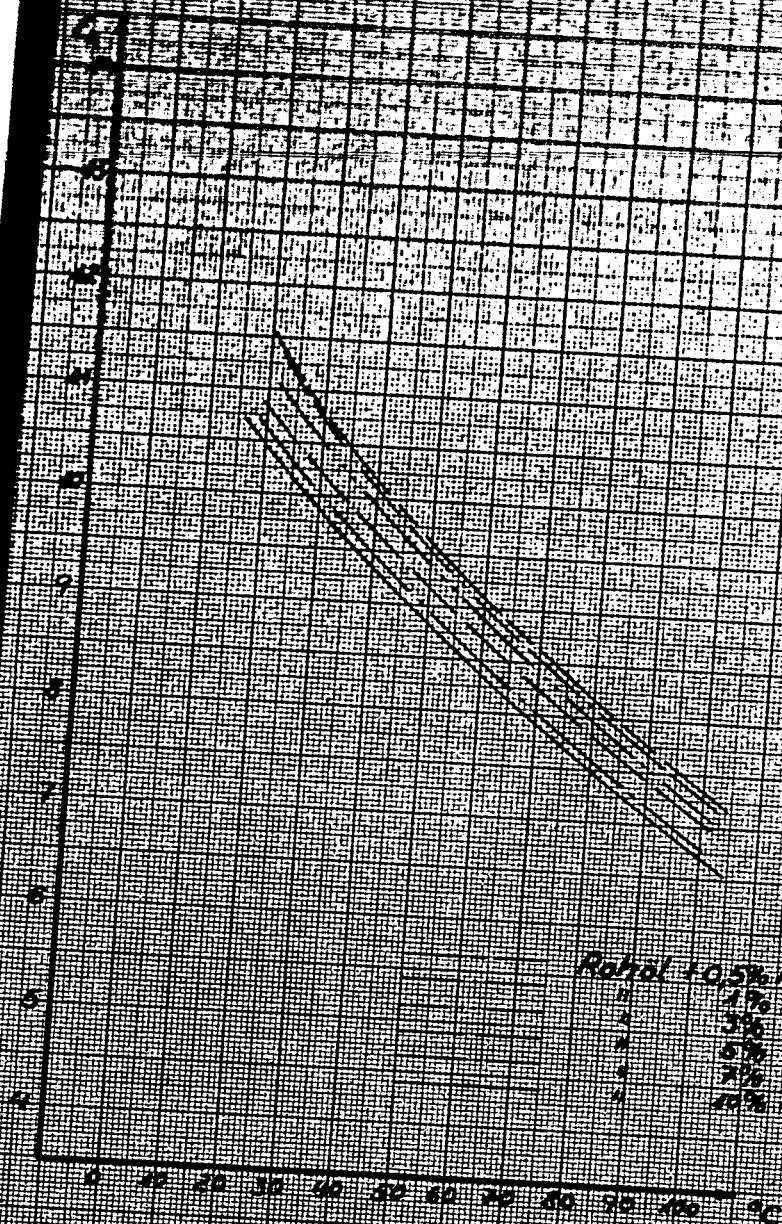
PCHE-DI + 0,5% Acetaldehyd
1%
2%
3%
5%
Acetaldehyddampf

Verhaltemperatur

Rohol 4KS

Blatt 7

000239



Rohol 405%KS

1%
3%
5%
7%
10%

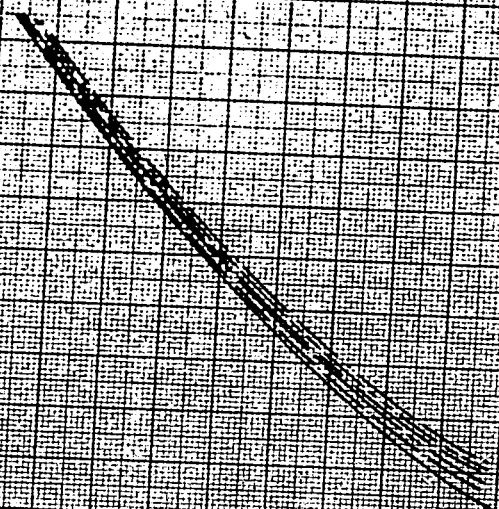
Vorheiztemperatur

REH-Ol + KS₂

Blatt 1

000210

Ex
5
6
7
8
9
10
11



REH-Ol + 0.5% KS₂

1%
3%
5%
7%
10%

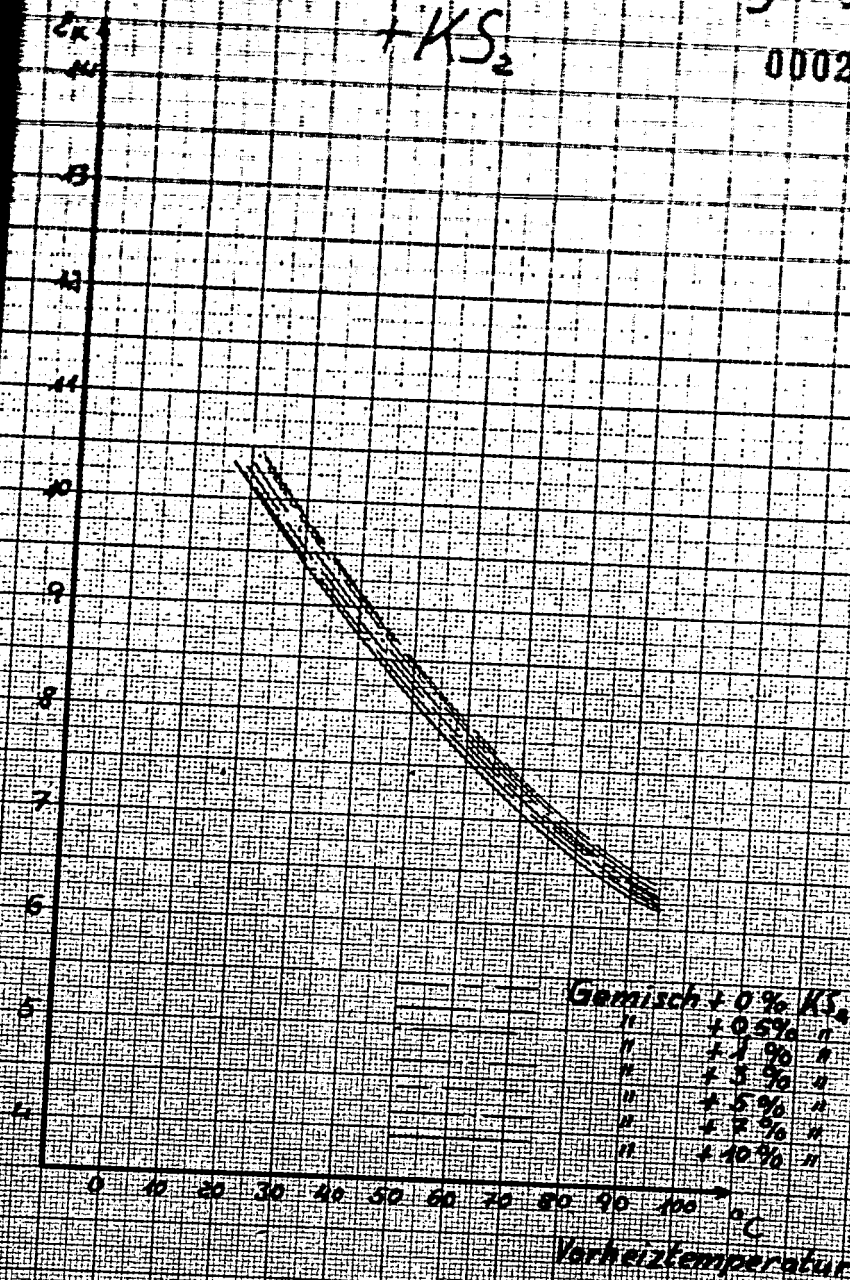
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 °C

Vorheiztemperatur

Blatt 9
[80% RCH + 2.0% α -Methyln.]

+ KS_2

000241

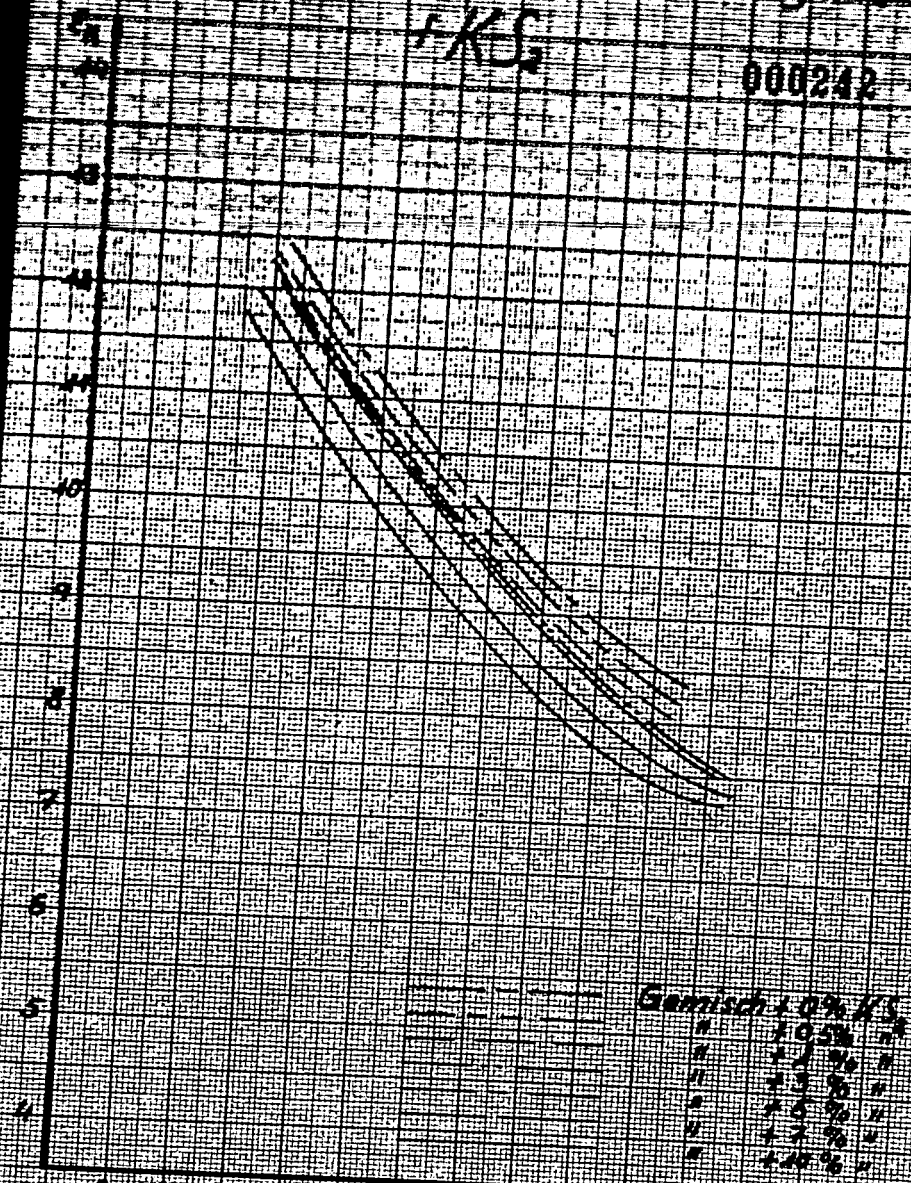


50% ACH + 50% α-Methyl

Seite 10

F-KS₂

000242



Gemisch: 0% F-KS₂

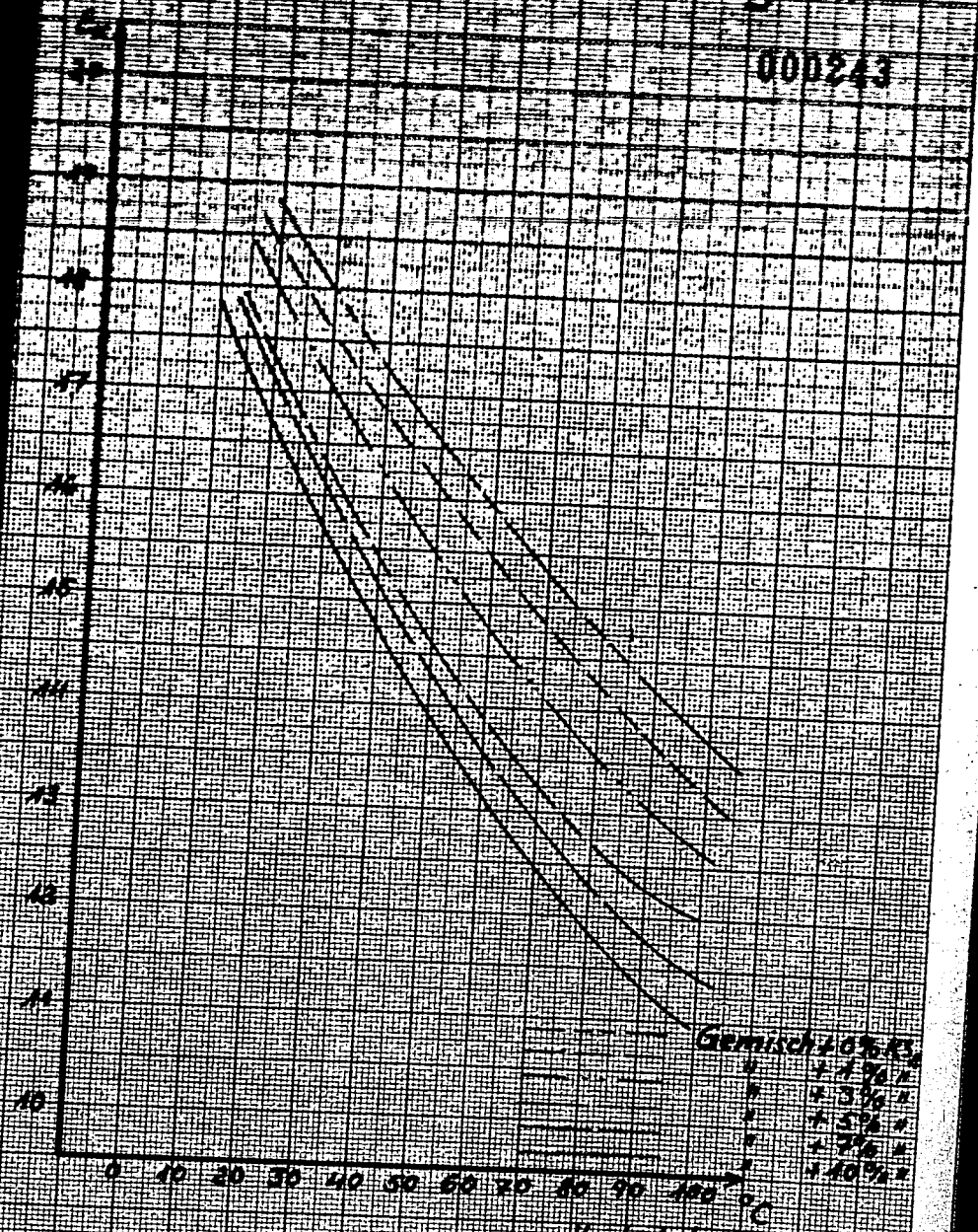
I	1.05%
II	1.20%
III	1.35%
IV	1.50%
V	1.70%
VI	1.85%

Vorheiztemperatur

(20% RCH + 80% a-Methyl)

Plat. 100

000243



Gemisch 10% RCH
+ 7% RCH
+ 3% RCH
+ 5% RCH
+ 7% RCH
+ 10% RCH

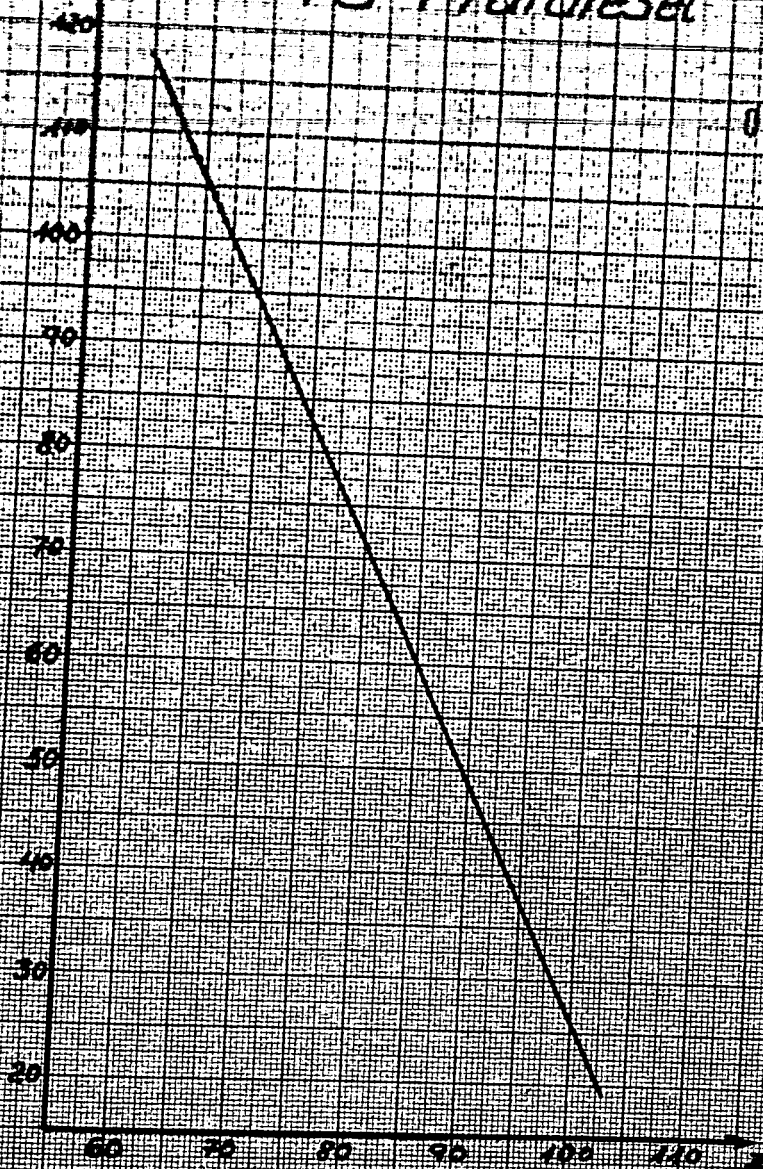
Vorheiztemperatur

Cetan-Fischkurve
IG Prüfdiesel

Blatt 13

Cetan-
zahl

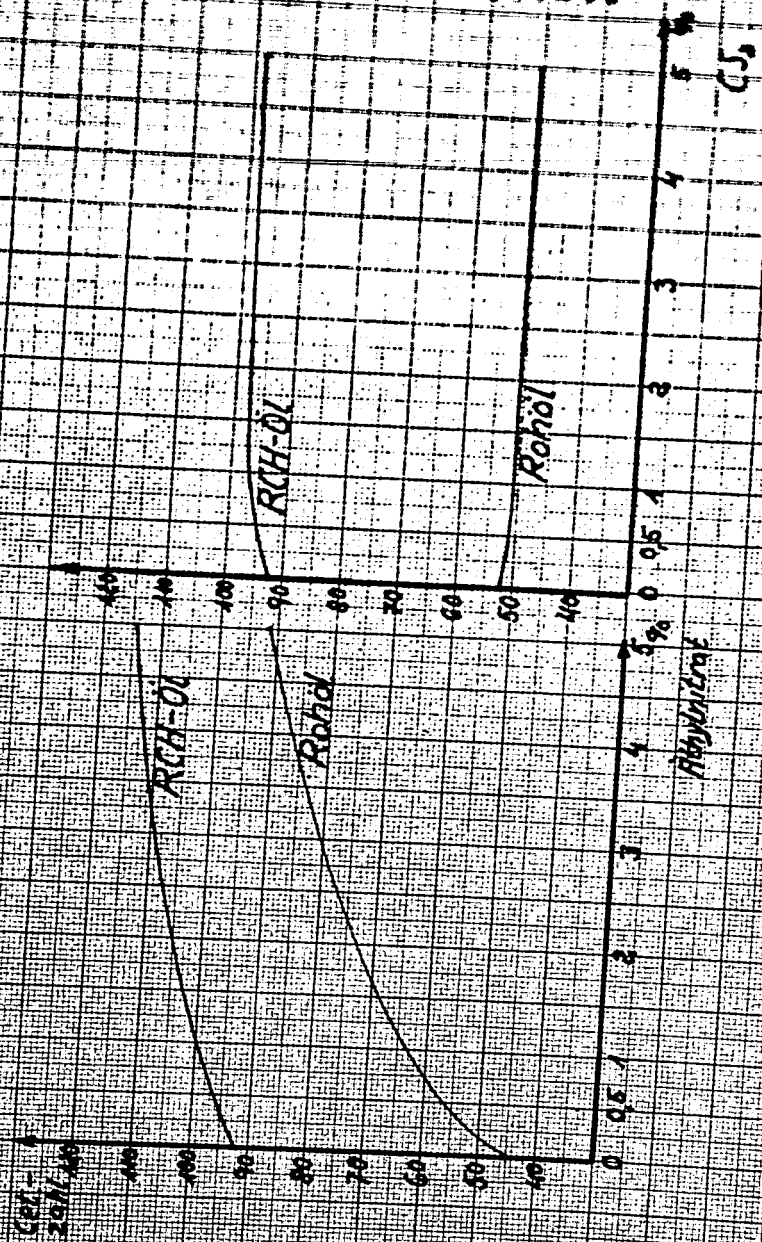
000245



Stufenstellung

000246

Wirkung von
Äthyltrinitrosäuren
auf die Cetanzahl
CS₂-Lösung

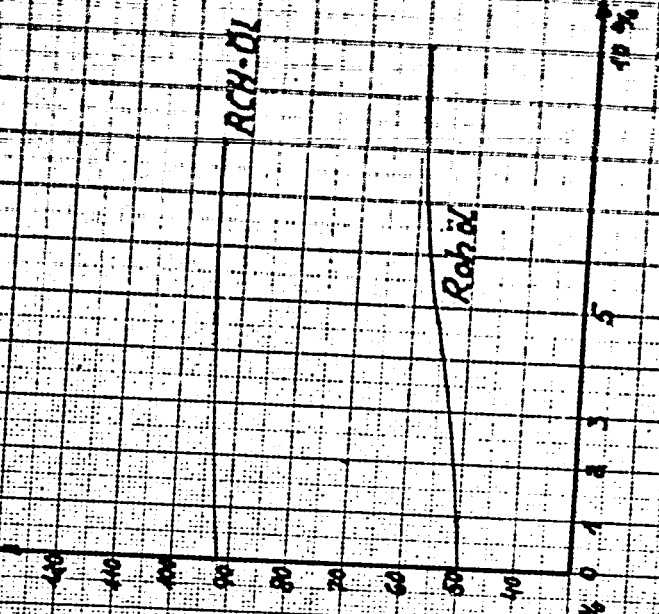
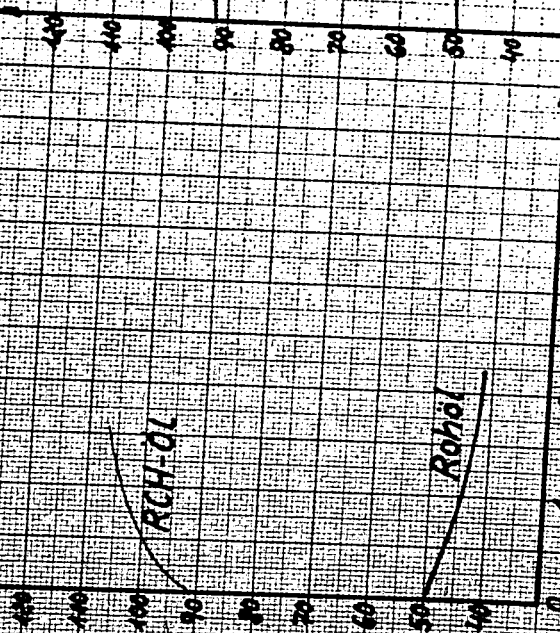


CS₂

000247

Blatt 15

Wirkung von
Pacetaldehydzusätzen
auf die Cetanzahl
K₁₅-Zusätzen



Acetaldehyd

K₁₅

Rohol

Rohol

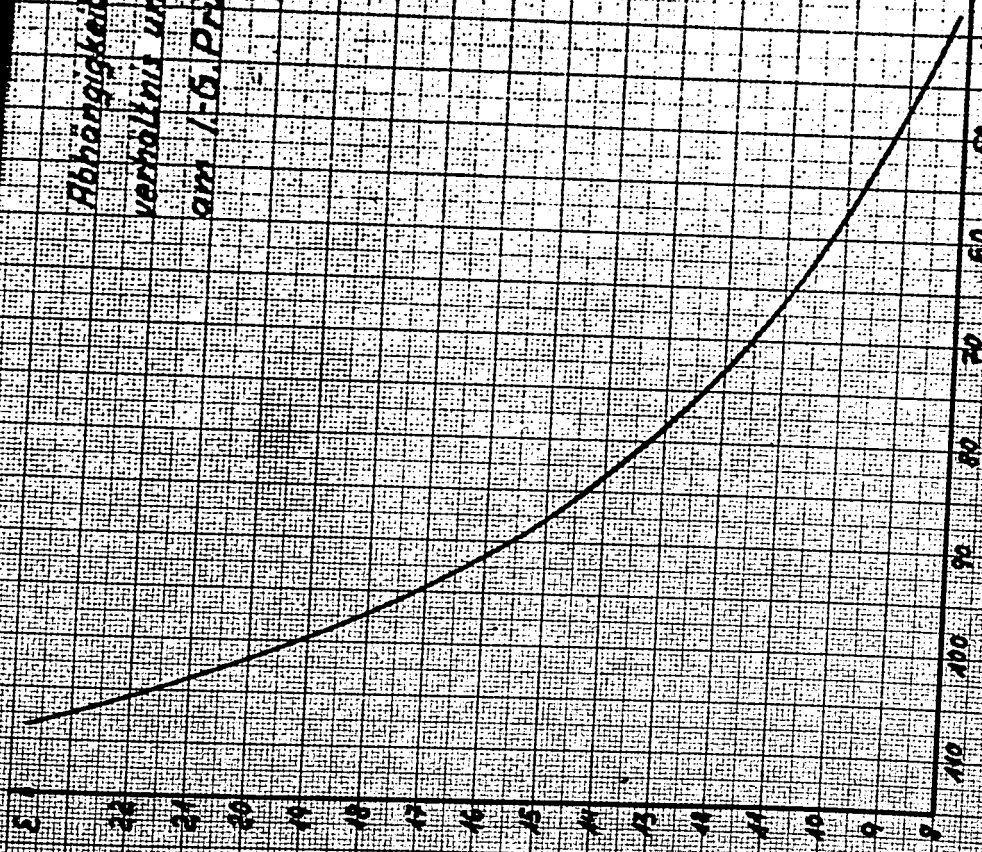
RCH-DL

RCH-DL

Abhängigkeit von Verdichtungs-
verhältnis und Skalenzustellung
am 1-G. Prüfstand

000248

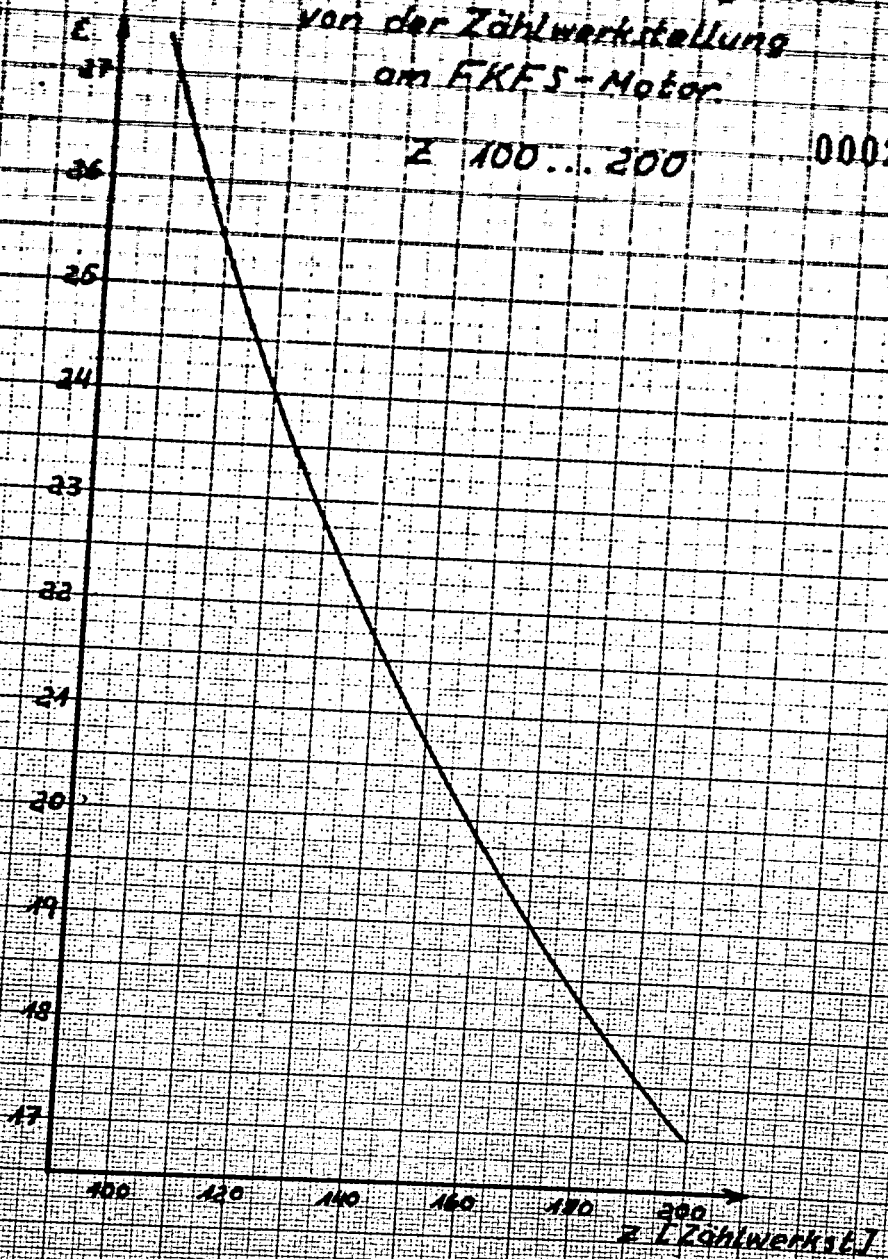
17.05.57



Abhängigkeit des Verdichtungsverh.
von der Zählwerkstellung
am FKFS-Motor.

Z 100...200

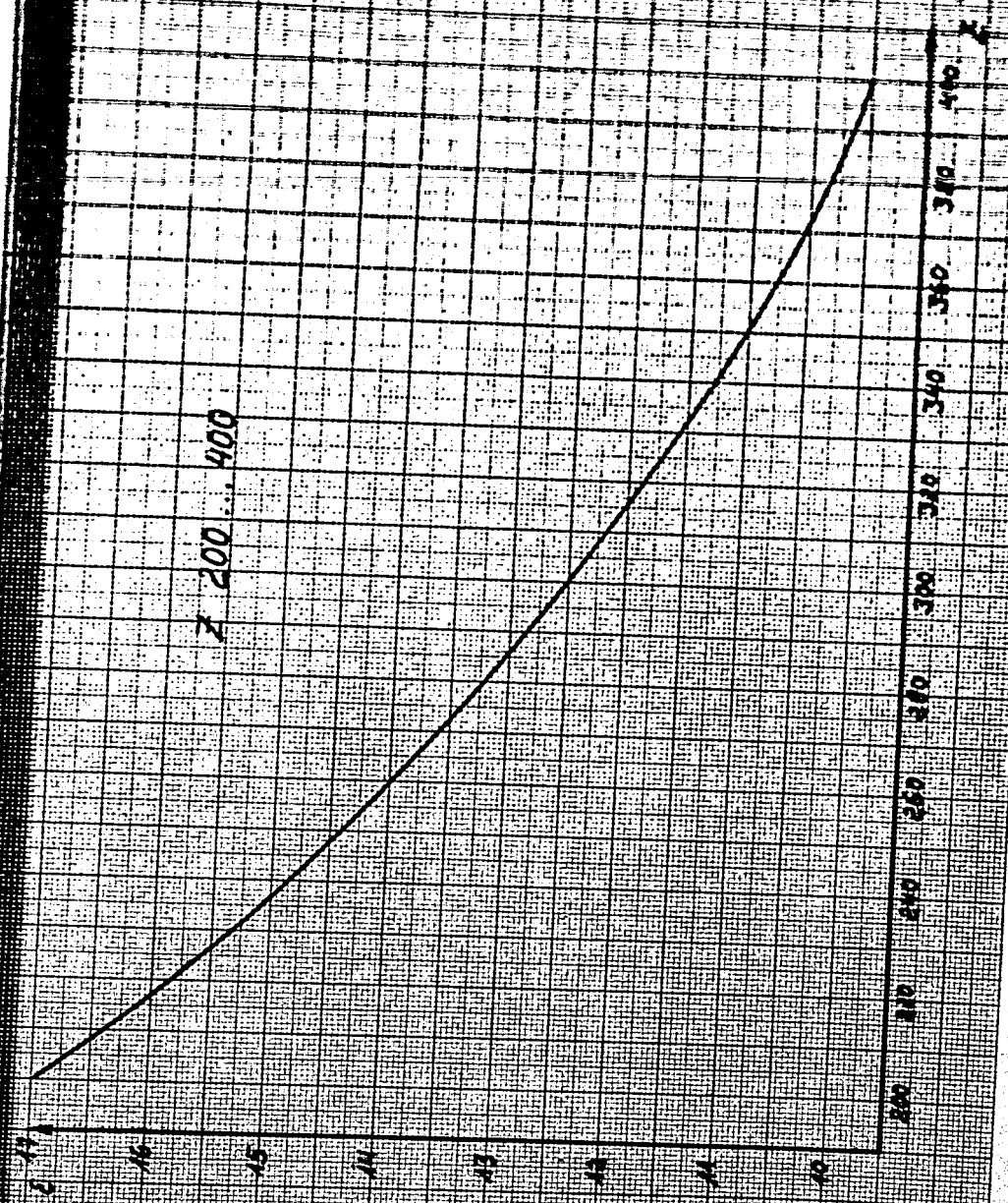
000249



000250

Blatt 48

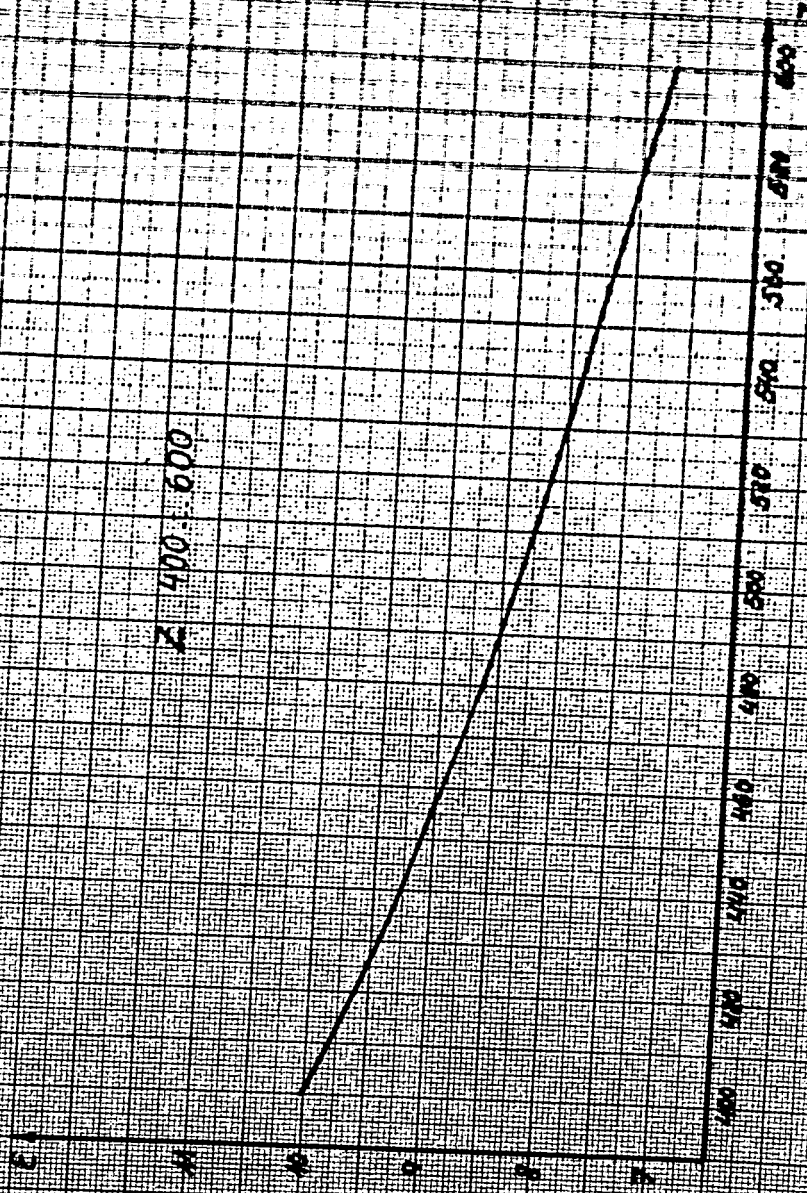
Z 200 ... 400



BLANK A

000251

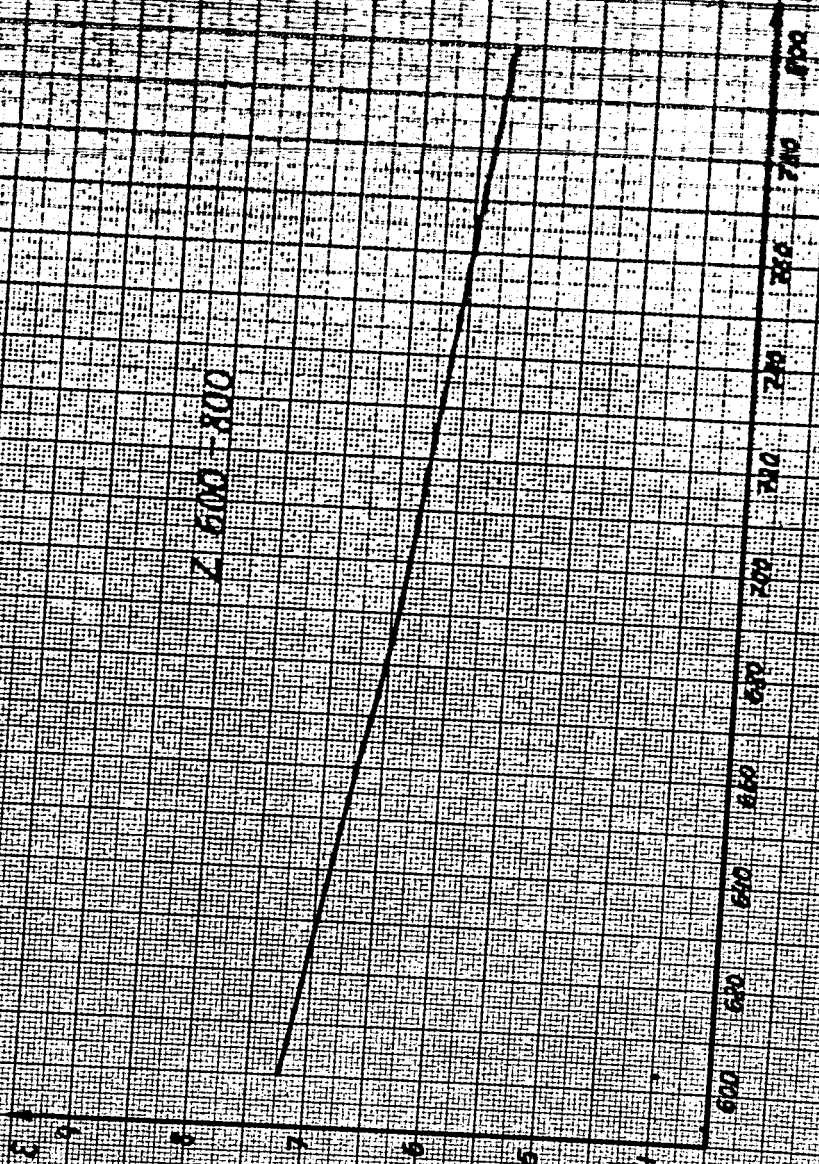
400 600



000252

01-11-20

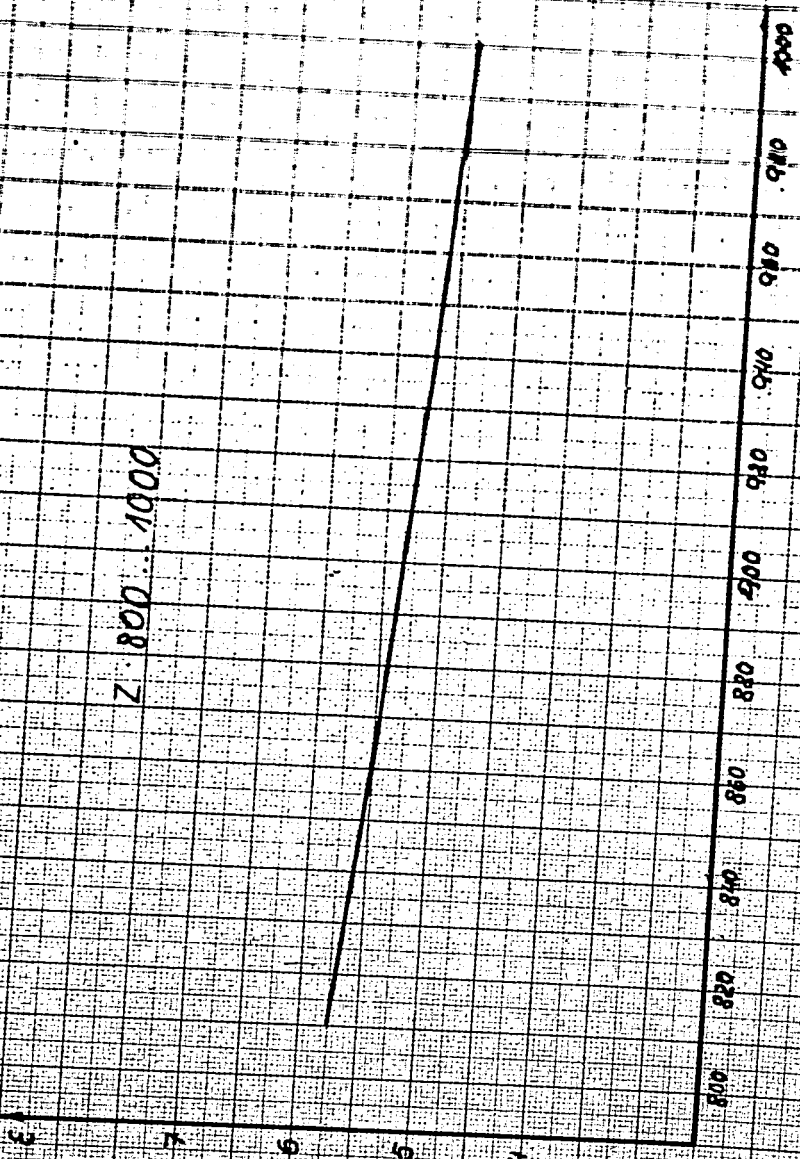
008-009 Z



000253

Blatt 21

Z 800 1000



Block 2

000254

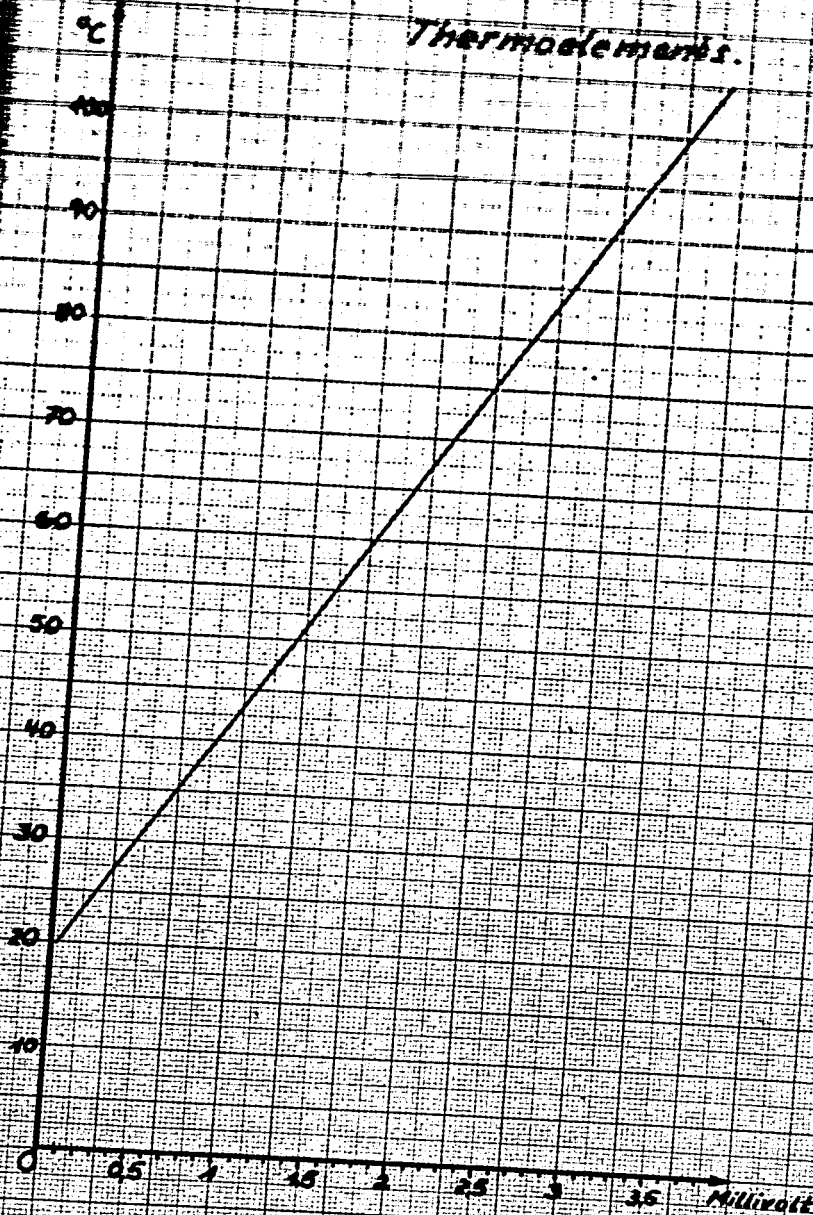
0001 - 0001 2

0001
0002
0003
0004
0005
0006
0007
0008
0009
0010
0011
0012
0013
0014
0015
0016
0017
0018
0019
0020
0021
0022
0023
0024
0025
0026
0027
0028
0029
0030
0031
0032
0033
0034
0035
0036
0037
0038
0039
0040
0041
0042
0043
0044
0045
0046
0047
0048
0049
0050
0051
0052
0053
0054
0055
0056
0057
0058
0059
0060
0061
0062
0063
0064
0065
0066
0067
0068
0069
0070
0071
0072
0073
0074
0075
0076
0077
0078
0079
0080
0081
0082
0083
0084
0085
0086
0087
0088
0089
0090
0091
0092
0093
0094
0095
0096
0097
0098
0099
0100

Blatt 23

Eichkurve des
Thermoelements.

000255



1 Rohöl + Rohöldruck
 2 RCH-Öl + Rohöldruck
 3 Rohöl + C/A
 4 Rohöl + C/A

a 0,5%
 b 1%
 c 3%
 d 5%

Eingespritzt

1				a				b			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
352	7,7	2,6	83,5	568	7,5	2,6	83,5				
446	9,3	1,4	53	463	9,4	2,4	63				
409	9,8	0,9	44	413	9,8	0,8	40				
580	10,3	0,5	34	386	10,2	0,5	34				
349	11	-	20	353	10,9	-	20				
353	10,9	-	19	354	10,8	-	19				
399	10,0	0,6	35	407	9,8	0,7	36,5				
477	8,7	1,6	57,5	482	8,6	1,6	57				
543	7,8	2,3	74	564	7,8	2,3	75				
640	6,8	3,2	96,2	659	6,7	3,2	96				

3				c				d			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
387	10,2		20	389	10,15		20				
422	9,6	0,4	29	429	9,45	0,4	29				
506	8,3	1,2	48	523	8,05	1,3	50				
574	7,5	1,95	66,5	579	7,4	1,9	64				
712	6,3	3,1	93	708	6,35	3,1	93				
715	6,3	3,4	100	708	6,35	3,4	100				
551	7,7	1,9	65	554	7,7	2,0	67				
490	8,5	1,2	48	492	8,45	1,15	47				
449	9,65	0,63	34,5	424	9,55	0,65	35				
388	10,2		19	392	10,1		19				

2				a				b			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
386	10,2	-	17,5	744	6,1	3,4	100				
444	9,6	0,6	33,5	323	7,4	1,7	57				
522	8,05	1,25	49	534	7,9	1,4	53,5				
607	7,5	2,1	69	480	8,8	0,3	36				
717	6,2	3,0	94	394	10,65	-	21				
752	6,0	3,4	100	373	10,45	-	20				
578	7,4	1,8	63	407	9,8	0,4	29				
531	7,85	1,4	53,5	500	8,35	1,2	48				
465	8,9	0,7	36	585	7,35	2,0	77				
393	10,1	-	21	744	6,1	3,2	96				

4				c				d			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
300	12,5		17	301	12,5		17				
337	11,5	0,4	31	342	11,2	0,4	31				
391	10,1	1,13	46,3	393	10,1	1,13	46,3				
450	9,15	1,93	65	454	9,05	1,9	64				
548	7,85	3,2	96	537	7,9	3,2	96				
460	8,95	2,0	67	465	8,9	2,05	68				
445	9,7	1,3	50	417	9,7	1,4	53				
368	10,55	0,6	34	372	10,4	0,65	35				
338	11,6	0,1	22	322	11,6	0,1	22				

5				6			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
358	10,8	0,4	29	379	10,3		17,5
400	10	0,9	41	444	9,2	0,6	33,5
482	8,7	1,9	64	523	8,05	1,25	49
486	8,6	2,0	66	607	7,2	2,1	69
576	7,45	3,1	93	715	6,25	3,0	94

000256

5 Rohöl

6 RCH-Öl

2

1. Rohöl + Acetaldehyd
 2. RCH-Ol + Acetaldehyd
 3. RCH-Ol + K₂S
 4. RCH-Ol + K₂S + ...

Eingespritzt

1				0			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
340	12,2	0,1	22	302	12,25		19
337	11,38	0,55	32,5	337	11,35	0,5	31
313	10,25	2,1	45,5	359	10,0	1,4	48
453	9,0	1,9	64,5	467	8,25	1,95	65,5
553	7,7	3,0	91	563	7,6	3,0	91
570	7,5	3,3	98	572	7,5	3,4	100
490	8,5	2,2	72	489	8,25	2,0	67
454	9,97	1,2	48	401	9,97	1,2	48
344	11,45	0,56	33	346	11,1	0,55	32,5
345	12,1	0,18	23	320	11,9	0,2	24

3				d			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
388	10,2		19,3	387	10,4	0,2	22
436	9,35	0,5	31	422	9,65	0,5	31
500	8,35	1,2	48	498	8,4	1,2	48
566	7,55	1,75	61	574	7,47	1,8	62
735	6,15	3,45	101,5	748	6,05	3,4	100,5
756	6	3,4	100,5	750	6,05	3,38	100
600	7,25	2,05	68	605	7,2	2,1	69
517	8,15	1,02	48	521	8,1	1,2	48
463	8,9	0,55	32,5	458	9	0,55	32,5
406	9,9	0,2	24	421	9,65	0,3	25

2				0			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
393	10,0		30	402	9,95		20
431	9,45	0,4	29	439	9,3	0,4	29
504	8,35	1,15	46,5	503	8,3	1,1	45,5
584	7,4	1,75	61	588	7,35	1,75	61
743	6,3	2,9	88	735	6,5	3,0	91
712	6,3	3,05	92	728	6,2	3,2	96
581	7,4	1,9	64	584	7,37	1,85	63,5
503	8,34	1,2	48	504	8,3	1,23	49
444	9,89	0,45	30	438	9,3	0,42	29,5
397	10,03	0,18	23	399	10,0	0,2	24

4				b			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
417	9,67	0,1	22	423	9,55	0,13	22,5
453	9,1	0,43	29,5	461	8,95	0,4	29
549	8,1	1,2	48,5	524	8,05	1,2	48
614	7,1	1,8	62	646	7,1	1,25	61
769	5,9	3,15	94	785	5,8	3,2	95,5
321	11,6		21	327	11,65	0	21
351	10,95	0,4	29	355	10,85	0,4	29
410	9,85	1,1	45,5	411	9,8	1,1	45,5
467	8,85	1,9	64	475	8,75	1,9	64
564	7,55	3,2	95,5	571	7,5	3,2	95,5

000257

3

1. 200% CH₂ (a=30, b=50, c=70, d=100)
 2. 200% CH₂ + 200% a-Methylalkyl, a=0, b=45, c=1, d=5
 3. 200% CH₂ + 200% a-Methylalkyl, a=5, b=7, c=1, d=5
 4. 200% CH₂ + 50% a-Methylalkyl, a=0, b=45, c=1, d=5

Eingespritzt

1

a				b			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
500	7,4	9,2	46	504	7,4	3,2	95,5
486	8,4	9,6	67	493	8,5	2,0	67
439	9,3	1,2	42	443	9,25	1,4	48
320	10,05	1,8	33	373	10,25	0,6	33,5
356	10,05	3,4	24	364	10,2	0,2	24
360	10,25	0,4	26,5	378	10,15	0,15	23
404	9,85	0,6	34	390	10,05	0,6	34
436	9,55	1,15	47	458	9,1	1,2	48
513	8,8	1,8	62	501	8,35	1,8	62
594	7,25	2,25	85	574	7,5	2,8	86

3

a				b			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
392	10,1	0,15	23	734	6,15	3,2	95,5
433	9,4	0,4	29	610	7,15	2,15	70
490	8,5	1,0	43	534	7,95	1,3	50
588	7,35	2,05	68	474	8,8	0,6	34
706	6,35	3,15	94	411	9,8	0,2	24
396	10,05	0,15	23				
436	9,35	0,48	30				
490	8,5	1,1	46				
583	7,4	2,0	67				
715	6,3	3,2	95,5				

2

a				b			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
369	10,55	0,1	22	370	10,45	0,1	22
403	9,95	0,5	34	410	9,8	0,54	32
472	8,8	1,4	46	467	8,25	1,15	47
552	7,7	1,85	63	560	7,25	1,8	62
605	6,65	3,05	92	655	6,75	2,95	90
670	6,15	3,2	95,5	700	6,4	3,2	95,5
558	7,7	1,32	62,5	534	7,8	1,8	62
496	8,4	1,35	51,5	490	2,5	1,25	48,5
488	9,47	0,53	32	429	9,45	0,57	33
386	10,2	0,2	24	356	10,2	0,2	24

4

a				b			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
293	12,25		24,5	300	12,5		24,5
349	11,9	0,5	34	322	11,8	0,5	34
377	10,35	1,3	50	385	10,2	1,85	48,5
434	9,4	2,05	68	443	9,25	2,15	70
512	8,37	3,4	100,5	514	8,2	3,25	96,3
526	8,03	3,2	95,5	540	7,85	3,2	95,5
403	9,85	1,6	57,5	434	9,4	2,1	69
341	11,2	0,8	38,5	403	9,95	1,4	52,5
326	11,67	0,4	29	341	11,23	0,6	33,5
				388	11,6	0,3	26,5

000258

4

1. 150% KOH + 50% a. - Methylalkohol, a=5, b=7, c=11
 2. "
 3. 120% KOH + 80% a. - Methylalkohol, a=0, b=1, c=2
 4. "
 a=7, b=10

Eingespritzt.

1				2			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
547	7,25	3,25	96,3	333	11,2	0,2	24
453	9,07	2,0	67	353	10,9	0,4	29
410	9,7	1,5	55	440	9,8	1,2	48
348	11,8	0,8	33	471	8,8	1,85	63
316	12,0	0,25	25	585	13,8	3,6	105
340	11,25	0,2	24				
369	10,55	0,4	29				
429	9,45	1,45	47				
485	8,0	1,9	64,5				
602	7,23	3,0	105				

3				4			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
174	18,2	0	20	177	18,45	0	20
177	18,45	0,5	31	179	18,3	0,5	31
204	16,75	1,2	48	209	16,45	1,15	46,5
227	15,5	2,0	67	236	15,1	2,03	68
265	13,8	3,2	98	280	13,25	3,2	96
297	12,63	3,4	100	313	12,1	3,48	100,5
259	14,05	2,0	67	275	13,4	2,0	67
223	15,7	1,2	48	245	14,7	1,2	48
204	16,25	0,6	34	212	16,3	0,6	34
186	17,25	0,2	24	199	17,25	0,2	24

4				5			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
196	17,2	0,45	23	215	16,2	0,2	24
212	16,3	0,45	30	223	15,7	0,5	31
242	14,8	1,4	53	258	14,1	1,2	48
288	12,95	2,0	67	301	12,5	2,1	69
337	11,35	3,5	103	358	10,95	3,45	104,5

000259

5

1. Acetaldehyd verd. 1,2 eingearbeitet
 2. Acetaldehyd verd. 3,25 verdampft
 3. Acetaldehyd verd. 4,0 verdampft
 4. C₂H₄ verdampft
 5. Acetaldehyd verd.

1,2 eingearbeitet
 3,25 verdampft

1				2			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
110	1725	3,5	103	192	1745	3,3	98
112	1725	3,2	79	154	1925	3,3	74
150	1725	1,8	48	198	1965	1,8	48
138	1725	0,55	35	138	220	0,6	34
127	1725	0,2	24	135	22,3	0,2	24
115	202	0,6	34	118	2025	0,8	24
123	202	1,8	48	134	2025	0,95	30
148	2025	1,8	64	136	222	1,8	48
190	1955	2,9	82,5	150	2025	1,8	63
				170	1825	2,9	82,5

2				3			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
822	1824	3,2	102	806	146	3,5	103
272	1915	2,2	72	177	179	2,0	62,5
154	2025	1,3	60	182	175	1,3	60
136	222	0,4	34	131	221	0,6	34
127	222	0,2	24	130	222	0,8	24

3				4				5			
Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C	Z	E	mV	°C
420	9,6	0	20	344	1,45	0	20	424	9,55	0	20
542	7,8	0,6	34	524	2,05	0,5	34	471	2,8	0,4	29
589	3,35	1,1	46,5	642	6,45	1,2	48	540	3,85	1,06	44,5
645	7,0	2,0	67	822	5,35	1,65	58	630	6,95	1,8	62
				1000	4,5	3,2	96	840	5,65	3,4	100

000260

6

1 Thermoelementkurve
 2 Celoneichkurve 10 Prüfdiesel
 3 Verdichtungsweite am 10-Prüfdiesel
 a) Rohöl + K.S. 0,140 + 0,14; c) Rohöl + K.S. 0,140 + 0,14
 d) Rohöl + K.S. 0,140 + 0,14; e) Rohöl + K.S. 0,140 + 0,14

1.

°C	mm
31	0,49
44	1,0
58	1,45
67	2,0
76	2,4
84	2,8
90	3,0
98	3,35
99	3,4
84	2,35
70	2,1
59	1,67
45	1,1
36	0,7
28	0,3
23	0,13

2.

Gr.	Z	E
70	84	13,4
80	79	14,5
60	84	14,5
53	83	14,9
54	83	14,9
50	94	16,0
03	61	14,5
50	82	15,0
20	75,5	14,4
20	102,5	14,4
90	71,5	14,3
40	94	17,1
50	88	15,1
52	86,5	14,8
51	87,1	14,9

3.

	Z	E
a	102	91,1 15,75
	102	87,5 15,3
	102	86,0 14,7
	102	85,0 14,9
b	104	69,9 15,5
	104	70 14,6
	104	69,5 14,5
	104	67,7 14,5
c	102	68,8 14,3
	102	67,5 14,1
	102	68,8 14,3
	102	104 14,5

	Z	E
d	0,9%	88,9 15,4
	1,9%	88,8 15,15
	3,9%	88,0 15,1
	5,9%	88,4 15,2
e	0,5%	69,1 14,4
	1,0%	68,3 14,3
	3,9%	68,1 14,2
	5,9%	67,4 14,1
f	0,9%	89 15,5
	1,9%	94,7 16,4
	0,5	67,3 14,1

000261

000263

Start
End 1943.

000264

1917

1917

1917

Der Einfluss der Betriebsbedingungen auf die
Klopfestigkeit von Kraftstoffen ist versuchs-
mäßig unter Anwendung verschiedener Messgeräte
zu ermitteln.

Vorbereitung

- i. Zweck und Ziel der Untersuchungen.
- ii. Der Einfluss der Betriebsbedingungen auf die Klopfestigkeit von Kraftmaschinen.
 - a. Das Klopfen im Otto-Motor.
 - b. Das Messen der Klopfestigkeit.
 - c. Der Einfluss der Betriebsbedingungen.
 1. Temperatur des ungesaugten Gemisches und des Aushmittels.
 2. Verechtung, Überladung, Lasteruck.
 3. Verzahnung.
 4. Drehzahl.
 5. Luftverhältnis.
 - d. Die Durchführung der Versuche und ihre Ergebnisse.
 1. Motor-Verfahren.
 2. Oppauer Verfahren.
- iii. Die Anwendung verschiedener Klopfmeßgeräte.
 - a. Klopfmeßgeräte.
 1. Springstab.
 2. Elektrodynamischer Springstab.
 3. Beschleunigungsmesser.
 - b. Die Durchführung vergleichender Messungen und ihre Ergebnisse.
- IV. Zusammenfassung.
- V. Literatur.

000266

Der Einfluss der Betriebsbedingungen

Das Verfahren zur Bestimmung der Klopffestigkeit von Kraftstoffen liefert nur einen Mittelwert, die Abweichungen des Mittelwerts von den tatsächlichen Werten betriebs im Motor sind aber, nachdem die Klopffestigkeit die Bestimmung mittels eines Motors.

Die Erkenntnis, dass die bei bestimmten Betriebsbedingungen gefundenen Grenzwerte nicht ohne Weiteres auf veränderte Betriebsbedingungen im Motor übertragen werden können, führte zur Entwicklung der Flugkraftstoffe zur Entwicklung eines Leitzahlverfahrens, zu dem Grenzkurven nach dem Verfahren der D/L und der für den 10-Prüfmotor abgewandelter 10-Prüfmotor Oppau.

Die Untersuchung soll dazu beitragen, festzustellen, wie sich eine Veränderung der Betriebsbedingungen, besonders der Gemischtemperatur und des Luftverhältnisses λ , bei verschiedenen Kraftstoffen auf die Octanzahlen auswirkt und welche Gesetzmäßigkeiten sich bei einer Beurteilung nach dem Oppauer Verfahren für verschiedene Flugkraftstoffe und steigenden Bleitetraethylgehalt ergeben.

Weiterhin soll die Untersuchung dazu beitragen, ein Klopfmeßgerät zu finden, das die Klopfstärke objektiv anzeigt.

II. Der Einfluss der Betriebsbedingungen auf die Klopffestigkeit von Kraftstoffen.

a. Das Klopfen im Otto-Motor.

Einer Steigerung des Verdichtungsgrades im Motor zur Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades η

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{\kappa-1}}$$

und damit der Motorleistung stellt sich die Erscheinung des Klopfens entgegen. Das Klopfen ist auf ein momentanes Abreagieren des noch nicht verbrannten Ladungsrestes im Verbrennungsraum zurückzuführen.

Es knurrt sich in einem Raum der Motorart vor-
 schließend "Klopfen" oder "Klopfen" vor. Die
 Klopfische Verbrennung geht mit einer Beschleunigung
 vor sich, die sich der Beschleunigungsgrenze
 wie von den Klopfzeiten abgrenzen. Druckwellen
 entstehen dadurch einen sehr steilen Anstieg und
 werden so zu Klopfen. Die Klopfen, die mit
 einer verstärkten Luftzufuhr des Verbrennungsraumes
 die Klopfen auf, die eine Verringerung des
 thermischen Wirkungsgrades zur Folge hat. Die Klopf-
 wellen zeigen sich in Indikatorgramm kurz nach
 der Abschaltung mit hoher Frequenz und hohen
 Drucksitzen. In ihrer Ausbildung ist Energie notwen-
 dig, die eine Verringerung des mittleren Nutzdrukkes
 zur Folge hat und damit der Ausleistung verloren
 geht. Außer der Verringerung des thermischen Wirkungs-
 grades und der Leistung können Schäden am Motor auf-
 treten, thermische durch Überhitzen der Verbrennungs-
 raumwandungen mit ihren Folgen oder mechanische, ver-
 ursacht durch die hohen Drucksitzen der Klopfwellen.

Zur Erklärung der Klopferscheinungen ist es
 notwendig, die physikalischen und chemischen Vorgänge
 bei der Verbrennung im Motor zu studieren. Vor dem
 Einsetzen der Verbrennung erfolgt eine Aufbereitung
 des Kraftstoffes, physikalisch durch Zerstäubung,
 Mischung und Verdampfung der flüssigen Kraftstoffe
 mit der Verbrennungsluft und chemisch durch Vorreak-
 tionen, die auf das Klopfen besonderen Einfluss haben.



Indikatorgramm mit Klopferschwingungen.

bei der dynamischen Differenzial ist besonders die Klopffähigkeit des Kraftstoffes von Einfluss auf das Klopfverhalten, die aber sich in einer Empfindung des Verdichtungsgrads ausdrückt aus:
die Verdichtungsgrade betragen für:

Kraftstoff	ϵ	$\frac{K_{p1}}{K_{p2}}$
Benzol	17	2,5
Ather	15	2,0
Alkohol	13,5-17,0	2,0

Dadurch wird die Verdichtungsgradtemperatur bei gleichbleibender Lufttemperatur erniedrigt um:

Benzoltemperatur	21°C
Benzol	23°C
Ather	22°C
Alkohol	24°C

Bei den Versuchen wurde der Einfluß der Verdampfungswärme durch Konstanthalten der Gemischtemperatur mittels einer elektrischen Vorheizung ausgeschaltet.

Die Vorreaktionen beginnen im Otto-Motor bereits bei Temperaturen von etwa 200°C und setzen sich bis zur endgültigen Verbrennung fort. Der Ablauf der Kohlenwasserstoffverbrennung erfolgt stufenweise in Reaktionsketten, unter Bildung aktiver Verbindungen, die den weiteren Ablauf der Reaktionen beeinflussen. Durch Energieentzug können die Reaktionsketten vorzeitig zum Abbruch gebracht werden. Die Vorreaktionen erfolgen unter Energieabgabe, wie man am geschleppten Motor feststellen kann und zum Teil auch unter Leuchterscheinungen (kalte Flammen). Die Reaktionen werden mit steigender Temperatur so beschleunigt, daß sie in Verbrennungsbomben unter der Wirkung ihrer eigenen Wärmeentwicklung bis zur Selbstentzündung führen können.

Das Klopfverhalten der Kraftstoffe ist in starkem Maße von den bei den Vorreaktionen entstehenden Ver-

... von abhängig. Als wesentliche Bestandteile
 treten Nitrolyse, Alkoxide und Peroxide auf, von denen
 die Nitrolyse die wichtigsten Bestandteile bildet. Die
 Nitrolyse tritt von Peroxiden, die von der bei dieser
 Reaktion entstehen, leitet auf eine hohe Klopffestig-
 keit schließen.

Für den Klopffestigkeit ist weitestgehend der Aufbau
 und die Größe der Kraftstoffmolekule von Bedeutung.
 Alkine und aromatische Moleküle haben hohe Klopffestig-
 keit. Lange Vielatomige Ketten, wie sie bei den sonst
 reaktionsträger n-Paraffinen zu finden sind, wirken
 klopffordern. Im Gegensatz dazu haben die Doppelbin-
 dungen der ungesättigten Kohlenwasserstoffe ketten-
 abbrechende Wirkungen. Die hohe Klopffestigkeit der
 Aromaten und naphthen ist auf den geballten, ring-
 förmigen Molekülaufbau zurückzuführen, der nur wenige
 Angriffspunkte bietet.

Antiklopffmittel haben kettenabbrechende Wirkung,
 sie wirken um so weniger, je mehr Reaktionsketten
 schon ohne ihren Zusatz abgebrochen werden. Es handelt
 sich meist um Schwermetallverbindungen wie $Pb(C_2H_5)_4$
 und $Fe(CO)_5$, die sich während des Verbrennungsvor-
 ganges zersetzen. Sie haben nur in zersetztem Zustand
 klopffordernde Wirkung.

o. Das Messen der Klopffestigkeit.

Die Bestimmung der Klopffestigkeit eines Kraft-
 stoffes erfolgt durch Vergleich mit Gemischen bekann-
 ter Oktanzahlen in einem Prüfmotor mit veränderlichem
 Verdichtungsgrad. Dabei sind bestimmte Betriebsver-
 hältnisse einzuhalten, die je nach dem anzuwendenden
 Untersuchungsverfahren eingestellt werden. In Deutsch-
 land werden bisher Auto-Kraftstoffe nach dem Heberich-
 verfahren und Flug-Kraftstoffe nach dem Motorverfahren
 untersucht. Für beide wird der IQ-Prüfmotor benutzet.

die entsprechenden Betriebsbedingungen sind:

Größe	Motorverf.	Starbverf.
Zylinderzahl	4	6
Vorrichtung
Gemischtemperatur
Zylinderwandtemperatur

...in Abhängigkeit wurde sich auf das Klopffolgen auswirken, weil die Kraftstoffe verschoben auf die verschiedenen Umdrehungsmöglichkeiten reagieren.

c. Der Einfluss der Betriebsbedingungen.

1. Temperatur.

Den entscheidendsten Einfluss auf das Klopfverhalten haben die Gemisch- und Zylindertemperaturen. Die durch Änderung der anderen Betriebsbedingungen auftretender Klopferscheinungen lassen sich überwiegend auf den Temperatureffekt zurückführen.

Mit wachsenden Gemisch- und Zylindertemperaturen steigt die Verdichtungsanfangstemperatur und damit auch die Verdichtungsendtemperatur T_2 ,

$$T_2 = T_1 \cdot \epsilon^{\kappa-1}$$

was naturgemäß die stark temperaturabhängigen Vorreaktionen im Motor fördert und den sich entzündenden und mit großer Geschwindigkeit verbrennenden Gemischanteil vergrößert.

Von den Zylinderwandungen haben die heißesten Stellen (Auslassventile) die größte Wirkung auf das Klopfen. Da die Temperaturen der heißesten und schlecht gekühlten Stellen von der Temperatur des Kühlmittels nur wenig beeinflusst werden, erklärt sich so auch, weshalb Änderungen der Kühlttemperatur geringeren Einfluss auf das Klopfen haben, als Änderungen der Gemischtemperatur.

2. Verdichtung, Überladung, Luftdruck.

Das starke Klopfen bei gesteigerter Verdichtung kann nicht durch die dabei auftretende Zuckerteigerung allein erklärt werden, der Einfluss des Druckes auf die Verbrennungsgeschwindigkeit ist im motorischen Vergleich verhältnismäßig gering. Hauptgrund ist auch hier die dabei auftretende Steigerung der Verdichtungs-temperatur mit wachsendem Verdichtungsgrad.

Auch die Überladung bzw. steigender Luftdruck wirkt sich wie eine Steigerung des Verdichtungsgrades und damit der Verdichtungs-temperatur aus. Beim Überladen wird außerdem mehr Energie im Zylinder umgesetzt, es muß also auch mehr Wärme abgeführt werden, was sich in höheren Zylinderkammertemperaturen auswirkt.

3. Vorzündung.

Das es sich auch bei dem mit größer werdender Vorzündung auftretenden Frühzündungsklopfen um einen Temperatureffekt handelt, erklärt Dreyhaupt (1). Er berechnet die Temperatursteigerung Δt_2 im Totpunkt, wenn die Zündung bereits 20° ; 30° ; 40° und 50° v.O.T. erfolgt, unter der vereinfachenden Annahme, daß bei der Zündung eine Temperatursteigerung von $\Delta t_1 = 100^\circ$ auftritt und erhält $\Delta t_2 = 6^\circ$; 11° ; 20° ; 24° . Dabei muß berücksichtigt werden, daß die tatsächlich auftretende Temperatursteigerung Δt_1 größer ist und durch die starke Temperaturabhängigkeit der Vorreaktionen wenige $^\circ$ eine starke Beschleunigung der Reaktionen bewirken.

4. Drehzahl.

Die klopfende Verbrennung geht mit hoher Geschwindigkeit (300-500 m/sec) vor sich, die etwa eine Größenordnung über der normalen Verbrennungsgeschwindigkeit liegt. Man kann die Wirkung des Klopfens durch mäßige Erhöhung der normalen Verbrennungsgeschwindigkeit abschwächen. Dies ist durch verstärkte Durchwirbelung der Brenngase möglich, durch Erhöhung der

Stensen. ...
wird bei ...
eine ...
gibt ...
bewiesen ...
zahl (2). ...
der ...

Der ...
wird ...
gen, ...
erfolgt.

b. Luftverhältnis.

Für ...
Klopffestigkeit ...

$$\lambda = \frac{\text{theoretischer Luftverbrauch}}{\text{wirklicher Luftverbrauch}} \quad \lambda = \frac{L}{L_{th}}$$

von ...
einem ...
beim ...
mit $\lambda = 0,8$...
Kraftstoffverbrauches mit $\lambda = 1,1$.

In ...
liche ...
damit ...
(Oktanzahl ...)
Klopffestigkeit ...
Verhältnis ...

Dies ...
DVL ...
änderung ...
wird. ...
an ...
durch ...
und ...

3. Die Paraffinische Kraftstoffversuche und ihre Ergebnisse.

1. Untersuchung nach dem Motor-Verfahren.

Die Untersuchungen zur Bestimmung des Einflusses der Gemischtemperatur wurden an einem 10-Prüfmotor nach den Bedingungen des Motor-Verfahrens durchgeführt. Untersucht wurde der Kraftstoff Leuna Flug unter Beimischung von 10; 30 und 60 % Methylbenzol, 10; 30 und 60 % Äthylalkohol und 5; 10; 15; 20 und 30 % Äthyläther. Dabei wurden jeweils durch Vergleich mit Kraftstoffgemischen aus den Lichtstoffen 2 und 10 die Oktanzahlen für 50°, 100°, 130° und 150°C Gemischtemperatur bestimmt. Die Temperatur wurde durch eine elektrische Vorheizung konstant gehalten, gemessen wurde sie im Ansaugstutzen kurz vor dem Einlassventil. Als Klopfmesser wurde ein von Dr. Stalger gebauter elektrodynamischer Springstabindikator verwendet und einige Messungen mit einem normalen Springstabindikator mit Thermouniformer nachgeprüft.

Ergebnisse.

Für den paraffinischen Grundkraftstoff Leuna Flug ergab sich eine nur geringe Temperaturabhängigkeit mit einem Abfall von etwa einer Oktanzahl zwischen 50 und 150°C Gemischtemperatur (Blatt 26).

Für die Benzol- und Alkoholgemische ergab sich eine größere Temperaturabhängigkeit. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß der die gleiche Klopfstärke ergebende Verdichtungsgrad im gleichen Bereich ebenfalls stärker absinkt. Ein Motor mit festem Verdichtungsgrad wird also, auch wenn er mit einem wenig temperaturempfindlichen paraffinischen Kraftstoff betrieben wird, dessen Oktanzahl nahe der Oktanzahl des Motors liegt, auf eine Erhöhung der Gemischtemperatur mit Klopfen antworten.

Blatt 27 zeigt, daß die Abhängigkeit des maximalen Verdichtungsgrades von der Gemischtemperatur bei hohem Benzol- und Alkoholgehalt erheblich stärker wird. Diese Erscheinung und der starke Abfall der Oktanzahlen (Blatt 26) mit steigender Gemischtempera-

Das sind die Ergebnisse der, die man in praktischen
 Betrieb, so leicht eine erhebliche Temperaturerhöhung
 der Mischung eintritt, wenn der Kraftstoff mit ein
 dies zeigt, dass die Mischung im allgemeinen bei
 Blatt 27 zeigt auch, da, die durch verschiedene
 die zeigen, die geringste ist, wenn die Mischung, die die
 Temperaturerhöhung von 100 °C, die die Kraftstoffe,
 deren Mischungen sind, die Temperaturerhöhung
 nach, die den verschiedenen Mischungen, die
 auch Betrieb zeigen.

Es hat noch erwähnt werden, die bei der vorlie-
 genden Untersuchung, der Einfluss der Verbrennungswärme
 durch konstanten bei konstanter Temperatur abgeschmil-
 tet wird, so wurden damit besonders die Alkoholmischung
 zu Gemischt beurteilt. In diesen Mischungen
 nach dem Umschalten auf die Alkoholmischung der
 Reinstoffe konstant gehalten werden.

Blatt 28 zeigt das eigenartige Ergebnis, das durch
 Äthylätherbeimischung die Oktanzahl zwar stark senkt
 wird, das aber bei einer Beimischung von nur als 10 %
 die Oktanzahl mit zunehmender Gemischtemperatur ansteigt.
 Dies kann dadurch erklärt werden, dass bei Äthyläther
 die Vorreaktionen bereits bei niederen Temperaturen
 einsetzen. Die dabei entstehenden Peroxyde zerfallen
 bereits wieder bei 300 °C, ehe das Klopfen einsetzen
 konnte. Eine weitere Temperaturerhöhung wirkt dann
 klopfmildernd. Derartige Überlegungen wurden von
 Dumanois angestellt und durch Versuche bestätigt (s.ost
 Seite 561).

2. Untersuchungen nach dem Oppauer Verfahren.

Die Untersuchungen wurden am gleichen IG-Motor,
 unter Verwendung der von der IG gelieferten Zusatzen-
 lage durchgeführt. Die Prüfbedingungen des Oppauer
 Verfahrens sind:

Umdrehzahl	2000 U/min.
Klopfschraube	1,00 mm
Vordruckluft	22 U/min
Mittlerer Faktor	1,00
Gemischtemperatur	125 °C

Durch Verändern der Klopferposition (A
 zwischen 0,1 und 1,2) und des Verdichtungsgrades
 werden Kurven gleicher Klopfstärke aufgetragen. Dabei
 werden nur die Ordinate die Luftverhältnisse λ und
 mit der Kenntnis des obigen Oktanzahlen (100) abge-
 tragen. Die Oktanzahlen werden von einer Skala abge-
 lesen, die mit der Verdichtungsstufen verbunden ist.
 Die Oktanzahlkurve wird mit Hilfe einer Vergleichs-
 mischung mit der Oktanzahl 100 (82 % 2, 0,1 verbleit
 und 18 % 10 0,1 verbleit) so mit der Verdichtungs-
 schraube gekoppelt, um am Klopfmesser ein mittlerer
 Ausschlag bei 0,2 100 und $\epsilon = 6,4$ auftritt. Als Klopff-
 messer wurde ein Springstab mit elektrodynamischer
 Stromabnahme verwendet, wie er auch bei den Untersu-
 chungen nach der Motor-Methode Anwendung fand. Über
 die Klopfmesserfrage folgen weiter unten nähere Aus-
 führungen.

Untersucht wurde die Wirkung steigender Bleitetra-
 athyl-Zusätze in Stufen von $0,02 \text{ cm}^3/\text{l}$ auf paraffini-
 sche Grundkraftstoffe mit verschiedenen hohen Benzol-
 beimischungen.

B4 mit 5; 10; 20; 40 und 60 % Reinbenzol,

Lenna Flug mit 0; 20; 40 und 60 % Reinbenzol
 jeweils mit steigendem Bleigehalt,

Ein Gemisch aus 70 % Eichstoff 2 und 30 % Lenna
 Flug mit 0; 5 und 20 % Reinbenzol, bei
 steigendem Bleigehalt.

Da dem Zuwachs an Oktanzahl bei hohen Oktanzahlen
 größere Bedeutung zukommt, als bei niederen, erfolgt die
 Auftragung der Kurven auf dem von der IG herausgegebenen

Linienetz. Für die Blätter 28, 29 u. 30 mußte das Linienetz nach unten erweitert werden, wobei die Oktanzahlen so aufgetragen wurden, daß sich für den Verlichtungsgrad eine lineare Teilung ergab.

Zur Bestimmung des Luftverhältnisses λ wird mit einer Luftpühr die Luftmenge V_L gemessen, die für 20 cm^3 Kraftstoff verbraucht wird. Aus der Luftmenge V_L und dem spezifischen Luftgewicht σ_L , bezogen auf die Lufttemperatur T in $^\circ\text{K}$ und dem Barometerdruck 1000 mm QS ,

$$\sigma_L = 1,3 \text{ (g/l) bei } 0^\circ\text{C und } 760 \text{ mm QS}$$

$$\sigma_L = 1,3 \cdot \frac{1000}{760} \cdot \frac{273}{T} = \frac{467}{T} \text{ (g/l) bei } T^\circ\text{K u. } 1000 \text{ mm QS}$$

wird das verbrauchte Luftgewicht G_L bestimmt:

$$G_L = V_L \cdot \sigma_L = V_L \cdot \frac{467}{T} \text{ (g)}$$

Das verbrauchte Kraftstoffgewicht G_K berechnet sich aus dem Volumen der Messkugel $V_K = 20 \text{ cm}^3$ und dem mit einem Aräometer bestimmten spezifischen Gewicht σ_K :

$$G_K = V_K \cdot \sigma_K = 20 \cdot \sigma_K \text{ (g)}$$

Der spezifische Luftverbrauch ist dann:

$$L = \frac{G_L}{G_K} = V_L \cdot \frac{467}{T} \cdot \frac{1}{20 \cdot \sigma_K}$$

$$L = \frac{23,3}{T \cdot \sigma_K} V_L \text{ (l/g)}$$

Das Luftverhältnis λ ist:

$$\lambda = \frac{L}{L_{th}} \quad L_{th} = \text{theoretischer Luftverbrauch}$$

$$\lambda = \frac{23,3}{T \cdot \sigma_K \cdot L_{th}} \cdot V_L$$

Für den theoretischen Luftverbrauch λ und das spez. Gewicht γ der Kraftstoffe wurden folgende Werte ermittelt:

Kraftstoff	λ	γ
Benzol	14,67	0,754
Isobenzol	15,70	0,875
techn. Octan (2)	15,06	0,715
Leera Flug	14,70	0,752

Ergebnisse.

1. Aus allen Kurven ist ersichtlich, daß mit wachsendem Benzol- und Bleigehalt die Kurven auf der Seite des fetten Gemisches stärker ansteigen, die Verzögerungsempfindlichkeit größer wird.

Eine Erklärung dafür mag folgende Überlegung geben: Aus gleichzeitig im Institut laufenden Versuchen über Vorreaktionen im Otto-Motor ergab sich ein Maximum an Peroxyden in der Nähe des Luftverhältnisses $\lambda = 1$. Eine bestimmte Menge eines Antiklopfmittels wird bei einer verringerten Anzahl radikaler Verbindungen (im mageren und fetten Gemischbereich) relativ früher zum Abbruch von Reaktionsketten führen können, als bei einem Maximum an Peroxyden bei $\lambda = 1$.

Ähnlich kann man sich die Wirkung bei Benzolzusatz vorstellen. Benzol zeigt nach Kühners Versuchen (3) keine Vorreaktionen, auch nicht in Gemischen. Es wirkt somit verdünnend, indem es den Peroxyden die Möglichkeiten, die Reaktionsketten fortzusetzen, für fette und magere Gemische relativ mehr vermindert, als bei $\lambda = 1$.

2. Die Bleiempfindlichkeit (Oktananzunahme bei höherer Bleifügung vor 0,01 cm Δ Bleitetraäthyl) sinkt, je höher die Klopfintensität des Kraftstoffes

liegt. Je mehr Bleisäureäthyl oder -nonyl bereits hinzugefügt wurde. Die Bleisensitivität ist im fetteren Gemischbereich größer als im Klopfmaxima bei $\lambda = 1,1$. Ihre hohe Verbleibung warnt sich speziell gegen die Startkosten der Mischkraftstoffe aus.

Die Änderung der Bleisensitivität stimmt mit den allgemeinen Erfahrungen überein. Die größere Bleisensitivität im fetteren Bereich kann mit dem unter 1 Gesagten erklärt werden.

3. Das Klopfmaximum wandert mit steigendem Benzol- und Bleigehalt in den mageren Gemischbereich, etwa von $\lambda = 1,05$ nach 1,15.

Dies läßt sich nach dem unter 1 Gesagten nicht erklären. Eine Verdünnung der zum Klopfen reizenden Bestandteile durch Benzol oder durch, von Antiklopfmitteln abreagierten Verbindungen müßte zur Folge haben, daß sich das Klopfmaximum zur fetteren Gemischseite hin verschiebt.

4. Die Form der Kurven gleicher Klopfestigkeit ist im mageren und besonders im fetten Gemischbereich in starker Maße von den verwendeten Klopfmesser abhängig. (Siehe Ergebnisse der Vergleichsmessungen mit verschiedenen Klopfmessern in Teil III)

III. Die Anwendung verschiedener Klopfmeßgeräte.

a. Klopfmeßgeräte.

1. Springstab.

Das von Ricardo ursprünglich angewandte Verfahren der Klopfmessung nach dem einseitigen Leistungsabfall mußte bald anderen, empfindlicheren Klopfmeßverfahren weichen. Von diesen hat bis heute noch der Springstab die größte Bedeutung, obwohl die Ergebnisse, die mit ihm erzielt werden, zuweilen nicht mit dem Klopfver-

ist in Fahrzeugmotor überwinterbar. Dies ist auf das veränderte Bewegungsgeschehen des Springstabes zurückzuführen.

Die der Membran durch die Gaskräfte aufgewungene Schwingungen werden von Membraneigenschaften, Lager, die auf den Kräfteverlauf zwischen Membran und Stab und den Augenblick des Abhebens einfließen. Ebenso führen die Kontaktfedern Lageschwingungen aus, und die Kontakte selbst sind einer Abbrand unterworfen, der den Stromdurchgang verändert. Die Bewegungen des Stabes werden durch Reibungskräfte beeinflusst, die leicht Änderungen unterworfen sind. Wie die Versuche zeigten, spricht der Springstab auch auf Maschinenerschütterungen an. Im ganzen ist das Ergebnis von der Einstellung, und damit von der Geschicklichkeit des Einstellers abhängig.

Eingehende Untersuchungen über die Bewegungsverhältnisse am Springstab sind von Schütz (4) angestellt worden, er kommt dabei zu den oben angegebenen Ergebnissen. Allerdings vertritt Schütz bei seiner Untersuchung die Ansicht, daß der Stab sich von der Membran löst, wenn der Geschwindigkeit des Berührungspunktes einen Höchstwert erreicht. Der Augenblick des Abhebens ist aber nach den Regeln der Mechanik nicht von den Geschwindigkeiten, sondern von den Beschleunigungen abhängig. Schütz's Ansicht trifft also nur zu, wenn der Stab nicht der Erdbeschleunigung und der Federkraft der Kontakte unterliegt. Diese sind jedoch vorhanden und nicht vernachlässigbar klein. Nach Schütz (4 S.2) ist:

$$b = \frac{d^2 a}{dt^2} = \frac{0,171 \cdot r^4}{E \cdot h} \cdot \frac{d^2 p}{dt^2} \quad (\text{cm/sec}^2)$$

Es werden eingesetzt: $r = 0,0 \text{ cm}$; $h = 0,03 \text{ cm}$;
 $E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$; $\frac{d^2 p}{dt^2}$ soll nach Lichtenberger und Seiber (5) in der Größenordnung von 10^6 at/sec^2 liegen, dann ergibt sich:

$$b = \frac{0,171 \cdot 0,6^4}{2,1 \cdot 10^3 \cdot 27 \cdot 10^{-6}} \cdot 10^6 \quad (\text{cm/sec}^2)$$

$$b = \frac{0,171 \cdot 0,6^4}{2,1 \cdot 10^3 \cdot 27 \cdot 10^{-6}} \cdot 10^6 = 390 \quad (\text{cm/sec}^2)$$

Für Werte bis etwa $2,5 \cdot 10^6 \text{ cm/sec}^2$ wurde der Stab nicht abheben. Das der von Lichtenberger und Seeger angegebene Wert hier ein kleiner vernünftigen Ergebnis wäre, kann dieser zurückgeführt werden, das es sich um eine Versuche an einem Schrotter durchschütteln, Gegenhubvoluren etwa doppelt so groß ist, wie das der 10-Motors. Unter Voraussetzung kann aber auch der Wert $10 \cdot 10^6 \text{ cm/sec}^2$ verstanden werden. Für $10 \cdot 10^6 \text{ cm/sec}^2$ würde $b = 3900 \text{ cm/sec}^2$ werden, dann würde die Erdbeschleunigung $g = 901 \text{ cm/sec}^2$ mindestens 1/4 von b betragen, wobei g noch einbeschleunigungsbetrag für die Federkraft einzuwirken. Die Ablösung des Stabes erfolgt deshalb erst, wenn die Verabänderung der Membran größer wird, als die Erdbeschleunigung zugleich der Beschleunigung durch die Federkraft. Der Stab berührt die Membran auch dann noch, wenn das Geschwindigkeitsmaximum v_{max} bereits überschritten ist. Seine Anfangsgeschwindigkeit v_0 wird kleiner als v_{max} , sie ist abhängig von Zeitpunkt des Abhebers. Der Impuls des Stabes $m \cdot v_0$ ist somit auch abhängig von der Druckanstiegsbeschleunigung $\frac{d^2p}{dt^2}$. Auch die von Schütz angegebene Erscheinung, daß der Stab bereits bei A (Bild 2) vor dem Einsetzen der Drucksteigerung durch das Klopfen (bei B) abhebt, weil die Druckanstiegsbeschleunigung vorüber-

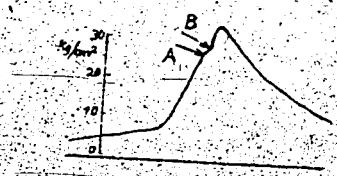
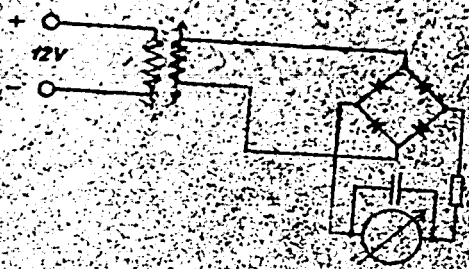


Bild 2

gehend abnimmt, wird durch den Einfluß der Erdbeschleunigung und der Federkraft im allgemeinen verhindert.

6. Mikrosynchroner Springstab

Die von Schütz gewählte große Überaus der Springstabschaltung und der Kontaktberührungen werden sich zu großem Teil durch Mittelwertbildung ausgleichen. Der Ausschlag der schwierigen Einstellung und des Kontaktabbruchs wird beseitigt, wenn man einen elektro-dynamischen Springstab benutzt, wie ihn ähnlich auch Schütz vorschlägt. Der Springstab trägt statt der Kontakte eine Spule, die sich bei klopfender Verbrennung in einem Magnetfeld bewegt. Die in der Spule induzierten Wechselspannungen werden gleichgerichtet und an ein stark empfindliches Instrument gelegt. Das Gerät ist bei einer Erregerspannung von 12V so dimensioniert, daß auf einen Verstärker verzichtet werden konnte.

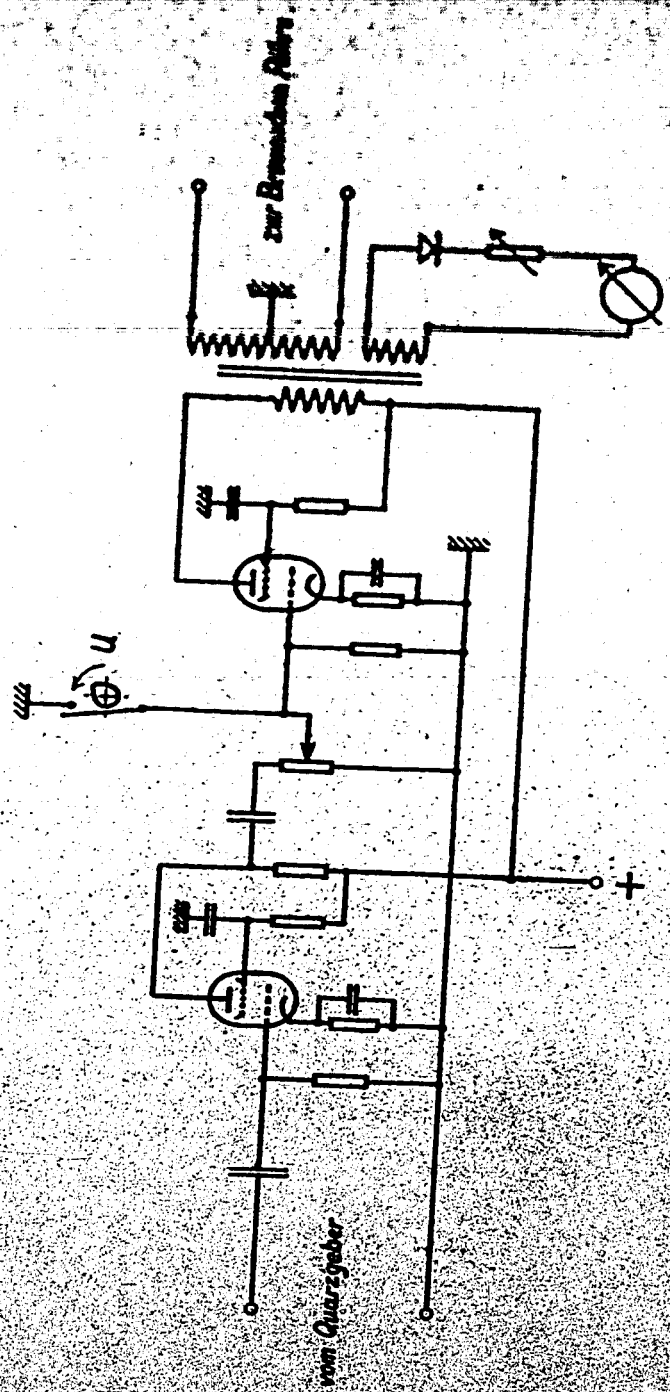


Der Einfluß des Verbrennungsdruckes konnte nicht ganz ausgeschaltet werden, das Instrument zeigte bereits bei nichtklopfendem Betrieb einen bleibenden Ausschlag von etwa 10 Teilstrichen.

7. Beschleunigungsmesser

Die Untersuchungen von Schütz (4) und Lichtenberger und Seiber (5) haben gezeigt, daß die Druckausstiegsgeschwindigkeit $\frac{dp}{dt}$ die vor allem den Impuls $m \cdot v$ des Springstabes und damit die Klopfanzeige beeinflusst, nicht nur alle Kraftstoffe ein objektives Maß ist. Sie schlagen vielmehr vor, die Druckanstiegsbeschleunigung $\frac{d^2p}{dt^2}$ zur Grundlage der Klopfmessung zu machen. Man muß dann allerdings eine größere Anlage in Kauf nehmen.

000282



Schaltung des Beschleunigungsmeßgerätes

Bild 3

Die beim Klopfen auftretenden hochfrequenten Schwingungen sind vollständig den KVL-Veränderungen mit u_{KVL} können dort durch einen leicht auszubauenden Quarzgeber in elektrische Schwingungen umgewandelt werden. Schwingt der Zylinder in der Form

so ergibt sich für die Beschleunigung b :

$$b = a \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t$$

Der Quarzgeber führt infolge der vor dem Quarz liegenden Lasse die zweifache Differenzialtion unmittelbar durch. Durch einen geeigneten Verstärker wurden die so erhaltenen Wechselspannungen über einen Gleichrichter eines Ampereometer zugeführt. Der Grad der Verstärkung konnte in 7 Stufen eingestellt werden. Zur Ausgleich der stark schwankenden Klopfstöße mußte das Instrument stark gedämpft werden. Das Schema der Schaltung zeigt Bild 3.

Zur Beobachtung der Klopferschwingungen ist parallel zum Klopfmeßgerät eine Braunsche Röhre geschaltet. Eine Beobachtung der während zweier Kurbelwellenumdrehungen von Quarzgeber aufgenommenen Schwingungen ergab neben den Klopferschwingungen eine Reihe von Schwingungen, die durch die Ventilbewegungen und den Zündfunken verursacht wurden und deren Amplitude in der Größe der zueinander Klopferschwingungen lagen.

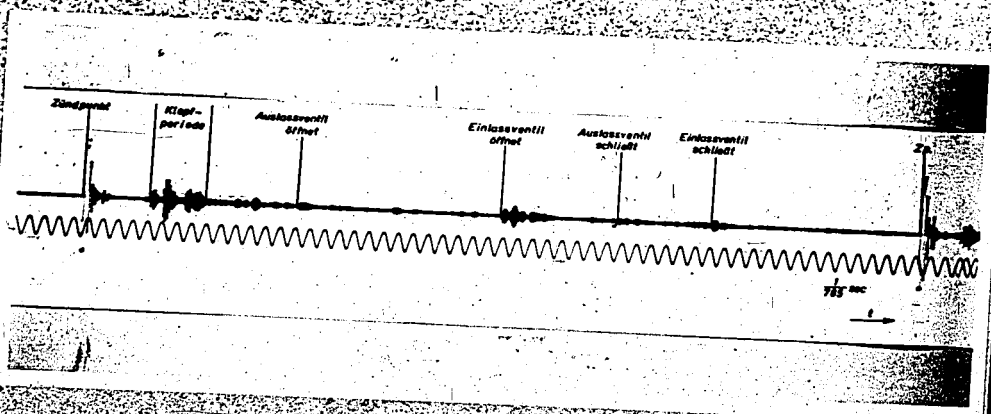


BILD 4

Durch einen Unterbrecher (U in Bild 3), der den Verankerungs-Kreis schloß, schätze Störerschwingungen auftraten und der GAV während der eigentlichen Absperrung Öffnete, wurde die Störerschwingungen von Anzeigergerät ferngehalten. Der Unterbrecher wurde vor dem Auslösen des Unterbrecher getastet und von der Lockenweile mit Enggetrieben. Dabei war der Locken so eingestellt, das der Abstand kurz vor Beginn der Absperrung schloß. Der Öffnungswinkel betrug etwa 80° Kurbelwinkel.

In der Lranchen Lehre ergab sich dann das folgende Bild.

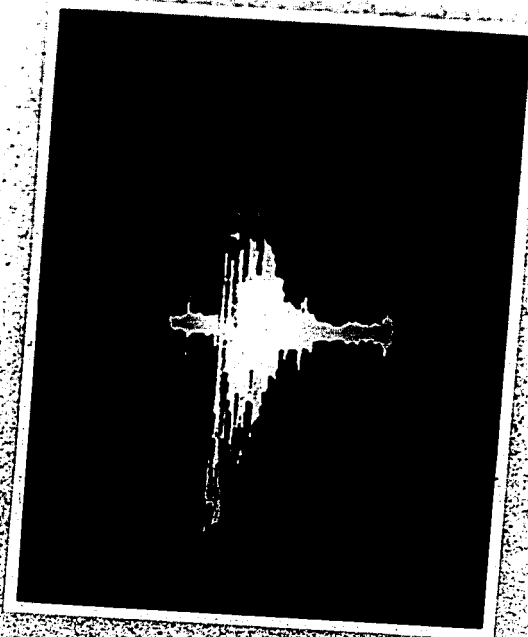


Bild 5

b. Die Durchführung der vergleichenden Messungen und ihre Ergebnisse.

Die Untersuchungen nach der Motor-Methode wurden mit dem elektrodynamischen Springstab durchgeführt.

Eine Nachprüfung der Oktanzahlen bei einigen Tropfen mit Hilfe eines Kontakt-Springstabs ergab als gleichen Wert, in Gegensatz zu den Ergebnissen von Bohlen, der feststellte, dass der Springstab für verschiedene Benzolgemische als gleiche Anzeige arbeitete, während der elektrodynamische Springstab bei den verschiedenen Benzolbeimischungen schwankte. Lediglich bei einer Oktanzahlbestimmung für ein Gemisch aus 60 Benzol und 40 Toluol Plus, bei einer Gemischtemperatur von 30 °C zeigte sich eine Unabhängigkeit der Anzeige gegenüber einer Erhöhung des Verdichtungsgrades. Es ergab sich für:

$\epsilon = 0,2$	7,2	7,6
ein ndr. Anzehl.	30	40

Dabei hat es sich der Gehr nach Art bei $\epsilon = 7,6$ um wirkliches Klopfen gehandelt. Für $\epsilon = 7,6$ ergab sich eine Oktanzahl, die sich den geforderten Genauigkeitswerten (Blatt 26 und 27) gut eintrug.

Bei niedrigem Verdichtungsgrad zeigte sich der für Benzolgemische charakteristische "rasche Gang". Die dabei auftretenden Schwingungen des Motors werden als Schwingungen der Membran überlagert und so die verstärkten Stabschwingungen verursacht haben. Eine ähnliche Erscheinung zeigte sich beim Oppauer Verfahren am Kontaktspringstab, ebenfalls bei einem Kraftstoff mit Benzolgehalt (Blatt 37).

Es hat sich somit in Laufe der Oktanzahlbestimmungen nichts gezeigt, was den elektrodynamischen Springstab in seiner Verwendungsmöglichkeit für das Motor-Verfahren einschränkt.

Oppauer Verfahren.

Auf Grund der günstigen Ergebnisse mit dem elektrodynamischen Springstab wurden auch die Untersuchungen nach dem Oppauer Verfahren mit ihm durchgeführt. Es zeigte sich hier jedoch, dass im fetten Gemischbereich ($\epsilon < 0,8$), bei akustisch etwas gleicher Klopfstärke, wie bei $\epsilon \approx 1,1$, eine um bis zu 10 Teilstrichen geringere Anzeige auftrat. Eine gleichzeitige Messung mit dem

beschleunigungsmesser ergab eben für diesen einen flacheren Verlauf der Klopfkurven (Blatt 33 - 35). Die Abweichungen wurden mit wachsenden Bleigehalten größer und betrugen bei $\lambda = 0,6$ bis etwa 1,5 Oktaven.

In anderen Gemischbereichen lagen die mit dem Beschleunigungsmesser gemessenen Werte etwas über denen des elektro-dynamischen Springstabes (Blatt 35).

Daraufhin wurden die gleichen Kraftstoffgemische mit einem Kontakt-Springstab und dem Beschleunigungsmesser im Vergleichsmessstab untersucht. Die Messungen ergaben ebenfalls Unterschiede in der Anzeige. Für 0,02 und 0,06 % Bleigehalt lagen die Oktanzahlen des Kontakt-Springstabes (kurve —) im fetten Gemischbereich etwas über bzw. in der gleichen Höhe, wie die des Beschleunigungsmessers (Blatt 36). Ein stärkerer Unterschied zeigte sich für 0,12 % Bleigehalt (Blatt 36) und bei den 20 % Benzol enthaltenden Gemischen (Blatt 37). Hierbei fällt das Gemisch mit 20 % Benzol und 0,06 % Bleigehalt auf, für das der Kontakt-Springstab im fetten Bereich einen besonders hohen Ausschlag zeigte.

Diese Ergebnisse lassen erkennen, daß die nach dem Springstab-System arbeitenden Klopfmesser auch auf die bei hohem Verdichtungsgrad (hohem Benzol- und Bleigehalt) anwachsenden Maschinenschütterungen ansprechen und zu Ergebnissen führen, die 2-3 Oktaven auseinander liegen.

Beim Beschleunigungsmesser konnte, nach den Bildern auf den Schirm des Braun'schen Rohrs zu urteilen, ein Einfluß der Maschinenschütterungen nicht festgestellt werden. Er scheint demnach eine objektive Klopfmessung zu ermöglichen. Eine endgültige Aussage darüber läßt sich erst machen, wenn weitere Versuche mit Kraftstoffen verschiedener Zusammensetzung und ihre Vergleiche mit Ergebnissen des praktischen Motorbetriebes vorliegen.

Um festzustellen, ob der von Richterberger und Seiber bei Klopfbeginn gefundene Knick in der Kurve der in Abhängigkeit vom Ladedruck, ebenfalls zu finden

ist, wurde die Klopfstärke als Funktion in Abhängigkeit von Verdichtungsgrad ϵ ermittelt. Nach dem Motor-Verfahren wurde die Klopfstärkekurve für eine Siedmischung aus 70 % A und 30 % B für den elektrodynamischen Springstab und den Beschleunigungsmesser durch Veränderung des Verdichtungsgrades bei einer Verdichtereinstellung, die maximalen Klopfwert ergab, aufgenommen (Blatt 58). Die Kurven lassen jedoch keinen Knick erkennen.

Die mit dem Beschleunigungsmesser erhaltene Kurve zeigt im Arbeitsbereich, etwa zwischen 40 und 70 Skalenteilen, einen nahezu linearen Verlauf. Bei der Bestimmung der Motor-Oktanzahl durch Eingrenzen zwischen Siedmischungen und Interpolation hat dies günstigen Einfluß auf die erzielbare Genauigkeit. Die bei höherer Verdichtung auftretende Verringerung der Steilheit ist auf eine Übersteuerung des Verstärkers zurückzuführen und hat für die Messung keine Bedeutung.

Zu den gleichen Ergebnissen führten Messungen nach dem Oppauer Verfahren mit einem Kraftstoff aus 70 % A und 30 % B sowie Fluß (Blatt 59). Die Kurven wurden für den elektrodynamischen Springstab, den kontakt-Springstab und den Beschleunigungsmesser aufgenommen. Der erwartete Knick konnte auch hier nicht festgestellt werden.

Beobachtungen an der Braunschen Röhre

Während der Messungen wurden die Klopferschwingungen mit Hilfe der Braunschen Röhre beobachtet. Im Verlauf der Messungen der Klopfstärke bei steigender Verdichtung an dem Kraftstoff aus 70 % A und 30 % B ergab sich folgendes:

Bei $\epsilon = 4,0$, lange vor dem einsetzlichen Klopfbeginn, zeigten sich als eine kleinere Klopfspitze, meist zwei kurz hintereinander. Gleichzeitig begann der Beschleunigungsmesser auszuweichen, während der elektrodynamische Springstab noch auf der bei nicht-klopfendem Betrieb angelegten Wert 10,5 verharrete.

Bei $\epsilon = 4,0$, während der Verdichtungsmeßzeit bereits einen Ausschlag ϵ zeigte und der el. dyn.

Springstab noch bei 10,5 verharren, waren auf die
 Seite der Kräftigen Seite deutlich zwei aufeinander-
 folgende Klopfspitzen zu sehen.



Bei $\epsilon = 9,0$ begann der Motor akustisch zu klopfen,
 die zweite Klopfspitze genau an Stärke und wanderte
 zur ersten hin. Der Beschleunigungsmesser zeigte dabei
 13, der Springstab 18 mm.



Bei höherer Verdichtung gehen beide Klopfspitzen
 ineinander in eine Schwingung über, wie sie auch Bild 5
 zeigt.

Bei den Untersuchungen mit benzolhaltigen Kraft-
 stoffen äußert sich der "Zahme Gang" in einer größeren
 Zahl sich überlagernder Klopfstöße mit mittlerem Aus-
 schlag.



Dies kann darauf zurückgeführt werden, das die durch
 die Vorreaktionen gebildeten Peroxyde explodieren
 (2. Seite 477), wobei aber der Benzolgehalt die Ent-
 zündung des gesamten Gemischstrahls verhindert.

Im allgemeinen zeigte sich ein dauernder Wechsel
 in der Größe der maximalen Ausschläge, der mit der
 akustischen Eindringtiefe übereinstimmte. Im letzten Gemisch-
 beweis trat wieder auch einmal eine kurze ruhige Per-
 ode auf.

die sich auf den Lehrsatz der Motor durch besonders große massenhafte Ausweichung. Das ungleichmäßige Klopfen läßt darauf schließen, daß die nach einer Klopfenden Verbrennung im Zylinder verbleibende festeste Klopfmindernde Wirkung haben. So stellen Kühler (2. Reihe 77) und Schütte (Seite 9) fest, daß besonders nur in jedem zweiten Arbeitsspiel eine klopfende Verbrennung stattfindet.

IV. Zusammenfassung.

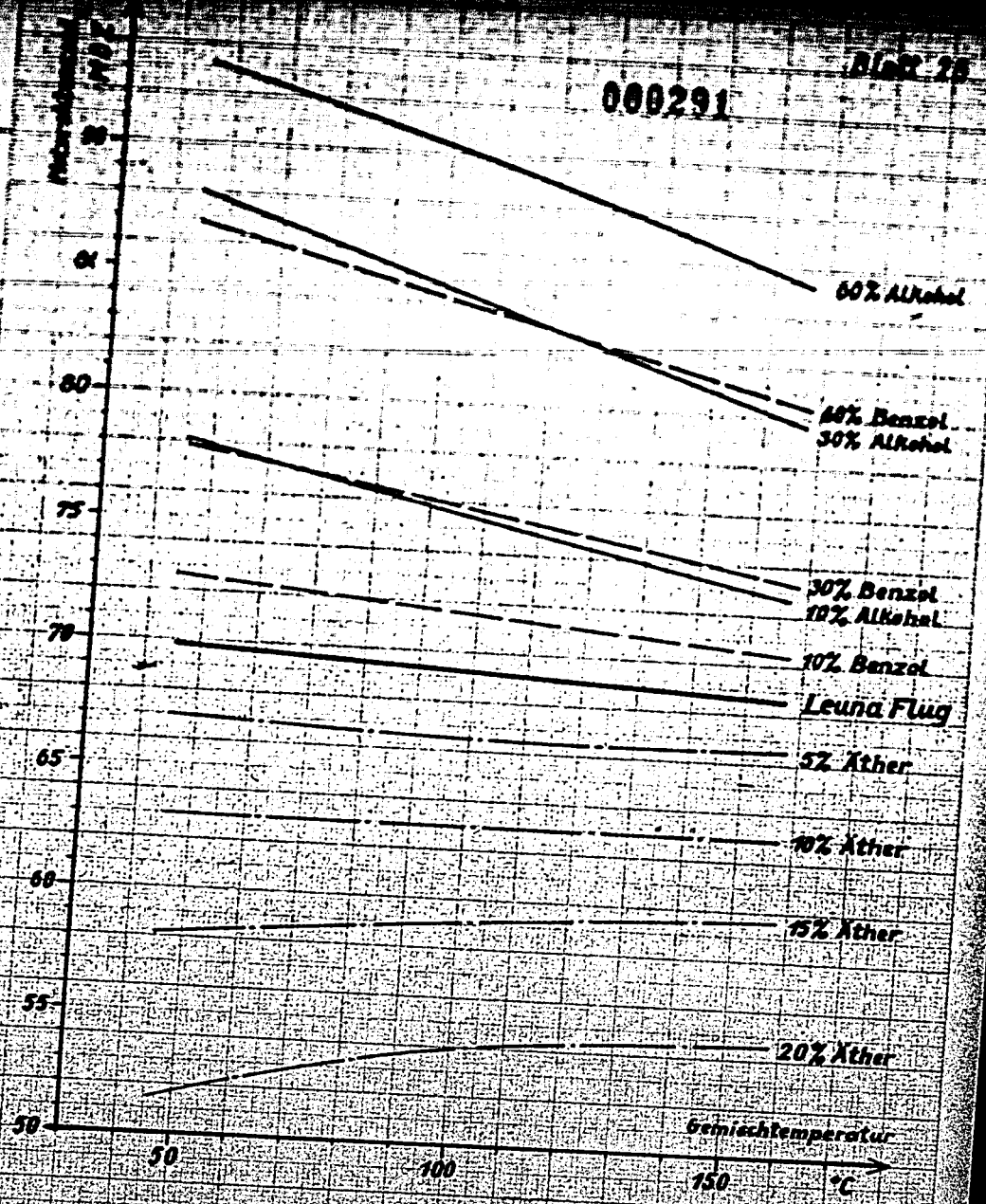
Es wurde gezeigt, daß sich bei der Oktanzahlbestimmung nach dem Motor-Verfahren durch Steigerung der Gemischtemperatur bei Benzol- und Alkoholgemischen ein Abfall in der Oktanzahl einstellt, bei allen Kraftstoffen aber das kritische Verdichtungsverhältnis absinkt. Der elektrodynamische Springstab zeigte sich dabei als zuverlässiges Klopfmeßgerät. Bei der Bestimmung der Klopfgrenzkurven nach dem Oppauer Verfahren wurden für steigenden Ethylteträthyl- und Benzolgehalt Gesetzmäßigkeiten festgestellt. Weiterhin zeigte sich, daß die für die verschiedenen Luftverhältnisse ermittelten Oktanzahlen in starkem Maße von dem dazu verwendeten Klopfmeßgerät abhängig sind. Der Beschleunigungsmeßer erbrachte nach den Versuchen die objektivsten Ergebnisse.

Literatur

- (1) Prechtl, ATZ 1941 Seite 21
Kleber-Sonderfrage beim Kleben des
Otto-Motoren.
ATZ 1941 Seite 21
Der Stand der Forschung über das
Kleben im Otto-Motor
- (2) Voll
Explosions- und Verbrennungsvorgänge
im Zylinder 1949
- (3) Möhler
ATZ 1943 Seite 70
Verfälschungen im Otto-Motor
- (4) Schütz
Deutsche Kraftfahrerschule, Wert-
messung der Klebefestigkeit an Otto-
Motoren
- (5) Lichtenegger und Seiber, ATZ 1938 Seite 572
Beitrag zur Frage der Konstruktiv-
weisen
- (6) Speiser, Berichte Nr. 470, 489, 490
- (7) Wahl, Kraftforschung, Schriften der Deutschen
Gesellschaft der
Kraft
- (8) Sautsch, Kraftfahrershandbuch, 2. Auflage

000291

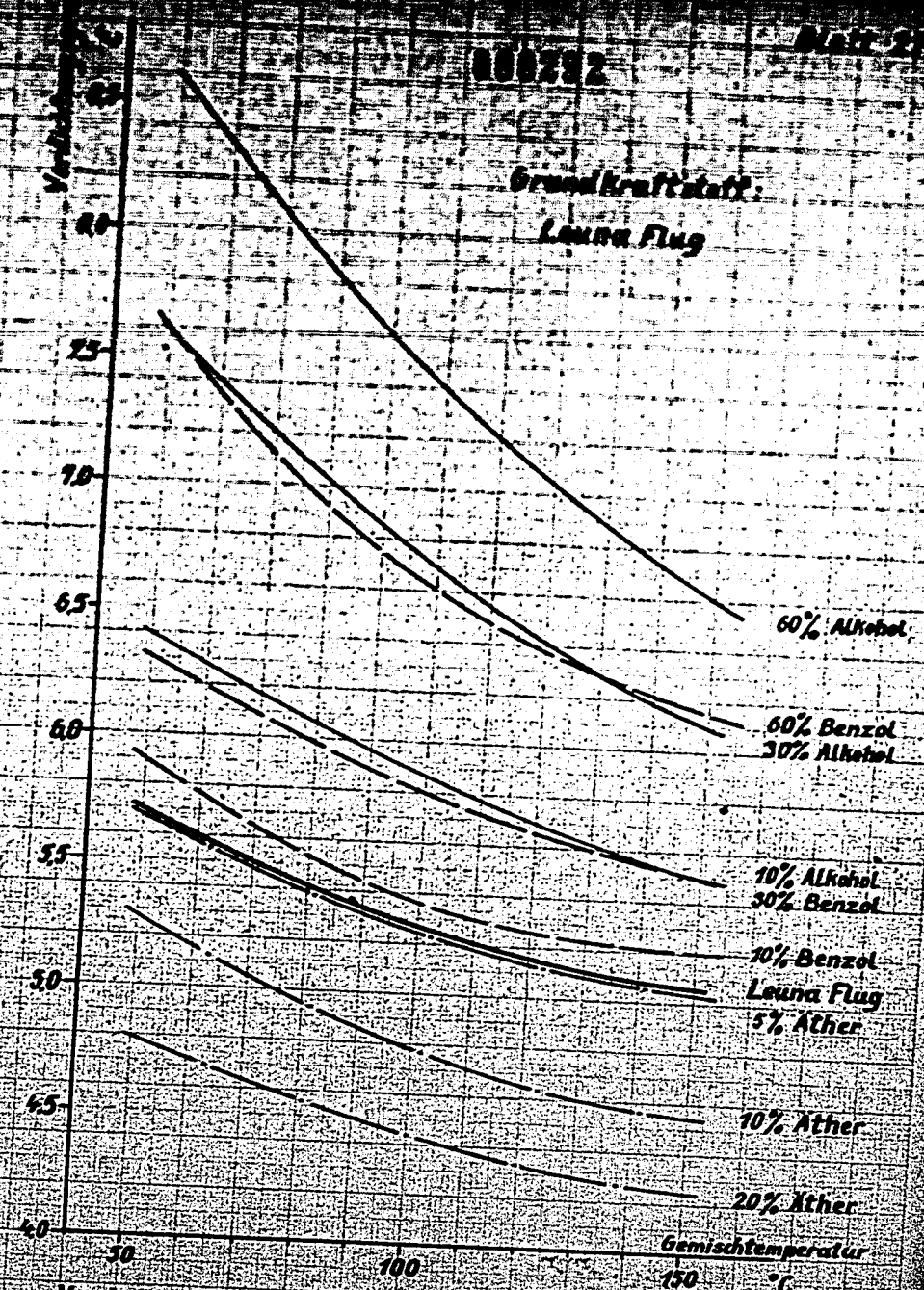
Blatt 25



Oktananzahlen bei verschiedenen Gemischtemperaturen

Grundkraftstoff: Leuna Flug

100222



Verdichtungsgrad bei gleicher Klopfstärke
in Abhängigkeit von der Gemischtemperatur

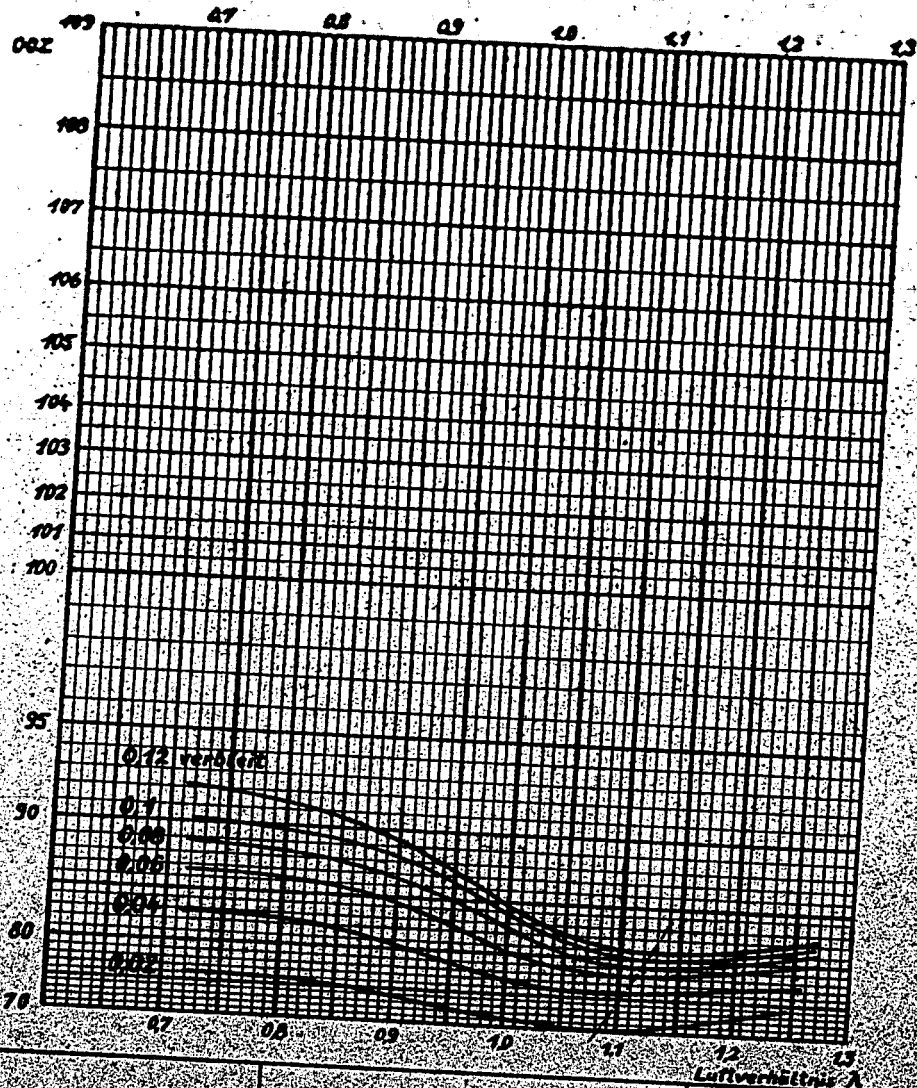
Klopfgrenzkurven nach dem Oppauer Verfahren.

Motor Nr 65 Umdr./min 600 Kühltemp. °C 100 Verdichtungsverh. ~
 Tag Verzündung 22° Gemischtemp. °C 125 Einspritzdruck 1800 mm QS

Leuna Flug

000293

0,02 + 0,12 verbleit



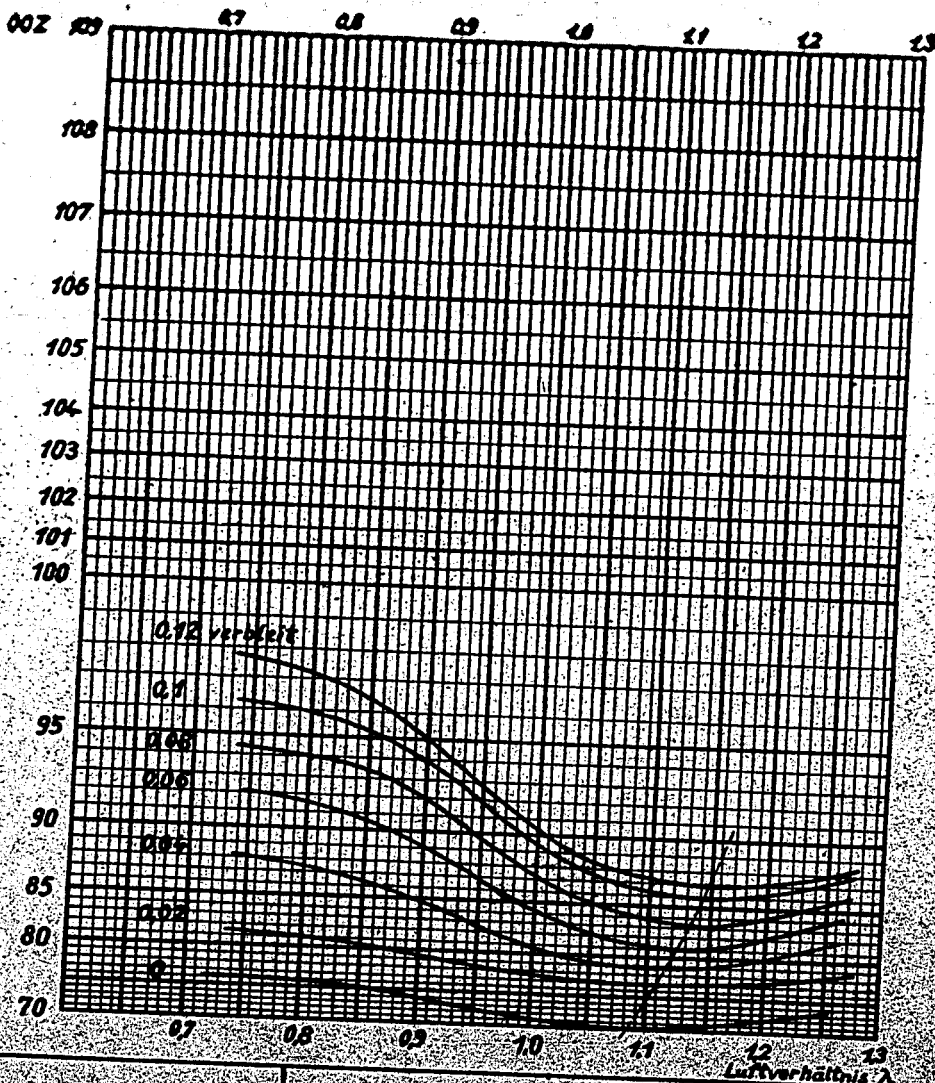
Klopfgrenzkurven nach dem Oppauer Verfahren.

Motor Nr. 65 Umdr./min 600 Kühltemp. °C 100 Verdichtungsverh. ~
Tag Verdichtung 22° Gemischttemp. °C 125 Entlastdruck 1000 mm QS

000294

Leuna Flug mit 20% Benzol

0 + 0,12 verbleibt

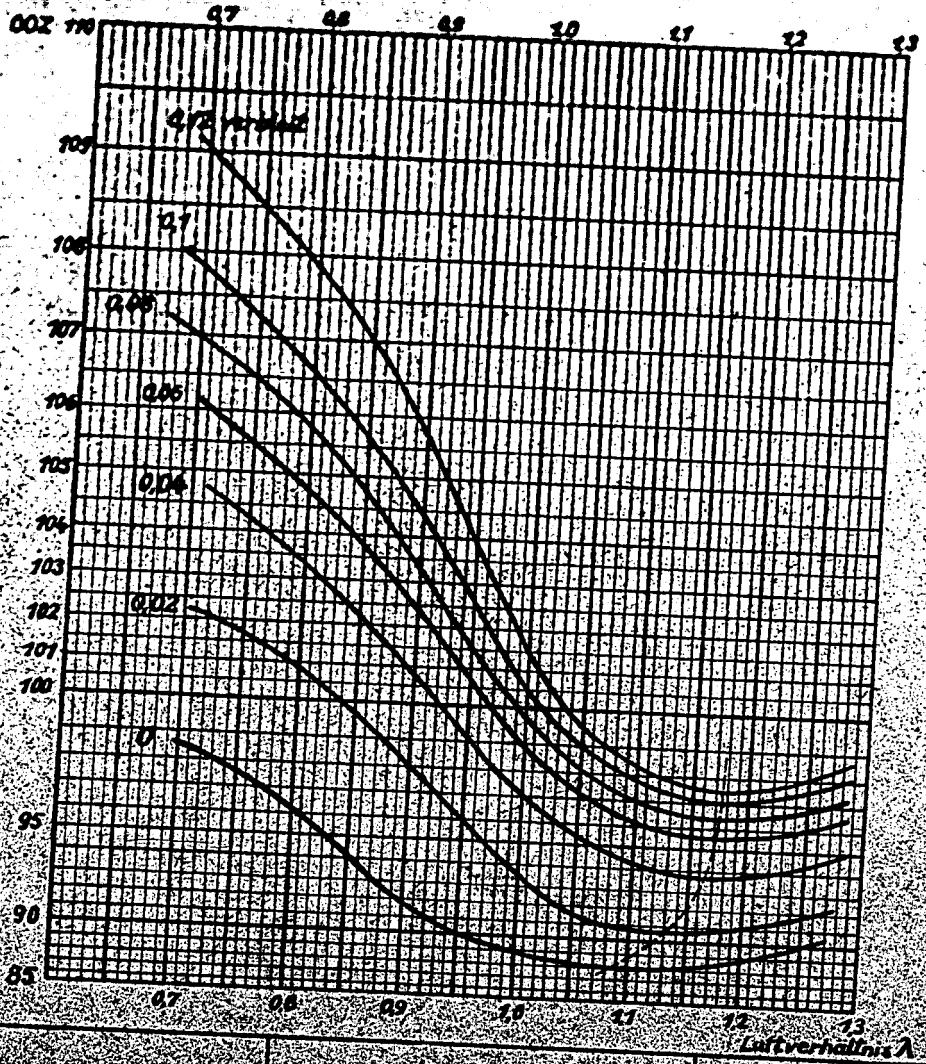


Klopfgrenzkurven nach dem Oppauer Verfahren.

Motor Nr. 65 Umdr/min: 600 Kühltemp °C 100 Verdichtungsverh. ~
 Tag Verdichtung 22° Gemischtemp °C 125 Enddruck 1000 mm QS

000296

Leuna Flag mit 60% Benzol
 0,02 + 0,12 verbleit

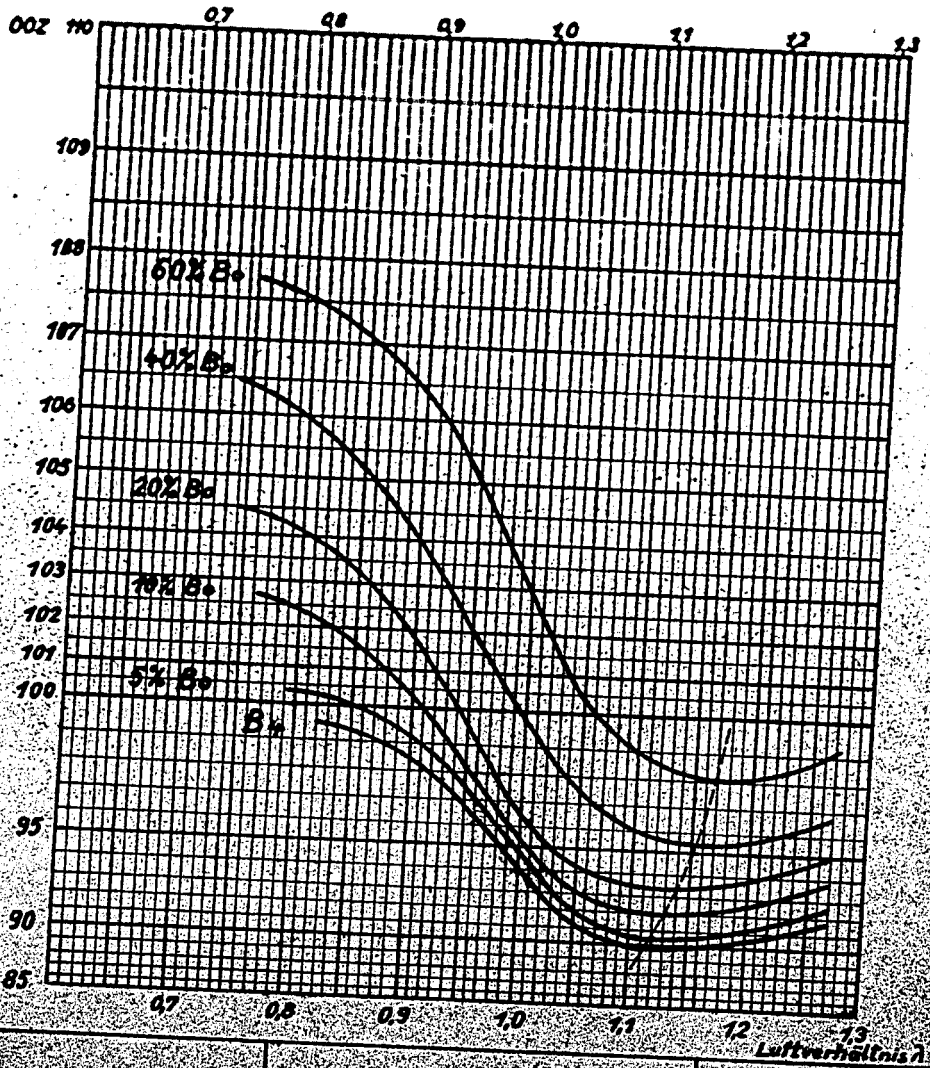


Klopfgrenzkurven nach dem Oppauer Verfahren

Motor Nr 85 Umdr./min 600 Kühltemp. °C 100 Verdichtungsverh. ~
 Dg Verzündung 22° Gemischttemp. °C 125 Einbl. Druck 1000 mm QS

B₊ mit Benzol

000297



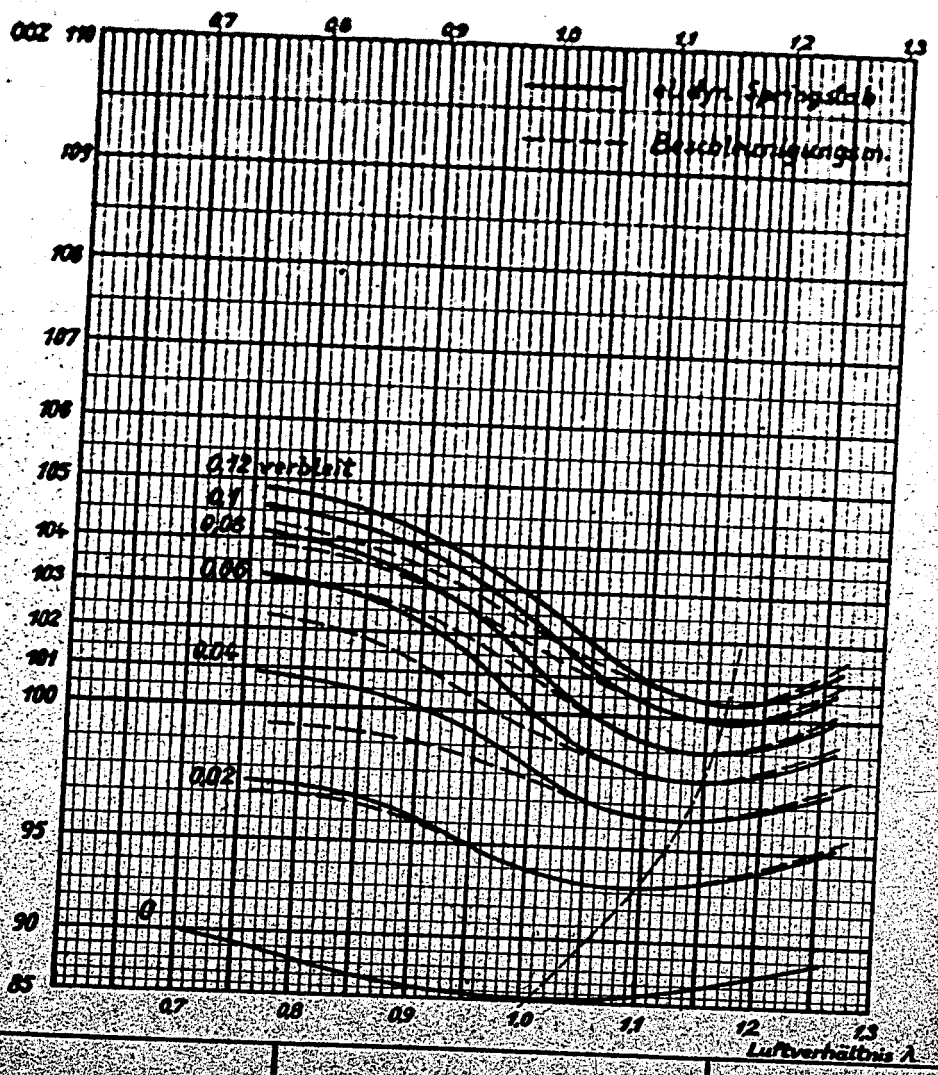
Luftverhältnis

Klopfgrenzkurven nach dem Oppauer Verfahren.

Meter Nr 65 Umdr./min. 800 Kälttemp. °C 100 Verflechtungsart. -
 Tag Verzündung 22° Gemischtemp. °C 125 Einleldruck 1000mm QS

30% Leuna Flug 70% Z
 0 + 0,12 verbleit

000298



Klopfgrenzkurven nach dem Oppauer Verfahren.

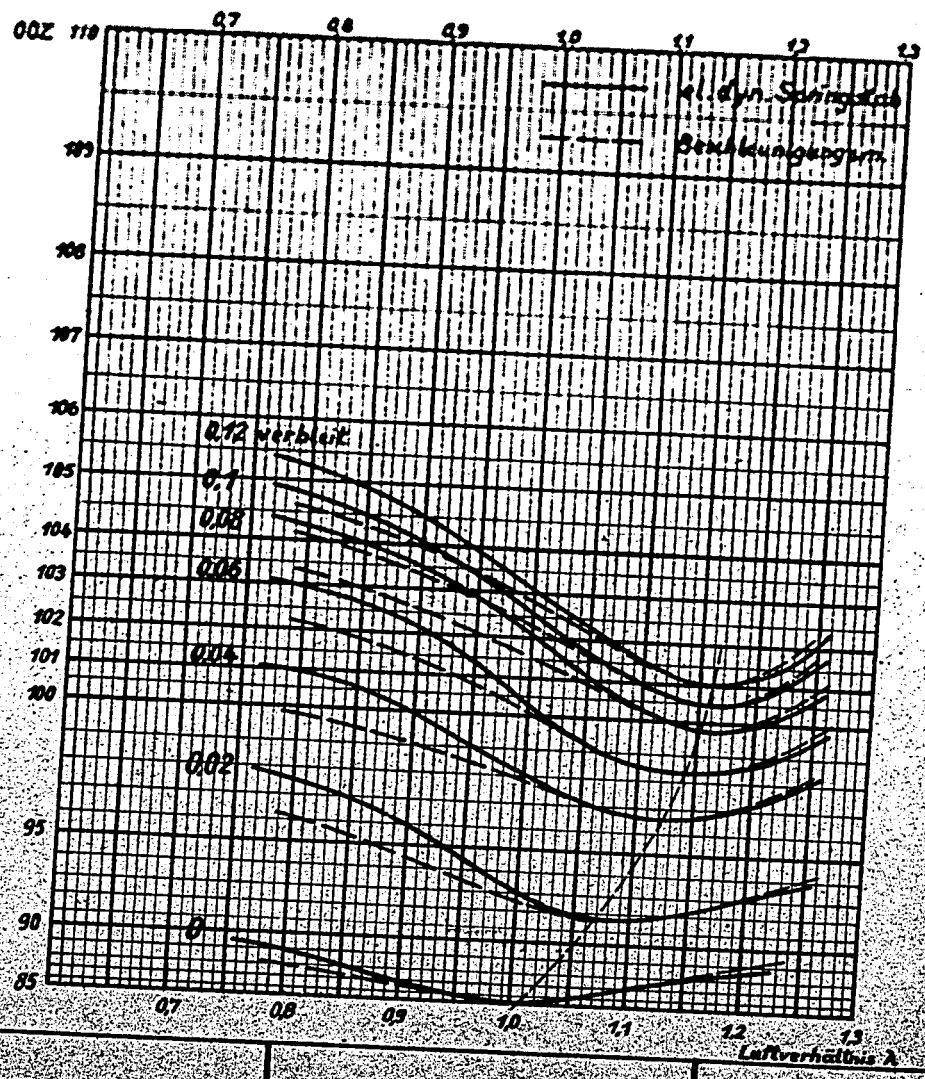
Motor Nr 65 Umdr/min 600 Kühltemp. °C 100 Verdichtungsverh. ~
 Tag Vorründung 22° Gemischttemp. °C 125 Einlaßdruck 1000 mm QS

30% Leuna Flug 70% Z

000299

mit 5% Benzol

0 ÷ 0,12 verbleit



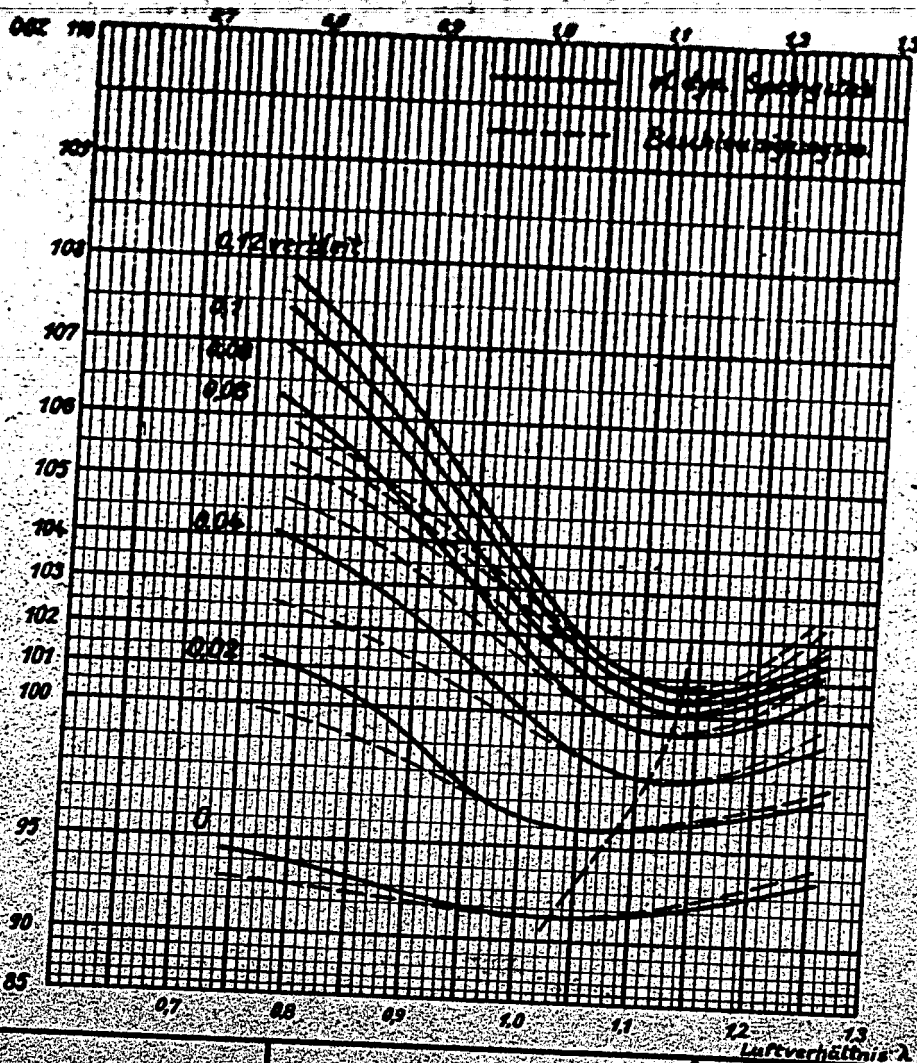
Klopfgrenzkurven nach dem Oppauer Verfahren.

Motor-Nr 65 Umd./min. 800 Kühltemp. °C 100 Verdichtungsgrad ~
 Zög Verdichtung 22° Gemischtemp. °C 125 Einströmdruck 100 mm Q.S.

90% Leuna Flug 70% Z mit 20% Benzol

0 + 0,12 verbleit

000300



Klappgrenzkurven nach dem Oppauer Verfahren.

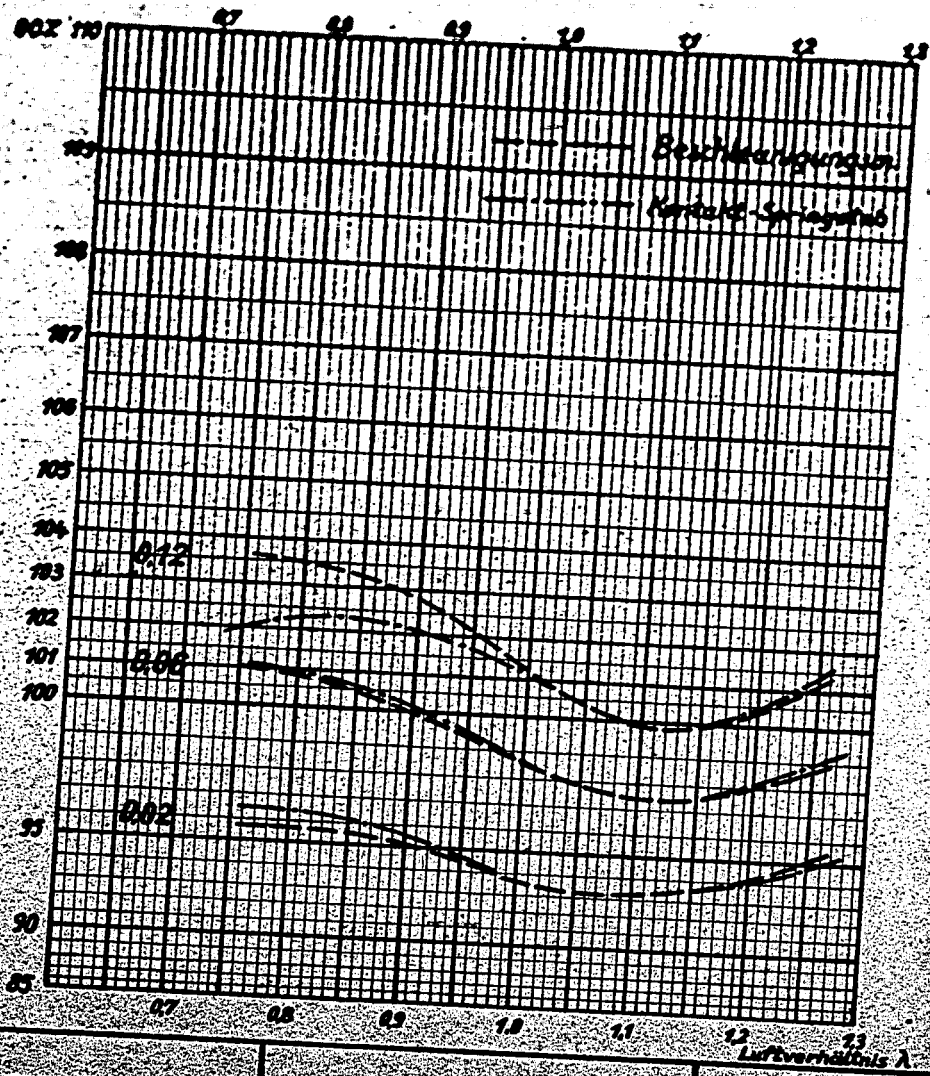
Motor Nr 85 Umdr./min. 800 Kühltemp. °C 200 Verdichtungsverh. ~
 Tag Verzögerung 22° Gemischttemp. °C 125 Einbl.druck 1000 mm QS

30% Leuna Flug 70% Z

000301

0,02; 0,06; 0,12 verbl.

Vergleichsmessung



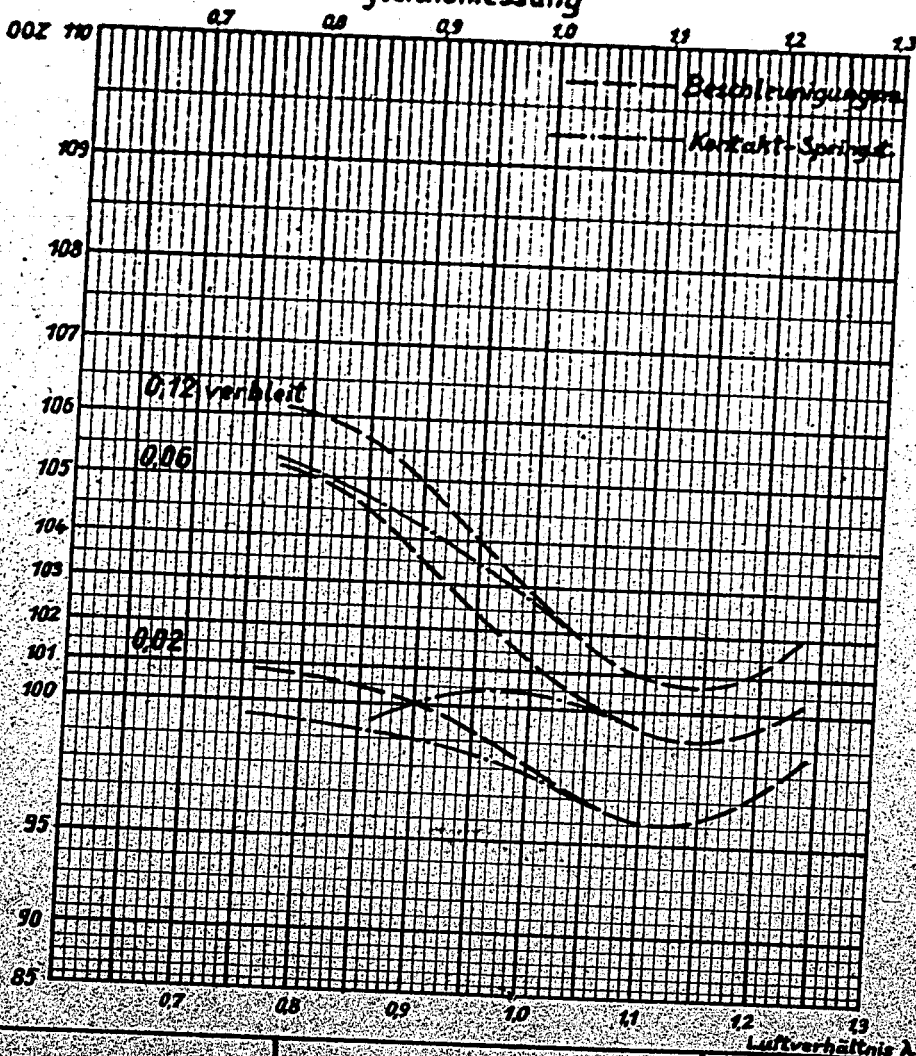
Klopfgrenzkurven nach dem Oppauer Verfahren.

Motor Nr 65 Umdr/min. 600 Kühlttemp. °C 100 Verdichtungsverh. ~
 Tag Verzündung 22° Gemischttemp. °C 125 Einlaßdruck 1000 mm QS

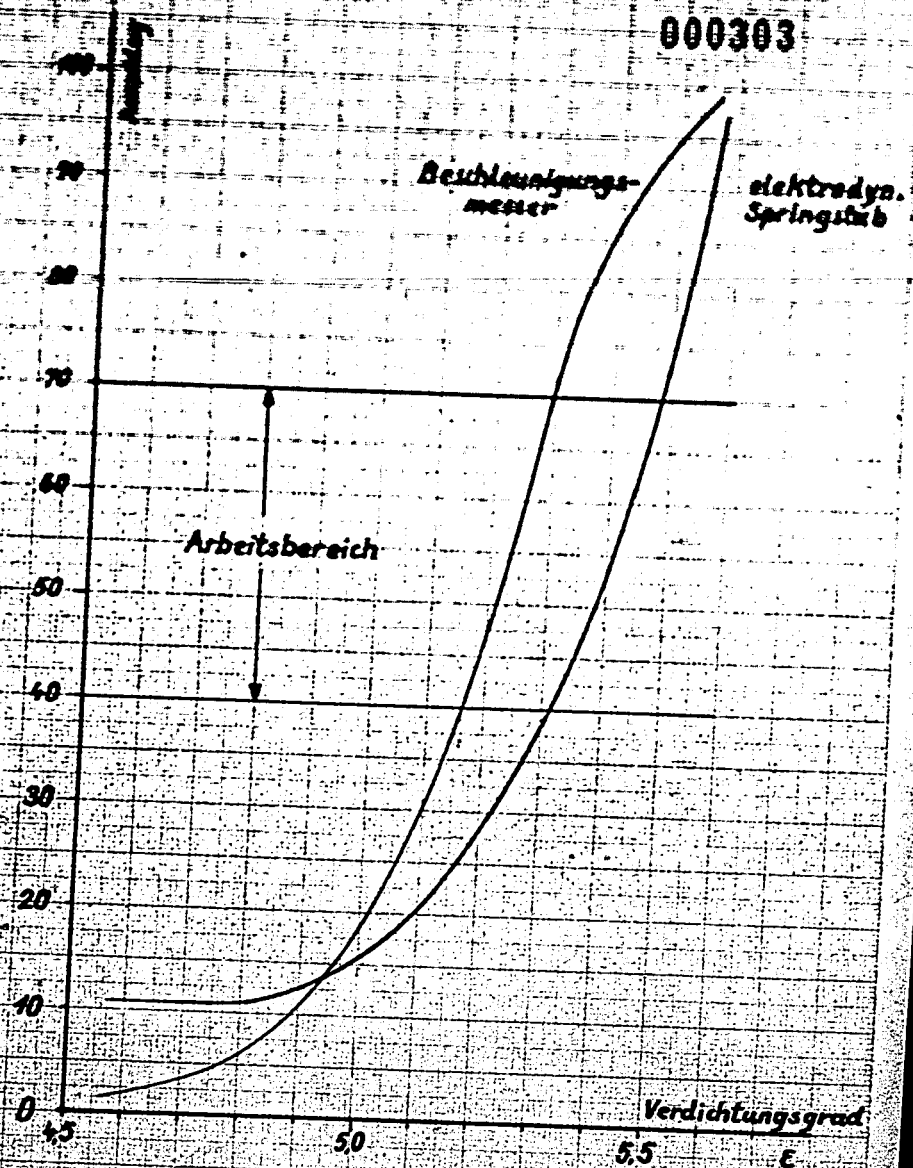
30% Leuna Flug 70% Z mit 20% Benzol
 0,02, 0,06, 0,12 verbleit

000302

Vergleichsmessung

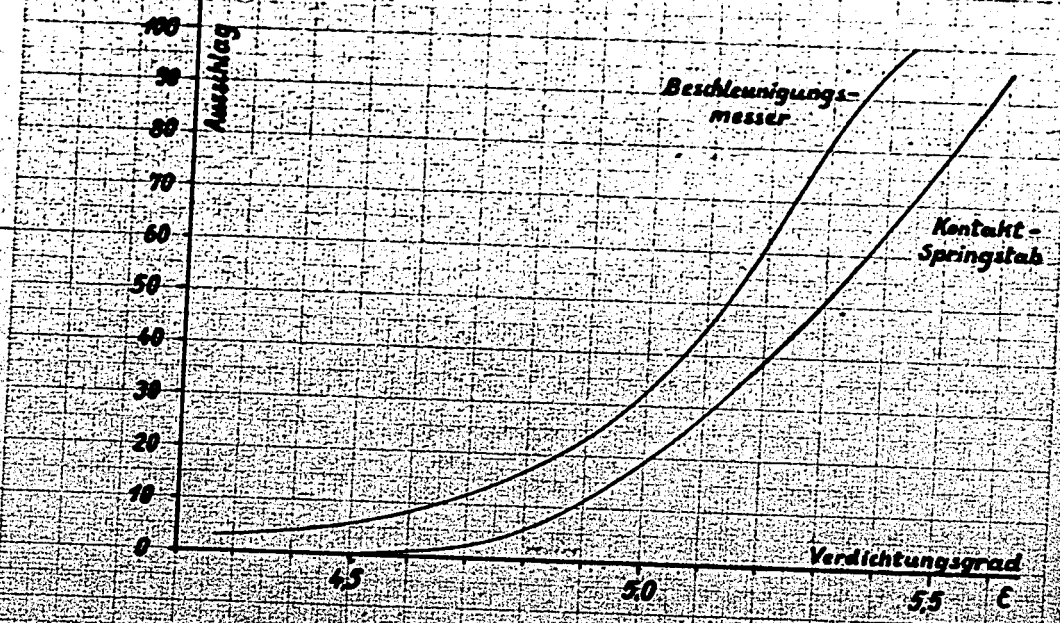
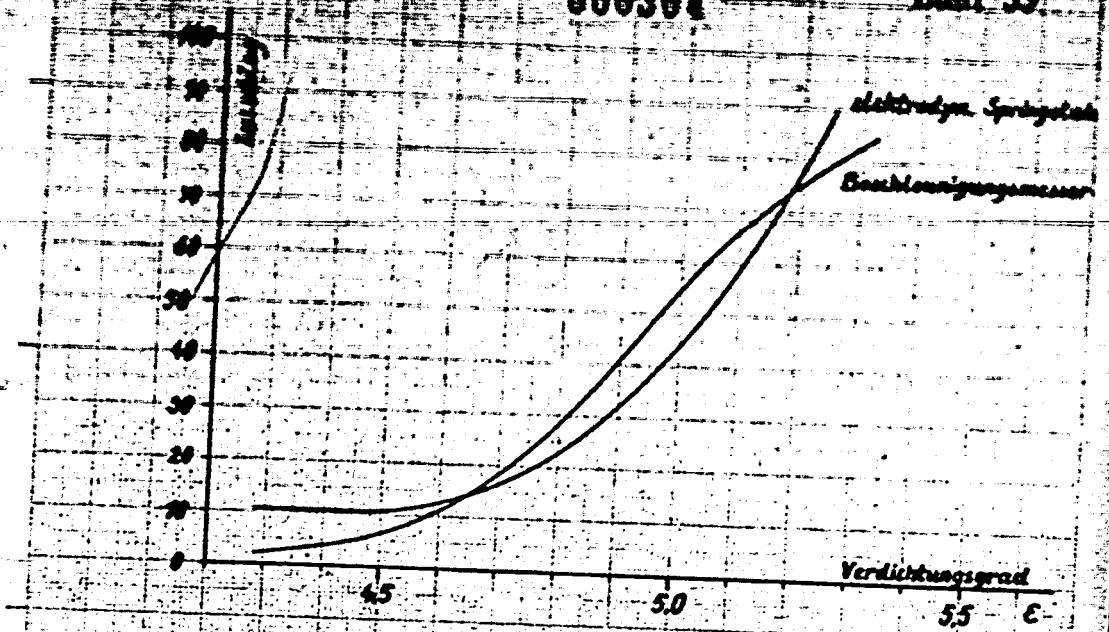


000303



Klopfstärkekurve für Beschleunigungsmesser und elektrodynamischen Springstab

Kraftstoff: 70% Z. 30% Leuna Flug Motor-Verf.



Klopfstärkekurven für Beschleunigungsmesser,
 Elektrodynamischen Springstab und Kontakt-Springstab
 Kraftstoff: 70 Z, 30 Leuna Fl. Ladedruck: 1000 mm QS

000306

Diplom-Aufgabe

Das Zündverhalten von Kohlenwasserstoff-Luft-
gemischen in Dieselmotor und der Einfluss von Ethylnitrat.

Wilfried Schütze
FhJ.-Fw. 1. IOA

000307

Gliederung:

Zusammenübersicht

- I. Motorische Prüfung von Kraftstoffen auf Oktan- und Cetanzahl im FKIS-Gerät
- II. Abhängigkeit zwischen der Zusammensetzung des Kraftstoffes und seinem Zündverhalten
 1. Zündverzögerung verschiedener reiner Kohlenwasserstoffe
 2. Einfluss von Äthylnitrat auf das Zündverhalten
- III. Abhängigkeit des Ansprungsverhaltens im FKIS-Prüfmotor von der Gemischtemperatur
 1. Untersuchung von Kohlenwasserstoffen verschiedener Zusammensetzung
 2. Einfluss von Äthylnitrat auf das Anlassverhalten
- IV. Theoretische Überlegungen über die Berechnung der Zündtemperatur im Motor und praktische Ergebnisse
- V. Zusammenfassung

Kurze Übersicht.

Es ist bekannt, dass je nach chemischem Aufbau der Kohlenwasserstoffe sich das Zündverhalten ändert. So wird z. B. mit der Länge der Kette bei Paraffinen und Olefinen der Selbstzündungspunkt erniedrigt; ringförmige Kohlenwasserstoffe dagegen, die sich schwer aufspalten lassen, haben einen hohen Selbstzündungspunkt. Da die heute verwendeten Kraftstoffe ein Gemisch der verschiedensten Kohlenwasserstoffe darstellen, sollen am Einzylindermotor die Selbstzündungseigenschaften verschiedener Kohlenwasserstoffe und Kraftstoffe untersucht werden.

Gleichzeitig soll festgestellt werden, welchen Einfluss Äthylnitrat auf die Selbstzündungseigenschaften der Kohlenwasserstoffe ausübt. Im Hinblick auf das Anspringverhalten eines Motors sind solche Untersuchungen von grosser Wichtigkeit.

I. Motorische Prüfung von Kraftstoffen auf ihre Zündwilligkeit und KVZ-Prüfgerät.

Die Verbrennung im Dieselmotor wird durch die bei der Verdichtung der Verbrennungsluft entstehende Wärme eingeleitet. Daraus ergibt sich die Forderung nach einer genügenden Zündwilligkeit des verwendeten Kraftstoffes.

Die Messung der Zündwilligkeit kann durch mehrere Verfahren erfolgen, von denen im Rahmen dieser Arbeit die Zündverzugsverfahren und das Drosselverfahren interessieren.

A) Zündverzugsverfahren.

Um die Zündwilligkeit der Kraftstoffe mittels des Zündverzuges bestimmen zu können, sind zwei Verfahren durchführbar.

1. Das FKFS-Verfahren.

Der Zündverzug von Kraftstoffen wird bei konstantem Verdichtungsverhältnis gemessen und ist je nach Zündwilligkeit des zu untersuchenden Kraftstoffes verschieden. Der Zündverzug wird als zeitlicher Abstand zwischen Einspritzbeginn und Zündbeginn in $^{\circ}\text{KW}$ ausgedrückt. Zwischen Zündverzug und Zündwilligkeit, welche durch die Cetanzahl ausgedrückt wird, besteht ein funktionaler Zusammenhang, der durch eine Eichkurve ausgedrückt wird. Für genaue Bestimmungen vergleicht man den gemessenen Zündverzug zweckmässig mit Mischungen von dem zündwilligen Cetan und dem zündträgen α -Methylnaphtalin, wobei für Cetan die Cetanzahl 100, für α -Methyl-Naphtalin die Cetanzahl 0 angenommen wird.

Durch Messung der Zündverzugswerte der Gemische aus Ito-Oktan und Normalheptan einerseits sowie aus Cetan und α -Methylnaphtalin andererseits konnte die Beziehung zwischen Oktanzahl und Cetanzahl aufgestellt werden. (H. Ernst, Dtsch. Kraft-Forsch. 1941, Heft 63).

Auf diese Weise ist es möglich, durch die Bestimmung des Zündverzuges unmittelbar auf die Klopfestigkeit des Kraftstoffes zu schließen.

Die mittels Zündverzugsmessung ermittelten Oktan-zahlen stimmen mit denen, die nach der JG-Besserer-Methode gemessen sind, oberhalb 50 Oz überein.

Es ist also möglich, mittels eines Prüfmotors sowohl Oktan- als auch Cetanzahlen zu bestimmen.

Ein wesentliches Kennzeichen für das FKFS-Verfahren stellt die Tatsache dar, dass der Plattenverzug ermittelt wird, d. h. die Zeit zwischen Einspritzbeginn und Beginn der Entflammung.

2. Das JG-Verfahren.

(W. Wilke, Z.VDI 1938, 82, 1135.)

Beim JG-Zündverzugsverfahren wird das Verdichtungsverhältnis festgestellt, bei dem ein bestimmter gleichbleibender Zündverzug von 18°KW für sämtliche Kraftstoffe eintritt.

Als Nachteil dieses Verfahrens könnte man anführen, dass während der Messung das Verdichtungsverhältnis verändert werden muss, so dass also eine Bewertung des Kraftstoffes bei verschiedener Form des Verbrennungsraumes erfolgt. Dadurch treten beispielsweise Änderungen in der Wirbelung der Verbrennungsluft ein, die auf verschiedene Kraftstoffe verschieden wirken können, sodass Unterschiede des JG-Verfahrens gegenüber dem FKFS-Verfahren möglich sind.

Im allgemeinen sind zwischen JG-Verfahren und FKFS-Verfahren gut übereinstimmende Werte zu verzeichnen. Lediglich bei ausserst zündwilligen Kraftstoffen sind Unterschiede beobachtet worden. Diese Unterschiede sind wahrscheinlich auf chemische Vorreaktionen zurückzuführen.

Bei JG-Verfahren wird der Druckverzug bestimmt. Es ist möglich, dass eine chemische Reaktion mit einem Druck verbunden ist, ohne dass dabei eine Flamme entsteht. Können Unterschiede zwischen Druck- und Flammenverzögerung auftreten.

Die Zündverzögerungsverfahren sind die einzigen Verfahren zur Ermittlung der Zündwilligkeit, bei denen der Motor sich im Betrieb befindet. Dadurch wird den technischen Anforderungen an ein Prüfverfahren restlos entsprochen.

Sämtliche Laboratoriumsverfahren zur Ermittlung der Zündwilligkeit haben im Gegensatz dazu den erheblichen Nachteil, dass Kraftstoffe mit Zündbeschleunigern nach ihnen nicht bewertet werden können. (Wörter, Motorkraftstoffe, Bd. 1, Springer 1942).

B) Das Drosselverfahren (HKA-Verfahren).

Bei diesem Verfahren wird das Verdichtungsverhältnis, oder genauer ausgedrückt, der Verdichtungsdruck durch veränderliche Drosselung der angesaugten Verbrennungsluft verändert.

Durch Erhöhen des Ansaugdruckes lässt man den Motor zur Zündung kommen, wobei Motor und Ansaugluft eine bestimmte Temperatur haben müssen, die in den Untersuchungsbedingungen festgelegt ist. Zwischen dem "kritischen" Ansaugdruck und der Cetanzahl des Kraftstoffes besteht nun eine Eichkurve, aus der die Zündwilligkeit des Kraftstoffes ermittelt werden soll.

Untersuchungen, die am FKFS-Motor durchgeführt wurden, ergaben, dass zwischen dem Anlassverhalten eines Kraftstoffes und seiner Cetanzahl keine vorläufig erfassbare Beziehung besteht, wie im folgenden nachgewiesen wird.

So wurde RCH-01 mit verschiedenem Äthylnitrat-Gehalt untersucht. Ein Zusatz von 5 % Äthylnitrat erhöht die

durch Zündverzugs gemessene Cetanzahl von etwa 75 auf etwa 130. Das Anlassverhalten blieb völlig unverändert. Bei Tankstellengasbl traten die gleichen Wirkungen ein. Dem Kraftstoff beigemengtes Äthylnitrat, welches ein sehr guter Zündbeschleuniger ist, bewirkt wohl eine Erhöhung der Cetanzahl, läßt aber das Anlassverhalten unverändert.

Das NKA-Verfahren besitzt also eine Eignung zur Prüfung des Anlassverhaltens, eine Bestimmung der betriebmäßigen Cetanzahl, wie sie durch die Zündverzugsverfahren möglich ist, kann also nicht durchgeführt werden.

II. Abhängigkeit des Zündverhaltens von der Zusammensetzung des Kraftstoffes.

1. Zündverzugs verschiedener reiner Kohlenwasserstoffe.

Die Kraftstoffe zeigen erhebliche Unterschiede in ihrer Zündwilligkeit, die durch verschiedene chemische Strukturen bedingt sind. An dieser Stelle mag die Aufteilung in folgende Gruppen genügen:

a) Kettenförmige Verbindungen.

Zu diesen gehören die Paraffine und Olefine. Als Vertreter der Paraffine ist das RCW-Öl wesentlich. Als Olefin ist für Messungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit das Ceten verwendet worden.

b) Ringverbindungen.

Diese teilen sich in Benzol- und Naphten-Verbindungen. auf Messungen wurden mit Benzol- und α -Methylnaphtalin durchgeführt, welches in die Benzolgruppe eingereicht werden kann. Als Vertreter der Naphtene wurde das Cyklohexan angewendet.

Die Paraffin- bzw. Olefinketten sind chemisch-physikalisch gesehen nicht so stabil wie etwa der Benzolring. Deshalb treten vor der eigentlichen Verbrennung Vorreaktionen ein, die einen weiteren Ablauf der Verbrennung ermöglichen. Der Zündverzug ist daher bei den Paraffinen

und Oerfizer besonders klein, und die Zündwilligkeit gross. Es entstehen also vornehmst zündwilligere Stoffe, die dann die Verbrennung einleiten.

Das geseitliche Verhalten zeigt die Binverbindungen. Der Ring ist sehr stabil, weist kaum Vorkreaktionen auf; die Zündflamme erfolgt schlagartig.

2. Einfluss von Äthylnitrat auf das Zündverhalten.

Ein Zusatz von Äthylnitrat verringert den Zündverzug. Wie bereits erwähnt, ruft das Peritotoff beigemisertes Äthylnitrat beim Einspritzbetrieb keine Verbesserung des Anlassverhaltens hervor. Diese Tatsache erlaubt dem Schluss, dass die zur Einleitung der ersten Phasen der Verbrennung erforderliche Temperatur in jedem Falle, also mit und ohne Äthylnitrat-Zusatz erreicht werden muss. Erst von diesem Punkte an hat das Äthylnitrat eine beschleunigende Wirkung. Die zur Vergasung des Äthylnitrats notwendige Zeit ist beim Einspritzbetrieb zu kurz, um eine wesentliche Erniedrigung des Selbstzündungspunktes zu erreichen.

III. Abhängigkeit des Anlassverhaltens im FKFS-Prüfmotor von der Gemischtemperatur.

Zur Schaffung günstiger Anlassverhältnisse wurden zunächst folgende Versuche durchgeführt:

Der Motor arbeitete im reinen Einspritzverfahren. Die angesaugte Verbrennungsluft wurde vorgeheizt (Bild 1). Wie zu erwarten war, sinkt das erforderliche kritische Verdichtungsverhältnis ϵ_k mit steigender Temperatur der angesaugten Luft. Die erzielten Verbesserungen sind bei Tankstellengasöl und RCH-Cl nicht sehr gross. Beim Zyklohexan, das aber sehr zündträge ist, ist die Verbesserung des Anlassverhaltens erheblich.

1. Untersuchung von Kohlenwasserstoffen verschiedener Zusammensetzung.

Es wurde versucht, eine Verbesserung des Anlassverhaltens zu erzielen, indem nicht mehr reine Luft angeblasen wird, sondern ein in einem Vergaser erzeugtes Kraftstoff-Luftgemisch, welches ebenfalls vorgeheizt werden kann. Ausserdem wird der gleiche Kraftstoff eingespritzt. Bei diesen Versuchen wurde folgende eigentümliche Erscheinung beobachtet:

Die Verwendung von reinem Ceten, das eine Cetanzahl von 70 hat, rief im Motor bei einem E_n von 14,15 eine Zündung hervor. Wurde dagegen ein Gemisch aus Ceten und 20 % α -Methylnaphthalin mit einer Cetanzahl von 57 verwendet, so sprang der Motor bereits bei einem E_n von 11,9 an. (Bild 2 u. 3)

Es ist also festzustellen, dass das Anlassverhalten durchaus nicht mit der durch Zündverzugsmessung ermittelten Zündwilligkeit übereinstimmt. Zur Bewertung des Anlassverhaltens ist also eine besondere Kenngrösse der Kraftstoffe, die Anlass-Cetanzahl notwendig.

Das Ansaugen von Gemisch bringt in Bezug auf das Anlassverhalten Vorteile gegenüber dem reinen Einspritzbetrieb, wahrscheinlich deswegen, weil der Kraftstoff in der Verbrennungsluft in sehr feiner Verteilung an allen Stellen des Verbrennungsraumes vorhanden ist und die Vorreaktionen bereits während des Verdichtens vor sich gehen können. Der Kraftstoff ist also dem Druck und der viel einflussreicheren Temperatur länger ausgesetzt als beim reinen Einspritzbetrieb. Je nach der Art des Kraftstoffes tritt verschiedenes starkes Klopfen ein.

Bei Paraffinen (RCH-01) lässt sich ein Laufen des Motors aus eigener Kraft erreichen, ohne dass durch das Quarzfenster im Zylinderkopf eine Flamme zu sehen ist. Nach einiger Zeit treten unter Klopferscheinungen Flammen im Verbrennungsraum auf, während gleichzeitig der Motor

stark beschleunigt. Beim RCN-El sind demnach die Vorreaktionen so stark, dass bereits vor der Entzündung der einsetzende Druckanstieg den Motor im Laufen erhält. Da die entstehende Wärme nicht restlos abgeleitet wird, heizt sich der Verbrennungsraum langsam auf, bis dann jedes Mal die Entzündung einsetzt.

Bei Kohlenen und Arocaten sind die geschilderten durch Vorreaktionen bedingten Erscheinungen nicht vorhanden. Vielmehr beginnt bei Kraftstoffen dieser Art (Zyklohexan und Benzol) der Motor plötzlich unter stärksten Klopferscheinungen zu laufen. Um die Größe der Druckspitzen kennen zu lernen, wurde mittels Quarzgeber und Siemens-Schleifer-Oszillograph ein Indikator-Diagramm aufgenommen, welches einen Spitzendruck von 110 atü zeigte. Es ist erwähnenswert, dass bei den Anlaufversuchen mit Zyklohexan der Verbrennungsraum, der vor den Versuchen stark verrußt war, völlig saubergebrannt wurde.

2. Der Einfluss von Äthylnitrat.

Ausserordentliche Verbesserungen des Anlaufverhaltens sind dadurch zu erreichen, dass der Verbrennungsluft ein geringer Zusatz von Äthylnitrat beigegeben wird.

Das zeigt deutlich folgender Versuch:

Das Verdichtungsverhältnis des Motors wird unter das kritische Verdichtungsverhältnis eingeregelt. Als Kraftstoff eignet sich Tankstellengasöl, das wie üblich in den Verbrennungsraum eingespritzt wird. Nähert man dem Luftfilter einen mit Äthylnitrat befeuchteten Lappen, dann springt der Motor sofort an.

Um nun gleichmässige Verhältnisse zu gewährleisten, wird durch den Vergaser am Ansaugstutzen ein Gemisch aus Luft und Kraftstoff, der mit verschiedenem Äthylnitratgehalt versehen ist, angesaugt. Eingespritzt wird immer der gleiche Kraftstoff, der auch angesaugt wird. Die dabei erzielten Erniedrigungen des kritischen Verdichtungsverhältnisses sind sehr erheblich. Dies zeigen die Bilder 4 bis 12.

Es erweist sich, dass Paraffine auf diesen Äthyl-
nitrat-Zusatz am wenigsten ansprechen. (RCV-21, Bild 4).

Bei 5 % Äthylnitratzusatz tritt ein eigentümlicher
Verlauf der Kurve ein. Unterhalb etwa 50°C Gemisch-
temperatur steigt das kritische Verdichtungsverhältnis
sehr stark an. Als Ursache ist eine Abkühlung des Ver-
brennungsraumes anzunehmen, die sich stärker auswirkt,
als die verhältnismäßig geringe Verbesserung des Anlass-
verhaltens. In gewissem Masse gilt diese Annahme auch
für die Kurven von 1 % und 2 % Äthylnitratzusatz, die
unterhalb 50°C auch eine geringe Verschlechterung des
Anlassverhaltens zeigen, die allerdings noch innerhalb der
Messgenauigkeit liegen dürfte.

Die Bilder 5 bis 9 zeigen das Verhalten von RCV-21
mit verschiedenem Benzolgehalt. Wie anzunehmen war,
steigt die Empfindlichkeit auf Äthylnitrat mit steigendem
Zusatz von Benzol, wobei sich gleichzeitig eine immer
stärkere Sättigung bemerkbar macht, die am deutlichsten
bei reinem Benzol mit 5 % und 10 % Äthylnitratzusatz
hervortritt.

Als Vertreter der Naphtene wurde Zylohexan unter-
sucht, welches ähnlich wie das chemisch verwandte Benzol
eine starke Empfindlichkeit auf Äthylnitrat aufweist.
(Bild 12).

Bei den mit Zylohexan durchgeführten Versuchen
trat überaus starkes Klopfen ein, was durch Zusatz von
Bleitetraäthyl verringert werden sollte. Dabei zeigte
sich, dass Bleitetraäthyl und Äthylnitrat sich genau ent-
gegengesetzt verhalten. (Bild 11 und 12). Ein Zusatz von
0,5 % Äthylnitrat kompensiert gerade einen Bleitetraäthyl-
gehalt von 0,1 %. (Bild 11). Eine Verminderung des Klopfens
trat nicht ein.

Im Gegensatz zum Äthylnitrat, welches im einge-
spritzten Kraftstoff enthalten ist, ruft also Äthylnitrat,
welches mit der Verbrennungsluft zusammen in den Ver-
brennungsraum gelangt, eine erhebliche Verbesserung
des Anlassverhaltens hervor.

Aus dem Verhalten, welches bei Mischung mit RCN-01 auf Bild 4 eintritt, ist zu schliessen, dass das Äthyl-nitrat erst etwa oberhalb 10°C Gemischtemperatur gasförmig in die Zylinder gelangt. (In der Mischung mit RCN-01) In flüssigen Zustand angefaugt, bilden die Tröpfchen wegen der hohen Verdampfungswärme des Äthyl-nitrate um sich herum kleine kalte Zonen aus, die Zündungshemmer sind, sofern der verwendete Kraftstoff von sich aus eine hervorragende Anlasszündwilligkeit besitzt, wie das paraffinische RCN-01.

Bei üblichen Kraftstoffen ruft der Verbrennungsluft beigemisstes Äthyl-nitrat in jedem Falle eine anlassfördernde Wirkung hervor, CH_3 durch die Verdampfung entzogene Wärmemenge, die ja die verdichtete Verbrennungsluft liefern muss, in sehr geringem Verhältnis steht zur Steigerung der Anlasszündwilligkeit durch den Äthyl-nitratgehalt der Verbrennungsluft.

IV. Theoretische Überlegungen zur Berechnung der Zündtemperatur im Motor und praktische Ergebnisse.

Bei der Selbstzündung eines Gemisches aus Kraftstoff und Luft während der Verdichtung sind zwei Faktoren, welche die Zündung einleiten; Druck und Wärme. Dabei ist die Wärme weit wirksamer als der Druck, wie sich im folgenden ergibt:

Die Verdichtungsendtemperatur (Zündtemperatur) ist bestimmbar nach der Formel

$$T_c = T_a \cdot \epsilon^{\kappa-1}$$

die Ansaugtemperatur ist bekannt, ebenso ϵ . Das κ ist auf analytischem Wege nur angenähert bestimmbar aus folgenden Gründen:

Die Verdichtung erfolgt nicht adiabatisch, sondern etwa längs einer Polytrope, deren Exponent nicht genau bekannt ist. Ferner sind für die verwendeten Kraftstoffe keine genauen Angaben über die mittleren spezifischen Wärmen vorhanden.

Aus dem Verhalten, welches bei Mischung mit ACH-01 auf Bild 4 eintritt, ist zu schliessen, dass das Äthyl-nitrat erst etwas oberhalb 10°C Gemischtemperatur gasförmig in die Zylinder gelangt. (In der Mischung mit ACH-01!) In flüssigen Zustand angewandt, bilden die Tröpfchen wegen der hohen Verdampfungswärme des Äthylnitrats um sich herum kleine kalte Zonen aus, die zündungshemmend sind, sofern der verwendete Kraftstoff vor sich eine hervorragende Anlasszündwilligkeit besitzt, wie das paraffinische ACH-01.

Bei üblichen Kraftstoffen ruft der Verbrennungsluft beigemischt Äthylnitrat in jedem Falle eine Anlassfördernde Wirkung hervor, ^{da} durch die Verdampfung entzogene Wärmemenge, die ja die verdichtete Verbrennungsluft liefern muss, in sehr geringem Verhältnis steht zur Steigerung der Anlasszündwilligkeit durch den Äthylnitratgehalt der Verbrennungsluft.

IV. Theoretische Überlegungen zur Berechnung der Zündtemperatur im Motor und praktische Ergebnisse.

Bei der Selbstzündung eines Gemisches aus Kraftstoff und Luft während der Verdichtung sind zwei Faktoren, welche die Zündung einleiten; Druck und Wärme. Dabei ist die Wärme weit wirksamer als der Druck, wie sich im folgenden ergibt.

Die Verdichtungsendtemperatur (Zündtemperatur) ist bestimmbar nach der Formel

$$T_c = T_a \cdot \epsilon^{\kappa - 1}$$

die Ansaugtemperatur ist bekannt, ebenso ϵ . Das κ ist auf analytischem Wege nur angenähert bestimmbar aus folgenden Gründen:

Die Verdichtung erfolgt nicht adiabatisch, sondern etwa längs einer Polytrope, deren Exponent nicht genau bekannt ist. Ferner sind für die verwendeten Kraftstoffe keine genauen Angaben über die mittleren spezifischen Wärmen vorhanden.

Um die Verhältnisse angenähert erfassen zu können, wurde wie folgt verfahren:

$$\kappa = \frac{G_L C_{pL} + G_B C_{pB}}{G_L C_{vL} + G_B C_{vB}}$$

Darin bedeuten:

G_L Luftgewicht
 C_{pL}
 C_{vL} } spezifische Wärmen der Luft
 G_B Kraftstoffgewicht
 C_{pB}
 C_{vB} } spezifische Wärmen des Kraftstoffdampfes

Die Bestimmung von G_L pro Ansaughub erfolgt aus Hubvolumen, volumetrischem Wirkungsgrad und spezifischem Gewicht der Luft zu

$$G_L = 1020 \cdot 0,9 \cdot 0,001227 = 1,115 \text{ g}$$

$$C_{pL} = 0,25 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_{vL} = 0,1787 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

Diese Wahl der spezifischen Wärmen erfolgte unter Berücksichtigung der zu erwartenden Drücke und Temperaturen.

Die Bestimmung des Kraftstoffgewichtes erfolgte durch Verbrauchsmessung. Die Messungen erfolgten mit Zyklohexan. Bei einer Motordrehzahl von 324 U/min wurden in 36,5 s 15 cm³ Zyklohexan angesaugt. Unter Berücksichtigung des spezifischen Gewichtes von Zyklohexan $\rho = 0,778 \text{ g/cm}^3$ ergibt sich als Kraftstoffgewicht pro Ansaughub

$$G_B = 0,778 \cdot 15 \cdot \frac{2,60}{324 \cdot 36,5} = 0,1184 \text{ g}$$

Als spezifische Wärmen werden laut Landolt-Börnstein eingesetzt:

$$C_{pB} = 0,414 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_{vB} = 0,390 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$$

$$K = \frac{1.415 \cdot 10^{-2} \cdot 0.25 + 0.410 \cdot 10^{-2} \cdot 0.444}{1.415 \cdot 10^{-2} \cdot 0.117 + 0.410 \cdot 10^{-2} \cdot 0.255} = 1.006$$

Dieser Wert gilt nur für den Fall, dass der Kraftstoff bereits mindestens als Jettdampf angesaugt wird, weil sonst ein grosser Teil der Verdichtungswärme zum Verflüssigen erforderlich ist. Ferner ist zu berücksichtigen, dass das ermittelte K nur für adiabatische Verdichtung gilt, während die Verdichtung in Wirklichkeit längs einer angenäherten Polytropen erfolgt.

Das errechnete K wird jetzt verwendet, um die Zündtemperatur zu der jeweiligen Beziehung zwischen Ansaugtemperatur des Gemisches und kritischem Verdichtungsverhältnis zu ermitteln.

Die Nachrechnung erfolgt für reines Zyklohexan und Zyklohexan mit 5 % Äthylnitrat. Diese Punkte sind den Kurven auf Bild 12 entnommen.

Es ergibt sich für reines Zyklohexan:

Ansaugtemp. T_a	E_n	Zündtemp. T_c
$^{\circ}K$		$^{\circ}K$
90+273	11.5	823
70+273	14.4	838
50+273	16.8	863
30+273	24.5	884

$$T_{\text{mittel}} = 851^{\circ}K$$

$$= 578^{\circ}C$$

Zyklohexan + 5 % Äthylnitrat

Ansaugtemp. T_a	E_n	Zündtemp. T_c
$^{\circ}K$		$^{\circ}K$
90+273	10.6	800
70+273	12.0	788
50+273	15.0	800
30+273	18.9	814

$$T_{\text{mittel}} = 800^{\circ}K$$

$$= 527^{\circ}C$$

Die grössten auftretenden Schwankungen in der Zündtemperatur betragen beim Cyclohexan 7 %, beim Cyclohexan + 5,4% Äthylnitrat 3,3 %. Die ermittelten Temperaturen liegen etwas oberhalb des Zündpunktes der betreffenden Kraftstoffe; so wurde im Jentsch-Zündwertprüfer bei Zufuhr von Luft der Zündpunkt des Cyclohexans mit 402°C und der des Cyclohexans + 5 % Äthylnitrat zu 443°C bestimmt. Durch den Äthylnitratzusatz wurde der Zündpunkt um 49° herabgesetzt. Die Differenz der ermittelten Zündtemperaturen im Motor beträgt 51°C.

Berücksichtigt man, dass das κ für adiabatische Verdichtung bestimmt wurde, mithin also zu hoch ist (dieser Einfluss zeigt sich in der steigenden Tendenz der Zündtemperatur mit wachsendem ϵ_*), so liegt es nahe, den Zündpunkt auch als Zündtemperatur im Motor anzunehmen. Dass die errechneten Zündtemperaturen zu hoch sind, kann ausser auf das zu hohe κ auch auf einen etwas anderen Luftüberschuss zurückgeführt werden. Immerhin ist die Differenz beider Temperaturen so gering, dass der Zündpunkt einen brauchbaren Maassstab für das Anlass-Verhalten eines Kohlenwasserstoff-Luftgemisches geben kann, unter der Voraussetzung allerdings, dass der Kraftstoff nicht flüssig sondern mindestens als gesättigter-Dampf in den Zylinder gelangt. (Gemischvorheizung)

V. Zusammenfassung.

Die Selbstzündungseigenschaften eines Kraftstoffes im Dieselmotor und damit die Anlassfreundigkeit können auf folgende Weise erhöht werden:

- a) Durch Vorwärmung der angesaugten Luft.
- b) Indem man den Motor z. B. mittels eines Vergasers Kraftstoff ansaugen läßt, der einen Äthylnitratgehalt bis etwa 5 % besitzt.
- c) Indem man wie unter b) ein Kraftstoff-Luftgemisch ansaugt, welches man vor Eintritt in den Zylinder vorwärmt.

Je höher nun die Temperatur des angesaugten Gemisches ist, umso leichter springt der Motor an.

Äthylnitrat im eingespritzten Kraftstoff verbessert das Anspringverhalten nicht, es besteht also zwischen der durch Zündverzug gemessenen Zündwilligkeit und Anspringverhalten keine feste Beziehung.

Bei Kenntnis des Zündpunktes eines Kraftstoffes kann das bei bestimmter Temperatur zum Anlassen erforderliche kritische Verdichtungsverhältnis rechnerisch vorausbestimmt werden, wenn der Motor ein Kraftstoff-Luftgemisch ansaugt, welches so weit vorgeheizt wird, dass es gasförmig vorliegt.

000322

Versuchsbedingungen:

Motor: 1/203-Einzylinder-Verdichtungsprüfer

Vergaser: Solex 35 H 138er Düse

Anlassdrehzahl: 320 U/min

Kühlwassertemperatur: 20°C

Lufttemperatur: 20°C

Das Verdichtungsverhältnis wurde aus der Zählwerkstellung an der Handdrehkurbel mit Hilfe von Eichkurven (Bild 14 bis 19) festgestellt.

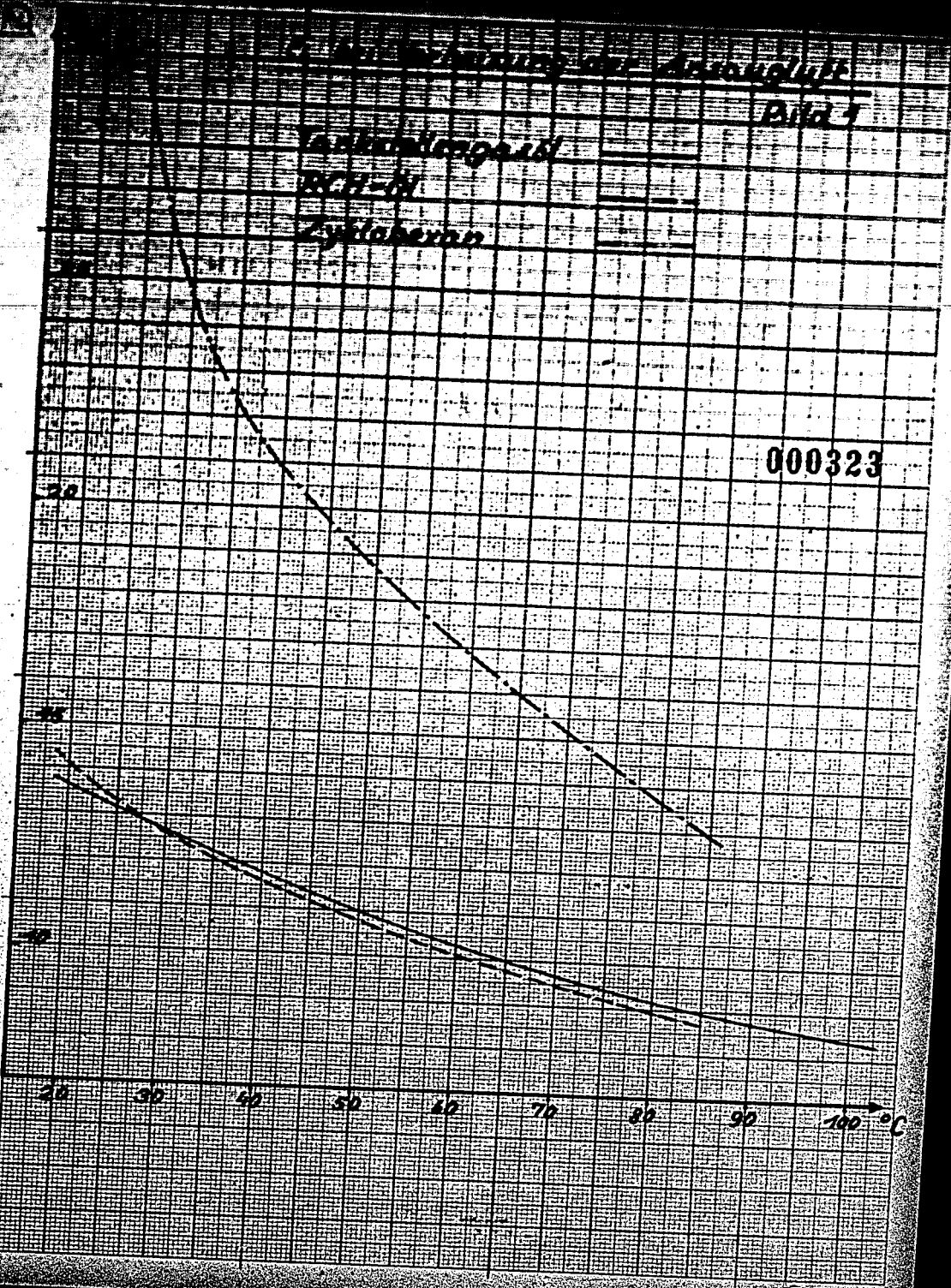
Die Gemischtemperatur wurde anfangs durch das für diesen Zweck am Prüfstand vorgesehene Fernthermometer gemessen. Wegen der grossen Trägheit dieses Instrumentes wurde später die Temperatur mittels eines wesentlich trägheitsloseren Thermoelements in Verbindung mit einem Milli-Voltmeter ermittelt. Die dazugehörige Eichkurve zeigt Bild 20.

Die Schmelzkurve der Ammoniumsulfat

Bild 1

Temperaturgrad
KCH-III
Zylinder

000323



E. bei Gemischverhältnissen

Bild 2

Tankstellengasöl

Gasöl + 20% Leuna Autobenzin

Abadan

Abadan + 20% α -Methylnaphthalin

Abadan + 40% α -Methylnaphthalin

E_a

14

12

10

8

6

20

30

40

50

60

70

80

$^{\circ}\text{C}$

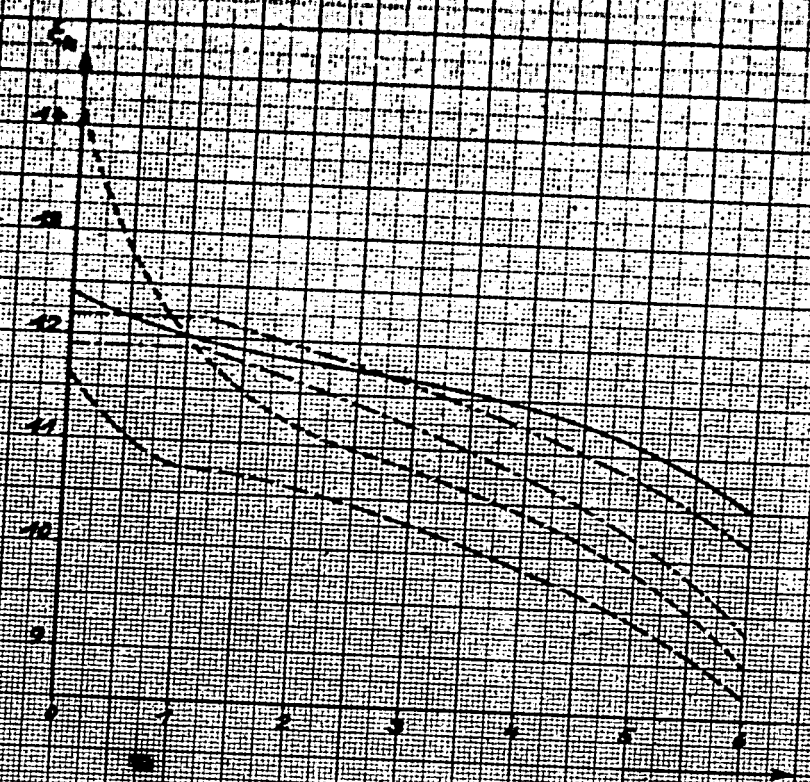
000324

3 A

Titration of α -Methylnaphthalin
with Nitric Acid

Indicator: Congo Red
S.C.N. - 01

Label: Caten
Caten + 20% α -Methylnaphthalin
Caten + 40% α -Methylnaphthalin



% Ethylnitrat

000325

ϵ_r bei Gemischverhärtung

Bild 4

RCH-Öl

RCH-Öl + 1% Athylnitrat

RCH-Öl + 2% Athylnitrat

RCH-Öl + 5% Athylnitrat

ϵ_r

12

10

8

6

4

20

30

40

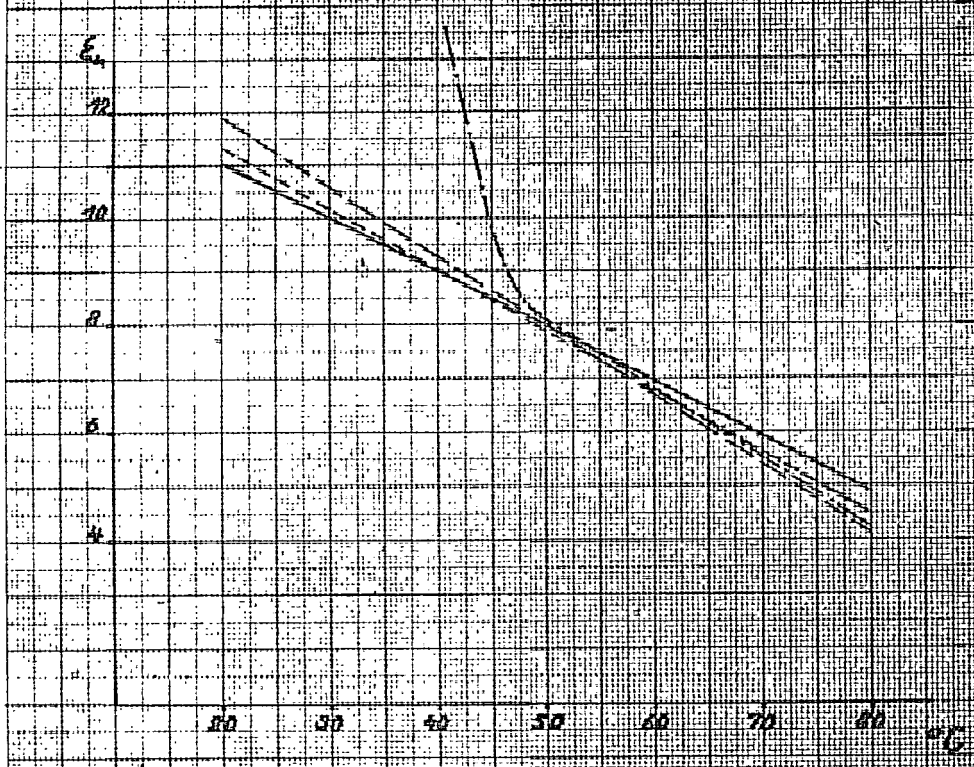
50

60

70

80

°C



000326

56

Die Sal Gemischschmelzen

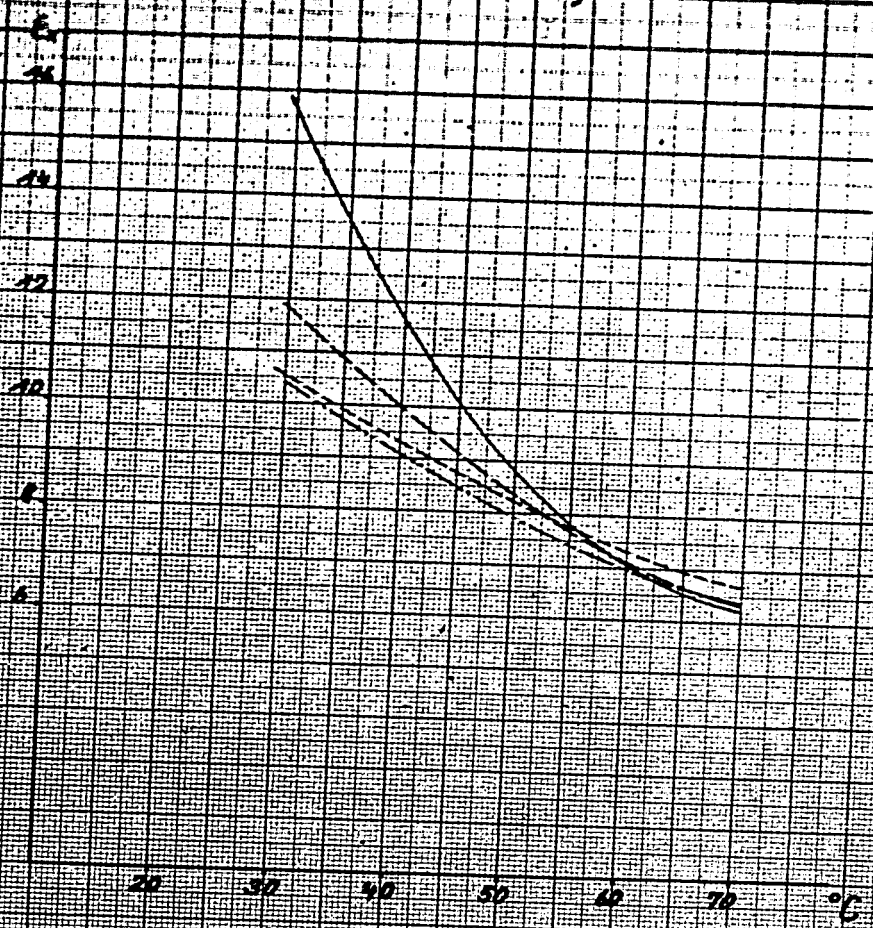
Bild 5

Rein-Ort = 20% Benzol

Rein-Ort = 20% Benzol + 2% Äthylacetat

Rein-Ort = 20% Benzol + 5% Äthylacetat

Rein-Ort = 20% Benzol + 10% Äthylacetat



000327

6

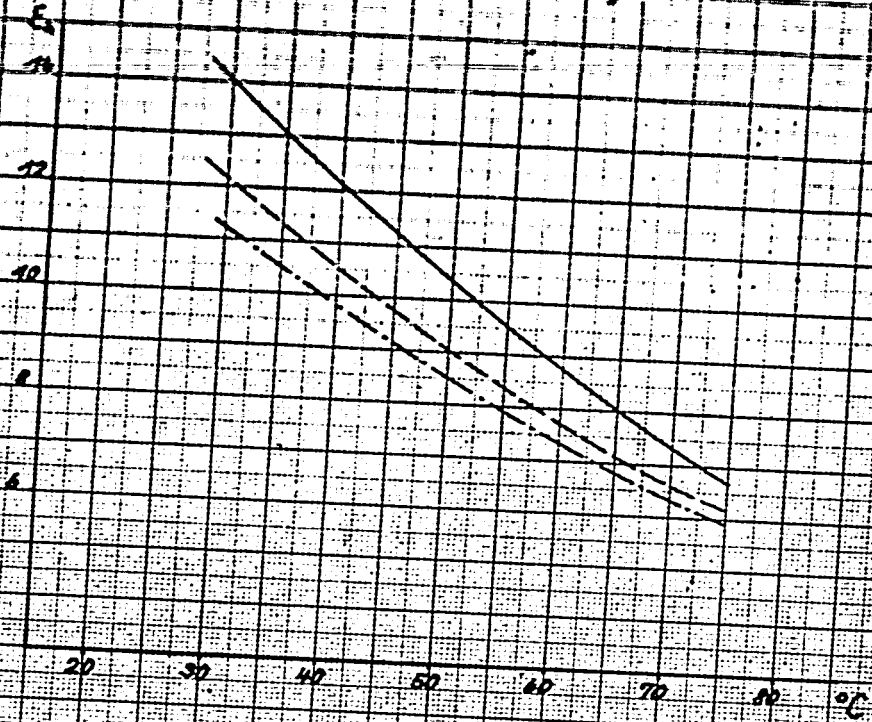
E. bei Gemischverhaltnis

Bild 6

RCH-Or + 40% Benzol

RCH-Or + 40% Benzol + 5% Äthylnitrat

RCH-Or + 40% Benzol + 10% Äthylnitrat



000328

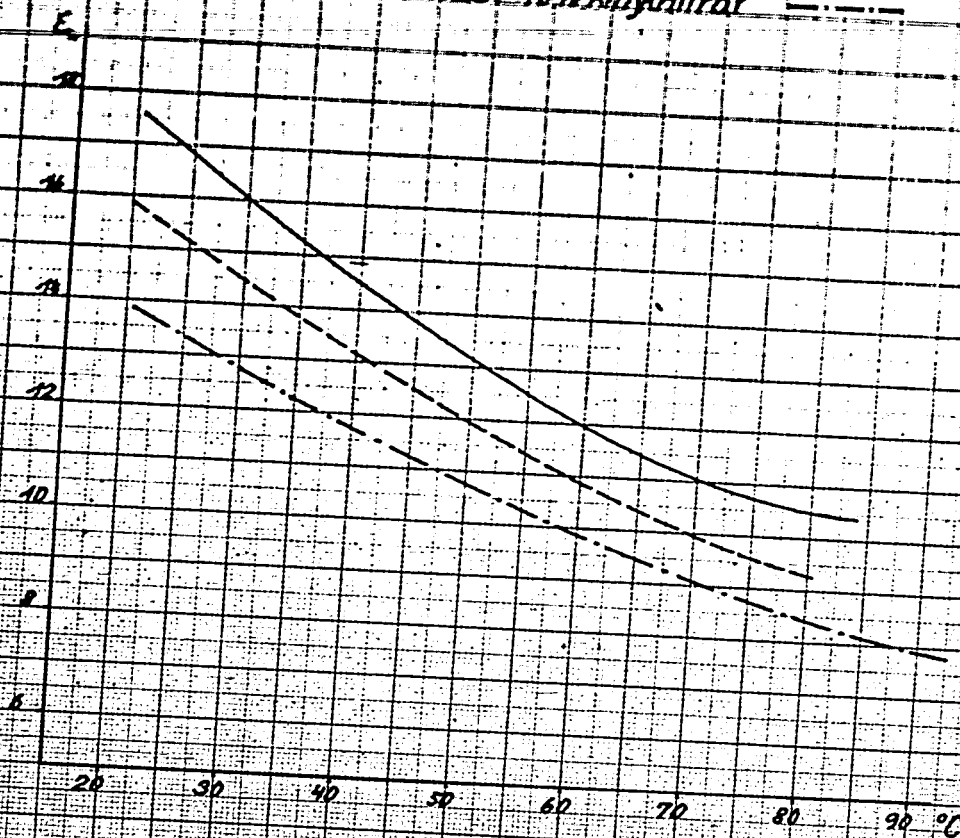
E. bei Gemischverheizung

Bild 7

RCH-Öl = 60% Benzol

RCH-Öl = 60% Benzol + 5% Äthylnitrat

RCH-Öl = 60% Benzol + 10% Äthylnitrat



000329

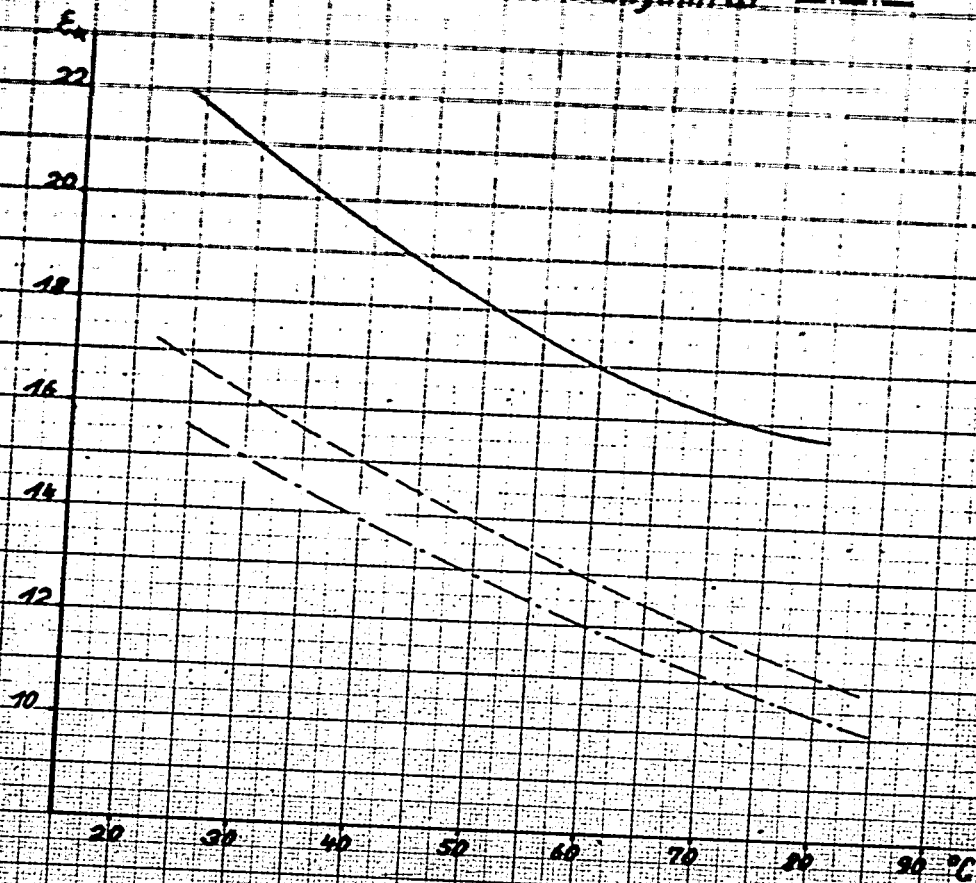
E. bei Gemischbeheizung

Bild 8

RCH-Ol = 80% Benzol

RCH-Ol = 80% Benzol + 5% Äthylnitrat

RCH-Ol = 80% Benzol + 10% Äthylnitrat



000330

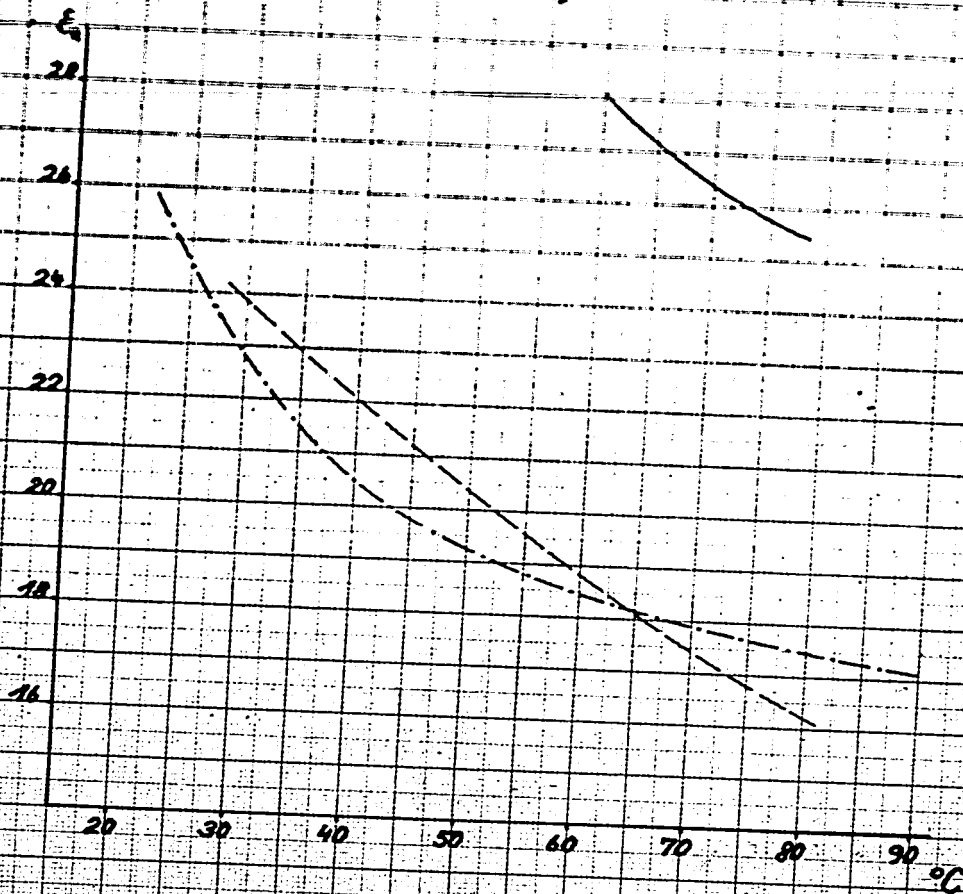
ϵ_r bei Gemischvorheizung

Bild 9

Benzol

Benzol + 5% Äthylnitrat

Benzol + 10% Äthylnitrat



000331

ϵ_r bei Gemischverheizung

Bild 10

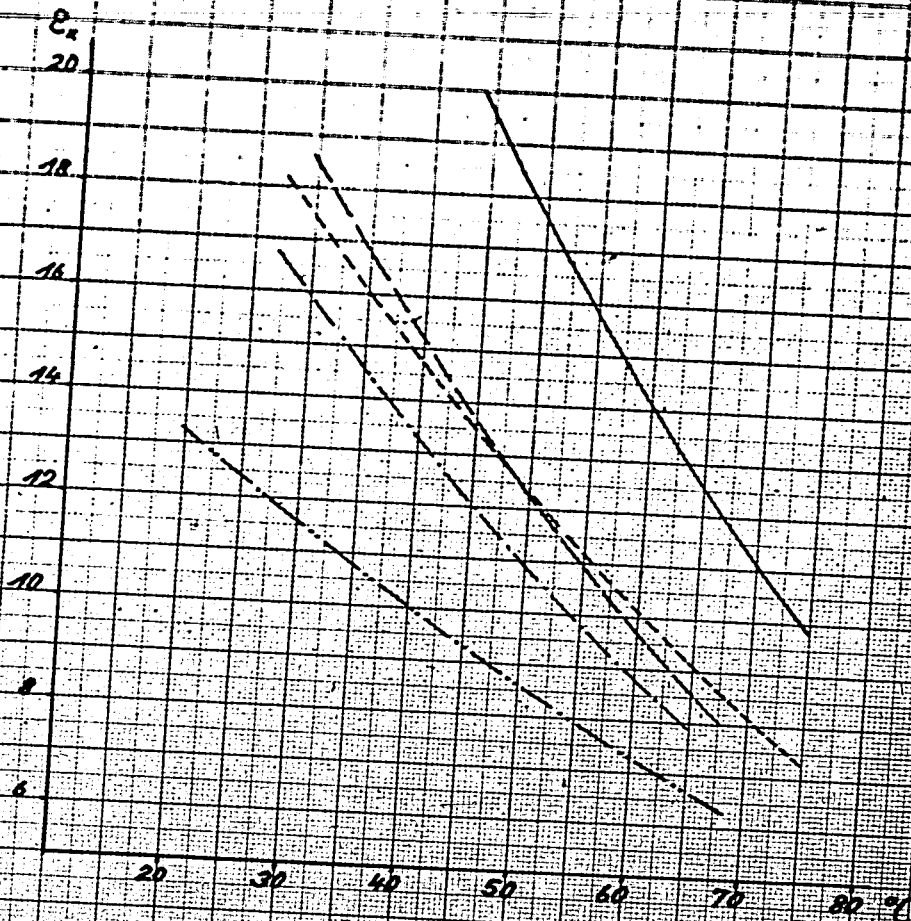
Zylohexan

Zylohexan + 1% Äthylnitrat

Zylohexan + 2% Äthylnitrat

Zylohexan + 5% Äthylnitrat

Zylohexan + 10% Äthylnitrat



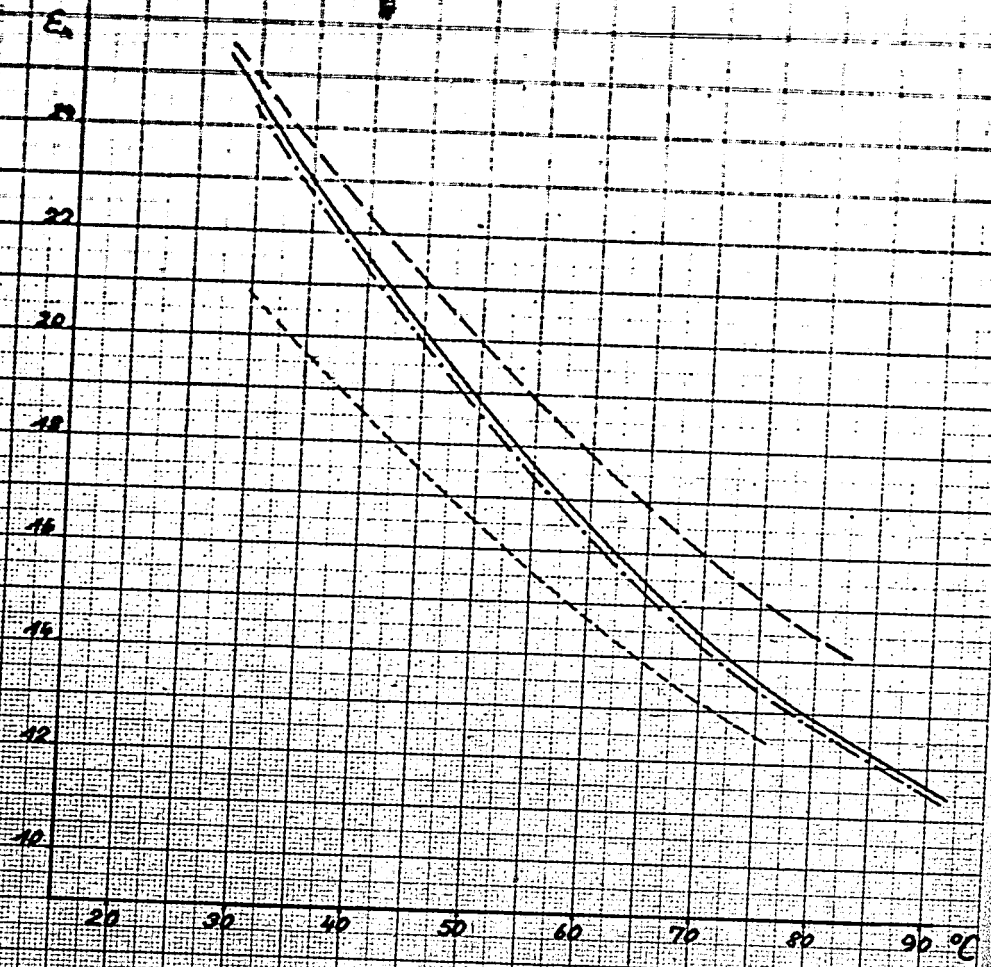
000332

11

ϵ_s bei Gemischbeheizung

Bild 11

- Zyklohexan —————
- Zyklohexan + 0,1% Bleitetraäthyl - - - - -
- Zyklohexan + 0,5% Äthylnitrat - · - · -
- Zyklohexan + 0,5% Äthylnitrat + 0,1% Bleitetraäthyl - · - · -



000333

ϵ bei Gemischverhalzung

Bild 12

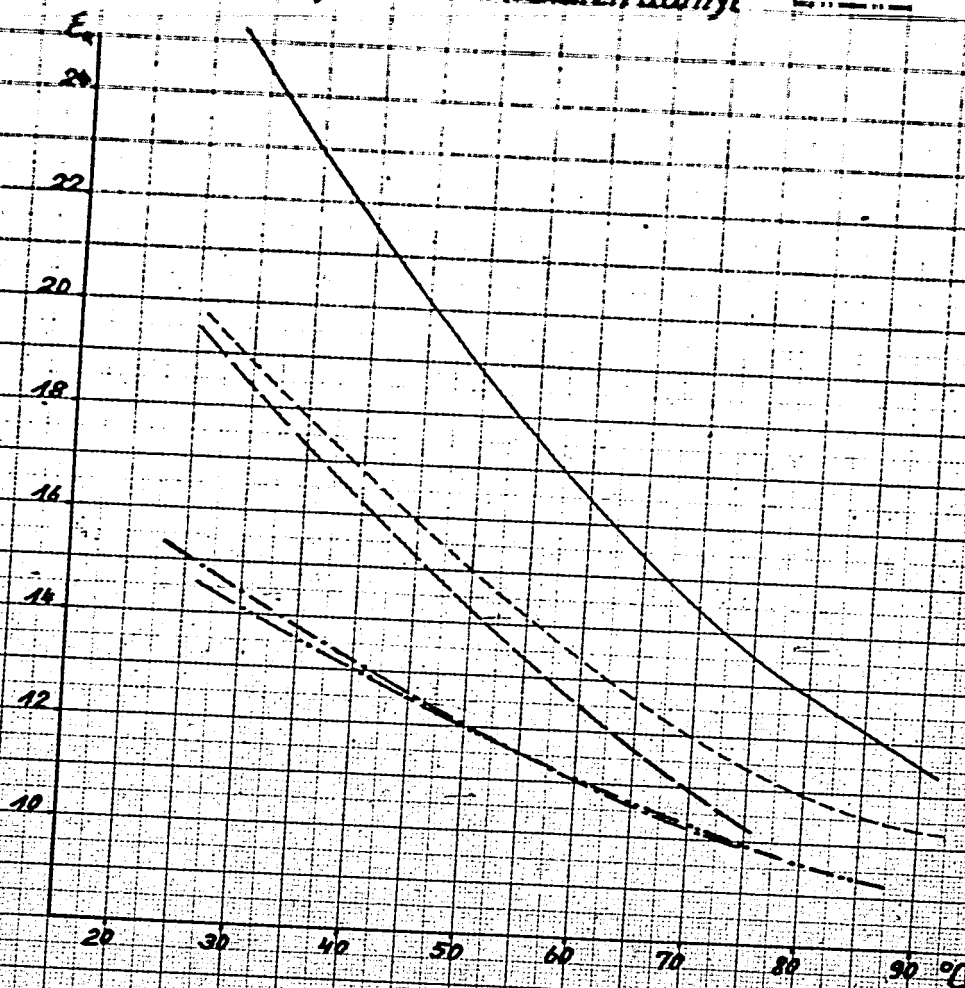
Zyklohexan

Zyklohexan + 1% Äthylnitrat

Zyklohexan + 1% Äthylnitrat + 0.1% Bleitetraäthyl

Zyklohexan + 5% Äthylnitrat

Zyklohexan + 5% Äthylnitrat + 0.1% Bleitetraäthyl



000334

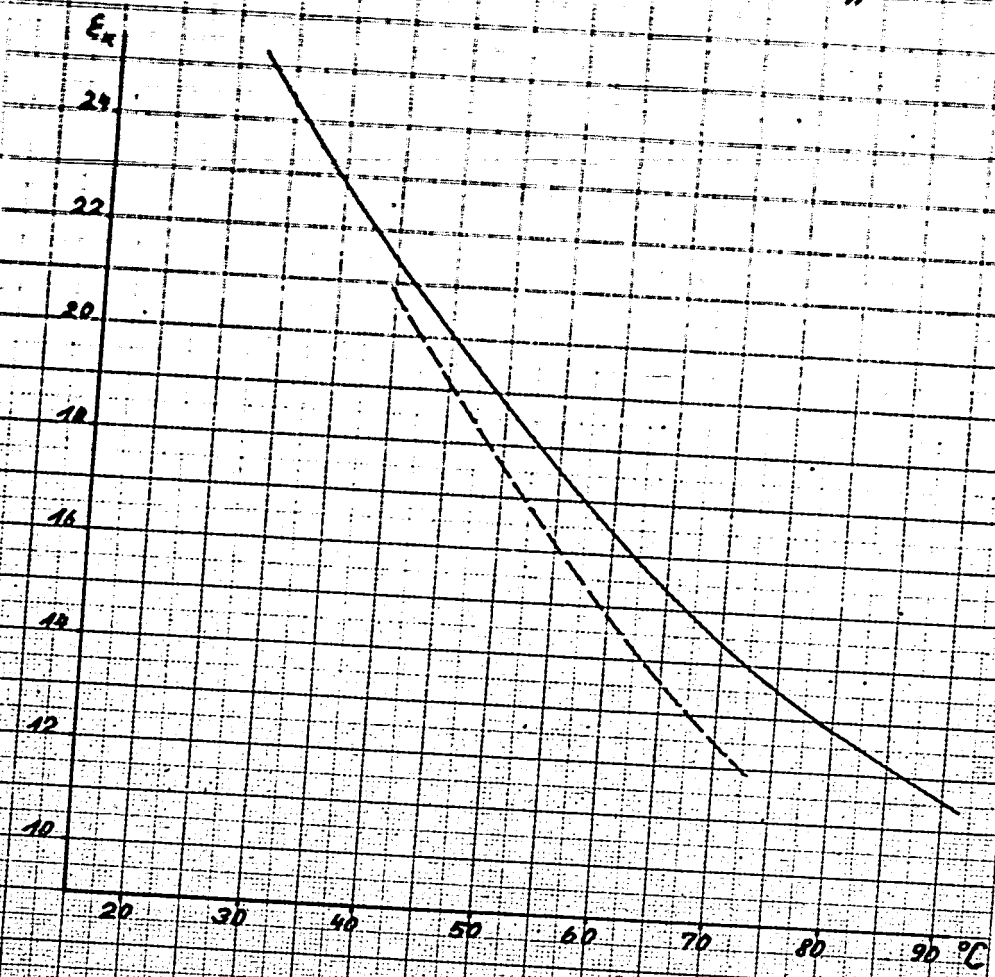
15

ϵ_r bei Gemischvorheizung

Bild 13

Zyklohexan

Zyklohexan + 50% Schwefelkohlenstoff



000335

Motor-Eichkurve

Z 100... 200

Bild 14

ϵ

27

26

25

24

23

22

21

20

19

18

17

100

120

140

160

180

200

Z

000336

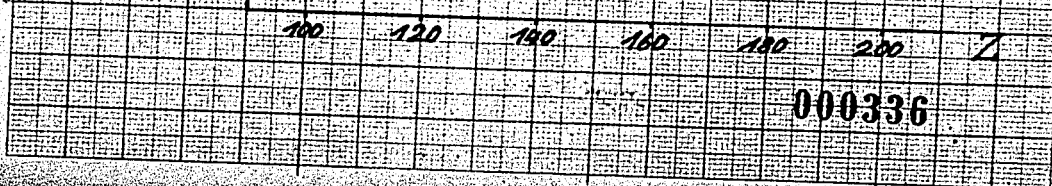
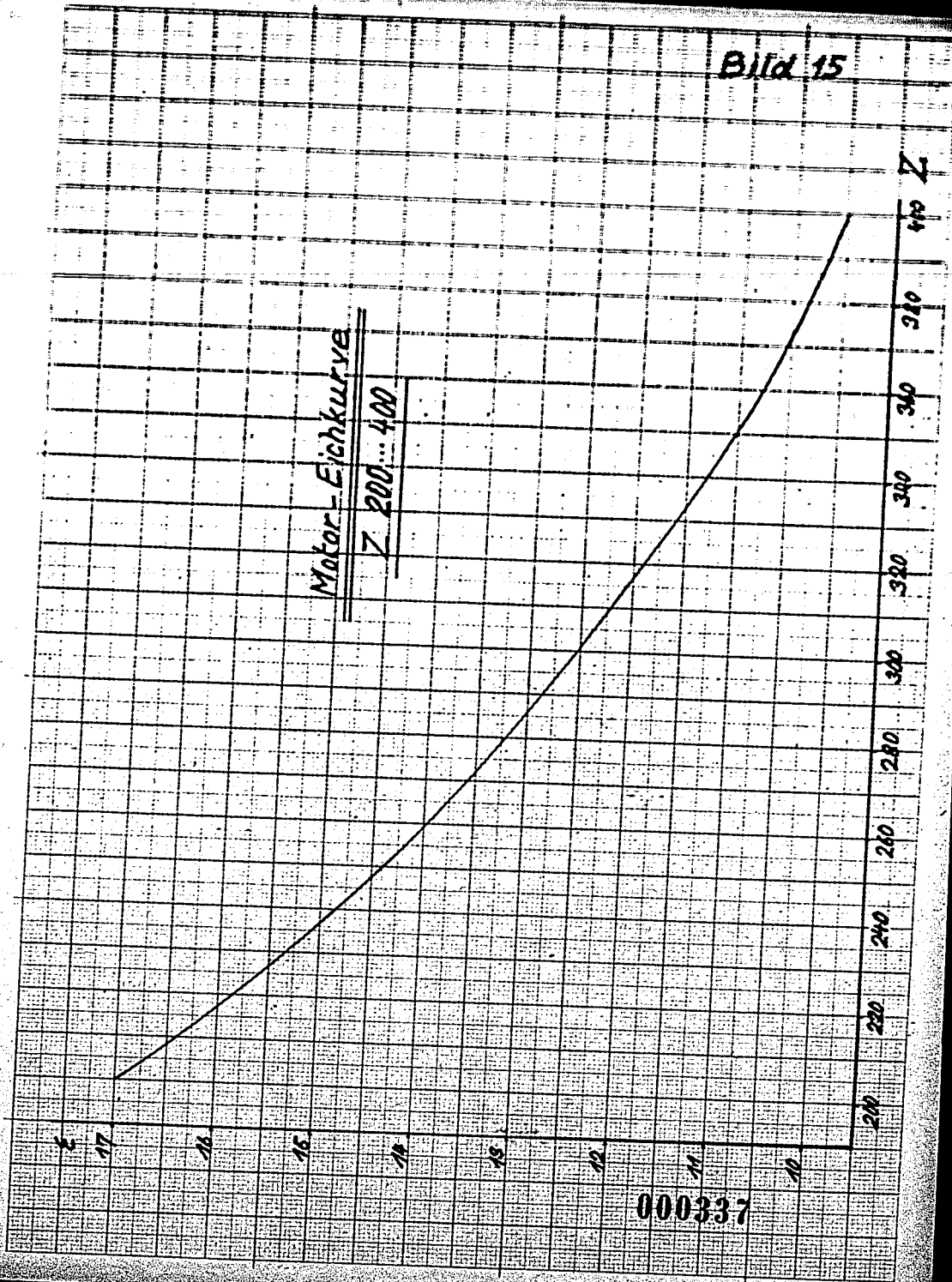


Bild 15

Motor-Eichkurve

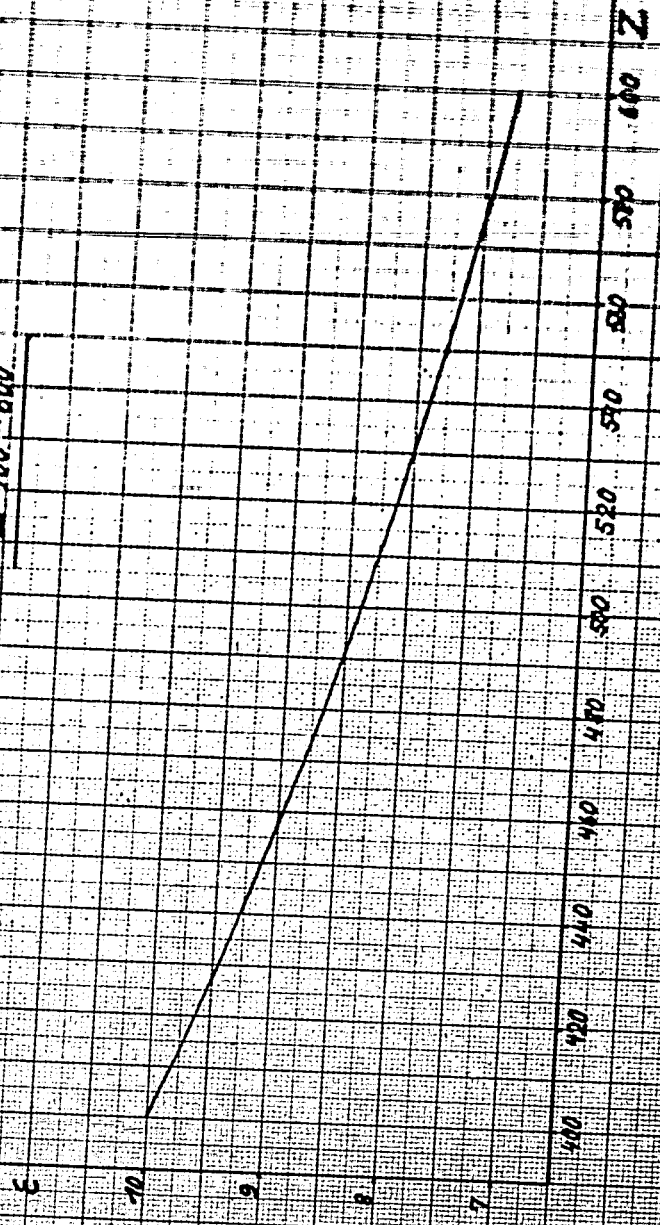
Z 200...400



000337

Bild 16

Motor-Eichkurve
Z 400...600

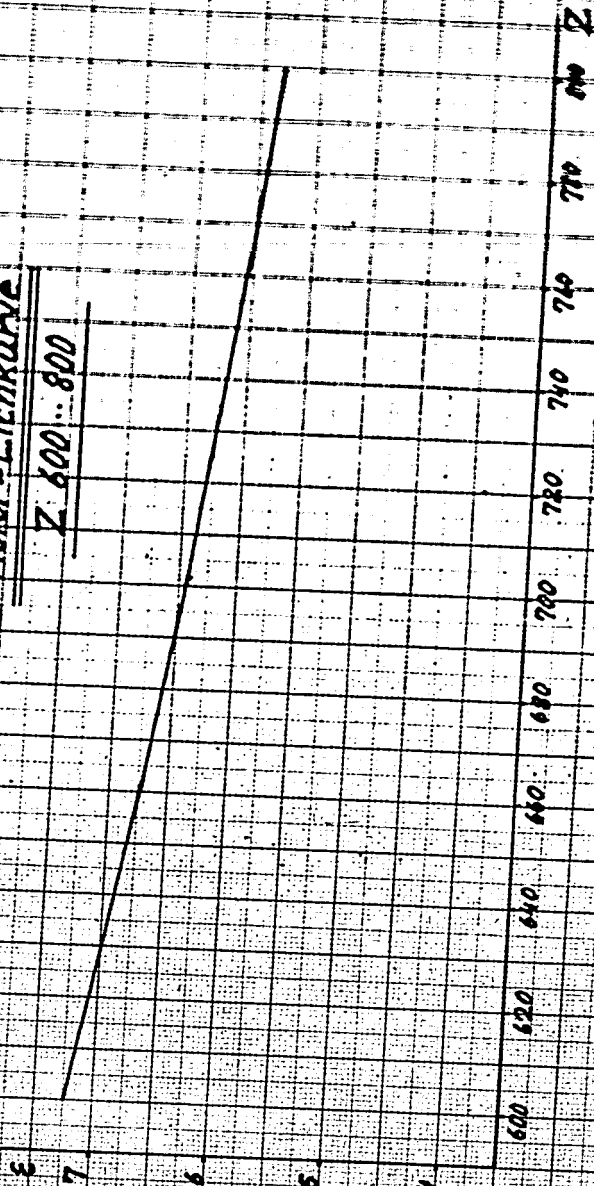


000338

Bild 17

Motor-Eichkurve

Z 600...800



000339

Bild 18

Motor-Eichkurve
Z 800...1000

3
6
5
4

800 820 840 860 880 900 920 940 960 980 1000 Z

000340

Blld 19

Motor - Eichkurve

Z. 1000...1200

1200 Z

1150

1100

1050

1000

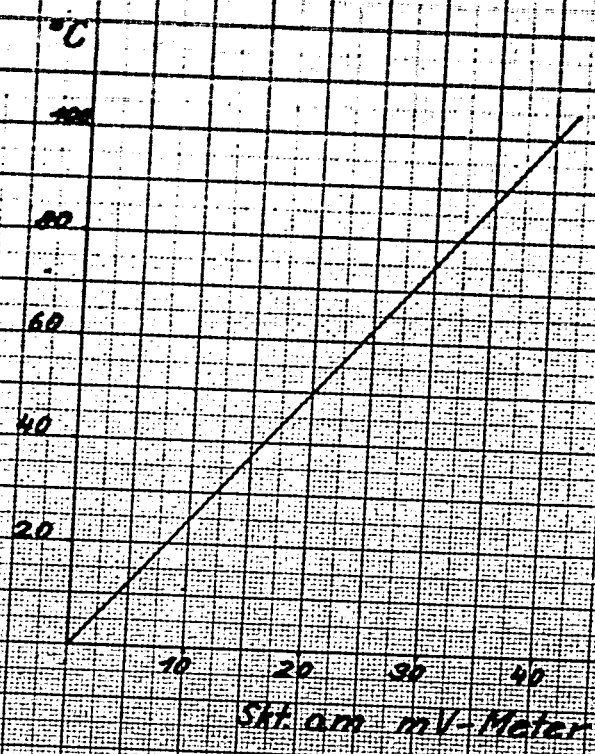
3

5

4

000341

Eichkurve
des Thermoelementes



Temperatur der kalten Lötstelle
0°C

000342

Zeit. Forschungszentrale

29.12.44

Herrn Dr. W i d m a i e r.

Die Forschungsführung, Sonnenwalde, schreibt uns mit Brief vom (2) Dezember 1944 folgendes:

Betr.: Ihr Programm der Forschungsarbeiten.

Bezug: Besprechung mit Prof. Kamm am 9.12. in Sonnenwalde WL.

Als Ergebnis der o.g. Besprechung wird für die Bearbeitung der an Ihr Institut von hier aus vergebenen Forschungsaufträge festgelegt:

FKFS 90 912
SS 4941-6132-8161/44n
Laufende Abnahme von Flugkraftstoffen im Auftrag des RLM. 1220 G/1 Lläuft weiter.

FKFS 90 912
SS 4941-6132-8163
Herabsetzung der Harzbildung in Kraftstoffen durch oahmische Zusätze. 1220 G/2 Lläuft weiter.

FKFS 90 951
SS 4941-6132-8165
Herabsetzung der Schlamm- und Schaumbildung in Schmierölen durch chemische Zusätze. 1220 G/3 Lläuft weiter.

Richard

000343

Diplomaufgabe

für

Herrn cand. mach. S t a a t s .

Am Einzylinder-Dieselprüfmotor sind Versuche
über das Dieselanlassverhalten einer grösseren Reihe
von Kohlenwasserstoffen durchzuführen.

19. 6. 3/24

000344

1. Einleitung von Verbrennungsvorgängen durch chemische Vorreaktionen.

Im Diesilverfahren wird der eingespritzte Kraftstoff durch die, bei der Luftverdichtung entstehende Wärme zur Selbstzündung gebracht. Der zwischen Einspritzbeginn und Zündbeginn auftretende Zeitraum, gemessen in °KW, ist der Zündverzögerung. Dieser, je nach der verwendeten Kraftstoffart, verschieden grosse Zündverzögerung weist darauf hin, daß die Selbstzündung kein einfacher Vorgang ist, sondern durch Vorreaktionen, die durch Reaktionen von Kohlenwasserstoffen mit Sauerstoff auftreten, vorbereitet wird. Diese Vorreaktionen können verbrennungsfördernd oder auch hemmend sein. Die verhältnismässig komplizierten Kohlenwasserstoffmoleküle zerfallen dabei teilweise zu leichter oxydierbaren Radikalen. Es kommt dabei auf dem Wege von Kettenreaktionen zur Bildung von Oxydationsprodukten, wie Peroxyden, Aldehyden usw., die auf die Zündwilligkeit der Dieselmotorkraftstoffe, d. h. auf die Grösse und die Geschwindigkeit der Umsetzung des Kraftstoffes mit dem Luftsauerstoff, von erheblichem Einfluss sind.

Durch klopfhindernde Mittel, wie Bleitetraäthyl, Eisenkubonyl usw. werden die Radikale gebunden. Es kommt nicht zu weiteren Reaktionen, sodass keine Selbstzündung eintreten kann. (Klopffeste Kraftstoffe).

1.) Reaktionsmöglichkeiten von reinen Kohlenwasserstoffen mit Sauerstoff.

Je nach ihrer chemischen Struktur zeigen die einzelnen Kohlenwasserstoffe verschiedene Reaktionsverhalten. Es interessieren im Rahmen dieser Arbeit die zwischen Ketten- und ringförmigen Kohlenwasserstoffen auftretenden Unterschiede.

a) Die kettenförmigen Verbindungen.

Hierher gehören die Paraffine und Olefine. Bei höheren Temperaturen nimmt die Zerfallsmöglichkeit der

000347

Normalparaffine mit steigender Kohlenstoffatomzahl im Molekül stark zu. Dieser leichte Zerfall bei langen Ketten gibt zu Klopfen Anlass. Verbessert wird die Klopf- festigkeit der Paraffine durch Einführung von Seitenketten

Die ungesättigten Kohlenwasserstoffe dieser Reihe, die Olefine, sind durch ihre Doppelbindung thermisch be- ständigiger als die Paraffine; ihnen kommt also eine höhere Klopfestigkeit zu. Sie werden jedoch chemisch leicht angegriffen.

b) Die Ringverbindungen.

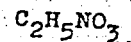
Hier interessieren die Unterschiede zwischen den Aromaten und Naphtenen. Benzol, als typischer Vertreter der Aromaten, stellt ein völlig abgerundetes Molekül dar, was dadurch geringe Angriffsflächen für den Luftsauerstoff zeigt, also sehr klopfest ist.

Die Naphtene, von denen bei den Versuchen das Zyklohexan verwandt wurde, stehen hinsichtlich der An- griffsmöglichkeit für den Sauerstoff zwischen den Paraf- finen und den Aromaten. Ihre Klopfestigkeit fällt mit dem Grade der Wasserstoffabsättigung ab. Mit der Länge der an Ringverbindungen angelagerten Seitenketten nimmt die Klopfestigkeit ebenfalls ab.

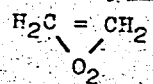
2.) Chemische Vorreaktionen bei Zündbeschleunigern.

Zündbeschleuniger sind Produkte, die im Molekül Sauerstoff enthalten und diesen beim Zerfall freigeben.

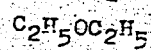
Z. B. Äthylnitrat



Äthylenperoxyd



Äther



Durch den im Molekül enthaltenen Sauerstoff werden die chemischen Vorreaktionen wesentlich leichter möglich, als wenn der Sauerstoff erst eingebracht werden muss.

Nach A. W. Schmidt³⁾ müssen die Zündbeschleuniger den Reaktionsbeginn vor, oder mindestens im O.T. bewerkstelligen und den gesamten Verbrennungsvorgang so beschleunigen, dass eine möglichst vollkommene Verbrennung erreicht wird.

Sie müssen die zur Einleitung des chemischen Umsatzes nötige Energie liefern und weiterhin noch so viel Energieüberschuss haben, dass der Verbrennungsvorgang nicht ins Stoppen gerät.

Unter den plötzlich auf sie wirkenden Druck- und Temperaturverhältnissen müssen sie instabil sein und eine grosse Zerfallgeschwindigkeit besitzen, dürfen jedoch nicht explosionsartig zerfallen.

Sie dürfen im Motor keine Korrosionserscheinungen zeigen, die bei der Bildung von NO und NO₂ bzw. verdünnter Salpetersäure bei Wasserstoffanwesenheit leicht möglich ist.

II. Praktische Auswirkung der chemischen Umsetzung im Motor.

Im Verlaufe der Versuche wurde beobachtet, dass der geschleppte Motor durch das Einspritzen von Kraftstoffen seine Drehzahl steigerte, ohne dass jedoch Flammen im Verbrennungsraum durch das Quarzfenster beobachtet werden konnten. Die Beschleunigung ist auf oben angeführte Vorreaktionen zurückzuführen, die so stark sein können, dass z. B. bei dem paraffinischen RCH-Öl der Motor aus eigener Kraft am Laufen bleibt, bis er durch allmähliche Aufheizung des Verbrennungsraumes schliesslich zündet.

Genauere Untersuchungen über die Vorreaktionen im Ottomotor wurden von Feletier²⁾ und Mühlner¹⁾ durchgeführt. Sie gaben die folgenden Ergebnisse.

Es wurde durch einen fremdgetriebenen Motor Kraftstoff-Luftgemisch gesaugt. Durch Reaktionen im Verbrennungsraum, die ohne Entzündung vor sich gehen, entstand eine Temperatursteigerung des Gemisches. Es zeigte

sich, dass diese Temperatursteigerung im Wesentlichen abhängig ist vom Mischungsverhältnis und von der Kraftstoffart, insbesondere von der Oktanzahl, sowie von den Betriebsbedingungen des Motors.

Feletier nahm Diagramme auf, die infolge des Druckanstieges durch die Energieumsetzung der Vorreaktionen ein Ausweitung auf der Expansionslinie zeigten. Diese Druckzunahme wuchs mit zunehmendem Kraftstoffüberschuss bis zu einem gewissen Punkte, wobei das Drehmoment des treibenden Pendelmotors ständig abnahm. Diese Abnahme entsprach bei einer Drehzahl von $n = 900$ U/min einer von den Vorreaktionen ohne eigentliche Verbrennung abgegebenen Leistung von 0,54 PS. Das bedeutet, dass allein durch die Vorreaktionen 9 % der gesamten Kraftstoffenergie umgesetzt wurden, da der Versuchsmotor eigentlich 6 PS leistet.

Durch Versuche von Zühlner zeigte sich weiter, dass mit wachsendem Brennstoffverhältnis $\beta = 1/\lambda$ die Kurven der Temperatursteigerung durch Vorreaktionen ansteigen, ein Maximum erreichen und dann, je höher das Verdichtungsverhältnis, desto steiler abfallen, bis plötzlich ein Abbruch der Vorreaktionen eintritt.

Es liess sich ein Zusammenhang zwischen der Stärke der Vorreaktionen und der Oktanzahl des verwendeten Kraftstoffes feststellen, und zwar sind die Vorreaktionen umso geringer je höher die Oktanzahl ist, eine Erscheinung, die nach dem oben angeführten Aufbau der verschiedenen Kraftstoffe durchaus erklärlich ist.

Als Nachteil der auftretenden Vorreaktionen wäre anzuführen, dass an sich schon zündwillige Kraftstoffe, wie z. B. das RCH-Öl, zu erhöhter Klopfneigung gebracht werden.

Diese Vorreaktionen, die besonders leicht in Gegenwart von Zündbeschleunigern ausgelöst werden, sollen zur Verbesserung des Anlassverhaltens von Motoren ausgenützt werden.

000350

III. Versuchsergebnisse über den Einfluss von Zündbeschleunigern auf das Anlassverhalten des FKPS-Kraftstoffprüfmotors.

Um Vergleichsmöglichkeiten für die Wirksamkeit der Zündbeschleuniger zu schaffen, wurden zunächst folgende Versuche durchgeführt.

Die Ansaugluft des im normalen Dieserverfahren arbeitenden Versuchsmotors wurde vorgeheizt und nun nacheinander Tankstellen-Diesöl, das ein Gemisch aus verschiedenen Kohlenwasserstoffen darstellt, RCH-Öl, als Vertreter der Paraffine, und Zylohexan, das zu den Naphtenen gehört, eingespritzt. Es zeigt sich in Bild I deutlich der nicht zu unterschätzende Einfluss der Ansaugluftvorheizung, vor allem bei dem weniger zündwilligen Zylohexan. Auf die an sich schon zündwilligen Kraftstoffe, wie RCH-Öl und auch Tankstellen-Diesöl, ist der Einfluss der Luftvorheizung weniger gross..

1.) Äthylnitrat als Zündbeschleuniger.

Bei den weiteren Versuchen wurde dem Motor in einem Zusatzgerät verdampftes Äthylnitrat zugesetzt. (s. Foto) Der Äthylnitratdampf wurde dem Motor kurz vor dem Einlassventil zugeführt. Nun wurden bei Vorheizung der Ansaugluft wieder die verschiedenen Kraftstoffe nacheinander eingespritzt und zwar

- Tankstellen-Diesöl,
- RCH-Öl,
- Zylohexan,
- RCH-Öl in Mischungen mit Zylohexan zu 20,40,60 u. 80%,
- RCH-Öl in Mischungen mit Benzol zu 20,40,60 u. 80%,
- reines Benzol,
- Leunaflugbenzin,
- C₃- und B₄-Kraftstoff.

000351

Bei diesen Versuchsreihen zeigte sich, dass diese, in ihrem Aufbau völlig verschiedenen, teils reine Dieselt-, teils reine Otto-Kraftstoffe, ja sogar Flugkraftstoffe mit hohen Oktanzahlen, wie Leuna-Flugbenzin, C₃- und B₄-Kraftstoffe, alle in dem gleichen Bereich der kritischen Verdichtungsverhältnisse λ_c zur Entzündung kamen (Bild 2 bis 5). Die geringe Streuung blieb absolut im Rahmen der Messgenauigkeit.

Das bedeutet, dass bei der Verwendung von Äthylnitrat in Dampfphase als Zündbeschleuniger das Anlassverhalten eines Dieselmotors in keinem Abhängigkeitsverhältnis zum verwendeten Kraftstoff mehr steht.

Wird jedoch Äthylnitrat dem Kraftstoff beigemischt und mit eingespritzt, so setzt es zwar den Zündverzögerungsgrad des Kraftstoffes in gewissen Grenzen herunter, ist jedoch auf das Anlassverhalten des Kraftstoffes nur von ausserordentlich geringem Einfluss. So wurden Anlassversuche mit RCH-Öl gemacht, dem jeweils 5, 10, 15, 20, und 50 % Äthylnitrat zugesetzt wurden (Bild 6). Erst bei 50 % Äthylnitrat-Zusatz macht sich eine brauchbare Anlassverbesserung bemerkbar.

Reines Äthylnitrat lässt sich, wegen der, in der Einspritzpumpe auftretenden Drücke (.150 at), nicht einspritzen. Äthylnitrat ist in reinem Zustand sehr druckempfindlich und kann zu gefährlichen Explosionen führen.

2.) Äther als Zündbeschleuniger.

Aus der reichhaltigen Zahl der Zündbeschleuniger wurden in weiteren Versuche mit Amylnitrat, Amylnitrit und Äther durchgeführt. Bild 7 zeigt eine Zusammenstellung der angeführten Zündbeschleuniger im Vergleich mit Äthylnitrat. Eingespritzt wurde RCH-Öl. Amylnitrat und Amylnitrit liegen ungünstiger als Äthylnitrat. Sie riefen ausserdem eine sehr starke Korrosion hervor, die sie in dieser Verwendung als ungünstig erscheinen lässt.

000352

Äther als Zündbeschleuniger dagegen setzt das kritische Verdichtungsverhältnis bei Lufttemperaturen von 20°C und Einspritzung von MON-Öl von $G_1 = 14$ auf nahezu 7 herab. Äther zeigt keinerlei Korrosionserscheinungen und hat einen Siedepunkt von nur 35°C, was insofern günstig ist, als zum Eindampfen des Zündbeschleunigers in den Motor eine Wärmemenge nötig ist, die naturgemäß möglichst klein gehalten werden soll.

Bild 8 gibt eine Gegenüberstellung der Wirksamkeit in Bezug auf das Anlassverhalten bei der Verdampfung von Aceton und Alkohol gegenüber Äthylnitrat und Äther. Aceton und Alkohol wirken nicht mehr zündfördernd sondern stark zündhemmend, was auf ihre Klopffestigkeit wie auf ihre grossen Verdampfungswärmen zurückzuführen ist. Sie scheiden also als Zündbeschleuniger aus.

Es tauchte nun die Frage auf, ist es überhaupt nötig bei dem niederen Siedepunkt des Äthers, diesen zu verdampfen. Aus diesem Grunde wurden die in Bild 9 dargestellten 3 Messreihen durchgeführt und zwar wurden bei Ansaugluftvorheizung o h n e Kraftstoffeinspritzung

- 1.) Äther verdampft,
- 2.) Äther durch einen Vergaser angesaugt,
- 3.) Äthylnitrat verdampft.

Es ergab sich, dass durch den Vergaser angesaugter Äther in seinem Anlassverhalten bei Temperaturen von 20°C bei einem um 1 niederen Verdichtungsverhältnis zur Zündung kommt als Äthylnitrat in Dampfform. Äther in Dampfphase dagegen ist um nahezu 2 ε besser als Äther im Vergaser.

Aus diesem Grunde wurden die weiteren Versuche mit dampfförmigem Äther als Zündbeschleuniger durchgeführt (Blatt 10). Hier machte sich, im Gegensatz zu Äthylnitrat, die Zündwilligkeit der einzelnen Kraftstoffe in geringen Masse bemerkbar. Jedoch kam das durchaus zündträge

Zylohexan bei einer Ansauglufttemperatur von 30°C bei $\epsilon_k = 6$ zur Entzündung, wogegen ein ϵ von über 13 nötig ist, um es unter gleichen Bedingungen jedoch ohne Zündbeschleuniger zum Zünden zu bringen (Bild 1).

Das Anlassverhalten war so ungünstig bei Ätherverdampfung ohne Einspritzung eines Kraftstoffes. Hier lief der Motor bei einer Ansauglufttemperatur von 30°C bereits bei einem $\epsilon_k = 4,6$, das ist ein Wert, der völlig aus dem Rahmen der üblichen Dieselveerdichtungsverhältnisse herausfällt. Schon bei sehr geringer Ätherverdampfung beschleunigte der Motor seine Drehzahl. Wurde nun Kraftstoff eingespritzt, so ging die Drehzahl wieder zurück. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, dass der eingespritzte Kraftstoff dem Verbrennungsraum so viel Wärme entzog, dass es zu keinen Vorreaktionen des Äthers mit der Verbrennungsluft mehr kommen konnte.

Konnte vor Erreichen des kritischen Verdichtungsverhältnisses ϵ_k eine grosse Menge Äther in den Verbrennungsraum gelangen, so wirkte sich dies auf das Ansprungsverhalten des Motors ungünstig aus, da auch durch Äther im Überfluss der verdichteten Verbrennungsluft so viel Wärme entzogen wurde, dass er erst bei einem höheren ϵ_k zur Zündung kam, als bei einer geringeren Ätherdampfmenge.

IV. Kaltstartversuche in Gegenwart von Zündbeschleunigern.

Da auf Grund seines Arbeitsverfahrens der Dieselmotor Kälte gegenüber sowohl in Bezug auf seine Betriebsleistung als aber vor allem in Bezug auf sein Ansprungsverhalten überaus empfindlich ist, lag es nahe, den Grad der Anlassverbesserung durch Zündbeschleuniger auch bei Kälte zu untersuchen.

Diese Versuche wurden dadurch möglich, dass das Reichsbahnzentralamt seine im Lagerverwehnsamt in Göttingen befindliche Kältezelle dem Forschungsinstitut für Kraftfahrzeugwesen und Fahrzeugmotoren an der Technischen Hochschule Stuttgart freundlichst zur Verfügung stellte.

000354

Die Kälteversuche wurden ebenfalls am MKS-Einsylinderkraftstoffprüfmotor durchgeführt. (Näheres siehe unter Versuchsbedingungen)

Die ersten Messreihen wurden bei -20°C gefahren, nachdem das gesamte Versuchsaggregat in 24 Stunden gut durchgekühlt war. Es wurde Äthylnitrat verdampft und nacheinander

Tankstellen-Dieselloil,

RCH-Öl,

Leuna-Flugbenzin,

RCH-Öl in Mischung mit Benzol (60 : 40%),

RCH-Öl mit Zyklohexan (60 : 40 und 20 : 80%)

eingespritzt. Die Ergebnisse sind auf Blatt 12 zusammenge-
stellt.

Es zeigt sich hier, dass die kritischen Verdichtungsverhältnisse bei diesen Temperaturen trotz Anwendung des Zündbeschleunigers Äthylnitrat wesentlich höher liegen. Wie ein Vergleich mit Bild 12 zeigt, wird der Einfluss von Äthylnitrat auf das Ansprungsverhalten von an sich schon zündwilligen Kraftstoffen bei Temperaturen unter 0°C gleich Null. Tankstellen-Dieselloil sündet ohne Beigabe von Äthylnitrat bereits bei dem gleichen ϵ . Auf zündträge Kraftstoffe dagegen, wie Leuna-Flugbenzin, sowie Benzol und Zyklohexan in Mischung mit RCH-Öl, die bei diesen Temperaturen normalerweise nicht zur Zündung kommen würden, ist Äthylnitrat auch hier noch von Einfluss.

Dass die verschiedenen Kurven weiter auseinander liegen ist auf die grössere Streuung der Messpunkte zurückzuführen, die bei den Kälteversuchen allgemein zu verzeichnen war.

Es konnte nur eine Auswahl von Kraftstoffen gefahren werden, weil reines Benzol und reines Zyklohexan, sowie mehr als 40 % Benzol in Mischung mit RCH-Öl im Kraftstofftank und vor allem in den Leitungen und Männen sehr schnell einfroren. (Gefrierpunkt: Benzol rein $+5,4^{\circ}\text{C}$)

000355

Unter den gleichen oben angeführten Bedingungen erweist sich Äther wieder als wesentlich bessere Anlasshilfe (Bild 12). Es konnten bei der Ansauglufttemperatur -10°C die verschiedenen Kraftstoffe bei einem $\epsilon_K \approx 10$ zur Entzündung gebracht werden, wohingegen bei Äthylnitrat bei diesen Kraftstoffen ein ϵ von 16 bis 18 erforderlich war.

Da die nächsten Versuche bei einer Zelltemperatur von -40°C durchgeführt wurden, war die Zahl der verwendbaren Kraftstoffe noch kleiner. Es konnten dem RCH-Öl nunmehr 20% Benzol zugesetzt werden, da ein Einfrieren vermieden werden musste. Bei der Verdampfung von Äthylnitrat wurden bei -30°C Ansaugluft ϵ_K von über 23 erforderlich, ein Grad der Verdichtung, bei dem Tankstellen-Dieselöl bei dieser Temperatur auch ohne Zündbeschleuniger anspringt. Äthylnitrat scheidet also bei derartigen Temperaturen als Zündbeschleuniger vollkommen aus, anscheinend deshalb, weil es bei dem Siedepunkt von 88°C nicht dampfförmig in den Motor gelangt.

Als Vergleich zu der anlassfördernden Wirkung des Äthers wurde auch bei der Raumtemperatur von -40°C eine Messreihe aufgenommen, bei der nur Tankstellenöl eingespritzt wurde (Bild 14 und 15). Hier wurde bei $t_a = -25^{\circ}\text{C}$ ein $\epsilon_K = 23.4$ erforderlich. Unter Beigabe von Ätherdampf zündete Tankstellenöl bei $\epsilon_K = 11.5$. Die sehr stark anspringfördernde Wirkung des Äthers trat bei diesen Kälteversuchen also ganz erheblich hervor!

V. Versuchsdurchführung und Versuchsbedingungen:

Die Versuche wurden am Einzylinder-FKFS-Kraftstoffprüfmotor bei $n = 325$ U/min durchgeführt. Die Vorheizung der Ansaugluft geschah mittels einer Heizspirale von 1000 W, die in den Ansaugkrümmer eingebaut war. Die Temperatur der angesaugten Luft wurde mit Hilfe eines, am Ende des Ansaugkrümmers dicht vor dem Einlassventil angebrachten Thermoelementes gemessen und an einem Millivoltmeter in

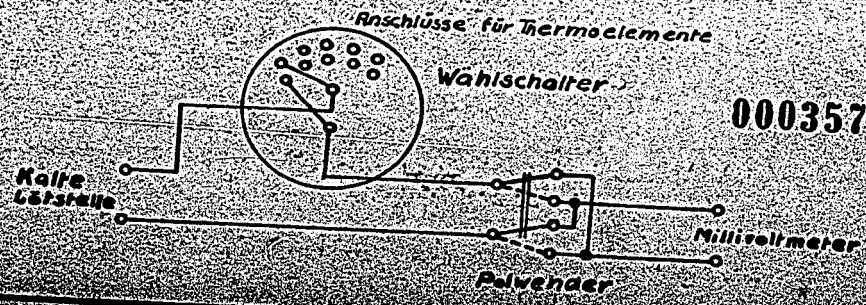
000356

Skalentellen abgelesen. Die Umrechnung von Skalentellen in °C erfolgte nach der Eichkurve des Thermoelementes (Bild 22). Diese Art der Temperaturmessung ist recht genau und reagiert vor allen Dingen sehr schnell. Das Verdichtungsverhältnis wurde aus der Zählwerksstellung an der Handkurbel mit Hilfe von Eichkurven festgestellt (Bild 16 bis 21).

Bei den Normal-Raumtemperaturversuchen betragen die Kühlwasser- und Öltemperaturen 20°C. Die Zündbeschleuniger wurden in einem elektrisch beheizten (Kochplatte) Wasserbad in einem Verdampfungsgefäß erhitzt, welches mit einem federbelasteten Kugelventil ausgerüstet war. Durch die schwache Dimensionierung der Feder liess das Ventil nur einen Überdruck von maximal 0,1 at zu, da es sich gezeigt hatte, dass bei stärkerer Feder und damit grösserem Überdruck augenblicklich zu viel des Zündbeschleunigers in den Motor gelangt ist, was sich, wie oben beschrieben, ungünstig auswirkte.

War das Auspringen des Motors erfolgt, so wurde durch einen Wasserstrahl auf den Verdampfungstopf (s. Foto) die Zuführung des Zündbeschleunigers augenblicklich unterbunden, sodass die Zündungen ausblieben.

Bei den Versuchen in der Kältezelle wurde an stelle des Wassers ein Ölbad verwandt. Da die Ansaugtemperaturen hier zwischen positiven und negativen Graden schwanken, wurde im Schaltkasten für die Thermoelemente (es konnten auch die Zündbeschleuniger-Dampftemperatur, sowie die Auspuff- und Raumtemperaturen gemessen werden) ein Polwender nötig, weil bei den Messungen eine kalte Lötstelle von 0°C (Eiswasser) verwandt wurde.



000357

Bei einer Zelltemperatur von -40°C wurde am Ende der an diesem Tage durchgeführten Versuchsreihe eine Öltemperatur von -20°C und eine Kühlmitteltemperatur von -5°C gemessen.

Es ist selbstverständlich, dass trotz der niederen Raumtemperatur sowohl das Öl als auch das Kühlmittel sich bei den ständigen Umdrehungen des Motors erwärmen.

Als Kühlmittel kam bei den Kälteversuchen eine Mischung aus 70 % Alkohol und 30% Glykol zur Verwendung.

Bei den Versuchen bei -20°C wurden dem Schmieröl Essolub 20 15 % Benzin und bei -40°C 25 % Benzin beige-mischt. Die Beimischungen ergaben bei der jeweiligen Temperatur etwa die gleiche Viskosität der Schmieröle wie die von Rotringöl bei $+20^{\circ}\text{C}$, welches in dem Versuchsmotor normalerweise Verwendung findet.

Trotz der starken Ölverdünnung zeigte es sich, dass, nachdem der Motor eine Nacht bei -40°C gestanden hatte, der Antriebs-Elektromotor bei einer Leistungsaufnahme von etwa 10 PS (220 Volt, 35 Amp) nicht imstande war, den Dieselmotor durchzudrehen.

Erst die Verwendung eines -40°C kältebeständigen Öles der Rhenania-Ossag machte die Fortführung der Versuche möglich.

Um zu erforschen, wie der Motor anspringt, ohne das Öl und Kühlmittel durch viele Umdrehungen aufgeheizt sind, wurden folgende 4 Messpunkte allein aufgenommen.

Bei Raum-, Ansaugluft- und Motortemperatur von -40°C wurde Tankstellen-Dieselöl allein bei $\epsilon_{\text{K}} = 23,4$ zur Entzündung gebracht. Bei Tankstellenöl-Einspritzung unter gleichzeitigem Ansaugen von Ather durch den Vergaser (Solex 35 H, 135er Düse) zündete der Motor bei $\epsilon_{\text{K}} = 19,65$; wurde dagegen der Ather verdampft, so konnte eine Zündung bei $\epsilon_{\text{K}} = 14,6$ herbeigeführt werden. (Bild 15)

000358

Merkwürdigerweise lag der Zündpunkt bei alleiniger Ätherverdampfung bei $\epsilon_c = 18$, also höher als bei gleichzeitiger Kraftstoffeinspritzung. Dieser Punkt widerspricht den Ergebnissen der vorhergehenden Messreihen. Das verhältnismäßig hohe ϵ_c ist aber wohl auf einen Ätherüberschuss zurückzuführen, wodurch derartige Erscheinungen durchaus möglich sind, wie weiter oben bereits angeführt.

In diesem Zusammenhang interessiert auch die Ermittlung der Verdichtungsendtemperatur durch Rechnung.

Da neben dem Druck die Temperatur von massgeblicher Bedeutung zur Herbeiführung der Zündung eines Kraftstoff-Luftgemisches ist, wird im folgenden eine Nachrechnung der Verdichtungsendtemperaturen vorgenommen.

Sie lässt sich errechnen nach der Gleichung der Adiabate

$$T_e = T_a \cdot \epsilon^{k-1} \quad (2. \text{ Poisson'sche Gleichung})$$

T_a die Ansaugtemperatur und ϵ , das dazugehörige kritische Verdichtungsverhältnis sind hierin bekannt.

Die Verdichtung im Motor verläuft nun allerdings nicht adiabatisch, sondern angenähert längs einer Polytrope ($p \cdot v^m = \text{konst.}$). Es kommt nun zunächst darauf an, den Exponenten k des Kraftstoff-Luftgemisches zu bestimmen. Allgemein gilt

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

daraus folgt für das Gemisch

$$k = \frac{G_L \cdot c_{pL} + G_{Br} \cdot c_{pBr}}{G_L \cdot c_{vL} + G_{Br} \cdot c_{vBr}}$$

Hierin bedeuten:

G_L Gewichtsanteil der Luft

c_{pL} } spezifische Wärmen der Luft

c_{vL} }

G_{Br} Gewichtsanteil des Brennstoffes

c_{pBr} } spezifische Wärmen des Brennstoffes.

c_{vBr} }

Die Berechnung erfolgt für Ätherdampf
 Kraftstoffeinspritzung nach Kurvenblatt 9.

Zur Ermittlung des Brennstoffanteiles wurden mit dem
 Verdampfungsgerät Verdampfungs mengenmessungen durchgeführt,
 die ergaben, dass in 2 Minuten 30,2 g Äther dampfförmig
 in den Motor gelangen. Bei einer Drehzahl von 325 U/min
 ergibt das ein Ätherdampfgewicht von $G_{Dr} = 0,0465 \text{ g/Hub}$.

Die spezifische Wärme von Äther bei gleichem Druck
 ist $c_p = 0,428$ (Landolt-Börnstein).

$$M \cdot c_p - X \cdot c_v = 1,986$$

$$c_v = \frac{X \cdot c_p - 1,986}{X}$$

$$\text{Molgewicht } M = 74$$

$$c_v = 0,4015 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

Das angesaugte Luftvolumen/Hub lässt sich aus Hub-
 volumen und η_{vol} (volumetrischer Wirkungsgrad) bestimmen;
 es muss davon der Volumenanteil des Ätherdampfes in Abzug
 gebracht werden.

$$V_L = 1020 \cdot 0,9 = 918 \text{ cm}^3$$

$$G_A = 0,0465 \text{ g}; \text{ Ätherdampf: } \gamma = 3,3 \text{ g/cm}^3$$

$$V_A = \frac{0,0465}{0,0033} = 14,1 \text{ cm}^3$$

$$V_L - V_A = 918 - 14,1 = 903,9 = V_{L \text{ wirklich}}$$

$$G_L = V_{Lw} \cdot \gamma_L = 903,9 \cdot 0,001227 = 1,1091 \text{ g}$$

$$\left. \begin{array}{l} c_{pL} = 0,241 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \\ c_{vL} = 0,172 \text{ " " " } \end{array} \right\} \text{ (Hütte)}$$

$$K = \frac{1,1091 \cdot 0,241 + 0,0465 \cdot 0,428}{1,1091 \cdot 0,172 + 0,0465 \cdot 0,4015}$$

$$K = 1,3713$$

Mit diesem Wert für κ ergeben sich bei Verdampfung von Äther ohne Brennstoffeinspritzung folgende Endtemperaturen:

T_a (°K)	ϵ_{κ}	T_e (°K)
333	5,16	612,4
323	5,55	610,3
313	6,0	608,8
303	6,5	607,1
293	7,04	604,7

Die fallende Tendenz der Verdichtungsendtemperaturen weist darauf hin, dass der Wert für κ , der ja der Adiabate entspricht, etwas zu niedrig liegt. Der Exponent der Polytrope, nach der sich die Verdichtung etwa vollzieht, liegt zwischen dem der Adiabate ($p \cdot v^{\kappa} = \text{konst.}$) und dem der Isotherme ($p \cdot v^1 = \text{konst.}$). Die errechneten Werte für T_e müssten also stetig etwas ansteigen.

Die gleiche Rechnung ergibt bei Ätherverdampfung und gleichzeitiger Einspritzung von Benzol die folgenden Werte (Kurvenblatt 10):

T_a (°K)	ϵ_{κ}	T_e (°K)
333	5,94	645,3
323	6,46	645,7
313	7,05	646,4
303	7,75	647,5
293	8,38	645,2

Die Verdichtungsendtemperaturen liegen hier durchschnittlich um 35 bis 40° höher als die ohne Benzoleinspritzung. Das ist darauf zurückzuführen, dass ein Teil des Benzols im Verbrennungsraum zur Verdampfung kommt und die erforderliche Verdampfungswärme entzieht, sodass höher verdichtet werden muss, um die zur Ätherentzündung erforderliche Temperatur zu erreichen.

Soll in einem Dieselmotor ein Dieselmotorkraftstoff ohne Zündbeschleuniger zur Entzündung gebracht werden, so sind dazu wesentlich höhere Verdichtungsendtemperaturen nötig, was schon aus den bedeutend höheren Werten für ϵ_{κ} klar hervorgeht.

VI. Folgerungen aus den Versuchen.

Die Versuche zeigen in aller Klarheit, dass das Anlassenverhalten von Dieselmotoren durch Zündbeschleuniger, vor allem Äther, in erheblichem Masse begünstigend beeinflusst werden kann.

Die Ergebnisse der Kälteversuche lassen erkennen, dass in n-brasien Dieselmotoren ($\epsilon \sim 14$ bis 20) bei Temperaturen von -30 bis -40°C Tankstellen-Dieselöl ohne weiteres nicht mehr zur Entzündung gebracht werden kann, da hierzu höhere Verdichtungsverhältnisse ($\epsilon \sim 23$) erforderlich sind. Bislang benutzt man die Lötlampe oder das Holzfeuer, um durch Wärmezufuhr diesem Übelstand zu begegnen.

Die Ergebnisse dieser Versuche weisen jedoch den eleganteren Weg, das Anlassenverhalten der Dieselmotoren zu verbessern, den Weg über den Zündbeschleuniger Äther!

VII. Zusammenfassung.

Mit dieser Prüfung ist es gelungen, das Anlassenverhalten durch chemische Zusatzmittel zu steigern. Um Schäden des Motors durch zu starkes Klopfen zu vermeiden, muss jedoch darauf geachtet werden, dass bei der Verwendung von Äther als Anlasshilfe nach den ersten durch Äther hervorgerufenen Zündungen Kraftstoff in den Verbrennungsraum eingespritzt wird, wodurch die sonst auftretenden überaus starken Klopferscheinungen vermieden werden.

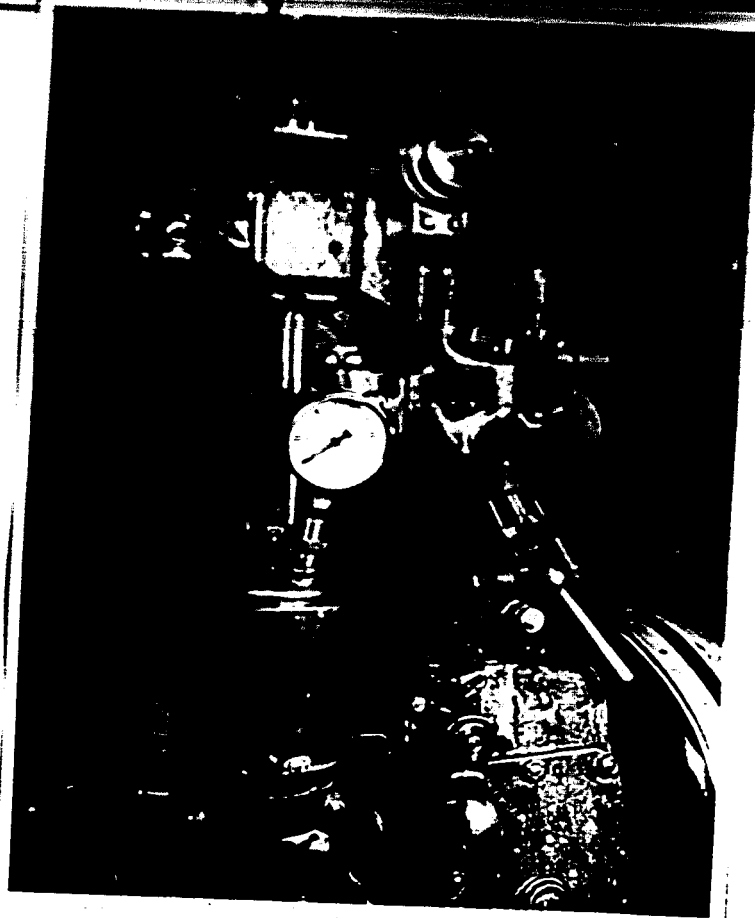
Ferner ist die richtige Anwendung des Zusatzmittels zu beachten. Das Zusatzmittel muss in Dampfphase in den Motor gelangen.

000363

Schriftumsverzeichnis.

- 1) Yühlner, E. Luftfahrtforschung Bd. 19 (1942)
S. 249
- 2) Feletier, L.E. Reactions chimiques préalables
dans un moteur à essence,
Chal. et Ind. Bd. 20 (1939) S. 120/1
- 3) Schmidt, A.W. Die Beeinflussung der Verbrennungs-
vorgänge im Dieselmotor durch
Zusatz von Zündbeschleunigern.
Gl und Kohle 36, 122 (1940).

000364



FKPS-Kraftstoffprüfmotor.

Gesamtansicht mit:

- a) Verdampfungsvorrichtung
- b) Kalte Lötstelle
- c) Millivoltmeter
- d) Vorwählerschalter.

000365

EKFS-Kraftstoffprüfmotor.

Teilansicht mit:

- a) Verdampfungsvorrichtung
- b) Thermolement-Einführung
- c) Abkühlvorrichtung für
Verdampfungsgefäß.

000366

FKHS-Kraftstoffprüfmotor.

Rückansicht mit:

- a) Vergaser an Ansaugkrümmer
- b) Anschluss für Luftvorheizung
im Ansaugkrümmer.

E_k

E_k bei Vorheizung der Ansaugluft Bild 7

25

Tankstellendiesöl

REH-01

Zylohexan

20

000367

15

10

5

20

30

40

50

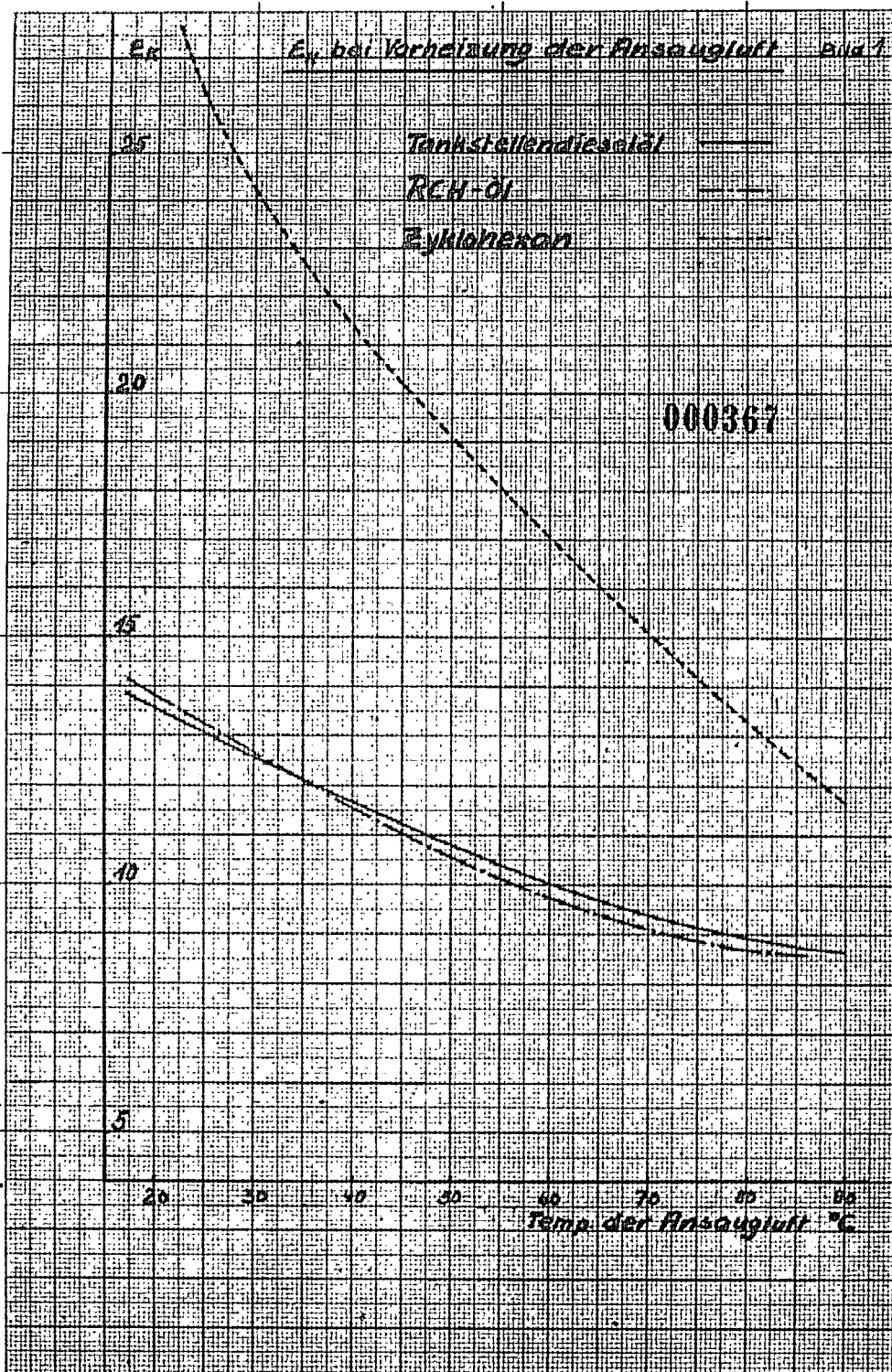
60

70

80

90

Temp. der Ansaugluft °C



Soil Temperature and Moisture
At Various Depths

80% BCU-51 + 20% Polyurethane

60% " " + 40% "

40% " " + 60% "

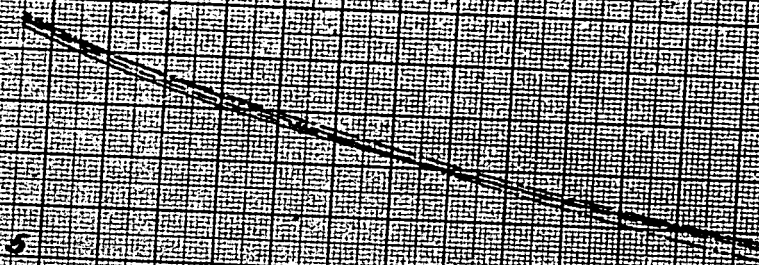
20% " " + 80% "

20

15

10

000369



5

20

30

40

50

60

70

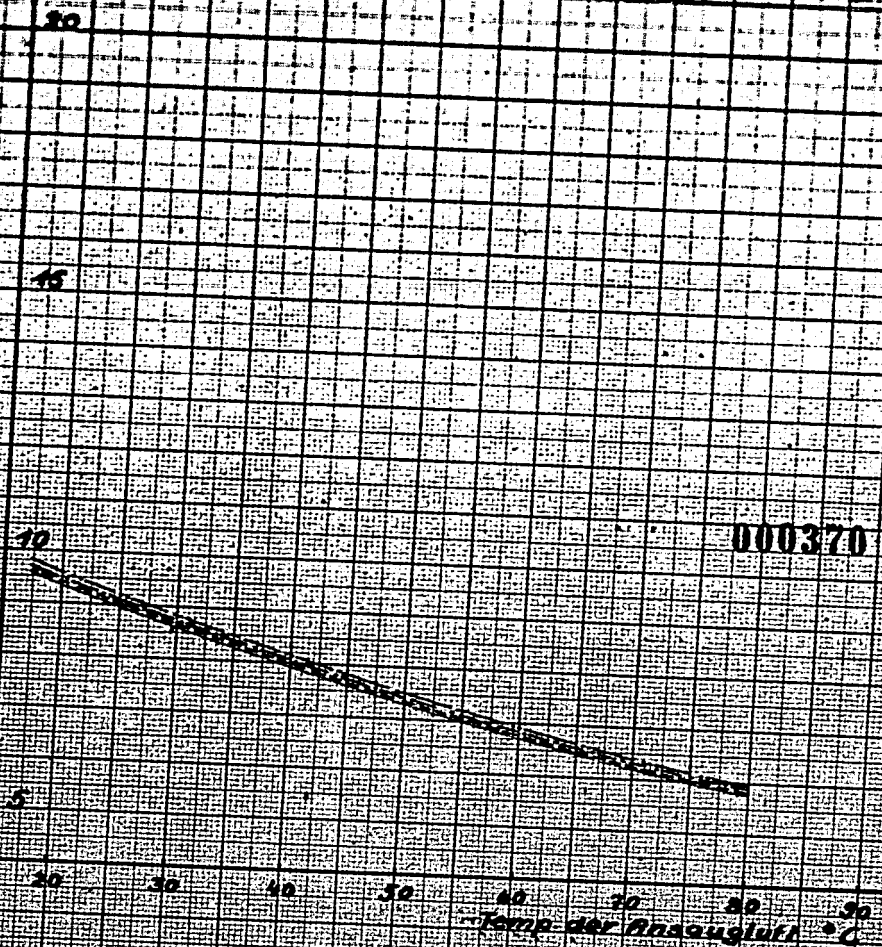
80

90

Temp. at 100g/100g

2. Die Verdunstung des Benzol
 in Wasser bei 20°C

80% KCl-Ol - 20% Benzol
 60% " " " 40% " "
 40% " " " 60% " "
 20% " " " 80% " "



E_{K}

E_{K} bei Vorheizung der Ansaugluft

Avd. 5

Rhynitrat verdampft

25

Benzol

Leuno-Flugbenzin

D₄-Kraftstoff

C₅-Kraftstoff

20

15

000371

10

5

20

30

40

50

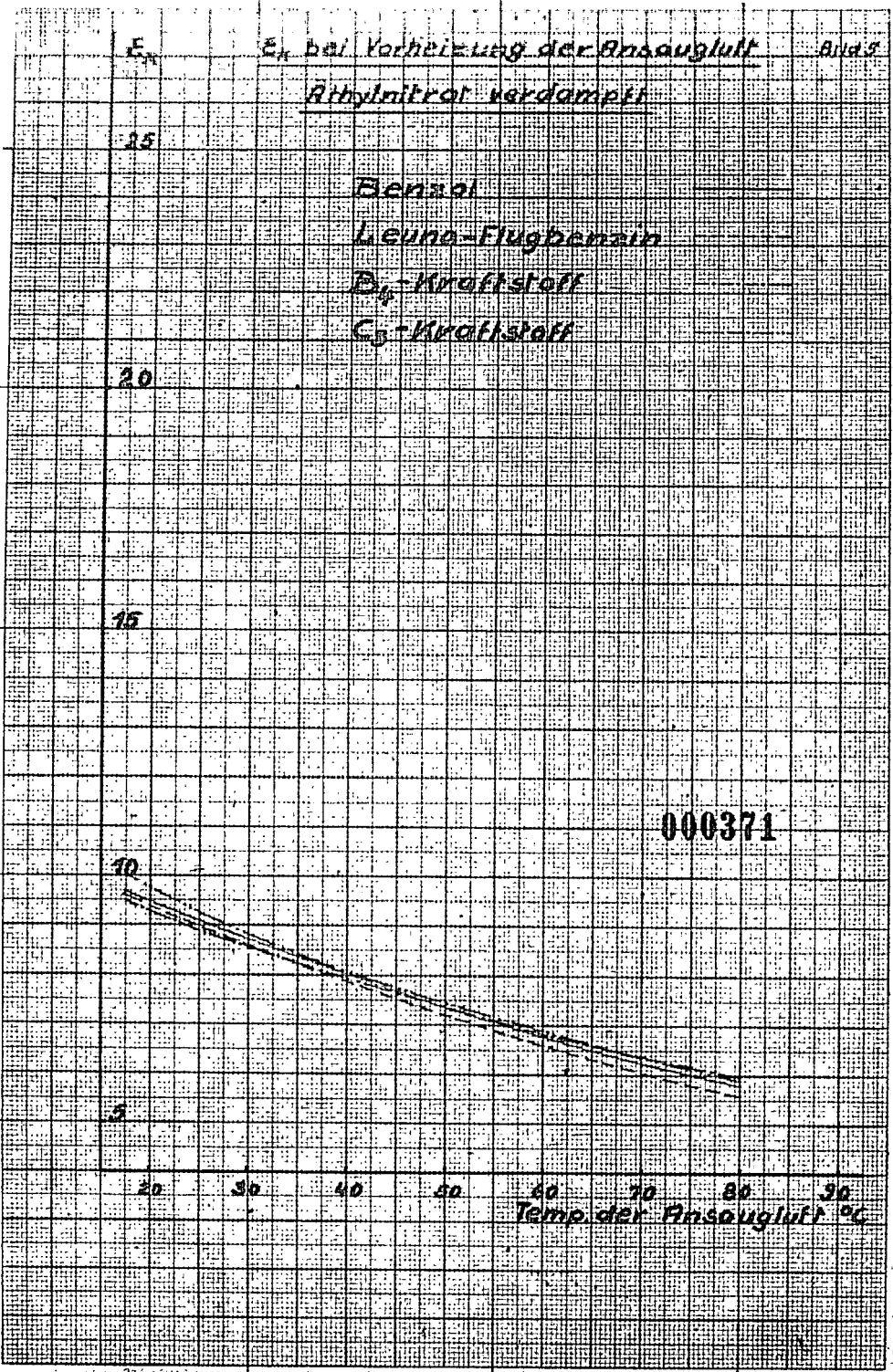
60

70

80

90

Temp. der Ansaugluft °C



W. W. INDUSTRIAL RESEARCH CO. INC.

25 BCH-51 + 5% Ethylene

+10%

+15%

+20%

50% +30%

20 BCH-51 rald

15

000372

10

5

20

30

40

50

60

70

80

90

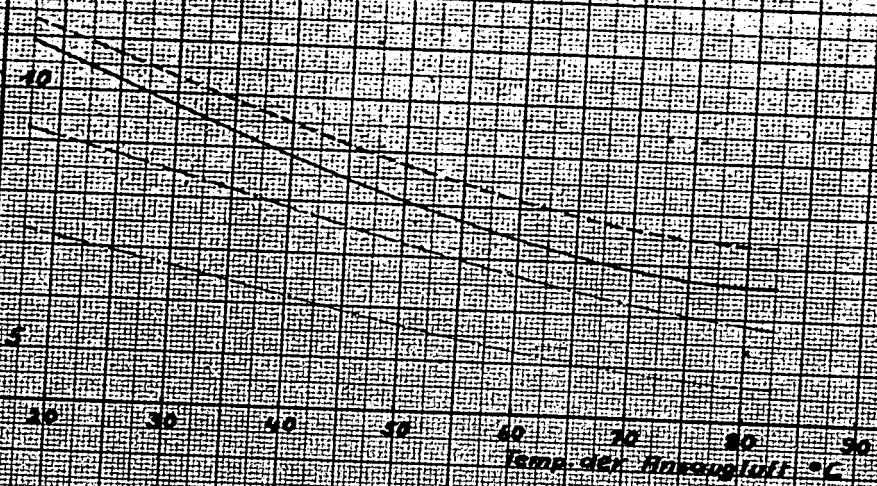
Temp. der Ansaugluft °C

25
20
15
10
5

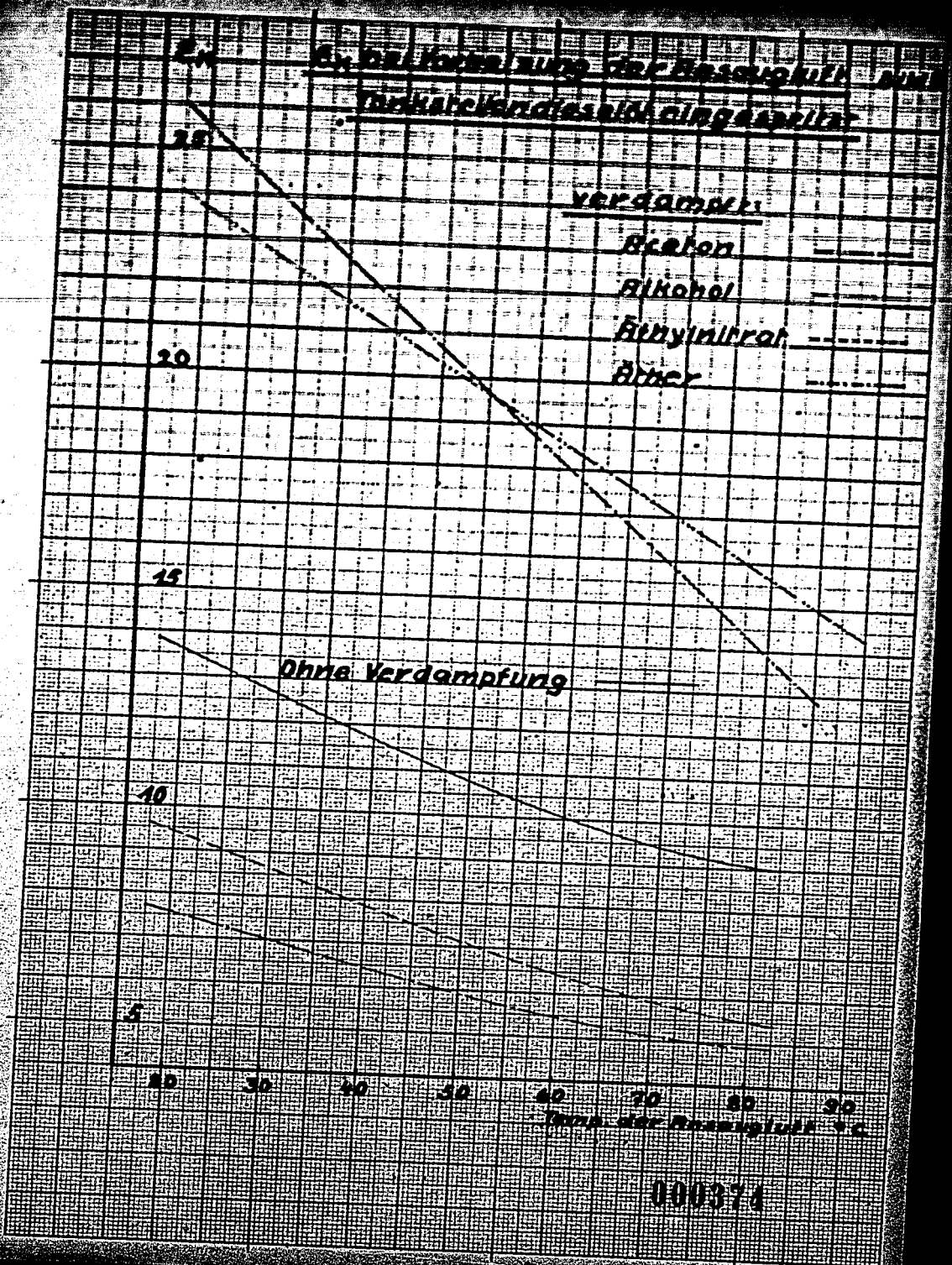
Bestimmung der Dampfdichte
von Nitrobenzol

Wandzeit: Ammonitrat _____
Benzolzeit _____
Ethylnitrat _____
Ether _____

000373



**5. Die Berechnung der Basiszahl mit
Indikatordieselschlingensystem**



000374

0,1 g/l Benzol in 100 g/l Ansaugluft

Äthylalkohol verdampft
Äther "
Äther durch Kesseler gesaugt

20

15

10

5

20

30

40

50

60

70

80

90

Temp. der Ansaugluft °C

000375