

4. 11. 42
u 8.
4. 11. 42

**Mitteilungen aus dem Arbeitsgebiet
des
Technischen Prüfstandes Oppau**



10013

18. Juli 1942

Heft 1

Mitteilungen aus dem Arbeitsgebiet
des
Technischen Prüfstandes Oppau



10014

I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rh.

Inhaltsverzeichnis

	Blatt
Zum Geleit	3
Die Entwicklung des Technischen Prüfstandes Oppau von Ing. Franz Jantsch	4-6
Arbeiten der wärmetechnischen Abteilung im Technischen Prüfstand von Dr. Ing. Georg Kling	7-12
Über die Beschaffenheit und Verwendung der Flugasche von Ing. Walter Schenker	13-16
Die Entwicklung der Klopfwertbestimmung von Leichtkraftstoffen von Ing. Eugen Singer	17-20
Prüfung von Dieselmotoren von Dipl.-Ing. Ludwig Köhler	21-23
Anlaßhilfsmittel bei Kälte von Dipl.-Ing. Heinz Leib	24-26
Der Hesselman-Motor und seine Kraftstoffe von Dipl.-Ing. Walter Witschakowski	27-29
Versuche mit Fahrzeuggeneratoren von Dipl.-Ing. Ludwig Köhler	30-31
Motorische Schmierölprüfung von Dipl.-Ing. Walter Eauer	32-34
Reibung und Verschleiß bei Schmierung von Dipl.-Ing. Rudolf Halder	35-37
I. G.-Versuchsmotor von Obering. Fritz Penzig	38-41
Über elektrische Messungen am Technischen Prüfstand Oppau von Dr. Erich Schuch	42-45
Der optische Brechungsindex und die Dispersion als analytisches Hilfsmittel bei der Untersuchung von Benzenen und Dieselenen von Dr. Rudolf Roth	46-49
Auswertung der Verbrennungsgleichung von Obering. Fritz Penzig	50-53
Veröffentlichungen	54-55

Zum Geleit!

Als der Führer begann den Kraftverkehr in Deutschland auszubauen, war eine der wesentlichsten Voraussetzungen hierfür die Beschaffung der Betriebsstoffe. Deutschland ist von der Natur nur spärlich mit Vorkommen von Erdöl ausgestattet, und so fiel der Chemie die Aufgabe zu, diese Stoffe aus den heimischen Kohlevorkommen zu gewinnen.

Auf dieser sicheren Grundlage gelang es unabhängig vom Ausland zu werden. Gleichzeitig bot die junge Industrie der Hydrierung eine fast unübersehbare Fülle von Möglichkeiten, Stoffe mit neuen Eigenschaften herzustellen. Hieraus aber erwuchs die Notwendigkeit, die Eignung solcher Stoffe für die Verkehrstechnik zu überprüfen, und ihre Entwicklung entsprechend zu beeinflussen.

Zu einem beachtlichen Teil fiel diese Aufgabe dem von Herrn Prof. Dr.-Ing. W. Wilke geleiteten Technischen Prüfstand zu. Die Entstehungsgeschichte dieses Instituts ist zugleich ein Stück Geschichte der deutschen Kraftstoff- für die gesamte deutsche Kraftstoffwirtschaft als nützlich erwiesen. Es sei hier nur der motorischen Prüfung der Klopfestigkeit und der Zündwilligkeit gedacht, deren Ausbau im Rahmen eines in Bälde europäischen Erfahrungsaustausches ein besonderes Verdienst von Prof. Dr.-Ing. W. Wilke ist.

Über viele der Arbeiten, die unter seiner umsichtigen Leitung durchgeführt wurden, wird erst in späterer Zeit zu berichten sein. Viele aber, einmal auch Arbeiten aus früherer Zeit, werden als Beispiele für das Arbeitsgebiet des Technischen Prüfstandes auch in einem größeren Kreis Beachtung finden.

Wir, seine Mitarbeiter, haben es nun, sein Einverständnis voraussetzend unternommen, ihm zur Ehre am Tage seines 60jährigen Geburtstages eine Schriftenreihe zu beginnen, die eine Zusammenstellung verschiedener Arbeiten bringen soll, um so den stets gepflegten Erfahrungsaustausch mit befreundeten Stellen innerhalb und außerhalb des Werkes zu fördern.

Diese erste hier vorliegende Schrift, ist nur ein Anfang, und wir hoffen, daß noch recht viele weitere folgen werden, unter Leitung unseres Herrn Professors, dem wir hiermit unsere herzlichsten Glückwünsche zu diesem Tage und für die weitere Zukunft aussprechen.

DIE MITARBEITER DES TECHNISCHEN PRÜFSTANDES

18. Juli 1942.



kunde. Mit einem zu Versuchszwecken hergerichteten Automobilmotor beginnend, wurden in zielbewußter Aufbauarbeit alle die Einrichtungen und Prüfstände geschaffen, die den Technischen Prüfstand heute zur Bearbeitung aller einschlagiger Versuche befähigen.

Es darf an dieser Stelle nicht vergessen werden, dankbar auch der Großzügigkeit der Werksleitung zu gedenken, die durch Bereitstellung reichlicher Mittel die Entwicklung zahlreicher Geräte ermöglichte, die sich in der Folge auch

Die Entwicklung des Technischen Prüfstandes Oppau

Von Ing. F. JANTSCH

Mit dem 1. Januar 1918 wurde im Werk Oppau der damaligen Badischen Anilin- & Soda-Fabrik eine technische Abteilung eingerichtet, deren Aufgabe war, durch rechnerische und experimentelle Behandlung zur Lösung von Problemen beizutragen, die sich beim Bau und Betrieb von Apparaten, Maschinen und Anlagen des Werkes ergaben. Insbesondere waren es wärmetechnische Vorausberechnungen, Nachprüfungen, Beurteilungen und einschlägige Auskünfte, die das Arbeitsgebiet der jungen Abteilung kennzeichnen sollten. Auch Induzierungen, Leistungs- und Abnahmeversuche sollten durchgeführt werden.

Leiter dieser Abteilung, die zunächst die Bezeichnung „Technisches Laboratorium“ führte, war zum Zeitpunkt der Einrichtung Prof. Dr.-Ing. e. h. Nusselt, der jedoch im Jahre 1921 einer Berufung an die Technische Hochschule München folgte. Sein Nachfolger, Prof. Dr.-Ing. Wilhelm Wilke, von der Universität Leipzig kommend, wo er eine a. o. Professur für technische Physik innehatte, übernahm am 1. Juli 1921 die Leitung des Technischen Laboratoriums und führte seine Entwicklung in ununterbrochener Arbeit zu dem Stande, der sich heute mit dem Begriff „Technischer Prüfstand Oppau“ verbindet.

Zunächst blieben die Arbeiten des Technischen Laboratoriums im Rahmen der ursprünglichen Planung. Grundlegende Arbeiten über Berieselungs-Kühler wurden ausgeführt und solche über Wascher zu einem gewissen Abschluß gebracht. In sehr bedeutendem Umfange wurden Untersuchungen von Isolierstoffen, insbesondere für die Hochdruckkufen der Ammoniaksynthese und Hochdruckhydrierung, durchgeführt. Etwa 250 Berichte über Untersuchungen dieser Art liegen vor.

Mit der Aufnahme der Methanolherstellung im Jahre 1923 eröffnete sich für den Technischen Prüfstand ein Arbeitsgebiet, das sich in seiner weiteren Entwicklung bald so umfangreich gestaltete, daß es das ursprüngliche weit überflügelte. Zunächst war die Aufgabe gestellt, die motorische Eignung des neugeschaffenen Methanols praktisch zu erproben. Eine Eigenschaft dieses Kraftstoffes, seine hohe Klopfestigkeit, führte schon damals zur näheren Beschäftigung mit der Erscheinung des Kraftstoffklopfens.

Bald sollten die damit zusammenhängenden Fragen große Bedeutung gewinnen. Im Automotorenbau war in Verbindung mit höherer Verdichtung der Motoren das Kraftstoffklopfen als unerwünschte Nebenerscheinung beobachtet worden. Abhilfe wurde gefordert und war auch mit großer Wirksamkeit durch Stoffe zu bieten, die in winzigen Mengen stark klopfhindernd wirkten. Einer der wirksamsten Stoffe dieser Art war das Eisenkarbonyl, das in seinem motorischen Verhalten eingehend untersucht wurde.

Klopfmessung

Im Zusammenhang damit ergab sich die Notwendigkeit, das Klopfverhalten der Kraftstoffe zu studieren und

die Wirksamkeit klopfhindernder Stoffe zu messen. Es wurde zunächst nach der Abhornmethode an Mehrzylinder-Motoren gearbeitet und für die damaligen Verhältnisse sehr zuverlässige Meßergebnisse erzielt. Auch Fahrversuche auf den Landstraßen wurden damals bereits ausgeführt. Da man sehr bald erkannte, daß der Mehrzylinder-Motor für Klopfmessungen unzweckmäßig war, ging man zum Einzylinder-Klopfmotor über. Die ersten Versuchsmotoren wurden aus Hanomag-Einzylindermotoren umgebaut. Dazu trat an die Stelle des Abhorens die Messung durch den Springstift-Indikator mit elektrolytischer Zelle. Verschiedene Motoren dieser Bauart wurden entwickelt und gebaut und für die Überprüfung der inzwischen einsetzenden Leuna-Erzeugung sowie der Kraftstoffe des deutschen Marktes verwendet.

Eine weitere Verbesserung der Klopfmotoren und der Meßverfahren wurde durch Einrichtungen zur Veränderung der Verdichtung während des Betriebes erreicht. Bereits im Jahre 1929 war ein solcher Motor im Technischen Prüfstand gebaut worden, während bekanntlich der ähnlich gebaute amerikanische CFR-Motor erst im Jahre 1932 für die Kraftstoffprüfung eingesetzt wurde. Als dann die Devisenbeschränkungen die Einfuhr dieses international verwendeten Klopfmotors hinderten, wurde, auf den gewonnenen Erfahrungen fußend, ein besonderer Gerät, der I.G.-Prüfmotor entwickelt und erprobt. Es ist inzwischen als I.G.-Prüfmotor in mehr als 200 Ausführungen bei fast allen deutschen Prüfstellen, aber auch im Auslande in Verwendung und in Deutschland als Prüfgerät amtlich anerkannt.

Es lag nahe, die mit dem I.G.-Prüfmotor arbeitenden Prüfstellen in ihrer Arbeit zu unterstützen und einen Erfahrungsaustausch zu pflegen. Daraus ergab sich zwanglos eine Arbeitsgemeinschaft, die sich zunächst in kleinerem Kreise mit Ringversuchen zur Feststellung der Meßgenauigkeit befaßte, seit etwa zwei Jahren jedoch als „Arbeitsgemeinschaft für Klopfmessung“ fast alle deutschen Prüfstellen betreut und auch Fragen der Klopfmessung behandelt, die weit über die Messungen der Ringversuche hinausgehen. Die Tagungen dieser Arbeitsgemeinschaft finden traditionell in Oppau unter dem Vorsitz von Prof. Dr.-Ing. Wilke statt und auch die Tagungsberichte gibt der Technische Prüfstand Oppau heraus.

Kraftstofftechnische Untersuchungen

Die rasche Entwicklung auf dem Gebiet des Kraftstoffwesens machte es notwendig, verschiedene Versuchsarbeiten auszuführen, die zur Klärung umstrittener Fragen beitragen. So war längere Zeit der Betrieb der Vergasermotoren mit Schwerölen untersucht worden, um die Nachteile der seinerzeit aufgekommene Schwerölvorgaser nachzuweisen. Die Einführung der Alkoholbeimischung machte längere Versuchsreihen über die Auswirkung notwendig und allerlei Arbeit mußte leider auch darauf verwendet werden, um die damals zahlreich auftauchenden „Kraftstoffverstärker“ zu überprüfen und ihre Unbrauchbarkeit nachzuweisen.

Zur laufenden Arbeit des Technischen Prüfstandes zählt seit Jahren die Feststellung von Kraftstoffgütekennzeichen der auf dem deutschen Markt befindlichen Markenkraftstoffe. Damit steht ein Tatsachenstoff zur Verfügung, wie er wohl an keiner auf gleichem Gebiet tätigen Untersuchungsstellen vorhanden sein dürfte.

Untersuchungen, die der Anpassung der Kraftstoffe an die praktischen Betriebsverhältnisse betreffen, wie guter Start im Winter oder Verhütung der Dampfblasenbildung im Sommer, führten zur Entwicklung von Sondergeräten und neuen Prüfverfahren. U. a. wurde für diese Arbeiten auch ein besonderer Kälteraum eingerichtet.

Die umfassenden Einrichtungen ermöglichten auch, neue, vor der Einführung stehende Erzeugnisse für den Betrieb von Kraftfahrzeugen zu überprüfen. So wurden seinerzeit das Anlaßmittel Supradin, der Kühler Frostschutz Glysantin und das Ölschmieröl Autoxan erprobt und auch die ersten grundlegenden Versuche an den Betrieb mit Leuna Treibgas ausgeführt. Auch Vorarbeiten für eine heute eingeführte Zündkerze mit hochfeuerfestem Isolator wurden vom Technischen Prüfstand geleistet.

Zündwilligkeitsmessung

Neben den Arbeiten über Otto-Kraftstoffe ergab sich das Bedürfnis, auch die motorische Eignung von Diesel-Kraftstoffen zu untersuchen. Wie bei den Otto-Kraftstoffen führte auch hier die Entwicklung zum Einzylinder-Prüfdieselmotor mit veränderlicher Verdichtung, der insbesondere in Verbindung mit dem piezo-elektrischen Indikator als Gerät für die Zündwilligkeitsmessung sich bewährte. Dieser I.G.-Prüfdiesel ist heute in mehr als fünfzig Exemplaren an deutschen Prüfstellen der Erzeugung und Forschung eingesetzt und als genormtes Gerät anerkannt.

I.G.-Versuchsmotor

Es erwies sich bei den Arbeiten am I.G.-Prüfmotor und I.G.-Prüfdiesel als zweckmäßig, einen Motor zu schaffen, in dem Kraftstoffe in Zylindern verschiedener Bauart beurteilt werden konnte. Für ein solches Gerät ist besonders im Hinblick auf das weit gewordene Gebiet der flüssigen Kraftstoffe, das praktisch vom Heizöl bis zum Hochleistungs-Flugkraftstoff reicht, ein Bedürfnis vorhanden. Es liegt nunmehr in dem vom Technischen Prüfstand Oppau in mehrjähriger Arbeit entwickelten I.G.-Versuchsmotor vor. Dieser hat außer seiner Vielseitigkeit in der Anwendung den Vorzug, daß Sondereinrichtungen für die verschiedenartigsten Untersuchungen vorgesehen sind.

Schmieröluntersuchungen

Bei der Wechselwirkung, die sich im Motor zwischen Kraftstoff und Schmieröl ergibt, mußten Untersuchungen über diese Zusammenhänge von Anfang an in das Arbeitsgebiet des Technischen Prüfstandes einbezogen werden. Von der ursprünglich ausschließlich analytischen Prüfung von Schmiermitteln führte der Weg im Ablauf der Prüfarbeit zu Sondergeräten für die Erforschung einzelner

Schmierprobleme und zu umfangreichen Einrichtungen für die Erprobung der Schmierstoffe im Vollmotorversuch. Auch auf diesem noch wenig erforschten Gebiet konnte der Technische Prüfstand wertvolle Beiträge zur Lösung schwieriger Probleme geben.

Sonderarbeiten

Neben den Arbeiten über Kraftstoffe für Vergaser- und Dieselmotoren wurden auch nah verwandte Gebiete gepflegt. So besteht heute z. B. lebhaftes Interesse an Motoren, die in Diesel- und Ottomotoren üblicher Bauart nicht verwendbare Kraftstoffe wirtschaftlich verarbeiten. Ein Beitrag hierzu sind die Untersuchungen über den Hessemannmotor, die der Technische Prüfstand ausführte, und die nachweisen, daß dieser Motor ermöglicht, den Verwendungsbereich unserer Treibstoffe zu erweitern.

Im gleichen Sinne liegen jene Arbeiten, die am Kohlenstaubdiesel weitergeführt werden, mit dem Ziel, Staub verschiedener Kohlen und auch aschefreien Kohleextraktes für günstigste Verbrennung vorzubereiten.

Ein Sondergebiet betreffen auch die Arbeiten zur Anwendung von temperaturanzeigenden Farben, die auf Anregung des Technischen Prüfstandes vom Ammoniaklaboratorium entwickelt wurden.

Schließlich sei noch auf die Arbeiten hingewiesen, die vom Technischen Prüfstand zur Untersuchung der Erwärmung von Autoreifen durchgeführt wurden. Es gelang, durch eine neuartige Meßmethode ausgezeichnete Einblicke in die Wärmeverhältnisse von Autoreifen zu gewinnen.

Räumliche Entwicklung

Die oben geschilderte Ausweitung der Arbeiten, insbesondere auf dem Kraft- und Schmierstoffgebiet, führte naturgemäß zu einer Erweiterung und Ergänzung der Betriebsstätten des Technischen Prüfstandes. Waren zunächst für die wärmetechnischen Versuchsarbeiten des ehemaligen technischen Laboratoriums wenige Räume im Bau 51, später im Bau 94 des Werkes Oppau ausreichend, so mußte mit der Aufnahme der kraftstofftechnischen Arbeiten ein größeres Prüffeld im Bau 290 eingerichtet werden. Als die Untersuchungen über das Klopfverhalten von Kraftstoffen größeren Umfang annahmen, wurden dann weitere Räume im Bau 44g hinzugenommen, auch erwies sich der Bau einer besonderen Kältekammer als notwendig. Als schließlich ein Teil der Zeichenarbeiten nach Op 56, die anderen Büros in das oberste Stockwerk des Baues Op 200 verlegt werden mußten, ergab sich eine auf die Dauer nicht tragbare Zersplitterung des Betriebes, der allem des Zeitverlustes wegen nicht weiter beibehalten werden konnte.

Eine großzügige Lösung dieser Raumschwierigkeiten kam durch den Neubau des Technischen Prüfstandes in Op 471 und Op 472 zustande. Hier wurden in übersichtlicher und wohlgegliedertem Aufteilung die vielseitigen Betriebsstätten des Technischen Prüfstandes Oppau zusammengefaßt. Der Neubau ist seit Herbst 1940 in Betrieb genommen.

Veröffentlichungen

Es liegt in der besonderen Art der Arbeiten des Technischen Prüfstandes, daß nicht nur die reine Forschung darin Berücksichtigung fand, sondern vielfach unmittelbar praktische Fragen behandelt werden mußten. Dies gilt insbesondere von den Arbeiten auf kraftstofftechnischem Gebiet, mit denen längere Zeit hindurch auch eine Unterweisung von technischen Hilfskräften für die Betriebseinrichtungen verbunden war. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, durch Herausgabe von Fahrmeister-Handbüchern, Lehrtafeln, des Leuna-Kraftstoff-Handbuches, des Wärmeatlasses, der Tabellen über Stoffwerte und sonstiger Druckschriften, Erkenntnisse und praktische Erfahrungen weiteren Kreisen zugänglich zu machen.

Ebenso wurde in zahlreichen Vorträgen und Veröffentlichungen über die Arbeiten des Technischen Prüfstandes sowohl durch den Betriebsführer wie auch durch einzelne Mitarbeiter berichtet. Die im Anhang angeführte Liste der Veröffentlichungen mag ein Bild von der regen Tätigkeit auf diesem Gebiet geben:

Dieser kurze Überblick über die Entwicklung, die der Technische Prüfstand Oppau aus kleinsten Anfängen heraus nahm, konnte naturgemäß längst nicht alle Gebiete berühren, die an dieser Forschungsstätte bearbeitet werden. Er vermag aber vielleicht einen Eindruck von der Arbeit geben, die mit dieser Entwicklung verbunden war und in der der Technische Prüfstand aus einem Betriebslaboratorium zu einer weitbekannten Forschungsstätte wurde.

Arbeiten der Wärmetechnischen Abteilung im Technischen Prüfstand Oppau

Von Dr.-Ing. G. KLING

Die Arbeiten der Wärmetechnischen Abteilung behandeln die Gebiete der Thermodynamik, der Wärmeübertragung und der Hydrodynamik. Neben den rein theoretischen Bearbeitungen und den verschiedensten Laboratoriumsarbeiten ist ein weites Tätigkeitsgebiet durch Untersuchungen an Maschinen und Apparaten in den Oppauer Betrieben vorhanden. Die Vielseitigkeit der bearbeiteten Probleme läßt es wünschenswert erscheinen, in einer Auswahl von Arbeiten aus diesem interessanten Tätigkeitsbereich zu berichten*).

A. Theoretische Arbeiten

Die Lehre von der Wärmeübertragung hat sich aus einem Teilgebiet der Physik in den letzten drei Jahrzehnten allmählich zu einem weiten selbständigen Wissensgebiet entwickelt. Die mathematische Formulierung der Grundgesetze (Fourier, Newton, Peclet, Kirchhoff usw.) und ihre Anwendungen auf die einfachen Körperformen (Platte, Rohr, Kugel) wurden schon im vorigen Jahrhundert geschaffen. Dagegen hat die Bestimmung der „Wärmeübergangszahl“ α , die anfangs als konstanter Beiwert angesehen wurde, später aber in ihrer Abhängigkeit von zahlreichen Stoffgrößen, Strömungseigenschaften und Apparatekonstanten erkannt wurde, allmählich zu einer Unzahl von Gleichungen geführt. Einen gewaltigen Auftrieb hat dann die Wärmeübergangslehre durch die erfolgreiche Anwendung der Ähnlichkeitsgesetze (Reynolds, Nusselt, Prandtl, Graßhof) erfahren, deren Gleichungssysteme neuerdings immer mehr die alten einfachen empirischen Formeln verdrängen. Es handelt sich hier also um ein junges, in voller Entwicklung begriffenes Wissensgebiet der Ingenieurtechnik, das die verschiedensten technischen Prozesse der reinen Wärmeleitung, der natürlichen und erzwungenen Konvektion, der Kondensation und Verdampfung, der Destillation und -Rektifikation, der Absorption und Trocknung, der Waschung und Extraktion umfaßt.

Für den Chemieingenieur, der sich täglich praktisch mit diesen Fragen zu befassen hat, ist es unmöglich, das umfangreiche vorhandene theoretische Material zu kennen. Vom Technischen Prüfstand werden daher seit Jahren die Arbeitsblätter zum „Wärmeatlas“ herausgegeben und dauernd ergänzt. Der I. Band umfaßt die Wärmeleitung und -Strahlung, die Wärmeübertragung ohne Änderung des Aggregatzustandes und die Strömungsgesetze, der II. Band die Wärmeübertragung mit Änderung des Aggregatzustandes. Die Arbeitsblätter bestehen aus der „Legende“, die in kurzer Zusammenfassung das jeweilige Wärmeübergangsproblem bespricht und Unklarheiten im Schrifttum zu klären sucht, und dem „Diagrammblatt“, in dem α in einfachem Linienzug abhängig von den verschiedenen Einflußgrößen zu ermitteln

ist. Im Anhang sind eine große Zahl von „Betriebs-Blättern“ angefügt, in denen Meßergebnisse von Wärmeaustauschern angegeben sind, verglichen mit den Werten, die sich aus einer theoretischen Berechnung ergeben. Als Ergänzung zum Wärmeatlas wurde vom Verfasser eine „Stoffwertesammlung“ herausgegeben, in der die für den Wärmeübergang wichtigen Stoffgrößen nach eingehender Sichtung der Literaturwerte und meist auch nach eigener Neubearbeitung in übersichtlicher Diagrammform dargestellt sind. Dabei läßt die einfache, klare Form der Blätter nicht erkennen, welche gewaltige Vorarbeit in der Sichtung der in- und ausländischen Literatur, der Umrechnung unzähliger Meßwerte in unser technisches Meßsystem, der Klärung der oft widersprechenden Angaben verschiedener Forscher, in den Versuchen einer richtigen und zu verantwortenden Extrapolation über den meist engen Versuchsbereich hinaus geleistet wird.

Neben den eigentlichen Wärmeatlasarbeiten werden laufend Auskünfte über wärmetechnische Fragen erteilt oder Berechnungen durchgeführt. In einer umfangreichen Kartei sind alle interessierenden Literaturstellen verbunden mit kurzen Inhaltsangaben der letzten 20 Jahre erfaßt.

Eine umfangreichere theoretische Bearbeitung betrafte sich auch mit den Vorgängen bei der Oberflächen-Kondensation von Dämpfen. Die verschiedenen Erscheinungsformen in Wasserhaut oder Tropfen ergeben Unterschiede der α -Werte von 1:20, sodaß dieser Frage eine erhebliche praktische Bedeutung zukommt.

Zu erwähnen ist noch eine Zusammenstellung über die Strömungswiderstände von Schüttstoffen. Insbesondere für Kugeln wurde der Widerstandsbeiwert über ein weites Gebiet Reynoldsseher Zahlen genau festgelegt (siehe Bild D). Eine gleiche Bearbeitung für einschüßrige Kontaktkörper usw. ist im Gange (360).

Die Druckabhängigkeit der spezifischen Wärme der niederen Paraffine und Olefine interessierte

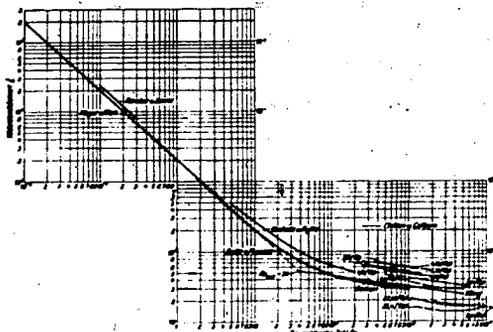


Bild D Widerstandsbeiwert von Kugelschüttungen

* Die Besprechung umfaßt die Arbeiten der Jahre 1937 bis 1942, bezuglich älterer Arbeiten sei auf das Berichtsverzeichnis des Technischen Prüfstandes Oppau verwiesen.

Die Hinweise in den Klammern bedeuten ein und zweistellige Zahlen Kurzberichte, dreistellige Zahlen Berichte des Techn. Prüfstandes Oppau.

für die Planung einer Benzingerwinungsanlage. Die erforderlichen Werte wurden nach verschiedenen Methoden berechnet und einheitlich zusammengestellt (358).

Über das charakteristische Verhalten von Stoffgrößen bei hohen Drücken liegt das Manuskript eines Vortrages vor. Behandelt werden die Wärmeleitfähigkeit, die dynamische Zähigkeit und die spezifische Wärme in allen drei Aggregatzuständen, fest, flüssig und gasförmig. Es wurden die physikalischen Meßmethoden beschrieben und die teilweise sehr widersprechenden Literaturwerte eingehend diskutiert.

B. Laboratoriumsarbeiten

1. Versuchsapparaturen und Prüfgeräte

Die Berechnung von Wärmeaustauschern ist gemäß der theoretischen Voraussetzungen auf einfache Körperformen beschränkt. In vielen Fällen müssen daher die α -Werte experimentell ermittelt werden. Auch der Wärmeübergang an solche Medien, deren Stoffeigenschaften wenig oder garnicht bekannt sind, ist natürlich am sichersten durch einen Versuch zu bestimmen. Schließlich ist die Messung der Stoffgrößen nicht nur für die wärmetechnische Beurteilung des Stoffes selbst wichtig, sondern auch ein wertvolles Hilfsmittel für praktische Wärmeübergangsberechnungen.

Für Strömungs- und Wärmeübergangsmessungen heißer Rauchgase an Wärmeaustauscherelementen steht eine größere Apparatur zur Verfügung (siehe Bild 2). Die Versuchsstrecke hat die

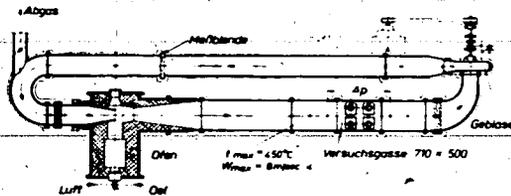


Bild 2. Apparat für Wärmeübergangsmessungen bei hohen Temperaturen

Abmessung 710 x 500 mm, als maximale Rauchgastemperatur kann 450° C, als maximale Geschwindigkeit 8 m-sec eingestellt werden. Der Gasumlauf wird durch einen Ventilator reguliert, der Heizofen wird mit Öl geheizt. Die Walzgasmenge kann in einer Blende gemessen werden. Untersucht wurden Rippenrohre, Rohrbündel und Rohr mit Führungsblechen verschiedener Art (463).

Wärmeübergangsmessungen bei kleinen Geschwindigkeiten unter 1 m-sec können auch in einem Windkanal bei Luftströmung bis zu 70° C Temperatur durchgeführt werden (21).

Der Wärmeübergang bei der Kondensation von Dämpfen ist von der Rauigkeit und den Verunreinigungen der Kondensatorfläche sowie von den Stoffeigenschaften des Dampfes (Oberflächen-spannung) abhängig. Zur Beobachtung, ob Film- oder Tropfenkonden-

sation stattfindet, steht ein mit Glasmantel versehener Kondensator zur Verfügung. Der zu beobachtende Dampf kann in einem elektrisch beheizten Verdampfer (100 Liter Inhalt) erzeugt werden. Das Kondensatorrohr ist auswechselbar und kann mit Thermoelementen versehen werden, um direkt die α Werte zu messen.

Für einfachere Messungen wird ein Plattenkondensator benutzt. Die eine Plattenseite ist von einem Wasserstrahl gekühlt, die andere Seite ist vom Dampfraum umschlossen und kann durch ein Glasfenster beobachtet werden. Mit diesem Apparat wurden die Kondensationsformen am Oppager Dampfnetz über längere Zeit beobachtet. Bild 3 zeigt reine Tropfenkonden-



Bild 3. Tropfenkondensation von Wasserdampf

sation einer polierten Messingplatte, die vor dem Einbau mit KOH entfettet worden war. Die Platte hatte zuerst reine Filmkondensation gezeigt, um dann allmählich infolge des Ölgehaltes des Dampfes (Maschinenabdampf) in Tropfenkondensation überzugehen.

Zur Bestimmung von α -Werten an siedende Flüssigkeiten wurde die in Bild 4 dargestellte Apparatur entwickelt. Über einer verchromten, polierten Kupferplatte ist ein Glasgefäß aufgestellt, in dem die Flüssigkeit siedet. Die elektrische Heizleistung der Platte wird gemessen, ebenso die Temperatur in der Platte mit Thermoelementen und die Flüssigkeitstemperatur mit Hg-Thermometer. Die daraus errechneten α -Werte sind grundsätzlich auch auf große Verdampfungsflächen und ähnliche Apparate übertragbar gleich welcher Dimension.

Wichtig für viele praktische Fälle ist auch die Kenntnis der spezifischen Wärme c einer Flüssigkeit, zu deren Messung das in Bild 5 abgebildete Kalorimeter benutzt werden kann. Die Flüssigkeit wird in das innerste Gefäß gefüllt und elektrisch aufgeheizt, wobei ein Rührer

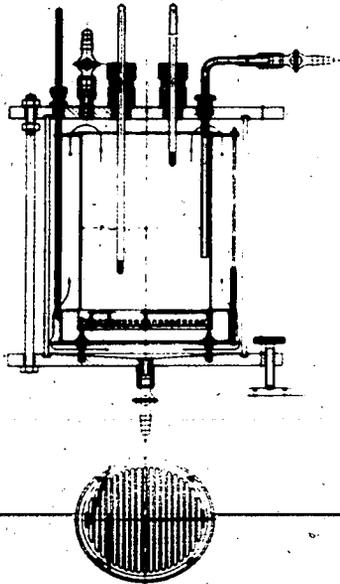


Bild 4. Apparatur zur Messung von Wärmeübergangszahlen an siedende Flüssigkeiten.

für gute Durchmischung sorgt. Aus der Temperaturzunahme pro Zeiteinheit und der Heizleistung wird errechnet. Der äußere Flüssigkeitsmantel kann mittels eines Flüssigkeitsumlauf-Thermostaten angeheizt werden.

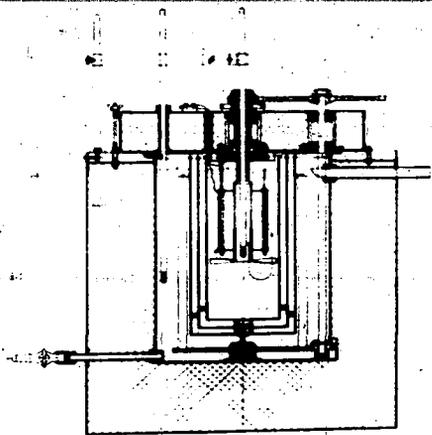


Bild 5. Apparatur zur Messung der spezifischen Wärme von Flüssigkeiten.

den, um die Messungen auch bei höheren Temperaturen zu ermöglichen.

In dem Kalorimeter kann die spezifische Wärme sehr zäher Flüssigkeiten nicht gemessen werden, da diese sich nicht schnell genug durchmischen. Daher wurde für diesen Zweck ein Strömungskalorimeter aufgebaut, das sich bei Versuchen an Ölen und Viskose gut bewährt hat (Bild 6), (494).

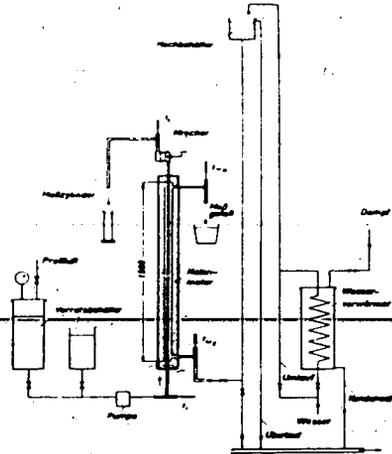


Bild 6. Strömungskalorimeter zur Messung der spezifischen Wärme und des Wärmeüberganges sehr zäher Stoffe.

Die Messung der Wärmeleitfähigkeit λ von Flüssigkeiten erfolgt in einer Plattenapparatur (Bild 7). Die Flüssigkeit wird in den Spalt zwischen zwei Kupferplatten gefüllt, die durch drei kleine Glasstäbe in genauem Abstand gehalten werden. Die Platten, in denen Thermoelemente angebracht sind, ruhen auf einem mit Wasser gekühltem Block. Über den Platten liegt die Heizplatte und ganz oben zur Beschwerung ein Bleiklotz. Das Ganze ist durch ein Dewargefäß nach außen wärmeisoliert. Aus den Plattentemperaturen, der Heizleistung und den Spaltabmessungen ist λ zu errechnen. Verlustwärmen können durch Eichung und Rechnung bestimmt werden. Die Apparatur hat sich für die Messung von Flüssigkeiten, insbesondere Ölen, Gummiplatten, Kunststoffen, Stängewebe, Isolier- und Baustoffe sowie Erdreich gut bewährt (20).

Ein umfassendes Arbeitsgebiet ist durch die Prüfung von Wärmeisierstoffen gegeben. Diese werden hinsichtlich ihrer Temperaturbeständigkeit, ihres Wärmeleitvermögens, ihrer mechanischen Eignung und ihres Raumgewichts untersucht. Die verschiedenen Meßmethoden zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit λ sind je nach dem Anwendungsbereich der Isolierstoffe verschieden. Alle Apparaturen arbeiten bei stationärer Wärmestromung, da allein dieses Meßverfahren exakte Werte ergibt.

Rohrisolierungen werden nach dem Meßverfahren von van Rinsum geprüft. Die Isolierung wird dabei auf ein Stahlrohr vom Isolierer angebracht, wie es auch in der Praxis geschieht. In das Rohr wird eine elektrische

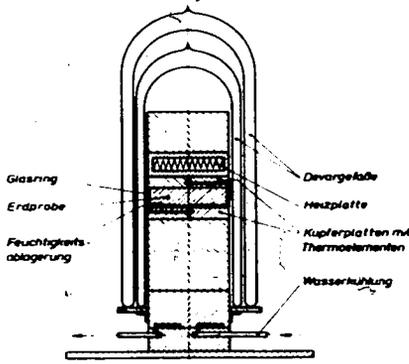


Bild 7. Plattenapparatur zur Messung der Wärmedurchzahl λ B. von Erdöl.

Heizung eingelegt. Aus der Heizenergie sowie den thermoelektrisch bestimmten Temperaturen auf dem ~~Isolierrohr- und der Isolieroberfläche wird λ errechnet.~~ Der seitliche Wärmefluß an die Rohrenden wird rechnerisch berücksichtigt. Das Verfahren eignet sich zur Prüfung von Rohrförmsteinen, Aufstreichmassen, Stopfisolierungen, gewickelten Zopfen usw. Für ein 3 m langes Rohr ist die Versuchsanordnung in Bild 8 dargestellt, wobei

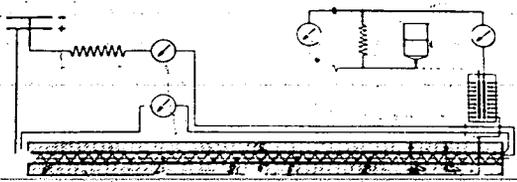


Bild 8. Rohrrohrmethode nach van Rinsum.

auch die Heizschaltung und die thermoelektrische Kompensationschaltung eingezeichnet sind (Isoherberichte 11, 14, 15).

Ein weiteres Verfahren ist der Plattenapparat nach Poensgen, bei dem der zu untersuchende Stoff zwischen einer mittleren Heizplatte und der oberen und unteren Kühlplatte gelagert ist. (siehe Bild 9). Zur Vermeidung seitlicher Wärmeverluste ist noch ein geheizter Schutzring umgelegt, der beim Versuch auf gleichen Temperaturgradienten wie die Meßschicht selbst einreguliert wird. Das Verfahren findet Anwendung für Bau- und Isohersteine, Füllmassen, Erdreich und viele andere (Isoherberichte).

Eine besondere Bedeutung hat die Nusselt'sche Kugel erlangt, da diese in einfacher Art als Druckgefäß ausgebildet werden kann. Der besondere Vorteil des Meßverfahrens liegt darin, daß keine Wärmeverluste zu berücksichtigen sind, da die gesamte in der inneren Heizkugel elektrisch erzeugte Wärme radial durch den Isoherstoff nach außen an die äußere konzentrische Hohlkugel geleitet wird. Aus den Oberflächentemperaturen der Kü-

gel und der Heizenergie sowie den Apparatekonstanten ist λ direkt zu errechnen. Der Einbau fester Isohersteine erfordert eine genaue handwerkliche Bearbeitung der beiden Kugelhälften, bei Füllstoffen wird die Heizkugel

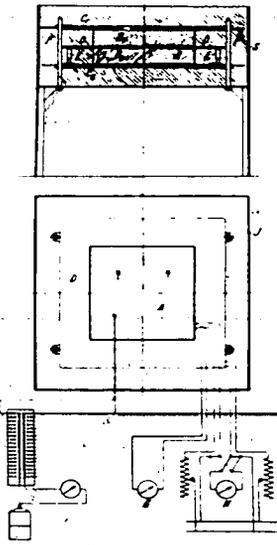


Bild 9. Plattenmethode nach Poensgen.

durch dünne Drähte in der Mitte gehalten und der Isolierstoff durch einen Stutzen von oben eingefüllt. Eine größere Anzahl von druckfesten Kugeln stehen zur Verfügung für Messungen bis zu 50 bzw. 200 at. Eine Prüfapparatur bis zu 1000 at ist in Bild 10 dargestellt. Untersucht werden vor allem die Innenisolierungen für die Hochdrucköfen der Ammoniak- und Benzinsynthese, wobei hier nur erwähnt sei, daß das Wärmeleitvermögen bei hohem Druck ein Mehrfaches desjenigen bei Normaldruck sein kann. Die Kugeln können natürlich auch bei Normaldruck für feuerfeste Steine, keramische Massen usw. benutzt werden (349, Isoherberichte, 421, 424, 428, 430, 434).

Der große Anfall von Flugasche und die Schwierigkeiten ihrer Beseitigung gaben Veranlassung zu Versuchen, Flugasche für Wärmeschutzzwecke zu verwenden. Dies könnte erfolgen als Füllstoff, Aschensteine oder Aufstreichmasse. Die Ergebnisse befriedigten nur teilweise, am besten eignete sich eine Mischung mit Kieselgur als Aufstreichmasse (398, 6, 10, 17, 18).

2. Sonstige Arbeiten

Die Entwicklung neuer Hochdruckbehälter, bei denen das Futterrohr durch mehrere Lagen profilierter Bandeisens als Druckkörper umwickelt ist, machte es erforderlich, die Wärmeleitfähigkeit der geschichteten Wandung an mehreren Versuchsrohren zu messen. Die Prüflinge erhielten außen einen mit Wasser gekühlten

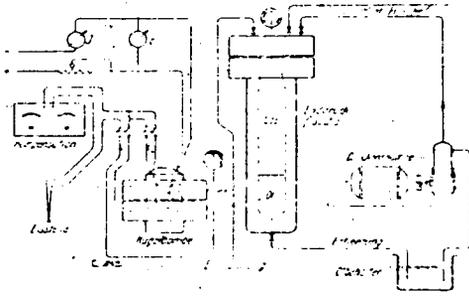


Bild 10. Prüfanlage einer Nusselt'schen Kugel bis 1900 t

Mantel und wurden innen mit Dampf geheizt. Aus Kondensatbestimmung, Wassermenge und Temperaturmessungen konnte sehr genau die äquivalente Wärmeleitzahl der geschichteten Wandung bestimmt werden. Es zeigte sich, daß die Luft und Eisenoxidschichten zwischen den Bandeisenschichten etwa 30 bis 40% des gesamten Wärmewiderstandes ausmachten, trotzdem ihre Dicke nur einige Tausendstel Millimeter betrug (373, 391).

Umfangreiche Versuche wurden an verschiedensten Ausführungsformen berippter Hochdruckrohre durchgeführt, wie sie in den Spitzenvorheizern der Hydrieranlagen Verwendung finden. Die Versuchsrohre werden in der normalen Werkstattaufrüstung in 750 mm Länge als Ausschnitt einer Haarnadel angefertigt und im gleichen Einbau, wie auch in der Gasse des Gasvorheizers, in der in Bild 2 dargestellten Apparatur untersucht. Geprüft wurden Rohre mit aufgeschweißten, aufgeflehten und aufgestemten Rippen; die Rippenformen waren quadratisch, rechteckig und rund. Gemessen wurden die α -Werte bei verschiedenen Gasgeschwindigkeiten und bei verschiedenen Einbauten, die Temperaturverteilungen auf den Rippen und die Gasströmungen in der Gasse. Die Meßwerte erlaubten interessante Einblicke in die Wärmeströmung der Rippenrohre und gaben wertvolle Hinweise für die Weiterentwicklung der Spitzenvorheizern (427, 463, 469, 481, 9, 16, 19).

Die Strömung durch Rippenrohre könnte an gläsernen Modell-Rippenrohren mit gefärbtem Wasser sichtbar gemacht werden. Bild 11 zeigt die Strömung in



270 = 270 mit Verdränger

Bild 11. Wasserströmung durch gläserne Modellrippenrohre

der Gasse von 710 mm Breite mit Rohren 171 mm \varnothing und Rippen 270 x 270 mm mit Verdränger. Bemerkenswert ist der starke Strömungsschatten der Rohre.

Die Zähigkeit von CO_2 -beladenem Wasser interessierte im Hinblick auf Schwierigkeiten bei der Washwasserableitung aus Op. 86. Es wurde ein Strömungsviskosimeter entwickelt und für laminarströmung

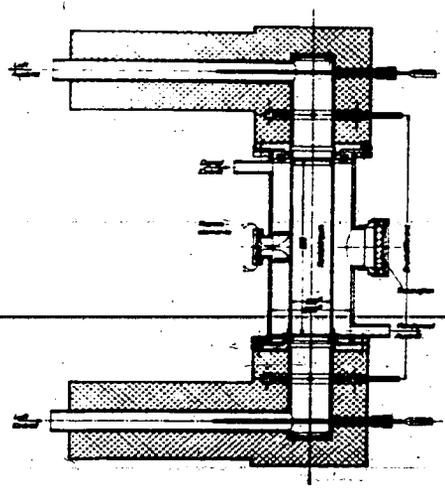


Bild 12. Apparatur zur Bestimmung des Strömungswiderstandes und des Wärmeüberganges an Kontakte

mit reinem Wasser geeicht. Das gasbeladene Wasser zeigte demgegenüber nur geringste Abweichungen, so daß dieser Effekt für die Erklärung des betrachteten Betriebsfalles nicht in Frage kam (13).

Zahlreiche Arbeiten dienten der Bestimmung von Wärmeübergangszahlen und Druckverlusten an kontaktgefüllten Röhren. Eine der Prüfapparaturen ist in Bild 12 dargestellt. Untersucht wurden bisher verschiedenste Kontakte, Füllkörper, Kiesgel, Aktiv-Kohle usw. Die Kenntnis der α -Werte sowie der Temperaturverteilung im Kontaktrohr sind außerordentlich wertvoll im Hinblick auf die Möglichkeit einer besseren Ausnutzung des Kontakttraumes und der Reaktionslenkung und damit auch höherer Ausbeute. Die Versuche sind zur Zeit noch im Gange (349, 441, 7, 8).

Speziell für ein weites Gefäß von 250 mm \varnothing wurde die Temperatureindringung in den Kontakttraum bei verschiedenen Gasströmungen abhängig von der Zeit ermittelt. Dabei wurde auch der Wärmeübergang in dimensionloser Darstellung entwickelt (488).

Betriebsversuche

In den Oppauer Betrieben werden laufend Indizierungen an Dampfmaschinen, Gasmaschinen und Kompressoren durchgeführt. Diese Messungen zwecken die Einregulierung neuer oder reparierter Kolbenmaschinen auf ein ordnungsgemäßes und wirtschaftliches Arbeiten. Für diese Indizierungen stehen Indikatoren für alle vorkommenden Zwecke zur Verfügung, dazu Hilfsgeräte für verschiedene Sondertafel-Indizierberichte.

Zur Feuchtigkeitsmessung von Naßdampf werden zwei verschiedene Apparate benutzt, ein Drosselkalorimeter, das bis zu 5% Dampffuchtigkeit anzuzeigen gestattet, und ein Abscheidekalorimeter, das von 0-100% Dampffuchtigkeit anzeigen kann. Mit beiden Meßmethoden sind verschiedentlich Feuchtigkeitsbestimmungen durchgeführt worden (2).

Der Wärmeflußmesser nach E. Schmidt gestattet eine genaue Ermittlung von Wärmeverlusten an Dampfleitungen, Wärmeaustauschern, Verdampfern usw. Drei solcher Apparate, mit den zugehörigen geeichten Meßbinden stehen zur Verfügung und sind für zahlreiche Messungen in den Betrieben benutzt worden.

Da die Wärmeflußbinden über Temperaturen von 100°C zerstört werden, werden an unisolierten heißen Leitungen und Apparaten die Wärmeverluste durch thermoelektrische Temperaturmessungen ermittelt. Trotz der Unsicherheit in den α -Werten ist diese Methode für praktische Zwecke oft genau genug (5).

Weitere Arbeiten befaßten sich mit Untersuchungen an Dampfmaschinen, Pumpen und Turbinen hinsichtlich ihres betrieblichen Verhaltens. Erwähnenswert hiervon sind die Messungen an den Maschinensätzen in einer Druckwassergaswäsche. Die Aggregate bestehen aus Pelton turbine, Motor und Pumpe; der Turbinenwirkungsgrad war zu bestimmen. Bei abgekuppelter Turbine wurde zuerst eine genaue Wirkungsgradkurve der Pumpe aufgenommen. Dann wurde das ganze Aggregat im Kreislauf über zwei Waschtürme gefahren und durch genaue Messungen von Wassermenge, Druckhöhen und elektr. Leistung aus der Energiebilanz der Wirkungsgrad der Turbine bei verschiedenen Belastungen bestimmt (354).

Der Einfluß des Gasdrucks in dem Entspannungsgehäuse auf den Turbinenwirkungsgrad wurde an einer anderen Pelton turbine untersucht. Durch umfangreiche, sorgfältige Vorversuche wurde die Meßgenauigkeit der Manometer und der Mengenummessung sowie der Pumpenwirkungsgrad ermittelt. Die Ergebnisse zeigten eine außerordentliche Wirkungsgradverlechterung der Turbine bei Gegendruckbetrieb. Die Gründe dafür werden eingehend besprochen. Der durch die η -Verringerung erforderliche elektrische Energieverbrauch je m³ erzeugter CO₂ der angeschlossenen Entgasungsanlage wird in Abhängigkeit von Gegendruck und Waschwassermenge graphisch dargestellt (461).

An den Dampfmaschinen zu den Umlaufpumpen des Gaskreislaufes der Ammoniakfabrik wurde die indizierte Maschinenleistung in Abhängigkeit von der Drehzahl und von dem Druckverhältnis im Hochdrucknetz bestimmt. Mit Hilfe des spezifischen Dampfverbrauchs der Maschinen sollten diese Messungen als eine Unterlage für die Dampferechnung dienen (355).

Bei der Lieferung neuer oder reparierter Maschinen wurden zahlreiche Abnahmeversuche durchgeführt. So wurde eine größere Anzahl dreistufiger Hochdruckpumpen abgenommen, die zur Förderung des Druckwassers für Waschtürme dienen (443, 419, 12). In einem Fall pflegte die Lieferfirma in Ermangelung der nötigen Antriebsleistung die Abnahmeprüfungen von Hochdruckpumpen bei verringerter Drehzahl durchzuführen und auf die Garantiebedingungen unzurechnen. Durch genaue Vergleichsmessungen einer Pumpe auf dem Firmenprüfstand und im Betriebsanbau konnte die Unzulässigkeit dieser Wirkungsgradrechnung gezeigt werden und auch eingehend theoretisch begründet werden (459).

Zur Absaugung von CO₂ und CO Gasen aus Kupferlangen Abscheidegeräten waren zwei neue Vakuumpumpen aufgestellt worden. Durch genaue Messungen von Mengen, Temperaturen, elektr. Leistung, Drücken und Gaszusammensetzungen wurden Leistung und Wirkungsgrad der Maschinen ermittelt und mit den Garantiewerten verglichen (457).

Erwähnt seien schließlich noch die Untersuchungen an mehreren Benzingerinnungsanlagen, bei denen die bei der chemischen Umwandlung der Kohlenwasserstoffe freierwerdende Reaktionswärme bestimmt wurde. Durch genaue Temperatur- und Mengenummessung sowie Gasanalysen war es möglich, eine einwandfreie Wärmebilanz der ganzen Anlage aufzustellen, aus der die Bildungswärme mit praktisch betriebliegender Genauigkeit zu errechnen war (364, 384).

Von allgemeinerem Interesse sind auch die umfangreichen Untersuchungen über die Wärmeabfuhr erdverlegter Kabel. Es wurden mehrere Monate lang die Kabeltemperaturen abhängig vom Betriebsstrom und den Wetterbedingungen beobachtet, die Austrocknung um die Kabel durch Feuchtigkeitsanalysen an verschiedenen Stellen ertorscht und die Eignung mehrerer Kabelbettungen untersucht. Bild 13 zeigt die Temperaturverteilung in einer zum Kabel senkrechten Schnittebene bei sandiger Kabelbettungs Erde. Der mit einem Pfeil gekennzeichnete Knick in der Kurve zeigt die Breite der Austrocknungsschicht an. Gemessen wurden auch die Wärmeleitfähigkeiten zahlreicher Erdproben in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt. Theoretische Betrachtungen gaben Einblick in den komplizierten Vorgang der Feuchtigkeits- und Wärmeleitung um ein Kabel (456).

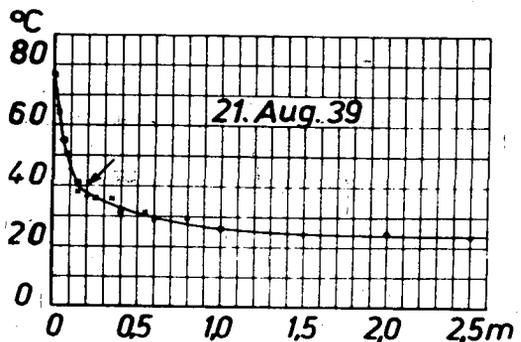


Bild 13. Temperaturverteilung um ein Kabel in Sandbettung

Die Beschaffenheit und Verwendung der Flugasche

Von Ing. W. SCHENKER

Die wachsende Zahl, Größe und Feuerleistung der Kessel, und zwar insbesondere der Staubteuerungskessel, sowie die zunehmende Anwendung der Staubteuerung überhaupt haben einen steigenden Anfall von Flugasche zur Folge. Abgesehen von dem Verlust durch den Gehalt dieses Abfallstoffes an Unverbranntem sowie von der Möglichkeit, die gesamte Flugasche oder Teile derselben nutzbringend zu verwerten oder gewisse Stoffe, z. B. Tonerde, Eisen usw. aus ihr zu gewinnen, bietet schon die Unterbringung dieses Abfalles öfters Schwierigkeiten, da es nicht immer möglich ist, ihn durch Flusse fortzuschwemmen oder zur Auffüllung zu verwenden. Für uns in Oppau, und ähnliches wird wohl für die Mehrzahl unserer Werke zutreffen, stellen jedenfalls bis heute die täglich anfallenden Flugaschemengen, hier in Oppau durchschnittlich gerechnet 40-60 Tonnen, lediglich einen sehr lästigen Abfallstoff dar.

Die Flugasche für Isoherzwecke zu verwenden, lag nahe im Hinblick auf die Verwendung des Gichtstaubes, der in der Isoherztechnik immerhin eine nicht unbeträchtliche Rolle spielt.

Es stellte sich nun zwar heraus, daß selbst eine Versorgung der gesamten I.G. mit solchen Wärmeschutzstoffen erst schätzungsweise ein Fünftel unserer Oppauer Flugasche beseitigen würde, so daß eine solche Verwendung praktisch nur eine sehr untergeordnete Rolle spielen könnte. Es sollte aber trotzdem untersucht werden, welche technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten auf diesem Gebiete wohl vorhanden wären. Wenn nun auch, wie sich zeigen wird, aus Flugasche bis jetzt noch kein hochwertiger Wärmeschutzstoff gewonnen werden konnte und demnach für die Wärmeschutztechnik kein besonderer Anreiz gegeben ist, so dürfte es doch von Interesse sein, unsere bisherigen Ergebnisse kurz mitzuteilen.

Es ergab sich zunächst, wie Bild 1 zeigt, daß die Wärmeleitfähigkeit der Flugasche an sich, d. h. in Pulverform, mit beispielsweise rund 0,19 bei 150°C nicht in der

Größenordnung eines neuzeitlichen Wärmeschutzstoffes liegt und nicht, wie erhofft, mit der von Gichtstaub verglichen werden kann, der entsprechend bei 150°C die außerordentlich niedrige Wärmeleitfähigkeit 0,05 besitzt. Im einzelnen zeigt das Bild die Wärmeleitfähigkeit einer Wanderrostflugasche (U 480), einer unmittelbar dem Kessel entnommenen Staubkesselfugasche (U 560), einer vom Drehfilter, abgeschlämpten Staubkesselfugasche (U 700) und einer gemahlene Staubkesselfugasche (G 650/685). Wie man erkennt, hat selbst die gemahlene Flugasche, als feinstes Produkt, mit einer Wärmeleitfähigkeit von rund 0,16 bei 150°C keine gute Isoherzfähigkeit, wenn auch ihre Wärmeleitfähigkeit mit steigender Temperatur weniger ansteigt als die der ungemahlene Flugaschen.

Im Hinblick auf den durchschnittlich hohen Kohlenstoffgehalt der Oppauer Flugasche würde nun bei der Firma Franzweg & Hartmann die Herstellung eines gebrannten Kieselgursteines veranlaßt, bei dem die Hälfte der Rohmasse aus Staubkesselfugasche bestand, indem so durch die Flugasche sowohl der eigentliche Rohstoff als auch der Brennzusatz gestreckt werden sollte. Bild 2

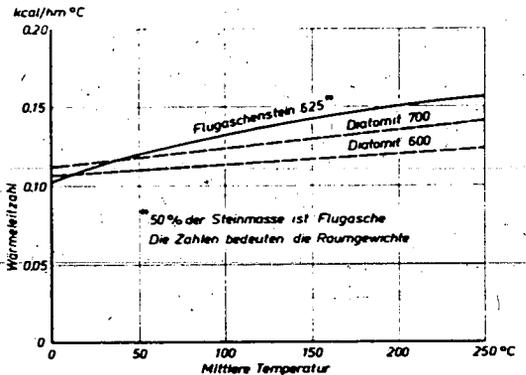


Bild 2. Wärmeleitfähigkeit eines Flugaschensoliersteines

zeigt die Wärmeleitfähigkeiten dieses Steines. Seine Wärmeleitfähigkeit, rund 0,14 bei 150°C, und sein Raumgewicht liegen in der Nähe der Werte für die heute hergestellten gebrannten Kieselgursteine, jedoch sind Druck- und Abriebfestigkeit recht gering. Ob versuchsweise Steine dieser Art mit feiner gekörnter Flugasche hergestellt werden, hängt u. a. von den weiteren Ergebnissen der sonstigen Untersuchungen ab.

Möglich erschien ferner die Verwendung von Flugasche zur Anfertigung von plastischen Wärmeschutzmassen. Es wurden zwei verschiedenwertige Kieselgurbestmengen (AL und A) im Verhältnis 2:1 mit ungemahlener Staubkesselfugasche gestreckt und dadurch zwei Massen erhalten, die sich lediglich gut auftragen ließen und beispielsweise für 100°C die in Bild 3 mit KM 1 und KM 2 bezeichneten Wärmeleitfähigkeiten 0,09 und 0,16 besaßen.

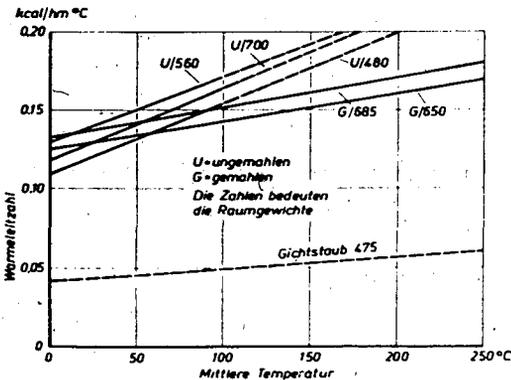


Bild 1. Wärmeleitfähigkeit verschiedener Flugaschen

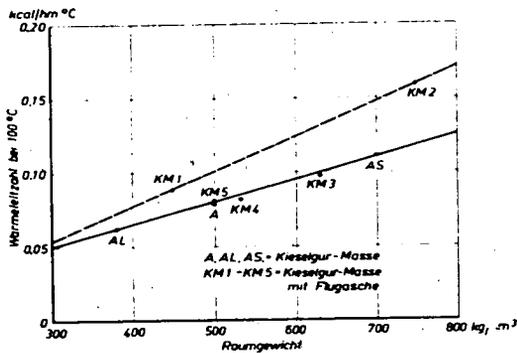


Bild 3. Wärmeleitfähigkeit von Flugaschenisolierrmassen

Die Ursprungsmassen sind durch die Punkte AL und A gegeben. Der Anteil der höherwertigen AL-Masse wurde sodann zwischen 40 und 60 Gewichtsprozent variiert, wodurch Wärmeleitfähigkeiten entsprechend den Punkten KM 3, 4 und 5, also von 0,1–0,08, erhalten wurden. Die Temperaturabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit dieser Flugaschenmassen ist stärker als bei den Ursprungsmassen. Zur Zeit sind zwei Aufstrichmassen in Untersuchung, die zur Hälfte aus AL-Masse, zur Hälfte aus gemahlener bzw. Drehfilterflugasche bestehen. Beide Massen besitzen ungefähr dieselbe Wärmeleitfähigkeit wie die Masse KM 5; sie bedeuten also keinen weiteren Fortschritt, auch ist ihre Abbindekraft viel zu gering. Versuche mit Tonzusatz sind im Gang.

Während sich also hier wohl gewisse technische Möglichkeiten ergeben, ist die Isolierstoffindustrie vorerst nicht gewillt, die Flugasche aufzunehmen, was zum Teil durch die Transportverhältnisse, zum Teil durch allgemeine kaufmännische Gesichtspunkte begründet ist. Selbst wenn die Flugasche einer ortsansässigen Firma umsonst geliefert würde, so wäre noch kein Anreiz vorhanden.

Diese Versuche brachten es nun mit sich, daß eine allgemeine Untersuchung über Kornfeinheit, Struktur und chemische Zusammensetzung der Flugasche vorgenommen wurde, und gerade diese soll den Hauptteil dieser Mitteilungen bilden.

Bei den isoliertechnischen Arbeiten hatte man von Anfang an den Vergleich mit dem Gichtstaub im Auge. Man nahm an, daß dessen gute Isolierfähigkeit vorzugsweise seiner feinen Korngröße zuzuschreiben sei und daß seine chemische Zusammensetzung keinen bedeutenden Einfluß haben würde.

Es wurden deshalb schon zu Anfang Korngrößenuntersuchungen ausgeführt, die jedoch erst allmählich systematischer wurden, weil zunächst mehr der Vergleich zwischen Flugasche und Gichtstaub interessierte als die Unterschiede, die in der Flugasche selbst vorhanden sind, je nachdem diese z. B. einer Wanderrrost- oder einer Staubfeuerung entstammt, ob sie aus der Brennkammer oder von den Vorwärmern kommt, je nach Kesselbelastung, Sorte und Aschengehalt der Kohle usw. Insbesondere

kommen z. B. im Kohlenstoffgehalt der Flugasche Schwankungen zwischen 3 und 50% vor.

Die quantitative Untersuchung der Kornverteilung wurde mit einem Siebsatz der Firma Tomndustrie, Berlin, durchgeführt, der sich aus den auf Bild 4 angegebenen

Prüfsieb	Anzahl der Maschen		Lichte Maschenweite μ
	auf 1cm	auf 1cm ²	
30	30	900	200
50	50	2500	120
70	70	4900	88
80	80	6400	75
100	100	10000	60
130	130	16900	40

Bild 4. Siebsatz der Firma „Tomndustrie Berlin“

sechs Sieben zusammensetzt. Der Durchgang durch das letzte Sieb enthält demnach angenähert alle Korngrößen unter 40 μ , während z. B. der Durchgang durch das 6400er-Sieb, ganz grob gerechnet, der Zementfeinheit entspricht. Kohlenstaub für Kesselfeuerungen entspricht ungefähr dem 4900er-Sieb mit 88 μ , solcher für motorische Zwecke ungefähr dem 10000er-Sieb mit 60 μ .

Das Bild 5 zeigt nun einige charakteristische Kornverteilungskurven. Als Vergleichsgrundlage soll auch hier wieder der Gichtstaub dienen. Dessen Kornverteilung mußte durch Sedimentationsanalyse ermittelt werden, da er, wie sich ergab, Korn über 60 μ praktisch nicht mehr enthält (dies bringt die senkrechte Abschlußlinie bei 60 μ zum Ausdruck) und 40 μ die kleinste Korngröße ist, bis zu der über die Siebung möglich ist bzw. einwandfreie Ergebnisse liefert. Unterhalb 40 μ liegen bereits 88 Gewichtsprozent, und schon von 0–5 μ liegen 50% des

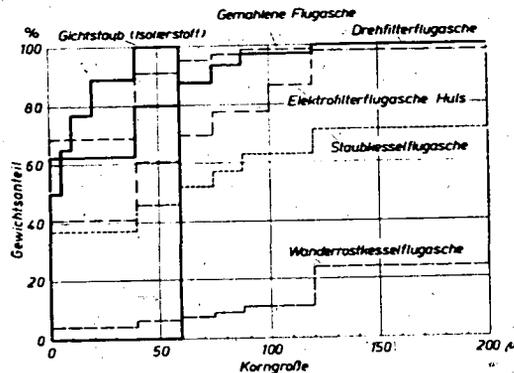


Bild 5. Siebkurven von Flugaschen und Gichtstaub

Gichtstaubes. Es sei darauf hingewiesen, daß dieser Isoliergichtstaub nur die feinsten Teile des aus dem Hochöfen abziehenden Staubes enthält.

Demgegenüber zeigt die Kurve der Wanderrostflugasche, daß in dieser unter 75μ nur 6% vorhanden sind und daß volle 75% über 200μ liegen. Eine solche Asche muß für Wärmeschutzzwecke von vornherein ausgeschaltet werden, wohingegen ihre Verwendung für Auffüllzwecke denkbar ist. Im übrigen ist der Anfall an dieser Asche sehr gering.

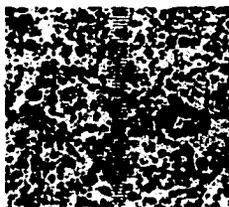
Wesentlich feiner ist die unmittelbar den Kesseln entnommene, keiner weiteren Behandlung unterworfenen Staubkesselfugasche. Wie das Bild zeigt, würden in die ser Bensonkesselfugasche 52% unter 75μ und 37% unter 40μ gefunden. Die Flugasche der älteren Steifrohrkessel, ebenfalls Staubfeuerung, stimmte in der Fraktion von 88 bis 120μ mit rund 62% mit der Bensonasche überein, während sie in den feineren Fraktionen weniger, in der Fraktion von 120 bis 200μ mehr enthält als diese.

Die gemahlene Flugasche, deren Kornverteilung ebenfalls im Bilde dargestellt ist, stammt aus Staubkesseln und enthält 95% Korn unter 75μ und 68% unter 40μ . ~~Obgleich sie demnach angenähert Zementfeinheit besitzt, hat sie doch als loses Pulver, wie angeführt, noch immer keine befriedigende Isoherfähigkeit. Für andere Zwecke, z. B. als Füllstoff, würde sie hingegen mit Vorteil verwendet.~~

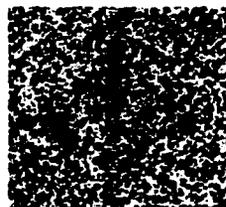
Im Hinblick darauf, daß normalerweise in Oppau die gesamte Staubkesselfugasche durch Wasser fortgeschwemmt und an einem Drehfilter abgestreift wird, müßte man nun dieser Form der Flugasche, die kurz als Drehfilterasche bezeichnet sei, besondere Aufmerksamkeit schenken. Dabei ergab sich, wie ebenfalls das Bild 5 zeigt, daß diese Drehfilterasche praktisch dieselbe Feinheit besitzt wie die gemahlene Flugasche; ja sie kann u. U. sogar noch etwas feiner sein als diese. Eine Probe der im Werk Huls in Elektrofiltern abgedehnten Flugasche besaß eine Kornfeinheit zwischen der der unbehandelten Staubkesselfugasche und der der Drehfilter- oder gemahlene Flugasche.

Über die Siebungen selbst sei hier eingefügt, daß sie alle eine Stunde lang ausgeführt wurden und daß die Proben auf 55°C getrocknet wurden. Bei Lufttrocknung sowie bei schärferer Trocknung würden keine wesentlichen Unterschiede erhalten. Die Siebprobe betrug stets 100 g und wurde ungefähr aus 1500 g trockenem Gut entnommen. Zu bedenken ist immer, daß Feinheit, chemische Zusammensetzung und Menge der Flugasche ständig wechseln können.

Bei einer Verwendung der Drehfilterasche käme es nun darauf an, ob sie in trockenem Zustand benötigt wird oder ob sie in dem Zustand, wie sie vom Drehfilter abgeschlämmt wird, nämlich ungefähr mit dem gleichen Gewicht Wasser beladen, eingesetzt werden kann. Man muß annehmen, daß das Fortschwemmen der Asche durch die mehr oder weniger langen Leitungen und die Krümmer, das Pumpen, Filtern und Abstreifen annähernd die gleiche zerkleinernde Wirkung ausüben wie der Mahlvorgang. Besonders die Steinzeugzentrifugalpumpe dürfte eine einer Naßmahlung ähnliche Wirkung haben.



Vom Drehfilter abgeschlämmt
ungemahlen



Tracken aus den Zügen,
gemahlen

1 Teilstrich 7μ , Kantenlänge des Gitterquadrates 50μ

Bild 6. Steinkohlenflugasche aus dem Oppauer Staubkessel
Durchgang durch das 1600er Sieb $< 40 \mu$

Um über die Zusammensetzung der Flugaschefraktionen unter 40μ eine Anschauung zu gewinnen, wurden von der gemahlene und von der Drehfilterflugasche Mikroaufnahmen angefertigt, die das Bild 6 zeigt. Ein Teilstrich des Maßstabes entspricht 7μ , die Kantenlänge des (allerdings kaum sichtbaren) Gitterquadrates ist 50μ . In der Fraktion sind alle Korngrößen von 40 bis herab zu 2μ vertreten, in der gemahlene Flugasche die feineren etwas mehr als in der Drehfilterflugasche. Im ungemahlene Produkt finden sich verhältnismäßig mehr Teilchen von Kugelform bis herauf zu 20μ , von denen augenscheinlich die größeren beim Mahlen zerquetscht werden. Die Kügelchen sind mehr oder weniger durchsichtig. Je nach Art der Kohle und ihrer Asche sowie nach dem Verlauf der Verbrennung und der Abkühlung der Flugaschenteilchen können diese Kügelchen mehr amorph, glasigen Charakter haben und hohl sein oder aus lauter kleinsten Kriställchen bestehen.

Dieser Befund und die Beobachtung, daß bei jeder Flugasche die größten Siebfraktionen am dunkelsten, die feinsten Fraktionen am hellsten sind, führten zu der Vermutung, daß es möglich sein könnte, durch Fraktionierung, z. B. mittels Sichtung, aus der Flugasche feinstes, kohlenstoffarmes Korn herauszuziehen, das dann vielleicht zur Streckung von Zement nach dem Brand geeignet wäre. Für diese Verwendung hat sich nämlich die Bedingung ergeben, daß der Kohlenstoffgehalt nicht mehr als $5-10\%$ betragen soll. Kann jedoch die Flugasche der Zementrohmasse vor dem Brand zugefügt werden oder bei der Herstellung gebrannter Isolier- oder Bausteine verwendet werden, so ist umgekehrt der Kohlenstoff von Vorteil wegen seines Heizwertes, gegebenenfalls auch durch eine gewisse auflockernde Wirkung.

Die Elementaranalyse ergab nun wohl, daß die feinste Siebfraktion, d. h. die von $0-40 \mu$, einen geringeren Kohlenstoffgehalt besitzt als die ganze Flugasche, jedoch ist dies bei weitem nicht in dem erhofften Grade der Fall. Das Bild 7 zeigt die Hauptbestandteile einer unmittelbar dem Staubkessel entnommenen, hier als „grobe“ bezeichneten Flugasche, ferner die der gemahlene und der Drehfilterflugasche, und zwar immer links der ganzen Flugasche, rechts der feinsten Siebfraktion. Die grobe Flugasche, die auch eine wesentlich hellere Färbung hat, entfällt an dem Tag der Entnahme nur rund 3% C, also außerordentlich wenig, die beiden anderen 30 bis 40% C.

	Steinkohlenflugaschen aus den Oppauer Staubklassen						Braun- kohlen- flug- asche	Hoch- ofen- schlacke (Isolier- mittel)	Gicht- staub (Isolier- mittel)
	Unzerlegtes Produkt			Durch 15000 Sieb (0,1)					
	Grobe	Gemahl.	Dreht.	Grobe	Gemahl.	Dreht.			
C	2,9	38,1	31,9	2,7	32,7	24,1	1,4	—	6,9
SiO ₂	35,8	24,5	29,4	35,1	26,7	33,4	34,8	36,4	17,1
Al ₂ O ₃	21,4	17,6	19,3	22,0	18,2	21,6	27,6	13,6	14,3
Fe ₂ O ₃	21,9	9,2	8,6	20,4	11,3	11,6	10,5	—	16,8
CaO	6,8	2,7	2,1	5,2	2,9	2,2	19,4	41,2	14,0
MgO	3,1	1,3	1,3	2,3	1,6	1,8	1,0	6,5	4,6
Na ₂ O	2,3	2,2	2,4	3,1	2,6	3,1	0,2	—	4,5
SO ₃	2,9	0,7	0,4	4,6	0,8	0,7	5,2	3,6	4,2

Bild 7. Chemische Zusammensetzung von Flugaschen

also ziemlich viel. Gegenüber dem ganzen Produkt ist, wie sich aus der Tabelle errechnet, der C-Gehalt in der 40- μ -Fraktion der groben Flugasche um 8% vermindert, der der gemahlene um 14% und der der Drehfilterflugasche um 24%. Die Verminderung ist also keinesfalls ausschlaggebend.

Im übrigen ergab die Analyse 25 bis 35% Kieselsäure, rund 20% Tonerde, 2 bis 7% Kalk, 1 bis 3% Magnesia und rund 2% Alkalien, wobei sich immer die „grobe“, kohlenstoffarme Probe von den anderen beiden abhebt. Auffällig erscheint der hohe Gehalt an Eisenoxid, der bei den beiden feineren Proben rund 10%, bei der groben sogar über 20% beträgt, und besonders soll auf den mit 0,7% außergewöhnlich hohen Gehalt an Titanoxid hingewiesen werden.

Zum Vergleich sind Analysen von Braunkohlenflugasche, Hochofenschlacke und Gichtstaub angefügt. Alle drei zeichnen sich durch hohen Kalkgehalt aus, besitzen allerdings auch viel Schwefel. Auch der Tonerdegehalt ist bei der Braunkohlenflugasche hoch, während andererseits der Kieselsäuregehalt im Gichtstaub gering ist. Die Eisengehalte werden sich möglicherweise bei manchen Verarbeitungsverfahren, wie z. B. einem solchen zur Gewinnung von Tonerde und Zement, als hinderlich er-

weisen, so daß in diesen Fällen mit der Notwendigkeit einer Enteisung zu rechnen wäre.

Nach allem ist die erwähnte dunkle Färbung der groberen Siebfraktionen gänzlich nicht durch den C-Gehalt selbst, wohl aber durch einen gewissen C-Abrieb begründet, wodurch auch der dunklere Ton der beiden C-reichen Sorten, die eine intensivere Behandlung erlitten haben, und der hellere Ton der unmittelbar dem Kessel entnommenen C-armen Sorte erklärt werden dürften. Bei den feineren Fraktionen dürfte außerdem die größere Oberflächenentwicklung die Farbwirkung des Abriebs schwächen und der kleinere Korndurchmesser die Reflexion verstärken. Mit dem Abrieb bzw. dem C-Gehalt dürfte es auch zusammenhängen, daß die dunkleren Sorten bzw. Fraktionen eine bessere elektrische Leitfähigkeit haben als die helleren. Von den feinsten Fraktionen, unter 40 μ , werden die hellen vom Magnet angezogen.

Um weitere Einblicke in das Gebiet unter 40 μ zu erhalten, sind wir im Begriff, eine Menge von rund 100 kg Drehfilterflugasche durch Sichtung in einzelne Fraktionen zu zerlegen. Sollte sich dabei ein Produkt finden, das als Pulver eine Wärmeleit- bzw. Isolierfähigkeit besitzt, die der des Gichtstaubes näher kommt, so werden weitere Versuche durchgeführt werden.

Sind nun dergestalt die mit der Oppauer Flugasche auf dem Gebiete des Wärmeschutzwesens erreichten Erfolge noch gering, so können doch vielleicht die vorliegenden Mitteilungen anderwärts eine Anregung geben. Es soll zum Schluß nur daran erinnert werden, daß Arbeiten zur Beseitigung und Verwertung der Flugasche an mehreren bedeutenden Stellen durchgeführt werden, so z. B. innerhalb der I. G. außer Oppau in Hülß, Leverkusen und Wolfratshausen, außerhalb z. B. durch die Vereinigung der Großkesselbesitzer. Auch in Amerika sind derartige Bestrebungen bzw. solche auf Gewinnung bestimmter Stoffe aus der Flugasche im Gange. Alle diese Arbeiten liegen jedoch vorwiegend auf bautechnischem bzw. bauchemischem Gebiet oder sonst auf chemisch-technologischen Gebieten, wo zum mindesten quantitativ bedeutend bessere Möglichkeiten bestehen. Erwähnt seien abschließend noch die Versuche zur Rückführung der Flugasche in die Feuerung sowie die Maßnahmen zur Überführung der Flugasche in Schlacke.

Die Entwicklung der Klopfwertbestimmung von Leichtkraftstoffen

Von Ing. E. SINGER

Zu den Hilfsmitteln, die im letzten Jahrzehnt in steigendem Maße Verwendung bei der Untersuchung von Benzenen gefunden haben, gehört der Klopfmotor zur Bestimmung der Oktanzahl von Leichtkraftstoffen. Die Einfachheit und Zuverlässigkeit, mit der an ihm diese wichtigste Kraftstoffeigenschaft bestimmt wird, begünstigte seine allgemeine Einführung. Die mit ihm erhaltenen Oktanzahlen verdrängten andere, früher zum diesen Zweck gebräuchliche Ozeanziffern vollständig, so daß heute der Begriff der Oktanzahl als Maßstab für die Klopfestigkeit sich international durchgesetzt hat.

Zweck der Oktanzahlbestimmung

Die Erkenntnis, daß der gleiche Fahrzeugmotor durch verschiedene Benzine unterschiedlich beansprucht wird und deshalb eine verschiedene Lastruhe aufweisen kann, stammt schon aus der Zeit des ersten Weltkrieges. Diese in der Folgezeit als „Klopfverhalten“ bezeichnete Kraftstoffeigenschaft zwang die Motorenkonstrukteure zur Rücksichtnahme auf den Kraftstoff, wenn sie lebenswichtige Motor Teile, z. B. Kolben, vor mechanischer oder thermischer Überbeanspruchung schützen wollten. Auf der anderen Seite wurde der Kraftstoffherzeuger angeregt, noch bessere, d. h. klopfstere Kraftstoffe herzustellen, da ja diese mehr gefragt und auch besser bezahlt wurden als Benzine von üblicher Qualität. Zunächst aber galt es, dieses Klopfverhalten meßtechnisch zu erfassen und in einer Skala allgemeinverständlich auszudrücken. Die bei diesen Bemühungen gefundenen Erkenntnisse zeigten sich in vielen Fällen richtungweisend für die Entwicklung der Kraftstoff- und Motorenindustrie.

Arbeiten des Technischen Prüfstandes

Schon frühzeitig begann der Technische Prüfstand Oppau seine Untersuchungsarbeiten über das Klopfverhalten von Benzenen. Anlaß hierzu waren das 1924 von der I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft gefundene Antiklopfmittel Eisenkarbonyl und später die Herstellung von Hydrierbenzin. Anfänglich wurden zu diesen Untersuchungen serienmäßig hergestellte Fahrzeugmotoren verwendet. Die Streuungen in den Versuchswerten, wie auch die Schwierigkeit, alle Zylinder gleichmäßig abzustimmen, führten bald zu dem Erkenntnis, die weiteren Versuche zweckmäßig an einem kleinen Einzylindermotor durchzuführen. Durch Anschaffung des amerikanischen Delco-Klopfmotors und durch Austausch von Benzinproben mit amerikanischen Ölfirmen wurde auch auf diesem Sondergebiet ein Erfahrungsaustausch eingeleitet. Da die zur Untersuchung eingesandten Benzinproben ständig zunahmen, Klopfmotoren in Deutschland aber nicht erhältlich waren, wurden die notwendigen Prüfmotoren selbst gebaut, und, in Anlehnung an eine von Horning angegebene Ausführungsform, mit im Betrieb veränderlichem Verdichtungsverhältnis ausgestattet. Die später von der ASTM*) durchgeführte Vereinheitlichung bei der

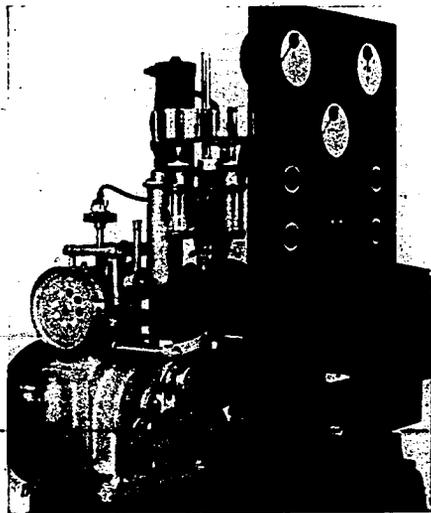


Bild 1. Der I. G.-Prüfmotor

Klopfwertbestimmung durch Einführung der Oktanzahl und des CFR-Motors konnten dann von dem schon gut eingerichteten Klopfprüfstand in Oppau auf deutsche Verhältnisse übertragen werden, wobei es sich zeigte, daß trotz des Unterschiedes in Größe und Bauweise die am deutschen und amerikanischen Klopfmotor erhaltenen Werte recht gut vergleichbar sind. Diese Motoren sind dann unter der Bezeichnung „I. G.-Prüfmotor“ (Bild 1) bekannt geworden. Heute werden sie von der Daimler-Benz A. G. Mannheim hergestellt und sind im In- und Ausland weit verbreitet.

So hat nach tastenden Versuchen die Entwicklung der Klopfwertbestimmung einen gewissen Abschnitt erreicht. Hiernach wird in Deutschland die Klopfestigkeit von Benzenen angegeben in Oktanzahlen, die mit genau bestimmten Stoffen (Oktan und Heptan), unter vorgeschriebenen Betriebsverhältnissen (Motor- und Research-Methode) und an zugelassenen Prüfmotoren (CFR- und I. G.-Motor) ermittelt werden. Je größer eine solche Oktanzahl im Zahlenwert ist, umso besser ist der Kraftstoff.

Steigerung der Meßgenauigkeit

Es liegt in der Natur der Oktanzahlbestimmung, daß eine gewisse Streugrenze unvermeidlich ist. Durch Normen von Prüfmotor und Prüfweise hat man versucht, diese Streuungen so klein wie möglich zu halten. Um auch die Handhabung der Klopfmotoren einheitlich zu gestalten und damit die Meßgenauigkeit weiter zu steigern, würden erstmalig in Deutschland vom Technischen Prüfstand Oppau

*) ASTM = American Society for Testing Materials.

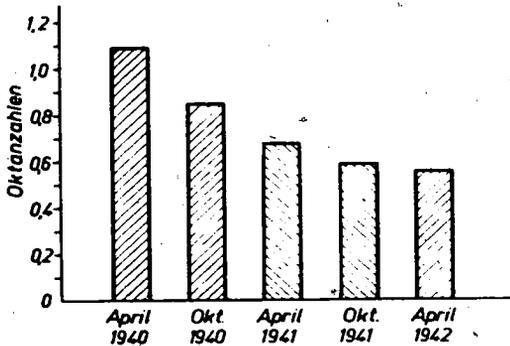


Bild 2. Motorer Meßfehler

Lehrgänge in der Klopfwertbestimmung von Benzin durchgeföhrt. Aus dem gleichen Bestreben heraus wurden Vorrichtungen entwickelt, die ein rasches und genaues Arbeiten beim Ansetzen von Vergleichsmischungen, die zur Oktanzahlbestimmung nötig sind, ermöglichen. Auch diese Hilfsmittel sind heute bei den meisten Prüfstellen eingeföhrt. Seit einigen Jahren ist man bestrebt, durch Vergleichsmessungen, die halbjährlich vom Techn. Prüfstand Oppau unter Mitarbeit von Behörden, Forschungsstellen und der Industrie durchgeföhrt werden, die deutschen Klopfmotoren einheitlich auszurichten, und sie in der Zeit zwischen diesen Vergleichsversuchen durch besonders ausgewählte Einstellbenzine zu überwachen. Wie das Ergebnis dieser Untersuchungen zeigt, kann heute die Meßgenauigkeit bei der Bestimmung der Klopfintensität mit $\pm 0,6$ OZ angenommen werden (Bild 2), wozu die vom Techn. Prüfstand Oppau entwickelten Unterbezugs-kraftstoffe mit beigetragen haben. Der jetzt erreichte Wert mit $\pm 0,6$ OZ entspricht einem Unterschied im Benzolgehalt des Kraftstoffes von etwa $\pm 1\%$; er ist viel zu gering, um sich im üblichen Fahrzeugmotor praktisch auswirken zu können.

Anwendung der Oktanzahl

Während so die Oktanzahl eines Kraftstoffes jetzt genügend genau durch jede zuverlässige Prüfstelle bestimmt werden kann, ist ihre Anwendung umstritten und unterliegt oft vielen Mißdeutungen. Es ist zunächst festzustellen, daß die Oktanzahlbestimmung eine konventionelle Prüfweise ist, und daß jedes Abgehen von den vereinbarten Prüfbedingungen, Eichstoffen und Klopfmotoren Änderungen in den Meßwerten zur Folge haben kann. Durch schärfere Betriebsbedingungen erhält man in der Regel kleinere, durch mildere Bedingungen höhere Oktanzahlen. Die Oktanzahlbestimmung durch Klopfmotoren wurde so entwickelt, daß die mit ihr erhaltenen Ergebnisse übereinstimmen mit den Ergebnissen von Messungen, die bei Fahrversuchen auf der Landstraße als Mittelwerte verschiedener Wagenbaumuster und Kraftstoffsorten erhalten worden sind. Dies bedeutet, daß für den einzelnen Fahrzeugmotor oder für eine besondere Benzinsorte die laboratoriumsmäßig gefundene Bewertung nicht immer ganz genau stimmen wird. Benzine mit gleicher Oktanzahl können sich im Betrieb also etwas ver-

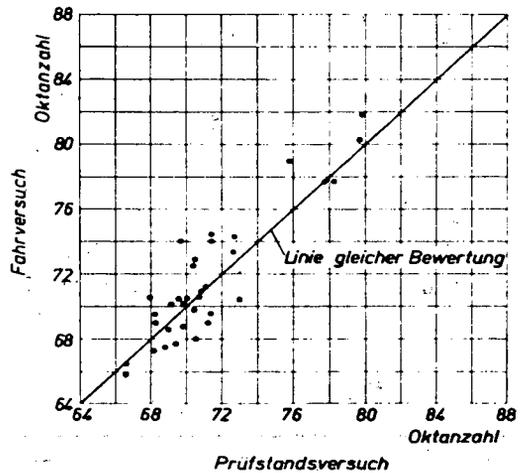


Bild 3. Oktanzahlbestimmung durch Fahrversuch und Prüfstandsversuch

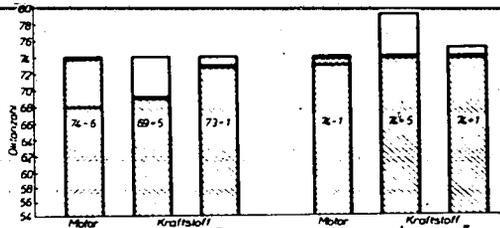
schieden verhalten, doch halten sich die bisher beobachteten Unstimmigkeiten in erträglichen Grenzen (Bild 3). Sollten früher oder später erhebliche Änderungen im Aufbau oder im Betrieb der Motoren oder in der Zusammensetzung der Kraftstoffe durchgeföhrt werden, so ist damit der Zeitpunkt für eine Nachprüfung des Verfahrens zur Bestimmung der Oktanzahl gegeben.

Klopfwertangabe

Während heute die Oktanzahl der üblichen Motorenkraftstoffe bekannt ist, trifft dies für den Oktanzahlbedarf der meisten Motoren noch nicht zu. Lediglich für die deutschen Fahrzeugmotoren besteht die Vorschrift, daß mit einem Benzin-Benzolge-misch von OZ 74 kein Klopfen auftreten darf. Wie groß die Klopfreserve dann noch ist, und wie diese bei den einzelnen Motorenbaumustern sich mit den Betriebszuständen ändert, ist noch sehr wenig untersucht. Aus dieser Unkenntnis heraus werden oft Fehlschlüsse gezogen und dann die Oktanzahlbestimmung als unzuverlässig, ja als irreföhrend abgelehnt.

Man kann das Abstimmen des Motors auf den Kraftstoff („Maßeinheit „Oktanzahl“), vergleichen mit dem Einpaß von Welle in Bohrung (Maßeinheit „Millimeter“). Auch hier bezieht sich das Nennmaß und das Nennspiel auf genau vorgeschriebene Verhältnisse (Raumtemperatur 20°) und ändert sich, wenn der praktische Betrieb hiervon abweicht. So kann beispielsweise eine Welle, die bei der Bezugstemperatur mit vorgeschriebenem Spiel in der zugehörigen Nabe läuft, je nach den verwendeten Werkstoffen unter den Betriebsverhältnissen klemmen, oder aber ein unzulässig großes Spiel aufweisen. Niemand aber würde auf den Gedanken kommen, deshalb das Maßsystem abzulehnen; allenfalls könnte erwogen werden, die Einpaßgrößen bei günstiger gelegenen Bezugstemperaturen zu ermitteln. Während

aber beim Einpaß von Welle und Bohrung diese Verhältnisse vorhergesehen und in Rechnung gestellt werden können, weil der Ausdehnungskoeffizient der beiden Werkstoffe bekannt ist, ist eine entsprechende Maßnahme im Gebiet der Klopfmessung noch nicht erfolgt. Es fehlt hier, wie bereits erwähnt, die Angabe des Oktanzahlbedarfs des Motors, und außerdem eine dem Ausdehnungskoeffizienten entsprechende Angabe für Motor und Kraftstoff, wenn deren Bedingungen im praktischen Betrieb von den Bedingungen während des Prüfens abweichend naturgemäß sind solche Bewerte für Motor und Kraftstoff schwieriger aufzustellen als die Ausdehnungskoeffizienten für Werkstoffe, weil auf die Größe der Bewerte außerordentlich viele Einflüsse, die sich teils überlagern, teils aufheben, wirksam sind. Entsprechende Vorschläge sind vom Techn. Prüfstand Oppau ausgearbeitet worden; nach diesen wurden Motor und Kraftstoff durch ein Zweipunktverfahren bewertet. Hierbei wird der Motor mit zwei möglichst verschiedenartigen Eichmischungen, und der Kraftstoff unter zwei sehr verschiedenen Betriebszuständen geprüft. Die Verwirklichung dieser Vorschläge zeigt Bild 4. Hier



Bewertung von Motor und Kraftstoff durch Nenn-Oktanzahl und Bewert

Bei Motoren ist der Bewert negativ, bei Kraftstoffen positiv.
Der Motor a hat milde, der Motor b hat strenge Betriebsbedingungen.
Der Kraftstoff I ist aromatischer, der Kraftstoff II ist paraffinischer Natur.

Bild 4 Abstimmung von Motor und Kraftstoff

in bedeutet die stark ausgezogene Linie die Nenn-Oktanzahl, die parallel dazu verlaufende dünne Linie die unter günstigeren Verhältnissen ermittelte Oktanzahl, und der Abstand dieser beiden Linien den OZ-Bewert. Dieser ist deshalb für den Motor negativ, für die Kraftstoffe aber positiv, weil alle Nenn-Oktanzahlen aus Sicherheitsgründen auf die ungünstigsten Betriebsverhältnisse bezogen sind. Deren Milderung bedingt eine Verringerung des OZ-Anspruchs des Motors und eine Steigerung der OZ des Kraftstoffes. So läuft im Beispiel nach Bild 4 der Motor a gerade klopflos mit einer paraffinischen Eichmischung von der MOZ 74. Wird der gleiche Motor aber mit einem Benzin-Benzol-Gemisch anstelle mit der paraffinischen Eichmischung betrieben, so verbessert die milde Betriebsweise des Motors a das Klopfverhalten des Benzolgemisches mehr als dasjenige der Eichmischung. Deshalb erweist sich jetzt das Benzolgemisch mit der MOZ 68 gleichwertig der Eichmischung mit der MOZ 74. Der Oktanzahlbedarf des Motor a kann also mit OZ 74 - 6 angegeben werden.

In ähnlicher Weise wird der Kraftstoff I am Klopfmotor mit strengen Betriebsbedingungen (z. B. Motor-Methode) mit der MOZ 69 bestimmt, während eine Messung unter milden Betriebsverhältnissen (z. B. Research-Methode) eine um 5 Einheiten größere ROZ ergibt. Der Klopfwert des Kraftstoffes I kann demnach mit OZ 69 + 5 angegeben werden.

Bei Motoren, die infolge milder Betriebsbedingungen einen großen Bewert aufweisen, kann die Nenn-OZ des Kraftstoffes kleiner sein als der OZ Bedarf des Motors. Dies ist auf Bild 4 links dargestellt. Hingegen muß bei Motoren mit kleinem Bewert (das sind thermisch stark belastete Motoren, vgl. rechte Seite von Bild 4) die Nenn OZ des Kraftstoffes ebenso groß sein wie der OZ Bedarf des Motors. Kraftstoffe, welche die gleiche oder eine größere OZ besitzen als dem OZ-Bedarf des Motors entspricht, sind also in allen Fällen ausreichend klopflos.

Prüfweisen

Von den vielen Prüfweisen, die heute bei der Oktanzahlbestimmung von Benzenen benutzt werden, ist die Motor-Methode die gebräuchlichste. Die besonders in Amerika noch benutzten Verfahren haben keine größere Bedeutung erlangen können; oft verdrängen sie ihre Anwendung nur dem Bestreben, aus Werbegründen große Zahlenwerte für die Oktanzahl zu erhalten.

Eine Ausnahme hiervon bildet die Army-Air-Corps-Methode für Flugbenzine, die aus Beobachtungen des amerikanischen Flugbetriebes heraus dort an einem besonderen Klopfmotor entwickelt worden ist. Auch in Deutschland hat man der Untersuchung von Flugbenzinen besondere Beachtung geschenkt. In einer Prüfanlage, die unter möglichster Verwendung von Teilen des Flugmotors gebaut und unter ähnlichen Verhältnissen wie dieser betrieben wird, wird die Überladbarkeit der Flugkraftstoffe ermittelt (DVL-Überladeverfahren). Die hierbei erhaltenen Richtwerte sucht man aus Vereinfachungsgründen auch an kleineren Motoreinheiten zu erhalten, wozu der I.G.-Prüfmotor, der I.G.-Prüfdiesel und das Oppauer Verfahren geeignet erscheinen. Die Entwicklung ist hier noch nicht abgeschlossen.

Für die Zwecke der Betriebsüberwachung und Abnahme, wo man es mit der stets gleichen Kraftstoffart zu tun hat, genügt die Oktanzahlbestimmung nach einer einzigen Methode (z. B. Motor-Methode). Die nach diesem Einpunktverfahren erhaltenen Erkenntnisse werden wesentlich erweitert durch Prüfen unter geänderten Bedingungen (z. B. Research-Methode) wie im Abschnitt „Klopfwertangabe“ bereits ausgeführt worden ist.

Weitere Entwicklung der Klopfwertbestimmung

Die Klopfwertbestimmung nimmt heute einen derartig wichtigen Platz bei der Beurteilung des Kraftstoffes ein, daß sie aus der Reihe der Untersuchungsmethoden nicht mehr wegzudenken ist. Demgemäß laufen die Bestrebungen heute nur noch darauf hinaus, die Untersuchung als solche einfacher, rascher und zuverlässiger zu gestalten.

Die Bemühungen, den Klopfmotor bei der Klopfwertbestimmung entbehrlich zu machen, werden fortgesetzt. Bisher ist solchen Versuchen (Jentsch, Marder) der Erfolg versagt geblieben. Auch die Beurteilung nach chemisch-physikalischen Daten zeigte unbefriedigende Ergebnisse. So blieben zunächst nur die Bemühungen, den Klopfmotor und besonders seine Meßanlage weiter zu entwickeln.

Wie schon ausgeführt, sind mit steigender Entwicklung von Motor und Kraftstoff die Betriebsverhältnisse bei der Oktanzahlbestimmung auf ihre Zweckmäßigkeit nachzuprüfen. Eine Änderung der Betriebsbedingungen mit dem Ziel, die Ergebnisse auf dem Prüfstand denen im Fahrbetrieb noch besser als bisher anzupassen, ist also durchaus möglich.

Gangbar erscheint auch der Weg, Diesekraftstoffe, die bisher nach der Cetanzahl, und Ottokraftstoffe, die nach der Oktanzahl bewertet werden, in einer einzigen Maßeinheit auszudrücken. Wie Versuche des Technischen

Prüfstandes gezeigt haben, ist dies durchaus möglich. Allerdings tritt hierbei eine Umbewertung mancher Kraftstoffe ein, über deren Bedeutung für die Praxis erst weitere Untersuchungen Klarheit schaffen müssen.

Wie schon erwähnt, werden in Deutschland Fahr- und Flugbenzine nach getrennten Prüfweisen untersucht. Da hierbei für handelsübliche Benzine der Unterschied in der Bewertung nicht besonders groß ist, könnte man sich für laufende Messungen auf ein einziges Verfahren beschränken, wofür wegen der internationalen Verbreitung die Motor-Methode in Frage käme. Früher durchgeführte Versuche des Technischen Prüfstandes hatten gezeigt, daß die Prüfstand-bewertung nach der Motor-Methode auch in Deutschland in brauchbarer Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Fahrpraxis steht. Selbstverständlich bleibt die Bedeutung der Research-Methode für wissenschaftliche Untersuchungen unangewandelt; manche Mißverständnisse könnten aber bei Verwendung von nur einer einzigen Prüfweise vermieden werden.

Prüfung von Dieseldraftstoffen

Von Dipl.-Ing. L. KÖHLER

Der Technische Prüfstand verfügt über ein neuzeitlich und gut emgerichtetes Motorenlaboratorium zur Untersuchung und Entwicklung von Dieseldraftstoffen, sowie zur Erforschung der Verbrennungsvorgänge im Dieselmotor. Die Einrichtungen wurden zum großen Teil auf dem Prüfstand selbst entwickelt und sind vielfach Vorbild für andere Forschungsstellen geworden.

Als Prüfgeräte werden hauptsächlich kleine Einzylindermotoren verwendet, jeder für sich auf einem eigenen Fundamentsockel aufgestellt, sodaß sie sich bei den Messungen nicht gegenseitig durch Erschütterungen stören können. Die Einzylindermotoren sind leicht zu handhaben, können gut überwacht werden, und sind deshalb für Prüfungen und Versuche mit Dieseldraftstoffen besonders geeignet. Sie haben weiterhin den Vorteil, daß bereits kleine Kraftstoffmengen für die Versuche genügen.

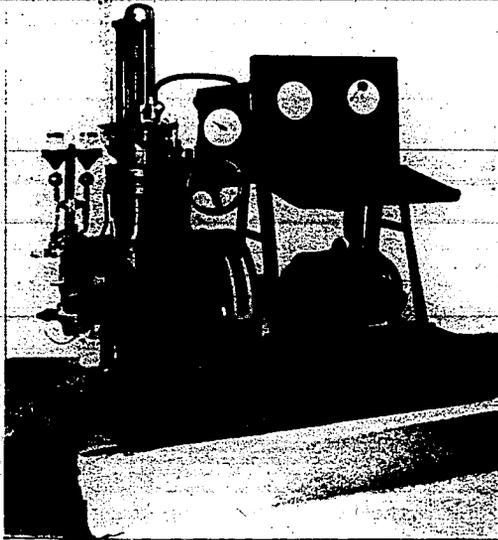


Bild 1. Der I.G. Prüf-diesel mit den Meßeinrichtungen

Der wichtigste und am meisten verwendete Prüf-motor ist der I.G.-Prüf-diesel, von dem mehrere Stück vorhanden sind. Hiermit wird die Zündwilligkeit, d. h. die Cetanzahl, sowie der Druckverlauf während der Verbrennung gemessen. Dieser Motor sowie das an ihm verwendete Zündverzugsverfahren zur Bestimmung der Cetanzahl wurden auf dem Techn. Prüfstand entwickelt und sind durch Verfügung des Reichsverkehrsministers zur Norm für das deutsche Reichsgebiet erhoben worden. Der I.G.-Prüf-diesel wird serienmäßig von den Motoren-

Werken Mannheim hergestellt und in mehr als 50 Stück auf den verschiedensten Prüfständen, auch des Auslandes, verwendet. Mit ihm können alle Kraftstoffe vom schwer zündenden Teeröl bis zu den zündwilligsten Synthesekraftstoffen untersucht werden. Die Cetanzahl des Kraftstoffs läßt sich bei der Messung sofort an einem Cetanzahlmesser ablesen. Das Verdichtungsverhältnis kann durch einfaches Verstellen an einem Handrad beliebig zwischen 1 : 30 : 1 und 1 : 5 : 1 eingestellt, ebenso der Einspritzbeginn weitgehend verändert werden, sodaß dieser Motor insbesondere auch für allgemeine Versuche gut geeignet ist. Zur Messung des Zündverzuges und des Druckverlaufes wird ein piezoelektrischer Indikator benutzt, an dessen Entwicklung sich der Technische Prüfstand zusammen mit der Betriebskontrolle Oppau gleichfalls beteiligt hat. Mittels sinnvoll emgerichteter Geräte kann der Druckverlauf als stehendes Bild zusammen mit den verschiedensten Kennmarken, z. B. dem Einspritzbeginn der Duse, dem Totpunkt und bestimmten Einstellmarken, auf einem Leuchtschirm sichtbar gemacht werden.

Außer dem I.G. Prüf-diesel ist für die Cetanzahlmessung noch ein HWA-Motor vorhanden, der bekanntlich nach dem Drosselverfahren arbeitet.

Für grundsätzliche Untersuchungen über die Verbrennung im Dieselmotor wurde ein dem I.G.-Prüf-diesel ähnlicher Motor mit einem Glasfenster ausgerüstet. An diesem wird die Flammenausbildung bei verschiedenen Brennstoffen und Einspritzdosen untersucht.

Weitere Prüfmotoren dienen zur Messung der Verkokungsneigung der Kraftstoffe. Für die Verkokungsneigung gibt wohl der Conradsonstest einen Anhalt, jedoch ist vielfach die unmittelbare Prüfung im Motor notwendig. Durch geschickte Wahl der Laufbedingungen lassen sich diese im üblichen Motor mitunter lange dauernden Versuche auf sehr kurze Laufzeiten beschränken.

Zur Messung der Leistung und des Verbrauches mit den verschiedensten Kraftstoffen sind eine Reihe weiterer Dieselmotoren vorhanden, die grundsätzlich alle praktisch wichtigen Verbrennungsverfahren umfassen. Neben Einzylindermotoren stehen hierfür auch Mehrzylinder-Fahrzeugmotoren von Daimler-Benz, MAN usw. zur Verfügung. Für sehr zähflüssige Kraftstoffe wurde ein Dieselmotor mit besonderen Aufheiz- und Warmhaltevorrichtungen der Kraftstoffleitungen und Einspritzorganen ausgerüstet. Es können damit auch Rückstandskraftstoffe oder „Fließkohle“, die für Schiffs- oder ortsfeste Anlagen von Bedeutung sein können, leicht erprobt werden. Umgekehrt können in einem Kältehaus auch Motorversuche bei einer Kälte bis zu -30° durchgeführt werden.

Neben den Prüfmotoren besitzt das Dieselmotorenlaboratorium noch eine Reihe von Prüfeinrichtungen um unabhängig vom Motor besonders interessierende Fragen zu klären. Mit diesen Einrichtungen wird z. B. die Zerstäubung des Kraftstoffes, sowie die mengenmäßige Spritzcharakteristik während des Spritzvorgangs und dessen

Veränderung durch Verschleiß der Düse bei ungeeignetem Kraftstoff geprüft. Zur Beobachtung des Kraftstoffstrahlwurden weitere Geräte entwickelt, die an anderer Stelle beschrieben sind. Hingewiesen werden soll hier noch auf Versuche in Bomben, in denen die Entzündlichkeit von Kraft- und Schmierstoffen in z. B. sauerstoffangereicherter Luft abhängig vom Druck und von der Temperatur gemessen werden.

Ergänzt werden diese auf dem Prüfstand durchgeführten Versuche durch die Erprobung im Fahrversuch auf der Landstraße, für die ein eigener Lastwagen zur Verfügung steht. Außerdem können wir uns stets weitere Fahrzeuge für die Versuche ausleihen.

Die motorische Prutung der von den Erzeugerstellen der I. G. zugesandten Kraftstoffe, sowie der von den chemischen Forschungslaboratorien, z. B. dem Animon-Laboratorium Oppau und den Hochdruckversuchen Lu, entwickelten Kraftstoffproben nehmen naturgemäß einen wesentlichen Anteil der laufenden Arbeiten ein. Daneben prüfen wir auch die Kraftstoffe anderer Erzeuger, z. B. die auf dem Markt erhältlichen Tankstellendiesekraftstoffe, um stets einen genauen Überblick über die Beschaffenheit sämtlicher Diesekraftstoffe zu besitzen. Jährlich werden mehrere hundert Diesekraftstoffe untersucht. Außer diesen Kraftstoffprüfungen führt

der Technische Prüfstand auch eigene Forschungsarbeiten durch, insbesondere über die Erforschung des Verbrennungsablaufes in Dieselmotoren, sowie über die Verbrennungseigenschaften der Diesekraftstoffe. In grundsätzlichen Untersuchungen wurden z. B. die Betriebszustände untersucht, die auf die Länge des Zündverzuges, sowie für den rauhen Gang des Motors und für gute Leistung von Einfluß sind. Es wurde hierbei beobachtet, daß höhere Verdichtung, sowie höhere Kühl- und Ansauglufttemperatur den Zündverzug verringern, hohe Drehzahl sowie zu frühes und zu spätes Einspritzen des Kraftstoffes den Zündverzug vergrößern, daß dagegen die Einspritzmenge allein auf den Zündverzug nur geringen Einfluß hat. Bemerkenswert ist die Feststellung, daß für gute Leistung ein verhältnismäßig großer Zündverzug mit entsprechend großer Voreinspritzung am günstigsten ist. Einen Überblick über das Zündverhalten der Kraftstoffe entsprechend ihrem chemischen Aufbau gibt die nachstehende Tafel. Die aromatischen Kraftstoffe unterscheiden sich von den paraffinischen nicht allein durch ihre geringe Zündwilligkeit, sondern besitzen im allgemeinen auch den steileren Druckanstieg, d. h. sie haben die größere Zündgeschwindigkeit. Eine Cetanzahl-erhöhung ergibt daher auch allgemein keine höhere Leistung, sondern eine Verbesserung des Anlaßverhaltens beim Starten des Motors, sowie ruhigeren Gang während des Betriebes.

Zahlentafel: Cetanzahlen und Stoffwerte von Kraftstoffen, gemessen im I. G.-Prüfdiesel nach dem Zündverzugsverfahren

Kraftstoff	Cetan-zahl	Dichte (20°)	Siedebereich 5 bis 95°	Viscosität (20°)	Stockpunkt	Flammpunkt n. T.
Athanol		0,800	76-78	0,9	< 30	< 20
Methanol	< 0	0,808	66	0,8	< 30	< 20
Reinbenzol		0,879	81	0,65	< 4	< 20
α -Methyl-naphthalin		1,02	245-247	3,12	< 30	115
Propan	0	0,563	um -40		< 190	< 20
Treibgas		0,54	um -30		< 30	< 20
Steinkohlenteeröl	5	1,05	215-380	7,8	0	95
Steinkohlensäure		1,05	240-325	26	< 30	> 100
Tetralin rein	10	0,971	200-210	2,3	< 30	
Iso-Octan rein	15	0,692	94-96	0,7	< 30	< 20
Cyclo-Hexan rein		0,777	78-82	1,25	< 6	
S 300 (Dieselbezugs-kraftstoff)	20	0,870	200-260	1,93	< 30	75
Fahrbenzin OZ 74	25	0,735	55-160	0,6	< 30	< 20
Braunkohlenöl	30	0,920	245-330	5,3	-16	105
Grundbenzin OZ 65		0,735	50-195	0,6	< -30	< 20
Gasöl aus gekracktem Erdöl	35	0,890	220-300	5,0	-45	85
Treiböl aus Braunkohle-Schmelze		0,885	210-330	3,5	-15	80
Schieferöl	40	0,875	244-345		< -20	105
Schmieröl (Shell 38)	42,5	0,905	über 350	28 _{sp}	-12	225
Schmieröl (Gargoyle AE)		0,900	über 350	25 _{sp}		226
Dekalin rein	45	0,815	210-225		< 30	
Tankstellen-Gasöle aus Erdöl	45 bis 50	0,845 bis 0,850	225-360	3,6 bis 5,0	15 bis 25	85 bis 90
Diesekraftstoff II		0,830	200-300	3,25	-25	85
n-Hexan rein	50	0,660	68-70	0,6	< 30	< 20
Petroleum		0,800	160-320	1,55	< 30	51
Schmieröl (Esssolub)	55	0,880	über 350	11,2	-31,5	231
n-Heptan	57	0,680	93-95	0,7	< 30	< 20
Gasöl aus paraffinischem Erdöl		0,840	250-360	5,6	< 30	> 65
n-Octan	60	0,704	125-128	0,8	< 30	< 20
Cetan	85	0,780	285-290	3,9	-26	
Synthese-Diesöl		0,775	220-320	2,85	-12	91
Cetan		0,775	287-290	4,55	-16	136
RCH-Cetan	100	0,785	300-320	5,80	-14,5	

Zwischen der Cetanzahl und der Oktanzahl wurde die folgende angenäherte Beziehung gefunden: $CaZ = 60 - 0,5 OZ$.

Während des Krieges ist eine Verknappung an den früher verwendeten Tankstellen-Dieselmotoren eingetreten. Der Technische Prüfstand hat daher ausgedehnte Versuche durchgeführt, um auch andere Kraftstoffe, z. B. Benzin und Flüssiggas, sowie Generatorgas, für den Dieselmotor brauchbar zu machen. Benzin wurde mit Verdickungsmitteln (Schmieröl und Oppanol B 200) für die Einspritzorgane des Dieselmotors leichter verarbeitbar gemacht, sowie durch Zusatz von Zündbeschleunigern und hochzündwilligen Kraftstoffen auf eine günstigere Zündwilligkeit gebracht. Die Versuche mit gasförmigen Kraftstoffen in Dieselmotoren, wobei das angesaugte Gas-Luftgemisch mit einer kleinen Menge Dieselmotorkraftstoff gezündet wird, führten zur Entwicklung eines einfachen Regelventils (Abb. 2), mit dem eine gute Leistungsregelung des Dieselmotors geschaffen wurde. Die versuchsweise Umstellung des Fahrzeugparks in Leuna auf das Diesel-Gasverfahren war vom Amt für Wirtschaftsausbau dem Technischen Prüfstand in Zusammenarbeit mit dem Prüfstand in Leuna übertragen worden. Trotzdem Flüssiggas heute für Dieselmotoren nicht mehr

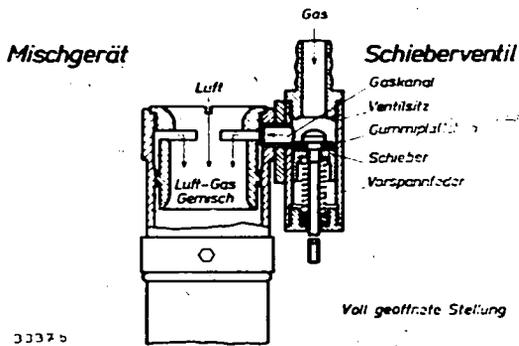


Abb. 2 Gasregelventil für einen Fahrzeugmotor

freigegeben wird, sind die meisten damals auf das Diesel-Gasverfahren umgestellten Fahrzeuge in der Hauptsache Henschelfahrzeuge wegen ihrer guten Betriebs-eigenschaften heute noch durch Sondergenehmigung in Betrieb und es würden nachträglich noch weitere von uns auf dieses Verfahren umgestellt.

Über Anlaßhilfsmittel für Dieselmotoren bei Kälte

Von Dipl.-Ing. H. LEIB

Das Anlassen der Brennkraftmaschinen erfordert im Gegensatz zu anderen Kraftmaschinen schon bei Normaltemperaturen besondere Vorkehrungen, die durch die Art des Arbeitsverfahrens bedingt sind. Wird dort, wie z. B. bei der Dampfmaschine eine arbeitsfähige Füllung zugeführt, so findet hier in der Maschine selbst eine Energieumwandlung statt, die zu ihrer Einleitung bestimmte Zustände im Verbrennungsraum voraussetzt. Der eingespritzte Kraftstoff muß bei Dieselmotoren in möglichst feiner Verteilung gleichmäßig im Brennraum vorhanden sein. Die Tropfeneinheit ist dabei abhängig von der Geschwindigkeit, mit der der Strahl eingespritzt wird, während die Verteilung von der Gasbewegung im Zylinder und somit von der Kolbengeschwindigkeit abhängt. Tropfeneinheit und Verteilung sind also beide abhängig von der Drehzahl des Motors. Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß bei schwerflüchtigen Brennstoffen, wie Dieselöl noch größerer Wert auf gute Zerstaubung als bei leichtflüchtigen zu legen ist. Es genügt aber die feine Verteilung des Brennstoffes allein nicht, denn zur Einleitung der Zündung muß die Luft durch die Verdichtung auf bestimmte Temperatur gebracht worden sein.

Während nun im Betrieb durch die Schwingkraft bei warmer Maschine Verdichtungsdruck- und -temperatur zur Zündung ausreichen, wirken dieser Forderung beim Anlassen schon bei Normaltemperatur und in viel größerem Maße bei Kälte verschiedene Umstände entgegen. Bei der niedrigen Anlaßdrehzahl und kaltem Zylinder stehen zur Wärmeabfuhr an den Wandungen mehr Zeit zur Verfügung, außerdem macht sich die Undichtigkeit an den Kolbenringen und Ventilen weit stärker bemerkbar, als dies in warmem Zustand der Maschine der Fall ist. So wird z. B. bei kalter Maschine und einer Drehzahl von 100/min nur eine Verdichtungs-temperatur von etwa 300° C erreicht (s. S. 15), während zur Selbstzündung eines Gasöl-Luftgemisches etwa 400° C notwendig sind. Die warme Maschine erreicht dagegen bei derselben Drehzahl und Verdichtung 550--600° C*).

Zu den Zündschwierigkeiten tritt noch die Erhöhung des Anlaßdrehmomentes durch die Abkühlung des Schmieröls, besonders wenn der Wagen über Nacht im Freien steht. So steigt der Durchdrehwiderstand bei einer Abkühlung von +10° C auf -10° C auf etwa das dreifache**); bedenkt man, daß außerdem die Kapazität der Batterie auf einen Bruchteil ihres Wertes bei Normaltemperatur sinkt, so sieht man, welchen Schwierigkeiten bei einem Start bei kalten Temperaturen zu begegnen ist.

Die Herabsetzung des Durchdrehwiderstandes kann durch Vorheizung des Schmieröls, oder, wie in der Flugzeugpraxis öfters angewendet, durch Beimischung von Benzin zum Schmieröl vor dem Start erreicht werden. Durch letzteres Mittel wird die Zähigkeit des Öles und somit die Reibungsarbeit vermindert. Während des Warmwerdens der Maschine verbrennt und verdampft das Benzin im Zylinder und Kurbelgehäuse, so daß das Schmieröl

nach kurzer Zeit seine notwendige Viskosität wieder erreicht. Zur Verminderung der Anlaßarbeit kann das Einsetzen der Zündung durch wärmetechnische Hilfsmittel, wie Vorheizung des ganzen Motors oder der Ansaugluft, oder durch Einspritzen niedrigsiedender, leichtentzündlicher Stoffe in den Zylinder oder in das Ansaugrohr erleichtert werden.

Dem Technischen Prüfstand war die Aufgabe gestellt worden, zunächst ein geeignetes Hilfsmittel zur Anwarmung der Ansaugluft zu entwickeln. Die bei einigen Dieselmotortypen eingebauten elektrischen Ansaugluftheizungen (Glühföhen) haben einen erheblichen Stromverbrauch und belasten die während des Starts ohnehin aufs äußerste beanspruchte Batterie, während Glühkerzen, die bei den meisten Vorkammermaschinen Anwendung finden, bei tiefen Temperaturen vielfach nicht ausreichen. Zur praktischen Verwendung wird an ein solches zusätzliches Hilfsmittel vor allem die Forderung einfacher Anwendung gestellt. Es mußte daher von dem Grundsatz ausgegangen werden, einen Heizstoff zu schaffen, der bei hohem Heizwert, leichter Entzündbarkeit doch eine gefahrlose Handhabung ermöglicht. Auch soll er zur größtmöglichen Wärmeausnutzung ohne verteuernenden Wärmeaustauscher direkt im Saugrohr des Motors verbrannt werden, was wiederum Aschefreiheit bedingte.

Es wurde nun am Technischen Prüfstand in Verbindung mit dem Ammoniaklabor die „Startkohle“ entwickelt. Diese besteht aus einem Gemisch von aschefreiem Kohleextrakt und Chemikalien, die als Sauerstoffträger und Zündbeschleuniger wirken. Ihr Aschegehalt liegt unter 0,2%, die Startkohle kann also unmittelbar im Ansaugrohr abgebrannt werden. Für die Versuche war die Startkohle in Tabletten von je 20 g gepreßt worden, wobei die Beimischungen so gewählt sind, daß eine Tablette in etwa 10--15 Min. in ruhiger Luft abbrennt, während im Saugrohr des Motors je nach dem Sog die Brenndauer bis auf 3--5 Min. herunterging. Die Entzündung erfolgt mit einem Streichholz oder nach Aufbringen eines Zündkopfes an der Reibfläche einer Streichholzsachtel. Je stärker nun der Sog des Motors ist, desto rascher gelangt die Startkohle in Weißglut und gibt die entwickelte Wärme an die Ansaugluft ab. Der Heizwert der Startkohle beträgt 3500 kcal/kg, bei einem Tablettengewicht von 20 g also 69 kcal je Tablette.

Die Versuche wurden an einem Heereseinheitsdieselmotor im Kälteraum des Technischen Prüfstandes durchgeführt, dessen Einrichtung es gestattet, Versuche bis zu einer Raumtemperatur von -30° C durchzuführen, wobei die Kuhlflüssigkeit des Motors in einem besonderen Kühler, der mit dem Kältemittel (Ammoniak) in Verbindung steht, zusätzlich gekühlt wird. Der verwendete Motortyp ist ein Sechszylinder-Fahrgenuehmotor mit 6,2 Liter Hubvolumen und 80 PS Leistung.

Es wurde zunächst festgestellt, daß für eine Außen-temperatur von -20° C die zum sicheren Start notwendige Menge 80 g Startkohle, bei tieferen Temperaturen bis -30° C 100-120 g beträgt (entspr. 4-6 Tabletten). Dabei wurde der Motor durch den elektrischen Anlasser mit

*) Johannis, ATZ, 1938, S. 34.

**) Calben, ATZ, 1938, S. 352.

80-130 U/min durchgedreht. Im Vergleich mit der serienmäßigen elektrischen Flanschheizung zeigte sich, daß die Lufttemperatur im Saugrohr innerhalb 30 Sek. auf etwa das Doppelte der elektrischen Heizung ansteigt, was sich besonders auf die Verkürzung der Startzeit auswirkt, wobei jedoch auch bei längerer Startzeit die Lufttemperatur bei Verwendung von Startkohlen gegenüber elektrischer Heizung wesentlich (20-30°C) höher liegt. Über die erreichten Anlaßzeiten im Vergleich zur elektrischen Heizung gibt folgende Zahlentafel eine Übersicht:

Vergleich der Anlaßzeiten für Aufheizung der Verbrennungsluft mit Startkohlen und elektrischer Heizung

Außen-temperatur t	Startkohle				Elektrische Heizung 720 W			
	Anlaß-zeit	Menge g	Er-zeugte Wärme in kcal		Ver-brauch Anlaßzeit	Ver-brauch Energie	Erzeugte Wärme in kcal während des Starts	
-5 bis -10	25-70	80	260		140-220	20-	28	41
-10 bis -15	25-100	80	260		220-340	20-	41	62
-15 bis -20	30-130	80	260		340-400	300-	110	130
-20 bis -25	40-200	80	100-130		kein Anlaß			
-25 bis -30	40-300	100-120-130-300			kein Anlaß			

Man sieht, daß die Anlaßzeiten bei elektrischer Heizung auch bei wenigen Kaltgraden die doppelten bis dreifachen Werte wie bei Startkohle betragen. Bei tieferen Temperaturen (-15 bis -20°C) betragen sie sogar das Vierfache. Die erzeugten Wärmemengen sind bei der Startkohle aus dem Heizwert, bei der elektrischen Heizung aus der angelegten Spannung (12 V), der aufgenommenen Strommenge (60 A) und der Anlaßzeit berechnet. Man sieht, daß auch bei der längen Vorgelühzeit von 5 min bei elektrischer Heizung nur etwa die Hälfte der Wärme gegenüber der Aufheizung mit der Startkohle frei wird (110-130 kcal, gegenüber 260 kcal bei Startkohle), womit sich die längen Anlaßzeiten, sowie die Unmöglichkeit bei tieferen Temperaturen die Luft genügend zu erwärmen, erklärt.

Auf Bild 1 ist die Abhängigkeit der Startzeit von der Raumtemperatur aufgetragen. Bei den erheblichen Streuungen, die bei den Anlaßversuchen auftreten,

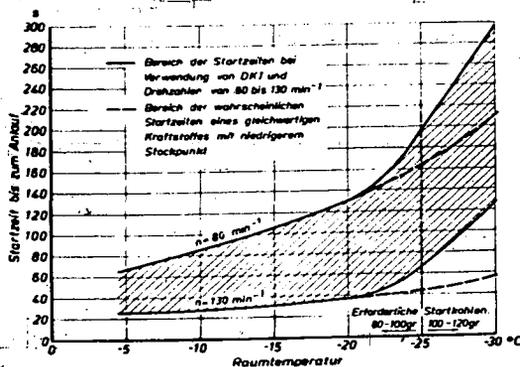


Bild 1. Startzeiten in Abhängigkeit von der Raumtemperatur

kann nur ein Gebiet angegeben werden, in welches die Werte für die Anlaßzeiten zu legen kommen. Die obere Grenze ist durch die bei den Versuchen als niedrigste erreichte Anlaßdrehzahl von 80 U/min, die untere Grenze durch die höchste Anlaßdrehzahl von 130 U/min gegeben. Bei -20°C tritt ein scharfer Knick ein, der dadurch hervorgerufen wird, daß hier Unregelmäßigkeiten in der Kraftstoffmischung durch Auskristallisierung des verwendeten Gases eintreten. Bei Verwendung eines Kraftstoffes mit niedrigerem Stockpunkt dürfte die Kurve etwa nach der gestrichelten Linie verlaufen.

Während des kalten Winters 1941/42 wurden an mehreren Dieselmotoren, die im Freien standen, erfolgreiche Versuche durchgeführt. Bei diesen waren die Motoren z. T. mit Glühkerzen ausgerüstet. Es gelang nun, bei den Motor auch bei abgeschalteten Glühkerzen in Gang zu bringen.

Die glühende Startkohle wurde bei den Versuchen im Kaltstadium in einem Rohrstück mit Siebboden verbrannt, welches auf das Ansaugrohr des Motors aufgesetzt wurde. Es genügt jedoch die Startkohle in einem grobmashigen Siebkorb in das Ansaugrohr von Hand hineinzuhalten, wobei das Sieb verhindert, daß unverbrannte Teile in den Zylinder gesogen werden.

Der in der Startkohle enthaltene Anteil der Sauerstoffträger kann aus Sicherheitsgründen nicht so hoch gewählt werden, daß der Verbrennung nötige Sauerstoff in der Tablette enthalten ist. Messungen ergaben, daß der Sauerstoffgehalt der Luft kurz nach dem Anzünden auf 17% sank, während er, nachdem die Tabletten durchgeglüht waren, 19% betrug. Dem Sauerstoffmangel der Luft begegnet man beim Start wirksam dadurch, daß man nach einigen Umdrehungen des Motors, wobei Ansaugrohr und Zylinder aufgeheizt werden, dafür sorgt, daß Frischluft zufließt. Nach erfolgter Zündung ist es zweckmäßig, dem Motor wieder die durch die glühende Startkohle vorgewärmte Luft zuzuführen, da er dadurch schneller warm wird.

Die Versuche, die auch vom Heereswaffenamt und von verschiedenen Autofirmen durchgeführt wurden, haben ergeben, daß die Startkohle ein brauchbares Anlaßmittel für Dieselmotoren ist.

2. Ansaugluftheizung durch flüssige Brennstoffe

Die Verwendung fester Brennstoffe erfordert, wie oben beschrieben, keine oder nur geringfügige Änderungen am Motor, bedingt jedoch das Mitführen bzw. den Nachschub einer mehr oder weniger großen Menge des Brennstoffes. Die Anwendung flüssiger Heizstoffe bietet den Vorteil, daß der gleiche Kraftstoff wie zum Betrieb des Motors benutzt werden kann, jedoch sind dazu besondere Vorrichtungen notwendig.

Es wurde nun eine Vorrichtung entwickelt, die zum Aufheizen der Ansaugluft vor dem Ansaugrohr den Kraftstoff des Motors verwendet (siehe Bild 2). Die Wirkungsweise ist folgende: Die vom Motor angesaugte Luft tritt durch ein rückschlagsicheres Sieb in eine zylindrische Kammer ein, in welche durch eine Düse Kraftstoff einge-

saugrohr über 160° C steigt. Da das Luft-Gemisch noch unverbrannten Kraftstoff enthält, wird bei der Verdichtung im Zylinder die Zündung wesentlich erleichtert.

Beim Anlassen ist nur der Kraftstoffhahn zur Düse zu öffnen und der Hochspannungsstrom einzuschalten. Wird der Motor vom Anlasser gedreht, so wird von der Förderpumpe aus die Düse mit Kraftstoff versorgt, welcher sich in der Kammer entzündet.

Wie die Versuche ergaben, wird auch hier die Anlaßzeit wesentlich verkürzt. Es gelang bei 22° C den Motor innerhalb 2-3 Minuten in Gang zu bringen, während dies mit der elektrischen Heizung nicht möglich war.

Beim Vergleich beider Anlaßhilfen, nämlich der Brennkammer für flüssigen Kraftstoff mit der festen Startkohle hat erstere den Vorteil, daß hier der Motor-Kraftstoff verwendet wird und durch den festen Einbau eine bequeme und sichere Handhabung vom Fahrersitz aus möglich ist. Nachteilig ist jedoch der zusätzliche Einbau der Brennkammer, einer besonderen Düse, einer Summerspule, einer Zündkerze sowie elektrischer und Kraftstoffleitungen zum Führerhaus. Bezüglich rascher Beschaffung und Herstellung wird der Vorzug der Startkohle zu geben sein, welche besonders bei Anwendungen an vorhandenen Fahrzeugen weniger Aufwand erfordert.

Die im Vorgehenden beschriebenen Anlaßmittel, die das Erleichtern der Zündung im Brennraum bezwecken, müssen versagen, wenn die Batterie infolge ihrer verminderten Kapazität nach einigen Umdrehungen erschöpft ist, oder infolge Stockens des Schmieröls überhaupt nicht mehr in Stande ist, den Motor durchzudrehen. Zur Verminderung des Anlaßdrehmomentes und zur Erleichterung des Losbrechens des Schmierfilms an den Lagerstellen wird, wie oben schon beschrieben, das Öl mit Benzin vermischt. Es ist aber auch notwendig, daß die Batterie vor dem Abkühlen geschützt wird, da die Kapazität hierdurch sehr stark gemindert wird. Der Technische Prüfstand befaßt sich deshalb auch mit Fragen der Beheizung und Wärmeisolierung der Batterien und auch für andere Zwecke werden Versuche mit Brennern für verschiedenartige Kraftstoffe sowie mit festen Brennstoffen in Zusammenarbeit mit dem Waffenamt und der Fahrzeugindustrie durchgeführt.

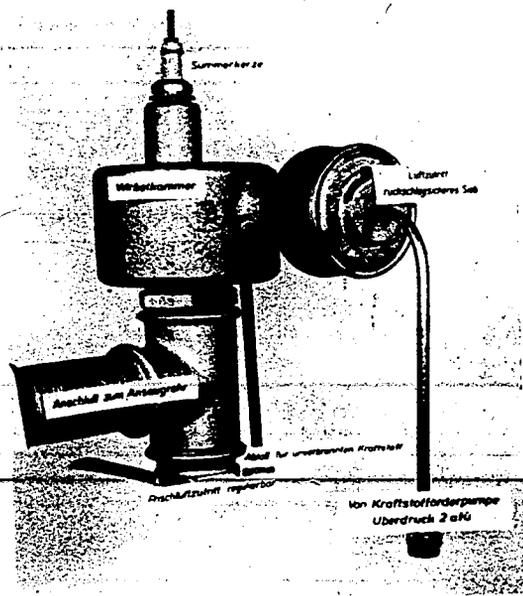


Bild 2 Brennkammer für flüssigen Kraftstoff zur Vorheizung der Ansaugluft

spritzt wird. Die Kraftstoffleitung zur Düse wird von der Hauptkraftstoffleitung zwischen Förderpumpe und Einspritzpumpe abgezweigt. Das Kraftstoff-Luftgemisch wird nun in der Kammer durch einen Hochspannungsfunken (Sommerkerze) entzündet, wobei durch exzentrische Anordnung des Luftentriffs in die Kammer eine rasche Kreisbewegung der Luft erzielt wird und unverbrannte Kraftstoffteilchen ausgeschleudert werden. Die heißen Verbrennungsgase, gelangen mit Frischluft vermischt in das Ansaugrohr des Motors, wobei, wie Messungen ergaben, in kurzer Zeit die Temperatur im An-

Der Hesselman-Motor und seine Kraftstoffe

Von Dipl.-Ing. W. WETSCHAKOWSKI

Der Hesselman-Motor im Vergleich zum Otto- und Dieselmotor

Das wichtigste Unterscheidungsmerkmal der mit flüssigen Kraftstoffen betriebenen Verbrennungsmotoren ist die Art der Zündung. Die Dieselmotoren, bei denen der Kraftstoff in die hochverdichtete Verbrennungsluft kurz vor dem oberen Totpunkt eingespritzt wird, arbeiten mit Selbstzündung, die Otto-Motoren dagegen, bei denen die Zündung durch den elektrischen Funken der Zündkerze erfolgt, mit Fremdzündung.

Der Hesselman-Motor als Vertreter der mit mittlerer Verdichtung, Kraftstoffeinspritzung und Fremdzündung arbeitenden Motoren ist nach der Zündungsart zu den Otto-Motoren zu zählen, obwohl er, wie der Dieselmotor, nur die Verbrennungsluft verdichtet und der Kraftstoff kurz vor dem oberen Totpunkt eingespritzt wird. Die Verdichtung ist also erheblich geringer als beim Dieselmotor, sodaß Fremdzündung wie beim Otto-Motor notwendig ist.

Die Verwendungsmöglichkeit*) der flüssigen Kraftstoffe in den drei Motorenarten wird von dem Siedeverhalten, der Selbstzündungstemperatur und der Klopfintensität der Kraftstoffe bestimmt. Der mit Vergaser ausgerüstete Otto-Motor erfährt die Kraftstoffe mit einem Siedebereich von 40 bis 200° C. Hoher siedende Kraftstoffe führen zu Kraftstoffdurchschlag und Schmierstoffverdünnung. Schwer siedende Kraftstoffe kommen danach nur für den Dieselmotor in Frage. Bei dem mit Verdichtungshubeinspritzung arbeitenden Hesselman-Motor wird die Gefahr der Schmierstoffverdünnung erheblich verringert, da die Zündung schon 20 Kurbelgrad nach Beendigung der Einspritzung erfolgt. Der Hesselman-Motor ist also nicht so eng an den Siedeverlauf der Kraftstoffe gebunden wie der Otto-Motor. Für den Hesselman-Motor können danach leicht und schwer siedende Kraftstoffe Verwendung finden.

Beim Dieselmotor soll mit Rücksicht auf eine sichere Einleitung der Zündung die Selbstzündtemperatur der Kraftstoffe etwa 100 bis 150° unter der Verdichtungstemperatur des Motors liegen. Damit ist für die Dieselmotoren hinsichtlich der Höhe der Selbstzündtemperatur eine Grenze gesetzt.

Die Praxis hat ergeben, daß die Cetanzahl der Dieselmotorenkraftstoffe, die bekanntlich ein Maß für die Zündwilligkeit ist, den Wert 40 nicht unterschreiten soll. Schwersiedende aromatische Kraftstoffe, wie sie bei der Hydrierung oder Schwelung anfallen, scheiden danach für den Dieselmotor aus, da sie eine Cetanzahl um etwa 0 haben. Andererseits sind wenig zündwillige Kraftstoffe wieder sehr klopfest, was sich aus der Gegensätzlichkeit von Zündwilligkeit und Klopfintensität ergibt. Solche schwersiedenden Kraftstoffe kommen demnach für den Hesselman-Motor, der klopfeste Kraft-

stoffe erfordert und dabei weniger vom Siedeverhalten abhängig ist, in Frage. Die Kraftstoffbasis für den Hesselman-Motor ist demnach eine größere als die des Diesel- oder Otto-Motors (Bild 1). Beispielsweise konnte

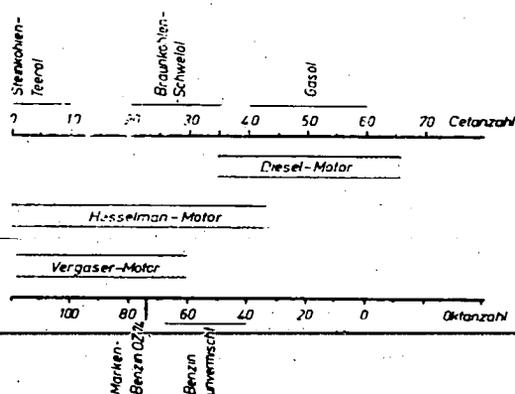


Bild 1. Motorische Verwendungsmöglichkeiten der Kraftstoffe für Schnelllaufmotoren

ein mit Benzin betriebener Hesselman-Motor in kürzer Zeit und ohne große Schwierigkeiten auch auf Steinkohlenteeröl oder einen anderen Schwerkraftstoff umgestellt werden.

Die geringste Wartung mit der größten Betriebssicherheit verbindet heute der Vergasermotor, denn Vergaser und elektrische Zündung geben heute kaum noch zu Störungen Anlaß. Nachteile des Vergasers sind jedoch einmal die unzureichende Gemischbildung im Leerlauf und bei Teillast, zum anderen die mangelhafte Gemischverteilung auf die einzelnen Zylinder bei Mehrzylindermotoren.

Beim Dieselmotor wird der harte Gang und die Neigung zum Klopfen bei Teilbelastung, insbesondere im Leerlauf, als nachteilig empfunden. Auf die Rauch- und Geruchbelastung des Dieselmotors ist ein Ubelstand, der sich nie gänzlich vermeiden läßt. Der Hesselman-Motor vermeidet die Nachteile des Vergasermotors, da er mit Kraftstoffeinspritzung arbeitet. Rauch- und Geruchbelastung kann beim Hesselman-Motor allerdings auch auftreten, wenn die Kraftstoffzuführung oder die elektrische Zündung mangelhaft ist.

Hesselman-Motoren und ihre Eigenschaften

Die den Hesselman-Motor**) kennzeichnenden wichtigsten Bauteile sind schon mehrfach behandelt worden:

*) Wetschakowski „Über die Verwendungsmöglichkeit des Hesselman-Motors“ ATZ, Heft 7, 1941.

**) Wilke „Untersuchungen am Hesselman-Motor“, ATZ, Heft 2, 1938.

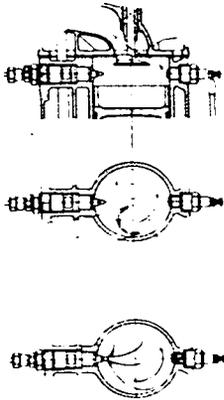


Bild 2. Drehbewegung der Luft im Hesselman-Motor

1. Der tassenförmige Hohlkolben mit besonders hochgezogenem Kolbenrand, um den Kraftstoffdurchschlag zu vermeiden (Bild 2).
2. Die besondere Anordnung und Formgebung der Ein- und Auslaßkanäle im Zylinderkopf mit dem Ziel einer kreisenden Luftbewegung im Verbrennungsraum.
3. Der mit der Kraftstoffpumpe verbundene Luftregler für die Regelung des Kraftstoffluftgemisches bei Teillast (Bild 3).

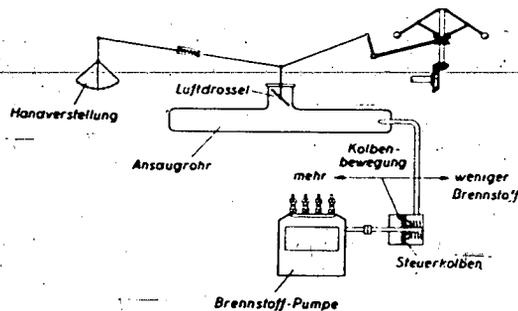


Bild 3. Schema des Hesselman-Luftreglers

Motoren dieser Bauart werden außer in dem Ursprungsland Schweden vornehmlich in Amerika gebaut. In Amerika entstanden der Waukesha-Motor von der Waukesha-Motor-Company und der Allis-Chalmers-Motor von der Allis-Chalmers Manufacturing Company. In dem ersten Fall handelt es sich um einen 6-Zylindermotor mit einem Gesamthubraum von 47,5 ltr. und einer Leistung von etwa 360 PS bei $n = 1200$ U/min, in dem zweiten Fall um einen Fahrzeugmotor von 13,8 ltr. Hubraum. Auf-

schlußreich sind die Vorteile, die man diesen Motoren zuschreibt:

1. Unempfindlichkeit gegen Kraftstoffwechsel.
2. Verbrennungsdrücke nicht höher wie beim Vergasermotor.
3. Verwendung der Bauteile und Werkstoffe vom Vergasermotor.
4. Sicheres Anspringen des kalten Motors ohne verwickelte Anlaßvorrichtungen.

Da die Wärme- und Druckbeanspruchung beim Hesselman-Motor nicht höher ist als bei einem gleich starken Vergasermotor, so war es möglich, mit den Bauteilen und Werkstoffen des Vergasermotors auszukommen.

Die Druckverhältnisse beim Verbrennungsablauf des Hesselman-Motors im Vergleich zum Fahrzeug-Dieselmotor zeigt sehr anschaulich das Bild 4. Danach beträgt



Bild 4. Verbrennungsverlauf bei $n = 1000$
a. Fahrzeugdieselmotor b. Hesselman-Motor

beim Hesselman-Motor für einen Verdichtungsdruck von 11 at der Verbrennungshöchstdruck 31 at, beim Fahrzeugdieselmotor sind die entsprechenden Werte 30 und 50 at. Aufschlußreich für die unterschiedliche Druckbeanspruchung beider Motorarten ist auch der Druckanstieg dp/dq in at/sec bzw. dp/dq in at²/Kw. Beim Dieselmotor rechnet man bei nichtklopfendem Betrieb mit einem dp/dq -Wert von 12000 at/sec bei einer Drehzahl von 1000/min einem dp/dq Wert von 2 at²/Kw entsprechend. Die mit Piezo-Quarzindikatoren beim Hesselman-Motor gemessenen Werte betragen dagegen nur 8000 at/sec bzw. 1,3 at²/Kw.

Untersuchungen am Hesselman-Motor

Der Technische Prüfstand, der sich nicht nur mit Kraftstoff und Schmierstofffragen, sondern auch mit motorischen Verfahren beschäftigt, hat ausführliche Untersuchungen zuerst an einem von der Hesselman-Motor-Corporation in Stockholm zur Verfügung gestellten Einzylindermotor, später auch an einem 4-Zylinder-Hesselman-Somua-Fahrzeugmotor durchgeführt. Über die Einzylinder-Versuche wurde von Herrn Prof. Wilke anlässlich der Tagung „Kraftverkehr und Kraftmaschinen“ der Brennkrafttechnischen Gesellschaft und der Gesellschaft für Mineralölforschung im Jahre 1937 in einem Vortrag „Untersuchungen am Hesselman-Motor“ berichtet. Neben allgemein interessierenden Fragen, wie Leistung, Kraftstoffverbrauch und Einfluß der Änderung des Einspritzpunktes oder des Zündzeitpunktes oder der Einspritzdauer, sollte vor allem die Kraftstoffempfindlich-

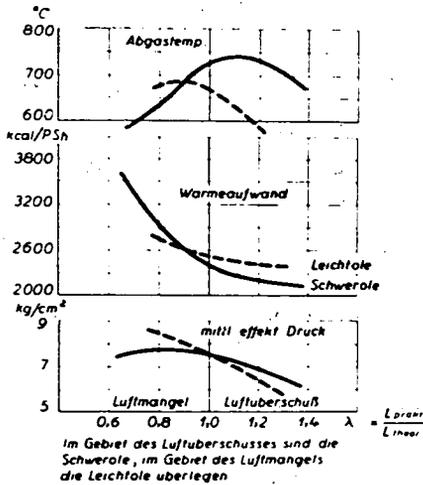


Bild 5 Hesselman-Motor (Gegenüberstellung von Leicht- und Schwerölen)

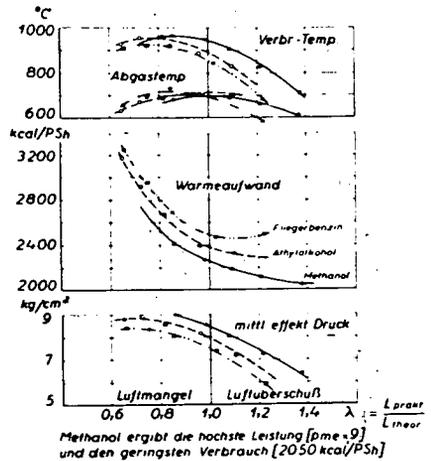


Bild 6 Hesselman-Motor (Versuch mit Alkoholen)

keit des Hesselman-Motors und sein Klopfverhalten geprüft werden. Eine Gegenüberstellung der Leistung, des Wärmeverbrauchs und der Abgastemperatur bei Betrieb des Hesselman-Motors mit Leicht- und Schwerölen zeigt das Bild 5. Danach weisen die Leichtöle im Luftüberschußgebiet einen höheren Kraftstoffverbrauch und im Kraftstoffüberschußgebiet eine höhere Leistung auf als die Schweröle. Sehr gute Ergebnisse wurden auch mit Alkoholen erzielt, wie aus Bild 6 hervorgeht. Mit Methanol wurde beispielsweise ein mittlerer Nutzdruck von

9 at erreicht, während der günstigste Verbrauch bei 2050 kcal/PS.h lag. Weitere Untersuchungen am Einzylindermotor über das Klopfverhalten ergaben, daß der Hesselman-Motor mit Kraftstoffen geringerer Klopfintensität auskommt als der Vergasermotor. Der Einzylindermotor erforderte beispielsweise bei einer Verdichtung von 17,5 für klopfreien Vergaserbetrieb einen Kraftstoff von einer Oktanzahl um 75. Für Einspritzbetrieb wurde dagegen eine Oktanzahl von etwa 60 ermittelt.

Versuche mit Fahrzeuggeneratoren

Von Dipl.-Ing. L. KÖHLER

Der Fahrzeuggenerator für fossile Brennstoffe hat erst jetzt im Kriege durch die Verknappung an flüssigen Kraftstoffen seine Bedeutung für die Kraftfahrt erhalten. Der Technische Prüfstand sieht hier seine Aufgabe in der Prüfung verschiedener Generator-Brennstoffe, sowie in der Verbesserung des Generatorbetriebes. Die Versuche werden an verschiedenen Brennstoffen auf dem Prüfstand und im Fahrbetrieb durchgeführt.

An Brennstoffen wurden bisher neben aschearmem Anthrazit Braunkohlenschwelkoke aus rheinischer, mitteldeutscher und sudetenländischer Braunkohle, sowie Steinkohlenschwelkoke aus dem ober-schlesischen, Ruhr- und Saarbergbau untersucht. In der nachfolgenden Tafel 1 sind von obigen, bisher noch fast durchweg versuchsmäßig hergestellten Brennstoffen einige analytische Untersuchungsdaten wiedergegeben.

Zweckmäßig ist für den Gaserzeuger ein aschearm, schwefelarmer, reaktionsfähiger Brennstoff von 5 bis 15 mm Korngröße, der auch im Feuer gute Festigkeit besitzt. Wie vorstehende Tafel zeigt, hat der aschearme Anthrazit nur etwa 1/2 soviel Asche wie die meisten Schwelkoke. Mit Anthrazit verschlackt der Generatorherd am wenigsten und muß nicht so häufig als mit Schwelkoks

ausgeräumt werden. Für den aschereichen Brennstoff über 6% Asche sind Generatoren mit einem mechanischen Schlackenaustrag, z. B. mittels Rüttelrost, am zweckmäßigsten. Der Schwefelgehalt beträgt mit einigen Ausnahmen, z. B. beim Mitteldeutschen Braunkohlenschwelkoks mit 4,7%, meist nur 0,4 bis 0,85%, der jedoch trotzdem durch Korrosionen in den Gasleitungen und im Motor sehr stört und besondere Filter erforderlich macht. Wichtig ist auch eine hohe Reaktionsfähigkeit des Brennstoffes, da hiervon das Anzünden des Generators und seine Lebensdauer bei Belastungsschwankungen wesentlich abhängen. Die beste Reaktionsfähigkeit haben im allgemeinen die Braunkohlenschwelkoke, die deshalb, wenn ihr Aschegehalt nicht so hoch wäre, für den Fahrzeuggenerator besonders geeignet sein müßten. Bei den Steinkohlenschwelkoken ist vorteilhaft zur Erhöhung der Reaktionsfähigkeit der Gehalt an Fluchtigen zwischen 8 bis 10% und die Korngröße des Brennstoffes zwischen 5 bis 15 mm zu wählen, da ein weniger ausgegaster Brennstoff und ein kleines Korn sich am leichtesten vergasen lassen. Das Schüttgewicht und der Heizwert sind für die einzelnen Brennstoffe recht verschieden und es ergeben sich hieraus beträchtliche Unterschiede in den Reichweiten mit einer Generatorfüllung. Anthrazit hat den größten

Tafel 1
Analyse-daten von Anthrazit und Schwelkoken

Brennstoff	Anthrazit Nuß IV	Braunk. Schwelkoks			Steink. Schwelkoks		
		Sudeten- land	Rhein- land	Mittel- deutsch- land	Ober- schlesien I	Ober- schlesien II	Saar
Körnung mm	5-18	0-8	25x55	20-30	20-30	5-15	20-50
Große-Feuchtigkeit %	0,0	13,6	0,50	2,13	3,6	0,9	2,4
Wasser %	0,7	3,0	4,06	3,9	3,5	2,9	1,07
Asche %	3,17	10,0	10,2	27,8	8,2	6,6	9,9
Teer %		0,73	0,77	0,89			Spuren
Flüchtige %	9,7	17,3	17,3	5,0	3,4	3,9	8,7
Schwefel %	0,84	0,98	0,84	4,75	0,6	0,4	0,48
Heizwert kcal/kg	8170	6680	6510	5815	7380	7550	7290
Schüttgewicht kg/l	0,75	0,46	0,65	0,65	0,53	0,64	0,36
Liter-Heizwert	6120	3070	4240	3780	3910	4830	2620
Zerreibfestigkeit (20 Min. getrommelt)							
Abrieb unter 5 mm in angeliefertem Zustand	21%	14%	16%	9,3%	10%	10%	18,5%
Abrieb der Körnung 8-10	54%			34%	33%	31%	43%
Abrieb der Körnung 5-8	16%			8%	14%	9%	16%
Feuerstandsfestigkeit							
Spratzen	wenig	wenig	wenig	wenig	wenig	sehr stark	wenig
Reaktionsfähigkeit							
bei 800° C	17,9	37,0	80,6		21,9	22,7	22,8
„ 900° C	36,4	87,4	95,8		55,7	61,6	46,0
„ 1000° C	71,0	96,7	99,0		96,5	95,9	89,5
„ 1100° C	95,0	99,0	99,6		99,8	99,4	99,0

Reichwert und ist daher am ausgiebigsten. Mit einer dglung Schwellkoks ist die Reichweite nur etwa $\frac{1}{2}$ so groß wie mit Anthrazit. Holz ist am ungünstigsten. Hier beträgt die Reichweite nur etwa $\frac{1}{3}$ derjenigen von Anthrazit.

Neben diesen Brennstoffprüfungen sind weitere Versuche im Gange, um die Vorteile und Nachteile der Vergasung mit und ohne Wasserzusatz zu bestimmen. Den im allgemeinen ohne Wasserzusatz arbeitenden Quersstromvergaser mit Luftdüse ruhm man wegen seiner kleinen Vergasungszone von hoher Reaktionstemperatur eine gute Anpassungsfähigkeit an rasche Belastungsschwankungen nach. Ein wesentlicher Vorteil ist neben seiner konstruktiven Einfachheit auch die einfache Gasreinigung, da der Generator ein trockenes Gas liefert. Der Aufstromvergaser hat dagegen Wasserzusatz, der dampfförmig mit der Luft unter dem Rost eingeleitet wird, und eine große Vergasungszone mit etwas geringerer Temperatur. Er reagiert auf Belastungsänderungen langsamer, ist dafür aber nicht so brennstoffempfindlich wie der wasserlose Vergaser, da die Schlacke granuliert wird und durch den Rüttelrost hindurchfällt. Die Regelung des Wasserzusatzes erfordert besondere Einrichtungen und verursacht besonders im Winter mancherlei Schwierigkeiten. Das in diesem Generator erzeugte Gas ist jedoch heizwertreicher wie die nachstehende Tafel 2 zeigt.

Tafel 2

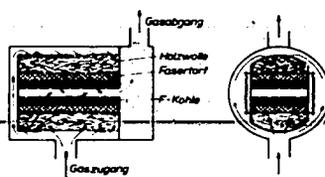
Zusammensetzung und Heizwert von Generatorgas

	Generatorgas aus:			
	Anthrazit in aufsteigende Vergasung		Holz mit 15% 30% Feuchtigkeit	
Gaszusammensetzung				
CO Vol%	21	28	20,5	13,6
H ₂ Vol%	17,3	6	18,9	17,9
CH ₄ Vol%	1,4	0,9	1,7	1,3
CnHm Vol%	0,0	0,0	0,1	0,3
CO ₂ Vol%	8,9	2,7	11,4	15,4
N ₂ +O ₂ Vol%	51,4	62,4	47,4	51,5
H _u kcal/Nm ³	1200	1130	1270	1035

Gerade für den Fahrbetrieb ist ein Gas mit gutem Heizwert und hoher Verbrennungsgeschwindigkeit notwendig. Generatorgas enthält jedoch nur verhältnismäßig wenig brennbare Bestandteile und hat einen niederen Heizwert, so daß bei Umstellung von Benzin auf Gasbetrieb ein etwa 40%iger Leistungsverlust des Motors in Kauf genommen werden muß. Bei nasser Vergasung wird ein Gas mit über 40% brennbaren Bestandteilen erhalten, das wasserstoffreich ist und daher die günstigeren Zünd- und Verbrennungseigenschaften hat. Ohne Wasserzusatz

beträgt der Anteil an brennbaren Bestandteilen nur etwas mehr als 30%, in der Hauptsache Kohlenoxyd. Bei der thermischen Spaltung des Wassers wird neben Wasserstoff auch Sauerstoff erzeugt, der sich mit dem CO zu CO₂ vereinigt und als solches im Gas größtenteils erhalten bleibt. Bekanntlich hemmt jedoch CO₂ die Verbrennung, sodaß es den Ansehen erweckt, als wenn hierdurch die Vorteile des Wasserzusatzes teilweise wieder vernichtet würden.

Besonderer Wert wird vom Technischen Prüfstand auch auf die Verbesserung des Generatorbetriebes durch eine gute Gasreinigung, sowie durch Erhöhung der Reaktionsfähigkeit des Brennstoffes und leichtes Anzünden des Generators gelegt. Durch das vom Technischen Prüfstand entwickelte TP-Gasfilter werden neben Staub und Teernebel auch die schädlichen gasförmigen Schwefelverbindungen aus dem Generatorgas entfernt. Ein solches, zur Gewinnung einer großen Oberfläche doppelwirkend ausgebildete Filter, Bild 1, besteht aus je einer Schicht Holz-



T. P. Gasfilter

wolle, Fasertorf und F-Kohle. Die Holzwolle hält den groben Staub zurück, der Fasertorf die Aerosole — den feinsten Staub und die Teernebel — und die F-Kohle entfernt die gasförmigen Schwefelverbindungen aus dem Gas.

Bei den durchgeführten Messungen konnte der meist etwa 2—3 g/cbm betragende Staubgehalt des Gases auf den sehr günstigen Wert von 0,017 g/cbm verringert werden. Auch der Schwefelgehalt läßt sich schon mit sehr dünnen Filtern von wenigen cm praktisch unschädlich machen. Zur Erhöhung der ziemlich geringen Reaktionsfähigkeit der Generatorbrennstoffe sowie zur Verbesserung des Schlackenflusses wurden Alkalien, z. B. Soda, Natronkalk, vorgeschlagen. Das schwierige Anzünden des Gaserzeugers konnte durch eine besondere Generator-Zündkohle, die beim Anfachen in Weißglut versetzt wird, wesentlich erleichtert werden. Weitere Versuche beziehen sich auf die Veränderung des Schmieröls und des Abbrandes der Zündkerzen beim Betrieb des Motors mit dem Generatorgas.

Der Technische Prüfstand findet bei diesen Arbeiten wertvolle Unterstützung durch die chemischen Forschungslaboratorien des Werkes, wie das Ammon-Labor Oppau, die Generatoren-Versuche Oppau und die Hochdruckversuche Ludwigshafen.

Motorische Schmierölprüfung

Von Dipl.-Ing. W. LAUER

Bei der Anwendung von Schmiermitteln ist es abgesehen von wenigen Fällen, wie bei der Verwendung in hochbelasteten Lagern, langsamlaufenden Getrieben und ähnlichen Maschinen, bis heute schwierig, etwa auf Grund der physikalisch-chemischen Eigenschaften eine Beurteilung der Eignung für den Verwendungszweck vorzunehmen. Bei den meisten Anwendungsgebieten ist deshalb vor dem Einsatz eines Schmierstoffs eine praktische Erprobung in Apparaturen bzw. noch sicherer in der betreffenden Maschine zweckmäßig. Ganz besonders aber gilt dies für die Auswahl von sehr druck- und temperaturbeständigen Schmierstoffen für Verbrennungsmaschinen.

Der technische Fortschritt der letzten Jahre, besonders aber die in Deutschland erfolgte schnelle Entwicklung von Hochleistungsflugmotoren mit ihren immer mehr gesteigerten Forderungen an den Schmierstoff zwang dazu, hergebrachte Erfahrungen über die Eignung solcher Stoffe aufzugeben.

Bei dieser raschen Entwicklung, bei der auch die synthetische Schmierstoffherzeugung maßgebend beteiligt ist, kann naturgemäß die rein wissenschaftliche Seite der Forschung, d. h. das Wissen um die physikalisch-chemischen Grundlagen der Schmierstoffe nicht Schritt halten. Man ist deshalb weitgehend auf den Motorversuch als Grundlage für die Bewertung der Schmieröle und die Richtung der Weiterentwicklung angewiesen.

Für die Verwendbarkeit eines Schmierstoffs in Verbrennungsmotoren sind eine Reihe von Eigenschaften maßgebend, von denen die wichtigsten sind:

1. **Schmierwirkung.** Der Stoff soll bei den im Motor vorhandenen mechanischen Beanspruchungen der gleitenden Teile insbesondere am Kolben und an den Ringen druckfest sein, d. h. ein Arbeiten im Gebiet der flüssigen Reibung ermöglichen.
2. **Dichtwirkung.** Er soll bei den im Motor herrschenden Temperaturen noch so viskos sein, daß der Schmierfilm in der Kolbenringzone eine Abdichtung des Kolbens erreicht.
3. **Temperaturfestigkeit.** Der Schmierfilm soll die unter 1. und 2. geforderten Eigenschaften auch bei den höchsten beim Kolben und Zylinder auftretenden Temperaturen nicht verlieren.
4. **Rückstandsneigung.** Bei der thermisch-oxydativen Beanspruchung des Schmierstoffs, soll derselbe möglichst wenig feste Ausscheidungen, wie Ölkohle, Asphalte, Schlamm u. ä. ergeben, da diese Ausscheidungen zu einem Verkleben und Festbacken der Kolbenringe und der Ventile, sowie Verschmutzung des Triebwerkes und Störungen des Motorbetriebes führen.
5. **Alterung des Schmierstoffs** hinsichtlich unerwünschter Viskositätsänderungen. Die bei der Herstellung eines Schmierstoffs eingestellten Zähigkeitswerte sollen möglichst während längerer Betriebszeit des Motors erhalten bleiben, da eine Zunahme dieser Werte, d. h. eine Verdickung Schwierigkeiten beim Start des Motors nach Betriebspausen besonders in der Kälte ergibt.

Von diesen Punkten, die nur die hauptsächlichsten Eigenschaften kurz andeuten sollen, ist besonders die Rückstands-bildung von Bedeutung. Während in den meisten Fällen die Schmier- und Dichtwirkung der Schmierstoffe befriedigend ist, bestehen hinsichtlich Menge und Art der entstehenden Rückstände noch beträchtliche Unterschiede. Zum anderen ist der physikalisch-chemische Vorgang dieser Erscheinung hinsichtlich der Bedingungen und Einflüsse ziemlich verwickelt und eine Laborprüfung kann, wie schon erwähnt, nie die Verhältnisse und Einflüsse, wie sie im Motor vorhanden sind, wiedergeben. Aus diesen Gründen ist diejenige Prüfung, die eine sichere Bewertung des Schmierstoffs ermöglicht, der Dauerprüf-lauf im Motor.

Wenn nun auch einzelne Motorbaumuster die Schmierstoffe unter etwas verschiedenen Bedingungen beanspruchen, so ist es trotzdem möglich, durch Wahl der Bedingungen, entsprechend den höchsten auftretenden Beanspruchungen, im Prüfverfahren allen Anforderungen Rechnung zu tragen. Aus diesen Überlegungen heraus hat sich ein luftgekühlter Flugmotor, Baumuster BMW 132 N Neunzylinder, als Prüfgerät eingeführt. Der Motor selbst ist im Hinblick auf die Herabsetzung der erforderlichen Probemengen, wie die Abbildung 1 zeigt, als Einzylinder

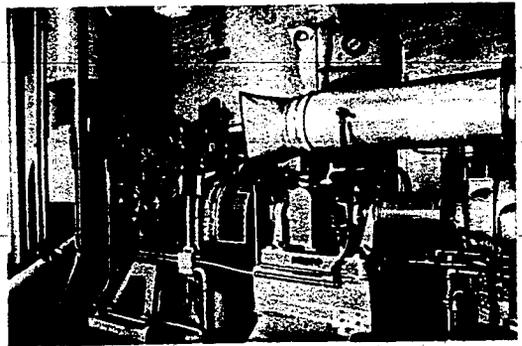


Bild 1. Flugmotor Baumuster BMW 132 N Einzylinder

umgebaut. Im folgenden soll eine kurze Beschreibung der Durchführung und Anlage der Schmierstoffprüfung einen Überblick über dieses Teilgebiet der Schmierstoffprüfung geben.

Die Eignung eines Schmiermittels für Motoren, insbesondere Flugmotoren, setzt, wie eingangs gesagt, geringe Neigung zu Rückstands-bildung voraus, die Prüfung erfolgt deshalb auch in erster Linie auf diese Rückstands-bildung insbesondere an den Kolbenringen, wo sie am meisten Störungen verursacht. Grundsätzlich beruht das Verfahren darauf, daß bei gleichgehaltenen Betriebsbedingungen die Zeit gemessen wird, bei der ein Festsitzen der Ringe eintritt. Dieses Festsitzen hat zur Folge, daß der Ring in seiner Nut nicht mehr federnd beweglich ist und infolge schlechter Abdichtung ein Teil des Verbrennungsdruckes zwischen Kolben und Zylinderwand in

... Kurbelgehäuse durchschlägt. Dieses Durchschlagen wird mittels eines Mengenmeßgerätes erfaßt. Es steigt bei Versuchsende unter gleichzeitigem Leistungsabfall der Maschine von rd. 2% stark an.

Die dabei erforderliche Konstanz der Betriebsbedingungen, sowie die Erfassung der wesentlichen Versuchsergebnisse wird, mittels zusätzlicher Einrichtungen erreicht.

Die Leistung und der Verbrauch wird mittels Feineinstellung der Luft und des Brennstoffverbrauchs auf $\pm 0,5\%$ geregelt, wobei eine Schnellwaage die Leistung und ein Brennstoffmeßgerät in Verbindung mit einem Umdrehungszähler die Drehzahl und den Verbrauch anzeigt.

Die Ansaugluft wird durch einen elektrischen Durchstromerhitzer selbstständig auf gleicher Temperatur gehalten. Für besondere Zwecke kann der Druck der Ansaugluft mittels Druckreglers unabhängig vom Barometerstand auf gleichbleibender Höhe gehalten werden. Die Temperaturregelung des luftgekühlten Motors erfolgt durch ein mit Feineinstellung der Luftmenge ausgestattetes Gebläse, die Überwachung durch ein am Zylinder angebrachte Thermoelementmeßstellen, welche in Verbindung mit den Ablesegeräten eine Einstellung der Versuchstemperaturen auf $\pm 0,5^\circ\text{C}$ gestatten.

Der Schmierstoffkreislauf wird mengenmäßig erfaßt und der Verbrauch durch stündliche Ergänzung des Ölvorrats auf gleiches Volumen gemessen. Um auch hier den Temperatureinfluß auszuschalten bzw. eine gleichbleibende Beanspruchung zu erzielen, wird die Eintrittstemperatur des Schmierstoffs mit Heizung und elektrischem Feinregler auf 120°C gleichgehalten.

Die Anlage zeigt schematisch folgendes Bild 2. In der Mitte — der Zylinder ist durch den Anblaseluft-

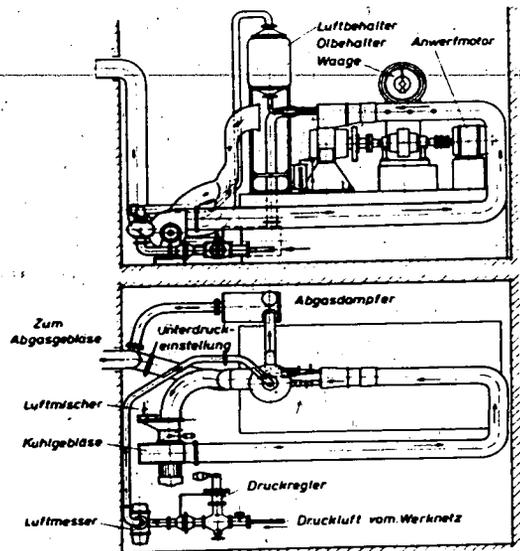


Bild 2: Aufbau des BMW 132 Oberlade- und Schmierstoff Motors

schacht verdeckt — erkennt man den Motor mit Schwungrad und rechts davon die Wasserwirbelbremse mit der Drehmomentwaage. Links oberhalb des Motors der Ansaugluftbehälter mit eingebautem Durchstromerhitzer. Das Kühlluftgebläse links unterhalb arbeitet im Kreisstrom unter regelbarem Zusatz von kalter Frischluft, so daß eine gleichbleibende Kühllufttemperatur eingestellt werden kann. Im Grundriß erkennt man noch den Abgasdämpfer mit Anschluß zum Absauggebläse, welches gleichzeitig einen Teil der erluzten Zylinder-Kühlluft mit absaugt.

Das nächste Bild 3 zeigt eine Aufnahme der Anlage. Im rechten Drittel der Einzylindermotor mit auf-



Bild 3: Gesamtansicht der Schmierstoff-Prüfanlage

gebautem Zylinder und abgenommener Kühlluftführung. Die starke Leitung links ist die Gebläsedruckleitung, rechts unterhalb des Ansaugluftkessels erkennt man den Kühlluftabsaugschacht. Im Vordergrund Mitte die Wasserbremse mit Leistungswaage; der hohe schlanke Zylinder am Motorgehäuse rechts ist der Ölbehälter.

Durch weitgehende Ausrüstung der Regel- und Bedienungsorgane mit Verstellmotoren und eine selbsttätige Einstellung der Betriebsbedingungen verbunden mit Sicherheitsvorrichtungen gegen Störungen kann die gesamte Anlage von einer Person gefahren werden, wobei die Bedienanlage durch schallsisolierende Wände und Mehrscheibenfenster vom Prüfaggregat getrennt ist.

Das nachstehende Bild 4 zeigt den Steuerstand. Auf dem Schalttisch befinden sich an der Rückseite die Druckschalter für Einschaltung der Heizungen, der Gebläse und des Anwerfmotors mit den entsprechenden Kontrolllampen. In der Mitte die Einstellhebel für Luft, Kraftstoff und Zündung, dahinter das elektrische Drehzahlanzeigergerät. Vor den Einstellhebeln erkennt man noch die Einstelltaster für Temperatur und Ladeluftdruck, links an der Vorderseite die Grobeinstellung der Ansaugluft- und Schmierstoffheizung. Der linke Aufbau enthält von oben nach unten: Zwei Manometer für den Schmierstoffdruck, vier Ablesegeräte für die Temperaturmeßstellen, die wahlweise mittels eines unterhalb in der Tischplatte eingebauten zwanzigteiligen Meßstellenschalters eingeschaltet werden können; darunter zwei Strommesser für die Luft und Schmierstoffheizung und ganz unten die dazugehörigen selbsttätigen Feinregler, sowie dazwischen ein Kontrollinstrument für die Zündung.



Bild 4. Ansicht der Bedienanlage des Schmierstoff Prüfmotors.

Im rechten Aufbau befinden sich oben zwei Strommesser für die Gebläse, darunter der Mengemesser mit Schreiber für den Gasdurchtritt ins Gehäuse und ganz unten zwei Druckmesser für den Brennstoffdruck und für das Druckwasser der Leistungsbremse. Seitlich links erkennt man außerdem ein Doppel-Flüssigkeitsmanometer für den Kühlflüssigkeitsdruck und den Abgasrückstau.

Durch das Bedienungsfenster ist rechts das Brennstoffmeßgerät und in der linken Hälfte der Motor mit Leistungswaage zu sehen. Die Breite des Fensters gestattet vom Bedienungstisch aus den Motorraum vollständig zu überblicken.

Die Bewertung eines Probelaufes erfolgt nun nach verschiedenen Gesichtspunkten:

Während des Laufs werden folgende Punkte bewertet:

Je nach Schmierfähigkeit und Dichtwirkung des Schmierstoffes ergibt sich ein charakteristischer Verlauf der Gasdurchtrittskurve. Bei guter Schmierwirkung ist der Gasdurchtritt gleichmäßig und niedrig, während schlechte Schmierung sich in einem durch kurzzeitige Zerstörung des Schmierfilms stark schwankenden Durchblasen äußert. Über den Verbrauch des Schmierstoffes gibt die Verbrauchsmessung Aufschluß, der Verlauf des Öl-drucks, sowie die Analyse von Proben, die während des Laufs entnommen werden, geben Anhaltspunkte über die Verdickung, Verseifung, Fremdstoffe, Abrieb u. a.

Die Laufzeit ist ein Maß für die Zeit nach der im Flugbetrieb Störungen durch Rückstände eintreten können und damit die wichtigste Grundlage zur Beurteilung.

Der Ausbaubefund erlaubt den Zustand und die Lage der Kolbenringe, die Art des Festbrennens, sowie durch eine gewichtsmäßige Bestimmung ihren Verschleiß. Form, Lage und Menge der Rückstände am Kolben werden aufgezeichnet und gewogen. Auf Grund dieser Merkmale erfolgt dann eine Beurteilung des Schmierstoffes hinsichtlich der geforderten Eigenschaften.

Das beschriebene Prüfverfahren ist besonders durch seine weitgehende Bedienvereinfachung für Reihenuntersuchungen geeignet. Durch die angewandten Bedingungen können die Versuchszeiten auf ein erträgliches Maß herabgesetzt werden, wobei im Durchschnitt eine Versuchsdauer von 10-12 Stunden erreicht wird. Die Meßgenauigkeit ist für betriebsmäßige Prüfung von Schmierstoffen ausreichend. Derartige Prüfstände, von denen mehrere im Gebrauch sind, haben sich als wertvolles Hilfsmittel bei der Entwicklung von Schmierstoffen bewährt.

Reibung und Verschleiß bei Schmierung

Von Dipl.-Ing. R. HALDER

Das Schmieröl hat vor allem den Zweck, Reibung und Verschleiß zu verhindern. Die Prüfung von Schmierstoffen muß sich daher besonders mit diesen beiden Erscheinungen befassen. Die Verfolgung der Vorgänge bei Schmierung und die Erläuterung der einzelnen Schmerzzustände erfolgt am besten an einem allgemein bekannten Maschinenteil, an einem Gleitlager. Dabei soll die Untersuchung bei veränderlicher Drehzahl, aber gleichbleibender Belastung durchgeführt werden.

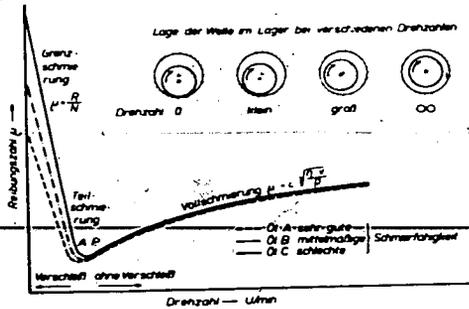


Bild 1. Schmerzzustände im Gleitlager bei 3 Ölen gleicher Viskosität

Bild 1 zeigt schematisch den Verlauf der Lagerreibungszahl in Abhängigkeit von der Wellendrehzahl bei Verwendung von drei Ölen gleicher Zähigkeit aber verschiedener Schmierfähigkeit. Beginnt man die Betrachtung im Gebiet hoher Drehzahlen, so erkennt man, daß in diesem Betriebszustand die drei Öle gleiche Reibungszahlen ergeben. Lager und Welle sind dabei durch eine verhältnismässig dicke Schmierschicht voneinander getrennt, die imstande ist, den gesamten Lagerdruck aufzunehmen. Die Welle schwimmt auf Öl, wobei die Exzentrizität von Welle und Lager nur gering ist. Wenn es möglich wäre, die Drehzahl bis ins Unendliche zu steigern, würde die Welle konzentrisch im Lager laufen und die Schmierschicht würde ihre größtmögliche Stärke erreichen. Senkt man dagegen die Drehzahl, so nähert sich die Welle immer mehr dem Lager. Gleichzeitig fällt die Lagerreibungszahl ab, bis zu einem Umkehrpunkt, dem sog. Ausklinkpunkt. Von da ab steigt die Reibungszahl sehr rasch an bis zu einem Höchstwert bei $n \approx 0$, wobei in diesem Zustand die Welle auf dem Lager aufsitzt. Dieser Ausklinkpunkt ist von besonderer Bedeutung. Bei Drehzahlen oberhalb des Ausklinkpunktes herrscht der Zustand der Vollschmierung und es gelten nur die hydrodynamischen Gesetze. Die Höhe der Reibungszahl richtet sich bei gleichen mechanischen Verhältnissen, also bei gleichem Flächendruck, gleicher Drehzahl und gleicher Ausbildung des Lagers ausschließlich nach der Zähigkeit. Daher geben alle Flüssigkeiten gleicher Zähigkeit ungeachtet ihrer sonstigen chemischen und physikalischen Eigenschaften gleiche Reibungszahlen. Dieser Schmierzustand ist besonders erstrebenswert, denn es tritt kein Verschleiß auf.

In der Gegend des Ausklinkpunktes trennen sich die Reibungskurven der einzelnen Öle und gehen bei abnehmender Drehzahl eigene Wege. Erst in diesem Gebiet macht sich die Schmierfähigkeit bemerkbar, die dann im Bereich der Grenzschmierung voll zur Geltung kommt. Die gleitenden Metallflächen sind in diesem Betriebszustand mehr durch einen Ölfilm von der Stärke einiger Moleküllschichten getrennt. Infolgedessen können sich keine hydraulischen Verhältnisse ausbilden, sodaß in diesem Gebiet die Zähigkeit ohne Einfluß ist. Die Reibungszahl liegt über 0,1. Im Bereich der Mischreibung oder Teilschmierung, also in der Gegend des Ausklinkpunktes, bestehen Vollschmierung und Grenzschmierung nebeneinander, wobei eine Reibungszahl von $\mu = 0,005$ bis 0,1 gemessen wird. Das Gebiet der Teil- und Grenzschmierung ist in diesem Zusammenhang besonders interessant, da hier Verschleiß auftritt. Es ist daher erfolgreich, diesen Betriebszustand besonders eingehend zu untersuchen.

Die Durchführung solcher Versuche an einem Lager stößt jedoch auf Schwierigkeiten. Das Gebiet der Grenzschmierung kann mit einer derartigen Anordnung kaum erreicht werden. Die nach Überschreitung des Ausklinkpunktes sich anschaukelnden Schwingungen, der zunehmende Verschleiß und die Gefahr der Zerstörung von Welle und Lager machen eine Schmierstoffprüfung im Grenzschmierungsgebiet fast unmöglich.

Im Technischen Prüfstand wird daher zur Messung der Reibungszahl ein Gerät verwendet, das auf sehr einfache Weise die Möglichkeit gibt, Schmierölproben geringer Menge ohne großen Aufwand hinsichtlich Reibungsverhalten zu prüfen. Es handelt sich um ein Gerät, das erstmals von Charron *) angegeben und im

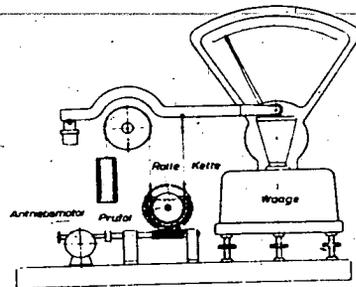


Bild 2. Reibungs-Prüfmaschine

Technischen Prüfstand weiterentwickelt wurde. Der Aufbau ist aus Bild 2 zu entnehmen. Um eine polierte Stahlrolle, die durch einen Elektromotor in langsame Drehung versetzt wird, ist auf halben Umfang auf der Unterseite

*) Publications Scientifiques et Techniques de Ministère de l'air, Heft Nr. 131, 1938, S. 1-18.

ne kleine Kette gelegt, die an einem Ende durch ein Gewicht belastet ist. Kette und Rolle sind in das Prüflöl taucht, das elektrisch beheizt werden kann. Die Rolle ist in das Bestreben, die Kette in ihrer Drehrichtung mitzunehmen und zwar umso stärker, je geringer die Schlupfziffer bzw. je größer die Reibungszahl des zwischen Rolle und Kette befindlichen Ölfilms ist. Die auftretenden Reibungskräfte können an der Waage gemessen und daraus die Reibungszahlen errechnet werden.

Mit diesem Gerät wurde die Reibungszahl bei Verwendung verschiedener Öle in Abhängigkeit von der Temperatur gemessen. Wie Bild 3 zeigt, lauten die erhaltenen

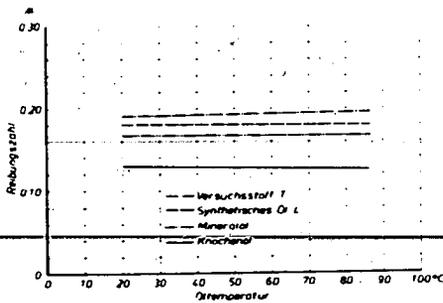


Bild 3. Reibungszahl verschiedener Öle in Abhängigkeit von der Öltemperatur

Kurven zu der Grundlinie fast parallel, ein Zeichen dafür, daß die Messung zähigkeitsunabhängig ist. Von den vier geprüften Ölen liegt Knochenöl mit einer Reibungszahl von 0,12 bis 0,13 mit Abstand am niedrigsten. Dieses Ergebnis entspricht durchaus der Praxis. Man erwartet von einem Öl dieser Art aber nicht nur geringen Reibungswiderstand, sondern auch geringen Verschleiß; denn man ist geneigt, die reibungsvermindernde Wirkung und die Verringerung des Abriebes als identisch zu betrachten. Daß diese Annahme nicht ohne weiteres Gültigkeit besitzt, zeigt folgender Versuch. Drückt man eine sich drehende, öfenetzte Hartmetallscheibe mit einer bestimmten Kraft gegen eine Metallfläche, z. B. Stahl, so erhält man nach einer gewissen Zeit Einschliffe, deren Größe nicht nur von der Belastung, sondern auch von der Ölsorte abhängig

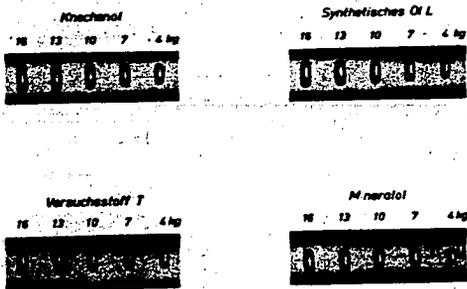


Bild 4. Einschliffe einer Hartmetallscheibe in Stahl bei Schmierung

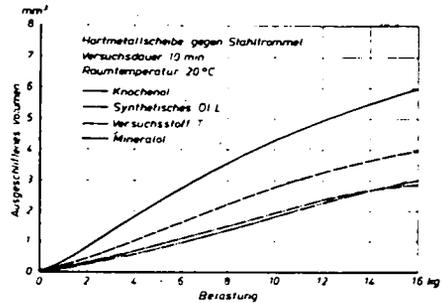


Bild 5. Ausgeschliffenes Volumen in Abhängigkeit von der Belastung

sind; Bild 4. Die Messungen dieser Einschliffe sind in Bild 5 in Abhängigkeit von der Belastung aufgetragen. Es stellt sich heraus, daß hier Knochenöl, das Öl mit der geringsten Reibungszahl den größten Abrieb ergibt, dann folgt Öl L und schließlich das Mineralöl und der Versuchsstoff T mit den gleichen Werten.

Um derart undurchsichtige und komplexe Vorgänge zu erschließen, ist es erforderlich, die Versuche auf eine breitere Basis zu stellen und noch weitere Versuchsgeräte heranzuziehen. Für die weiteren Prüfungen wurde eine Verschleißmaschine verwendet, die im Technischen Prüfstand entwickelt wurde. Sie besteht aus zwei auf einer Welle sitzender Trommeln (Bild 6), die durch Elektro-

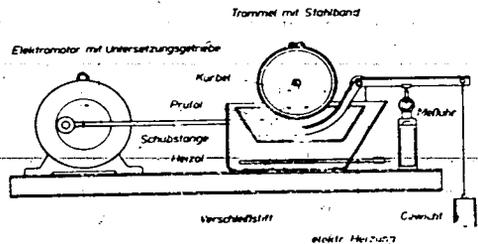


Bild 6. Verschleißmaschine

motor über ein Untersetzungsgetriebe und eine Schubstange in dreh-schwingende Bewegung versetzt werden. Die Trommeln sind mit gehärteten Stahlbändern bespannt, die als Reibfläche dienen. Die Verschleißstücke, die als zylindrische Stifte aus Messing oder Eisen ausgebildet sind, werden von unten auf die Stahlbänder gedrückt und über einen Hebel durch Gewichte belastet. Reibfläche und Verschleißstück sind in das Prüflöl getaucht, das durch ein elektrisch beheiztes Ölbad auf gleichbleibender Temperatur gehalten wird. Die Verkürzung des Stiftes infolge des Verschleißes wird am Belastungshebel mit Hilfe einer Mikrometeruhr in gewissen Zeitabständen gemessen.

Mit diesem Gerät wurden die vier Schmierstoffe geprüft und dabei zunächst Eisenstifte verwendet mit Stahlbändern als Reibfläche, die im Sandstrahlgebläse eine geringe aber gleichmäßige Rauigkeit erhalten hatten. Die

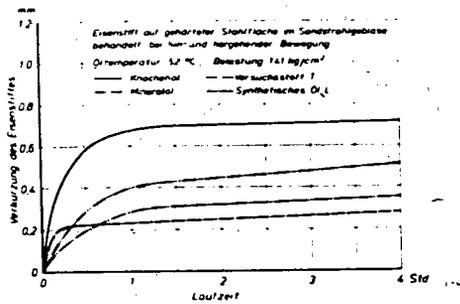


Bild 17. Verkürzung des Eisenstiftes in Abhängigkeit von der Lauzeit

damit erzielten Verschleißkurven zeigt Bild 7. Die Neigung der Tangente an einem beliebigen Punkt der Kurven gibt ein Maß für den augenblicklichen Verschleiß in der Zeiteinheit. In den ersten 10 Minuten weist also auch hier Knochenöl den größten Verschleiß auf, dann folgt das Öl T, und schließlich das Mineralöl und Versuchsstoff T mit annähernd gleichen Werten. Bis hierher besteht also völlige Übereinstimmung mit den Ergebnissen nach Bild 5. Bei Fortsetzung des Versuchs nimmt bei allen Ölen der Verschleiß sehr rasch ab, die Kurven verlaufen schwach ansteigend. Man kann daraus schließen, daß die ursprünglich rauhen Verschleißflächen rasch eine Glättung erfahren, wodurch der Verschleiß herabgemindert wird. Dieser Vorgang spielt sich anscheinend bei dem synthetischen Öl L besonders rasch ab, da hier schon nach 10 Minuten die Abnützung einen sehr geringen Wert annimmt. Es zeigt sich darin bereits eine gewisse Beziehung zur Praxis, denn dieses Öl zeichnet sich durch auffallend geringen Verschleiß aus. Dagegen ist das Verhältnis Verschleiß zu Reibungszahl noch in keiner Weise geklärt. Die Einflüsse, die eine Verschiebung in der Bewertung der Öle hervorrufen können, sind besonders in Bezug auf den Verschleiß sehr zahlreich. Durch Veränderung der Rauigkeit der Gleitflächen, durch Verwendung verschiedener Werkstoffe, durch Veränderung der Flächendrücke und der Gleitgeschwindigkeit und nicht zuletzt durch verschieden lange Versuchsdauer können die Ergebnisse so stark verschoben

werden, daß andere Gütereihenfolgen in der Beurteilung der Öle zustande kommen. Ein Beispiel hierfür gibt Bild 8. Es wurden hier anstelle der Eisenstifte Messingstifte verwendet und als Reibflächen glatte, polierte Stahlbänder. Wie zu erkennen ist, erhält man in der ersten halben Stunde wiederum dieselbe Reihenfolge wie bei den Versuchen nach Bild 5 und 7. Während aber bei Knochenöl und Öl T, die Verschleißkurve nunmehr fast waagrecht verläuft, erhält man mit dem Versuchsstoff T und dem Mineralöl ein sehr starkes, allmählich in eine Gerade übergehendes Ansteigen der Verschleißkurve. Mit diesem Versuch ist bereits eine gewisse Beziehung zu den Ergebnissen der Reibungsversuchen nach Bild 1 geschaffen. Sieht man vom Öl L ab, so ergibt der Verschleißversuch nach Bild 8 dieselbe Reihenfolge in der Beurteilung der Öle wie die Reibungsmessung in der Kettenmaschine.

Durch die Darstellung dieser Versuche sollte gezeigt werden, daß über die Beziehung zwischen der Schmierfähigkeit, der Reibung und dem Verschleiß noch sehr wenig bekannt ist. Es besteht sehr leicht die Gefahr, daß aus kurzen Versuchen, besonders in Bezug auf den Verschleiß Schlüsse gezogen werden, die für den praktischen Fall absolut nicht zutreffend sind und u. U. gerade zu einer gegenteiligen Beurteilung führen können. Versuche auf breiter Grundlage sind daher das dringende Erfordernis einer Schmierstoffprüfung, die den Anforderungen der Praxis gerecht werden soll.

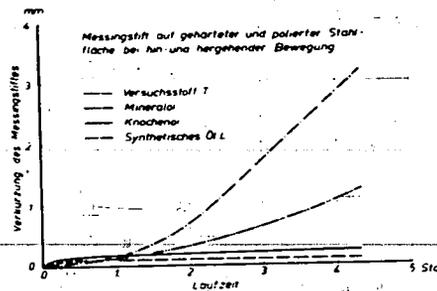


Bild 18. Verkürzung des Messingstiftes in Abhängigkeit von der Lauzeit

Der I. G.-Versuchsmotor

Von Obering I. PENZIG

Entwicklungsarbeiten auf motortechnischem Gebiet ist es immer wünschenswert, grundsätzliche Fragen an Zylindermotoren zu klären. So ist es üblich, große Saugmotoren, oder auch Flugmotoren erst zu bauen, nachdem Versuche an einzelnen Zylindern betriebend vorliegen sind. Andererseits wird man auch Fragen, die beim Betrieb mit Vollmotoren auftreten, in Einzylindermotoren zu klären suchen.

Als vor Jahren das Kraftstoffklopfen eine dringliche Frage wurde, untersuchte man diese Erscheinung zunächst an Zylindermotoren, fand aber sehr bald, daß die Gemengkeiten unbefriedigend war, da die Zylinder als Folge ungleichmäßiger Gemischverteilung sich ganz verschieden verhalten. Man ging deshalb zur grundsätzlichen Untersuchung des Klopfvorganges auf Einzylindermotoren über und als eine Bewertung von Dieselkraftstoffen nötig wurde, stand es von vornherein fest, daß hierfür ein Einzylindergerät angewendet werden mußte. Derartige Sondermotore bieten zugleich den Vorteil, daß Meßmöglichkeiten vorgesehen werden können, deren Anbau am Vollmotor nicht möglich ist.

Die Abmessungen des I. G.-Prüfmotors und des I. G.-Prüfdiesels entsprechen annähernd den Verhältnissen, unter denen die in diesen Geräten geprüften Kraftstoffe angewendet werden. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse stößt also hierin nicht auf Schwierigkeiten. Die Abmessungen von Flugmotorenzylindern liegen jedoch in ganz anderen Größenordnungen. Das Verhältnis des Verbrennungsraumes zu seiner Oberfläche sowie die Strecken, die die Verbrennung zurückzulegen hat, sind so völlig andere, daß es zweckmäßig ist, die Untersuchungen in den Zylindern durchzuführen, die bei Flugmotoren verwendet werden. Es ist dies auch zweckmäßig, weil es sich bei Flugmotoren stets um Fragen der Hochleistungen handelt und Schlüsse hierauf vom Einzylinder auf den Vollmotor nur dann gezogen werden können, wenn die gleichen Bauteile wie im eigentlichen Flugmotor zur Verwendung kommen. Es ist auch verhältnismäßig leicht, derartige Vorkehrungen zu treffen, denn luftgekühlte Motoren werden aus einzelnen Zylindern aufgebaut. Bei Motoren mit Flüssigkeitskühlung, deren Zylinder in Blocks zusammengefaßt sind, liegen aus der Entwicklungszeit dieser Triebwerke besonders hergestellte Einzylinder vor.

Versuchsmotoren für die Untersuchung von Flugmotoren-Kraftstoffen müssen also mit verschiedenartigen Zylindern ausgerüstet werden können, woraus sich die kennzeichnende Bauart eines Motorengehäuses mit Tischplatte ergibt, auf der die Zylinder aufgebaut werden. Derartige Prüfstände, wie sie beispielsweise von der DVL entwickelt wurden, werden oft so ausgeführt, daß die Tischplatte zur beliebigen Veränderung des Verdichtungsverhältnisses gehoben oder gesenkt werden kann.

Es wurde beim Technischen Prüfstand beschlossen, selbst einen Versuchsmotor zu bauen und zwar sollten hierbei die Verhältnisse bei Kraftstoffversuchen besonders berücksichtigt werden.

Für die Entwicklung des I. G.-Versuchsmotors galt als wesentlichste Bedingung eine sehr kräftige Bauart. Gerade bei Kraftstoffversuchen, die mit ungewöhnlich hohen Ladedrücken durchgeführt werden, ergeben sich wesentlich höhere Anforderungen als etwa bei der Erprobung von Triebwerksteilen. Wesentlich schien auch eine Einrichtung um das Verdichtungsverhältnis während des Betriebes, durch Heben und Senken der Tischplatte zu ändern. Weiterhin war zu fordern eine möglichst große Anzahl von Abtrieben, um die bei Versuchsarbeiten erforderlichen zahlreichen Hilfsgeräte antreiben zu können. Da die geplanten grundsätzlichen Untersuchungen über Arbeitsverfahren eine weitgehende Beeinflussung der Einspritzvorgänge erfordern, so wurde besonderer Wert auf eine weitgehende Verstellmöglichkeit durch Planetengetriebe gelegt. Der so entwickelte I. G.-Versuchsmotor, der in folgendem näher beschrieben ist, entspricht diesen Anforderungen und hat sich bei den ständigen Arbeiten ausgezeichnet bewährt. Er wurde in kleiner Stückzahl für eigene Forschungszwecke gebaut. Je ein Stück wurde auch in die Erprobungsstelle Rechlin und an die Forschungsanstalt Hermann Göring geliefert. Vier Stück befinden sich auf dem Technischen Prüfstand.

Aufbau des I. G.-Versuchsmotors

Der Aufbau des Motors ist insofern neuartig, als ein zylindriger Querschnitt des Motorgehäuses gewählt wurde. In diesem Gehäuse befindet sich, wie Bild 1 zeigt,

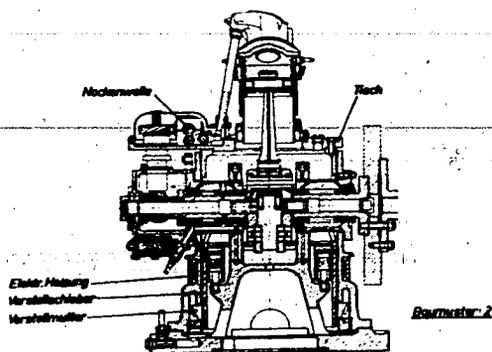


Bild 1. I. G.-Versuchsmotor mit veränderlicher Verdichtung

ein langer rohrförmiger Schieber. Dieser Schieber ist an seinem unteren Ende mit einem Gewinde versehen (Bild 2), so daß er mit Hilfe einer Mutter in senkrechter Richtung verschoben werden kann. Die Mutter ist außen verzahnt und kann so von außen her durch ein Handrad verstellt werden. Auf dem oberen Ende des Schiebers können je nach Art des verwendeten Zylinders verschiedene Tischplatten angebracht werden. In Bild 1 ist eine Tischplatte

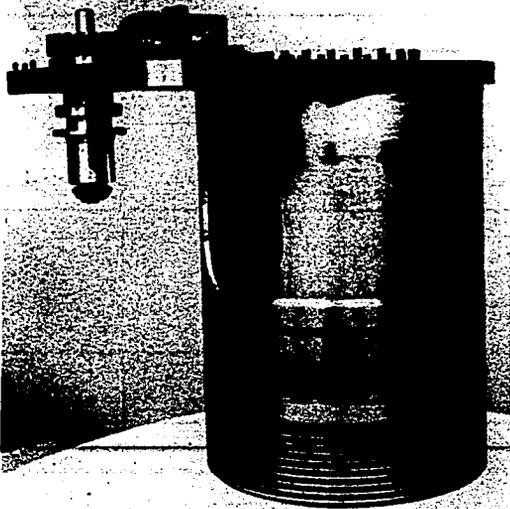


Bild 2. Röhrtormiger Schieber mit Tischplatte

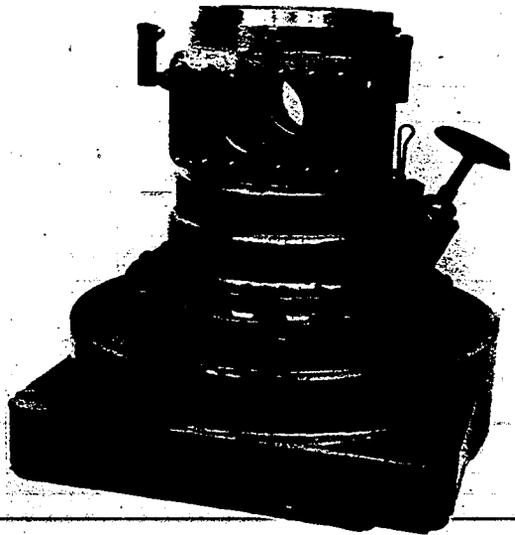


Bild 3. Gehäuse mit innerer Abstützung der Lagerkörper

tur BMW 132 dargestellt, auf der zugleich auch die Ventilsteuerung angebracht ist. Tischplatten für Ventilsteuerungen mit Steigwelle sind auf Bild 8 und 9 zu sehen. Der lange Schieber gibt eine vollkommen sichere Führung, so daß der Zylinder und damit das Verdichtungsverhältnis auch unter den schwersten Betriebsbedingungen verstellt werden kann. Es ist dies besonders für Kraftstoff-Untersuchungen wichtig, bei denen Meßreihen mit verschiedenen Verdichtungsverhältnissen durchgeführt werden müssen. Bei der in Bild 1 dargestellten Bauart wird das Gewicht des Schiebers und der Tischplatte mit Zylinder durch vier kleine unter Öldruck stehende Zylinder getragen, so daß das Verstellgewinde stets einseitig anliegt.

Gehäuse und Triebwerk

Besondere Sorgfalt wurde auf die Lagerung der Kurbelwelle gelegt, damit auch bei den übermäßigen Beanspruchungen, wie sie bei Versuchen vorkommen, keine Störungen an den Lagern auftreten. Die Lagerkörper sind am äußeren Gehäuse befestigt und werden unmittelbar neben der Kröpfung nochmals abgestützt. Hierfür ist inmitten des Gehäuses eine gabelartige Stütze vorgesehen, die die Kräfte der Kurbel unmittelbar zur Grundplatte ableitet. Bild 3 zeigt das Gehäuse und läßt die Stellen erkennen, an denen die Lagerkörper gefaßt sind.

Bei Versuchen ist es lastig, daß zu Beginn der Motor längere Zeit warm laufen muß. Um dies zu vermeiden, ist das Gehäuse des I.G.-Versuchsmotors mit zwei verschiedenen Heizungen ausgerüstet. So ist einmal eine elek-

trische Heizwicklung vorgesehen, die das Gehäuse umgibt und weiterhin ist die Grundplatte hohl und kann mit Dampf geheizt werden. Je nachdem, welche Energieart zur Verfügung steht, kann also der Motor mit der einen oder der anderen Heizung über Nacht warm gehalten werden, so daß am Morgen die Versuche ohne Zeitverlust begonnen werden können.

Die Kurbelwelle, die in Rollen gelagert ist, besteht aus mehreren Teilen, die unter Verwendung der Hirth Verzahnung zusammengefügt sind. Eine zerlegte und eine zusammengesetzte Kurbelwelle sind in Bild 4 dargestellt. Die Kurbelwellenenden sind an die Kröpfung

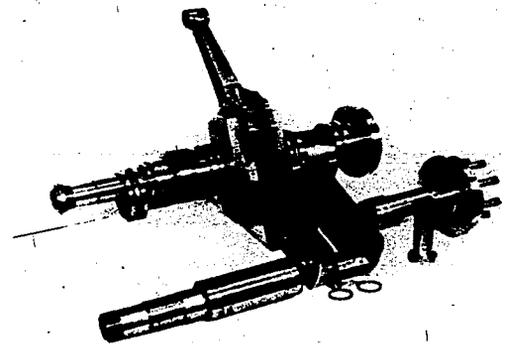


Bild 4. Kurbelwelle Bauart Hirth

hüte von Bolzen angeschraubt, die an ihren Enden in Wänden verschiedener Steigung versehen sind. In Differentialwirkung wird so eine außerordentlich genaue Verbindung erzielt. Der hohle Hubzapfen wird durch eine Ankerschraube zwischen den Wangen gesichert.

Getriebekasten mit Hilfsgeräten

Der vordere Lagerkörper ist zugleich als Getriebekasten ausgebildet (Bild 6). Es sind hier zwei Neben-

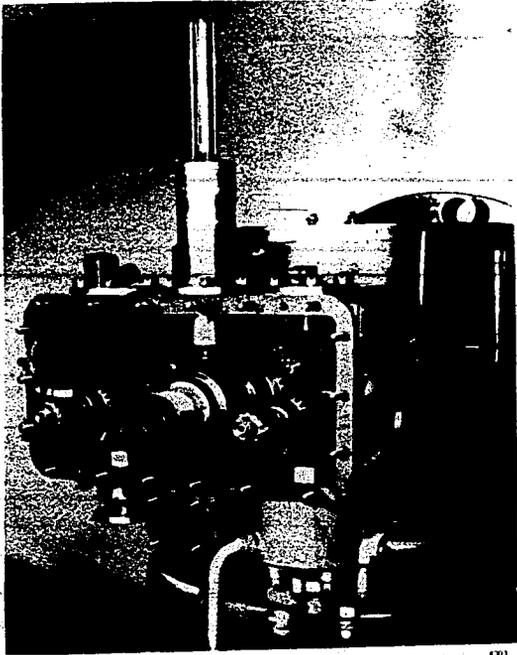


Bild 6. Getriebekasten

wellen vorgesehen, die durch Stirnräder von der Kurbelwelle aus angetrieben werden. Sie sind mit KegeLRädern ausgerüstet, die die Seitenabtriebe nach rechts und links für Magnetzündler und Einspritzpumpe, nach unten für die Kraftstoff- und für die Schmierstoffpumpe antreiben.

Auch von oben her können Antriebe eingebaut werden, die für die Ventilsteuerung dienen. Bei Zylindern mit oberliegender Nockenwelle wird die dazugehörige Steigewelle, wie in Bild 6 dargestellt, unmittelbar von der Kurbelwelle aus angetrieben. Der Getriebekasten ist nach vorn durch einen Deckel abgeschlossen, durch den die Seitenwellen und die Kurbelwellen hindurchtreten. Es ist möglich, hier weitere Hilfsgeräte anzuschließen, so beispielsweise einen Quertrieb, der oben einen Unterbrecher, nach unten einen Anschluß für Drehzähler trägt (Abb. 7). Es können hier auch andere Einrichtungen angebracht werden, wie beispielsweise ein Geber für den elektrischen Drehzähler (Abb. 8 und 9). Das freie Kurbelwellenende

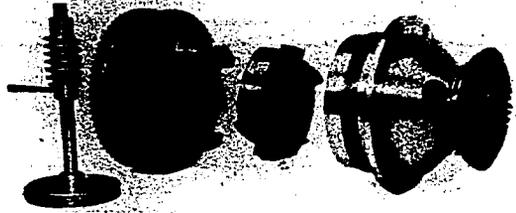


Bild 5. Verstellgetriebe zerlegt

kann dazu benutzt werden, das I.G. Seitenablenkgerät*) anzutreiben, das beim Arbeiten mit dem Quarzindikator erforderlich ist, um stehende Bilder auf dem Schirm des Kathodenstrahlrohres zu erzeugen (Bild 8).

Bei vielen Versuchen ist es wünschenswert, den Zeitpunkt der Einspritzung in sehr weiten Grenzen zu verstellen. Es können deshalb an den seitlichen Abtrieben Planetengetriebe eingebaut werden, die beliebige Verstellung ermöglichen. So ist in Bild 8 ein Verstellgetriebe

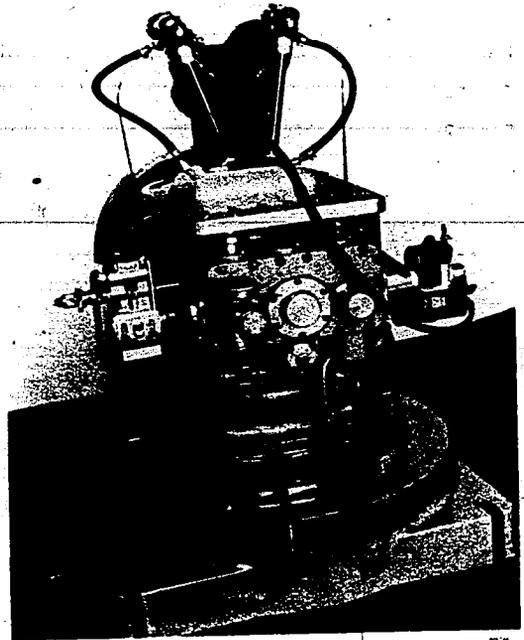


Bild 7. I.G.-Versuchsmotor mit Zylinder BMW 132

*) Prof. W. Wilke, ZVDI, 82 S. 1135 (1936).

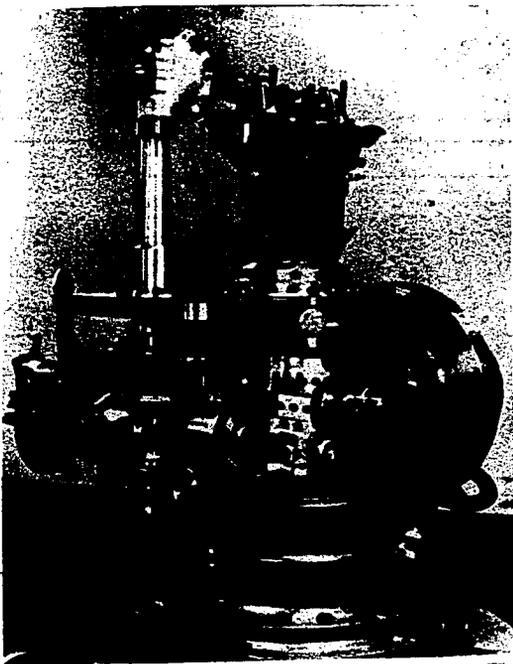


Bild 8. I. G.-Versuchsmotor mit Zylinder DB 601

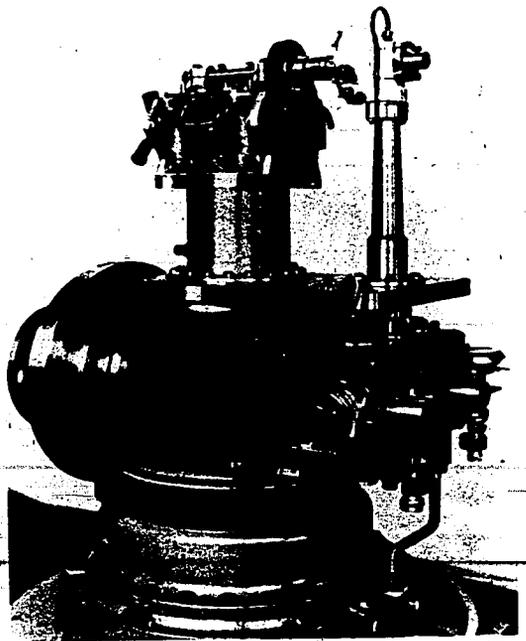


Bild 9. I. G.-Versuchsmotor mit Zylinder Juno 211

zu sehen, bei dem die Verstellung mit Hilfe eines kleinen Handrades sehr genau erfolgen kann. Ein Getriebe grundsätzlich gleichen Aufbaues, jedoch mit Verstellung durch Handhebel, zeigt der Motor auf Bild 9. Die mit dem Handhebel mögliche schnelle Verstellung ist sehr nützlich, um bei Versuchen rasch den günstigsten Einspritzzeitpunkt herauszufinden. Auf Bild 5 sind die Teile eines zerlegten Verstellgetriebe dargestellt.

Da beim Technischen Prüfstand jetzt alle Motoren in schalldichten Räumen aufgestellt sind, sind Einrichtungen für Fernverstellungen notwendig geworden. Die weitere Entwicklung betrifft deshalb auch Verstellgetriebe, die mit Steuermotoren verstellt werden können. Die jeweilige Stellung wird auf elektrischem Wege zrückgemeldet.

Die Schmierstoffpumpe, die auf Bild 6, rechts unten, zu sehen ist, entstammt dem Baumuster BMW 132. Sie saugt mit einem Räderpaar das Öl aus dem Gehäuse und drückt es zum Vorratsbehälter. Die andere Hälfte der Pumpe entnimmt das Öl von dort und drückt es zu

dem im Getriebekasten unten angebrachten Spaltfilter. Von dort fließt es in den vorderen Lagerkörper, in die Kurbelwelle und schließlich zum Kurbelzapfen. Weitere Ölkanäle führen zum Lagerkörper und zu einer Verzweigungsstelle, zu den Druckzylindern und zu einer Verzweigungsstelle, an der beliebige Leitungen für die Schmierung der Ventilsteuerung und sonstiger Hilfsgeräte angeschlossen werden können.

Die Ventilsteuerung für luftgekühlte Motoren ist auf der Tischplatte aufgebaut und durch einen Deckel abgeschlossen (Bild 1 und 7). Diese Steuerung wurde möglichst niedrig ausgeführt, um nicht beim Anblasen des Zylinders zu stören. Motoren mit obeneigenden Nockenwellen (Bild 8 und 9) erfordern eine Steigwelle und einen Winkeltrieb. Die Verbindung der Nockenwelle mit dem Winkeltrieb erfolgt durch eine Hülse, die an einem Ende mit 36, am anderen mit 40 Zähnen versehen ist, so daß außer einer gelenkigen Verbindung gleichzeitig auch die Möglichkeit geschaffen ist, die Nockenwelle gradweise einzustellen.

Über elektrische Messungen am Technischen Prüfstand Oppau

Von Dr. F. SCHUCH

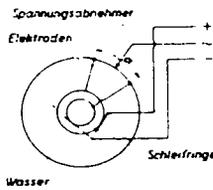
Einleitung

Motorische Untersuchungen sind heutzutage ohne elektrische Meßtechnik kaum noch denkbar. Diese Entwicklung würde sowohl von der Motoren- als auch von der Kraftstoffseite veranlaßt und gefordert. Nur mit Hilfe der elektrischen Meßtechnik war es möglich, tiefer in das Wesen der motorischen Verbrennung einzudringen und so die Entwicklung vorwärts zu treiben.

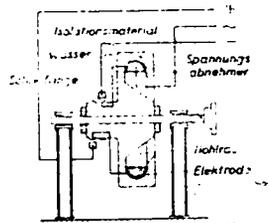
1. Druckmessungen

Bei dem Übergang von langsam zu schnelllaufenden Verbrennungsmotoren erwiesen sich die antänglich benutzten Methoden zur Verfolgung des Verbrennungsablaufs als immer unzulänglicher. Vor allem zeigte sich, daß die mechanischen Indikatoren infolge ihrer Trägheit nicht mehr die wahren Verhältnisse im Zylinder wiedergeben. Alle Bemühungen waren daher darauf gerichtet, einen brauchbaren, trägheitsfreien Indikator zu entwickeln. Von den vielen möglichen und wohl auch bereits verwendeten Verfahren hat sich in den letzten Jahren, besonders in Deutschland, das piezoelektrische Verfahren immer mehr durchgesetzt. Auch der Techn. Prüfstand hat sich frühzeitig an dessen Entwicklung beteiligt und schon seit einer Reihe von Jahren selbstgebaute Indikatoren in Betrieb genommen. Heute ist eine gründliche Untersuchung an Verbrennungsmotoren ohne den piezoelektrischen Indikator nicht mehr denkbar.

Das genannte Verfahren basiert auf dem sogenannten piezoelektrischen Effekt vieler Kristalle, wie z. B. Quarz, Seignettesalz, Turmalin usw., der sich darin äußert, daß diese Kristalle bei Druck eine elektrische Ladung zu liefern imstande sind. Für Druckmessungen an Verbrennungsmotoren wird heute ausschließlich der Quarz wegen seiner mechanischen und chemischen Widerstandsfähigkeit benutzt. Der Quarz kristallisiert in hexagonalen Prismen mit aufgesetzten Pyramiden. Die Verbindungen je zweier gegenüber liegender Kanten stellen seine elektrischen Achsen dar. Schneidet man nun aus dem Quarz Platten, deren Normalen mit den elektrischen Achsen zusammenfallen, so entstehen bei Druck auf die Begrenzungsflächen elektrische Ladungen, die



Schaltschema

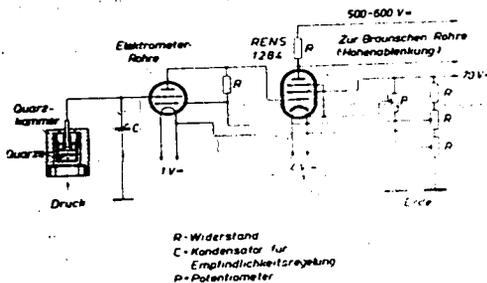


Grundsätzlicher Aufbau

Bild 2. Kurbelwinkel-Meßgerät

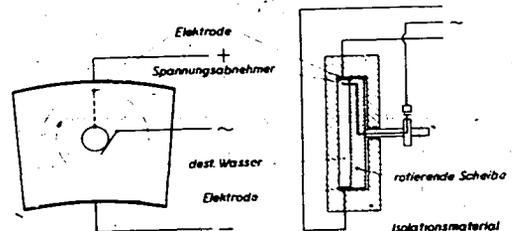
proportional dem Druck sind. Obwohl die Ladungen sehr klein sind, so genügen sie doch bei kleiner Kapazität und extrem guter Isolation Spannungen von 0,1 und mehr Volt hervorzurufen. Diese geringen Spannungen können nun mittels eines Gleichstromverstärkers verstärkt und zum Aussteuern einer Braun'schen Röhre benutzt werden. Die grundsätzliche Schaltung zeigt das Bild 1. Hervorzuheben ist hierbei die Eingangsröhre, eine sogenannte Elektrometerrohre, die in Räumladungsbauweise die erforderliche hohe Isolation des Eingangsleiters aufweist. Bei einwandfreier Konstruktion der Quarzkammer, d. h. der Vorrichtung, in der die Druckrohre eingebaut sind, und richtigem Aufbau des Verstärkers erhält man so Ausschläge, die dem in der Verbrennungsmaschine herrschenden Druck proportional sind.

Um nun Diagramme zu erhalten, muß man den Elektronenstrahl der Braun'schen Röhre seitlich ablenken, oder man muß die Ausschläge auf einer mit lichtempfindlichen Papier bespannten Trommel aufzeichnen. Zur reinen Beobachtung ist ersteres vorteilhafter. Man benutzt dazu allgemein sogenannte Kipp-schwinggeräte, die jedoch nur sehr schwer für längere Zeit völlig synchron mit dem interessierenden Vorgang zu halten sind. Um einwandfreie Bilder zu erhalten, wurden daher vom Techn. Prüfstand besondere Ablenkgeräte entwickelt. Aufbau



R = Widerstand
C = Kondensator für Empfindlichkeitsregelung
P = Potentiometer

Bild 1. Grundsätzliches Schaltbild des Gleichstrom-Verstärkers vom Piezo-Indikator



Schaltschema

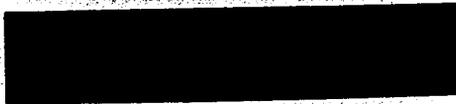
Grundsätzlicher Aufbau

Bild 3. Kurbelwink-Meßgerät

Wirkungsweise dieser Geräte geht aus den Bild 2 und 3 hervor. Ersteres gestattet Druck-Kurbelweg- und damit Druck-Zeit-Diagramme herzustellen, und letzteres Druck-Kolbenweg-Diagramme dazu zu erlauben. Zu diesem Zwecke müssen die Ablenkergeräte mit der in Betracht kommenden Maschine gekuppelt werden, so daß sie auch bei schwankender Drehzahl stehenbleibende Diagramme liefern. Das erste Gerät, das sogenannte Seitenablenkgerät, besteht aus einem Widerstand, der aus einer schlecht leitenden Flüssigkeit im Innern einer rotierenden Scheibe besteht. Diesem Widerstand wird über zwei Schleifringe eine Spannung zugeführt und die schwankende Spannung zwischen einer dieser Zuführungen und einer in den Flüssigkeitsring eingehenden Elektrode abgenommen. Bei Einhaltung bestimmter Betriebsbedingungen liefert dieses Ablenkergerät eine sehr gute zeitproportionale Spannung (s. Kurve Bild 4). Das Kolbenweg-Ablenkergerät besteht aus einer Flüssigkeitsplatte der in dem Bilde angegebenen Form. In die Flüssigkeit taucht wieder ein Finger, der auf einer rotierenden Scheibe sitzt. Die Zuführung der Spannung erfolgt längs der angedeuteten Elektroden, während die schwankende Spannung zwischen einer dieser Elektroden



Kurbelwinkel - Ablenkergerät
 $\alpha = 90^\circ$



Kolbenweg - Ablenkergerät

Bild 4. Spannungs-Zeit-Kurven für die Ablenkergeräte

und dem Finger abgegriffen wird. Bild 4 gibt die erhaltene Spannungskurve wieder. Von diesen Ablenkergeräten hat allerdings nur das Seitenablenkgerät größere Bedeutung, da allgemein das Druck-Zeit-Diagramm wesentlich aufschlußreicher ist als das Druck-Kolbenweg-Diagramm.

Gerade die Entwicklung der Ablenkergeräte machte erst die Verwendung der Braunschen Röhre besonders angenehm, war doch dadurch das Diagramm für die Beobachtung erst richtig zugänglich. Das Seitenablenkgerät erlaubt, die interessierenden Vorgänge bei vollständigem Synchronismus weit auseinander zu ziehen, sodaß genaue Messungen direkt auf der Braunschen Röhre vorgenommen werden können. Das war besonders bei der Entwicklung der Zündverzugsmessung am I.G.-Prüfdiesel von ausschlaggebender Bedeutung. Die dabei vorzunehmende Streckenmessung auf dem Röhrenschirm wird dadurch erleichtert, daß man sich gewisse Marken in das Diagramm einstreut. Über die mit Hilfe dieses Indikators durchgeführte Cetanzahlbestimmung nach der Methode des konstanten Zündverzugs wird in einem besonderen Aufsatz berichtet, sodaß sich hier ein Eingehen erübrigt.

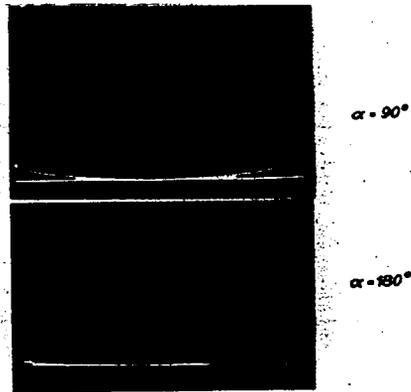


Bild 5. Druck-Zeit-Diagramme für Viertakt-Dieselmotoren (Länge der Grundlinie 90° und 180° Kw)

Wohl war im Entwicklungsstadium die Anwendung des Piezomodulators im Techn.-Prüfstand im wesentlichen auf die Zündverzugsmessung beschränkt; doch wurden längst die Vorteile des Piezo-Verfahrens erkannt und der Indikator auch an anderen Maschinen zur Beobachtung des Verbrennungsablaufs, zur Einstellung der günstigsten Betriebsbedingungen und zur Druckermittlung u. a. verwendet. Durch die Verwendung der Ablenkergeräte erübrigt es sich meist Fotoaufnahmen zu machen, doch sind sie jetzt leicht mit jeder Kleinbildkamera möglich, was gegenüber den sonst erforderlichen Trommelaufnahmen äußerst angenehm ist. Zwei solcher Druckdiagramme zeigt Bild 5.

II. Messungen des Flammenverlaufs

Wenn auch die Kenntnis des Druckverlaufs für viele Untersuchungsfälle ausreichend ist, so interessiert doch bisweilen auch der Verlauf der Flammenausbildung. Hierzu ist am besten der Fotozellen-Indikator geeignet. Dabei dient als lichtaufnehmendes Organ die Fotozelle. Naturgemäß werden daher hier nur die Zonen des Brennraumes erfaßt, deren Strahlen zur Zelle gelangen können. Die Fotostromschwankungen bei Schwankungen des einfallenden Lichtstroms rufen über einen Widerstand Spannungsschwankungen hervor, die über einen Gleichstromverstärker verstärkt zur Aussteuerung des Elektrodenstrahls einer Braunschen Röhre benutzt werden können. In Verbindung mit dem oben erwähnten Seitenablenkgerät können dann stehende Diagramme erzeugt werden.

Im Gegensatz zum piezo-elektrischen Indikator wurde dieser Indikator weniger für Reihenuntersuchungen als vielmehr für Aufgaben der Forschung gebaut.

III. Messungen an Einspritzdüsen

Baut man in die Flüssigkeitsleitung zur Einspritzdüse eine Quarzkammer, so kann man mittels des piezo-elektrischen Indikators den Druckverlauf verfolgen. Man erkennt so, daß der Druck bisweilen sehr stark während einer Einspritzung schwankt (Bild 6) und nur selten einen

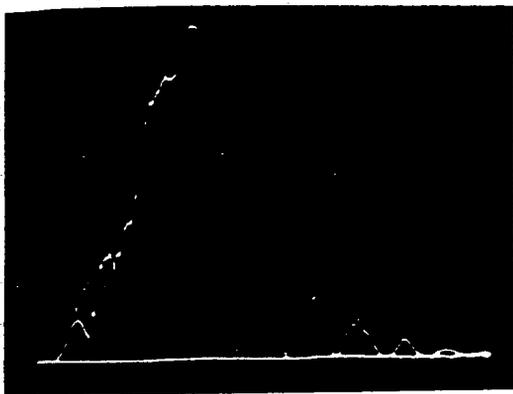


Bild 6. Druckverlauf in der Zuleitung zur Einspritzdüse.

Bei großer Einspritzmenge erfolgt mehrmaliges Einspritzen, das die Nachspritzen nicht mehr erkennenbar.

ganz glatten Verlauf besitzt. Man kann daher nur schwer eine Aussage über die Bewegung der Düsenadel machen, obwohl diese ja in der Hauptsache interessiert, kann doch die Einspritzung nur bei angehobener Düsenadel erfolgen.

Die Bewegung der Düsenadel ist am einfachsten mittels Fotozelle zu verfolgen. Zu diesem Zwecke läßt man die Düsenadel den auf eine Zelle fallenden Lichtstrom steuern. Dieser schwankende Lichtstrom ergibt über einen Widerstand Spannungsschwankungen, die wieder mittels Gleichstromverstärkers verstärkt auf eine Braun'sche Röhre gegeben werden. Die Apparatur, die auf die Düse aufgebaut wird, zeichnet sich durch ihre besondere Einfachheit aus und ist da, wo die Erschütterungen nicht allzu groß sind, gut verwendbar.

Da jedoch an Motoren, besonders an Flugmotoren, die Einspritzdüse sehr starken Erschütterungen ausgesetzt ist, wurde noch eine andere äußerst robuste Anordnung entwickelt. Sie beruht auf dem sogenannten Trägerfrequenzverfahren. Dabei wird die Düsenadel an ihrem rückwärtigen Ende durch einen Metallstab besonderer Form verlängert, der seinerseits in einem Isolationskörper eintaucht, auf dem sich drei kleine Spulen befinden. Die beiden äußeren sind gegeneinander geschaltet und dienen als Senderspulen, während die mittlere als Empfängers-

spule dient. Auf die ersten wird nun eine Spannung sehr hoher Frequenz gegeben, die in einem besonderen Rohrsender erzeugt wird und die sehr groß gegenüber der Frequenz der schnellsten auftretenden Hubbewegung ist. Durch die Gegenüberstellung der äußeren Spulen wird bei richtiger Stellung des eintauchenden Metallstabes in der mittleren Spule dann keine oder nur eine kleine Spannung induziert. Bewegt sich nun die Düsenadel aus ihrer Nullstellung heraus, so wird der Einfluß der einen Spule verstärkt, während der der anderen geschwächt wird. Infolgedessen entsteht in der mittleren Spule eine entsprechende Spannung. Diese wird nun verstärkt und dann gleichgerichtet und die hohen Frequenzen ausgesiebt. Die so entstehende Gleichspannung, die nur noch ein der Hubbewegung der Düsenadel entsprechender schwankender Anteil überlagert ist, wird auf eine Gleichstromverstärkerstufe gegeben und so eine Braun'sche Röhre angesteuert (Bild 7).

Die Verwendbarkeit der Anordnung hängt nur davon ab, wie stabil man die Sender- und Empfängerspulen auf der Düse anbringen kann. Die Empfindlichkeit der Anordnung ist sehr groß. Für 0,1 mm Hubbewegung läßt sich leicht 30 mm Ausschlag und mehr am Braun'schen Rohr hervorruhen. Diese Empfindlichkeit wird jedoch allgemein bei der Düsenadel nicht benötigt. Infolge seines Aufbaues ist das Gerät auch ohne weiteres für statische Messungen verwendbar.

Bild 8 bringt im Beispiel der Düsenadelbewegung nur eine Lochdüse bei Einspritzen der normalen Flüssigkeitsmenge.

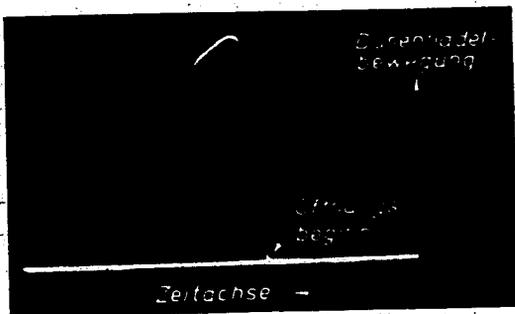


Bild 8. Düsenadelbewegung für eine Lochdüse bei Einspritzen der normalen Flüssigkeitsmenge.

IV. Stroboskopische Betrachtung von Einspritzvorgängen

Die Feststellung des Düsenadelhubs gibt zwar guten Aufschluß über den Verlauf der Einspritzung, sie läßt jedoch keinen Schluß über die Güte der Zerstäubung zu, die ja für die Verbrennung im Motor von so weitestgehender Bedeutung ist. Erst die stroboskopische Betrachtung des Einspritzvorganges ermöglicht eine Aussage darüber. Für diesen Zweck sind Lichtblitze von außerordentlich kurzer Dauer (10^{-6} sek) nötig, die sich nur durch Funkenüberschläge erzeugen lassen. Dafür wurde ein besonderes Stroboskop entwickelt, bei dem die Hochspannung mittels eines großen Röntgen-Induk-

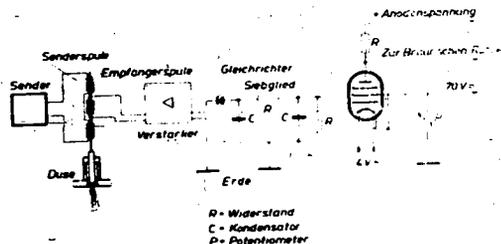


Bild 7. Schaltbild für Düsenadelhubgerät.

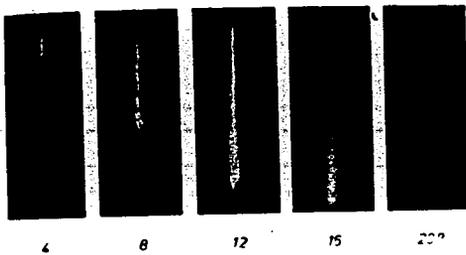


Bild 9. Abpritzen einer Nadelklappe für Gasol bei normaler Einspritzungswinkel (Aufnahmen bei verschiedenen Pumpenwinkeln nach Einspritzbeginn) Das erzeugt wird. Die Unterbrechung des Primärstromes erfolgt durch einen besonders für diesen Zweck gebauten Quecksilber Unterbrecher, der synchron bei jeder Einspritzung unterbricht und bei dem der Zeitpunkt der Unterbrechung gegenüber dem Einspritzbeginn verstellbar ist. Der Einspritzstrahl kann also abgetastet werden. Wenn auch der Einsatz des Funkens infolge des einfachen Aufbaues der Anlage nicht immer ganz gleichmäßig ist, so läßt sich doch sehr gut die Einspritzung

Bei ständigem Klopfen sieht man die im Druckdiagramm erhaltenen Klopfeschwingungen aus, verstärkt sie und läßt sie dann auf eine sehr träge Meßvorrichtung arbeiten. Ein Zeigeranschlag gibt sodann die mittlere Klopfstärke an.

Bei seltenerem Klopfen ist die Aufgabenstellung anders; es ist hier nicht die mittlere Klopfstärke zu ermitteln, sondern nur der Klopfbeginn. In diesem Maschinenzustand treten einzelne harte Klopfschläge auf, während die Maschine allgemein nicht klopft. An sich läßt sich dieser Klopfbeginn auch mit dem oben angegebenen Verfahren erfassen. Doch ist hier die Benützung einer Bohrung am Zylinderkopf meist unerwünscht. Man zieht deshalb lieber die indirekten Wirkungen des Klopfes heran: Die Körperschwingungen, die mittels eines besonderen Geiebers in elektrische Schwingungen umgetornt werden. Auch hier wird Ausschließung der nicht erwünschten Frequenzen und Verstärkung vorgenommen; die Wahrnehmung der einzelnen Klopfstöße kann dann optisch zum Beispiel durch eine Braun'sche Röhre oder eine Glühlampe oder durch ein wenig gedämpftes Zeigerinstrument oder akustisch mittels eines Lautsprechers oder einer Glocke erfolgen.

Nachspritzen

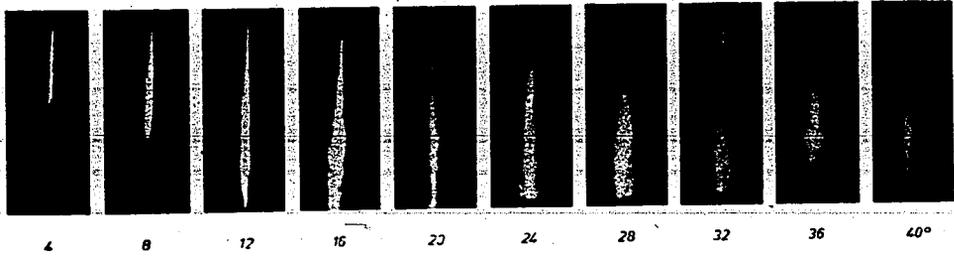


Bild 10. Nachspritzen bei einer Nadelklappe für Gasol Einspritzmenge wesentlich gesteigert (Aufnahmen bei verschiedenen Pumpenwinkeln nach Einspritzbeginn)

und die Strahlerstäubung beobachten und fotografisch erfassen, wie die Bilder 9, 10 und 11 zeigen.

V. Klopfmessungen

Beobachtet man das Druckdiagramm eines Otto-Motors, so stellt man hi-weißen starke Schwingungen höherer Frequenz fest, die nach der Explosion einsetzen und dem Druckverlauf überlagert sind. Der Fachmann kann daran erkennen, daß seine Maschine klopft. Jedoch ist diese Methode nicht allzu empfindlich. Daher erhob sich die Forderung nach besseren Methoden. Es sind nun zwei Fälle zu unterscheiden: In dem einen Fall klopft die Maschine dauernd, d. h. bei jeder Explosion, im anderen treten in unregelmäßigen Abständen vereinzelt Klopfschläge auf.

Da in einem später erscheinenden Aufsatz ausführlicher über Klopfmessungen berichtet werden soll, so seien hier nur die Meßmethoden kurz angegeben.

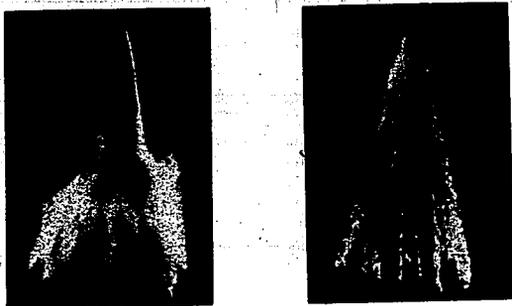


Bild 11. Strahlerstäubung bei einer Zapfenklappe für Öl verschiedener Viskosität
 a) Gasol, Viskosität 3,14 cSt bei 20°, Wichte 0,811 bei 20° (links)
 b) Eisenmaschinenöl, Viskosität 37,6 cSt bei 20°, Wichte 0,833 bei 20° (rechts)

Der optische Brechungsindex und die Dispersion als analytisches Hilfsmittel bei der Untersuchung von Benzin und Dieselölen

Dr. phil. R. ROTH

Die Verwendung optischer Konstanten und besonders des Brechungsindex, ist als Hilfsmittel zur Untersuchung von Kohlenwasserstoffen durch die Wasserlösliche Ring-Analyse der Schmelze neuerdings in den Vordergrund getreten. Die Verwendungsmöglichkeit bei der Analyse von Dieselölen ist Gegenstand der folgenden Zeilen.

Der Unterschied im Brechungsindex der aromatischen K.W. gegenüber den übrigen ist ebenso auffallend wie der Wichte. Man kann also ähnlich wie mit Hilfe der Wichte auch hier unter Annahme eines mittleren Brechungsindex für einen gewissen Siedebereich den Atomteuegehalt abschätzen.

Tafel I

K. W.	Wichte γ_{20}	Brechung $n_{D,20}^{20}$ für D-Linie
n-Heptan	0,683	1,387
n-Oktan	0,704	1,399
n-Nonan	0,692	1,3912
n-Dekane	0,730	1,4093
Cyclohexan	0,779	1,4254
Benzol	0,879	1,5012
m-Nylol	0,865	1,4973

In aromatenfreien Benzin läßt sich entsprechend der engen Fraktionen von 25 der Naphtengehalt aus dem Brechungsindex berechnen*).

Ein tieferer Zusammenhang ist jedoch zwischen Brechungsindex selbst und der Zusammensetzung des Stoffes aus seinen Atomen nicht erkennbar. Wir müssen eine komplizierte Funktion wählen, um aus Atomkonstanten eine Molekulare Refraktion der Verbindung additiv zusammensetzen zu können.

Ist M das Molekulargewicht, γ das spezifische Gewicht und n die spezifische Brechung bei der zugehörigen Temperatur, so ist

$$\frac{n^2 - 1}{n^2} \cdot \frac{M}{\gamma} = \text{Mol-Refraktion} = \text{Summe der Atom-Refraktionen} = \sum \text{Inkrementen}$$

Enthält ein K.W. z. B. n C-Atome und m H-Atome, so ist diese Summe für die gelbe Na-(oder D-Linie), \sum Atom-Refraktionen $= n \cdot 2,418 + m \cdot 1,100$.

Tafel II.

Die Atomrefraktionen der Formel $\frac{n^2 - 1}{n^2} \cdot \frac{M}{\gamma}$ für die D-Linie**).

Elemente	Refraktionswerte
C	2,418
H	1,100
O) Mittelwerte für kleine S) Mengen in K.W.-Ölen	2
O im Carbonyl	2,211
im Hydroxyl	1,525
im Äther	1,643

*) Nach Thomas, Bloch u. Hochsträ.
**) Nach Eisenlohr vgl. Landolt Bornstein.

Zusatz-Glieder	Retraktionswerte
Doppelbindung	1,733
Benzolring im Benzol	5,200
in $C_{10}H_{14}$ (Mittel)	5,69
Naphtalinring	10,75 bis 10,7
in 1-Methylnaphtalin	(20 100')
2-Methylnaphtalin	8,75
1,4-Dimethylnaphtalin	10,0

Ähnliche Konstanten gelten für die anderen Atome. Hoch ist die Funktion abhängig von der Bindungsart z. B. des Sauerstoffs. Je nachdem er als Hydroxyl- oder Keton-Sauerstoff vorliegt, ist der Wert der A. R. etwas verschieden. Das gleiche gilt für den Kohlenstoff in einfacher oder doppelter Bindung. Man pflegt dies durch ein besonderes Zusatzglied (ein Inkrement) vom Wert 1,733 je Doppelbindung auszudrücken. Auch die Ringbildung hat bei 3- und 4-Ringen ein Inkrement. Bei gesättigten 5- und 6-Ringen können wir es vernachlässigen.

Bei den aromatischen Sechsringen entspricht das Inkrement fast genau der Zahl ihrer Doppelbindungen in der Kekulé'schen Formulierung, also je 3 \cdot 1,733 für Benzol und 5 \cdot 1,733 für Naphtalin. Allerdings sind diese Zusatzglieder für Ringbildung bei Eintritt von Seitenketten nicht ganz konstant, sodaß man nur Mittelwerte bilden kann. (vergl. Tafel II) Gerade die große Empfindlichkeit der M.R. macht sie zwar für Zwecke der Konstitutions-Ermittlung sehr geeignet, vergrößert aber die Streuung für unsere Berechnungen, obwohl wir uns auf Dieselöle mit einer oberen Siedegrenze von 350° beschränken wollen, also solche, die frei sind von den hoher siedenden Reihen des Anthracens und Phenanthrens.

Man kann also offenbar nun aus Brechung, Molekulargewicht und spez. Gewicht die Molrefraktion berechnen, andererseits aus Elementar-Analyse und Jodzahl (letztere als Maß der Doppelbindungen) und den Atomkonstanten die Summen der Atomrefraktionen. Die Differenz der Werte muß gleich sein dem Produkt aus der Zahl der aromatischen Ringe und ihren Inkrementen.

Die Annahmen, die wir bei der Rechnung machen, sind folgende.

1. Gleichmäßige Verteilung der Aromaten über die Siedebereiche bzw. Übereinstimmung des wahren mittleren Molekulargewichts mit dem angenommenen.
2. Fehlen von Stoffen mit außergewöhnlichen Inkrementen bzw. mittlerer Ausgleich der Inkmente.
3. Beschränkung der oberen Siedegrenze auf 350°/760 mm.

Man bildet also aus den Prozentwerten durch Division mit den Atomgewichten die Werte der g-Atom-gewichte auf 100 g³). Das Molekulargewicht selbst sei ein unbekanntes Vielfaches f von 100. Dann ist die aus den Messungen von n u. γ folgende Molrefraktion

$$\frac{n^2 - 1}{n^2} \cdot \frac{f \cdot 100}{\gamma} = \text{Molrefraktion}$$

*) Reihe C in Tafel III.

die Summe der Atomrefraktionen + Inkrement ist

$$z \cdot \% C \cdot 12 + 2 \cdot 118 = (z \cdot \% C \cdot 1 + 1 \cdot 100) \cdot (J / Z \cdot 254 + 1,733) + (z \cdot \% S \cdot 32 + 1 \cdot \% O \cdot 16) \cdot (J / Z \cdot R_{\text{g}})$$

$$(J / Z = \text{Jodzahl})$$

wo z die Zahl der Ringe mit dem Inkrement R_{g} ist, nicht sich auf beiden Seiten heraus und wir erhalten die Differenz Molektraktion* \sum (Atomrefraktionen $J / Z \cdot 254$ **) $z \cdot R_{\text{g}}$ (***)

Für Aromaten der Benzolreihe hat R_{g} den Wert $R_{\text{g}} = 5,2$ für C_6H_6 selbst und steigt für $C_{10}H_{14}$ auf den Wert, den wir benutzen werden:

$$R_{\text{g}} = 5,7$$

- * Reihe E 2
- ** Reihe D und E 1
- *** Reihe D und E 1

Für Aromaten der Naphtalreihe rechnen wir das Mittel zwischen in 1. und 2. Stellung substituierten Methyl naphtalinen

$$R_{\text{g}} = 8,75 \text{ bis } 10,7 \text{ Mittel } 9,7 (**)$$

Können wir nun das durchschnittliche Molekulargewicht M , das wir $z \cdot B$ dem Diagramm Bild 1, das auch ungefähr für aromatische K.W. gilt, mit Hilfe der Kennziffer entnehmen können, so sind in 100 g

$$x = 5,7 \cdot z \cdot M \text{ Gewichts} \% \text{ Benzole}$$

$$\text{bzw. } x = 9,7 \cdot z \cdot M \text{ Gewichts} \% \text{ Naphtalin}$$

Will man in Vol% umrechnen, so muß man die spez. Gewichte der Aromaten schätzen. Für die substituierten Benzole kann man wohl 0,86 annehmen, für die Naphtaline

- * Aus den Messung n von Nason u. Bendoric 0,15, 55 u. Averser 0,03, 0,11 an 1,4-Di-Methylnaphtalin, 1-Methylnaphtalin und eigenen Messungen an 2-Methylnaphtalin

Tafel III

Beispiele der Berechnung der aromatischen K.W. als Benzol- bzw. Naphtalin-Abkömmlinge aus der Refraktion

Öl Nr.		S 300	D 430	H 712
A	γ_{20}^D spez. Gewicht	0,872	0,924	0,870
	n_{20}^D Brechung	1,4968	1,5229	1,4800
	Kennziffer \pm Fraktionsziffer	230 \pm 30	280 \pm 65	243 \pm 50
B	% C	87,84	88,61	86,80
	% H	11,49	10,73	12,66
	% S	0,70	0,65*	0
	% O	0	0,11	0,54
	Jodzahl	0,6	14	6,7
C	Zahl g-Atome C in 100 g = % C 12	7,32	7,384	7,233
	Zahl g-Atome H in 100 g = % H 1	11,49	10,73	12,66
	Zahl g-Atome S in 100 g	0,022	0,02	0
	Zahl g-Atome O in 100 g	0	0,007	0,034
D	Atomrefraktion* \cdot Zahl g-Atome C	17,70	17,85	17,49
	Atomrefraktion* \cdot Zahl g-Atome H	12,64	11,80	13,92b
	Atomrefraktion* \cdot Zahl g-Atome S	0,16	0,16	0
	Atomrefraktion* \cdot Zahl g-Atome O	0	0,014	0,068
	Zusatzglied für Jodzahl (Doppelbindungs-Anteil)	0,45	0,98	0,46
E 1	Summe der Atomrefraktionen	30,95	30,77	31,94
2	$\frac{n^2-1}{n^2+2} \cdot 100$ gemessen	33,55	33,05	31,66
F 1	$E 2 - E 1 = z \cdot R_{\text{g}}$ (= Zusatzglied für Ringe)	2,60	2,28	<0(*)
2	Molgewicht M aus Siedekennziffer	175	225	240
G	$z \cdot R_{\text{g}} \cdot M$ Gew. % Benzole	80	90(*)	0
	$z \cdot R_{\text{g}} \cdot M$ Gew. % Naphtaline	39	44	0
	Y_p vom Molgewicht M geschätzt für Benzole	0,872	0,860	—
	Y_p vom Molgewicht M geschätzt für Naphtaline	0,933	0,980	—
	Vol% vom Molgewicht M geschätzt für Benzole	80	**)	0
	Vol% vom Molgewicht M geschätzt für Naphtaline	36,5	41,5	0
	Vol% durch Sulfurierung gefunden	69,8	62***)	19-
H	Formel des K.W. vom Molgewicht M nach Analyse	$C_{12,9}^{11}H_{19,8}$ (5,81)	$C_{17,1}^{11}H_{24,6}$ (9,4)	$C_{17,1}^{11}H_{26}^{(1)}H_{1,1}$ (—5)

- * Aus Tafel II.
- ** Der Vergleich mit γ_{20}^D der Probe von 0,924 zeigt, daß die Aromaten keine der Benzolreihe sein können, deren $\gamma < 0,88$ ist.
- *** Durch 96%ige Schwefelsäure trat schon Verharzung ein. Wahrscheinlich handelt es sich zum Teil um Aromaten mit olefinischer Seitenkette.

1000 oder man rechnet das spez. Gewicht aus mit der Annahme, daß die an 100 fehlenden % das spezifische Gewicht γ_p der Probe je 1% um 0,001 erhöht wurden, ihr Gewicht also $\gamma_p \cdot 1000 \times 0,001$ ist. Also wäre $\gamma \cdot \text{Gew. \% Benzol} \times 1000 + \gamma_p \cdot 0,86 \cdot \text{Vol. \% Naphtalin} \times 1000 = \gamma_p \cdot 1000 \cdot [100 \times 0,001 + \text{Vol. \%}]$

Beispiel: $\gamma = 0,872$
 $\text{Vol. \%} = 39 \cdot 0,872 + (0,872 \cdot 61 \cdot 0,001) \cdot 1000$
 $39 \cdot 0,872 = 0,933$

Es ist natürlich nicht selten, daß unsere Annahmen nicht völlig zutreffen. Immerhin kann man in manchen Fällen zeigen, daß die α β durch Sulfierung gefundenen Aromaten der Naphtalinreihe angehören müssen, weil der durch Refraktionen berechnete Wert unmöglich oder unwahrscheinlicher ist.

Hier kann auch der Vergleich mit der Elementaranalyse herangezogen werden. Multiplizieren wir nämlich die oben erhaltenen Werte der g. Atome in 100 g mit dem Verhältnis durchschnittliches Molekulargewicht 100, so werden wir eine Formel $C_n H_m$ erhalten, die wir nur in die Form $C_n H_{1,2n}$ zu bringen haben, um zu sehen, ob wir im Durchschnitt K.W. der Reihe 2n 6 (d. h. Benzole) oder 2n-12 (d. h. Naphtaline) vor uns haben oder Gemische beider Aromaten.

Finden wir z. B. in Reihe C der Tafel III für S 300 das Atomverhältnis in 100 g C_{7,32} H_{11,46}, so ist für einen K.W. vom Molekulargewicht 175 nach Multiplikation mit 1,75 die Formel gültig C_{12,8} H_{19,8} oder C_{12,8} H_{25,12,8} 5,8 d. h. 8,1st = 5,8. Setzen wir für den nichtaromatischen Anteil als Mittel des Verhältnisses von Paraffinen und Naphtenen C_n H_{2n+14}, so würde bei 70 Vol. % Sulfierungsverlust für x zu erwarten sein: bei Aromaten

der Benzol-Reihe $6 \cdot 0,7 + 1 \cdot 0,3 = 3,9$
 der Naphtalin-Reihe $12 \cdot 0,7 + 1 \cdot 0,3 = 8,1$

Der gefundene Wert 5,8 spricht für etwa 40% Naphtaline und 60% Benzole.

Die Dispersion

Unter Dispersion versteht man den Unterschied der Brechung für zwei Farben. Gewöhnlich wählt man dazu die Linien H α (auch als F bezeichnet) des Wasserstoffs von der Wellenlänge 4861 Å und die H β (C) Linie von 6563 Å. Dann ist, wenn wieder γ das spezifische Gewicht und M das Molekulargewicht ist, die Differenz der molaren

Refraktionen $\left(\frac{n_D^2 - 1}{n_D^2 + 2} - \frac{n_C^2 - 1}{n_C^2 + 2} \right) \cdot M$ Die Streuungen

der molaren Dispersion sind jedoch noch größer als bei der Refraktion. Die erforderliche Rechenarbeit ist außerdem beträchtlich. Wir benutzen daher nach dem Beispiel von Rossini eine einfachere Form der Dispersion, die spezifische Dispersion

$$d_c = (n_D - n_C) \cdot 1/\gamma$$

Ist wegen der Färbung der Probe n_D nicht meßbar, so kann man annähernd setzen

$$(n_D - n_C) \cdot 3,49 = n_D - n_C$$

*) Nach der Näherungsformel von Cauchy $n_D = A + B/\lambda^2$ findet man einen dem empirischen ähnlichen Wert 3,41

Rossini*) u. Große u. Wacker**) haben Kurven für die spezifischen Dispersionen in Abhängigkeit von der Zahl der C-Atome verschiedener K.W. aufgestellt (***) (Schaubild 2). Da es sich bei der Dispersion um kleine Zahlen handelt, so multiplizieren wir die Werte d_c mit 10⁴ und erhalten dann wenn wir $d_c \cdot 10^4$ setzen nach Anbringung einer Korrektur für die olefinischen Bindungen, die aus der Jodzahl zu entnehmen sind folgende Beziehung:

$$\text{Gewicht \% Aromat} = 100 \left(\frac{d_c \text{ Gemisch} - 0,255 \cdot \text{Jodzahl}}{d_c \text{ Aromat} - 0,99} \right)$$

Den Wert d_c für den Aromaten entnehmen wir der Kurve für die Benzol- oder Naphtalin-Reihe.

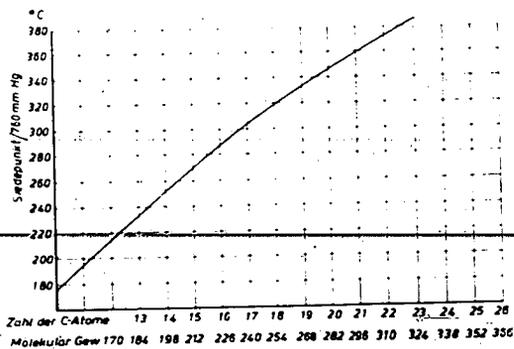


Bild 1. Siedepunkt und Molekulargewicht (unter Benutzung der Tabelle von M. P. Dob 1939)

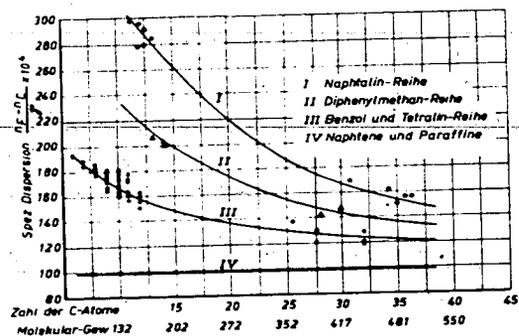


Bild 2. Spezifische Refraktion und Molekulargewicht

Vergleich der Ergebnisse untereinander und mit der Sulfierung.

Bei S 300 ist die Berechnung der Aromaten als Benzole nach Refraktion und nach der Dispersion in

*) Gas and Oil Journal Bd. 37, Nr. 27, 18. Nov. 38, S. 147.

**) Ind. eng. chem. (Analyt. Ed.) 11,614 (1939).

***) Die Zahl der C-Atome erhalten wir annähernd, wenn wir das aus der Siedkurve entnommene Molekulargewicht durch 13 bis 14, im Mittel 13,5 dividieren.

Tafel IV

Beispiele für Berechnung mit Hilfe der Dispersion

Öl Nr.	S 300	D 430	H 721
n_D^{20}		1,52169	
n_D^{15}	1,50461	nicht meßbar	1,48454
n_D^{10}	1,49089	1,51728	1,47463
$\frac{20}{4}$	0,872	0,924	0,870
$\frac{n_D^{15} - n_D^{10}}{5} \cdot 10^4$	157	173	114
Molekulargewicht M (aus Kenn- ziffer)	175	225	240
Zu M gehörige Dispersion d' der Benzol-Reihe	158	142	140
Zu M gehörige Dispersion der Naphtalin-Reihe (nach Rossmi)	282	240	230
Ringzahl	6,9	14	7
Gew. % Benzole	90	170	33
Gew. % Naphtaline	30	52,5	19
Vol. % Benzole	90		33
Vol. % Naphtaline	26	50,0	9,0
Vol. % aus Sulfierung	69,8	32,62	19,23,5

*) Umrechnung wie oben geschätzt.

besserer Übereinstimmung mit der Sulfierung als die Berechnung als Naphtaline. Das C:H-Verhältnis liegt in der Mitte, spricht also für etwa hälftige Zusammensetzung

Bei D 430 ist deutlich nach beiden Methoden, daß die Berechnung als Naphtaline erfolgen muß. Damit steht auch das C:H-Verhältnis im Einklang, ebenso der hohe Wert von γ .

Bei H 721 versagt die Molretraktion, die Dispersion spricht für hälftiges Gemisch, das C:H-Verhältnis für Naphtaline (0,5) ist für γ bei nur 20% Aromaten ein hoher Wert.

Leider ist es schwer möglich, durch Überführung in C₁₂H₁₈ oder C₁₂H₁₆ oder andere wohl definierte Aromaten die Richtigkeit unserer Annahmen nachzuprüfen.

Doch gaben in einigen Fällen die Rechnungsergebnisse uns Bestätigungen, daß es sich bei den untersuchten Ölen um verschiedene Öltypen handelte, sodaß damit ihr verschiedenes motorisches Verhalten verständlich schien. Grundsätzlich gelten für das geschilderte Verfahren dieselben Einwendungen, wie sie gegen die Ringanalyse nach Watermann bei Schmierölen erhoben wurden^{*)}, auch hier bei Diesölen, wo die gemachten Voraussetzungen ähnlich sind. Die Deutung der Ergebnisse ist nicht willkürlich. Während z. B. bei Diphenylmethan-Derivaten durch die Molekularefraktion die Zahl der Sechsringe richtig herauskame, wurde das zugehörige Molekulargewicht im Verhältnis zur Ringzahl nur das halbe desjenigen sein, was war bei der Zugrundelegung eines Ringes je Molekül annehmen, der % Gehalt also zu halbieren sein. Leider fehlt uns bei der Berechnung nach der Dispersionskurve von Rossmi in der Regel jeder Anhalt, ob die Rechnung nicht auf der Basis der zu den Diphenylmethanen gehörigen mittleren Kurven des Diagrammes den Tatsachen mehr entsprechen würde.

*) Schultze und Nicolas, Öl und Kohle 1941, 617 (Bd. 37, Nr. 32).

Auswertung der Verbrennungsgleichung

Von Obering. F. FLNZIG

Bei motorischen Versuchen mit Kraftstoffen wird man in die Lage kommen, Werte wie

- Luftbedarf,
- CO_2 max.,
- Verbrennungswasser,
- Volumenvergrößerung und
- Herzwert,

zu berechnen, oder doch wenigstens zu schätzen. Es ist nun zweckmäßig, am Verhalten reiner Stoffe — mit denen man bei systematischen Versuchen oft genug zu tun hat — zu zeigen, wovon die erwähnten Daten abhängen und wozu bestimmte Gruppen von Kohlenwasserstoffen und Alkoholen verhalten.

Führt man vergleichende Versuche mit verschiedenenartigen Kraftstoffen durch, so ist es notwendig, Gemische einander gegenüberzustellen, deren Luftanteil ein gleiches Vielfaches des dem stöchiometrischen Verhältnis entsprechenden Luftbedarfs betragen. Der Luftbedarf kann aber nur mit Hilfe einer Elementaranalyse bestimmt werden. Die immer wieder versuchten Abschätzungen des H/C-Verhältnisses aus der Wichte sind mit zuviel Fehlern behaftet.

Auf eine Darlegung der Rechnungen kann hier verzichtet werden. Sie beruhen auf der Voraussetzung, daß der mit dem Kraftstoff in die Verbrennung eingebrachte Kohlenstoff und Wasserstoff restlos zu Kohlendioxyd und Wasser verbrennen*).

Es wird nun gezeigt, daß der Luftbedarf, die Kohlensäure und das Verbrennungswasser lediglich vom Verhältnis H/C abhängen und einfache Schaubilder möglich sind, die für alle, also auch für die technischen Stoffe, Gültigkeit haben. Bei der Verrechnung des Volumens, die durch die Verbrennung entsteht, verhalten sich bestimmte Gruppen von Kohlenwasserstoffen ganz verschieden, das Verhältnis H/C gestattet jedoch die Berechnung. Beim Herzwert dagegen spielt der Aufbau des Moleküls eine so wichtige Rolle, daß eine Berechnung lediglich aus dem Verhältnis H/C nicht möglich ist.

Interessant ist, daß alle Darstellungen einen ausgezeichneten Punkt haben, in dem sich die Eigenschaften der Paraffine, Olefine, Alkohole und mit wachsender Zunahme der Seitenketten auch die der Aromaten treffen. Dies hängt damit zusammen, daß alle Gruppen mit zunehmender Gliederzahl dem einfachen Verhältnis C_nH_{2n} zustreben.

Als Grundlage der Darstellungen dient das Gewichtsverhältnis [H/C]. Eine Leiter $\text{H } 100/\text{H} + \text{C}$ gestattet die Ableitung, wenn der Wasserstoffgehalt in Prozent gegeben ist. Diese Leiter gilt nicht für die Alkohole. Die an den Kurven angeschriebenen Zahlen bedeuten die Zahl der C-Atome.

In Bild 1 ist der Luftbedarf der reinen Kohlenwasserstoffe dargestellt in Abhängigkeit vom Verhältnis [H/C], beginnend mit Kohlenstoff und endigend mit Methan. Linien ausgezeichneten Punkte stellen die Olefine dar, die nach der Formel C_nH_{2n} aufgebaut sind und sämtlich ein [H/C]-Verhältnis $\frac{1}{0} = 0,167$ haben.

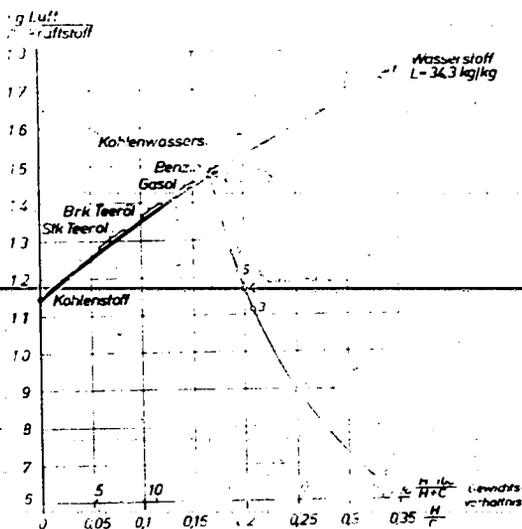


Bild 1: Luftbedarf reiner Kohlenwasserstoffe

Zwischen diesem Punkt und Methan liegen die Paraffinkohlenwasserstoffe $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$. Vom Methan ausgehend, streben die Stoffe dieser Reihe auf den Punkt C_nH_{2n} zu, da bei den hochmolekularen Körpern das additive Glied 2, die endständigen H-Atome, das H/C-Verhältnis immer weniger beeinflussen.

Zwischen reinem Kohlenstoff und den Olefinen liegen alle übrigen Kohlenwasserstoffe. Die ungefähre Lage technischer Produkte, wie Teeröl, Gasol, Benzin, ist angeleitet.

Von den Nicht-Kohlenwasserstoffen sind die einwertigen Alkohole ebenfalls in Abhängigkeit vom [H/C]-Verhältnis dargestellt. Beginnend mit Methylalkohol, der dasselbe H/C-Verhältnis hat wie Methan, strebt die Kurve dem Punkt C_nH_{2n} zu, da das Atom Sauerstoff bei den höheren Alkoholen immer weniger in Erscheinung tritt.

Die bei der Verbrennung entstehende Kohlensäure wird, der Abgasanalyse entsprechend, zweckmäßig in Raumanteilen dargestellt. Sie erreicht bei reinem Kohlenstoff den Wert 21%, da dem Mischungsverhältnis der Luft

* Die vollständigen Ableitungen sind, leider mit zahlreichen Druckfehlern behaftet, in der Zeitschrift „Kraftstoff“, Aprilheft 1940 enthalten.

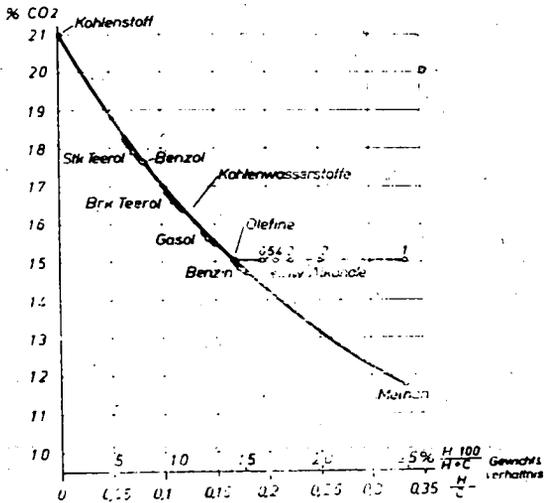


Bild 2 Kohlenaurbildung

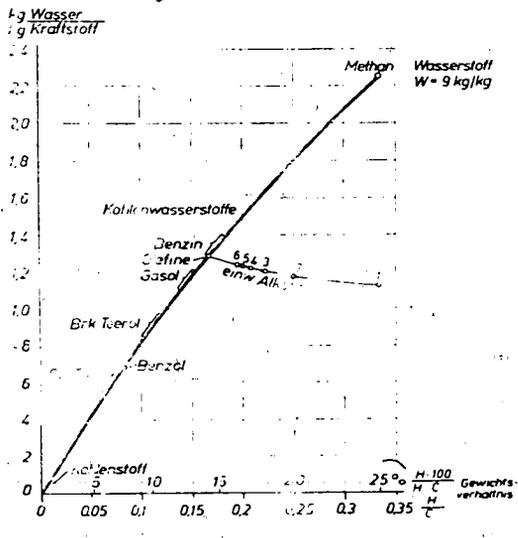
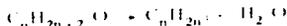


Bild 3 Anteil des Verbrennungswasser

entsprechend nur jedes Mol Sauerstoff ein Mol CO₂ tritt. Mit abnehmendem Kohlenstoffgehalt des Kraftstoffes nimmt der CO₂-Gehalt ab. Bild 2 zeigt diese Abhängigkeit.

Alle einwertigen Alkohole haben bei verschiedenem Luftbedarf den gleichen Gehalt an CO₂ im Endgas. Dieser Gehalt ist der gleiche wie bei den Olefinen, deren Luftbedarf untereinander gleich ist und dem sich der des Alkohols mit wachsender Gliedernzahl *n* nähert.

Zur Erklärung dieser Tatsache kann man sich vorstellen, daß der Alkohol zunächst vollständig in sich verbrennt:



Für das restliche Glied C_nH_{2n} tritt dann eine Verbrennung ein, die notwendigerweise bei allen H/C-Verhältnissen zum gleichen CO₂-Gehalt führt, der wiederum dem bei der Verbrennung der Olefine entspricht.

Die Stickstoffersparnis durch vorhandenen Sauerstoff ist übrigens auch der Grund, weshalb der Luftbedarf der Alkohole so sehr viel niedriger ist als der der entsprechenden Kohlenwasserstoffe.

Das bei der Verbrennung anfallende Wasser macht sich im Motor in verschiedenster Weise bemerkbar. Im kalten Motor verursacht es Korrosion an den Zylinderwänden und in der Abgasleitung, besonders wenn schwefelhaltiger Kraftstoff Anlaß zur Bildung schwefliger Säure bietet. Weiterhin konnte durch Versuche gezeigt werden, daß Wasser, wenn es in den Schmierstoff gelangt, die Schlammabildung sehr stark fördert. Es ist deshalb von Interesse zu wissen, daß gewichtsmäßig etwas mehr Wasser entsteht als beispielsweise Benzin verbraucht wird.

Bild 3 zeigt, daß umso mehr Verbrennungswasser gebildet wird, je wasserstoffreicher der Kraftstoff ist. Ar-

omatische Kohlenwasserstoffe wie z. B. Benzol werden also bei hochfliegenden Flugzeugen eine weniger deutliche Bildung von „Kondensstreifen“ verursachen als isoparaffinische. Bei Luftschiffen, bei denen man eine Gewinnung von Ballastwasser anstrebt, sind möglichst wasserstoffreiche Diesehöle vorteilhaft.

Die ebenfalls dargestellten Werte für die einwertigen Alkohole zeigen, daß bei Methylalkohol (CH₃OH) nur halb so viel Wasser gebildet wird, wie bei Methan (CH₄). Es erklärt sich daraus, daß beide Moleküle die gleiche Anzahl H-Atome haben, also die gleiche Gewichtsmenge Wasser bilden können, daß aber das Gewicht des Moleküls vom Methylalkohol doppelt so hoch ist als das des Methans. Die Tatsache, daß das Sauerstoffatom das Molekulargewicht des Alkohols verdoppelt gegenüber den entsprechenden Kohlenwasserstoffen gilt selbstverständlich nur für Methanol. Bei zunehmender Molekülgröße spielt das O-Atom eine immer geringere Rolle, so daß das Verbrennungswasser je kg Kraftstoff wächst. Gleichzeitig sinkt aber der Einfluß der endständigen Glieder überhaupt, so daß die Kurve der Alkohole in die Kurve der reinen Kohlenwasserstoffe bei der Stelle C_nH_{2n} einmündet.

Unter Volumenvergrößerung wird verstanden:

Unterschied der Volumen nach und vor der Verbrennung
 Volumen vor der Verbrennung

Beide Volumen sind dabei auf gleichen Zustand bezogen. Gewöhnlich wird dabei der Kraftstoff und auch das Wasser als gasförmig angenommen. Für den Kraftstoff kann dies nur für den besten Vergaser gelten. Beim schlechtesten Vergaser dagegen wird der Kraftstoff flüssig in den Zylinder gelangen, sein Volumen kann dann gegenüber dem Gasvolumen vernachlässigt werden. Wird schließlich der Kraftstoff erst nach Schluß der Ventile in

%Volumenvergrößerung

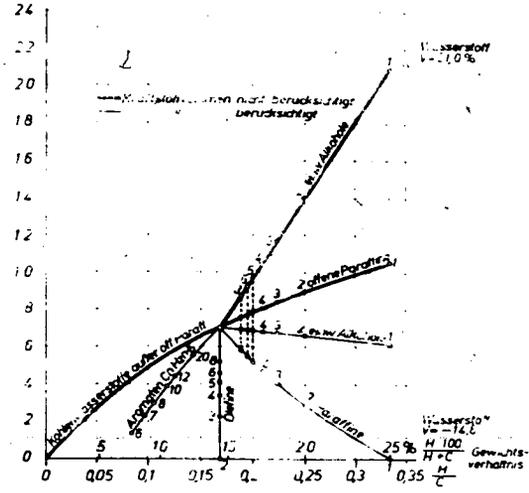


Bild 4. Volumenvergrößerung

den Zylinder eingespritzt, wie z. B. beim Hesselmanmotor, so kann er das Anfangsvolumen nicht vergrößern und erscheint dann auch hier in der Rechnung nicht. Die Rechnung hat also zwei Grenzfälle zu prüfen:

- a) Idealer Vergaser. Der Kraftstoff kann näherungsweise als permanentes Gas angesehen werden
- b) Spätemspritung oder schlechter Vergaser. Der Kraftstoff beeinflusst nicht das Anfangsvolumen, oder kann, da flüssig, in seinem Volumen vernachlässigt werden.

Eine für alle Kohlenwasserstoffe gültige Kurve ist im ersten Fall nicht möglich, doch können für bestimmte Gruppen-Abhängigkeiten dargestellt werden.

Die errechneten Kurven sind in Bild 4 dargestellt. Methan und Acetylen ergeben keine Volumenvergrößerung. Wasserstoff ergibt, der bekannten Knallgasreaktion zur Folge sogar eine Volumenverminderung, die bei Verbrennung mit Luft 14,8% beträgt. Ganz allgemein ergeben die kleinsten Moleküle einer jeden Reihe die geringste Volumenvermehrung. Je größer die Moleküle werden, desto mehr nähert sich ihr Gewichtsverhältnis [H/C] dem Wert $\frac{1}{12} = 0,083$.

Bei sehr großen Molekülen sind die additiven Glieder zu vernachlässigen. Die Kurven laufen dementsprechend im Punkt [H/C] = 0,167 und wie sich durch Rechnung zeigen läßt bei $V = 7,02\%$ zusammen. Bei diesem Grenzfalle tritt auch das Volumen des Kraftstoffes nicht mehr in Erscheinung, sodaß dieser Punkt auf der Kurve liegt, die für den zweiten Fall, Kraftstoffvolumen vernachlässigt, für alle Kohlenwasserstoffe gilt.

Die Kurven für die Alkohole sind gleichfalls in Bild 4 eingetragen. Bemerkenswert ist, daß die Volumenvermehrung je nach der Anwendungsart bei den Alkoholen sehr viel stärker verschieden ist als bei den Kohlenwasserstoffen. Die an Motoren stets beobachtete Mehrleistung

ist zum Teil auf diesen Umstand zurückzuführen, denn selbst bei Saughubinspritzung wird der hohen Verdampfungswärme wegen stets ein gewisser Teil des Alkohols auch nach Schluß der Ventile sich in flüssigem Zustand befinden.

Unter den Alkoholen zeichnet sich der seiner hohen Verdampfungswärme wegen auffällige Methylalkohol dadurch aus, daß er die höchste Volumenvermehrung besitzt, die der des flüssigen Wasserstoffes gleichkommt.

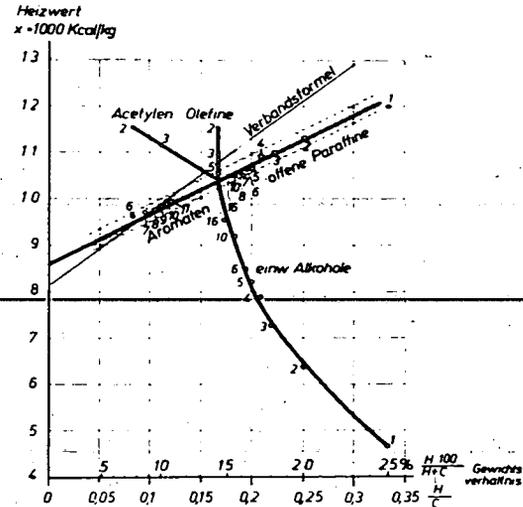


Bild 5. Heizwerte

Die Heizwerte sind der Rechnung nicht aus dem Gewichtsverhältnis [H/C] zugänglich. In Bild 5 sind die Heizwerte der wesentlichen Kohlenwasserstoffe dargestellt. Aus dem Verhalten der Olefine und der Acetylene geht hervor, daß die Art des Aufbaues, für die hier die mehrfachen Bindungen wesentlich sind, einen erheblichen Einfluß ausüben.

Läßt man diese Sonderfälle außer acht und betrachtet die üblichen Kraftstoffe, deren Heizwerte in das eingetragene Streuband fallen, so ist man versucht, eine Näherungsformel zur Berechnung aus C und H aufzustellen. Hierfür wird nach der „Verbandsformel“ vorgeschlagen, die Kohlenwasserstoffe als physikalische Gemische aus C ($H_u = 8100 \text{ kcal/kg}$) und H ($H_u = 29000 \text{ kcal/kg}$) aufzufassen. Die eingetragene Kurve zeigt, daß diese Formel nicht befriedigt und im Bereich üblicher Kraftstoffe einen um etwa 4% zu hohen Wert angibt. Eine bessere Annäherung wird erzielt, wenn man willkürlich einsetzt:

Wasserstoff H_u	22500 kcal/kg
Kohlenstoff H_u	8600 kcal/kg

Damit ist jedoch nicht viel gewonnen, denn die möglichen Abweichungen sind so groß, daß man einfacher schätzt für:

Benzine	10 400 kcal/kg
Gasole	10 200 kcal/kg
stark aromatische Benzine	10 000 kcal/kg
Aromaten	9 000 - 9 700 kcal/kg
Terpene	9 000 - 9 400 kcal/kg

Der dabei mögliche Fehler beträgt 1 bis 2%, fällt also kaum ins Gewicht. Für genauere Untersuchungen ist die experimentelle Bestimmung zuverlässig.

Die Heizwerte der Alkohole sind zur Vervollständigung ebenfalls in Bild 5 eingetragen. Es ist bemerkenswert, daß sie in bezug auf den Heizwert erst bei einer sehr viel höheren C-Atomzahl den großen Paraffinen ähnlich werden, als dies in bezug auf den Luftbedarf, das Verbrennungswasser oder die Volumenvergrößerung der Fall ist. Während dort die einfache elementare Zusammensetzung bestimmend ist, entscheidet hier der den Heizwert vermindemde Einfluß der Hydroxylgruppe OH.

Veröffentlichungen

aus dem Arbeitsgebiet des Technischen Prüfstandes Oppau

- Wilke Stand und Ziele der Kohleverflüssigung (Vortrag)
Brennstoff und Warmewirtschaft 1929, Nr. 22
- Wilke Die Ölfeuerung in Zentralheizungen (Vortrag)
Vortrag auf dem XIII. Kongreß für Heizung und Lüftung 1930, Dortmund
- Wilke Ingenieur und Kaufmann (Vortrag)
Der praktische Betriebswirt, 13. Jg., Heft 5
- Wilke Die Energiewirtschaft des deutschen Verkehrs (Vortrag)
Jahrbuch der Brennkrafttechnischen Gesellschaft, 1933
- Wilke
Penzig Die Frage der Pflege des Kühlsystems im Kraftwagen
ATZ 1934, Heft 10
- Wilke Methanol als Kraftstoff (Vortrag)
Öl und Kohle 1937, Heft 42
- Wilke Untersuchungen am Hessman Motor
Jahrbuch der Brennkrafttechnischen Gesellschaft, 1937
- Kling Das Wärmeleitvermögen eines Kugelhautwerks in ruhendem Gas
Forschung a. d. Gebiete des Ing. Wesens, Bd. 9 (1938), Heft 1, S. 28-34
- Kling Das Wärmeleitvermögen eines von Gas durchströmten Kugelhautwerks
Forschung a. d. Gebiete des Ing. Wesens, Bd. 9 (1938), Heft 2, S. 82-90
-
- Wilke Prüfmotoren zur Klopfwertbestimmung von Kraftstoffen
ZdVdI Bd. 82 (1938), Nr. 39
- Penzig Sichtbarmachen von Temperaturfeldern durch temperaturabhängige Farbanstriche
ZdVdI Bd. 83 (1939), Nr. 3
- Penzig Die Untersuchung von Temperaturfeldern
ATZ 1939, Heft 2
- Wilke Untersuchungen über den Verbrennungsablauf von Dieselmotoren
MTZ 1939, Heft 2
- Penzig Temperaturanzeigende Farbanstriche
Die Umschau in Wissenschaft und Technik 43 (1939), Heft 35
- Penzig Ein chemisches Verfahren zur Bestimmung von Temperaturen
Die chemische Fabrik, 12 (1939), 358
- Wilke Motorische Prüfung von Kraftstoffen (Vortrag)
Beiheft z. ZdvDCh (1939), Nr. 33
-
- Wilke Versuche mit nitrirtem Druckextrakt im Kohlenstaubmotor (Vortrag)
Jahrbuch der Brennkrafttechnischen Gesellschaft 1939
- Jantsch Speichergase im Kraftverkehr
Brennstoff und Warmewirtschaft 1940, Heft 2
- Wilke Wärmeaustausch und Wärmeschutz in der chemischen Hochdrucktechnik
ZdVdI Beiheft „Verfahrenstechnik“ 1940, Nr. 3
- Kling Druckverlust von Kugelschüttungen
ZdVdI Bd. 84 (1940), Heft 5, S. 85-86
- Jantsch Kraftstoff-Handbuch,
Franckh-Verlag Stuttgart, 1. Aufl. 1940, 2. Aufl. 1941
- Wilke Über die Beziehung zwischen Oktanzahl und Cetanzahl
ATZ 1940, Heft 6
- Wilke Versuche mit nitrirtem Druckextrakt im Kohlenstaubmotor
ATZ 1940, Heft 8
- Köhler Triebgasbetrieb in Dieselfahrzeugen
ATZ 1940, Heft 8
- Penzig Auswertung der Verbrennungsgleichung
Kraftstoff 1940, Heft 4
- Wilke Vergleichende Cetanzahlmessungen
ATZ 1940, Heft 15
- Penzig Temperaturempfindliche Farbanstriche (Vortrag)
Techn. Mitteilungen Essen

- Penzig Ein chemisches Verfahren zur Bestimmung von Temperaturen
Dachema Monographien, Band 12, 1941
- Witschakowski Ein Beitrag zur Prüfung des Klopfverhaltens von Flugkraftstoffen im Kleinmotor
TB der ZvB, 1941, Heft 3
- Roth Theoretische Berechnung der Verbrennungswärmen von Kraftstoffen ungewöhnlicher Art
Kraftstoff, 1941, Heft 4
- Singer Vergleichsversuche an Klopfmotoren
TB der ZvB, 1941, Heft 1
- Haller Die Prüfung der Kältebeständigkeit von Flugzeugschmierfetten
TB der ZvB, 1941, Heft 3
- Schuch Über die Bestimmung der Klopfstärke
TB der ZvB, 1941, Heft 2
- Penzig Der I. G. Versuchsmotor
MTZ, 1941, Heft 3
- Witschakowski Über die Verwendungsmöglichkeit des Hesselman Motors
MTZ, 1941, Heft 7
- Singer Einwirkung und Ergebnis von Vergleichsversuchen an Klopfmotoren
Kraftstoff, 1941, Heft 4
- Köhler Cetanzahlmessung zumträger Kraftstoffe
MTZ, 1941, Heft 2
- Witschakowski Einfluß der Zündung auf das Klopfverhalten im Überlademotor
TB der ZvB, 1941, Heft 5
- Jantsch Temperatur-Meßstille.
Die Chem. Fabrik, 14 (1941), Nr. 10, S. 196.
-
- Penzig Amerikanische Verfahren zur Bestimmung der Cetanzahl
MTZ, 1941, Heft 20
- Witschakowski Oktanzahlmessung hochklopfester Kraftstoffe
Öl und Kohle (1941), S. 801
- Wilke Gemeinschaftsarbeit über Klopfmeßfragen in Deutschland
ZdVdI, Bd. 85 (1941), Nr. 47-48
- Singer
- Penzig Ein neues Mischgerät für die Motorenprüffeld
Kraftstoff, Dez. 1941
- Witschakowski Prüfverfahren und Oktanzahl
Öl und Kohle (1942), S. 368
- Lauer Schmierölverdünnung in Flugmotoren
TB der ZvB, 1942, Heft 5
- Jantsch Die Messung des Klopfens von Otto-Kraftstoffen
Die Chemie, 55 (1942), Nr. 23-24, S. 184-190
-