INDEX - TOM REEL 301
(Original Designation FIAT Reel R-23)
PB L74873
Documents taken from I. G. Farbenindustrie, A.G.

Frames	
617	Magnesium phosphate catalyst. Short report by Dr. Schutze, dated Jan. 12, 1942, Oppau.
618-621	Conference of April 19, 1943, with representatives from I.G. and Ruhrchemie, to discuss the question of the replacement of cobalt by iron. Conference report dated April 19, 1943.
622	The question of cobalt replacement in the hydrocarbon synthesis. Report signed by Michael, dated Jan. 3, 1941 (?).
623-627	Investigation of the use of 700 or 300 atm. in the gas phase. Incomplete report dated April 16, 1941, Hochdruckversuche Lu 558.
628-647	The calorific efficiency of bituminous coal hydrogenation. Report by Wilde and Schappert, dated Feb. 20, 1942, I.G. Farbenindustrie. (Tables and graphs included with report.)
648-650	The calorific efficiency of bituminous coal hydrogenation. Short report signed by Schappert, dated Oct. 17, 1942. (Table included with report.)
651-655	The calorific efficiency of bituminous coal hydrogenation in the production of gasoline and fuel oil. Report signed by Schappert, dated March 7, 1942. (Three tables included with report.)
656-668	The development of the I.G. research motor. Techn. Prüfstand Op. 200, Rept. No. 362, report by Penzig, dated Oct. 21, 1938, Oppau. (Two of the eleven pages of photos and diagrs. are missing.)
669-685	Investigation of the course of combustion in the Hesselman motor by means of an I.G. piezo-quartz-cathode ray indicator. Techn. Prüfstand Op. 200, Rept. No. 370, author's signature illegible, dated Feb. 2, 1939, Oppau. (Eleven pages of graphs and tables included with report.)

Frames	
686-700	Investigation with Ruhrchemie Diesel oil. Techn. Prüfstand Op. 200, Rept. No. 376, signed by Köhler, dated May 31, 1939, Oppau. (One table and six pages of graphs included with report.)
701-720	The measurement of the heat of polymerization of gasol. Techn. Prüfstand Op. 200, Rept. No. 384, signed by Kling, dated May 22, 1939, Oppau. (Five tables, two graphs and two diagrs. included with report.)
721-739	Comparative investigation in knocking motors (V. V. 65). Techn. Prüfstand Op. 200, Rept. No. 387, signed by Singer, dated May 12, 1939, Oppau. (Eight graphs and six tables included in report.)
740-781	The Otto-Diesel motor. Techn. Prüfstand Op. 200, Rept. No. 394, signed by Penzig, dated Aug. 15, 1939, Oppau. (One table and fifteen graphs included with report.)
782-785	The ignition behavior of fuels and lubricants. Techn. Prüfstand Op. 200, Rept. No. 405, signed by Singer, dated Nov. 15, 1939, Oppau. (One table and one graph included with report.)
786-793	The ignitability of gasoline. Techn. Prüfstand Op. 200, Rept. No. 406, signed by Köhler, dated Dec. 1, 1939, Oppau. (Three pages of graphs and one page of photos. included with report.)
794-811	The packing and manner of flow of cubic and cylindrical catalysts. Techn. Prüfstand Op. 471, Rept. No. 411, signed by Kling, dated Nov. 25, 1940, Oppau. (Two tables, one diagr. and six pages of graphs and photos. included with report.)
812-818	Report on trial runs using gasoline as Diesel fuel. Techn. Prüfstand Op. 471, Rept. No. 444, signed by Köhler, dated Dec. 9, 1940, Oppau. (Two pages of graphs included with report.)
819-825	The knock behavior and knock value data of fuels. Techn. Prüfstand Op., Rept. No. 446, signed by Singer, dated Feb. 3, 1941, Oppau. (One page of graphs included with report.)
826-836	The investigation of nozzles with the mass stroboscope. Techn. Prüfstand Op., Rept. No. 447, signed by Köhler, dated March 10, 1941. (One diagr., two pages of photos. and three pages of graphs included with report.)
837-847	The determination of the severity of knocking. Techn. Prüfstand Op., Rept. No. 449, signed by Schuch, dated Feb. 27, 1941. (Nineteen literature references, one photo. and two diagrs. included with report.)

Frames

848-857 Report on the fuels used and degree of accuracy obtainable in octane number determination. Techn. Prüfstand Op., Rept. No. 464, signed by Singer, dated June 23, 1941. (Two tables included in report.)

858-874 Passage of heat and temperature distribution in a catalyst tube of 250 mm ø. Techn. Prüfstand Op., Rept. No. 488, signed by Kling, dated Jan. 29, 1942. (One table, one diagr. and eight pages of graphs included with report.)

875-913 Reports of the Techn. Prüfstand Oppau, No. 3, 1943, at the fifth session of the Association for Knock Measurement, meeting Feb. 16 and 17, 1943, in Oppau. The following reports are included:

1. Introduction. By Dr. W. Wilke (1 p.)
2. Report on the completed comparison tests conducted by the Association for Knock Measurement. By E. Singer. (6 pp.)
3. Observations in the investigation of synthesis gasoline. By Dr. W. Dannefelser. (8 pp.)
4. Experiments on the octane number determination of liquid gases. By F. Ruess. (5 pp.)
5. The influence of operation conditions on the knock behavior of fuels. By E. Singer. (4 pp.)
6. Prüfstand investigation of the applicability of the research and motor octane number in practical operation. By H. Unverhau. (5 pp.)
7. Motor or research methods for fuels? By H. Waldmann. (2 pp.)
8. Introduction of tetra-ethyl lead solutions to gasolines in the laboratory. By F. Ruess. (3 pp.)
9. Results of the fifth session on knock measurement. (1 p.)

914-997 Reports of the Techn. Prüfstand Oppau, No. 2, 1943, at the sixth session on heat, meeting May 18 and 19, 1942, in Oppau. The following reports are included:

1. Introduction. By Dr. Wilke (1 p.)
2. Report on the progress of the work in the field of heat. By Georg Kling. (5 pp.)
3. Calculations of heat exchangers. By Werner Matz. (4 pp.)
4. Diagrams for wall reflection in heated containers. By Rudolf Keinke. (6pp.)
5. Investigation of high pressure ribbed tubes. By Georg Kling. (7 pp.)
6. Kipp phenomena in a steam blast aggregate with 0.1 mm. Hg end vacuum. By Alfred Haltmeier. (3 pp.)

Frames

7. Report on the heating surface construction according to Kautz. By Kurt Kautz. (7 pp.)
8. New corrosion-resistant vessel construction with good heat passage. By Karl Frank. (5 pp.)
9. Procedure technique in the range of the critical pressure and requisite thermodynamic data. By Franz Patat. (2 pp.)
10. Investigation of the heat conduction of cables. By Georg Kling. (7 pp.)
11. Light ash gypsum bricks as heat insulating construction material for walls. By Fritz Graf. (3 pp.)
12. Explosion limits and ranges of combustible liquids and their dangers. By Fritz Nauck. (9 pp.)
13. More recent statements on the further development of basic conceptions in pure thermodynamics. By Emil Hegelmann. (10 pp.)
14. Statistical calculation of calorific data of ideal gases--dependence of these data on the actual state of gases--thermodynamics of gas mixtures. By E. Justi. (15 pp.)
15. Experiments on the determination of the viscosity of steam. By Helmuth Speyerer. (7 pp.)

998-1052. Reports of the Techn. Prüfstand Oppau, No. 1, June 18, 1942. The following reports are included:

1. Foreword. (1 p.)
2. The development of the Technische Prüfstand Oppau. By Franz Jantsch. (3 pp.)
3. Work of the heat technology group in the Technische Prüfstand. By Georg Kling. (6 pp.)
4. The nature and use of light ash. By Walter Schenker. (4 pp.)
5. The development of the knock value determination of light fuels. By Eugen Singer. (4 pp.)
6. Testing of Diesel fuels. By Ludwig Köhler. (2 pp.)
7. Starting aid for Diesel motors in case of cold. By Heinz Leib. (3 pp.)
8. The Hesselman motor and its fuels. By Walter Witschakowski. (4 pp.)
9. Experiments with automotive engines. By Ludwig Köhler. (3 pp.)
10. Motor lubricant testing. By Walter Lauer. (3 pp.)
11. Friction and wear and tear in lubrication. By Rudolf Halder. (3 pp.)

Frames

12. I.G. -- test motor. By Fritz Penzig. (5 pp.)
13. Overload experiments and Prüfstand arrangements for it. By W. Witschakowski. (4 pp.)
14. Electrical measurements in the Technische Prüfstand Oppau. By Erich Schuch. (4 pp.)
15. Optical index of refraction and dispersion as analytical aids in the investigation of gasolines and Diesel oils. By Rudolf Roth. (4 pp.)
16. Evaluation of the combustion equation. By Fritz Penzig. (4 pp.)
17. List of publications and authors from the Technische Prüfstand Oppau.

1053-1059 Report on the Freudenberg process for working up sulfite spent liquor. Report by Dr. Schuster, dated Oct. 8, 1941.

1060-1086 Report on piston pressure measurement apparatus--its development and use. Report from Betriebskontrolle Oppau, Rept. No. 443, signed by Gmelin and Frank, dated Aug. 20, 1942. (One table, one page of graphs and six pages of diagrs. and photos included with report.)

1087-1101 Report on compounds with C : C double bonds and olefinic character. Report signed by Tanneberger, dated Nov. 28, 1938.

1102-1116 Report on inorganic tanning agents, particularly these made by I.G., Ludwigshafen. Report by Dr. Hühn, dated March 2, 1938.

1117 Note of transmittal concerning the report by Dr. von Nagel entitled "Laboratory experiments on the purification and concentration of waste sulfuric acid." Note signed by Johannson, dated May 11, 1943.

1118-1126 Laboratory experiments on the purification and concentration of waste sulfuric acid. Signed by Dr. v. Nagel, dated April 28, 1943, I. G. Farbenindustrie A.G. (One diagr. included with report.)

1127-1145 The alkylation of iso-pentane and propylene in the presence of concentrated sulfuric acid. Report of work carried out in Laboratory No. 907 (Hydrogenation) between Mar.-June 1940. Report is signed by Pohl. (Five pages of graphs included with report.)

Frames

The following documents are connected with high pressure dehydrogenation at I.G. Farbenindustrie A.G., Ludwigshafen.

1146-1150	Concentrated feed and fodder conserves from hydrocarbon oxidation products. Patent suggestion signed by Pfirrmann and dated Aug. 18, 1944.
1151	Note of transmittal concerning a report on the production of synthetic fats. Note is dated Dec. 22, 1944.
1152-1164	The production of synthetic fats, their properties and their behavior physiologically, especially with regard to feeding diabetics. Report signed by G. Wietzel, dated Dec. 14, 1944, Ammoniak-Laboratorium, Oppau.
1165-1167	Methane as aviation fuel. Report is dated March 14, 1945 and signed by Hinhau (?).
1168-1171	Fodder from hydrocarbon oxidation products. Patent specification signed by Pfirrmann, dated Aug. 18, 1944.
1172-1179	Synthetic fodder. Report signed by Pfirrmann, dated Feb. 28, 1944.
1180-1185	Anti-knock properties of aviation fuels. Report signed by Dehn, dated Oct. 18, 1942. (Three pages of graphs included with report.)
1186-1187	Production and use of alkyl-benzene. Report dated Oct. 17, 1942.
1188-1210	Directions for the operation and supervision of the alkacid washing plant. (Three sample data sheets and three diagrs. included with report.)
1211-1225	600 atm. aromatization of bituminous coal liquefaction middle oil as a preliminary stage in the production of DHD high capacity fuels. Report signed by Günther, dated Dec. 9, 1943. (Two tables, two diagrs. and three pages of curves included with report.)
1226-1236	Aromatization of middle oil from the bituminous coal liquefaction. Incomplete report is dated April 10, 1941.
1237-1244	Gas solubility at 700 atm. (Sump-phase-bituminous coal.) Report signed by Donath and Simon, dated March 11, 1942. (Two tables and five graphs included with report.)

Frames

1245-1248 Development of the sump-phase since 1933. Report signed by Rank, dated Oct. 23, 1942. (Two tables included in report.)

1249-1250 Operation control scheme for a coal chamber. Note from Gelsenkirchen to Schappert, dated Nov. 20, 1941, accompanied by diagram.

1251-1295 Report of work done on the dehydrogenation of paraffins, particularly i - $C_4 H_{10}$, with the aim to prepare high anti-knock fuels from butane obtained in coal hydrogenation. Report brings up to date the work done in Leuna between 1936-1940 but is incomplete due to the absence of all of the curves and two (Tables 7 and 8) of the twenty-six tables referred to in the report. No author given.

1296-1304 Cracking, hydrogenating and treating with water-gas in the presence of cobalt catalysts ("oxonating") of olefin polymers. Report signed by Bueren and Free, dated Nov. 28, 1940. (Four tables included with report.)

1305-1309 Dehydrating polymerization of alcohols or alcohol-olefin mixtures. Report signed by Bueren, dated Oct. 6, 1941. (One table included with report.)

1310-1313 Condensation of ethylene oxide with compounds which contain active hydrogen atoms. Report signed by Bueren, dated Dec. 19, 1941.

1314-1329 The process for the production of anti-knock hydrocarbons (by polymerization). Address by Dr. Bueren at a colloquium held in Ludwigshafen, Nov. 7, 1941.

1330-1334 Condensation of ketones by means of weakly basic catalysts and the reduction of keto-alcohols to hydrocarbons. Report signed by Bueren, dated Oct. 4, 1941. (One table included with report.)

1335-1343 Report on the state of the alkazid process. Report signed by Bähr, dated March 1935, Leuna Werke. (One graph and two diagrs. included.)

1344-1351 New experiments on the aromatization of heavy gasoline over silicate and alumina catalysts in the absence of pressure. Report signed by Free, dated Aug. 18, 1944. (Three tables included with report.)

Frames	
1352-1366	Highly condensed aromatics and their relation to the hydrogenation asphalts. Report signed by Boente, dated Nov. 22, 1944.
1367-1379	Conference on the carbon monoxide-hydrogen synthesis. Report of conference held in Berlin, July 1, 1941, signed by Peters. (One table included with report.)
1380-1381	The propane process. (Use of propane as refining agent for petroleum distillates and residues.) Report signed by Eisenhut, dated Oct. 19, 1942.
1382-1389	Lubricant factory at Lützkendorf. Report from Wintershall A.G. to I.G. Farben, dated Oct. 23, 1941. (Two diagrs. included with report.)
1390-1400	The hydrogenation of aromatic hydrocarbons. Report signed by Henkels, dated June 17, 1940.
1401-1404	The production of propylene lubricating oils. Report signed by Christmann, dated Jan. 19, 1942. (Table referred to is missing.)
1405-1408	Comparison of various sump-phase systems with respect to heat requirements and temperature progress. Report signed by von Hartmann, dated May 22, 1942. (Two curves included with report.)
1409-1413	The chemical constitution of the asphalts of the bituminous coal hydrogenation. (Report at the colloquium on asphalts held on Oct. 13, 1942.) Report signed by Boente, dated Oct. 13, 1942.
1414-1425	The question of the production of special Diesel oils with low solidifying point and high octane number. Report signed by Peters and Günther, dated April 7, 1943. (Four tables and two graphs included with report.)
1426-1436	Production of altitude fuel from 5058/6434 gasoline--190°C, from Scholven, according to the DHD process. Experiments in a 1,000 ccm. oven for Ka. 504. Report signed by Nonnenmacher, dated Aug. 28, 1942. (Three tables and two graphs included with report.)
1437-1466	Phenol extraction plant, Lützkendorf. Operation periods I-V. Report dated Jan. 4, 1942. (Tables 1-18 and 20 included with report.)
1467-1479	Activity report, January to February 1944. (Small gas phase oven). Report signed by Peters, Trofimow, Günther, Meade and Grassl, dated Feb. 29, 1944.

Frames	
1480-1495	Distillation of hydrogenation residue. Report signed by Hupfer and Leonhardt, dated May 22, 1944. (Five tables included with report.)
1496-1570	Large scale fuel oil research. Chamber 804. July 15, 1941-Sept. 21, 1941. Report signed by Locker, Rank and Simon, dated Aug. 4, 1943. (Graphs, photos, diagrs. and large number of tables, including thirty-five at end of report, attached.)
1571-1576	Diesel oil production in bituminous coal hydrogenation plant. Report signed by Oettinger, dated June 5, 1941. (Two tables included with report.)
1577-1595	Autoclave research for the hydrogenation splitting of paraffins with tungsten sulfide. Report signed by Reitz, dated Sept. 15, 1943. (Four tables and five graphs included with report.)
1596-1604	Testing of laboratory-prepared DHD catalysts in a 1 liter oven. Report signed by Reitz, dated Nov. 4, 1942. (Three tables and one graph included with report.)
1605-1610	De-ashing by moderate hydrogenation. Report signed by Rank and von Hartmann, dated Oct. 17, 1942. (Two tables and one page of graphs included with report.)
1611-1615	Extracting hydrogenation in a 10 liter oven. Report signed by von Hartmann, dated Sept. 18, 1942. (One table and two graphs included with report.)
1616-1619	Catalytic cracking in high pressure or DHD chambers. Report signed by Donath and Free, dated Dec. 3, 1944. (Two diagrs. included with report.)
1620-1623	Catalytic cracking in Moosbierbaum. Report signed by Free, dated Jan. 18, 1943.
1624-1640	Cracking of gasoline and gasol under H_2 pressure. Report signed by Nonnenmacher, dated April 2, 1941. (Nine pages of tables and three pages of graphs included with report.)
1641-1646	The catalytic cracking of middle oils over various catalysts at normal pressure and at pressures of 45 atm. in a H_2 atmosphere. Report signed by Free, dated July 31, 1941. (Three tables included with report.)

Form PB-3

START

OF

REEL

Roll

23R

Form R-4

Name of Target: Documents Centre, Griesheim.

Type of Organization: I. G. Farben Industry A.G. Control Office.

Land: Germany.

Kreis: Greater Hesse.

City: Griesheim.

Street: Autogen Str.

Roll Number: 23 R

Team: R

Date: 9. October. 1946.

SCREENERS.../ .

Mr. ARONS ....

Geheim!
1. Dies ist ein Staatsgeheimnis im Sinne des § 88 RStGB.
2. Briefumschläge nur verschlossen, bei Postbeförderung als „Einschreiben".
3. Aufbewahrung unter Verantwortung des Empfängers unter gesichertem Verschluß.

Akten Dr. Kratz

Vertraulich

Magnesiumphosphatkontakt Dr. Schütze Oppau

Materialien:

Magnesiumoxyd von Zillertaler Magnesitwerken.

CaO	= 2,4 %	Phosphorsäure techn. rein 84 %ig von I.G.Piesteritz
$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	= 1	62,44 % P_2O_5 + 2 % H_3PO_2
SO_2	= 0,7	
K_2O	= 0,15	
Na_2O	= Spuren	Kieselgur S 4 ungeglüht von
Cl	0,036	Vereinigten Deutschen Kieselgurwerken
SO_4	1,9	G.m.b.H., Hannover.
MgO	87,6	~ 9 % Glühverlust
H_2O	6,21	

In einem 150 Ltr. V4A - Rührkessel werden 46 kg H_3PO_4 (1,698) eingebracht und unter Rühren eine Aufschlämmung von 5,55 kg MgO in 10 Ltr. Wasser langsam eingetragen. Bei ungefähr 80° werden 3,32 kg Kieselgur (13 % Glühverlust), die in 13 Ltr. Wasser angerührt wurden, auf einmal dazugegeben. Hierzu fügt man 9 kg Kontaktpulver einer früheren Darstellung, das durch Stehen über Nacht mit 9 Ltr. Wasser angeteigt worden war. Gesamtwassermenge 36 Ltr., wovon 4 Ltr. zum Spülen der Ansatzgefäße verwendet werden. In 22 - 27 Stunden wird unter Rühren bei 84 - 112° eingedampft. Die zähe Masse wird auf Aluminiumbleche gestrichen und 2 Std. mit schwachem Vakuum (40 - 70 mm) bei 120° vorgetrocknet. Nach dem Schneiden in Würfel wird das Produkt weitere 46 Std. im Vakuumtrockenschrank getrocknet (Temp. bei ungefähr 120°). Gesamtanfall ca. 52 kg. Zertrümmerungsdruck 7 - 13 kg/qm. Schüttgewicht ungefähr 800.

Kontaktanalyse.

	SiO_2	6,45 %
	Al_2O_3	0,30
	Fe_2O_3	0,28
	CaO	0,71
	MgO	11,09
	SO_3	0,1
Aus Gesamtalk.	Na_2O	0,09
Gesamt	P_2O_5	65,73
Freie	H_3PO_4	26,75
(Fischer)	H_2O	1,23

12.1.42.

HOCHDRUCKVERSUCHE
Lu 558

19. 4. 1943 Mi/Fe

Besprechung am 19. 43 mit Herren der Ruhrchemie über

"Die Frage des Kobalt-Ersatzes durch Eisen"

2. Besprechung am 19.4.43, morgens 10½ Uhr.

Anwesende:

Dr. Hagemann, Dr. Roelen, Dr. Heckel (Ruhrchemie)
Dr. Schauermann, Dr. Duftschmidt, Dr. Markert,
Dr. Simmler, Dr. Gloth, (I.G. Oppau)
Dr. Pier, Dr. Michael (Hochdruckversuche Lu)
Dr. Rheinfelder (Patentabteilung Lu)
Dr. Wenzel (Leuna)

Einleitend ergriff Dr. Hagemann das Wort. Mit Eisenkontakt sei noch an keiner Stelle ein Versuch in grossem Maßstab gemacht. Holten ist in 14 Tagen soweit, einen grossen Betriebsofen anzufahren. Der dafür in Frage kommende Kontakt sei in halbtechnischem Maßstab 1½ Jahre gelaufen bei einem Druck von 8-12 at. Über die Versuche von Dr. Koelbel wisse er nur soviel, daß dieser 1½ Jahre lang einen Versuch in halbtechnischem Maßstab habe laufen lassen. Dr. Koelbel wolle bei Hösch seinen Grossversuch fahren, während die Ruhrchemie den ihrigen in Holten fahren will.

Über die Kobalteinsparung führte er dann folgendes aus: Der Kobaltgehalt der Kontakte soll um 10 % verringert werden. Bis zu dieser Verminderung könne man gehen, ohne das Produkt in seiner Qualität wesentlich zu ändern. Insgesamt seien 1'000 t Kobalt in den Synthesenanlagen vorhanden, dazu käme noch eine Reserve. Der Kobaltverlust betrage zur Zeit pro Monat 7 to. Je verdünnter der Kontakt an Kobalt wird, umso leichter wird das Produkt, weil höhere Temperatur notwendig wird. Die Methanbildung braucht dabei nicht zu steigen. Nun haben aber heute die schweren Syntheseprodukte die grösste Bedeutung. Bei 10 % Kobaltverminderung würde sich die Zusammensetzung nicht ändern. Durch ein kohlenoxydreicheres Gas kann diese Veränderung der Produkte teilweise kompensiert werden.

Bezüglich der Ernennung des Kommissars Dr. Koelbel äußerte sich Dr. Hagemann dahin, daß die Ruhrchemie bisher Wert darauf gelegt hätte, sich mit allen in Frage kommenden Stellen zu verständigen. Aber Rheinpreußen habe bisher die Verständigung abgelehnt. Dr. Koelbel habe schon früher in Katalysatorfragen Schwierigkeiten gemacht. Er habe seinerzeit erklärt, daß er durch eine Verbesserung des Katalysators die Produkte verdoppeln könne. Als er aber dann aufgefordert wurde, seinen Vorschlag in die Tat umzusetzen, zeigte sich schon bei den Vorbereitungen, daß nichts daran war.

Da wurde dann darüber gesprochen, ob auch ein I.G.-Kontakt in einen grossen Versuchsofen ausprobiert werden soll. Die grossen technischen Einheiten für Drucksynthese enthalten 10 cbm Kontaktraum pro Ofen. Bei Hösch sei ein solcher Ofen in Vorbereitung, die Ruhrchemie habe selber einen solchen Ofen fahrbereit. Sie haben ausserden noch einen zweiten grossen Versuchsofen, der für höhere Drucke und Temperaturen bis 270°C geeignet sei. Dieser komme aber nicht in Frage, da er für die Ausprobierung des neuen Kontaktes für die italienische Synthese-anlage, die bei höherem Druck gefahren werden soll, belegt sei. Es stünden daher nur insgesamt 2 Öfen für grosse Versuche zur Verfügung, von denen der eine wohl durch Dr. Koelbel belegt werde, während in dem anderen die Ruhrchemie ihren Kontakt ausprobieren wolle. Beide in Frage kommende Versuchsöfen hätten keine getrennte Kondensation, sondern werden in den allgemeinen Gaskreislauf eingeschaltet. Trotzdem liesse sich natürlich durch Analysennahme die Art und Zusammensetzung des Produktes feststellen. Die höchste Temperatur, bis zu der diese Öfen benützt werden können, ist 225°C. In Holten könnten 25 - 30 % der vorhandenen Öfen mit Eisenkontakt gefüllt werden.

Herr Dr. Roelen von der Ruhrchemie machte nun nähere Ausführungen über den Eisenkontakt. Das Eisen verarbeitet hauptsächlich das CO im Gas. Nun kann aber keines der vorhandenen Werke CO-reiches Gas liefern, wohl aber kann Wassergas von sämtlichen Werken bereitgestellt werden. Das Wassergas hat ein CO : Wasserstoff-Verhältnis 4 : 5. Der Ruhrchemie-Kontakt auf Basis Eisen ist so eingestellt, daß der Gasverbrauch dieser Gaszusammensetzung entspricht. Das Gas soll möglichst inertenarm sein. Je höher der Inertengehalt ist, umso weniger kann man das Gas ausnützen, wenn man nicht methanreiche Produkte herstellen will. Die Belastung der Eisenkontake ist wie bei den Kobaltkontakten, nämlich 1 000 cbm Gas pro Stunde auf 10 cbm Kontaktraum, gerechnet in Bezug auf Frischgas. Das Kreislaufgas kommt zu dieser Menge noch hinzu. Ein Kreislauf ist sowohl bei Hösch wie auch bei Ruhrchemie im Bau. Das verwertbare Temperaturgebiet ist durch 225° nach oben begrenzt und liegt für die vorhandenen Öfen fest. Nach der Literatur erfordert der Eisenkontakt höhere Temperaturen. Für den Temperaturbereich oberhalb 225° hat die Ruhrchemie einen Kontakt entwickelt, der bei 240 - 260° arbeitet. Er dient dazu, möglichst viel Paraffin zu erzeugen und ist für die Anlage in Italien bestimmt. Er verarbeitet Wassergas und hat eine Lebensdauer von vier Monaten. Das anfallende Paraffin ist weiß. Er geht unter dem Namen P-Katalysator. Er ist halbtechnisch bei 20 atm erprobt. In viermonatigem Versuch lieferte er 150 gr flüssige und feste Produkte einschl. Gasol bei einem Gesamtumsatz von 90 % in zwei Synthesestufen. Das Produkt zeigte folgende Zusammensetzung:

Gasol	12 %	
Benzin -200°	40 %	
Mittelöl 200-320°	16 %	
Paraffin 320 - 460°	17 %	32 %
Paraffin oberhalb 460°	15 %	

Die Paraffinausbeute nimmt bei längerem Fahren ab. Vom Benzin sind 66 % in Phosphor-Schwefelsäure löslich. Die OH-Zahl im Benzin beträgt 24. Vom Schweröl sind 52 % in Phosphor-Schwefelsäure löslich.

Die Ruhrchemie hat noch einen zweiten Kontakt entwickelt im Hinblick auf den evtl. notwendig werdenden Ersatz des Kobalts durch Eisen.

Die nennt ihn TT-Kontakt für Temperaturen unterhalb 225°C. Er beginnt bereits bei 170° zu arbeiten. Die Arbeitstemperatur liegt zwischen 230 und 215°. Er ist bisher 1½ Monate gelaufen, zeigt aber noch keine wesentliche Abnahme der Leistung. Das Gas wird im Wassergasverhältnis verbraucht. Bei 90 % Umsatz werden 150 gr feste und flüssige Produkte erhalten, die sich folgendermassen zusammensetzen:

Benzin -200°	40 bis 60 %
Öl 200-325°	20 " 25 %
Paraffin	20 " 40 %

Gasol ist hierbei nicht eingerechnet.

Der Olefingehalt des Benzins beträgt 60 - 70 % und höher (mit Phosphor-Schwefelsäure bestimmt)

Der Druck, bei dem er gefahren wird, beträgt 10 - 15 atm. Die Leitung ist wie bei Kobalt, die stündliche Gaszufuhr 100 cbm Frischgas auf 1 cbm Kontaktraum. Der Kontakt kann in den vorhandenen Einrichtungen hergestellt werden. Sparmetalle werden nicht benötigt.

Über den P-Katalysator sagte noch Dr. Roelen, daß er im Laufe der Fahrperiode auf seiner Temperatur bleibe. Er sei wesentlich fester als der Kobaltkontakt. In der Trommelprobe habe sich das Abriebverhältnis Kobalt : Eisen wie 5 : 1 herausgestellt.

Herr Dr. Scheuermann berichtete dann seinerseits über seine Kontaktversuche. Sein Kontakt arbeite bei 230°, die Gasbelastung sei 120 : 1 über 4 Stufen. Der Kobaltumsatz sei 84 %. In dreimonatiger Laufzeit wurden erst 155 gr, dann 150 gr und später 145 gr feste und flüssige Produkte erhalten. Das CO : H_2-Verhältnis ist 1:1. Die Zusammensetzung sei folgende:

Benzin -195°	26 %	
Mittelöl -320°	12 %	
Paraffin -450°	19 %	62 %
" oberhalb 450°	43 %	

Die Versuche seien in 5 mtr langen Eisenrohren gefahren worden. Zwischen den einzelnen Stufen wurde das Produkt ohne die Kohlensäure abgeschieden. Der Kontaktraum betrug 4 ltr.

Herr Dr. Roelen machte dann noch Ausführungen über die Abnahme der Paraffinleistung während einer längeren Fahrperiode. Mit dem P-Katalysator wurden im ersten Monat 43 % Paraffin (unter Einrechnung des Gasols) erhalten, vom 1. bis 80. Tag 39 %, vom 1. bis 90. Tag 35 %, vom 1. bis 120. Tag 32 %.

Herr Dr. Duftschmidt berichtete alsdann über seine Fahrweise. Er habe eine Gesamtausbeute von 150 gr. Das Produkt setzt sich wie folgt zusammen:

Gasol	14 % (über 80% Olefine)	
Benzin -170°	31 - 34 %	
Mittelöl 170-320°	19 %	
Paraffin -400°	11 %	28 %
" oberhalb 400°	17 %	

Rest wasserlösliche Alkohole.

Die Fahrtemperatur liegt zwischen 240 und 300°. Gefahren wurde in einem 1,5 cbm-Ofen 5 Monate lang. Dabei wurde kein Abfall der Leistung festgestellt. Das Schüttgewicht des Kontaktes (Eisenschmelzkontakt) beträgt 2½.

Zuletzt sprach noch Dr. Michael über seine Arbeiten, indem er erst über seine Versuche im Röhrenofen mit einem modifizierten Eisensinterkontakt berichtete. Bei 20 atm und 230°C wird eine Leistung von 0,3 bis 0,35 erzielt; der Kontakt liefert 50 und mehr Prozent Paraffin, etwa 20 % Mittelöl und 20 - 25 % Benzin, dazu noch etwa 5 % Gasol. Der Versuch ist im 20-ltr-Ofen gefahren worden.

Es wurden noch über die Schaumfahrweise nähere Angaben gemacht, bei der jedoch weniger Paraffin, nämlich 12 bis 15 %, erhalten werden. Der Benzinanfall ist etwa 45 %,
Mittelöl 30 %,
Gasol 8 %,
noch etwa 4 % Alkohole im Produktwasser.
Die Ofenleistung betrage bei 250° 0,35. Der Sumpf bestehe aus dem bei der Reaktion entstandenen Paraffin, der eine Kontaktsuspension von kolloidalem Eisen in einer Konzentration von 300 bis 350 kg/cbm Kontaktraum enthält.

Es wurde darauf hingewiesen, dass die Fahrweise bereits in 1½ cbm-Ofen über viele Monate hindurch ausprobiert sei und dass ein grösserer Ofen von 14 cbm Inhalt fahrbereit sei. Von Herrn Dr. Roelen wurde geltend gemacht, dass das Vorhandensein so grosser heisser brennbarer Ölmengen im Hinblick auf die Kriegsverhältnisse ein Gefahrenmoment hereinbringe. Dr. Michael machte dagegen geltend, dass der grösste Teil des Sumpfes unter Atmosphärendruck nicht koche und infolgedessen bei Vorhandensein entsprechender Räume in der Erde mit verhältnismässig geringerer Gefahr, falls ein Ofen undicht werden sollte (durch Vombeneinwirkung) in diesen unterirdischen Räumen aufgefangen werden könne.

Es wurde folgendes bezüglich Dr. Koelbel vereinbart:

Dr. Koelbel soll seinen Grossversuch bei Hoesch fahren.

Die Ruhrchemie fährt ihren Grossversuch in einem eigen Ofen.

Der Kontakt von Dr. Scheuermann soll bei der Ruhrchemie vorläufig in einem 1½ cbm-Ofen ausprobiert werden.

3. Januar 1945 Mi/Ki

Hochdruckversuche
Lu 558

Zur Frage des Co-Ersatzes für die KW-Synthese.

Wenn die vorhandenen Fischeröfen benutzt werden sollen, kommt weder das Gasumwälzverfahren noch die Schaumfahrweise in Frage. Die Gasumwälzung nach der früher geübten Weise liefert außerdem vor allem kein Paraffin.

Die Schaumfahrweise liefert Paraffin bis zu 25 %, benötigt aber einen völlig neuen Syntheseteil. Allerdings hat sie den Vorteil, daß sie bereits im Tonnenmaßstab erprobt ist und daß sie als gelöst bezeichnet werden darf.

Sollen die vorhandenen Röhrenöfen der Fischersynthese benötigt werden, so scheiden nach unseren Erfahrungen die drucklosen Öfen aus, da der Eisenkontakt, einerlei welcher Herstellung, drucklos so gut wie keine Leistung gibt. Dagegen gibt er von etwa 10 at aufwärts gute Leistung. Es kommt somit Eisenkontakt nur bei Fischeröfen für erhöhten Druck in Frage. Mehrere Schwierigkeiten sind mit der Verwendung von Eisenkontakt verbunden. Die Wärmeproduktion des Kontaktes ist bei 20 at wegen seiner mehrfachen Leistung gegenüber Co-Kontakt eine mehrfache, sodaß vielleicht bei geringerem Druck gefahren werden muß, um mit den vorhandenen Öfen auszukommen.

Ferner neigt der Fe-Kontakt mehr wie Co zum Durchgehen unter Methan- und Rußbildung. Außerdem neigen die Fe-Kontakte gerade bei niedrigen Fahrtemperaturen zum Weichwerden und zerrieseln.

Während unser alter Sinterkontakt für das Fahren bei 250° nicht aktiv genug ist, gelingt es durch eine Modifikation desselben, die aber gerade für die frühere Fahrweise oberhalb 300° keine Bedeutung besitzt, einen hochaktiven und doch sehr festen Kontakt für die Fahrweise bei tiefen Temperaturen (250°) herzustellen. Dieser Kontakt liefert 50-70 % Paraffin, in der Hauptsache vom Schmelzpunkt von fast 100° und manchmal weit mehr Mittelöl als Benzin. Er läßt sich aber auch für die Benzinfahrweise einstellen. Er eignet sich sowohl für den Röhrenofen wie für den Umwälzofen, ist aber im Großversuch noch nicht erprobt.

Als Zusatz hat sich am besten bewährt Wolframsäure in 2-3%. Der Kontakt hält mehrere Monate und wird durch erneutes Sintern regeneriert.

Beispiele für Produktzusammensetzung des Kontaktes:

Benzin bis 200°	35	25	15
Mittelöl 200-350°	25	25	25
Paraffin 350°	40	50	60
dann Gasöl	10	5	5

Die Vergasung beträgt nur wenige Prozent.

Wird bei 240-250° gefahren, so entstehen Dampfdrucke von etwa 40 at im Kühlwasser. Da die Fischeröfen für solche Drucke nicht gebaut sind, muß ein Kühlmittel (Öl statt Wasser verwandt werden, das seinerseits seine Wärme an Wasser abgibt.

gez. Michael

Hochdruckversuche
Lu 558

T 16

16.April 1941.

623

Untersuchung über die Anwendung von 700 oder 300 atm in Gasphase.

Die Prüfung, ob für die Gasphase 700 oder 300 atm richtiger sind, ist in verschiedener Richtung von Bedeutung:

1) allgemein, d.h. für die Benzinierung und breite Anwendung der Gasphase;
2) für die Herstellung von Hochleistungskraftstoffen durch aromatisierende Behandlung;
3) für die Frage der Kombination der Benzinierung oder Aromatisierung mit der Dehydrierung für die Herstellung von Hochleistungskraftstoffen;
4) für den besonders ~~drängenden~~ belasteten Fall für Schlesien, wo Kohleölgewinnung wird!

Die Gasphase bei 700 atm war von der I.G.Farbenindustrie AG gleichzeitig mit der Sumpfphase bei 700 atm in Angriff genommen und auch katalytisch entwickelt worden. Die weitere praktische Anwendung der 700 atm-Fahrweise in der Gasphase, die grundsätzlich gestattet, weniger edle Katalysatoren anzuwenden, mit den Durchsätzen höher und der Vergasung herunter zu kommen, war nicht weiter von der I.G. technisch entwickelt worden

1) weil materialmässig ein Engpass vorhanden war hinsichtlich der Öfen;
2) weil das Material technisch noch nicht genügend entwickelt war;
3) weil die Kosten bei den 700 atm zunächst wenigstens, solange sie in der Entwicklung waren, unter Berücksichtigung des Durchsatzes, teurer erschien als bei 300 atm, sodass

man nur, wo es dringend notwendig war, in der Sumpfphase für die Verarbeitung von Asphalten und schwer verarbeitbaren Kohlen, 700 atm wählte, sonst aber bei 300 atm blieb (Leuna).

Anders ist die Lage da, wo ausser der 700 atm-Sumpfphase nur eine kleine Gasphase vorhanden ist, besonders dann, wenn sie später angebaut wurde. In solchen Fällen erscheint es von vorneherein zweckmässig, unter gleichem Druck zu arbeiten. Von diesen Überlegungen ausgehend hat Welheim den richtigen Weg eingeschlagen, technisch 700 atm in der Gasphase anzuwenden. Welheim konnte hierdurch mit gemeinsamem Gaskreislauf in Sumpf- und Gasphase arbeiten (Einsparung von Umlaufpumpen und Kompressoren); ausserdem erhielt Welheim, das als Rohstoff Pech hydrierte, bei der 700 atm-Aromatisierung einen Hochleistungskraftstoff mit 50 Vol.% Aromaten (VT 706).

Kurz nach Kriegsbeginn gewann die Beschaffung von Hochleistungskraftstoffen auf Aromatenbasis (50 Vol.%), über die schon lange in Ludwigshafen zusammen mit dem R.L.M. gearbeitet worden war, praktisches Interesse. Um in kurzer Zeit geringere Mengen an Aromatenbenzin zu erzeugen, wurden einige der 300 atm-Kammern in Scholven, Pölitz und Gelsenberg auf Aromatisierung umgestellt. Das aus Steinkohle gewonnene CV_2b mit etwa 50 Vol.% Aromaten ist dem aus Pech gewonnenen VT 706^b praktisch gleichwertig.

Mit steigendem Bedarf an aromatischen Treibstoffen liess sich neben einem beschränkten Ausbau der CV_2b-Kammern das neu entwickelte DHD-Verfahren einsetzen, das gegenüber einer weiteren

Verstärkung der Aromatisierung folgende Vorteile hat:

1) bei vollständiger Umstellung der vorhandenen Hydrieranlagen auf Aromatisierung wären apparative Änderungen in den Anlagen (Vorheizer, Ölwäsche etc) nötig und damit ein zeitweiser Produktionsausfall verbunden. Die DHD-Anlage dagegen stellt eine zusätzliche Verarbeitung des in den bisherigen Anlagen gewonnenen Fertigbenzins dar;

2) das DHD-Verfahren erlaubt, aus dem gleichen Rohstoff bessere Produkte gleichen und auch höheren Aromatengehaltes herzustellen;

3) das DHD-Verfahren ermöglichst die Herstellung von Hochleistungskraftstoffen aus einer grösseren Zahl von Rohstoffen als die Aromatisierung, was z.B. für die Anlage in Pölitz von grosser Bedeutung ist.

4) das aufgestellte Isooktan-Alkylat-Programm, das bei Herstellung von Hochleistungskraftstoffen durch Aromatisierung stark eingeschränkt werden müsste, kann bei der Dehydrierung aufrecht erhalten werden.

5) das DHD-Verfahren lässt sich auch mit der Aromatisierung kombinieren.

Aus diesen Überlegungen heraus wurde in Pölitz, Scholven, für die Ausbaustufe I Oberschlesien und für Leuna der Bau von DHD-Anlagen beschlossen.

Für weitere Neuanlagen, insbesondere für die Ausbaustufe II Oberschlesien sollte die Frage der zweckmässigen Herstellung von Hochleistungskraftstoffen auf Grund der bisherigen Erfahrungen neu geprüft werden. Um die 700 atm-Aromatisierung in diese Prüfung

einbeziehen zu können, mussten dem neuesten Stand entsprechende Unterlagen für die Verarbeitung von Steinkohleverflüssigungsmittelöl beschafft werden. Gemäss Abmachung wurden daher Anfang 1941 in Welheim und in Ludwigshafen-Oppau Vergleichsversuche mit Steinkohleverflüssigungsmittelöl in Angriff genommen. Die Aromatisierungsversuche wurden durchgeführt

a) mit Steinkohleverflüssigungsmittelöl aus Scholven,

b) mit einem Steinkohleverflüssigungsprodukt, das in seiner Zusammensetzung, insbesondere seinem Gehalt an Sumpfbenzin, dem später für Oberschlesien zur Verfügung stehenden Gasphase-Einspritzprodukt entspricht.

Die Ergebnisse der Versuche in Welheim und Ludwigshafen-Oppau stimmen gut überein. Die wichtigsten Zahlen seien hier kurz nebeneinander gestellt.

Fahrweise	Verarbeitung von Steinkohleverflüssigungsprodukt a) Typ Scholven auf Mittelöl + Benzin (etwa 10% Sumpfbenzin)	b) Typ Oberschlesien auf Heizöl (etwa 40% Sumpfbenzin)
Wasserstoffdruck atm		
Durchsatz Leistung		
Vergasung %		
Ausbeute %		
Wasserstoffverbrauch		
Benzinqualität:		
spez. Gewicht		
Anilinpunkt		
% -100 °C		
Endpunkt °C		
Vol.% Aromaten + Ungesättigte		
Oktanzahlen:		
CFR-Motormethode		
" "+0,12 Pb		

Man erhält also aus Steinkohleverflüssigungsmittelöl im Fall a) ein Produkt mit etwa 40 Vol.% Aromaten, im Fall b) mit etwa 35 Vol.% Aromaten. Nach Untersuchungen der D.V.L. und des Technischen Prüfstandes Oppau der I.G.Farbenindustrie A.G. entspricht das Produkt a) etwa C_3-Qualität (Bestätigung fehlt noch!), mit dem Produkt b) dagegen wird C_3-Qualität nicht erreicht. Es muss daher weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, wie diese Produkte als Hochleistungskraftstoffe verwertet werden können.

Die Entwicklung der 700 atm-Gasphase hängt aber nicht nur von der Aromatisierung, sondern auch von den Möglichkeiten ab, durch Kombination der 700 atm-Fahrweise, z.B. mit der Dehydrierung Hochleistungskraftstoffe herzustellen. Wichtig ist weiter ihre Brauchbarkeit für die Herstellung von Autobenzin und von L-Benzin (Typ O.Z. 87 verbleit) und ihre Anwendbarkeit auf die Verarbeitung schwerer Öle über festem Kontakt.

Sieht man bei der Aromatisierung bei 700 atm einmal von der Schwierigkeit ab, die gewünschte Aromatenkonzentration von 50 Vol.% zu erreichen, so sind doch Leistung und Konzentration höher als bei 300 atm. Dies gilt auch für die Benzinierung und für die Verarbeitung von schwerem Öl über festem Kontakt, ein Verfahren, dem gerade für Oberschlesien, wo möglicherweise einmal Heizöl auf Benzin zu verarbeiten ist, Bedeutung zukommt.

Kombination milde Aromatisierung mit DHD.

Anlagenangabe: Kalor. Wirkungsgrad 20.11.42

I.G FARBENINDUSTRIE AKTIENGESELLSCHAFT

LUDWIGSHAFEN/RHEIN

628

Dr. Wilde
Dr-Ing. Schappert

DER KALORISCHE WIRKUNGSGRAD DER STEINKOHLE HYDRIERUNG.

Der kalorische Wirkungsgrad der Steinkohle-Hydrierung.

I. Im Nachfolgenden ist der kalorische Wirkungsgrad der Steinkohle-Hydrierung untersucht, unter dem man das Verhältnis versteht der im gewünschten Endprodukt, also Benzin + Treibgas, enthaltenen Kalorien zu den in der Kohle enthaltenen Kalorien, welche insgesamt erforderlich sind, um jenes gewünschte Endprodukt herzustellen.

Es ist also der kalorische Wirkungsgrad der Steinkohle:

$$\eta_{kal} = \frac{\text{Benzin + Treibgas}}{\text{Kohle für (Hydr.+H2+Energie)-Hygasüberschuss}} \quad \frac{\text{in kgcal}}{\text{in kgcal}}$$

Die 3 Summanden des Nenners kennzeichnen die 3 wesentlichsten Betriebe:

		Endprodukt:
Hydrierkohle	eig.-Hydrierung	Bä + Treibgas
H_2 - Kohle	H_2-Erzeugung	Reinwasserstoff
Energiekohle	Kraftwerk	KW + Dampf

Es ist daher zweckmässig, für diese 3 Betriebe den kalorischen Wirkungsgrad zunächst getrennt zu ermitteln, besonders um den Einfluss der H_2-Erzeugung auf den Wirkungsgrad der Gesamthydrierung besser überblicken zu können.

Wirkungsgrad des Kraftwerks:

		Gegendruck-betrieb:	Kondensations-betrieb:
Druck	ata	100/5	100/0,03
Adiab. Gefälle	kgcal/kg	190	320
Kuppl. Wirkungsgrad an der Turbine:	%	75	75
Spez. Dampfverbr.	kg/Kwh	3,70	3,4
Wirkungsgrad Kessel-haus:	%	85	85
Wirkungsgrad Kraft-werk:	%	60	25

		Autobenzin:	Fliegerbenzin
Benzin-Erzeugung	t	1	1
H_2-Verbrauch	m^3	2800	3200
Kraftbedarf:			
Dampf f. Hydr.	t	4,035) 7,285	4,490) 8,190
Dampf f. H_2-Erzeugung	t	3,250)	3,700)
El. Energie f. Hydr.	KW	1000) 1680	1360) 1920
El. Energie f. Hg-Erzeugg.	KW	1680)	1920)
Elektr. Energieerzeugung:			
a) Gegendruckbetr.	KW	1275	1430
b) Kondensat. Betrieb	KW	1405	1850
Kraftwerk-Wirkungsgrad	%	42	40

Der Kraftwerk-Wirkungsgrad ändert sich bei einem etwas anderen Verhältnis Dampf : Strom nur unwesentlich.

III. Kalorischer Wirkungsgrad der Hg-Erzeugung

1.) Das Wärmeflussbild der Hg-Erzeugung über Wassergas ist auf Bild 1 dargestellt, dabei wurde als Endprodukt 1000 m³ Rein-Hg gewählt. Blatt 1 enthält die Daten der Kokerei, Blatt 2 enthält die Daten der Wassergasfabrik, sowie der Gasreinigungen und Kompression, wobei der Bericht des Herrn Dr. Witte vom 27.11.1934 über die Untersuchung des Hg-Bedarfs der Anlage Gelsenberg zugrunde gelegt wurde, während die übrigen Energiezahlen den Betrieben Scholven bezw. Nordstern entstammen.

Je nach der Rechnungsart ergeben sich nun folgende Wirkungsgrade:

$$\eta_1 = \frac{\text{Rein Hg}}{\text{Einsatzkohle+Energiekohle-(Restwassergas+Benzol+Teer)}} = 26{,}3\ \%$$

$$\eta_2 = \frac{\text{Rein Hg+Benzol+Benzin(aus Teer } \eta = 30\%)}{\text{Einsatzkohle+Energiekohle-Restwassergas}} = 30{,}4\ \%$$

In den weiteren Berechnungen wurde jedoch nur mit $\eta_1 = 26{,}3\ \%$ gerechnet, da nicht immer ohne weiteres von der Hydrierung über das in der Kokerei anfallende Nebenprodukt Teer + Benzol verfügt werden kann.

2.) Nach Einführung der Gasverlegung nach Lünen wird der kalorische Wirkungsgrad nun beträchtlich erhöht. Nachfolgend eine Wärmebilanz der Scholvener Anlagen:

Eingang:		Ausgang:	
Gas	$149{,}7 \cdot 10^6$ kgcal/h	Hg	$70{,}0 \cdot 10^6$ kgcal/h
Energie-Kohle	$40{,}1 \cdot 10^6$ kgcal/h	Restgas	$70{,}7 \cdot 10^6$ kgcal/h
		Dampf	$2{,}6 \cdot 10^6$ kgcal/h
		Energie-Verluste	$39{,}5 \cdot 10^6$ kgcal/h
Gesamteing.	$189{,}8 \cdot 10^6$ kgcal/h		$182{,}8 \cdot 10^6$ kgcal/h

$$\eta_2 = \frac{\text{Hg}}{\text{Gesamteingang-(Restgas + Dampf)}} = \frac{70}{189{,}8-73{,}3} = 60\ \%$$

Wenn es auch selten möglich ist, den H2-Bedarf 100%ig durch Linde-Zerlegung z.B. aus Koksofengas zu gewinnen, so ist doch immerhin die Möglichkeit gegeben, etwa 1/3 des gesamten H2-Bedarfs auf diese Weise zu decken und zwar aus:

1.) den Hy-Argongasen einschl. Abschluss- und Schwelgas,
2.) dem Restwassergas, das zweckmässig konvertiert wird,
3.) dem Koksofengas, das der Aequivalent x Menge Koks entspricht, der zu Wassergas verarbeitet wird.

Unter Berücksichtigung, dass das Hy-Argongas zum grössten Teil bei 25 atm, dem Druck der Linde-Anlage, anfällt, ergibt sich der Wirkungsgrad einer kombinierten Linde-Anlage und Wassergasfabrik zu

$$\eta\,(\text{Linde} + \text{W.G.}) = 39\ \%.$$

Eine weitere Erhöhung des Wirkungsgrades liesse sich erzielen, wenn man das in der Lindezerlegung anfallende Restgas in einer Hygas-Spaltanlage weiterverarbeitet. Es wurde jedoch darauf verzichtet, im Folgenden diese erweiterte Kombination durchzurechnen.

III. Kalorischer Wirkungsgrad der eigentlichen Hydrierung:

1.) Das Wärmeflussbild der eigentlichen Hydrierung bei ηH_2-Erzeugung = 100%, wurde für die Herstellung von Fliegerbenzin aufgezeichnet (Bild 2) und zwar für folgende Daten, wobei gleichzeitig auch die entsprechenden Werte für Autobenzin angegeben sind:

		Fliegerbenzin	Autobenzin
H_2-Bedarf	m^3/t Bi	3200	2800
Einsatzkohle	t/t	2,15	1,95
Hygas-Anfall	10^6 kgcal/t Bi	6,3	6,2
Treibgas daraus	"	2,64	1,98

Die dazugehörigen Energiewerte sind aus Blatt 5 zu ersehen. Es errechnen sich so für die Benzinerzeugung folgende Wirkungsgrade:

	Fliegerbenzin	Autobenzin
η eigentliche Hydrierung	49,0	51,1

Mit dem tatsächlichen Wirkungsgrad der H_2-Erzeugung über Wassergas von ηH_2 = 26,3% fällt jedoch der Wirkungsgrad der Gesamthydrierung auf:

	Fliegerbenzin	Autobenzin
η Hyd.	27,2%	28,9%

Für diese Verhältnisse der tatsächlichen H_2-Erzeugung wurde das Wärmeflussbild der Gesamthydrierung für Fliegerbenzin in Bild 3 dargestellt.

Dabei wurde die zur Herstellung von 1 t Fliegerbenzin erforderliche Kohlemenge wie folgt unterteilt:

1.) Einsatzkohle für Hydrierung = 15,5 kgcal · 10^6
2.) Einsatzkohle für H_2-Erzeugung = 24,5 kgcal · 10^6
3.) Energiekohle für Kraftwerk = 7,78 kgcal · 10^6
Summa: 47,78 kgcal · 10^6

Der Energiekohle wird der Hygas-Überschuss zugeführt.
Das Restwassergas (Bild 1) geht ebenfalls dem Kraftwerk zu. In Bild 3 ist es nicht mehr eigens gezeigt, da es durch eine entsprechende Verminderung an Energiekohle in Rechnung gestellt wurde.

Die oben angegebene Wärmemenge von $47,78 \cdot 10^6$ kgcal ist der gesamte kalorische Einsatz für die Erzeugung von:

1 t Fliegerbenzin
und 0,24 t Treibgas.

Diese Wärmemenge ist dann auch prozentual aufgeteilt in:

Produkte, Energien und Verluste.

Da der Hygasüberschuss gewissermassen einen Kreislauf darstellt und somit in dem Einsatz von $47,78 \cdot 10^6$ kgcal nicht enthalten ist, so ist sein prozentualer Anteil auf Bild 3 eingeklammert.

Der "Hydrierverlust" im Betrag von $2,05 \cdot 10^6$ kgcal = 4,4 % stellt das Restglied dar und enthält die nicht mehr unterteilten Verluste und zwar in erster Linie

1.) Produktverluste der Destillationen, des Tanklagers usw.
2.) Kreislaufgas-Verluste,
3.) H_2-Verbrauch zur Bildung von H_2O, NH_3 und H_2S.

Die Tabelle 4 zeigt den Einfluss von $^{0}/_{Hg}$ auf den Gesamtwirkungsgrad der Hydrierung und in Bild 4 ist dieses Ergebnis graphisch dargestellt und zwar für Fliegerbenzin und Autobenzin. Der für die Herstellung des Bildes 3 bestimmte Betriebspunkt ist in der entsprechenden Kurve des Bildes 4 durch einen Kreis gekennzeichnet.

Wie aus diesen Kurven zu ersehen ist, fällt der Wirkungsgrad der Hydrierung mit steigendem Hg-Bedarf nur wenig ab. Ein höherer Hg-Bedarf erhöht den Hydrogenfall entsprechend, erfordert nur höhere Energiekosten. Die Abhängigkeit ist etwa folgende:

100 m^3 Hg-Mehrverbrauch

Kosten bei $^{0}/_{Hg}$ = 26,5% etwa $^{0}/_{Hydr.}$ um 0,45%

und bei $^{0}/_{Hg}$ = 50 % etwa $^{0}/_{Hydr.}$ um 0,8 %

XV. Möglichkeiten der Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades d. Gesamthydrierung:

X.) Einführung einer Linde-Zerlegung:

Wie unter II. gezeigt, läßt sich η_{H_2} von 26,5% auf 33% steigern, wobei man zur Hg-Gewinnung

a) das Hydrierabgas einschl. Schwel- und Abschlammgas,
b) das Restwassergas,
c) das dem in der Wassergasfabrik verbrauchten Koks entsprechende Koksgas zerlegt (o. bei einigen Werken möglich).

Dadurch bedingte Steigerung von $\eta_{Hydr.}$ auf ($\frac{\text{Pl.°bi}}{35,9}$ bzw. $\frac{\text{Autobi}}{35,7\%}$ ×)
31,9 " 33,7

Z.) Verwendung des Schwel-Rückstandes:

Der Schwelrückstand mit Ho 5900 kgcal/kg
und Hu 5780 "

kann nutzbringend im Kesselhaus verbrannt werden, was künftig sowohl in Nordstern als auch in Gladbeck geschehen soll.

Bei einem Abbau von 96 %
und einem Schwelverlust von 6,5%
bezogen auf den Ölgewinn, beträgt der
im Schwelrückstand enthaltene Wärmewert $1,3 \cdot 10^6$ kgcal/t Bi.
Dadurch bedingte Steigerung von $\eta_{Hydr.}$ auf ($\frac{35,2}{33,1}$ bzw. $\frac{37,1\%}{35,1}$ ×)

3.) Einführung der Breiregeneration:

Die Aufheizung des Breies erfolgt z. Zt. Fahrweise

ohne Regeneration $1,8 \cdot 10^6$ kgcal/t Bi
mit Regeneration $0,8 \cdot 10^6$ kgcal/t Bi

Die Breiregeneration bringt also
eine Wärmeersparnis von $1,0 \cdot 10^6$ kgcal/t Bi,
wovon die geringere elektrische Leistung der Heißgasgebläse berücksichtigt ist.

× Die eingeklammerten Werte lassen sich erreichen, wenn Linde-Anlage mit Koksofengas gefeigt.

Die Kreislaufgeneration hat sich in Stettin und im Grossversuch IG bewährt.

Dadurch bedingte Steigerung des %Hydr.auf (36,1 bzw.38,2%) 34,1 " 36,2

4.) Gewinnung der Abwärme aus Heissabschlamm und Produkt:

Im Abschlamm-Wasserdampfkühler und im heissesten Teil des Produktkühlers lässt sich ein Wärmegewinn von

rund $0{,}5 \cdot 10^6$ kcal/t Bi

erzielen.

Oberschlesien und Gladbeck werden mit diesen Kühlern ausgerüstet. Dieser Dampf kann Verwendung finden z.B. zur Aufheizung der Kupferlauge in der Co-Reinigung auf etwa 50°C.

Dadurch bedingte Steigerung des %Hydr.auf (36,6 bzw.38,8) 34,6 " 36,8

In Bild 5 wird die Abhängigkeit gezeigt des %Hydr. von dem H_2-Bedarf für Fliegerbenzin- und Autobenzin-Erzeugung wieder unter Berücksichtigung dieser oben aufgezeigten 4 Möglichkeiten % Hydr. zu erhöhen.

x Siehe Fussnote Seite 8.

Zusammenfassung:		Pik-Bl	Autobl
Der kalorische Wirkungsgrad des Kraftwerkes betrügt:	%	40	42
Der kalorische Wirkungsgrad der Hg-Erzeugung über Wassergas:	%	26,3	
Der kalorische Wirkungsgrad der eigentlichen Hydrierung:	%	49	51
bei einem Hg-Bedarf von	m³/t Bl	3200	2800
Der kalorische Wirkungsgrad der gesamten Hydrierung somit	%	27,2	28,9

Es wird gezeigt, dass es jedoch möglich ist, durch verschiedene Massnahmen, wie

Einführung einer Ländererlegung
Breitregeneration
Verwertung des Schwelkokstanöles
Gewinnung der Abwärme des Abschlammes

η Hyd. auf etwa (36,6 % bzw. 38,8 %) zu heben, Massnahmen, wie sie m.E. in Oberschlesien zum grössten Teil durchgeführt werden.

Es sind sicher weitere Massnahmen durchführbar bezw. denkbar, den kalorischen Wirkungsgrad noch weiter zu steigern. Da aber der kalorische Wirkungsgrad für die Gesamt-Wirtschaftlichkeit einer Hydrieranlage nicht allein massgebend ist, sondern andere Faktoren, wie Kapitalaufwand, Eisenbedarf u.s. oft wichtiger sind, so dürfen die obengenannten Werte von (36,6 bzw. 38,8) die z.Zt. erreichbaren kalorischen Wirkungsgrade für die Herstellung von Flieger- und Autobenzin aus Steinkohle darstellen. Eine ähnliche Untersuchung für die Kohlölherstellung folgt noch.

Wilde,
Schappert.

Anlagen.

Ausbeute an Gas, Koks und Teer aus Ruhrkohle bezw. aus Kokskohle.

Die Zahlen stammen aus dem Ruhrkohlehandbuch Jahrgang 1938 und haben auch für die heutigen Kokereien Gültigkeit.

Verkokungstemperatur	900°C
Einsatzprodukt. Gewaschene Feinkohle	8-12 % Wasser Ho = 6900-7200 WE/kg
Gasausbeute je 100 kg Feinkohle	27-29 m^3/100 kg 0° 760 mm Hg Hu=5100 - 5600 WE/m^3.
Koksausbeute je 100 kg Feinkohle	63-73 kg/100 kg
Teerausbeute	3 - 5 kg/100 kg.

Der Heizgasverbrauch beträgt ~ 50 % des anfallenden Gases, das aber vorher gewaschen ist und nur noch einen oberen Heizwert von ~4500 WE/m^3 hat.

Bei der Auswaschung fallen an Benzol an:

$(28 - x) \cdot 4500 + x \cdot 35000 = 28 \cdot 5550$

$x = 0{,}786$

$= 0{,}8$ N m^3 Benzol entspr. 2,7 kg Benzol.

An Gas bleiben übrig 28 - 0,8 = 27,2 N m^3, von denen 13,6 m^3 für Heizung der Koksbatterie und 13,6 m^3 für andere Zwecke verwendet werden.

Die produktseitige WE-Bilanz einer Kokerei sieht dann wie folgt aus:

Eingang				
Kohle	100 kg	7050 WE/kg	705 000 WE	100 %
Ges.-Eingang			705 000 WE	100 %
Ausgang:				
Koks	68 kg	7300 WE/kg	496 000 WE	70,4 %
Gas	27,7 N m^3	4500 WE/m^3	122 000 WE	17,3 %
Teer	4 kg	10000 WE/kg	40 000 WE	5,7 %
Benzol	2,7 kg	10200 WE/kg	28 000 WE	4,0 %
Verlust			19 000 WE	2,6 %
Ges.-Ausgang			705 000 WE	100,- %

Kokerei = 100 - (8,65 + 2,6) = 88,75 %

Unterlagen für ηH_2.

Kohle	Kohlebedarf & Produktion: Jan. - Sept.41	je 1000 m^3 H_2	Energie Inhalt 10^3 Cal	%	Kraftbedarf: Elektr. kW	Elektr. En. 10^3 Cal	Dampf t	Dampf 10^3 Cal	%
Kokerei									
Kohle			8 450						
Rohkoks	415.10^6 kg[1]	940 kg	6 550[1]	80,1					
Benzol			375	3,6					
Teer			530	5,03					
Gasfabrik					36,6[2]	78	-	-	0,74
C-Gas	528,2.10^6 m^3 [1]	1195 m^3	2 790[1]	26,5					
Rest-Gas	148,3.10^6 " [1]	335 m^3	670[1]	6,3					
Konvertierung					560[2]	1210	1,163[2]	750	18,6
CO_2 & CO-Wäsche									
H_2 (100 %)	441,8.10^6 m^3 [1]	1000 m^3	2 370	22,4					

1) Ho-Werte (Jan. - Sept.1941) Bericht Dr. Witte vom 27.11.41.
2) Betriebszahlen Nordstern.

Bla[illegible]

Energie-Unterlagen für Hydr.

I. Fliegerbenzin

			Müllerei		Hochdruck		Destillation		Rückstandsaufbereitung	
Kraftbedarf										
Elektr. Energie	10^3	kWh	129		1023		151		58	
		Cal		277		2200		324		125
Dampf 2,5 at	10^3	kg	66,5		800		2800		711	
		Cal		43		520				461
Dampf 18 at	10^3	kg	66,5		282		315		107	
		Cal		47		363				75
Heizgas (H_u=3000)	10^3	m^3	71		600		233		67	
		Cal		215		2040				201
		Cal				9 031				
Kohleverbrauch	10^3	t				2,15				
		Cal				15 500				
Wasserst.-Verbr.	10^3	m^3				5 200				
		Cal				7 590				
Benzin-Ers.	10^3	t				1				
		Cal				10 300				
Treibgas-Ers.	10^3	t				0,24				
		Cal				2 640				
Hy-Gasüberschuß	10^3	Cal				5 660				
Wirkungsgrad		%				49,0				

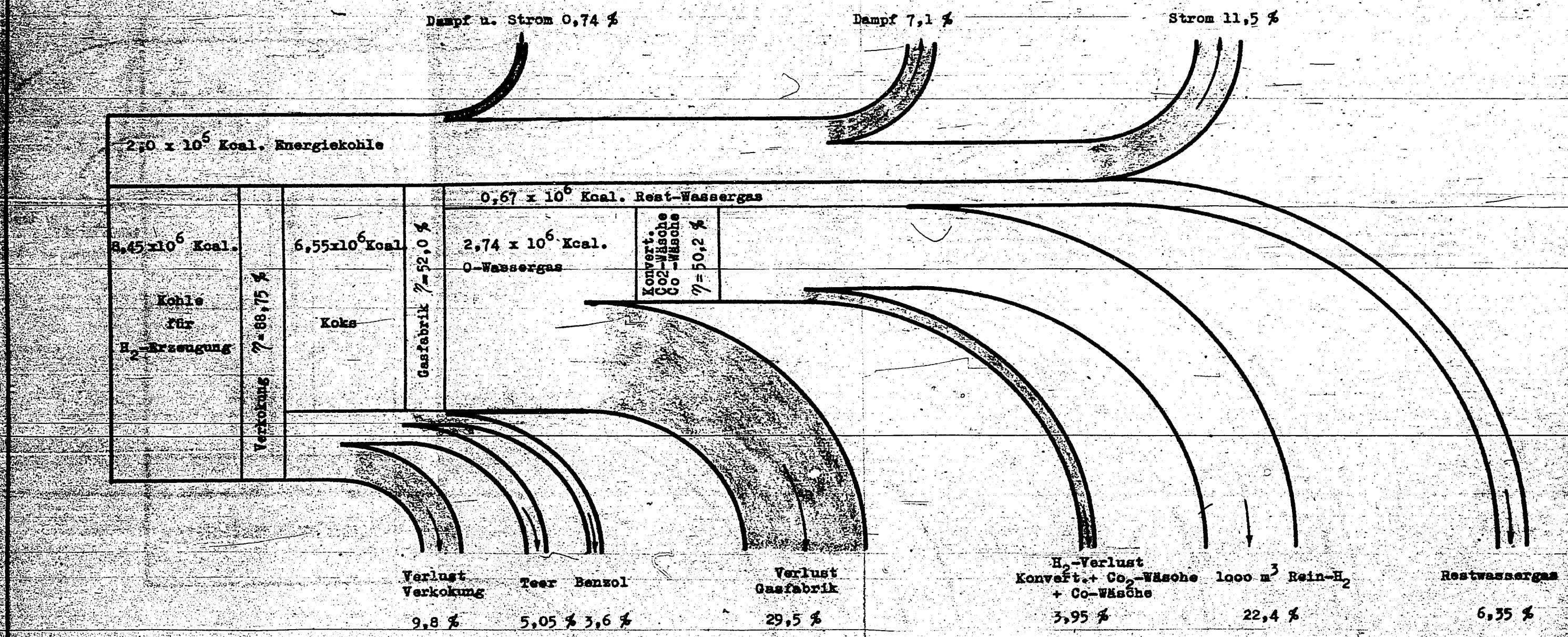
II. Autobenzin.

Kraftbedarf										
Elektr. Energie	10^3	kWh	116		696		136		52	
		Cal		258		1425		279		107
Dampf 2,5 at	10^3	kg	60		720		1980		640	
		Cal		39		468		1285		415
Dampf 18 at	10^3	kg	60		200		285		96	
		Cal		42		140		198		68
Heizgas	10^3	m^3	64		612		210		60	
		Cal		198		1855		629		186
		Cal				7 541				
Kohleverbrauch	10^3	t				1,95				
		Cal				14 050				
H_2 Verbrauch	10^3	m^3				2 800				
		Cal				6 640				
Benzin-Ers.	10^3	t				1				
		Cal				10 300				
Treibgas-Ers.	10^3	t				0,16				
		Cal				1 980				
Hy-Gasüberschuss	10^3	Cal				4 820				
Wirkungsgrad		%				51,1				

Wirkungsgrad: $\eta = \frac{\text{Benzin + Treibgas}}{\text{Kohle + Wasserstoff + Krafted.-Hy-Gasüberschuß}}$

		Flieger-Benzin.				Auto-Benzin			
Kohleverbrauch	t			2,15				1,95	
	10^3 Cal			15 500				14 050	
Wasserstoff-Verbr. =	m^3	3 000	3 200	3 400	3 600	2 600	2 800	3 000	3 200
ηH_2 = 100 %	10^3 Cal	7 110	7 590	8 060	8 530	6 160	1 640	7 110	7 590
Benzinerzeugung	t			1				1	
	10^3 Cal			10 300				10 300	
Hy-Gas Anfall	10^3 Cal	7 820	8 300	8 770	9 240	5 720	6 200	6 670	7 150
davon Treibgas	" "	(0,24 t) = 5 180	5 660	2 640 / 6 130	6 600	3 740	(0,18 t) = 1 980 / 4 220	4 690	5 170
Rest Heizgas	" "			3 153				2 837	
Heizgas-Verbrauch	10^3 Cal	2 027	2 507	2 977	3 447	903	1 383	1 853	2 333
Heizgas s.Kraftwerk	" "								
Kraftbedarf									
Dampf	t			4 487				4 035	
Elektr.Energie	KE			1 360	(η Kraftw. = 40 %)			1 000	(η Kraftw. = 42 %)
	10^3 Cal			2 920				2 050	
Kraftbedarf	"			5 872				4 705	
Wirkungsgrad der Hydrierung	%	28,0	27,2	26,4	25,8	29,9	28,9	28,0	27,2
für ηH_2-Erz. = 25 %	%	27,1	26,4	25,6	25,0	28,9	28,0	27,1	26,2
" " = 30 %	%	30,1	29,4	28,7	28,0	32,1	31,2	30,3	29,1
" " = 40 %	%	34,9	34,3	33,6	33,1	37,0	36,2	35,4	34,7
" " = 50 %	%	38,8	38,2	37,7	37,0	40,7	40,1	39,5	38,9
" " = 70 %	%	43,9	43,6	43,3	43,0	46,1	45,7	45,4	45,1
" " = 100 %	%			49,0				51,1	

Blatt 4



Wasserstoffausbeute 26,3 %

(Rest-W.G. + Teer + Benzol als Gutschrift)

Bild 1.

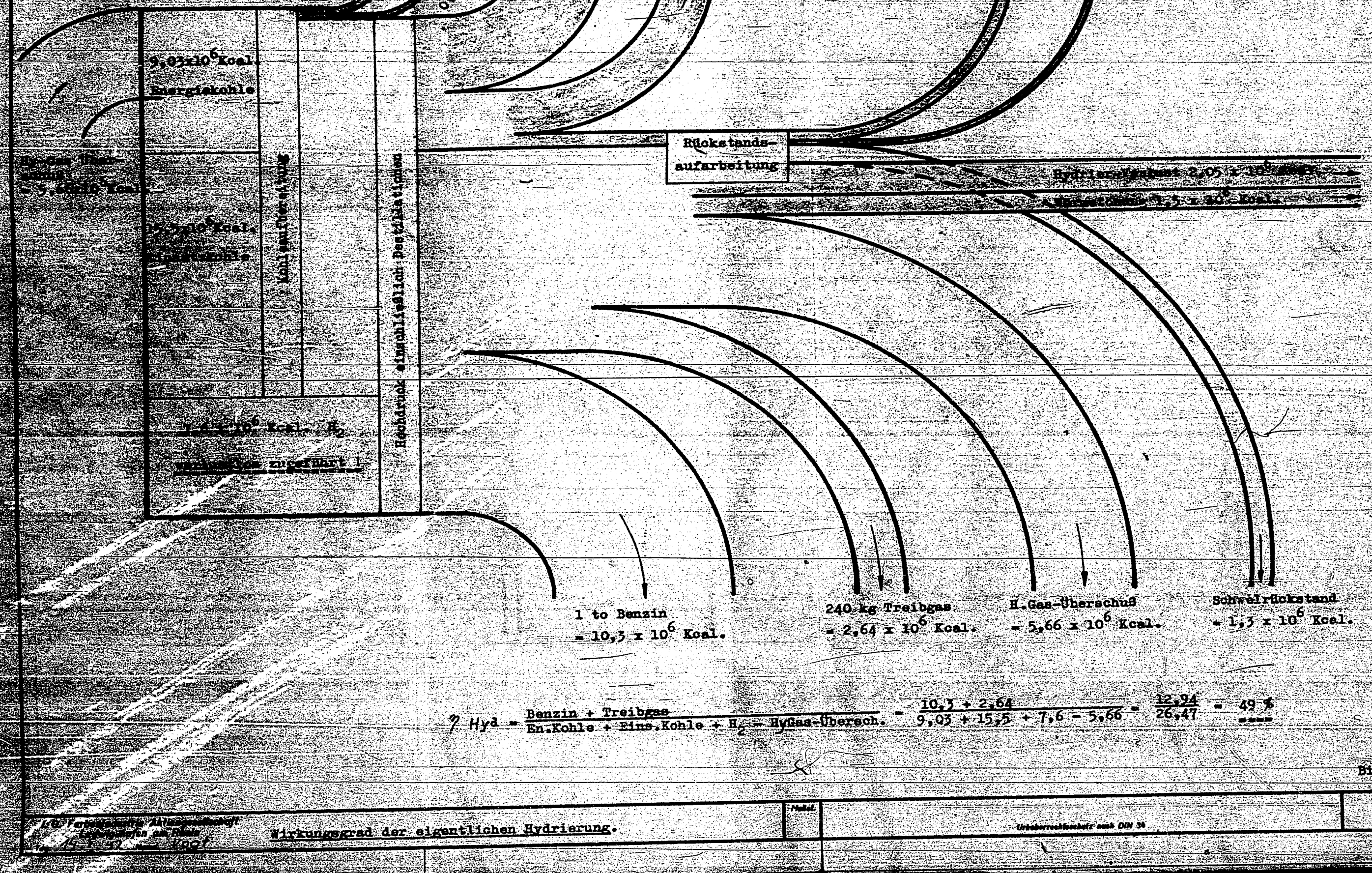
I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen am Rhein
16.2.1943

Wirkungsgrad der Wasserstofferzeugung.

Maßst.

Urheberrechtschutz nach DIN 34

Dampf 7,1 %
Strom 11,5 %
643

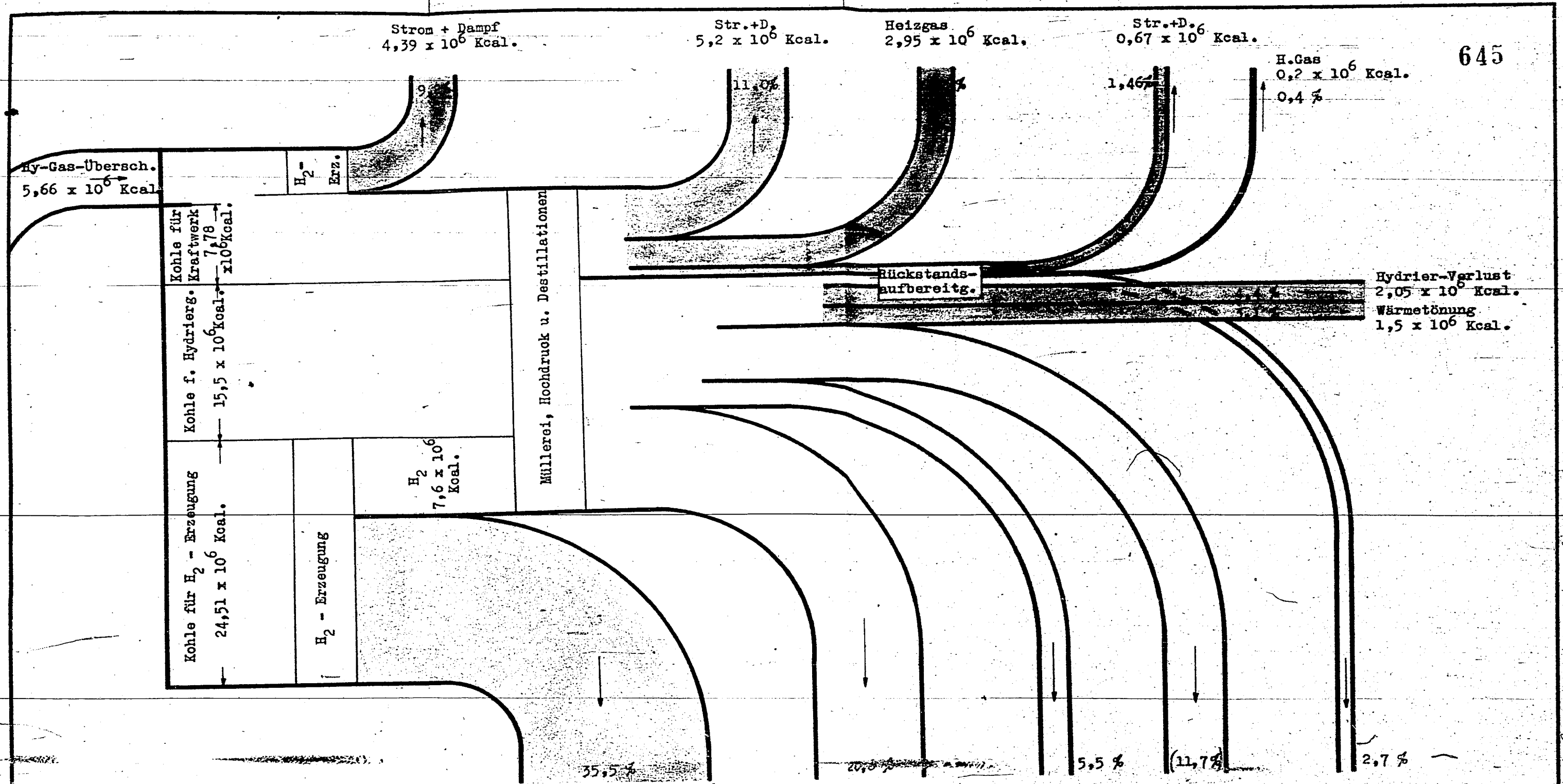


$$\eta\ Hyd = \frac{Benzin + Treibgas}{En.Kohle + Rhs.Kohle + H_2 - HyGas\text{-}Überesch.} = \frac{10,3 + 2,64}{9,03 + 15,5 + 7,6 - 5,66} = \frac{12,94}{26,47} = 49\ \%$$

Bild 2.

Wirkungsgrad der eigentlichen Hydrierung.

Urheberrechtsschutz nach DIN 34



$$\text{Hyd.} = \frac{\text{Benzin + Treibgas}}{\text{Kohle für } H_2 + \text{Kohle für Hydr. + En.-Kohle}} = \frac{(10{,}3 + 2{,}64) \times 10^6}{24{,}51 + 15{,}5 + 7{,}78} = \underline{27{,}2\ \%}$$

Bild 3.

I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen am Rhein
Tag 19.2.42 Name Vogt.

Wirkungsgrad der Hydrierung einschl. H_2-Erzeugung.

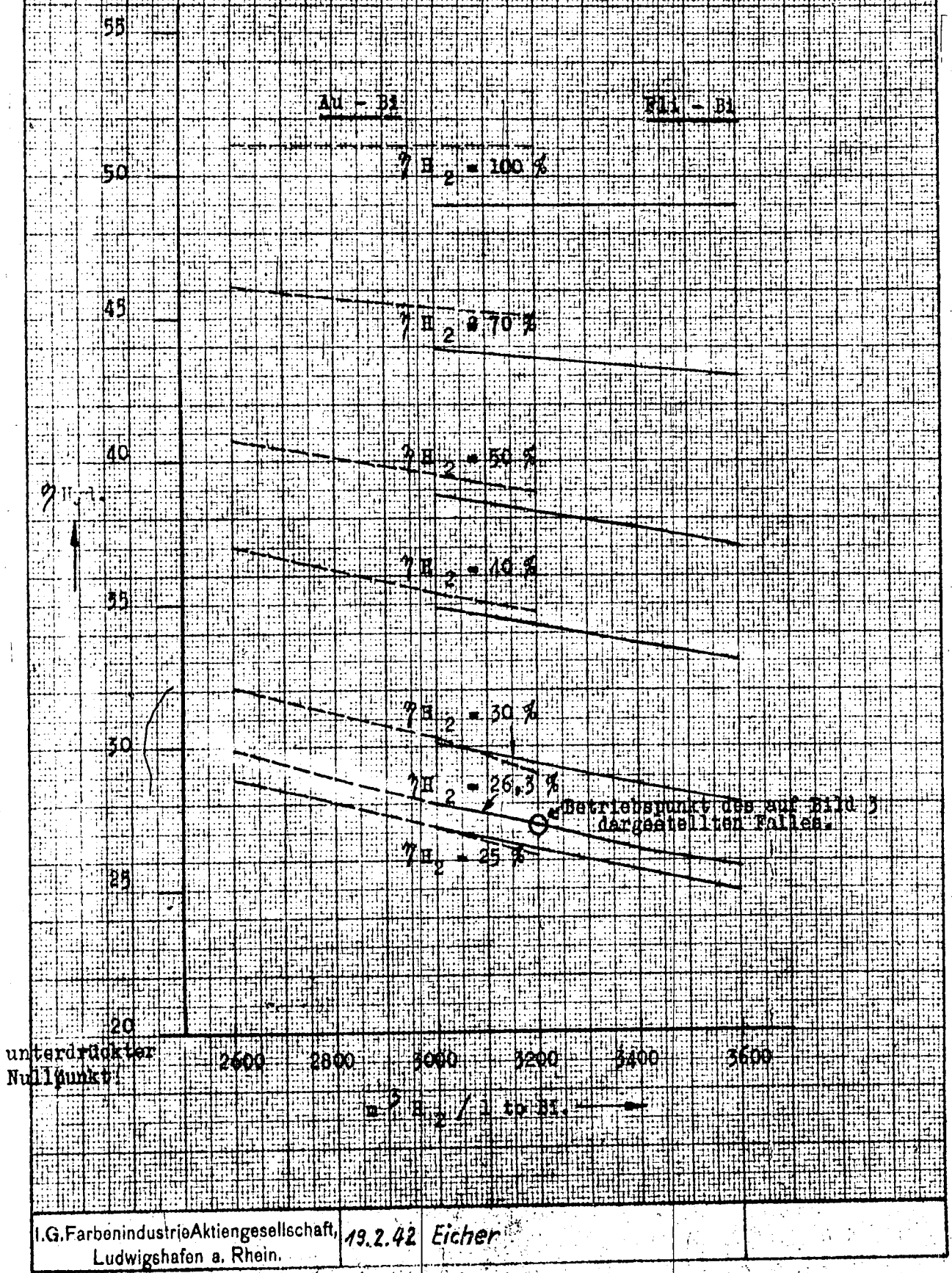
Maßst.

Urheberrechtsschutz nach DIN 34

Wirkungsgrad der Hydrierung η Hyd.

in Abhängigkeit von dem Wasserstoffverbrauch

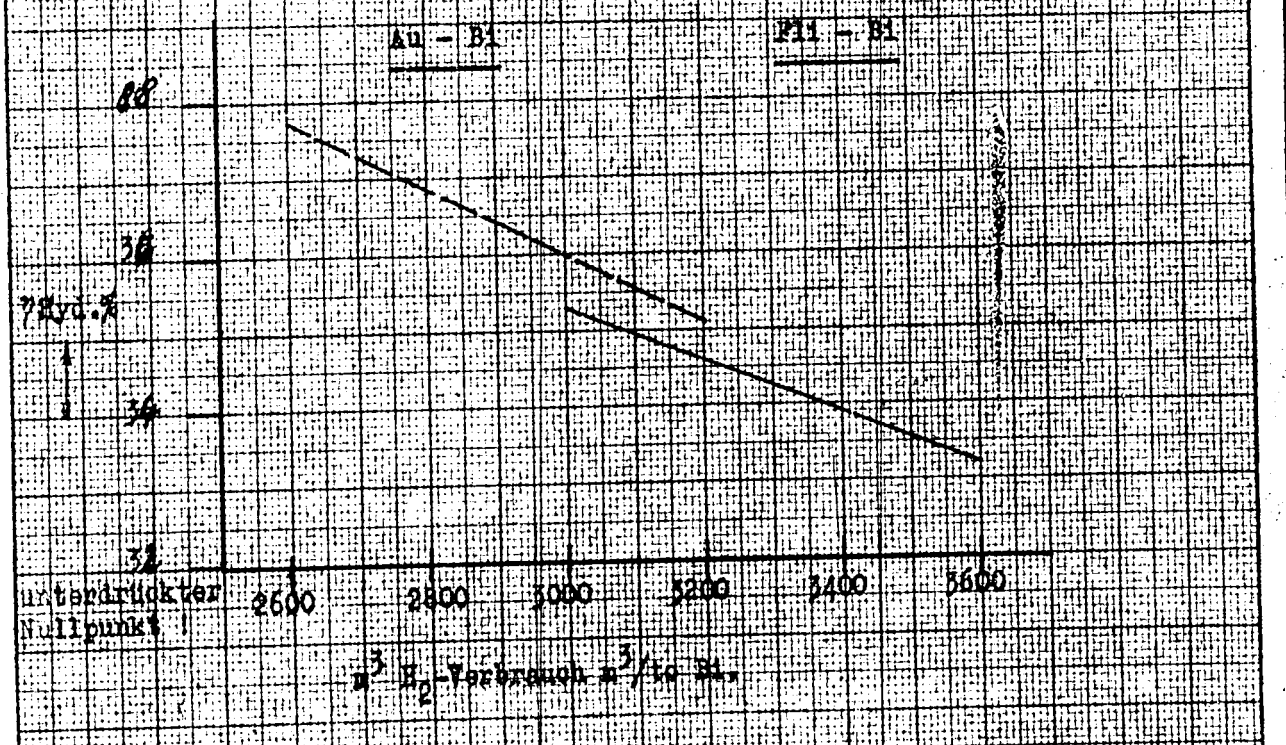
bei Wirkungsgraden der H_2-Erzeugung von 25 - 100 %.



I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	19.2.42 Eicher	

DIN-Format A 4 T (210 x 297 mm)

Wirkungsgrad der Hydrierung,
in Abhängigkeit von H_2-Verbrauch,
bei Kombination H_2-Erzeugung/Wassergas-Linde η= 59%,
bei Treibgeneration,
bei Verwertung des Schwelrückstandes,
bei Wärmerückgewinnung im Absorberkühler.



I.G.FarbenindustrieAktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	19.2.42 Eicher

DIN-Format A 4 T (210 x 297 mm)

Arbeitsgemeinschaft Kalorischer Wirkungsgrad — H. Becker TEA

Hochdruckversuche
Lu 558

17. Oktober 1942 Scha/Ki

648

Kalorischer Wirkungsgrad der Steinkohlehydrierung

Die beiliegende Tafel zeigt den Wärme- und Energieverlauf der in die Hydrierung eingehenden Kohlenmenge, die notwendig ist, um 1 t Fliegerbenzin zu erzeugen. Das Verhältnis der im Benzin und dem verwertbaren Treibgas enthaltenen Energiemenge nun zu der in der Kohle enthaltenen Energie sei kalorischer Wirkungsgrad genannt. Er beträgt, wie hier aus den Energie-Anteilen ausgerechnet ist, für das hochwertige Produkt des Fliegerbenzins 27,2 %.

Man benötigt also zur Herstellung von

1 to Fliegerbenzin + 240 kg Treibgas eine Gesamtkohlenmenge von 6,7 to

wobei die Heizwerte betragen

von Benzin	10 300	Kcal/kg
von Treibgas	11 000	" / "
von Kohle	7 200	" / "

Außer den beiden nicht schraffierten Strömen Benzin + Treibgas fallen 2 weitere Energieströme an:

der Hy-Gas-Überschuß, der als Heizgas zurückgeführt wird und daher im Bild links oben wieder zurückkommt (daher %-Wert eingeklammert)

der Schwelrückstand, der sich unter dem Kessel verbrennen läßt.

Die übrigen angelegten Ströme sind Verlustströme. Der Gesamt-Verlust beträgt als Differenz 100 - 27,2 72,8 %
Davon entfallen allein auf die Wasserstofferzeugung 35,5 %
und auf die Kompression des H_2 9,2 %
also auf den Wasserstoff insgesamt: 44,7 %

Die übrigen Verluste verteilen sich auf Betriebe der eigentlichen Hydrierung. Nicht erfaßte Verluste sowie die durch die Wärmetönung entstehenden Verluste sind im Bild waagerecht herausgeführt und betragen zusammen nur 7,5 %.
Man ersieht also aus dem Bild, daß die Verluste bei der Wasserstoff-Herstellung den größten Anteil ausmachen und es ist daher klar, daß der kalorische Wirkungsgrad für Produkte, die weniger Wasserstoff brauchen, ansteigt.

Schon bei Autobenzin steigt er unter sonst gleichen Bedingungen auf 28,9 %;

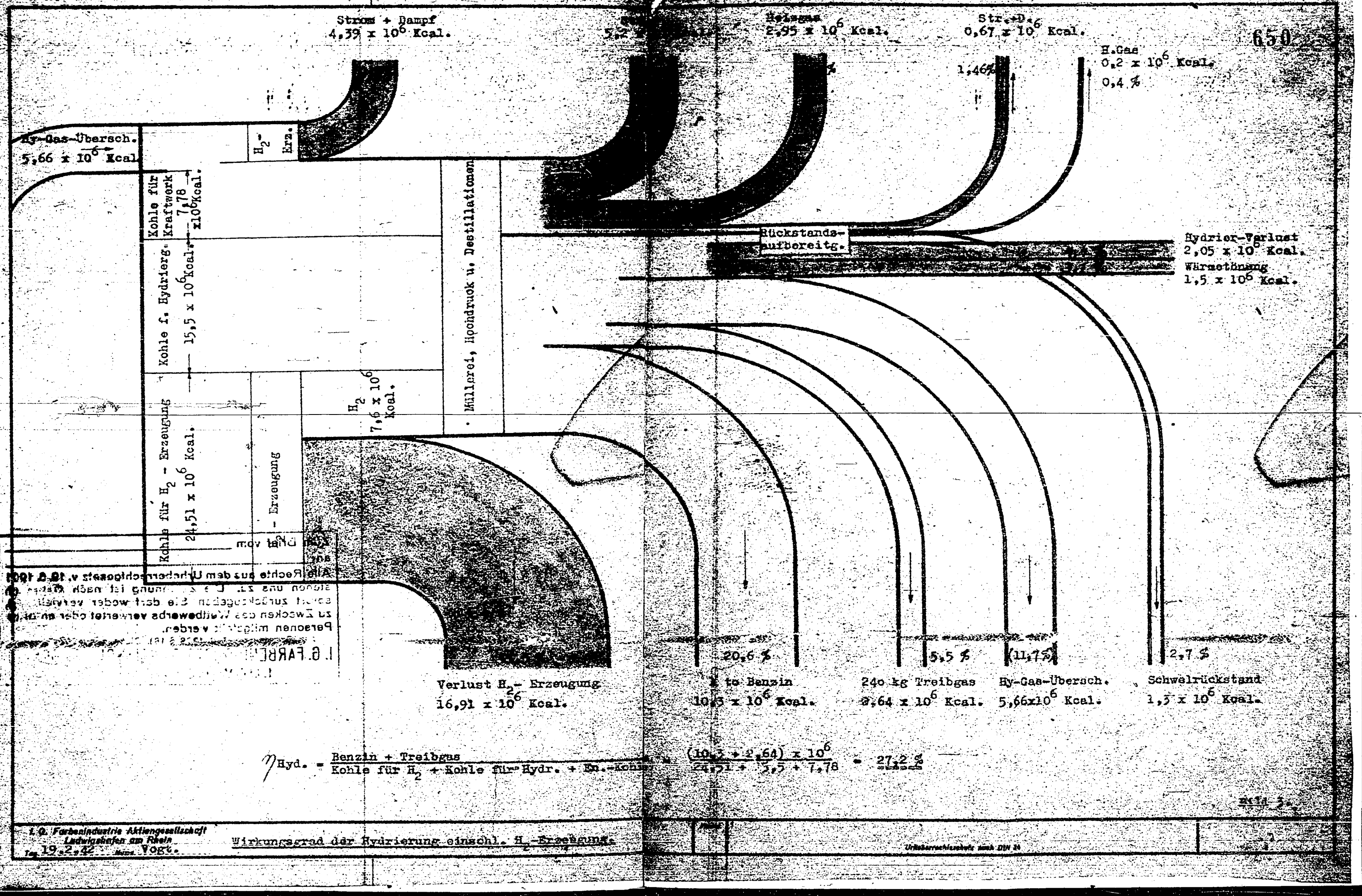
bei der Herstellung von Fli-Benzin + Heizöl, wobei das Verhältnis dieser beiden Produkte etwa 1 : 1 beträgt, sogar auf 33,5 %

Die Wasserstoff-Erzeugung für sich allein betrachtet hat beim Wassergasverfahren einen kalorischen Wirkungsgrad von 26,3 %. Dieser niedrige Wirkungsgrad der Wasserstoff-Herstellung wird jedoch wesentlich besser, wenn man den H_2 durch Lindezerlegung gewinnt entweder ganz, wenn z.B. genügend Koksgas zur Verfügung stünde oder auch teilweise, indem man die vorhandenen Hy-Gase zerlegt.

Die Hydrierung für sich allein betrachtet, also bei verlustloser Wasserstoffherstellung hat einen therm. Wirkungsgrad von 49,0 %. Dies wäre der Wirkungsgrad einer Steinkohle-Hydrierung, bei welcher der Wasserstoff bei 1 ata gekauft würde.

Wenn also der kalorische Wirkungsgrad der Steinkohlehydrierung bei rd. 30 % liegt, so ist zu bedenken, daß es sich um eine hochwertige Veredelung der Kohle handelt, und dass das Endprodukt nicht einmal in erster Linie nach dem kalorischen Wirkungsgrad beurteilt werden darf.

gez. Schappert



$$\eta_{Hyd.} = \frac{\text{Benzin + Treibgas}}{\text{Kohle für } H_2 + \text{Kohle für Hydr.} + \text{Ern.-Kohle}} = \frac{(10{,}3 + 0{,}64) \times 10^6}{24{,}51 + 15{,}5 + 7{,}78} = 27{,}2\ \%$$

Wirkungsgrad der Hydrierung einschl. H_2-Erzeugung.

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen am Rhein
Tag 19.2.42 Name Vogt.

Urheberrechtsschutz nach DIN 34

Aufgeschrieben
Lu Wilhelmsgrad

651

Hochdruckversuche
Lu 558

7. März 1942 Bpha/Kr

Zurück an
Vorzimmer Dir. Dr. Pier

Der kalorische Wirkungsgrad der Steinkohlehydrierung bei der Herstellung von Benzin + Heizöl.

In dem Bericht: "Der kalorische Wirkungsgrad der Steinkohlehydrierung" war die Herstellung von L-Benzin und Autobenzin in Bezug auf den Wärmeverbrauch untersucht.

Es ist klar, daß die Herstellung von Heizöl und Benzin (Fahrweise Oberschlesien) höhere Wirkungsgrade ergibt, da einerseits die Produktausbeute größer ist, andererseits der H_2-Verbrauch niedriger liegt.

Den besten Wirkungsgrad erhält man jedoch, wenn man ohne Gasphase arbeitet, also die Produkte der Sumpfphase als Endprodukte betrachtet: Benzin, Dieselöl und Heizöl, deren Qualität bei dieser Untersuchung untergeordnet sein soll.

Für diese beiden Fahrweisen wurden folgende spezifische Zahlen zu grunde gelegt:

	Sumpf-+Gasphase	Sumpfphase allein
Kohleverbrauch t/t	1,79	1,61
H_2-Verbrauch m^3/t	2170	1000
Benzin-Erzeugung t	0,464 (L-Bi)	0,20 (Au-Bi)
Heizöl t	0,536	0,48
Dieselöl t	-	0,32
Treibgas t	0,171	0,098
Hy-Gasüberschuß 10^6 kcal	3,2	2,4
Schwelrückstand t	0,229	0,205

Auf der Rechnungsgrundlage des oben genannten Berichts, wobei nur von vornherein mit Breiregeneration gerechnet wurde, ergeben sich folgende kalorische Wirkungsgrade:

33,6 31,2.

- 22 -

652

Es lassen sich auch hier analoge Verbesserungen und damit Erhöhungen des kalorischen Wirkungsgrades vornehmen und zwar

1.) durch Einführung einer Linde-Anlage, in der Restwassergas und H_2-Gas zerlegt wird. (ηH_2 = 39 %)
Der Wirkungsgrad steigt auf 39,2 42,6 %

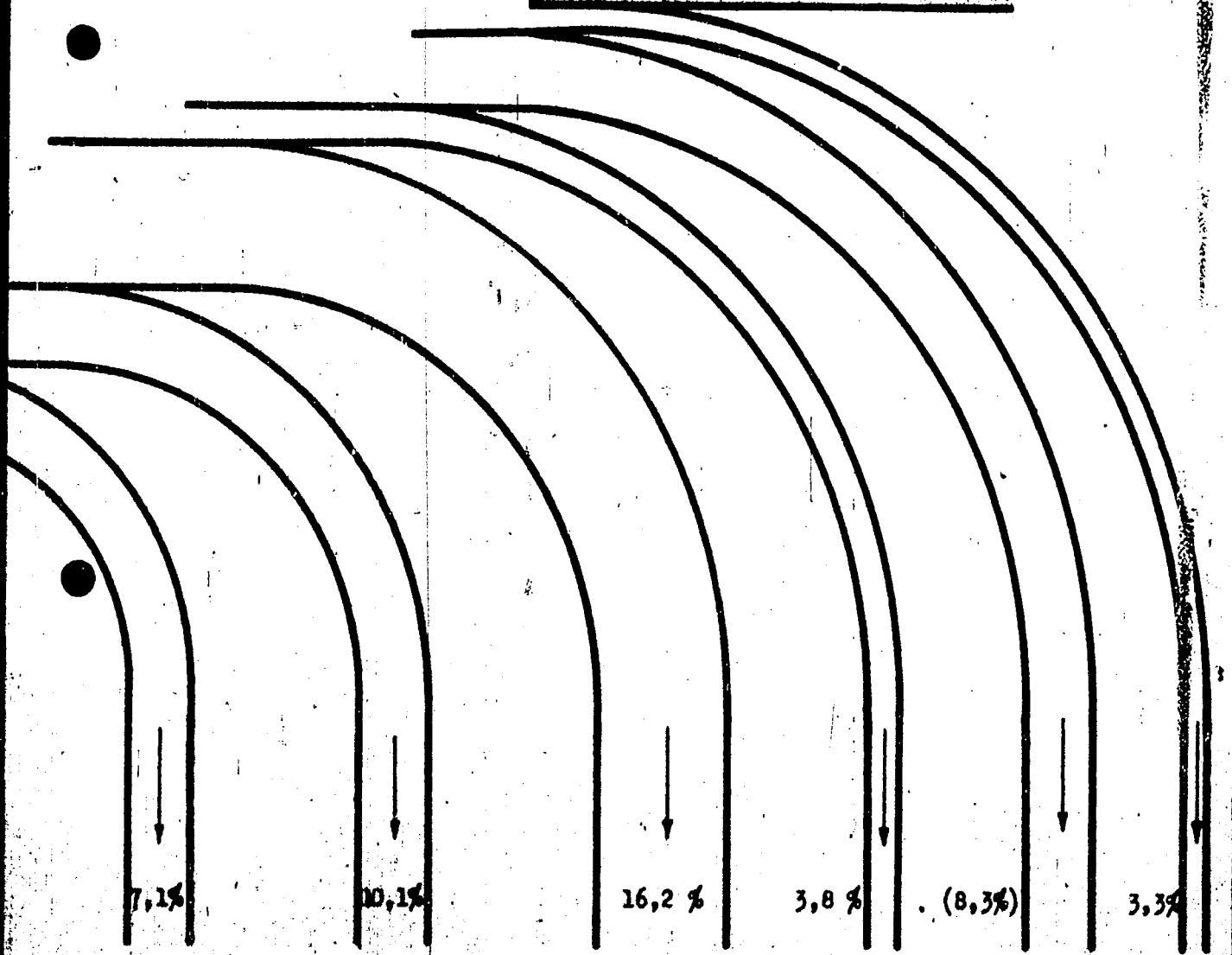
2.) Die Schwelrückstandsverwertung hebt den Wirkungsgrad auf
40,6 44,3 %

3.) Die Heißdampfkühler für die Abwärmeverwertung im Abschlamm und Produkt steigern die Wirkungsgrade weiter
41,3 45,2. %.

Kleppert

Strom + Dampf
$5{,}374 \times 10^6$ Kcal.
18,5 %

Hydrierverlust einschl. Wärmetönung $1{,}22 \times 10^6$ Kcal. = 4,2 %



7,1%	10,1%	16,2 %	3,8 %	(8,3%)	3,3%
Au-Bi	Diesel-Öl	Heizöl	Treibgas	Hy-Gas-Übersch.	Schwel-rückst.
0,2 to	0,32 to	0,48 to	0,098 to	800 m³	0,205 to
$2{,}06 \times 10^6$ Kcal.	$2{,}96 \times 10^6$ Kcal.	$4{,}7 \times 10^6$ Kcal.	$1{,}1 \times 10^6$ Kcal.	$2{,}4 \times 10^6$ Kcal.	$0{,}96 \times 10^6$ Kcal.

$\frac{1{,}11 \times 10^6 \times 100}{\quad} = \quad \%$

12,25 x 10^6 Kcal.
11,74
Kohle f. H_2- Erzeugung
über Wassergas

11,6 x 10^6 Kcal.
11,65
Kohle f. Hydrierung

5,174x10^6 Kcal.
0,173
Kohle f. Kraftwk.

H_2 - Erzeugung

H_2
3,8x10^6 Kcal.

H_2-Erzg

Hy-Gas-Übersch. 2,4x10^6 Kcal
8,2 %

Strom + Dampf
2,2 x 10^6 Kcal.
7,6%

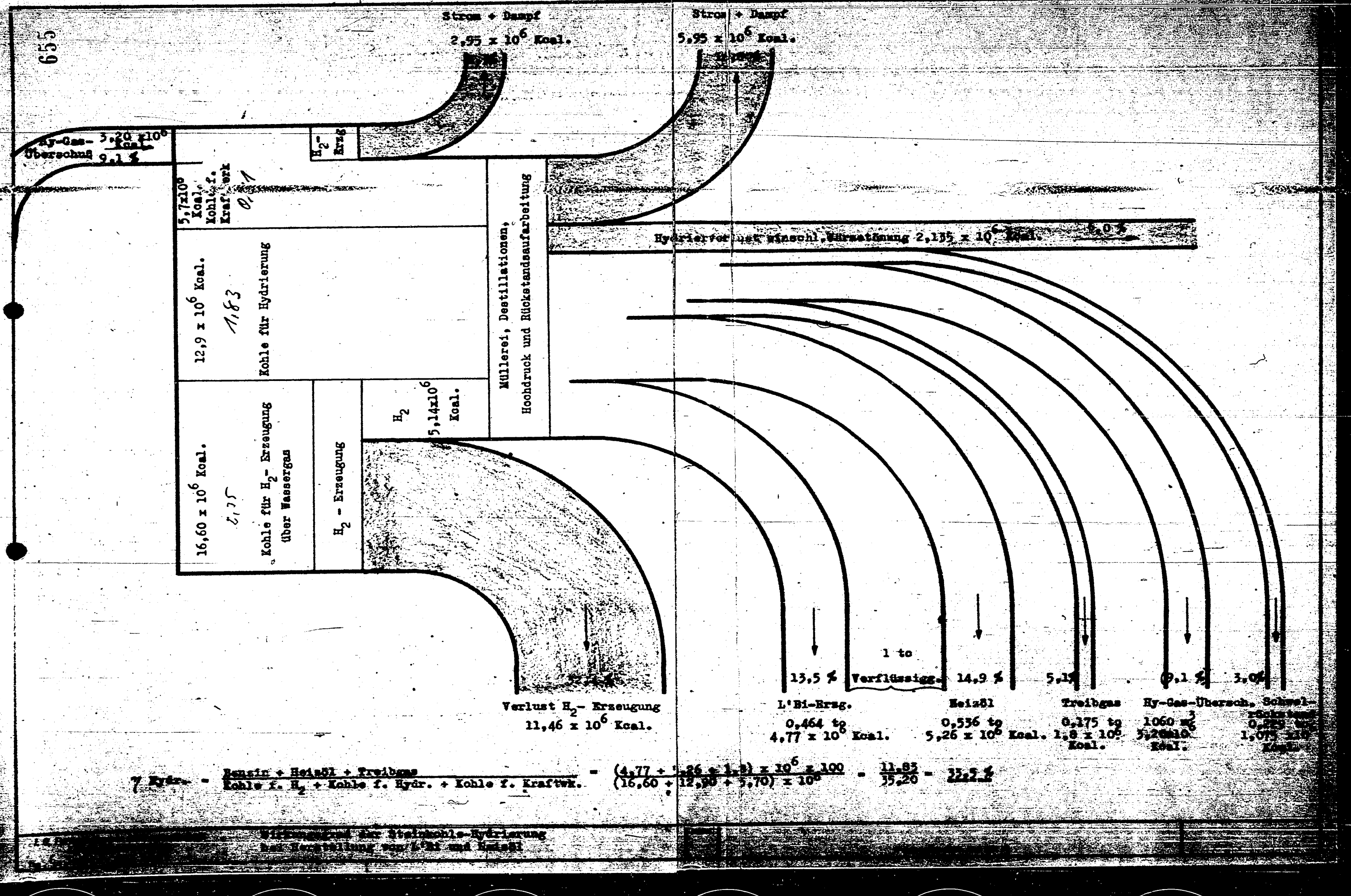
Müllerei, Hochdruck, Destillationen und Rückstandsaufarbeitung

29,2 %

Verlust H_2-Erzeugg.
8,45 x 10^6 Kcal.

654

655



$$\eta_{Hydr.} = \frac{\text{Benzin + Heizöl + Treibgas}}{\text{Kohle f. } H_2 + \text{Kohle f. Hydr. + Kohle f. Kraftwk.}} = \frac{(4{,}77 + 5{,}26 + 1{,}8) \times 10^6 \times 100}{(16{,}60 + 12{,}90 + 5{,}70) \times 10^6} = \frac{11{,}83}{35{,}20} = 33{,}5\,\%$$

Wirkungsgrad der Steinkohle-Hydrierung
bei Herstellung von Benzin und Heizöl

Techn.Prüfstand Op 200
Bericht Nr.362
- o -

Oppau, den 2[illegible].Oktober 1938.Kf.

656

Bericht

über

"Die Entwicklung des I.G.-Versuchsmotors."

Zusammenfassung:

Als es notwendig wurde, Flugmotoren-Kraftstoffe auf ihre Klopffestigkeit bei Überladung zu untersuchen, wurde vom Techn.Prüfstand ein besonderer Versuchsmotor entworfen und gebaut. Der Motor ist so eingerichtet, daß auf ihm Flugmotorenzylinder verschiedener Bauart aufgebaut werden können. Es ist eine Einrichtung vorgesehen, um den Zylinder während des Betriebes zu verstellen, um so Untersuchungen bei verschiedenem Verdichtungsverhältnissen durchzuführen. Es sind weiterhin verschiedene Sondereinrichtungen für Kraftstoff-Versuche vorgesehen.

Der Aufbau des Motors ist insofern neuartig, als ein kreisförmiger Querschnitt des Motorgehäuses gewählt wurde. In diesem Gehäuse gleitet, wie die schematische Zeichnung, Blatt 2, und die Schnittzeichnung, Blatt 2, erkennen läßt, ein langer rohrförmiger Schieber. Dieser Schieber, der auf Bild 1 dargestellt ist, ist am unteren Ende mit einem Gewinde versehen, so daß er mit Hilfe einer Mutter in senkrechter Richtung verschoben werden kann. Die Mutter ist außen verzahnt und wird durch ein Handrad verstellt. Am oberen Ende trägt der Schieber eine Deckplatte, auf der der Zylinder befestigt ist. Der Verstellbereich des Schiebers beträgt 40 mm, so daß das Verdichtungsverhältnis in sehr weiten Grenzen verstellt werden kann. Der wesentliche Vorteil dieser zum Patent angemeldeten Anordnung liegt darin,

daß der lange Schieber eine vollkommen sichere Führung ~~f~~ gibt, so daß keinerlei Klemmvorrichtungen benötigt werden. Es ist lediglich oben ein Kranz von Stützfedern vorgesehen, um einseitige Anlage der Gewindegänge zu erzielen.

Die Lagerung der Kurbelwelle erfolgt in Lagerkörpern, die am äußeren Gehäuse befestigt und unmittelbar neben der Kröpfung abgestützt werden. Die Lagerkörper, von denen der eine mit dem vorderen Getriebekasten vereinigt ist, sind aus Abb.2 ersichtlich. Durch die Stütze, die auf Bild 3 dargestellt ist, werden die Querkräfte der Kurbelwelle unmittelbar zur Grundplatte abgeleitet. Aus Abb.4 ist zu ersehen, wie starr die Lager im Motorgehäuse angeordnet sind. Bild 5 zeigt den Einbau der Lagerkörper und der Kurbelwelle.

Die Kurbelwelle wurde von der Firma Hirth hergestellt und besteht, wie Blatt 1 erkennen läßt, aus mehreren Stücken, die mit Differentialbolzen verschraubt sind. Beim Zusammenbau wird zunächst die Kröpfung der Kurbelwelle außerhalb der Maschine zusammengesetzt, wobei Pleuelstangen des betreffenden Motorenmusters verwendet werden. Die Kröpfung wird dann im Motor mit den Wellenenden verschraubt. Die Lagerung der Welle erfolgt in Rollenlagern, so daß die Lagerreibung sehr gering ist.

Der vordere Lagerkörper ist zugleich als Getriebekasten ausgebildet. Es sind 2 Nebenwellen vorgesehen, die durch Stirnräder angetrieben werden (Bild 6). Von der linken Nebenwelle wird nach unten die für Vergaserbetrieb bestimmte Kraftstofförderpumpe mit Exzenter angetrieben. Von der Seitenwelle wird nach links ein Abtrieb angetrieben, der zur Betätigung einer Einspritzpumpe dienen kann. Die rechte Seitenwelle treibt ebenfalls mittels Kegelrädern den Magnetapparat und nach unten die Schmierstoffpumpe an. Der Antrieb von Ventilsteuerungen ist sowohl von der Hauptwelle als auch von den Seitenwellen nach oben möglich. In der Abb.6 ist der Steigwellenantrieb für den wassergekühlten Zylinder BMW VI angebracht. Der Getriebekasten ist nach

vorn durch einen Deckel abgeschlossen. Die heraustretenden Wellenenden können zum Antrieb des Tachometers, eines Batterie-Unterbrechers und einer Schmierstoffpumpe für die Steuerung benutzt werden.

Der Antrieb der Einspritzpumpe kann unmittelbar vom Kurbelraf hor erfolgen. Um nun aber den Einspritzzeitpunkt während des Betriebes beliebig verstellen zu können, wurde ein im Bild 7 und 8 dargestelltes Planetengetriebe gebaut. Der mit 2 Rädern ausgerüstete Planetenstern kann von außen durch einen Handgriff verstellt werden.

Das von der Schmierölpumpe kommende Öl tritt zunächst in einen Filter ein, der auf Abb.6 unterhalb der Kurbelwelle zu sehen ist. Von dort gelangt das Öl zu den Ölzuführungsringen, die sich im vorderen Lagerkörper befinden (Blatt 1) , und von dort fließt es durch die hohle Kurbelwelle und durch Bohrungen in der Kröpfung zum Pleuellager. Die Kurbelwellenhauptlager werden durch Spritzöl geschmiert, das in Vertiefungen oben auf den Lagerkörpern gesammelt wird. Das abfließende Öl sammelt sich unten im Kurbelgehäuse und wird von dort durch die zweite Stufe der Ölpumpe nach dem Vorratsbehälter zurückgefördert.

Der Motor wurde bisher mit 2 verschiedenen Zylindern ausgerüstet. Abb.9 zeigt den Aufbau des BMW VI-Zylinders. Bild 10 stellt die angenommene Tischplatte mit Zylinder und Steigwelle dar. Der Antrieb der Nockenwelle besteht aus Originalteilen dieses Baumusters und auch als Nockenwelle wurde ein Stück der Nockenwelle vom Vollmotor benutzt. Die Steigwelle wird von unten her angetrieben, wie aus Bild 6 ersichtlich ist. Über dem Lagerkörper, der gleichzeitig die Tischplatte gegen Verdrehen sichert, ragt die mit 2 Paßfedern ausgestattete Antriebswelle empor. Diese Welle greift in ein entsprechendes Hohlstück der Steigwelle ein. Die Ausrüstung des Motors mit Teilen des luftgekühlten BMW 132 Motors zeigt Abb.11. Da der Sternmotor durch eine Nockentrommel gesteuert wird

war es hier notwendig, eine besondere Steuerungseinrichtung zu bauen. Diese Einrichtung ist auf der Tischplatte aufgebaut (Bild 12). Durch eine kurze Steigwelle wird von der linken Seitenwelle aus das wagrecht liegend Schraubenrad angetrieben. Dieses Rad treibt im Übersetzungsverhältnis 1:2 die wagrecht liegende Nockenwelle an. Die Nockenwelle ist zwischen den Nocken mit einem Gleitlager gelagert. Der Lagerkörper trägt gleichzeitig 2 Kipphebel, die die Stoßstangen betätigen. Für die Schwinghebel war ursprünglich eine besondere Rückholfeder vorgesehen. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Ventilfedern allein im Stande sind, die zusätzlichen Schwinghebel einwandfrei zu betätigen. Die Lagerungen der Nockenwelle und der Schwinghebel sind durch Leitungen mit der kleinen Ölpumpe verbunden, die von der rechten Seitenwelle angetrieben wird. Der gesamte Steuerungsmechanismus ist mit einer flachen Blechhaube zugedeckt.

Für die Beobachtung des Druckverlaufes im Zylinder mittels Quarzindikator wurde ein Kurbelwinkel-Ablenkgerät gebaut, das auf Abb. 3 zu erkennen ist. Es besteht aus einem Wasserring, der zur wagrechten Ablenkung des Kathodenstrahls dient (vgl.Bericht Nr.361). Der Wasserring ist so eingerichtet, daß die Diagrammbreite 90° Kw. beträgt. Hinter dem Wasserring sind umlaufende Hemmröhrchen angebracht, die zur Beobachtung der Zündung dienen. Eine dicht am Getriebedeckel angebrachte Querwelle betätigt nach unten den Drehzähler und nach oben einen Batterie-Unterbrecher. Unterhalb des Unterbrechers ist für Meßzwecke eine Einrichtung vorgesehen, um einen Strom während eines beliebigen Kurbelwinkels zu schließen.

Der Motor ist bis jetzt über 1000 Betriebsstunden gelaufen. Störungen sind nur an den Seitenwellen aufgetreten, deren ursprünglich aus Novotext bestehenden Stirnräder durch solche aus Stahl ersetzt werden mussten. Hervorzuheben ist der sehr ruhige Lauf des Motors.

Anlagen: TL 1267
TPr S-266
7 Blatt Lichtbilder

i.V. Pensig

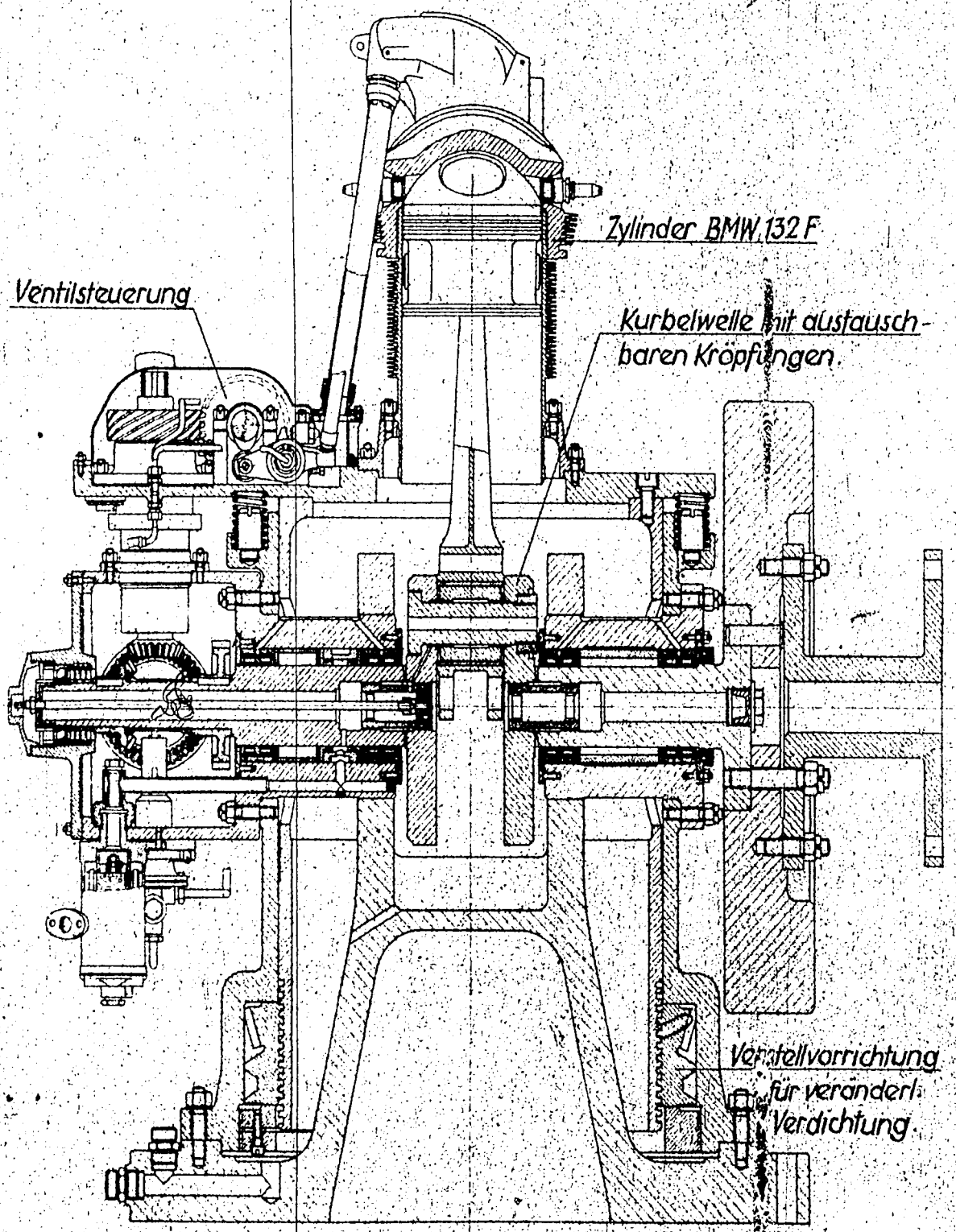
Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 1

J. G. Versuchsmotor

mit veränderlicher Verdichtung

660



Zum Bericht 362 über die Entwicklung des J.G.-Versuchsmotors vom 21. Okt. 1938

T.L 1267

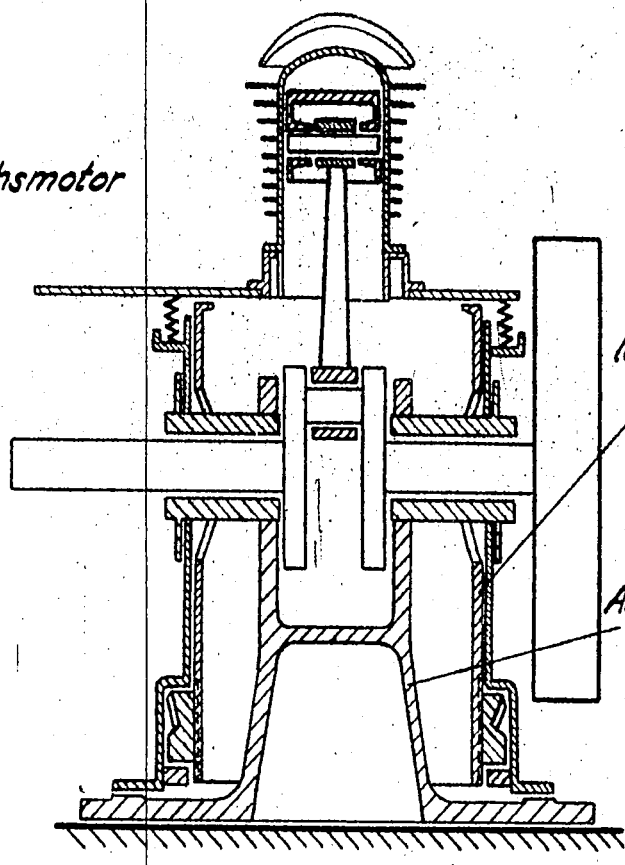
Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 2

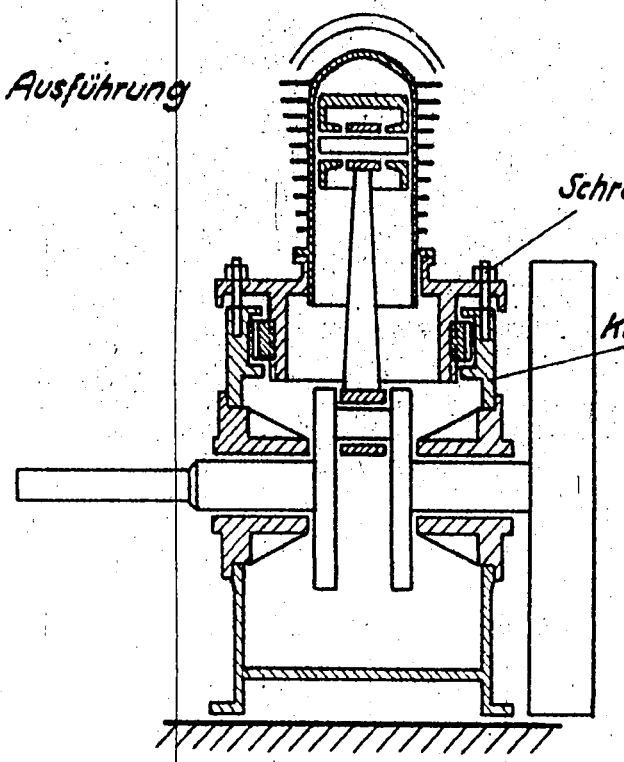
661

Schematische Darstellung.

J. G. Versuchsmotor



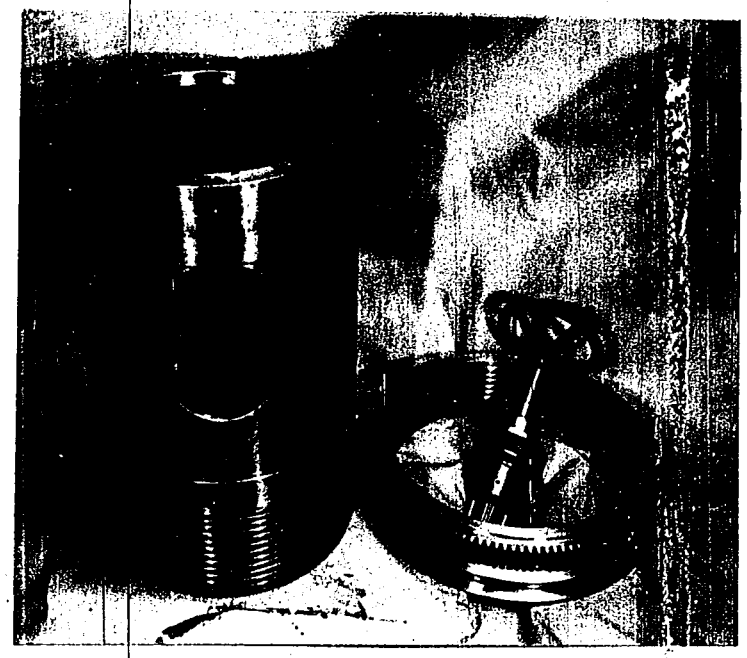
Bekannte Ausführung



TPrS 266

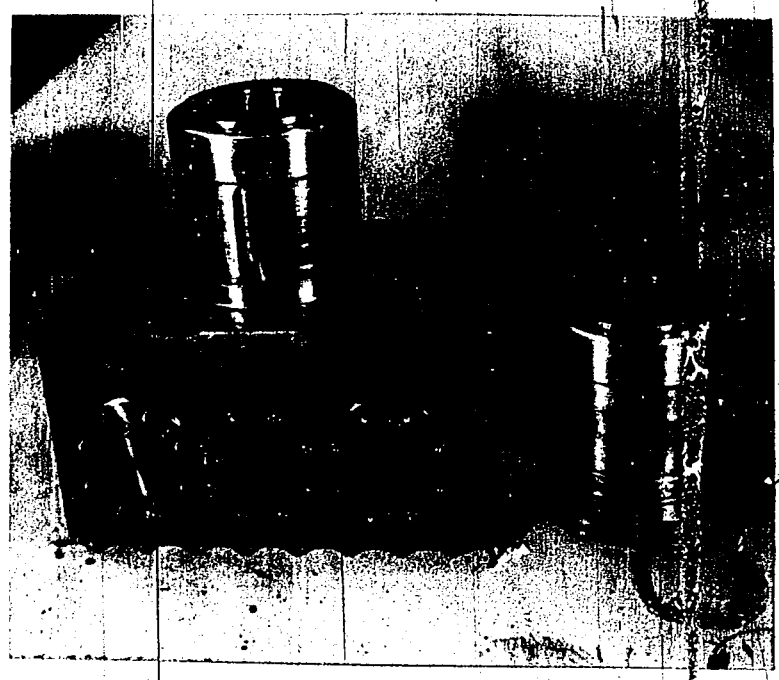
I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Ludwigshafen am Rhein Tag 28. X. 38 Name Neumann	Maßst. /	Zum Bericht Nr. 362 Urheberrechtschutz nach DIN 34	N 2354 - 16

abschneiden



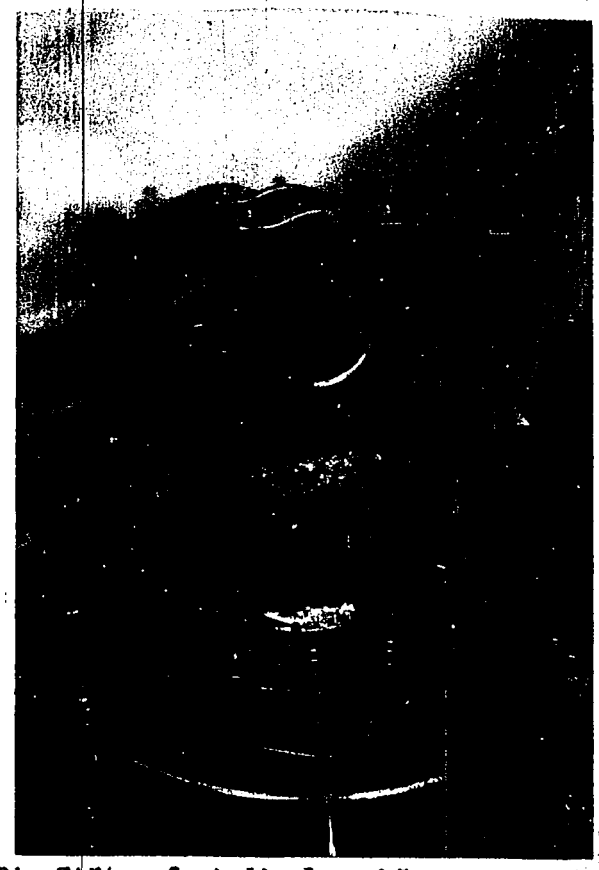
A 1714

Bild 1 - Der Verstellschieber, der die Tischplatte mit dem Zylinder trägt, wird im Gehäuse mit einer durch Handrad bewegten Mutter verstellt.



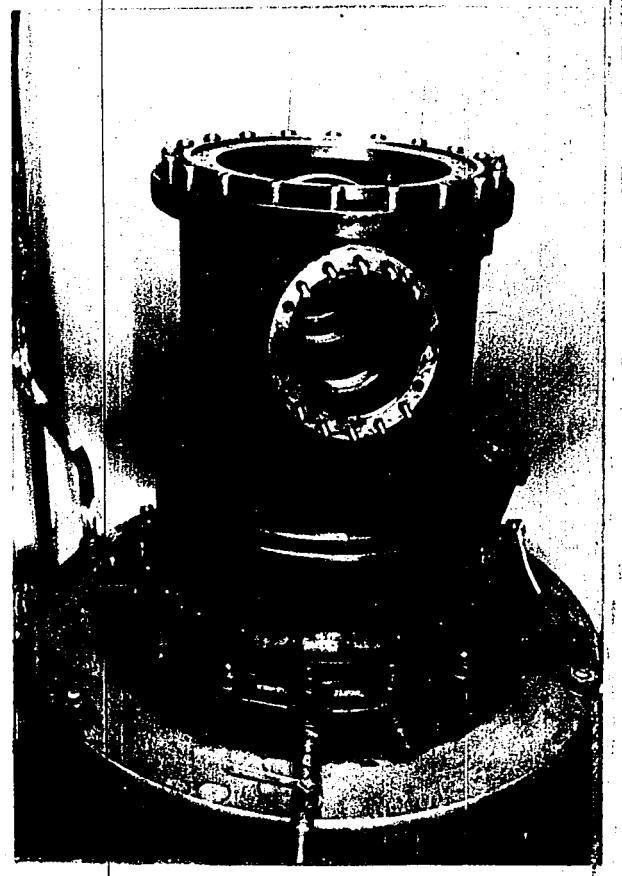
A 1720

Bild 2 - Von den Lagerkörpern der Kurbelwelle ist der vordere zugleich als Getriebekasten ausgebildet; sie werden vom Gehäuse und der Mittelstütze getragen.



A 1713

Bild 3 - Die Stütze fasst die Lagerkörper neben der Kurbelkröpfung und leitet so die Querkräfte der Kurbelwelle unmittelbar zur Grundplatte ab.



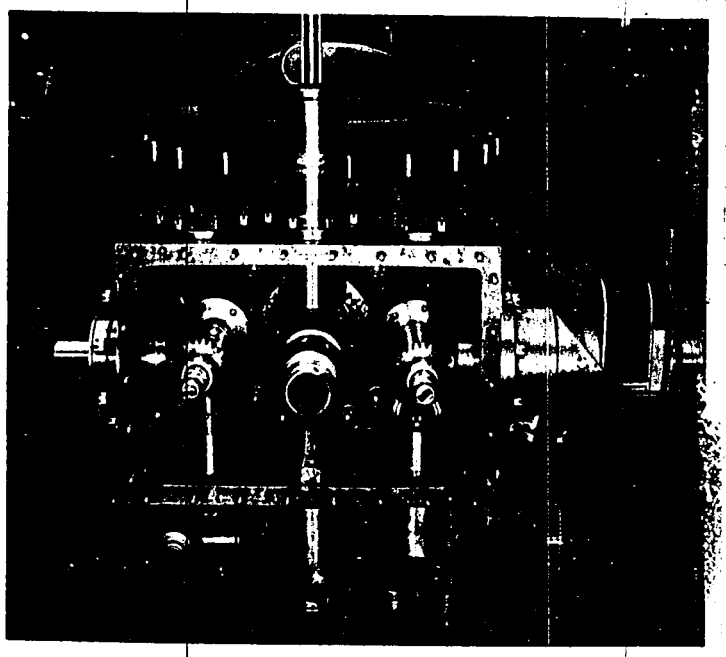
A 1712

Bild 4 - Lagerkörper und Stütze mit Grundplatte zusammengebaut.



A 1723

Bild 5 - Im Kurbelgehäuse eingebauter Kurbelwelle mit Pleuel Baumuster BMW VI



A 1721

Bild 6 - Von der Kurbelwelle werden 2 Nebenwellen angetrieben. Die rechte treibt Magnet und Ölpumpe (BMW 132), die linke Kraftstoff-Förderpumpe und Einspritzpumpe (abgebaut) an. Die Kurbelwelle treibt die Steigwelle für BMW VI an. Unten in der Mitte das Ölfilter.

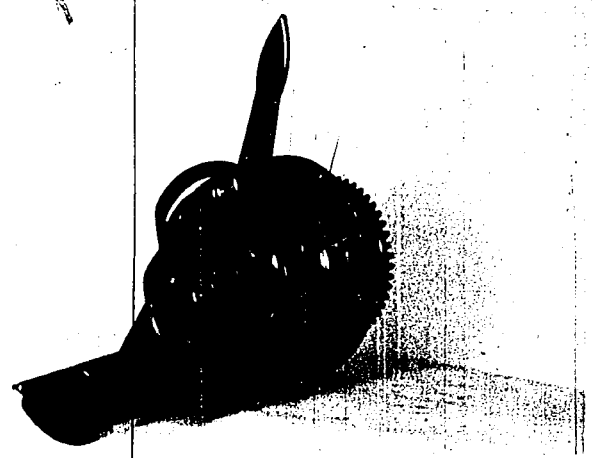


Bild 7 - Das Planetengetriebe gestattet den Einspritzzeitpunkt während des Betriebes beliebig zu verstellen.

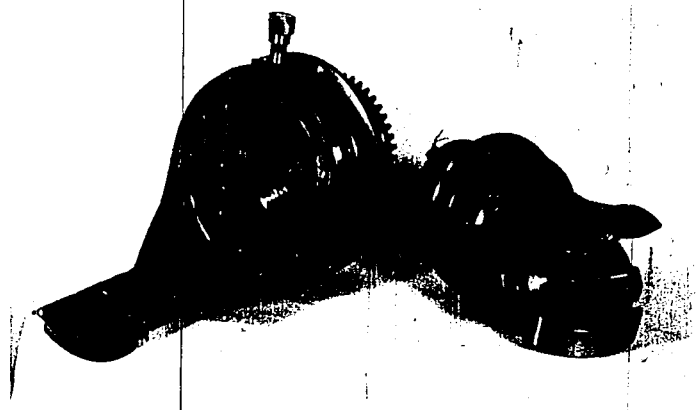


Bild 8 - Der aus 2 Kegelrädern bestehende Planetenstern kann von außen mit einem Handgriff verstellt werden.

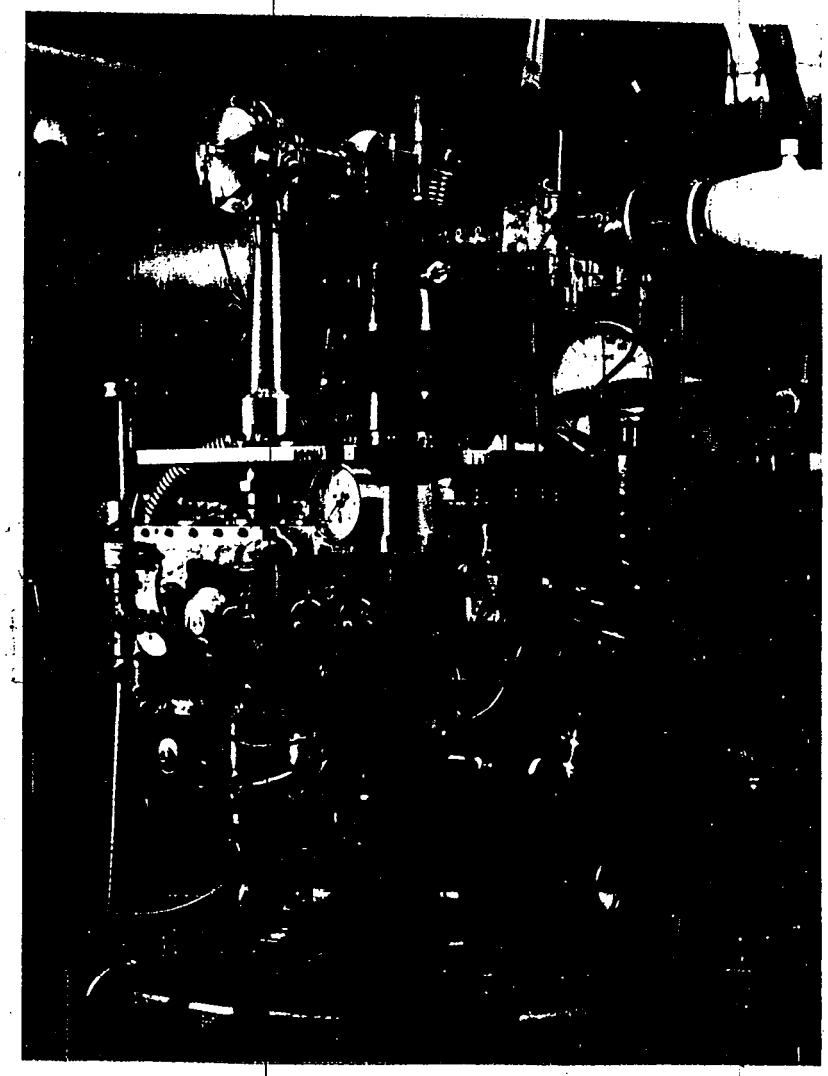


Bild 9 - I.G.-Versuchsmotor mit BMW VI-Zylinder

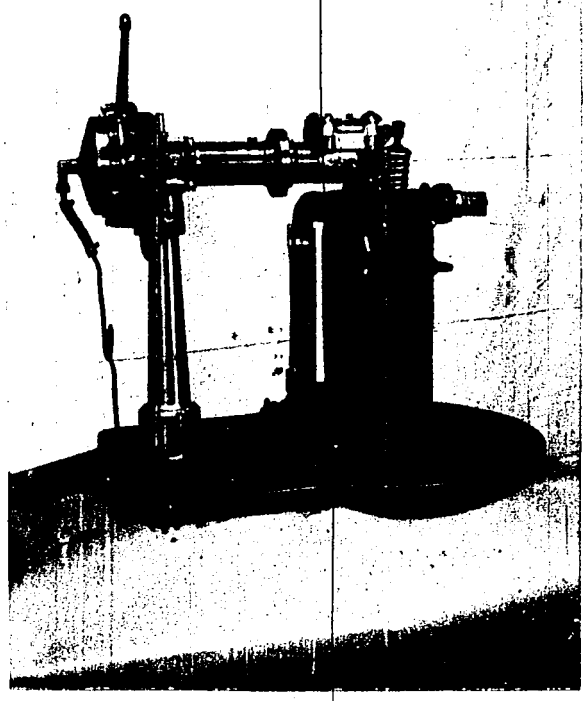
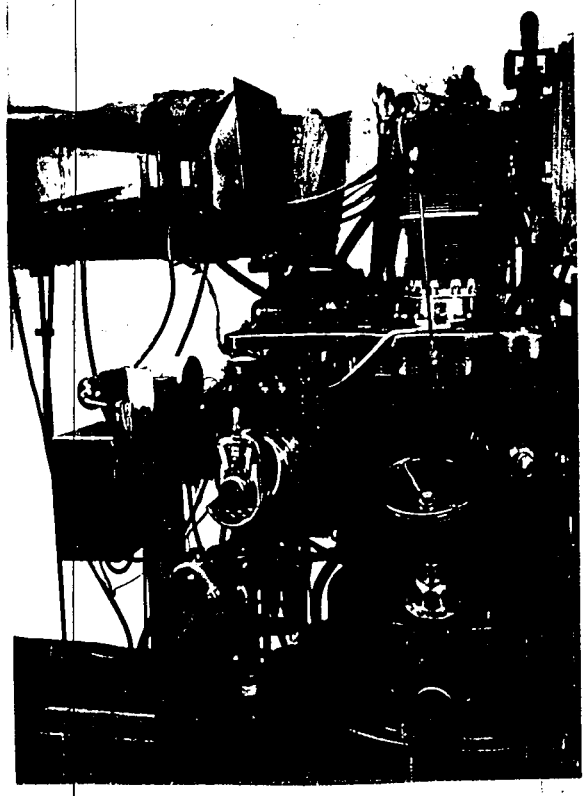


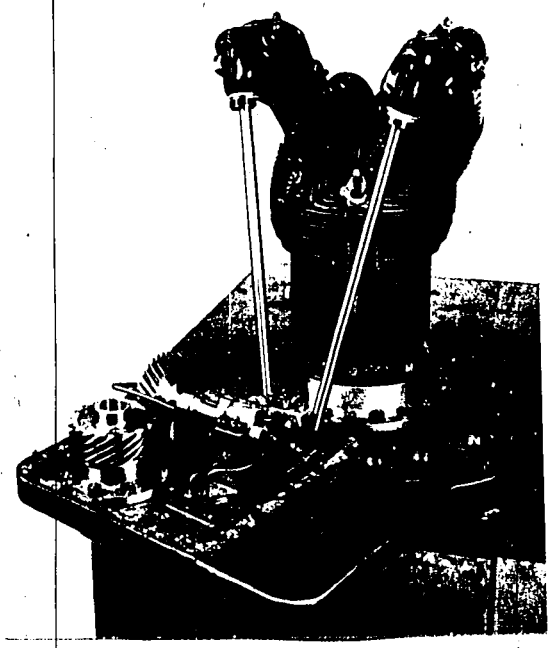
Bild 10 - Die Tischplatte mit BMW VI-Zylinder und Steuerungsantrieb.

A 1917



A 1916

Bild 11 - I.G.-Versuchsmotor mit BMW 132 F-Zylinder



A 1729

Bild 12 - Für den BMW 132-Zylinder ist eine Tischplatte vorgesehen. Von einer von der linken Seitenwelle aus angetriebenen Nockenwelle werden über Schwinghebel die Stoßstangen betätigt.

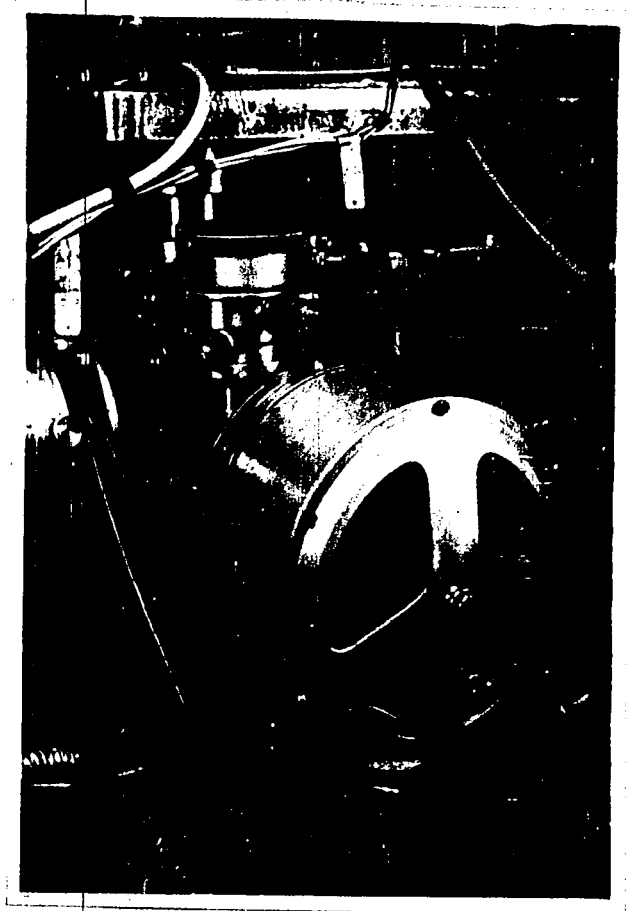


Bild 13 - Für Untersuchungen mit dem Quarzindikator ist ein Wasserring für die winkelmäßige Seitenablenkung vorgesehen. Dahinter liegende Neonröhrchen dienen zum Anzeigen der Zündstellung. Eine Querwelle betätigt nach unten den Drehzähler, nach oben einen Kontaktgeber und einen Unterbrecher.

Techn.Prüfstand Op 200
Bericht Nr.370
- o -

Oppau, den 2. Februar 1939.Kf.

669

B e r i c h t

über

Untersuchung des Verbrennungsablaufes im Hesselman-Motor mittels I.G.Piezo-Quarz-Kathodenstrahl-Indikator.

Zusammenfassung:

An einem als Hesselman-Motor umgebauten I.G.-Prüfdiesel mit veränderlicher Verdichtung wurden bei Kraftstoffen verschiedener Oktan- und Cetanzahlen Verbrennungs-Diagramme mit dem Piezo-Quarz-Indikator genommen. Die Verbrennungs-Diagramme lassen erkennen, daß der Verbrennungsdruck sehr stark von dem Einspritz- und Zündbeginn (Magnetzündung) abhängig ist. Erfolgen diese zu spät, so fällt der Verbrennungsdruck außerordentlich rasch ab. Der für verschiedene Kraftstoffe aus den Verbrennungs-Diagrammen ermittelte Druckverzug (pressure lag) ergibt nur geringe Unterschiede, ist also nur wenig von der Kraftstoffart im Gegensatz zu anderen Beobachtungen abhängig. Ebenso ist die Zeit vom Beginn des Druckanstiegs bis zum Erreichen des Verbrennungshöchstdruckes etwa gleich lang.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde bei verschiedenen Kraftstoffen die für Selbstzündungsbetrieb erforderliche und für klopffreies Arbeiten zulässige Verdichtung ermittelt. Die Klopfgrenze läßt sich aus den Verbrennungs-Diagrammen sehr deutlich an der in der Nähe des Verbrennungshöchstdruckes auftretenden Schwingung hoher Frequenz erkennen, die bei Nichtklopfen nicht auftritt.

-2-

Zweck der Versuche:

Die Versuche sollten darüber Aufschluß geben, wie weit der Verbrennungsablauf im Hesselman-Motor vom Einspritzbeginn, vom Einsatz der Magnetzündung, von der Verdichtung und von der Kraftstoffart beeinflusst wird. Ferner sollte aus den Verbrennungs-Diagrammen die Klopfgrenze, d.h. also ohne Verwendung eines besonderen Klopfmessers, für verschiedene Kraftstoffe ermittelt werden.

Versuchsdurchführung:

Für die Versuche stand derselbe I.G.-Prüfdiesel mit Hesselman-Zylinderkopf zur Verfügung, an dem auch die Strahlungsmessungen mittels Photozellen durchgeführt wurden (vgl.Bericht Nr.366). Die Abmessungen des Motors sind:

Bohrung	95 mm,
Hub	150 mm,
Hubvolumen	1063 ccm,
n	1200 und 1690 U/min.

Die Leistung wurde mittels Pendeldynamo und Drehmomenthebel bestimmt. Der Kraftstoffverbrauch und die Abgastemperatur wurden nicht gemessen.

Die Anordnung der Quarzdose ist die gleiche wie bei den Versuchen mit der Photozelle in dem schon oben erwähnten Bericht. Für die Aufnahme von Druck-Zeit-Diagrammen war ein 180°-Kurbelweg-Ablenkgerät direkt mit der Motorwelle gekuppelt. Die auf der Braun'schen Röhre sichtbaren Druck-Zeit-Diagramme wurden photographiert. Da mehr der zeitliche Verbrennungsablauf als die Größe der auftretenden Verbrennungsdrücke untersucht werden sollte, war eine Druckeichung der Quarzdose nicht erforderlich.

In der ersten Versuchsreihe wurden Verbrennungs-Diagramme bei verschiedenen Kraftstoffen genommen. Tafel 1 zeigt zunächst drei gleiche Diagramme eines Fliegerbenzins mit der OZ 87, Motordrehzahl n = 1690, P_{me} = 6,1 at, Einspritzbeginn 100°v.o.T., Magnetzündung 20°v.o.T. Einspritz- und Zündbeginn

wurden mit aufgezeichnet, der Einspritzbeginn mittels in der Treibstoffleitung kurz vor der Einspritzdüse eingebauten Membran-Gebers, der Zündbeginn mittels induktiven Einstreuens durch das Zündkabel. In der Höhe der Verbrennungsdrücke ergaben sich ziemliche Unterschiede. Gleichzeitig wurde beobachtet, daß der Verbrennungsablauf sehr ungleichmäßig erfolgte.

In Tafel 2 und 3 sind Verbrennungs-Diagramme für ein Fliegerbenzin und ein Steinkohlenmitteröl bei verschiedenem Zündbeginn zusammengestellt. Während sich bei 20° v.o.T. Zündbeginn der Verbrennungsdruck noch wenig ändert, fällt er bei 5° v.o.T. schon außerordentlich rasch ab. Gleichzeitig sinkt damit auch der mittlere Druck. Einspritz- und Zündbeginn wurden mit aufgenommen und sind deutlich zu erkennen.

Beinden Diagrammen auf Tafel 4 wurde bei konstantem Zündbeginn von 5° v.o.T. der Einspritzbegimn geändert. Man erkennt, daß die Änderung des Einspritzbeginns nur noch von geringem Einfluß auf den Verbrennungsablauf ist, wenn der Zündbegimn erst sehr spät erfolgt. Das würde bedeuten, daß die richtige Einhaltung des Zündzeitpunktes wichtiger ist als die des Einspritzbeginns. Den für beste Leistung und geringsten Verbrauch erforderlichen Verbrennungsablauf im Hesselman-Motor erhält man, wenn Einspritz- und Zündbeginn genau aufeinander abgestimmt sind.

In einer weiteren Versuchsreihe sind die Verbrennungs-Diagramme von klopffesten Kraftstoffen, wie Fliegerbenzin, Steinkohlenmitteröl und α-Methylnaphthalin mit weniger klopffesten,wie Leuna-Benzin, Gasöl und Eichbenzin vergleichen. In Tafel 5 haben wir zunächst die nichtklopfenden und in Tafel 6 die klopfenden Kraftstoffe. Verdichtung, Einspritz- und Zündbeginn wurden mit der Kraftstoffart geändert. Sehr deutlich unterscheiden sich die klopfenden von den nichtklopfenden in ihrem Verbrennungsablauf, weniger erkennbar an dem zu erwartenden steileren Druckanstieg dp/dφ als

an den Schwingungen hoher Frequenz, die in der Nähe des Verbrennungshöchstdruckes auftreten und auch noch während eines Teiles des Expansionshubes andauern.

Bei der Betrachtung des Verbrennungsablaufes unterscheidet man gewöhnlich 2 Abschnitte: den sogenannten Druckverzug (pressure lag) vom Überspringen des Funkens bis zum Auftreten eines merkbaren Druckanstieges, und den eigentlichen Druckanstieg bis zum Erreichen des höchsten Verbrennungsdruckes. Den Druckverzug kann man auch definieren als eine Art von Verbrennung ohne Druckerhöhung.

Der Druckverzug ist nach Drucker[1] abhängig vom Mischungsverhältnis, von der Kraftstoffart, vom Druck und der Temperatur im Augenblick des Funkenüberschlags. Der Druckanstieg dagegen hängt in erster Linie von der Form des Brennraumes, von der Zündkerzenanordnung und von der Wirbelung ab. Der Druckanstieg ist maßgebend für die Härte des Ganges.

Es wird der Versuch gemacht, den Druckverzug, der definiert ist, als die Zeit vom Überspringen des Funkens bis zum merkbaren Druckanstieg zu bestimmen. Natürlich ist es nicht gleichgültig, an welcher Stelle des Verbrennungsraumes man diesen Wert ermittelt. Von Einfluß ist ferner das Meßverfahren, mit dem der Druckverzug bestimmt wird. Bei einer Messung mittels Photozellen-Indikator werden sich erheblich abweichende Werte ergeben. Man wird dieselben Beobachtungen machen wie bei der Zündverzugmessung im Dieselmotor.

Erschwerend ist bei der Bestimmung des Druckverzuges die Feststellung des merkbaren Druckanstieges. Es wurde hierfür die Stelle im Verbrennungs-Diagramm angenommen, an der die Verbrennungslinie von der gleichzeitig mit eingezeichneten Verdichtungslinie abweicht. Da dieser Punkt im Verbrennungs-Diagramm sehr schwer festzustellen ist, wurde auch noch die Verdichtungslinie

---

1) ATZ 1938, Heft 3, Seite 58

bei fremdangetriebenem Motor mit aufgenommen und in das Verbrennungs-Diagramm eingezeichnet. Dabei fällt auf, daß die bei fremdangetriebenem Motor aufgenommene Verdichtungslinie höher liegt. Die Ursache dürfte wahrscheinlich auf den im Zylinder am Verbrennungsende verbleibenden Abgasrest zurückzuführen sein, wodurch das angesaugte Luftgewicht verringert wird.

Die Diagramme wurden mit dem 180°-Kurbelwinkel-Ablenkgerät aufgenommen, die Diagrammlänge entspricht danach 180°.

Aus den Diagrammen (Blatt 1 und 2) wurden ermittelt:

1.) der Druckverzug,

2.) " Druckanstiegbeginn v.o.T.,

3.) die Zeit vom Druckanstiegbeginn bis zum Druckmaximum,

4.) die Lage des Druckmaximum n.o.T.

Der Zündbeginn lag etwa 35° v.o.T., der Druckverzug schwankte bei den untersuchten Kraftstoffen zwischen 14,8 und 15,9 Kurbelgrad, entsprechend 0,0015 bezw. 0,0016 sec bei n = 1690 U/min. Der Unterschied ist unbedeutend. Eine Abhängigkeit des Druckverzuges wurde also im Gegensatz zu den vorhergehenden Ausführungen nicht festgestellt. Der Druckanstieg-beginn liegt bei den untersuchten Kraftstoffen etwa 20° v.o.T. Das Druckmaximum wird je nach der Kraftstoffart 28,7° bis 35,7° nach dem Druckanstiegbeginn bzw. 8,5° bis 15,5° n.o.T. erreicht. Dazu ist allerdings zu bemerken, daß der Verbrennungsablauf sehr unregelmäßig erfolgte. Für genauere Messungen wäre schon eine große Anzahl von Verbrennungsdiagrammen zu nehmen. Aus dem gleichen Grund wurde auch von einer Druckeichung der Quarzdose zwecks Messung der Verbrennungsdrücke abgesehen.

Damit kommen wir zu der letzten Versuchsreihe zur Bestimmung der Selbstzündungs- und Klopfgrenze für Gasöl (Cetenzahl 55), RCH-Dieselöl (Cetenzahl

100) und Eichbenzin (Oktanzahl 40). Es wurden mit Absicht 3 Kraftstoffe gewählt die eine geringe Oktanzahl, dagegen eine verhältnismäßig gute Cetenzahl - das RCH-Dieselöl sogar eine sehr gute Cetenzahl - besaßen. Bei genügend hoher Verdichtung war es daher möglich, bei Abschaltung der Fremdzündung und Wahl des richtigen Einspritzpunktes den Motor mit Selbstzündung des Kraftstoffes weiter zu betreiben und auf diese Weise die zum Selbstzündungs-Betrieb erforderliche Verdichtung zu ermitteln. Darauf zu achten ist, daß nicht durch Glühzündung, beispielsweise durch Glühen der Elektroden, ein Selbstzündungs-Betrieb vorgetäuscht wird. Bei Gasöl und Eichbenzin, die sich in der Cetenzahl wenig unterscheiden, wurde die zum Selbstzündungs-Betrieb erforderliche Verdichtung zu 1:14 ermittelt, sie entspricht danach annähernd den in Dieselmotoren üblichen Werten. Bei dem sehr zündwilligen RCH-Dieselöl lag diese Grenze erheblich niedriger und betrug die Verdichtung etwa 1:6,5. Versuche mit RCH-Dieselöl am I.G. Prüfdiesel ergaben für die bei Dieselbetrieb notwendige Verdichtung einen etwas höheren Wert von etwa 1:8 (vgl.Bericht Nr.376).

Die Bestimmung der Klopfgrenze erfolgte nicht mit einem Klopfmesser, wie beispielsweise beim I.G.-Prüfmotor für Oktanzahlbestimmung, vielmehr wurde bei den zu untersuchenden Kraftstoffen die Verdichtung soweit erhöht, bis die schon erwähnte Schwingung hoher Frequenz in der Nähe des Verbrennungshöchstdruckes auftrat. Sehr gut stimmte damit die gehörmäßig festgestellte Klopfgrenze überein. Durch weitere Versuche soll in den mit dem Piezo-Quarz-Indikator aufgenommenen Verbrennungs-Diagrammen eine Beurteilungsmöglichkeit für das Kraftstoff-Klopfverhalten geschaffen werden.

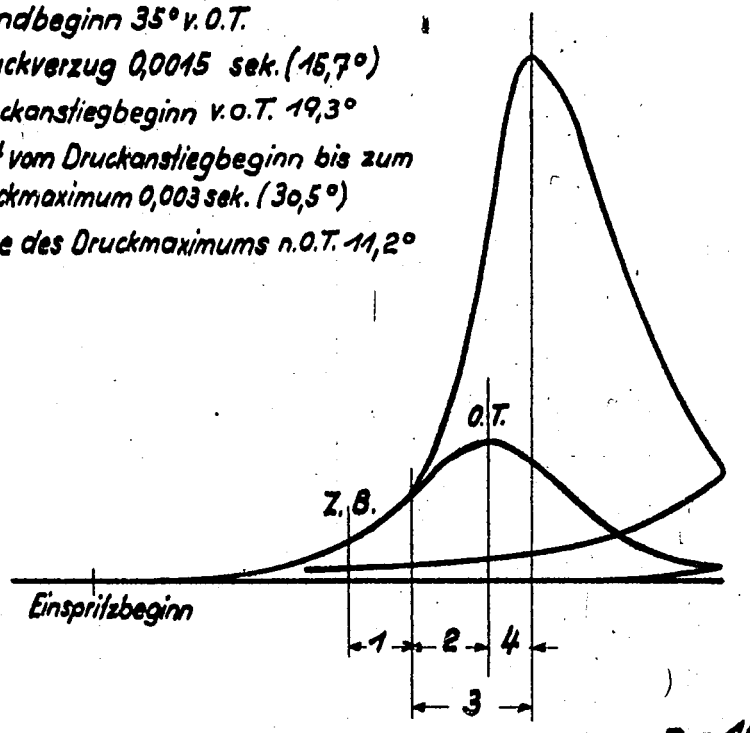
Anlagen: 8 Blatt
9 Blatt Bildtafeln.

Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 1

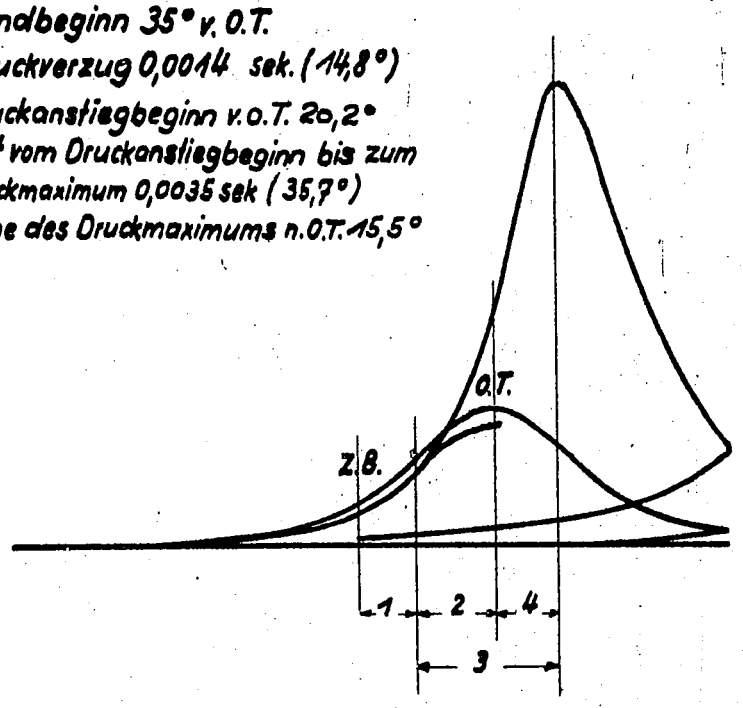
675

Kraftstoff: Fliegerbenzin OZ 87
Z.B. : Zündbeginn 35° v. O.T.
1 : Druckverzug 0,0015 sek. (15,7°)
2 : Druckanstiegbeginn v.o.T. 19,3°
3 : Zeit vom Druckanstiegbeginn bis zum Druckmaximum 0,003 sek. (30,5°)
4 : Lage des Druckmaximums n.O.T. 11,2°



n = 16[illegible] U/min

Kraftstoff: Steinkohlenmittelöl 151 H
Z.B. : Zündbeginn 35° v. O.T.
1 : Druckverzug 0,0014 sek. (14,8°)
2 : Druckanstiegbeginn v.o.T. 20,2°
3 : Zeit vom Druckanstiegbeginn bis zum Druckmaximum 0,0035 sek (35,7°)
4 : Lage des Druckmaximums n.O.T. 15,5°



Dr. S. 344

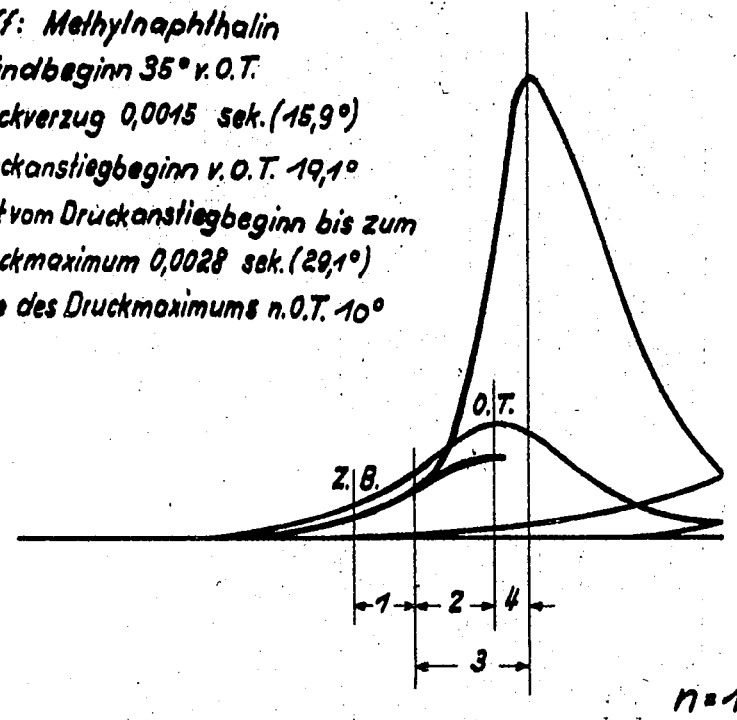
I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Ludwigshafen am Rhein	Maßst.	Zum Bericht Nr. 370 vom 2.2.39.	2708-16
Tag 27.1.39. Name [illegible]		Urheberrechtsschutz nach DIN 34	

Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 2

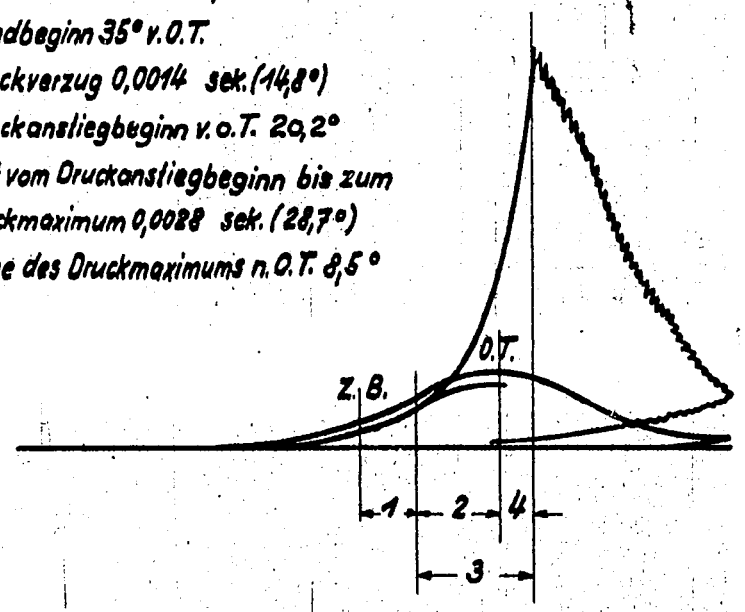
676

Kraftstoff: Methylnaphthalin
Z.B.: Zündbeginn 35° v. O.T.
1: Druckverzug 0,0015 sek. (15,9°)
2: Druckanstiegbeginn v. O.T. 19,1°
3: Zeit vom Druckanstiegbeginn bis zum Druckmaximum 0,0028 sek. (29,1°)
4: Lage des Druckmaximums n. O.T. 10°



n = 1690/min

Kraftstoff: Leunabenzin OZ 73
Z.B.: Zündbeginn 35° v. O.T.
1: Druckverzug 0,0014 sek. (14,8°)
2: Druckanstiegbeginn v. o.T. 20,2°
3: Zeit vom Druckanstiegbeginn bis zum Druckmaximum 0,0028 sek. (28,7°)
4: Lage des Druckmaximums n. O.T. 8,5°

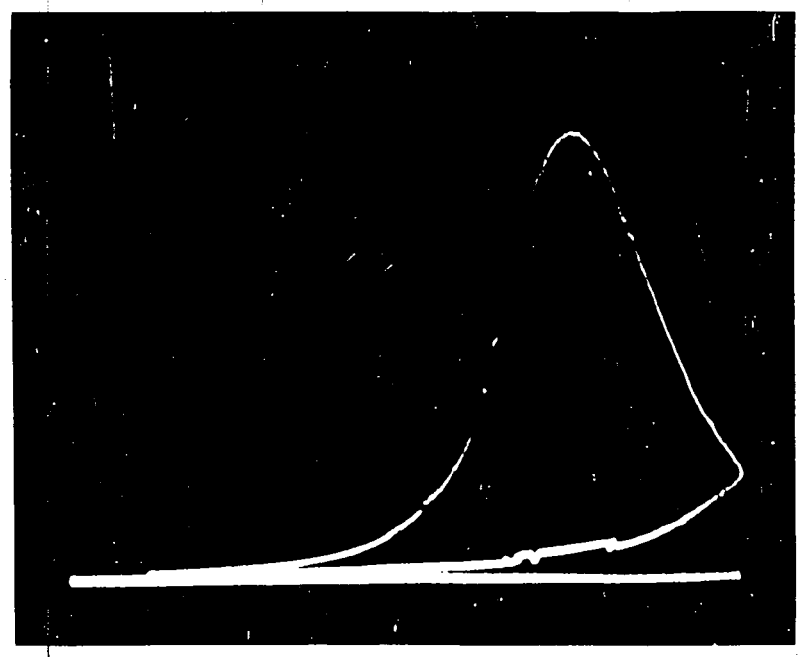


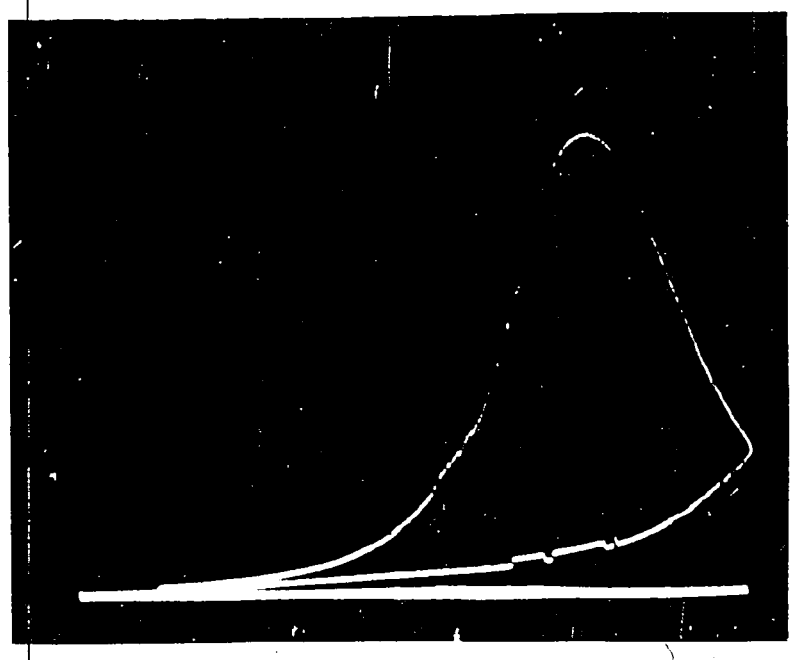
TPr. 5. 345

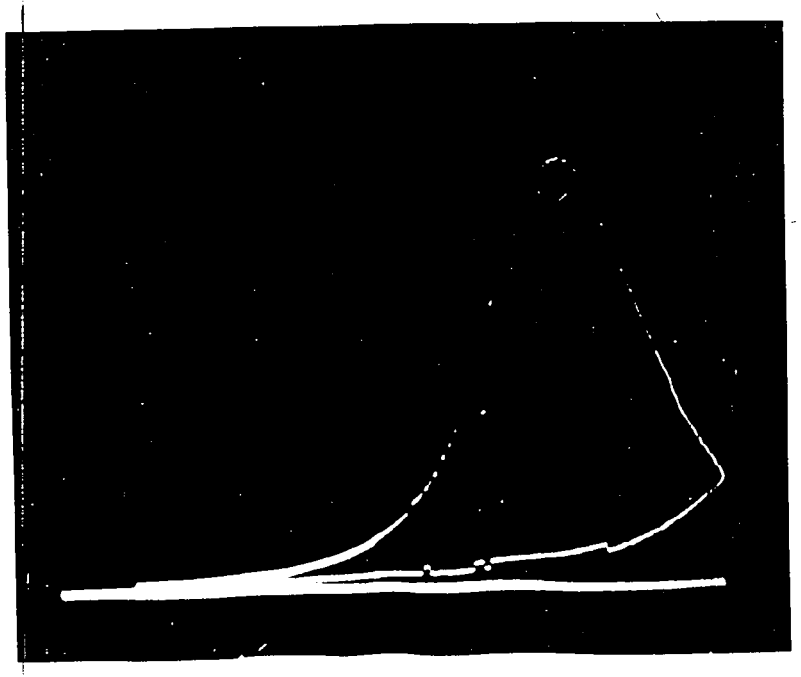
I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Ludwigshafen am Rhein Tag 28.1.39 Name Kirsch	Maßst.	Zum Bericht Nr. 370 vom 2.2.39. Urheberrechtsschutz nach DIN 34	N2709-16

TAFEL 1

677



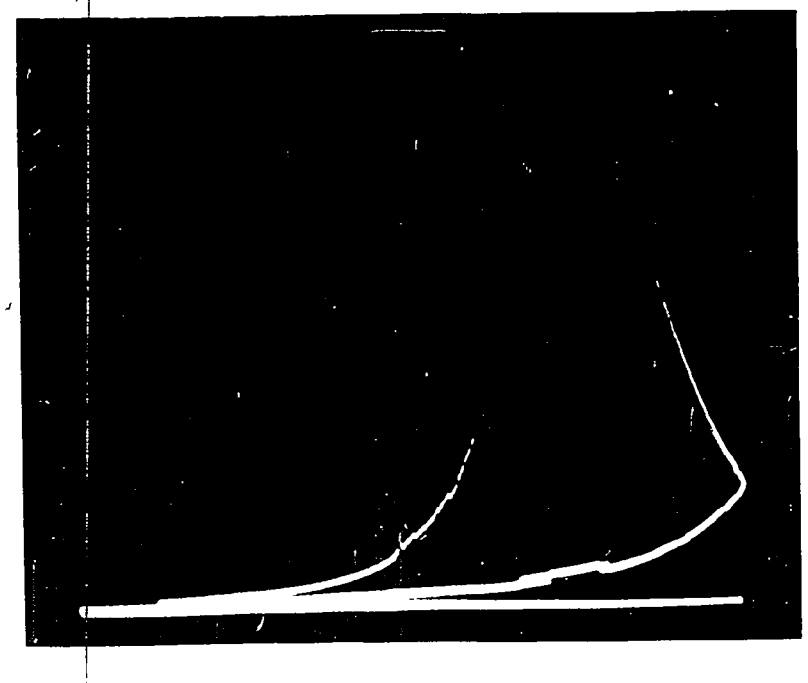




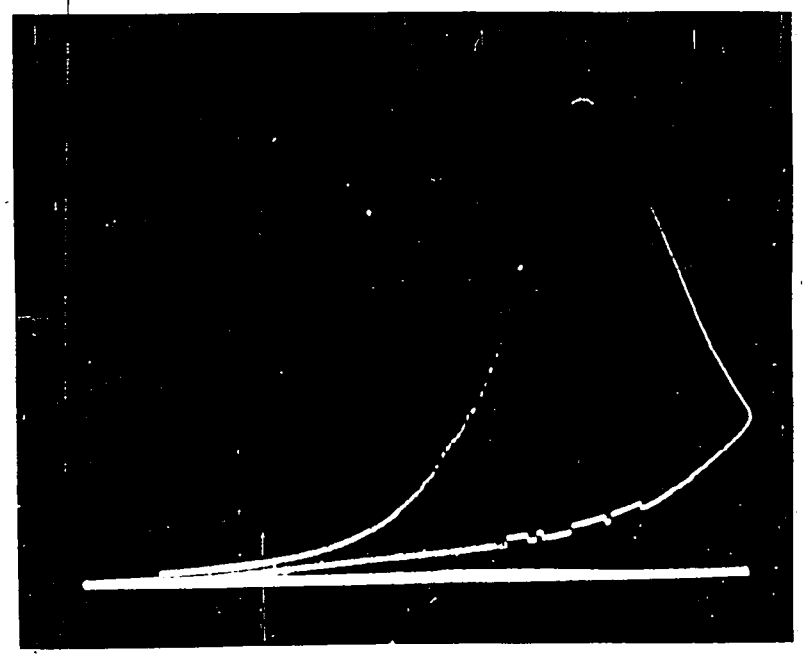
TAFEL 2

678

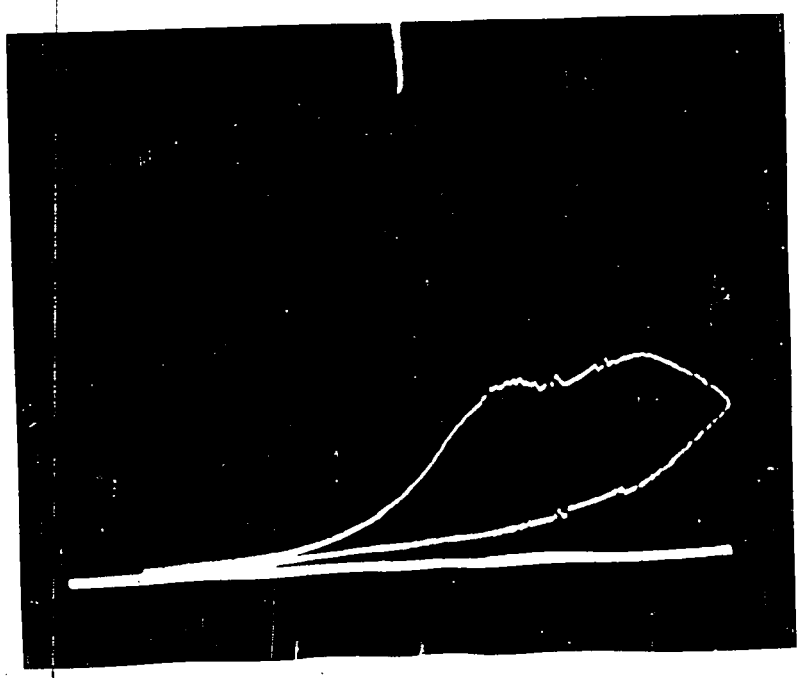
Betriebsstand
Leerlauf 740



EB = 100° v. OT
ZB = 30° v. OT
pmi = 42 at



EB = 100° v. OT
ZB = 20° v. OT
pmi = 44 at



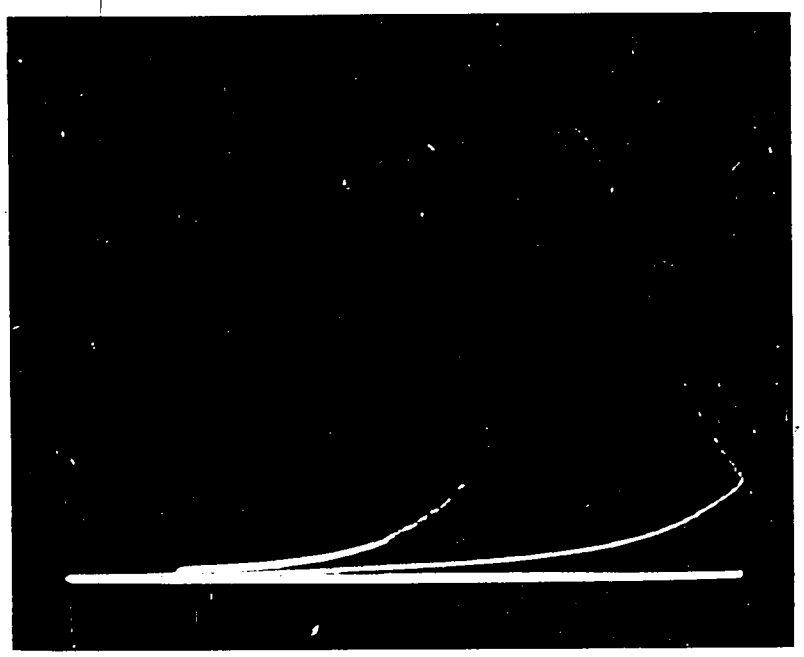
EB = 100° v. OT
ZB = 5° v. OT
pmi = 51,5 at

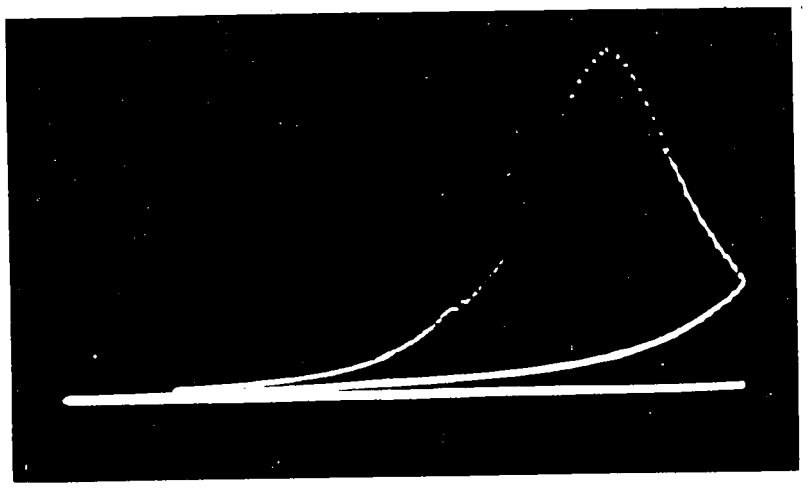
Eingespritzte Kraftstoffmenge = 1690 mm³

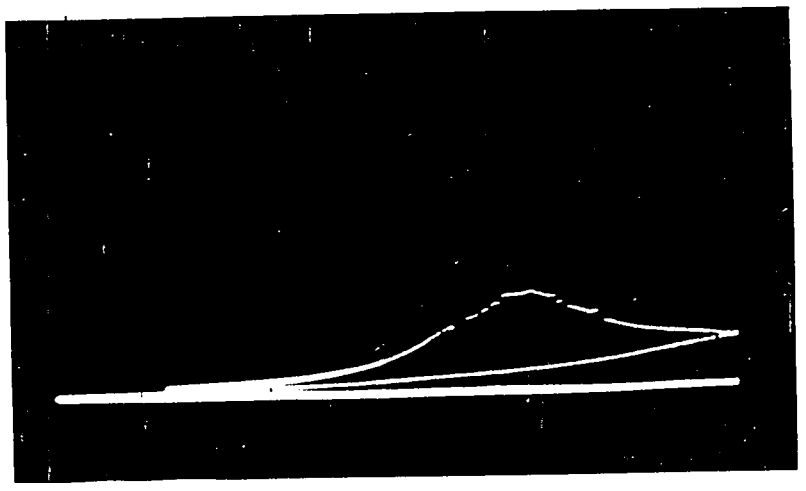
Zündbeginn geändert

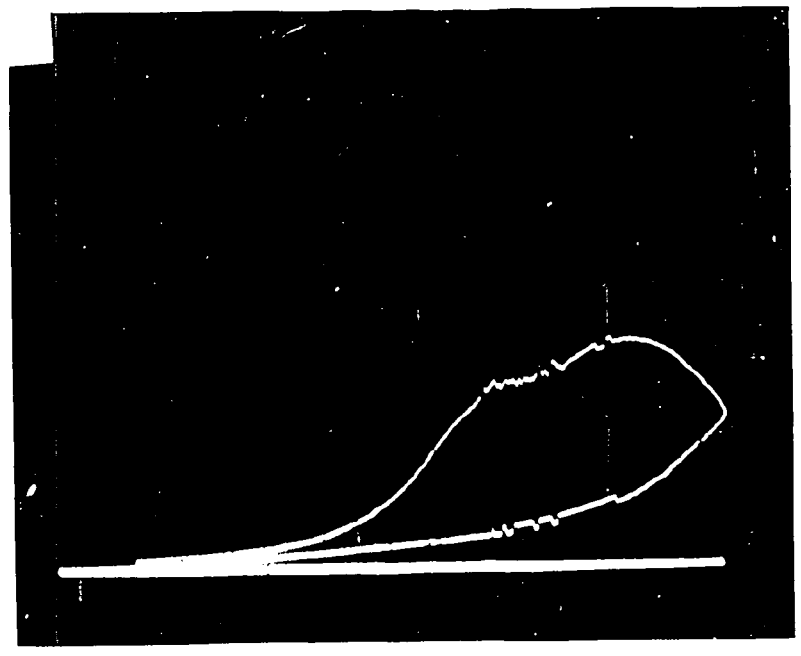
TAFEL 3

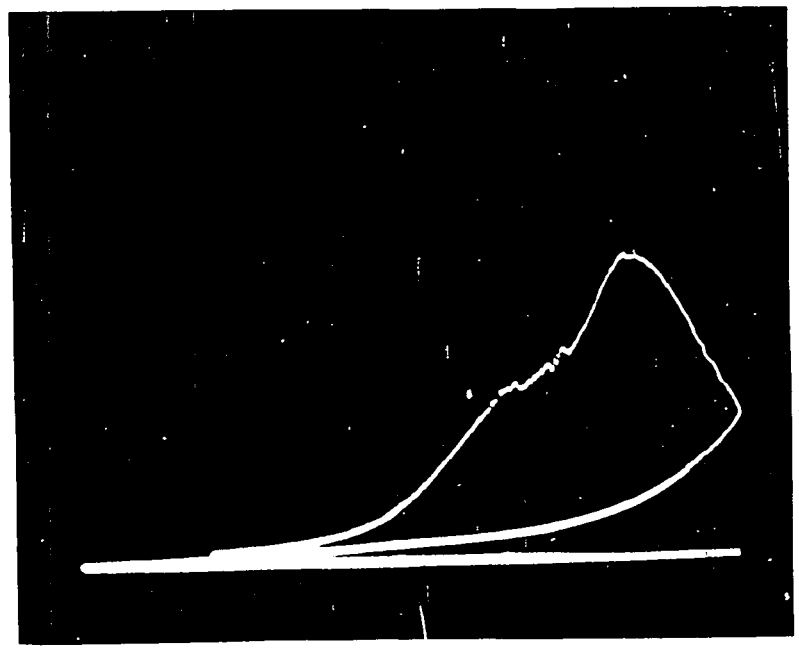
679

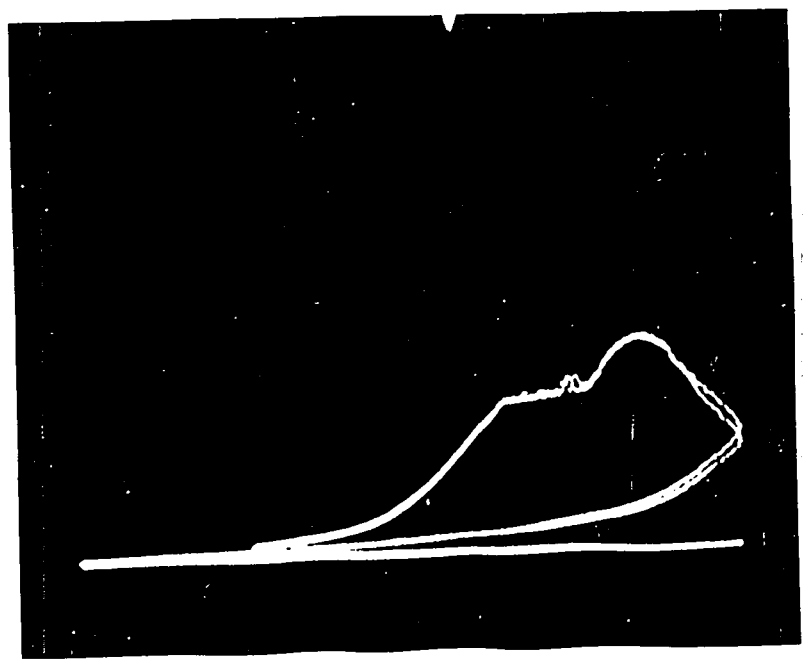




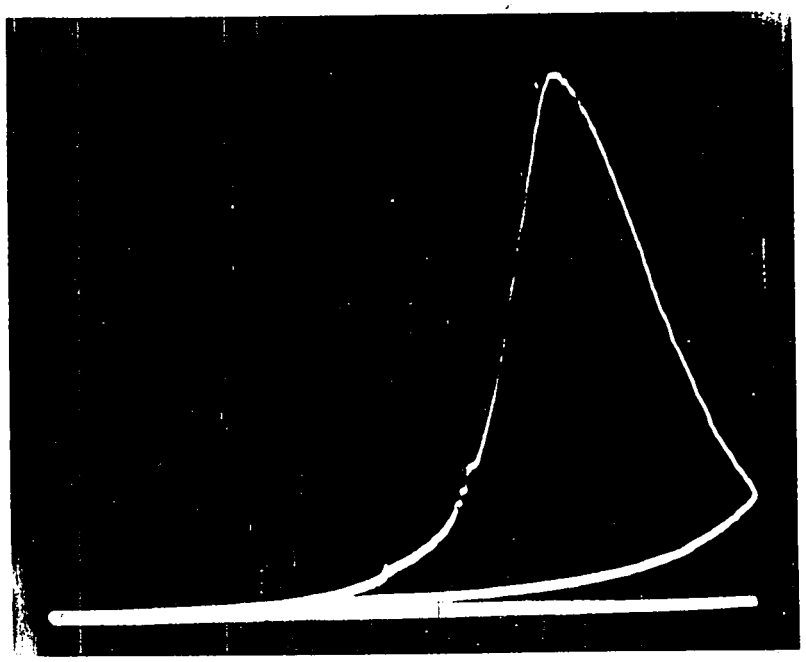


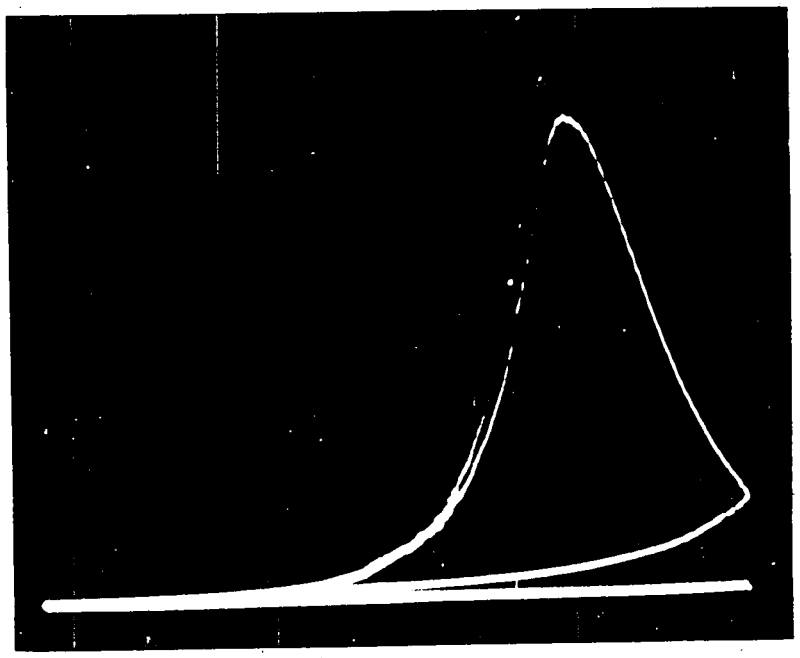


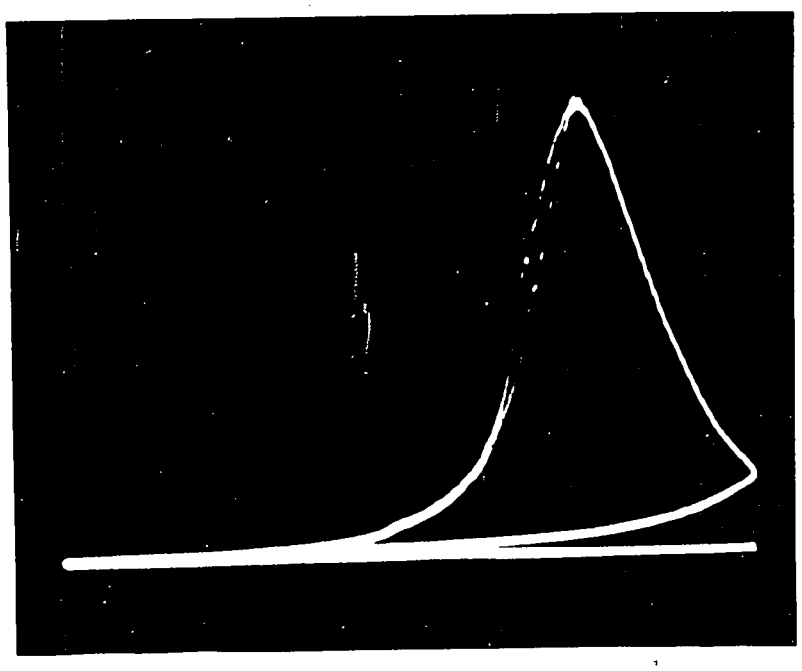


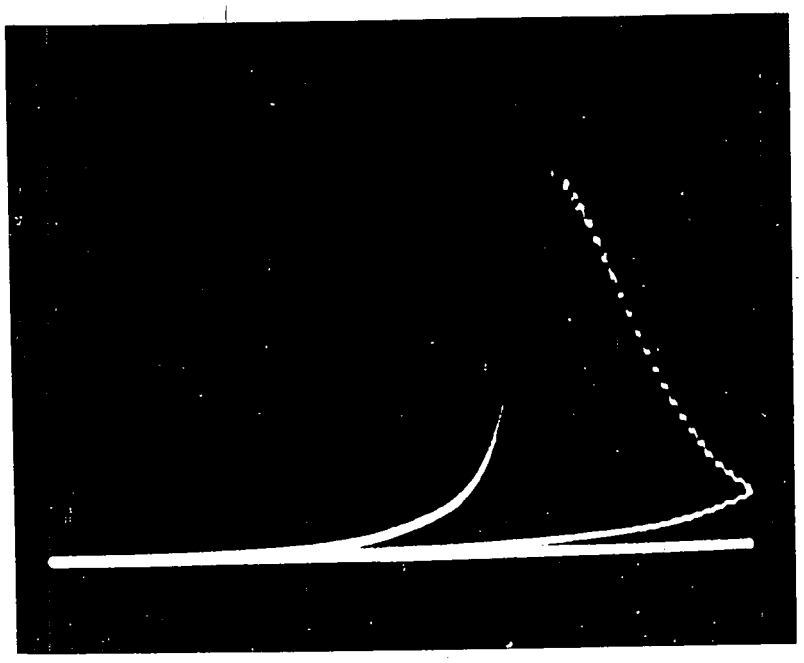


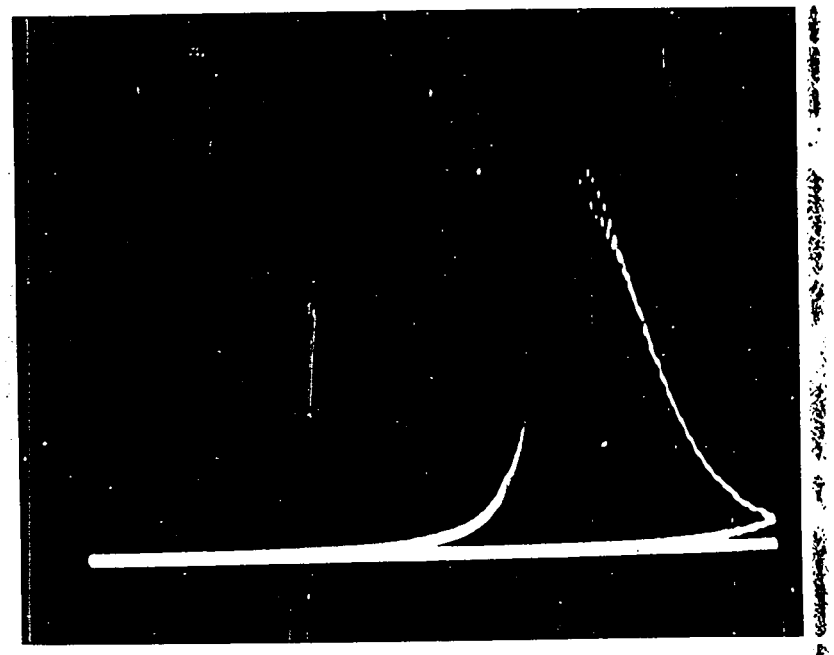
Einsp. tabegina
geändert

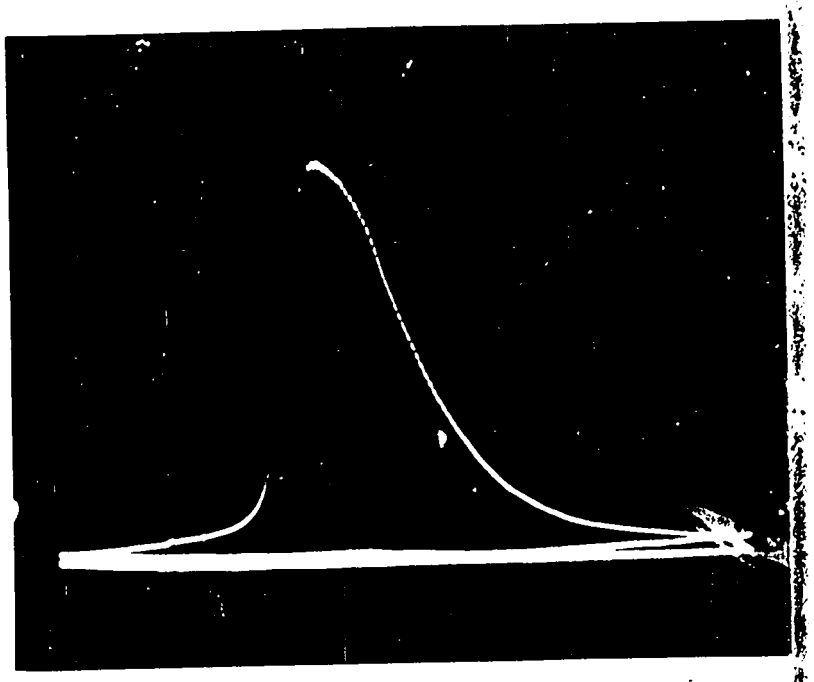






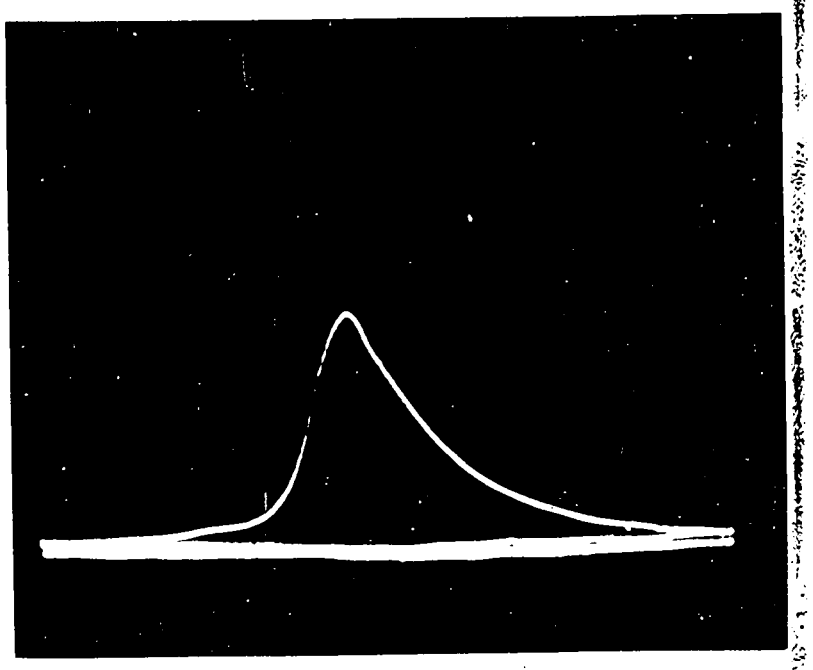


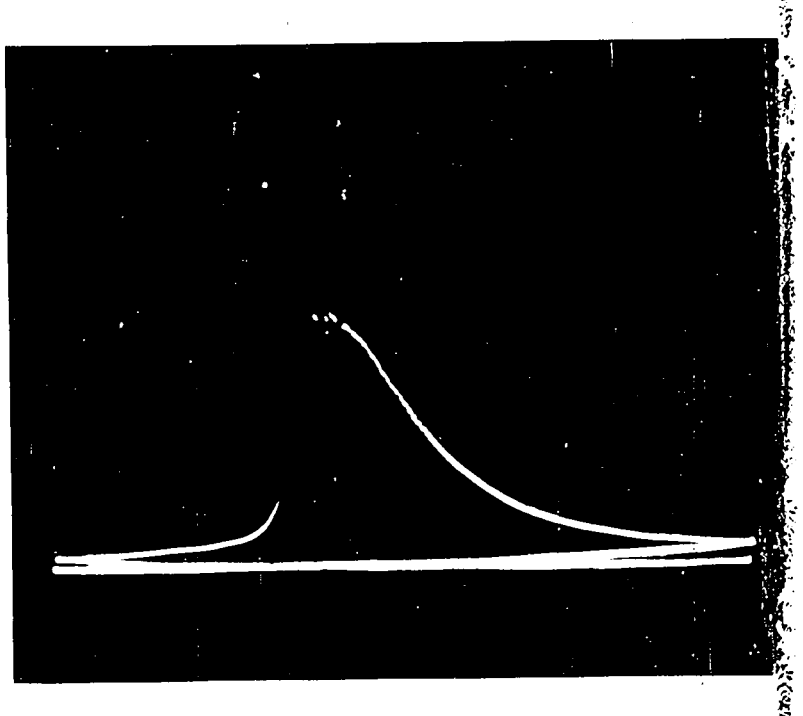


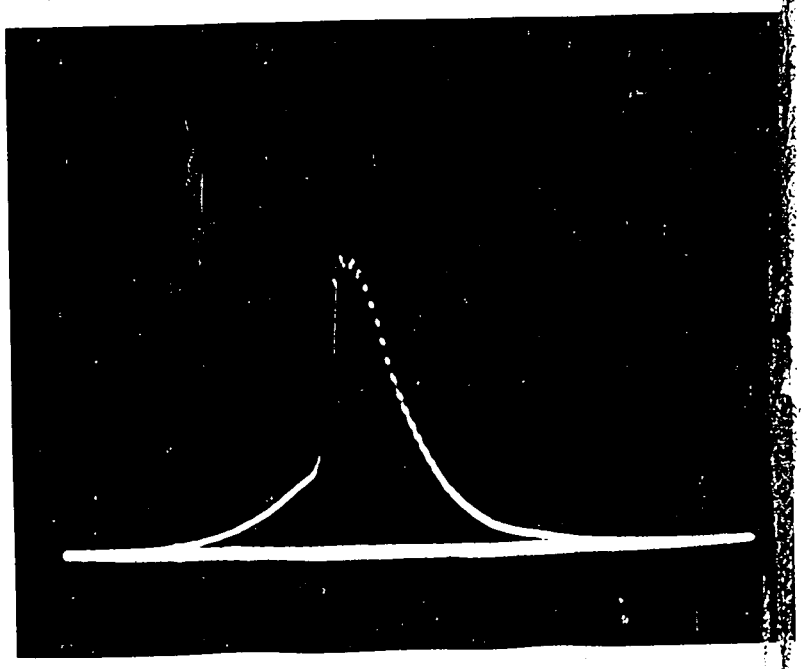


TAFEL V

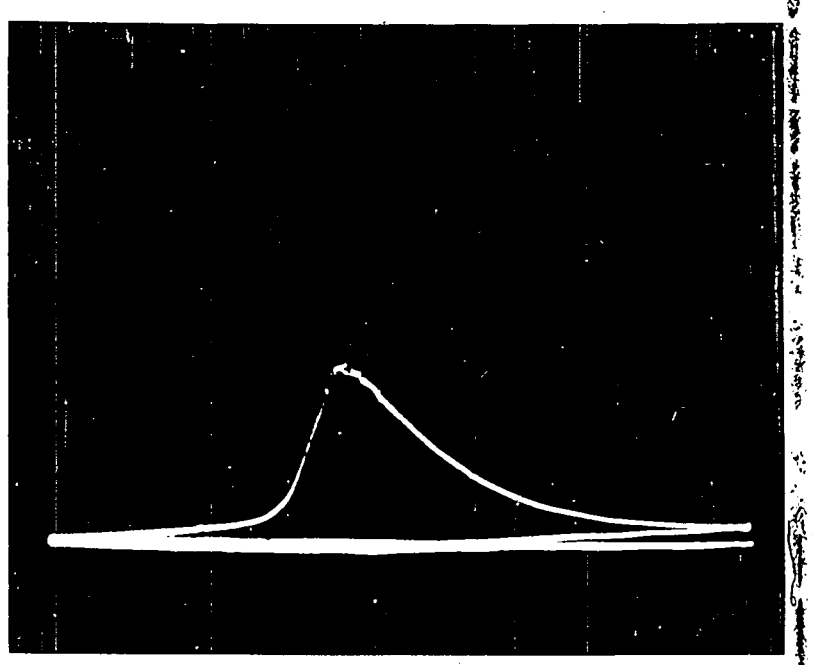
683

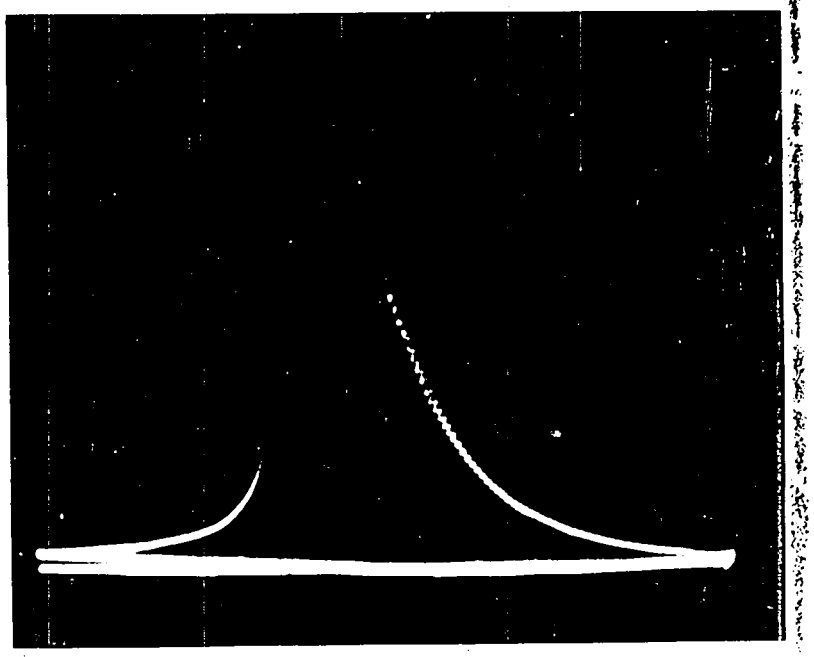


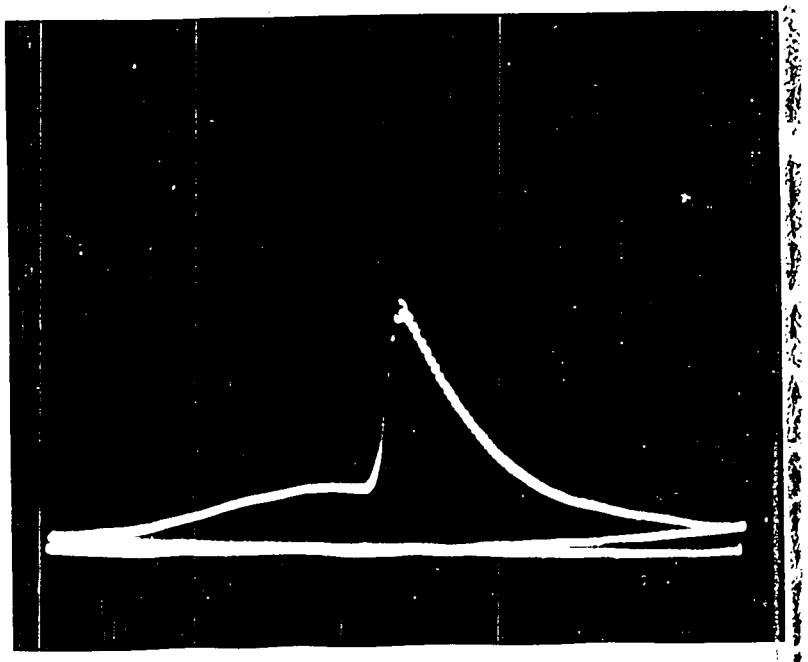


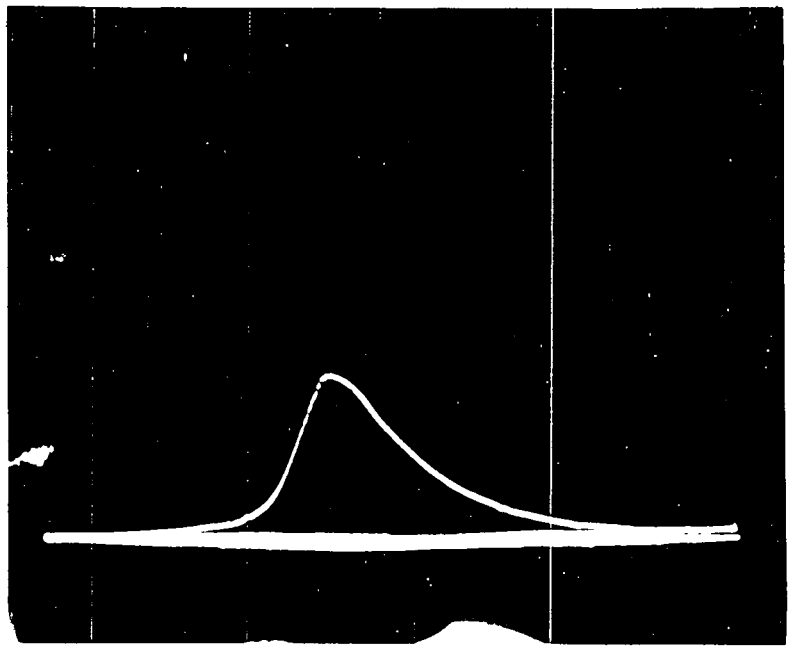


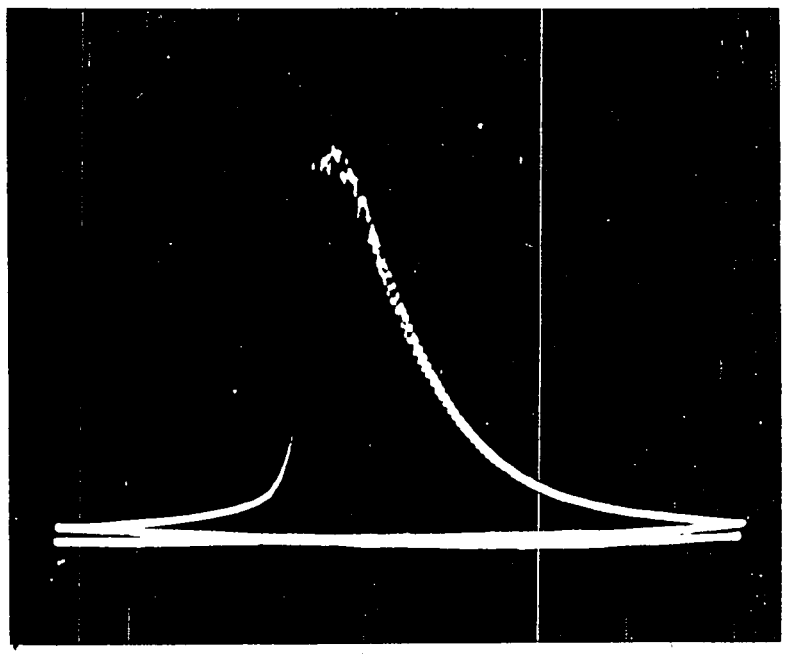
684

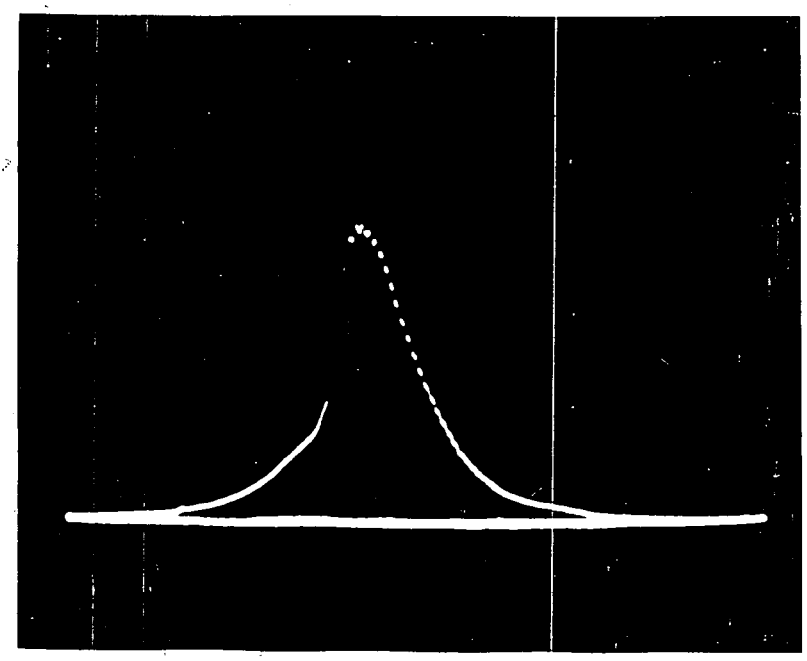












I.G.Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a.Rhein
Techn.Prüfstand Op 200
Bericht Nr.376

B e r i c h t

über

Versuche mit RCH - Dieselöl.

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
Zusammenfassung.	1
Zweck der Versuche.	1
Versuchsdurchführung.	2
1.)Abhängigkeit des Verbrennungsablaufes von der Verdichtung.	3
2.)Höchste erreichbare Leistung mit RCH-Dieselöl und Gasöl im I.G.-Prüfdiesel.	4
3.)Betrieb eines MWM-Vorkammermotors bei ε = 11:1.	4
4.)Leistungsmessung am Hanomag-Autodieselmotor in Abhängigkeit von der Drehzahl.	5

Techn.Prüfstand Op 200
Bericht Nr.375

Opladu, den 31.Mai 1939.Kf.

688

B e r i c h t

über

Versuche mit RCH-Dieselöl.

Zusammenfassung:

RCH-Dieselöl hat etwa doppelt so hohe Cetanzahl wie Standard-Gasöl, und es sollte untersucht werden, ob sich hieraus besondere Vorteile für den Dieselmotor ergeben. Durch Versuche im I.G.-Prüfdiesel, wobei Verdichtung, Einspritzzeitpunkt und Pumpenkolbengröße verändert wurden, konnte keine praktisch merkbare Leistungssteigerung gegenüber Gasöl festgestellt werden. Jedoch kann die Höchstleistung beim RCH-Dieselöl schon bei einer Verdichtung aus dem Motor herausgeholt werden, die etwa derjenigen unserer Flugmotoren für hochklopffeste Fliegerbenzine entspricht. Damit stets sicheres Anspringen gewährleistet ist, ist jedoch eine etwas höhere Verdichtung notwendig. Durch die Verwendung niederer Verdichtungen kann eine Gewichtsersparnis erreicht werden, die Dieselmaschine wird jedoch auch bei Benutzung des RCH-Dieselöls schwerer als ein gleichwertiger Ottomotor bleiben. Mit RCH-Dieselöl ergab sich im Hanomag-Autodieselmotor keine bessere Schnelläufigkeit als mit Standard-Gasöl. Die Leistung war sogar etwas geringer. Es scheint, daß hier nicht allein die Zündwilligkeit ausschlaggebend ist, sondern daß auch die Verbrennungsgeschwindigkeit noch eine wichtige Rolle spielt.

Zweck der Versuche:

Die Dieselmaschinen haben gegenüber den Ottomotoren den Nachteil, daß sie schwerer und damit teurer sind und keine so große Literleistung ergeben. Es

soll untersucht werden, wieweit von der Kraftstoffseite her durch andere Kraftstoffe mit wesentlich besserer Zündwilligkeit, z.B. RCH-Dieselöl, die Dieselmaschine günstiger gestellt werden kann, als es mit den heute üblichen Kraftstoffen der Fall ist.

Versuchsdurchführung:

Die Versuche wurden an den in der nachstehenden Tabelle angegebenen Dieselmaschinen durchgeführt.

Motor:	I.G.-Prüfdiesel	MWM-Motor	Hanomag-Diesel
Typ	-	KD 15	-
Verbrennungssystem	direkte Einspritzung	Vorkammer	Vorkammer
Zylinderzahl	1	1	4
Zylinderbohrung mm	95	95	80
Hub mm	150	150	95
Hubraum ltr	1,06	1,06	1,9
Drehzahl n/min	900	1500	bis 3500
Kühltemperatur °C	100	80	80

Benutzt wurden die Kraftstoffe

RCH-Dieselöl Cetanzahl 90
Standard-Gasöl " 46.

Die Analysendaten sind auf den Anlagen, Blatt 1, angegeben. RCH-Dieselöl ist ein nach dem Fischer-Tropsch-Verfahren hergestellter sehr zündwilliger Dieselkraftstoff. Standard-Gasöl ist der übliche Handelskraftstoff der Deutsch-Amerikanischen Petroleum Gesellschaft.

Die Versuche wurden in folgender Weise durchgeführt:

1.) Abhängigkeit des Verbrennungsablaufes von der Verdichtung,
2.) Höchste erreichbare Leistung,
3.) Betrieb eines MWM-Vorkammermotors bei ε = 11:1
4.) Leistungsmessung im Hanomag-Autodieselmotor in Abhängigkeit von der Drehzahl.

1.) Abhängigkeit des Verbrennungsablaufes von der Verdichtung.

Es wurde der Verbrennungsablauf bei verschiedenen Verdichtungen im I.G.-Prüfdiesel untersucht. Gefahren wurde bei 1/2 Last mit RCH-Dieselöl und Standard-Gasöl. Der Wärmeverbrauch wurde konstant gehalten, d.h., da das RCH-Dieselöl einen geringeren Literheizwert hat, wurde entsprechend mehr eingespritzt. Der Einspritzbeginn wurde so eingestellt, daß die Zündung stets im Totpunkt erfolgte. Die Voreinspritzung ist also ebenso groß wie der Zündverzug. Das Ergebnis der Versuche ist auf Blatt 2 dargestellt. Bei Verdichtung 17:1 ist praktisch kein wesentlicher Unterschied im Verbrennungsverhalten zwischen beiden Kraftstoffen vorhanden. Zündverzug, Druckanstieg, Verbrennungsdruck sind nahezu gleich. Je mehr die Verdichtung erniedrigt wird, desto mehr unterscheiden sich beide Kraftstoffe. Die geringste Verdichtung, bei der RCH-Dieselöl noch gefahren werden konnte, liegt bei ε = 8:1. Beim Gasöl ist die Grenze bei ε = 10:1. Der Zündverzug steigt hierbei auf über 30° Kw. Starten war bei diesen niederen Verdichtungen nicht mehr möglich. Dazu mußte die Verdichtung für RCH-Dieselöl auf ε = 13:1 und für Standard-Gasöl auf ε = 15:1 erhöht werden. Der Druckanstieg ist beim Gasöl steiler als beim RCH-Dieselöl, was wohl auf den geringeren Heizwert und auf die verschiedenen Viskositäten zurückgeführt werden kann. Die Leistungsausbeute war bei den niederen Verdichtungen etwas höher; wohl deshalb, weil hier der Kraftstoff früher eingespritzt und besser ausgenützt wird. Die geringeren mechanischen Verluste dürften sich gleichfalls etwas auswirken. Die beste Kraftstoffausnutzung wurde nahe der kritischen Verdichtung erhalten, wo die Maschine beginnt, auszusetzen. Die Leistung ist hier um 10 bis 20 % höher als bei höherer Verdichtung. RCH-Dieselöl hat die beste Leistung bei ε = 8,5:1, Gasöl bei 11:1. Von Verdichtung 15:1 ab sind beide ziemlich gleich.

+) bei gleichem Zündverzug

2.) Höchste erreichbare Leistung mit RCH.-Dieselöl und Gasöl im I.G.-Prüfdiesel.

Die höchste Leistung wird, wie sich aus den vorhergehenden Versuchen ergeben hatte, nahe bei der kritischen Verdichtung erhalten. RCH-Dieselöl und Standard-Gasöl wurden deshalb bei den Verdichtungen 10:1, 9:1 und 8:1 gefahren. Für jede Verdichtungseinstellung wurde der Einspritzzeitpunkt gesucht, der höchste Leistung ergab. Ebenso wurde durch Verwendung eines 6-, 7- und 8 mm-Pumpenelementes auch die Einspritzzeit und Einspritzcharakteristik geändert. Das Ergebnis dieser Versuche ist auf Blatt 3, 4 und 5 aufgetragen. Außer der Leistung ist noch der Zündverzug mit angegeben. Die höchste Leistung wurde erhalten bei Gasöl, wenn die Zündung etwa 10° Kw.n.o.T. einsetzte; bei RCH-Dieselöl meist schon bei Zündung kurz nach oberem Totpunkt. Auf Blatt 6 sind die hierbei erhaltenen Höchstwerte über dem Wärmeverbrauch aufgetragen.

Mit dem 6- und 7 mm-Pumpenelement reichte die Einspritzmenge nicht aus, um die höchste Leistung der Maschine zu erhalten. RCH-Dieselöl ergab bei gleicher Verdichtung, z.B. 10:1, nicht die gleiche hohe Leistung wie Gasöl. Beachtlich ist die Leistungssteigerung von etwa 10 % bei RCH-Dieselöl, wenn die Verdichtung von 10:1 auf 8:1 erniedrigt wird.

Mit dem 8 mm-Pumpenkolben konnte die Höchstleistung der Maschine erreicht werden. RCH-Dieselöl ergab bei der geringstmöglichen Verdichtung von 8:1 praktisch die gleiche Leistung wie Gasöl bei Verdichtung 10:1, wo der Motor gerade noch mit Gasöl läuft. Die Leistungsunterschiede zwischen beiden liegen im Bereich der Meßgenauigkeit der Maschine.

Die Maschine klopfte bei Verwendung des 8 mm-Kolbens äußerst stark. Der Kraftstoff wurde hier sehr kurzzeitig eingespritzt, er hatte während des langen Zündverzugs genügend Zeit zur Gemischbildung mit der Luft und verbrannte schlagartig. Damit scheint es möglich zu sein, auch den an sich langsamer verbrennenden RCH-Dieselkraftstoff ebenso rasch wie das Gasöl zu verbrennen, so daß beide

auch gleiche Leistung ergeben. RCH-Dieselöl ergibt also praktisch keine höhere Leistung wie Gasöl trotz seiner höheren Cetanzahl. Jedoch wird diese höchste Leistung beim RCH-Dieselöl schon bei einer Verdichtung aus dem Motor herausgeholt, die etwa derjenigen unserer Flugmotoren für hochklopffeste Fliegerbenzine entspricht. Es ist hiermit möglich, im gleichen Flugmotor sowohl hochklopffestes Benzin als auch das zündwillige RCH-Dieselöl oder andere Kraftstoffe hoher Cetanzahl zu verwenden.

3.) Betrieb eines MWM-Vorkammermotors bei $\varepsilon = 11:1$.

Die bisherigen Versuche wurden in einem Motor mit direkter Einspritzung durchgeführt. Es sollte nun geprüft werden, wie sich RCH-Dieselöl und Standard-Gasöl im Vorkammermotor verhalten. Ein MWM-Vorkammer-Einzylindermotor wurde durch Beilagscheiben zwischen Zylinderkopf und Ständer auf $\varepsilon = 11:1$ eingestellt. Die Maschine lief nach etwa 5 Minuten mit RCH-Dieselöl an und benötigte noch weitere 5 Minuten, bis sie sich auf die volle Leerlaufdrehzahl von 1600 U/min emporgearbeitet hatte. Sie lief dann mit rauhem Gang gleichmäßig weiter. Beim Umschalten auf Standard-Gasöl blieb die Maschine stehen. Es ist also u.U. möglich, einen Vorkammermotor mit RCH-Dieselöl bei $\varepsilon = 11:1$ zu betreiben. Da bei dieser Verdichtung niedere Drücke auftreten, so könnte hierdurch eine beachtliche Gewichtsersparnis erzielt werden, wenn auch die Maschine immer noch schwerer bleiben wird als der gleiche Ottomotor.

4.) Leistungsmessung am Hanomag-Autodieselmotor in Abhängigkeit von der Drehzahl.

Im Hanomag-Dieselmotor sollte untersucht werden, wie sich RCH-Dieselöl und Standard-Gasöl bei hohen Drehzahlen im Motor verhalten. Die Ergebnisse dieser Versuche sind auf Blatt 7 aufgetragen. Beide Kraftstoffe wurden bei normaler Motoreinstellung gefahren. Die höchste erreichbare Leistung war an dem Motor bei niederen Drehzahlen nahezu für beide Kraftstoffe gleich. Je höher die

Drehzahl gewählt wurde, umso mehr blieb die Leistung beim RCH-Dieselöl hinter der von Gasöl zurück. Der Unterschied beträgt bei 3000 U/min etwa 10 %. Da RCH-Dieselöl ja zündwilliger ist und deshalb kleineren Zündverzug hat, sollte man mit RCH-Dieselöl eine günstigere Leistung bei höheren Drehzahlen erwarten. Daß dies nicht zutrifft, läßt sich nur aus der schon bei anderen Versuchen festgestellten langsameren Verbrennung des RCH-Dieselöls und aus seinen analytischen Werten erklären, die für die Maschinneneinstellung nicht völlig befriedigend sind. Auf dem gleichen Blatt sind auch Verbrauch, mittlerer Druck und Auspufftemperatur angegeben. Die Versuche scheinen den Schluß zuzulassen, daß RCH-Dieselöl nicht geeignet ist, einem Motor bessere Schnellaufigkeit zu geben. Es scheint, daß hier die Zündwilligkeit nicht allein ausschlaggebend ist, sondern, daß die Verbrennungsgeschwindigkeit noch eine große Rolle spielt.

Anlagen: 1 Blatt Analysen.
6 Kurvenblätter.

Köhler

Anlage z.Bericht Nr.376 vom 31.5.39.

Kraftstoff:	RCH-Dieselöl «Fischer-Öl	Standard-Gasöl
Spez.Gewicht	0,776	0,852
Viskosität bei 20°C in cst.	2,86	5,51
Siedegrenze (5 %- u. 95 %-Punkt)	218-318	235-350
Kennziffer + Fraktionsziffer	257+49	280+50
Kristallisationspunkt °C	-8	-16
Flammpunkt °C	91	100
Brennpunkt °C	102	123
Elementaranalyse:		
% C	84,28	86,36
% H	15,10	13,00
% S	0,01	0,35
Heizwert H_u	10 500	10 200
Cetanzahl CaZ	90	46
Conradsontest	0,0	0,014
Asche %	0,0	0
Phenole %	0,0	2,5
Anilinpunkt	86,6	71,5
Jodzahl (nach Hanus)	13,1	4,30

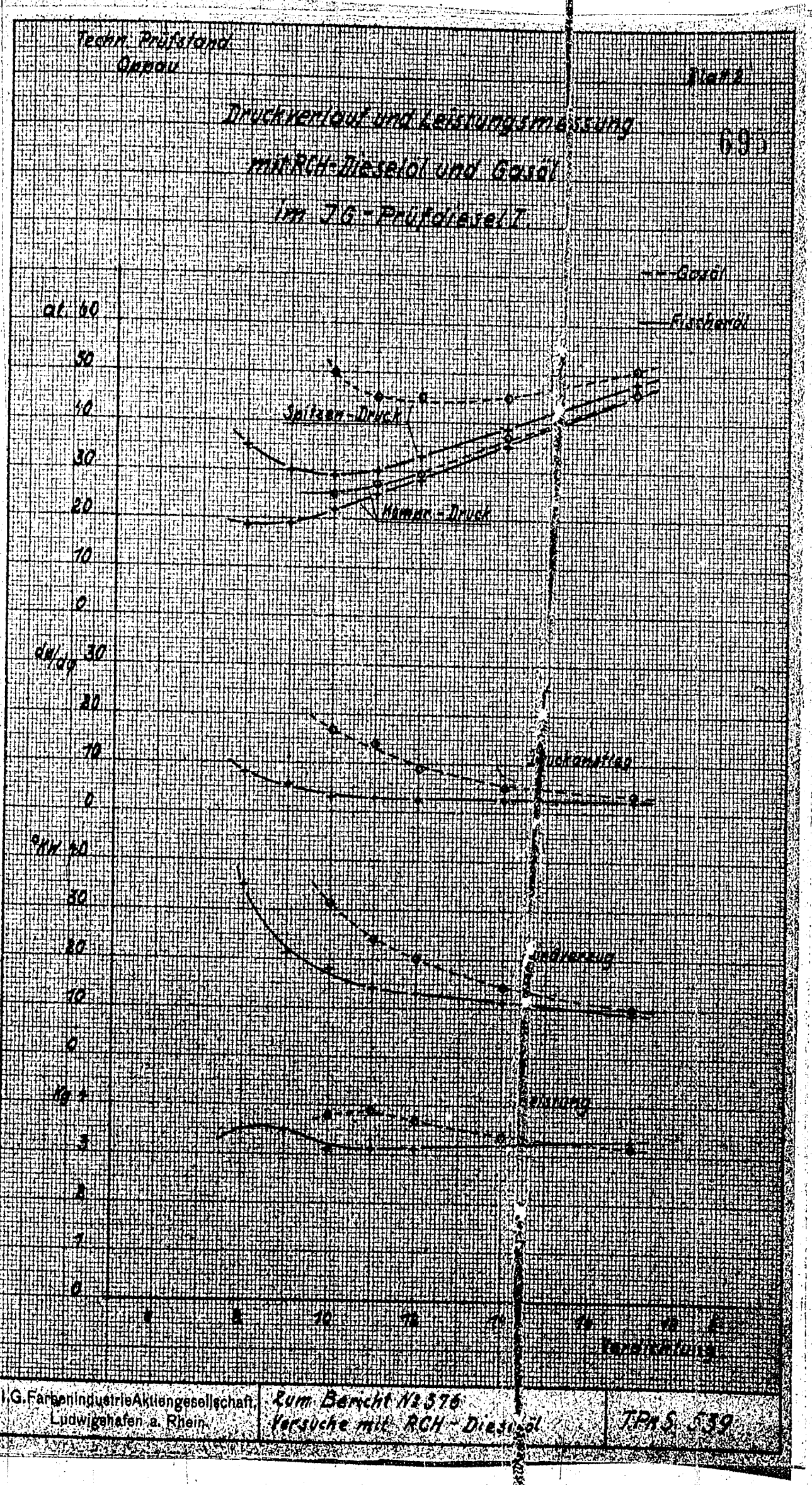
Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 2

Druckverlauf und Leistungsmessung

mit RCH-Dieselöl und Gasöl

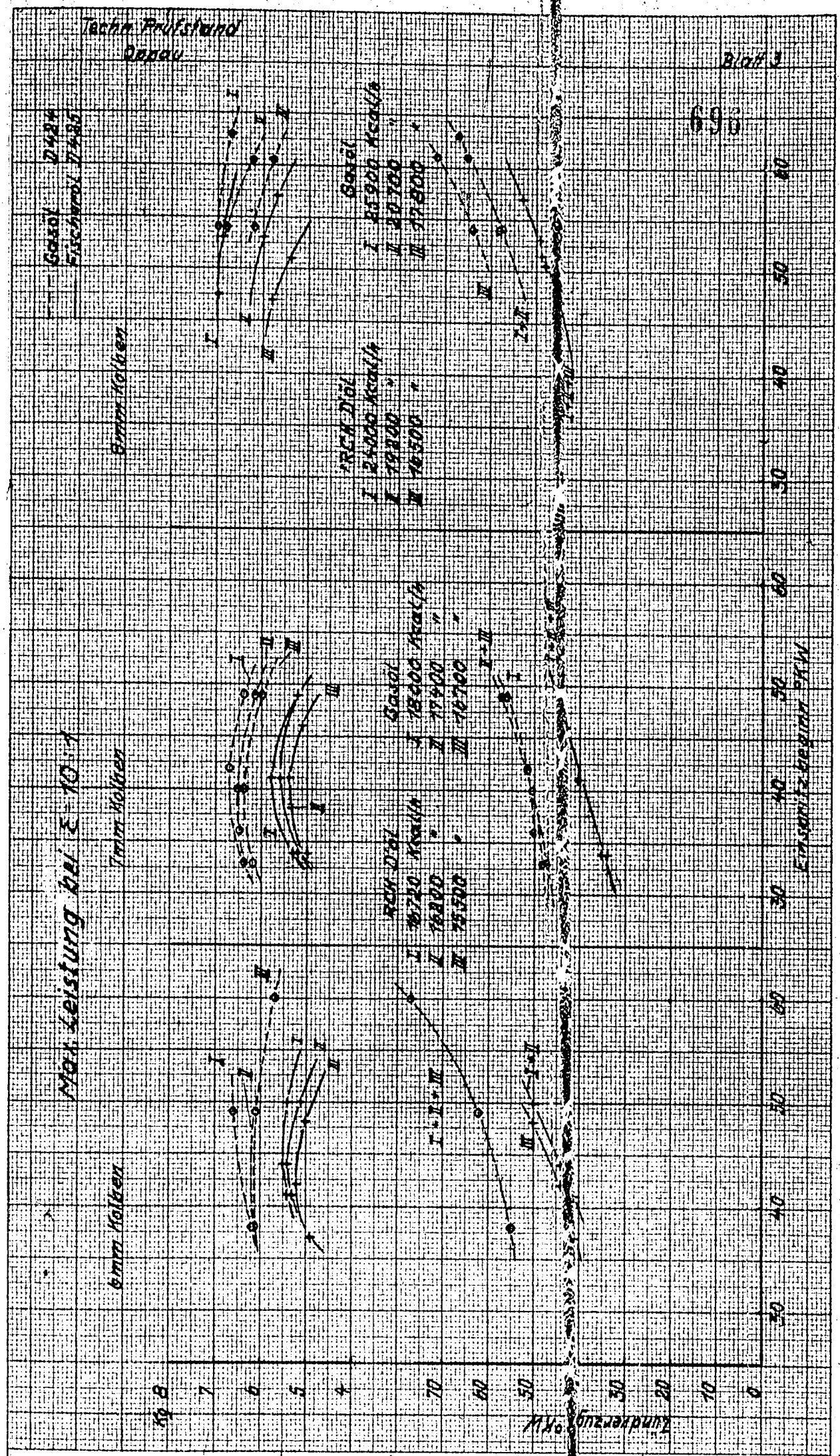
im IG-Prüfdiesel I.



I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Zum Bericht Nr 576 Versuche mit RCH-Dieselöl	T.Pr.St. 539

Techn. Prüfstand
Dessau

Blatt 3



I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Zum Bericht № 376 Versuche mit RCH-Dieselöl	T. Pr. S. 540

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

Zum Bericht Nr 376
Versuche mit RCH-Dieselöl

T. Pr. S 541

Max. Leistung bei $\varepsilon = 9:1$

6mm Kolben

7mm Kolben

8mm Kolben

— — Gasöl D 424
—— Fischeröl D 425

RCH-D'öl
I 16720 Kcal/h
II 16200 "
III 15300 "

Gasöl
I 18000 Kcal/h
II 17400 "
III 16700 "

RCH-D'öl
I 16720 Kcal/h
II 16200 "
III 15300 "

RCH-D'öl
I 24600 Kcal/h
II 23800 "
III 23000 "

Gasöl geht nicht

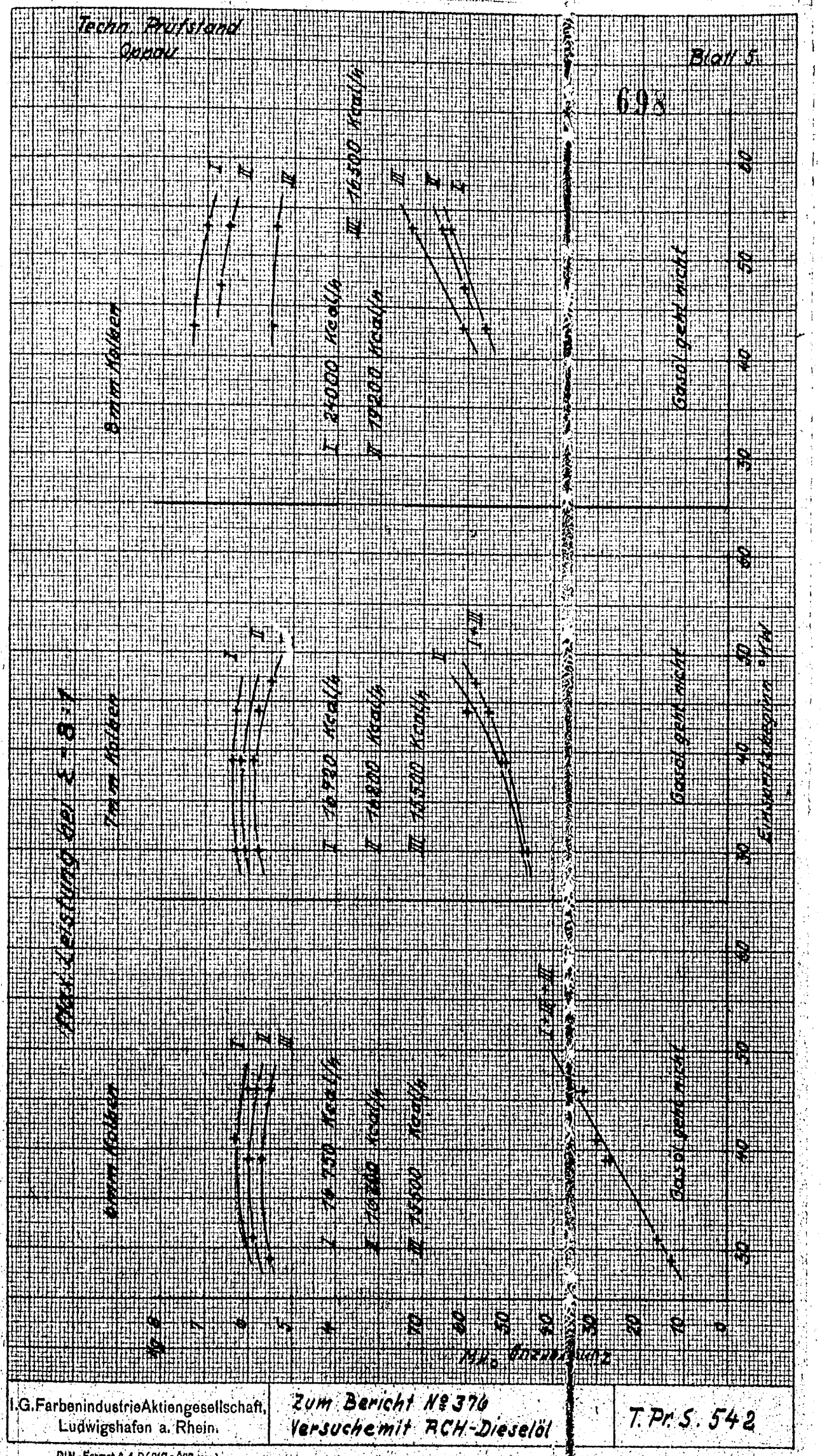
Gasöl geht nicht

Kg/h

Einspritzbeginn °KW

Techn. Prüfstand
Opraw

Blatt 5



I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Zum Bericht № 376 Versuche mit RCH-Dieselöl	T. Pr. S. 542

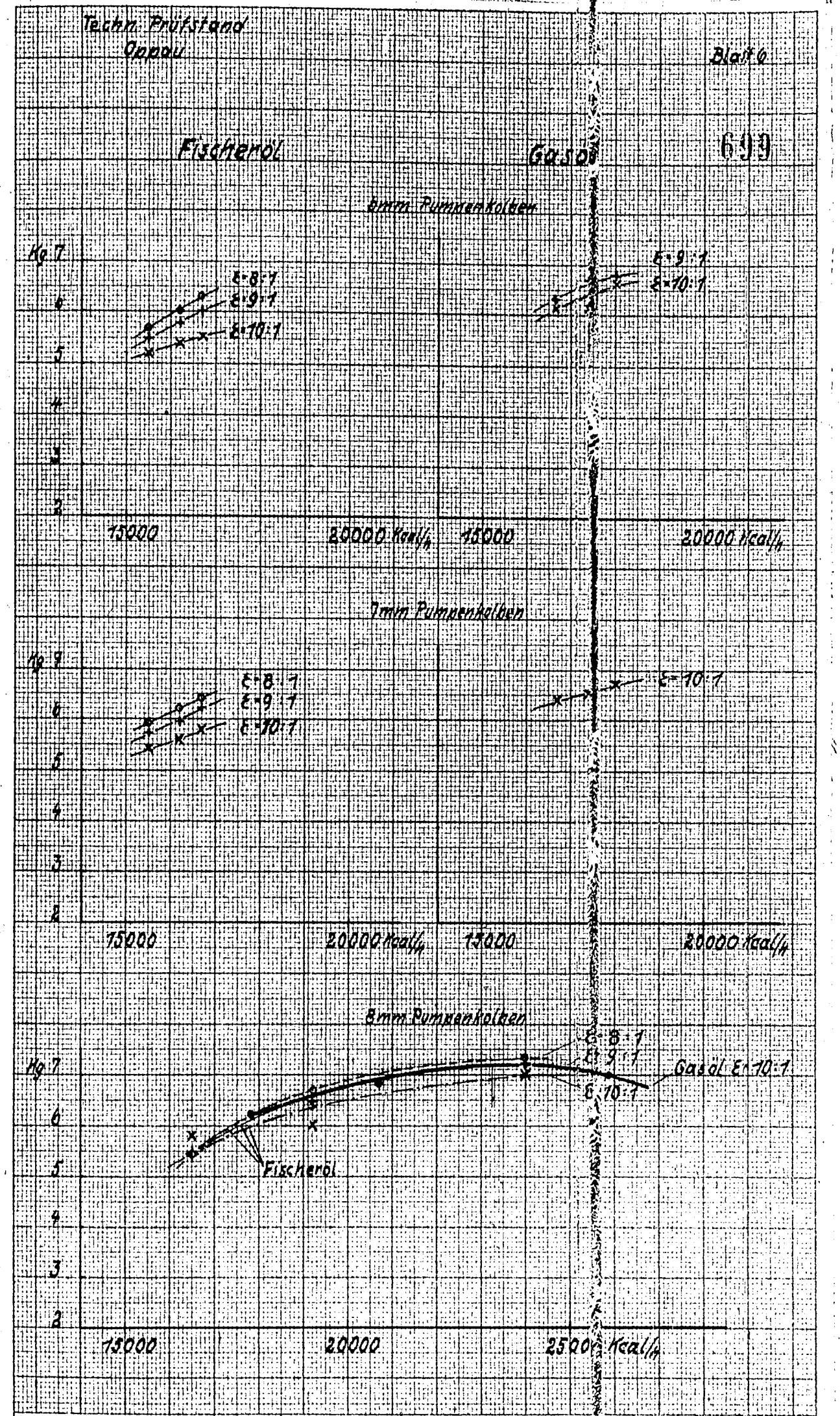
DIN-Format A 4 R (210 x 297 mm)

Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 6

Fischeröl — Gasöl

619



I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Zum Bericht № 376 Versuche mit RCH-Dieselöl	T. Pr. S. 543

DIN-Format A 4 P (210 x 297 mm)

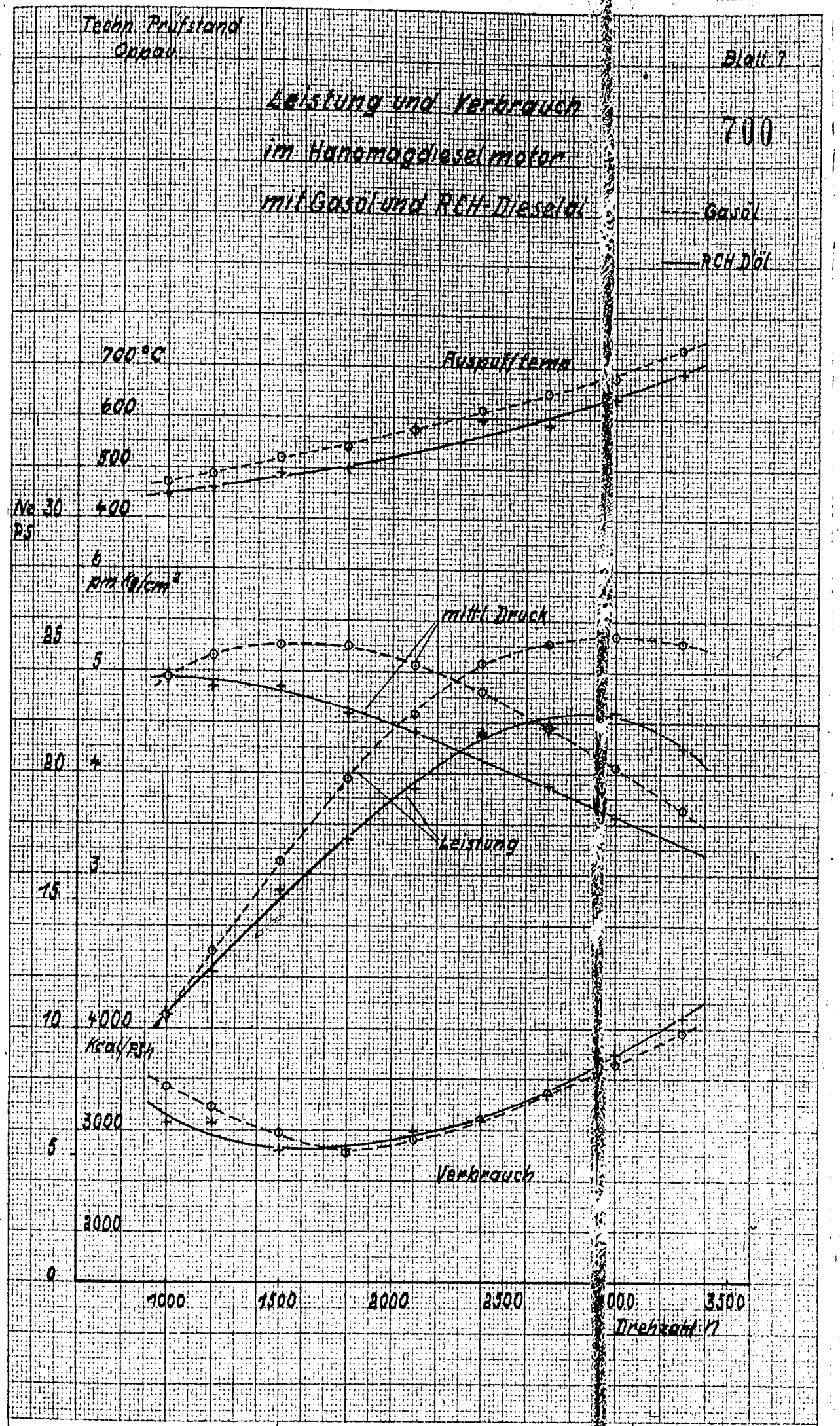
Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 7

700

Leistung und Verbrauch im Hanomagdieselmotor mit Gasöl und RCH-Dieselöl

——Gasöl
——RCH Öl



I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Zum Bericht № 376 Versuche mit RCH-Dieselöl	T. Pr. S. 544

DIN-Format A 4: R (210 x 297 mm)

I.G.Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a,Rhein
Techn.Prüfstand Op 200
Bericht Nr.384
-0-

B e r i c h t

über

"Messung der Polymerisationswärme von Gasol".

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Zusammenfassung.	1
Einleitung.	1
Versuchsanlage.	2
Versuche.	3
Auswertung.	4
a) Mengenberechnung	4
b) Wärmeverluste durch die Isolierung	5
c) Wärmeaufnahme des Gases	6
d) Wärmebilanz des Ofens und Polymerisationswärme	7
Schlußbetrachtung.	7

Techn. Prüfstand Op 200
Bericht Nr. 384
-O-

Oppau, den 2[illegible].Mai 1939.Kf.

703

B e r i c h t

über

"Messung der Polymerisationswärme von Gasol".

Zusammenfassung:

Es wurde eine Anlage im Bau Op 334 beschrieben, in der Fischer-Gasol auf katalytischem Wege zu Benzin polymerisiert wird. Die hierbei freiwerdende Reaktionswärme wurde auf Grund von Messungen aus der Mengen- und Wärmebilanz der Anlage errechnet. Es ergab sich eine Polymerisationswärme für Gasol von

P = 186 kcal/kg Polymerisat.

Dieses Ergebnis stimmt sehr gut überein mit dem früher in Leuna bei der Isobutylen-Polymerisation gemessenen Wert P = 173 kcal/kg.

Einleitung:

Bei der Benzin-Synthese nach dem Verfahren von Fischer-Tropsch wird als Nebenprodukt in großen Mengen Gasol gewonnen. Dieses ist ein Gemisch von C_3 und C_4-Paraffin- und Olefin-Kohlenwasserstoffen. Es ist das Bestreben, diese niederen Kohlenwasserstoffe durch Polymerisation zu höheren Kohlenwasserstoffen, nämlich Benzin, zu vereinigen.

Ein Weg zu diesem Ziel ist das katalytische Verfahren unter hohem Druck. Hierbei wird Gasol durch ein mit Katalysatormasse gefülltes Rohr geschickt, wobei sich ein Teil des Gasols zu Benzin umsetzt. Die dabei freiwerdende Wärme wird teils vom durchströmenden Stoff selbst aufgenommen, was zu einer Temperaturerhöhung führt, teils wird die Wärme durch die Rohrwand an die Umgebung abgeführt. Beide Teile müssen gemessen werden, womit aus der Wärmebilanz der Anlage die unbekannte Reaktionswärme errechnet werden kann.

Versuchsanlage:

Die Versuchsanlage ist im Bau Op 334 aufgestellt. Sie ist schematisch im Bild 1 gezeichnet. Das Gasol befindet sich unter seinem Dampfdruck flüssig im Behälter G. In die Anlage wird es entweder durch die Kolbenpumpe P oder durch Druck vom Stickstoffnetz befördert.(Während unserer Messungen wurde mit N_2 von 30 at auf das Gasol im Behälter G gepresst). Die geförderte Gasolmenge kann am geeichten Standrohr S abgelesen werden. Im Vorwärmer V wird das Gasol erwärmt, verdampft und überhitzt bis zu etwa 150°C, der Anspringtemperatur der Reaktion. Mittels des Drosselventils D_D wird der Dampfdruck p_D und damit die Gasol-Erwärmung reguliert. Das Gasol tritt dampfförmig unter dem Druck p_E und der Temperatur t_E in das Reaktionsrohr R ein. In der Rohrisolierung J sind an vier Stellen je 6 Thermoelemente zur Messung der Wärmeverluste eingebaut (siehe auch Bild 2). Das Gasol-Polymerisat-Gemisch verläßt das Reaktionsrohr mit der Temperatur t_A und unter dem Druck p_A.(p_A ist praktisch gleich p_E). Die Temperaturmessung von t_E, t_A sowie der 24 Isoliermeßstellen erfolgte mittels geeichter Thermoelemente. Nach einer Drosselung im Ventil D_A von 30 at auf fast atmosphärischen Druck wurde das Benzin in den Kühlern K_1 und K_2 flüssig ausgeschieden und in den Gefäßen A_1 und A_2 gemessen. Die Abgasmenge konnte in der Gasuhr U,(die nachgeeicht wurde), beim Druck p_u abgelesen werden, wobei die Gastemperatur gleich der Lufttemperatur t_L ist. Im Brenner B wird das nicht umgesetzte Abgas verbrannt.

Das Reaktionsrohr R ist im Bild 2 nochmals gezeichnet. Es besteht aus einem Hochdruckrohr von 45/70 mm ∅ und 5500 mm Länge. Vom unteren Rohrende 225 mm entfernt ist das Tragsieb, über dem noch 60 mm hoch Holzkohle aufgeschüttet ist. Bis zu dieser Stelle (also 285 mm vom unteren Rohrende) reicht das von unten durch ein T-Stück hereingeführte Thermoelement t_A. Die Kontaktlänge beträgt 4595 mm, was einem Kontaktvolumen von 7,3 Liter entspricht. Der Kon-

takt ist als V_{11}-Kontakt bezeichnet und besteht aus mit Phosphorsäure aktivierter Buchenholzkohle. Direkt über dem Kontakt (620 mm vom oberen Rohrende) ist das Thermoelement t_E von oben durch ein T-Stück hereingeführt, mit wiederum 60 mm hoher Holzkohleumhüllung als Strahlungsschutz. Das Rohr trägt an den Stellen I bis IV je drei Thermoelemente gleichmäßig auf den Umfang verteilt. Dann folgt eine Diatomitstein-Schicht, auf der, ganz entsprechend den Rohrthermoelementen, wiederum je 3 Thermoelemente aufgebracht sind. Eine äußere Diatomitschicht dient zur gleichmäßigen Verteilung des Wärmeflusses in der inneren Schicht. Mit dieser Anordnung war es möglich, die Wärmeverluste sehr genau zu ermitteln. Von den Steinen der inneren Schicht wurde noch ein weiteres Rohr von 70 mm ∅ und 1,6 m Länge isoliert. Von dieser Probe wurde die Wärmeleitzahl bei verschiedenen Temperaturen genau gemessen mittels der hierfür im Techn.Prüfstand befindlichen Versuchseinrichtung.

Versuche:

Die Messungen wurden am 10.3.39 von 8 bis 11 Uhr vorgenommen, nachdem der Ofen die Nacht hindurch mit gleichbleibender Belastung gefahren worden war. Die Temperatur- und Mengenablesungen erfolgten halbstündlich. In der Tabelle 1 sind die Mengenmessungen zusammengestellt. Die Gasolmenge wurde durch direkte Ablesung vom Standglas S ermittelt, was allerdings nicht allzu genaue Werte ermöglichte. Der Durchsatz ergibt sich als Mittelwert zu 21,8 ltr/h. Eine genaue Mengenmessung lieferten dagegen die Gasuhr-Ablesungen (U) mit im Mittel 4,014 m^3/h bei 1,034 at abs und 6,1°C und die Ablesungen an den Abscheidern A_1 und A_2 mit 7,04 ltr/h.

Die Tabelle 2 gibt die Temperaturmessungen wieder. Es sind die Galvanometer-Ausschläge in mV eingeschrieben (Instrument 472 Ω, 18 mV, Leitungen alle gleich 25,515 Ω), die aus dem Kurvenblatt 1 in °C umgerechnet werden können.

Um etwa 9 und 10½ Uhr wurden jeweils vom Gasolbehälter und vom Abgas an den Stellen r und s (siehe Bild 1) Gasproben genommen, deren Analysen in Tabelle 3 nach den Angaben vom Analyt.Laboratorium Oppau wiedergegeben sind. In Tabelle 4 sind die Analysenangaben von Dr.Schütze über das während der Versuchszeit anfallende Benzin mitgeteilt. Aus letzteren ergibt sich die in gleicher Tabelle angegebene volumenmäßige Aufteilung des Benzins, die unter verschiedenen Annahmen errechnet wurde, sowie das spezifische Gewicht des Benzins.

Auswertung (siehe Mittelwerte der Tabelle 1 und 2).

a) Mengenberechnung.

Die am Gasolbehälter ermittelte Gasolmenge, die der Anlage zugeführt wird, ist 21,8 ltr/h. Mit dem spezifischen Gewicht γ_G von 0,59 kg/ltr bei 6,1°C (nach Skizze 3 vom Bericht Dr.Hagen vom 10.12.38) beträgt das stündlich zugeführte Gasolgewicht G_I:

$$G_I = 12{,}87 \text{ kg/h.}$$

An Benzin wurde in der Anlage 7,04 ltr/h erzeugt. Aus dem errechneten spezifischen Gewicht γ_B = 0,686 g/ccm bei 20°C erhält man nach einer durch diesen Punkt gelegten Parallelen zu der von Dr.Hagen experimentell ermittelten Kurve (siehe dessen Bericht vom 10.12.38, Skizze 11) das spezifische Gewicht unseres Gasols bei 6,1°C zu $\gamma_{Bflüssig}$ = 0,696 g/ccm. Damit wird das stündlich abgeführte Benzingewicht G_B:

$$G_B = 4{,}90 \text{ kg/h.}$$

Die Abgasmenge betrug 4,014 m^3/h. Das spezifische Gewicht des Abgases im Zustand vor der Gasuhr ist mit dem Molekulargewicht M_A = 50,24, der Temperatur T_A = 279,3°K und dem Druck P_A = 1,034 at aba zu γ_A = 2,198 kg/m^3 zu berechnen. Damit wird das stündlich abgeführte Abgasgewicht G_A:

$$G_A = 8{,}815 \text{ kg/h.}$$

Die Mengenbilanz der Anlage muß lauten:

$$G_I = G_A + G_B.$$

Obige Werte eingesetzt, ergibt sich:

$$12{,}88 = 13{,}715$$

Der Unterschied von 6 % rührt wohl von der Ungenauigkeit der Gasolstandsablesung her. Auch das spezifische Gewicht des hier untersuchten Gasols dürfte von dem durch Dr.Hagen untersuchten Gasol abweichen. Den weiteren Auswertungen ist der Durchsatz

$$G = G_A + G_B = 13{,}715 \text{ kg/h}$$

zu Grunde gelegt.

b) Wärmeverluste durch die Isolierung.

Die wärmeabgebende Isolierfläche wurde in vier Abschnitte l_I bis l_{IV} unterteilt (siehe Bild 2). Die Wärmeverluste sind dann auf Grund der bekannten Zylinderformel zu berechnen als

$$Q_v = \sum_{I}^{IV} K \cdot \lambda \cdot (t_1 - t_2) ,$$

wobei ist

$K = \frac{2 \cdot \pi \cdot l}{\ln(\frac{d_2}{d_1})}$ - Konstante, für die sich mit $d_2 = 0{,}176$ m und $d_1 = 0{,}07$ m ergibt für den

Abschnitt I $K = 8{,}405$
II $= 8{,}370$
III $= 8{,}370$
IV $= 5{,}633$

t_1 = mittlere Temperatur der inneren Elemente (^oC)

t_2 = " " " äußeren " (^oC)

λ = Wärmeleitzahl der Isolierung (kcal/mh^oC) bei der mittleren Temperatur $t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$ (^oC) (Siehe Kurvenblatt 1).

Die Ergebnisse der Rechnungen sind in Tabelle 2 angegeben. Als Summe der vier Abschnitte ergibt sich ein Gesamt-Isolierverlust von

$$Q_v = 301 \text{ kcal/h.}$$

c) Wärmeaufnahme des Gases.

Die Temperaturverteilung im Kontaktrohr ist in Kurvenblatt 2 aufgezeichnet. Die Temperaturen der äußeren Rohrwand sind praktisch gleich den Temperaturen der äußeren Kontaktschicht. Die mittleren Temperaturen von 2, 3 und 4, von 6 und 7, von 8, 9 und 10, von 11, 12 und 14 liegen genau auf einer Kurve. Analog hierzu ist der Temperaturverlauf in der Rohrachse, der durch t_E und t_A festgelegt ist. Durch Extrapolation bis zum Kontaktanfang und- ende erhält man die

Eintrittstemperatur	in der	Rohrachse	159°C,
"	an "	Rohrwand	139°C,
Austrittstemperatur	in "	Rohrachse	229°C,
"	an "	Rohrwand	224°C.

Die mittlere Temperatur über den Querschnitt sei angenommen als

$$t_m = t_{Wand} + \frac{3}{4}(t_{Achse} - t_{Wand}).$$

Damit ist die mittlere Eintrittstemperatur des Gases $t_{E\,m} = 154$°C,

" " Austrittstemperatur " " $t_{A\,m} = 228$°C.

Die Gaserwärmung ist dann

$$t_{A\,m} - t_{E\,m} = 74°C.$$

Die vom Gas aufgenommene Wärme errechnet sich zu

$$Q_G = G \cdot cp \cdot (t_{A\,m} - t_{E\,m}).$$

Die spezifische Wärme kann zu cp = 0,6 kcal/kg°C geschätzt werden. Es kann jedoch eine Schwankung in den Grenzen von cp = 0,5 bis 0,7 als möglich angesehen werden (siehe Bericht Dr.Kling: "Der Einfluß des Druckes auf die spezifische Wärme von Kohlenwasserstoffen",Nr.358, v.18.8.38, Techn.Prüfstand Op, Bild 15 und 16). Es wäre auf Grund der vorliegenden Analysen wohl möglich, die spezifische Wärme von Eintritts- und Austrittsgas nach der Mischungsregel zu berechnen und dementsprechend die Wärmebilanz durchzuführen. Die Einzelwerte cp_i der i-Komponenten sind jedoch auch nur ungenau, teilweise nur schätzungsweise bekannt, so daß der errechnete resultierende cp-Wert in seiner

Genauigkeit täuschen würde. Mit G = 13,715 kg/h, c_p = 0,6 kcal/kg°C und $t_{A\,m} - t_{E\,m}$ = 74°C erhält man die vom Gas aufgenommene Wärme Q_G zu

$$Q_G = 610 \text{ kcal/h.}$$

d) Wärmebilanz des Ofens und Polymerisationswärme.

Aus der Wärmeaufnahme des Gases Q_G und den Wärmeverlusten durch die Isolierung Q_V ist die stündlich durch die Reaktion entwickelte Wärmemenge Q_R zu berechnen als:

$$Q_R = Q_G + Q_V$$
$$Q_R = 610 + 30\%$$
$$Q_R = 911 \text{ kcal/h.}$$

Die stündlich in der Anlage anfallende Polymerisatmenge (reines Polymerisat + gelöste C_3- und C_4-Kohlenwasserstoffe !) war G_B = 4,9kg/h. Hierauf bezogen ergibt sich die Polymerisationswärme P zu:

$$P = 186 \text{ kcal/kg.}$$

Schlußbetrachtung.

Der errechnete Wert P = 186 kcal/kg könnte infolge der Unsicherheit der spezifischen Wärme c_p (0,5 bis 0,7) von etwa 165 bis 206 schwanken. Die Ungenauigkeiten aller Temperatur- und Mengenmessungen dürften im ungünstigsten Fall einen Fehler unter 10 % ausmachen. Bezieht man die Reaktionswärme auf das reine Polymerisat ohne gelöstes Gasol, so würde dies nur eine etwa 15 %-ige Vergrößerung der Polymerisatwärme ergeben. Alle diese Fehlermöglichkeiten führen zu keinem Angleich des vorliegenden gemessenen niederen Wertes zu den bisher allgemein angenommenen hohen Werten von 300 bis 360 kcal/kg.

In der Aktennotiz vom 9.12.38 der Abt.Hochdruck-Versuche Lr. 558 wurden die verschiedenen Angaben der Kellogg Co., der Universal Oil Products Co. so-

wie der Abt.Hochdruck-Vers.Lu kritisch bearbeitet, wobei eine Polymerisationswärme von 300 ± 25 kcal/kg für Fischergasol als wahrscheinlich angegeben wurde. Diese Werte wurden als die Differenz der Heizwerte der Reaktionsteilnehmer vor und nach der Reaktion bestimmt. Eine kalorimetrische Heizwertbestimmung dürfte auch bei sorgfältiger Ausführung immer noch mit 1 % Fehler behaftet sein. Bei einem absoluten Heizwert von ca. 11 000 kcal/kg bei allen hier in Frage kommenden Kohlenwasserstoffen und bei jeweils zwei Messungen ist der Fehler der Differenz der Heizwerte von gleicher Größenordnung wie die Reaktionswärme selbst.

Eine frühere Messung der Reaktionswärme bei der Polymerisation von Butylen an zwei Versuchsanlagen in Leuna (siehe Bericht Dr.Kling: "Die Reaktionswärme bei der Polymerisation von Olefinen", Nr.364, v.5.12.38, Techn.Prüfstand Op) ergab eine Polymerisationswärme von 173 kcal/kg. Im Gasol ist neben Butylen das ganz nahe verwandte Propylen in gleicher Menge vertreten, womit unser nur etwas höherer Wert 186 kcal/kg als richtig angesehen werden kann.

Die gemessene Polymerisationswärme könnte noch eine Korrektur erfahren, wenn irgend ein Anteil der Gase im Reaktionsrohr kondensiert oder sich durch Verdampfung bildet. Die Reaktionswärme wäre dann um die Kondensationswärme zu verkleinern oder um die Verdampfungswärme zu vergrößern.

Am Ofeneintritt sind die Teildrücke der einzelnen Stoffkomponenten auf Grund der Gasolanalyse direkt zu errechnen. Sie sind entweder niedriger als die zugehörigen Sättigungsdrücke bei 140°C, der niedrigsten Temperatur an der Ofenwand, oder aber ohne Einfluß, da die kritische Temperatur des Stoffes schon überschritten ist. Alle Gaskomponenten treten also im gasförmigen Zustand in den Ofen ein.

Für den Ofenaustritt wurden die einzelnen Stoffanteile aus den Analysen vom Benzin (Tabelle 4) sowie vom Abgas (Tabelle 3) errechnet (s. Tab.5). Auch hier sind alle Teildrücke entweder unter den Sättigungsdrücken oder wirkungs-

los, da die kritische Temperatur des Stoffes überschritten ist, so daß wiederum alle Stoffe gasförmig aus dem Reaktionsrohr austreten.

Alle Rechnungen erfolgten nach dem Gesetz für ideale Gase, trotzdem bei mehreren der beteiligten Stoffe infolge der Nähe des kritischen Zustandes beträchtliche Abweichungen zu erwarten sind. Eine Teilkondensation wird jedoch kaum eintreten, da die Teildrücke am Ofeneintritt ungünstigenfalls nur 1/5, am Ofenaustritt nur 1/10 der Sättigungsdrücke sind.

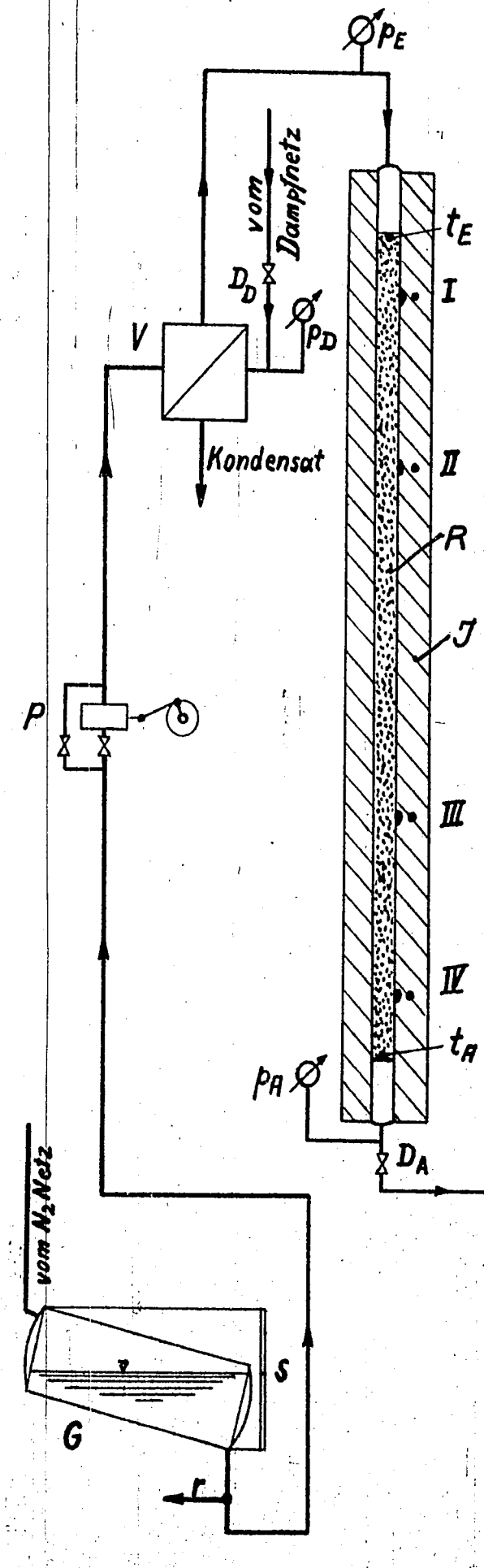
Zum Schluß sei noch der Umsatz bei der Polymerisation von Gasol angegeben. Um eine Vorstellung zu haben, welche Stoffanteile an der Reaktion teilnehmen, wurden dieselben für den Ofeneintritt, das Abgas, das Benzin und den Ofenaustritt einzeln gewichtsmäßig in Tabelle 5 angegeben. (Die Unstimmigkeiten dieser Zusammenstellung sind bei der großen Zahl von Rechenoperationen und bei der Unsicherheit der Analysen nicht zu vermeiden, sie gehen jedoch nicht in den eigentlichen Rechnungsgang der Polymerisationswärme ein). Danach ist neben C_3H_6 und C_4H_8 auch C_5H_{10} stark an der Reaktion beteiligt. Es sei daher der Umsatz definiert als Verhältnis aus der Differenz der C_3- bis C_5-Olefine zwischen Ofenaustritt und- eintritt zu den C_3-bis C_5-Olefinen am Ofeneintritt. Es sind nach Tabelle 5 im Abgas 2,967 kg/h, im Benzin 0,334 kg/h und damit am Ofenaustritt 3,301 kg/h C_3- bis C_5-Olefine. Das Gasol führte 7,006 kg/h C_3- bis C_6-Olefine zum Ofen, womit sich der Umsatz zu 53 % ergibt.

Anlagen: 5 Tabellen.
2 Kurvenblätter
2 Skizzen.

Dr. Ch. Krug

Bild 1.

712



I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a. Rhein.

z. Bericht № 384 v. 22. V. 39.

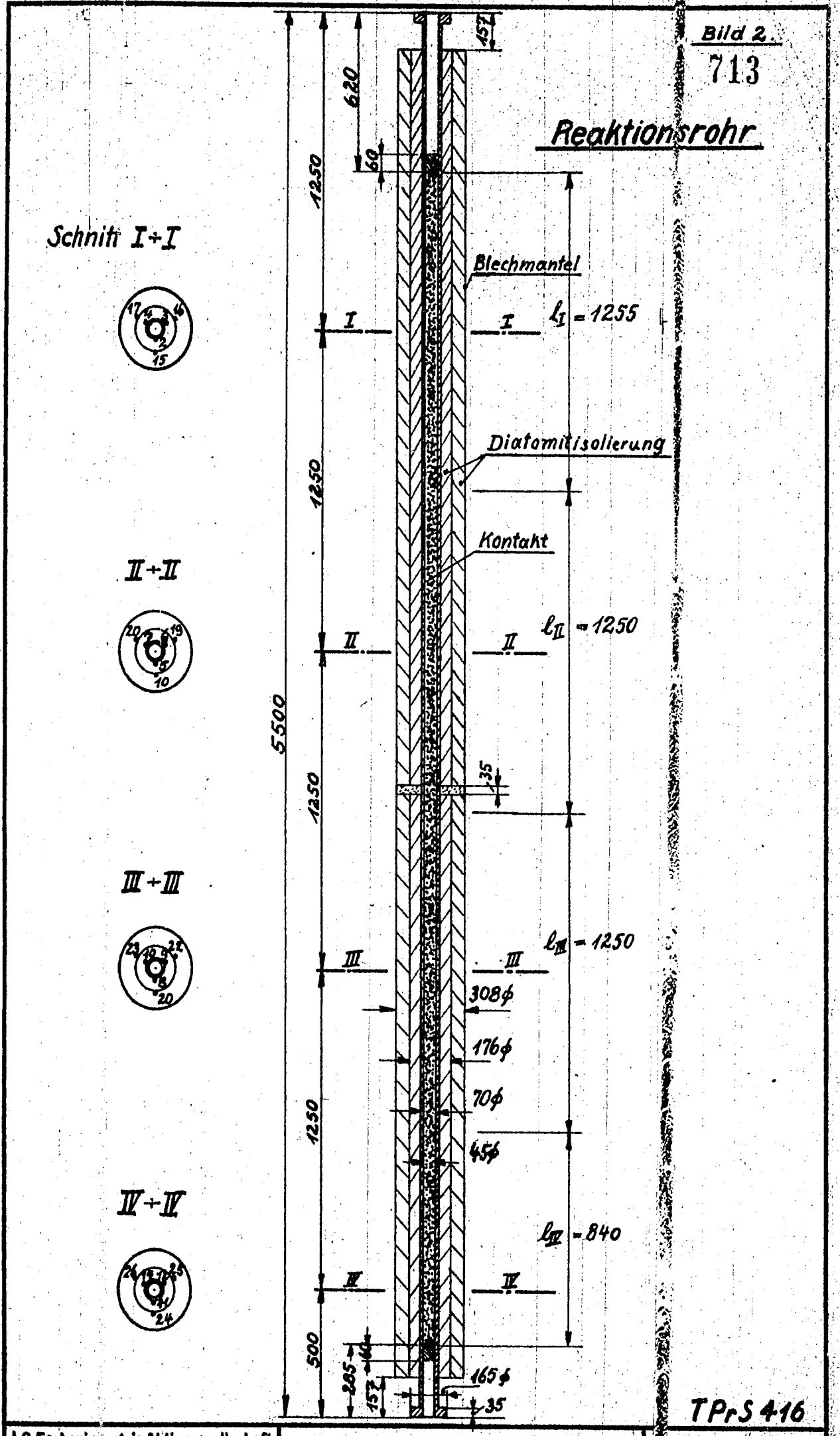
PrS 415

DIN-Format A 4 (210 x 297)

Bild 2.

713

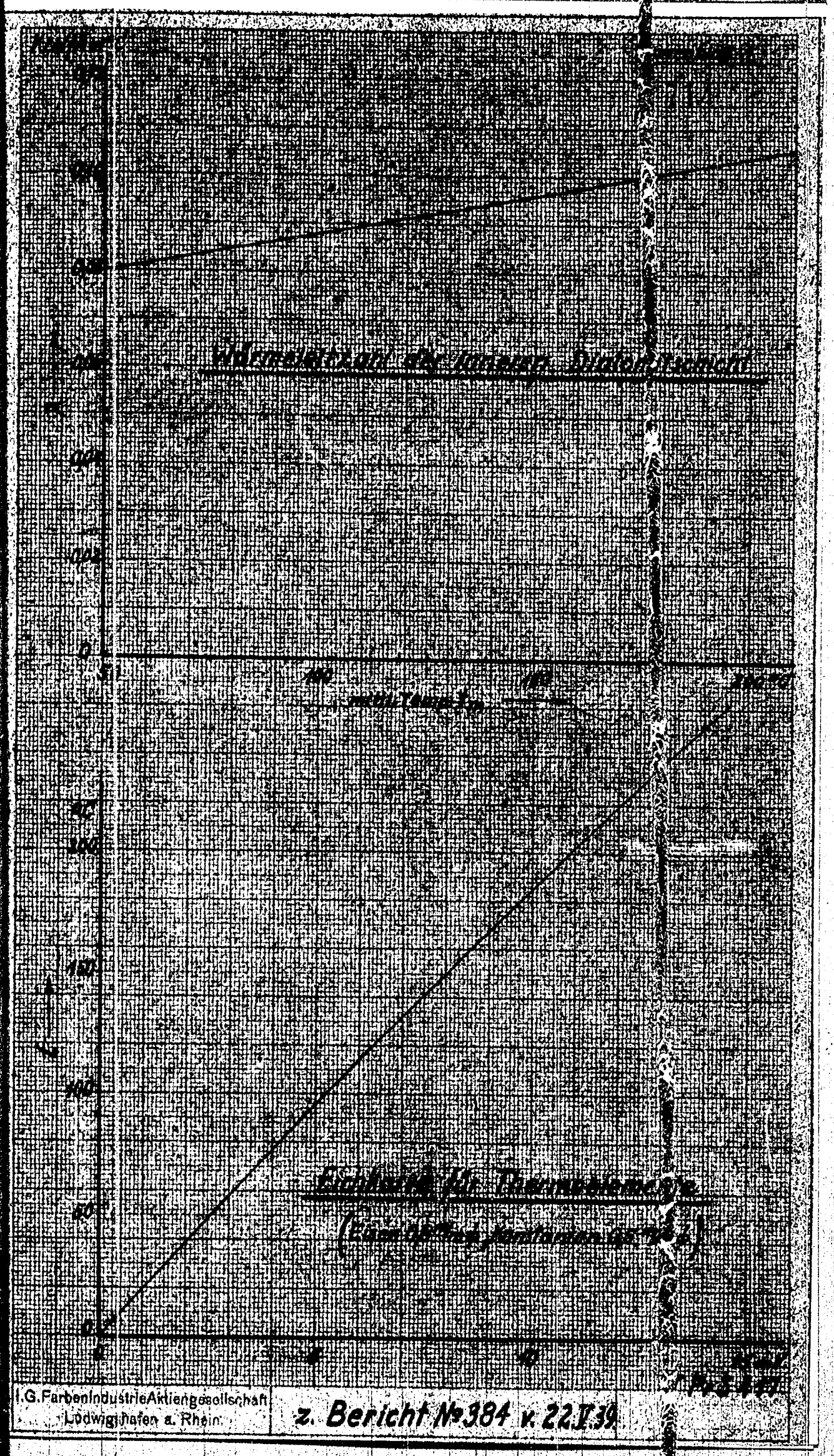
Reaktionsrohr

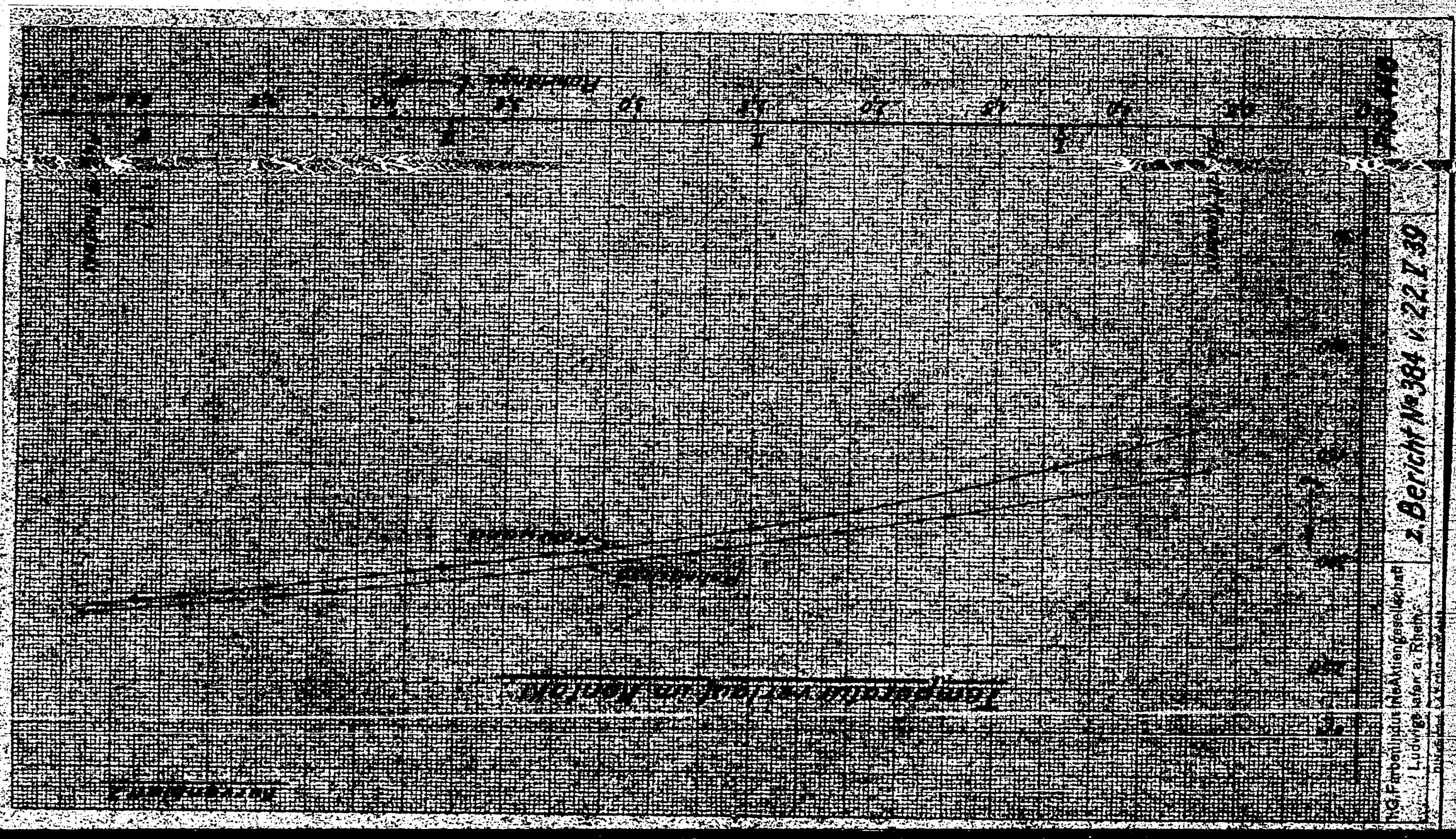


TPrS 416

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft Ludwigshafen a. Rhein.	z. Bericht № 384 v. 22. II. 39.

DIN-Format A 4 (210 x 297)


Widerstand des flüssigen Dielektrikums
Eichkurve für Thermoelement
(Eisenkonstantan)
mV
mA
Ω
0
40
60
100
150
200
I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a. Rhein
z. Bericht No 384 v. 22.I.39.


2. Bericht No 384 v. 22. 7. 39
I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a. Rhein

Versuch am 10.3.39 : Mengenmessungen.

Tabelle 1:

Zeit: von bis	Gasolmenge ltr/h	Abgasmenge m^3/h	Druck vor der Gasuhr at abs	Lufttemperatur °C	Polymerisatmenge ltr/h
8^{00}- 8^{30}	21	4,431	-	3,0	7,38
8^{30}- 9^{00}		4,431	1,032	5,5	7,82
9^{00}- 9^{30}	24	3,816	1,036	6,0	6,82
9^{30}- 10^{00}	24	3,731	1,036	7,5	7,06
10^{00}-10^{30}	26	3,731	1,032	7,0	6,70
10^{30}-11^{00}	14	3,943	-	7,5	6,46
Mittelwert von 8^{00}-11^{00}	21,8	4,014	1,034	6,1	7,04

Versuch vom 10.3.39.

Tabelle 2:

Temperaturmessungen.

Zum Bericht Nr.384 v.22.5.39.

Thermoelement Nr. Zeit:	2 mV	3 mV	4 mV	15 mV	16 mV	17 mV	6 mV	7 mV	19 mV	20 mV	8 mV	9 mV	10 mV	21 mV	22 mV	23 mV	11 mV	12 mV	14 mV	24 mV	25 mV	26 mV	t_E mV	t_A mV	p_E at abs	p_A at abs
8^{25} - 8^{35}	8,50	8,45	8,45	3,62	3,90	3,81	10,20	10,19	4,58	4,60	11,30	11,35	11,30	5,00	4,60	4,80	12,25	12,20	12,25	6,00	5,80	6,00	8,60	12,60	31,0	31,0
8^{55} - 9^{08}	8,47	8,44	8,42	3,61	3,83	3,81	10,18	10,14	4,50	4,51	11,28	11,30	11,30	5,01	4,60	4,77	12,21	12,20	12,21	5,93	5,78	6,00	8,54	12,59	31,2	31,1
9^{25} - 9^{40}	8,42	8,41	8,40	3,60	3,82	3,80	10,10	10,12	4,50	4,53	11,27	11,32	11,26	5,00	4,59	4,76	12,20	12,20	12,20	5,96	5,79	6,00	8,50	12,57	31,2	31,0
9^{55} - 10^{10}	8,44	8,41	8,39	3,60	3,85	3,80	10,12	10,13	4,48	4,50	11,28	11,30	11,26	5,01	4,60	4,72	12,20	12,20	12,21	5,92	5,79	5,99	8,50	12,57	31,3	31,0
10^{25} - 10^{42}	8,41	8,41	8,40	3,62	3,84	3,81	10,13	10,11	4,56	4,55	11,26	11,30	11,25	5,04	4,60	4,76	12,20	12,20	12,2	5,93	5,78	6,00	8,47	12,58	31,1	31,0
10^{55} - 11^{09}	8,41	8,41	8,40	3,64	3,94	3,82	10,16	10,10	4,58	4,58	11,24	11,30	11,25	5,04	4,62	4,78	12,20	12,20	12,2	5,95	5,80	6,00	8,46	12,59	-	-

Mittelwert von 8^{25}-11^{09}

8,424 mV 3,758 mV | 10,14 mV 4,539 mV | 11,285 mV t_I4,793 mV | 12,208 mV | 5,912 mV 8,51 12,583 31,16 31,05 at abs

t_{I_1}= 157,5°C t_{I_2}= 72,5°C | t_{II_1}=187,8°C t_{II_2}=85,0°C | t_{III_1}=207,1°C t_{III_2}=91,2°C | t_{IV_1}= 223,3°C | t_{IV_2}= 112,2°C t_E=159,[illegible]mV t_A=229,8°C

$t_{I\,m}$ = 115,0°C | $t_{II\,m}$ = 136,4°C | $t_{III\,m}$ = 149,2°C | $t_{IV\,m}$ = 167,8°C

λ_I = 0,0905 kcal/mh°C | λ_{II} = 0,0939 kcal/mh°C | λ_{III} = 0,0959 kcal/mh°C | λ_{IV} = 0,0985

$t_{I_1} - t_{I_2}$ = 85,0°C | $t_{II_1} - t_{II_2}$ = 102,8°C | $t_{III_1} - t_{III_2}$ = 115,9°C | $t_{IV_1} - t_{IV_2}$ = 111,1

Q_{VI} = 64,7 kcal/h. | Q_{VII} = 80,8 kcal/h | Q_{VIII} = 93,0 kcal/h | Q_{IX} = 62,0 kcal/h.

$Q_v = Q_{V_I} + Q_{V_{II}} + Q_{V_{III}} + Q_{V_{IV}}$ = 300,5 kcal/h.

(Elemente Nr.5 und 18 waren defekt). Eichkurve der Thermoelemente siehe Kurvenblatt 1.

Versuch am 10.3.39:

Tabelle 3:

Gasanalysen (Mischung der Proben von 9^{00} und 10^{30})

Stoff:		Gasol Vol%	Abgas Vol%
CO_2		1,05	1,80
O_2		0,10	0,05
N_2		0,75	2,10
C_2H_4	Ungesättigte KW	0,40	2,00
C_3H_6		22,15	16,30
C_4H_8		21,30	14,50
C_5H_{10}		8,20	2,30
höhere KW		0,00	0,15
CH_4	Gesättigte KW	0,10	0,30
C_2H_6		0,65	2,55
C_3H_8		26,20	38,70
C_4H_{10}		14,20	16,50
C_5H_{12}		4,90	2,60
höhere KW		0,00	0,15

Molekulargewicht des Abgases:	50,24
Ungesättigte KW im Gasol:	52 %
" " " Abgas:	35 %

Zwischen den Tabellen 3 bis 5 bestehen infolge der verschiedenen Analysenproben und- methoden Unstimmigkeiten, die jedoch keinen Einfluß auf die Berechnung der Polymerisationswärme haben.

Tabelle 4:

A) Analysenangaben von Dr.Schütze.

1.) 100 g Einlage von dem während der Versuchszeit angefallenen Benzine ergaben:

78,4 g	bis 200°C siedend
7,27 g	über 200°C "
zus.85,67 g	Benzin ohne gelöste Anteile mit D_{20} = 0,7[illegible]9 g/ccm
13,94 g	gelöste C_3- u.C_4-KW, die 5,4 ltr Gas mit einem Olefingehalt 40,4 % ergeben.
0,39 g	Rest (Fehler).

2.) 100 ccm von den 85,67 g Benzin ohne gelöste Anteile ergeben:

3 ccm	C_5-KW	(1:1 Amylen und Pentan)
17 "	C_6-KW	(1:1 Hexylen " Hexan)
40 "	C_7-KW	reine Olefine
17 "	C_8-KW	" "
9 "	C_9-KW	" "
6 "	C_{10}-KW	" "
4 "	C_{11}-KW	" "
3 "	C_{12}-KW	" "
1 "	C_{13}-KW	" "

B) Spezifisches Gewicht des Polymerisats mit gelösten Anteilen: [illegible]49 + 0,39 g Benzin seien zu 40,4 % als Olefine angesehen, die C_3-und C_4-KW mögen sich wie 1:1 verhalten. Nach Landolt-Börnstein sind folgende spezifische Gewichte bei 20°C eingesetzt für: C_3H_6 = 0,516; C_3H_8 = 0,510; C_4H_8 = 0,59[illegible] C_4H_{10} = 0,56 g/ccm. Hiermit erhält man das spezifische Gewicht des Polymerisates (Benzin mit gelösten C_3-und C_4-KW) zu

γ_B = 0,6862 g/ccm bei 20°C

C) Aus A) und B) errechnen sich folgende Volumenanteile des Polymerisates:

Gesättigte KW	C_3H_8	5,52 %
	C_4H_{10}	5,52 %
	C_5H_{12}	1,23 %
	C_6H_{14}	6,97 %
Ungesättigte KW	C_3H_6	3,54 %
	C_4H_8	3,54 %
	C_5H_{10}	1,23 %
	C_6H_{12}	6,97 %
	C_7H_{14}	32,79 %
	C_8H_{16}	13,92 %
	C_9H_{18}	7,37 %
	$C_{10}H_{20}$	4,92 %
	$C_{11}H_{22}$	3,28 %
	$C_{12}H_{24}$	2,46 %
	$C_{13}H_{26}$	0,82 %
	Fehler	-0,08 %

Tabelle 5:

Anteile der Einzelgase für

Stoff:		Ofeneintritt kg/h	Abgas kg/h	Benzin kg/h	Ofenaustritt kg/h	Ofenaustritt Vol%
CO_2		0,120	0,142	-	0,142	1,39
O_2		0,008	0,003	-	0,003	0,04
N_2		0,055	0,105	-	0,105	1,62
CH_4	Paraffine	0,004	0,009	-	0,009	0,23
C_2H_6	Paraffine	0,051	0,137	-	0,137	1,97
C_3H_8	Paraffine	2,998	3,053	0,198	3,251	31,80
C_4H_{10}	Paraffine	2,140	1,717	0,218	1,935	14,34
C_5H_{12}	Paraffine	0,916	0,336	0,054	0,390	2,33
C_6H_{14}	Paraffine	-	0,027	0,324	0,351	1,76
C_2H_4	Olefine	0,029	0,100	-	0,100	1,54
C_3H_6	Olefine	2,416	1,223	0,129	1,352	13,84
C_4H_8	Olefine	3,100	1,456	0,148	1,604	12,30
C_5H_{10}	Olefine	1,490	0,288	0,057	0,345	2,12
C_6H_{12}	Olefine	-	0,027	0,334	0,361	1,85
C_7H_{14}	Olefine	-	-	1,641	1,641	7,21
C_8H_{16}	Olefine	-	-	0,710	0,710	2,72
C_9H_{18}	Olefine	-	-	0,386	0,386	1,31
$C_{10}H_{20}$	Olefine	-	-	0,262	0,262	0,80
$C_{11}H_{22}$	Olefine	-	-	0,176	0,176	0,49
$C_{12}H_{24}$	Olefine	-	-	0,132	0,332	0,34
$C_{13}H_{26}$	Olefine	-	-	0,049	0,049	0,11
Σ		13,327	8,623	4,818	13,441	

I.G.Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a.Rhein
Techn.Prüfstand Op 200
Bericht Nr.387
-o-

Bericht

über

Vergleichsversuche an Klopfmotoren (V.V.65).

Techn.Prüfstand Op 200
Bericht Nr.387
-o-

Oppau, den 12.Mai 1939.Kf.

722

B e r i c h t

über

Vergleichsversuche an Klopfmotoren (V.V.65).

Zusammenfassung:

6 verschiedenartige Vergaserkraftstoffe wurden im April/Mai 1939 von 14 Prüfständen an 9 CFR- und 12 I.G.-Prüfmotoren nach der Research- und nach der Motor-Methode untersucht.

Die mitgeteilten Werte zeigten, daß diese Kraftstoffe bei Untersuchungen durch verschiedene Stellen im Mittel um etwa 3 OZ verschieden bewertet werden, doch sind Streuungen bis zu 5 OZ möglich. Die Streuung der Versuchswerte ist an den CFR-Motoren etwas größer als an den I.G.-Prüfmotoren, trotzdem an den letzteren eine größere Anzahl Prüfstellen mitgewirkt hat.

Die Meßwerte des CFR- und des I.G.-Prüfmotors unterscheiden sich im Mittel um etwa 1 OZ, wobei der I.G.-Prüfmotor in der Regel die niederen Werte liefert.

Die Übereinstimmung der Meßwerte von gleichartigen Motoren sowie der I.G.-Prüfmotoren gegenüber den CFR-Motoren kann durch die Verwendung der gleichen Eichstoffe und einer gemeinsamen Eichkurve noch weiter verbessert werden.

Versuchsdurchführung:

Zur Untersuchung gelangten folgende 6 Kraftstoffe:

Zahlentafel 1:

Kraftstoffproben.

Bezeichnung:	Zusammensetzung:
4a	Reinbenzin
4b	Spritbenzin
4c	Gemisch
4d	Bleibenzin
41	Fliegerbenzin, rein
43	Fliegerbenzin, verbleit

Die Güteziffern dieser Kraftstoffe sind auf Blatt 1 angegeben.

Diese Kraftstoffproben wurden an 15 Prüfstellen verteilt. Bei der Abfassung des Berichtes lagen von folgenden 14 Prüfständen mit 2 CFR- und 12 I.G.-Prüfmotoren die Ergebnisse vor:

Zahlentafel 2:

Teilnehmer an den Vergleichsversuchen.

Prüfstand Nr.	Prüfstand:	Prüfmotor CFR	Prüfmotor G
1	I.G.Farbenindustrie, Oppau	1	3
2	" " " , Ludwigshafen	1	1
3	Ammoniakwerk Merseburg G.m.b.H.	1	1
4	Brabag, Magdeburg	1	-
5	Brabag, Böhlen	1	-
6	Benzol-Verband, Bochum	1	1
7	DVL, Berlin-Adlershof	1	-
8	Rhenania-Ossag, Harburg	1	-
9	DAPG, Altona-Bahrenfeld	1	-
10	Techn.Hochschule, Stuttgart	-	2
11	Rheinreußen, Homberg	-	1
12	Wintershall A.G., Salzbergen	-	1
13	Reichsmonopolverwaltung, Berlin	-	1
14	Deutsche Erdöl AG., Berlin	-	1

Bei einigen Prüfstellen erfolgte die Klopfwertbestimmung nach der Research- und nach der Motor-Methode nicht am gleichen Motor, sondern an zwei verschiedenen.

Dies sind:

Zahlentafel 3:

Prüfstände, die mit der Untersuchungsmethode auch den Motor gewechselt haben.

Prüfstand Nr.	Prüfstand:	Prüfmotor CFR	Prüfmotor IG
2	I.G.Farbenindustrie, Ludwigshafen	2	2
3	Ammoniakwerk Merseburg G.m.b.H.	2	-

Die Vergleichskraftstoffe waren nicht einheitlich. So verwendeten die 11 Prüfstände, welche die Vergleichskraftstoffe benannt hatten, außer der gemeinsamen Urbezugsmischung iso-Oktan und n-Heptan noch 5 verschiedenartige Unterbezugsmischungen.

Zahlentafel 4:

Bezugskraftstoffe und Oktanzahlangabe.

Prüfstand Nr.	Vergleichsmischung:	Abrundung OZ
1	Oktan / Heptan	0,1
	IG 2 / Reinbenzol	
2	Oktan / Heptan	0,1
3	Oktan / Heptan	
	IG 2 / techn.Oktan	0,1
4	IG 2 / Reinbenzol	0,1
5	Oktan / Heptan	0,1
	DA 4 / Reinbenzol	
6	-	0,1
7	IG 1 / Reinbenzol	0,1
8	-	0,5
9	IG 2 / Reinbenzol	0,1
10	IG 2 / Reinbenzol	0,1
11	Oktan / Heptan	
	eigener Unterbezugskraftstoff	0,1
12	amerik.Substandard / Reinbenzol	0,1
13	-	1,0
14	IG 2 / Reinbenzol	0,1

Versuchsergebnisse:

Die Ergebnisse sind nach der Untersuchungsmethode getrennt angegeben, und zwar enthält die Zahlentafel 5 die Research-Oktanzahlen (ROZ) und die

Zahlentafel 6 die Motor-Oktanzahlen (MOZ). Diese Werte sind für die Research-Methode auf Blatt2, für die Motor-Methode auf Blatt 3 als Abweichung vom Mittelwert aufgetragen. Wie schon bei früheren Vergleichsversuchen, so zeigte sich auch hier, daß die an verschiedenen Prüfständen gefundenen Werte im allgemeinen um mehr als ± 1 OZ (im Schrifttum angegebene Meßgenauigkeit) streuen. Dies geht besonders aus den Zahlentafeln 7, 8 und 9 hervor. Für die derzeitigen Verhältnisse ist hiernach mit einer mittleren Gesamtstreuung von etwa 3 OZ zu rechnen.

Zahlentafel 7:

Anzahl der Motoren, die eine größere Abweichung vom Mittelwert als ± 1 OZ hatten.

Gesamtzahl der Motoren:	Methode	Motor	Kraftstoff: 4a	4b	4c	4d	41	43
9	Res.	CFR	6	5	2	4	3	3
11	Res.	IG	3	1	1	2	4	6
8	Mot.	CFR	6	3	1	3	1	1
11	Mot.	IG	0	1	1	6	2	10

Zahlentafel 8:

Größte Streuung bei der Untersuchung von 6 Kraftstoffen nach der Research-Methode.

Streubereich von bis ROZ	Anzahl der Meßwerte: 9 CFR - Motoren	11 IG-Motoren
0 bis 0,9	0	0
1,0 1,9	0	1
2,0 2,9	1	2
3,0 3,9	2	2
4,0 4,9	1	0
5,0 5,9,	2	1
Größte Streuung im Mittel	4,0 ROZ	3,4 ROZ

Zahlentafel 9:

Größte Streuung bei der Untersuchung von 6 Kraftstoffen nach der Motor-Methode.

Streubereich von MOZ bis	Anzahl der Meßwerte: 8 CFR-Motoren	11 I.G.-Motoren
0, bis 0,9	0	0
1,0 1,9	0	1
2,0 2,9	3	1
3,0 3,9	3	3
4,0 4,9	0	0
5,0 5,9	0	1

In die Zahlentafeln 5 und 6 wurden zur Bildung der Mittelwerte zunächst die Ergebnisse aller Prüfstände mit herangezogen. Unter Vernachlässigung der vom Prüfstand Nr.4 mitgeteilten MOZ am CFR-Motor sowie der vom Prüfstand Nr.12 mitgeteilten ROZ am I.G.-Prüfmotor wurden die Mittelwerte und die Streuungen neu gebildet und ergaben ein wesentlich günstigeres Bild, wie die Zahlentafeln 5 und 6 weiter zeigen. Auch zu den Auswertungen nach den Zahlentafeln 7, 8 und 9 wurden die Werte der Prüfstände 4 und 12 nicht herangezogen.

Der Prüfstand Nr.4 (Brabag, Magdeburg) teilte mit, daß er üblicherweise nur nach der Research-Methode arbeitet und den Motor eigens für die Zwecke der Vergleichsversuche umgebaut habe. Beim Prüfstand Nr.12 (Wintershall, Salzbergen), der nur die Ergebnisse nach der Research-Methode angab, war die Klopfmeßanlage nicht in Ordnung; sie wurde anschließend an die Vergleichsversuche ausgewechselt. Aus diesen Gründen war es berechtigt, die Ergebnisse des Prüfstandes Nr.4 nach der Motor-Methode und Nr.12 nach der Research-Methode zur weiteren Auswertung nicht zu verwenden.

Wie aus den Zahlentafeln 5 und 6 weiter hervorgeht, finden die I.G.-Prüfmotoren im Mittel etwas kleinere Werte als die CFR-Motoren. Dieser Unterschied ist bei der Research-Methode am größten, er beträgt hier zwischen 1 und 2 Oktanzahlen, während die Motorwerte nur um 0,5 bis 1 OZ tiefer liegen als die ent-

sprechenden Werte der CFR-Motoren.

Um einen Versuch zur Aufklärung der bei diesen Untersuchungen zu erwartenden Streuungen machen zu können, wurde außer der Angabe des Klopfwertes noch die Angabe des eingestellten Verdichtungsverhältnisses und des gefundenen Mischungsverhältnisses der Unterbezugskraftstoffe erbeten. Die meisten Prüfstände sind diesem Wunsch nachgekommen. Auf Blatt 4 und 5 sind die mitgeteilten Verdichtungsverhältnisse aufgetragen, die einen Einblick in die verwendete Klopfstärke und in den Motorenzustand geben können, unter der Voraussetzung, daß das am Motor abgelesene Verdichtungsverhältnis auch dem tatsächlich eingestellten entspricht. Angesichts der erheblichen Streuungen in der Verdichtungsangabe, die in den beiden Blättern 4 und 5 zum Ausdruck kommen, möchte man jedoch diese Annahme bezweifeln, weshalb hier auf eine entsprechende Auswertung verzichtet worden ist. Die Abweichungen in den Meßwerten der Prüfstellen 4 und 12 konnten durch das mitgeteilte Verdichtungsverhältnis nicht aufgeklärt werden.

Wie aus der Zahlentafel 4 hervorgeht, wurden von den einzelnen Prüfstellen verschiedenartige Vergleichsmischungen verwendet. Für diejenigen Prüfstellen, die als Unterbezugskraftstoff das IG-Eichbenzin in Verbindung mit Reinbenzol verwendet hatten, wurden nun über die Eichkurve nach Blatt 6 die Oktanzahl neu errechnet und auf Blatt 7 und 8 aufgetragen. Diese korrigierten Oktanzahlen sind den angegebenen (unkorrigierten) gegenübergestellt. Man erkennt, daß durch diese Maßnahme die Streuung in den meisten Fällen verringert und der Unterschied zwischen dem CFR- und I.G.-Prüfmotor verkleinert wird.

Im Interesse einer guten Übereinstimmung der Meßwerte sollte deshalb auf das Aufstellen eigener Eichkurven verzichtet werden. Da weiter anzunehmen ist, daß durch die Verwendung der gleichen Unterbezugskraftstoffe an allen Prüf-

ständen die Meßgenauigkeit noch weiter verbessert werden kann, sollte sich auch hierüber eine Verständigung erzielen lassen.

Anlagen: Zahlentafeln 5 u.6
N 2380-16
TPr S 402-408
Nachtragx.16.5.39.

Zahlentafel 6:

Vergleichsversuche an Klopfmotoren (V.V.65).
Oktanzahl nach Motor-Methode.

Kraftstoffbezeichnung: IG		Autobenzine 4a	4b	4c	4d	Fliegerbenzine 41	43
Prüfstand Nr.1 CFR-Motor	Op	60,0	71,8	73,4	73,3	74,3	89,3
2	Lu	61,5	72,5	73,0	72,2	73,2	89,5
3	Me	63,0	73,0	74,0	75,0	74,5	88,5
4	Magd.	63,2	75,2	77,0	77,2	77,3	90,6
5	Böhlen	63,8	72,7	72,7	73,1	73,1	88,0
6	B.V.	59,3	71,7	73,3	73,6	74,0	88,0
7	DVL	59,9	69,8	72,0	70,9	72,4	89,4
8	Romag	61,5	72,0	73,5	73,0	74,5	89,5
9	DAPG	62,6	70,7	72,7	71,1	72,8	87,5
Prüfstand Nr.1 IG-Motor	Op	61,0	70,7	72,8	73,0	74,4	89,3
2	Op	61,1	72,2	73,6	74,3	73,8	89,6
1	Op	61,3	72,8	73,7	74,2	74,8	90,0
2	Lu	61,5	71,5	73,5	71,8	74,0	86,5
3	Me	60,5	71,3	72,1	74,4	73,4	87,3
6	B.V.	59,6	71,3	73,0	72,4	74,0	84,7
10	Stgt..	59,6	70,8	72,6	73,8	73,6	90,0
10	Stgt.	60,0	71,2	72,8	73,0	73,5	89,8
11	Rhpr.	59,6	72,3	73,0	73,3	74,3	86,8
12	Salzbg.						
13	RMV	61,0	71,0	73,0	72,0	73,0	87,0
14	Deag	60,0	70,5	70,5	70,5	71,5	87,0
Mittel aller CFR-Motoren		61,6	72,2	73,5	73,3	74,0	88,9
" der CFR-Motoren ohne Nr.4		61,5	71,8	73,1	72,8	73,6	88,7
" aller IG-Motoren		60,5	71,4	72,8	73,0	73,7	88,0
Größte Streuung aller CFR-Mot.		4,5	5,4	5,0	6,3	4,9	3,1
" " " " " ohne Nr.4		3,9	3,2	2,0	3,9	2,1	2,0
" " " IG-Motoren		1,9	2,3	3,2	3,9	3,3	5,3
Mittlere Streuung aller CFR-Mot.							
" ohne Nr.4.		±1,3	± 0,8	± 0,5	± 1,0	0,7	± 0,7
Größte " aller IG-Mot.		±0,6	± 0,6	± 0,6	± 0,9	0,6	± 1,6
Mittel aus allen Motoren (ohne Nr.4)		60,9	71,6	72,9	72,9	73,6	88,3
Größte Streuung aller Motoren (ohne Nr.4)		3,9	3,2	3,5	4,5	3,3	5,3
Mittlere Streuung aller Motoren (ohne Nr.4)		±0,9	± 0,7	± 0,5	± 1,0	0,7	± 1,2
Meßunterschied (CFR-IG-Motor)		1,0	0,4	0,3	-0,2	0,1	0,7

Zahlentafel 5:

Vergleichsversuche an Klopfmotoren (V.V.G.).
Oktanzahl nach Research-Methode.

Kraftstoffbezeichnung IG			Autobenzine 4a	4b	4c	4d	Fliegerbenzine 41	43
Prüfstand Nr.1	CFR-Motor	Op	60,7	74,5	79,1	72	77,7	91,6
2		Lu	62,0	75,5	78,0	73	77,5	92,0
3		Me	64,5	77,0	79,3	74	79,0	91,7
4		Magdeb.	66,2	76,2	79,5	74	78,0	91,0
5		Böhlen	65,1	76,2	80,0	73	78,0	91,1
6		B.V.	63,3	77,0	80,1	70	76,3	90,4
7		DVL	62,9	74,9	78,2	73	77,3	89,1
8		Romag	62,0	74,5	78,0	73	75,5	91,0
9		DAPG	63,6	77,6	78,2	70	73,3	88,8
Prüfstand Nr.1	IG-Motor	Op	62,0	74,0	78,6	72	77,3	90,8
1		Op	60,2	72,5	78,3	70	75,9	90,7
1		Op	60,8	74,7	79,5	71	76,4	91,7
2		Lu	59,8	73,8	79,8	72	76,0	91,5
3		Me	62,7	75,0	78,2	72	77,5	92,5
6		B.V.	61,1	74,0	79,8	70	76,1	89,0
10		Stgt.	60,8	74,3	79,5	71	73,9	89,0
10		Stgt.	61,2	74,0	79,4	72	75,5	89,5
11		Rhpr.	62,0	73,7	79,8	68	74,6	89,3
12		Salzb.	61,2	70,4	75,5	68	71,6	86,1
13		RMV	61,0	74,0	78,0	72	75,0	87,0
14		Deag	62,0	73,5	79,0	71	75,5	90,5
Mittel aller CFR-Motoren			63,4	75,9	79,0	72	77,0	90,7
" " IG-Motoren			61,2	73,7	78,8	71	75,5	89,8
" " IG-Motoren ohne Nr.12			61,2	74,0	79,1	71	75,8	90,1
Größte Streuung aller CFR-Motoren			5,5	3,1	3,0	4	5,7	2,2
" " " IG-Motoren			2, 9	4,6	4,3	4	5,9	6,4
" " " IG-Motoren ohne Nr.12			2,9	2,5	1,8	3	3,6	5,5
Mittlere Streuung aller CFR-Motoren			±1,3	±1,0	±0,8	±1,	±1,3	±0,9
" " " IG-Motoren ohne Nr.12			±0,7	±0,4	±0,6	±0,	±0,8	±1,5
Mittel aller Motoren			62,2	74,9	79,1	72,	76,4	90,4
Größte Streuung aller Motoren ohne Nr.12			6,4	5,1	3,0	5,	5,7	5,5
Mittlere " " " " " 12			±1,0	±0,7	±0,7	±0,	±1,0	±1,1
Meßunterschied (CFR-IG-Motor)			2,2	1,9	-0,1	1,	1,2	0,6

Zum Bericht Nr.387 vom 12.5.39. Oppau, den 16.Mai 1939.Kz.

N a c h t r a g:

über

Vergleichsversuche an Klopfmotoren (V.V.65).

Von der "Olex" Deutsche Benzin-und Petroleum G.m.b.H. wurden uns deren Ergebnisse wie folgt nachgenannt:

Kraftstoffbezeichnung IG	Autobenzine 4a	4b	4c	4d	Fliegerbenzine 41	43
Research-Methode, CFR-Motor	64,2	76,0	79,4	73,2	77,5	89,4
" - " , IG-Motor	64,0	75,6	80,3	73,4	77,0	90,0
Motor-Methode, CFR-Motor	61,8	71,3	73,1	70,9	72,9	87,3
" " , IG-Motor	60,8	69,9	71,5	71,1	72,4	87,1

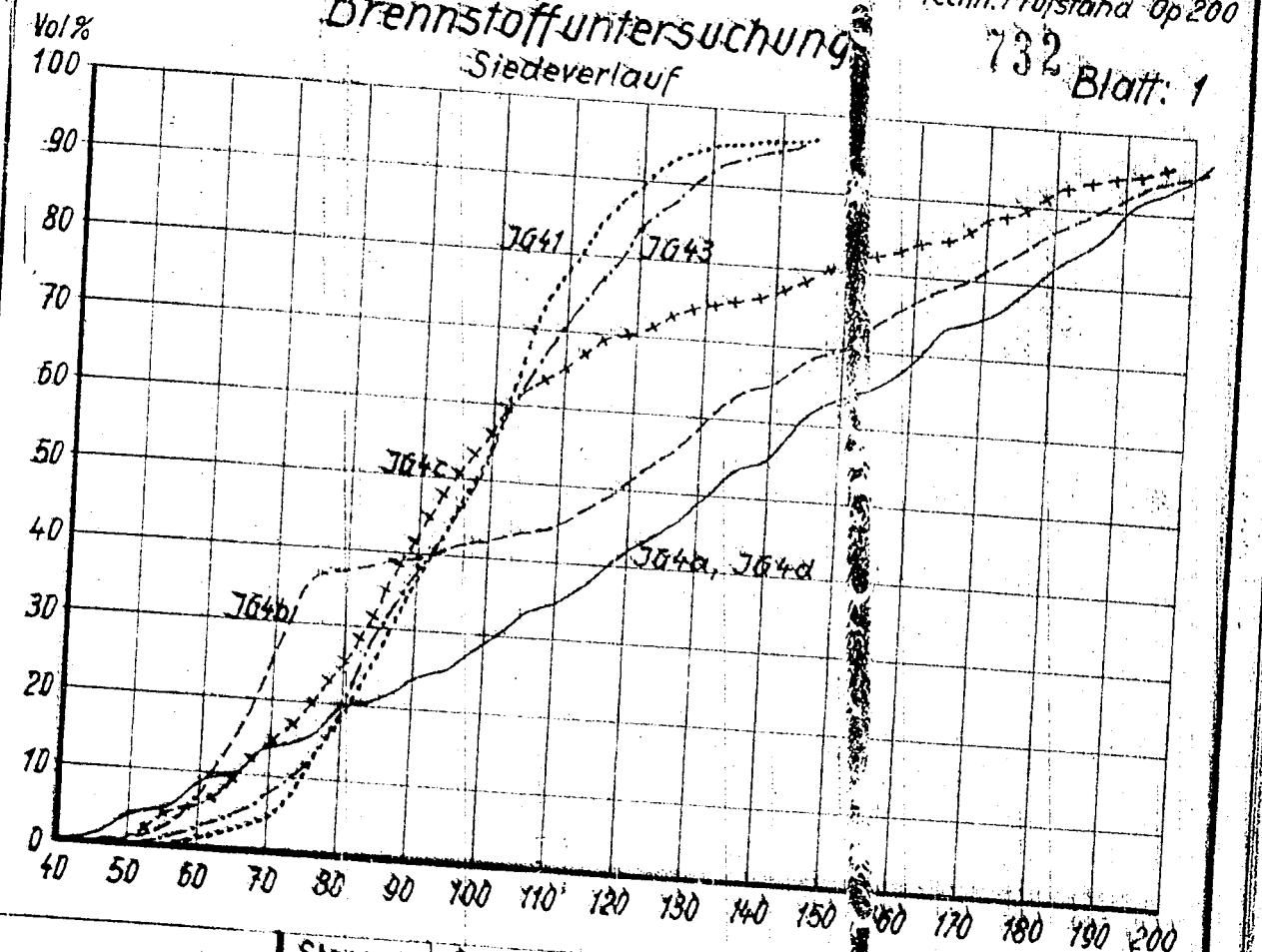
Die Übereinstimmung der beiden Prüfmotoren untereinander ist bei der Research- und auch bei der Motor-Methode gut. Die mitgeteilten Ergebnisse beider Motorenarten liegen im allgemeinen nach der Research-Methode etwas höher und nach der Motor-Methode etwas tiefer als die Mittelwerte der entsprechenden Motoren.

Singer

Brennstoffuntersuchung

Techn. Prüfstand Op 200

732 Blatt: 1



		Stanavo rein J641	Stanavo + Pb J643	Hydrier Benzin J64a	Hydrier + Alkohol J64b	Hydrier-Bi + Benzol J64c	Hydrier-Bi + Blei J64d
Siedebeginn	°C	55	52	40	48	42	40
" schluß	°C/%	145/97	144/97	202/97	202/97	197/96	202/97
Rückstand	%	1,5	1,3	1,5	0,5	2,0	1,5
Verlust	%	1,5	1,7	1,5	2,5	2,0	1,5
Spez. Gew.	20°C	0,727	0,724	0,749	0,750	0,774	0,750
KZ ± FZ		97 ± 29	99 ± 36	131 ± 78	117 ± 84	109 ± 66	131 ± 78
Klopfwert	ROZ	76,4	90,4	62,2	79,9	79,1	79,0
"	MOZ	73,6	88,3	60,9	71,6	72,9	72,9
Cu-Str. Test, 3St. 100°C		blank	blank	blank	blank	blank	blank
Glasschalentest, 100ccm		0,8 mg	0,7 mg	1,0 mg	0,4 mg	0,5 mg	1,0 mg
Alkohol	vol %	0	0	0	12,2	0	0
Bleitetraäthyl, ccm/ltr		0	0,47	0	0	0	0,13
Dampfdruck:							
ata bei	20°C	0,18	0,18	0,32	0,35	0,28	0,31
" -	40°C	0,45	0,44	0,85	0,78	0,82	0,83
" -	60°C	0,86	0,87	1,13	1,48	1,14	1,14
*) Aromaten		9,7	6,2	11,2	10,0	36,2	11,2
Olefine		0,1	0,5	0,6	0,2	0,1	0,6
Paraffine		47,0	47,0	44,3	42,0	9,0	29,0
Naphtene		43,3	47,8	44,9	48,0	14,8	59,4
Jodzahl		0,3	1,3	1,6	0,5	0,3	1,8

*) Einschl. Olefine

I. G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen am Rhein
Tag 12. Mai 39 Name Sperau

Vergleichsversuche an Kleinmotoren VT 85
Bericht Nr 361 vom 12.5.39

TPS 402

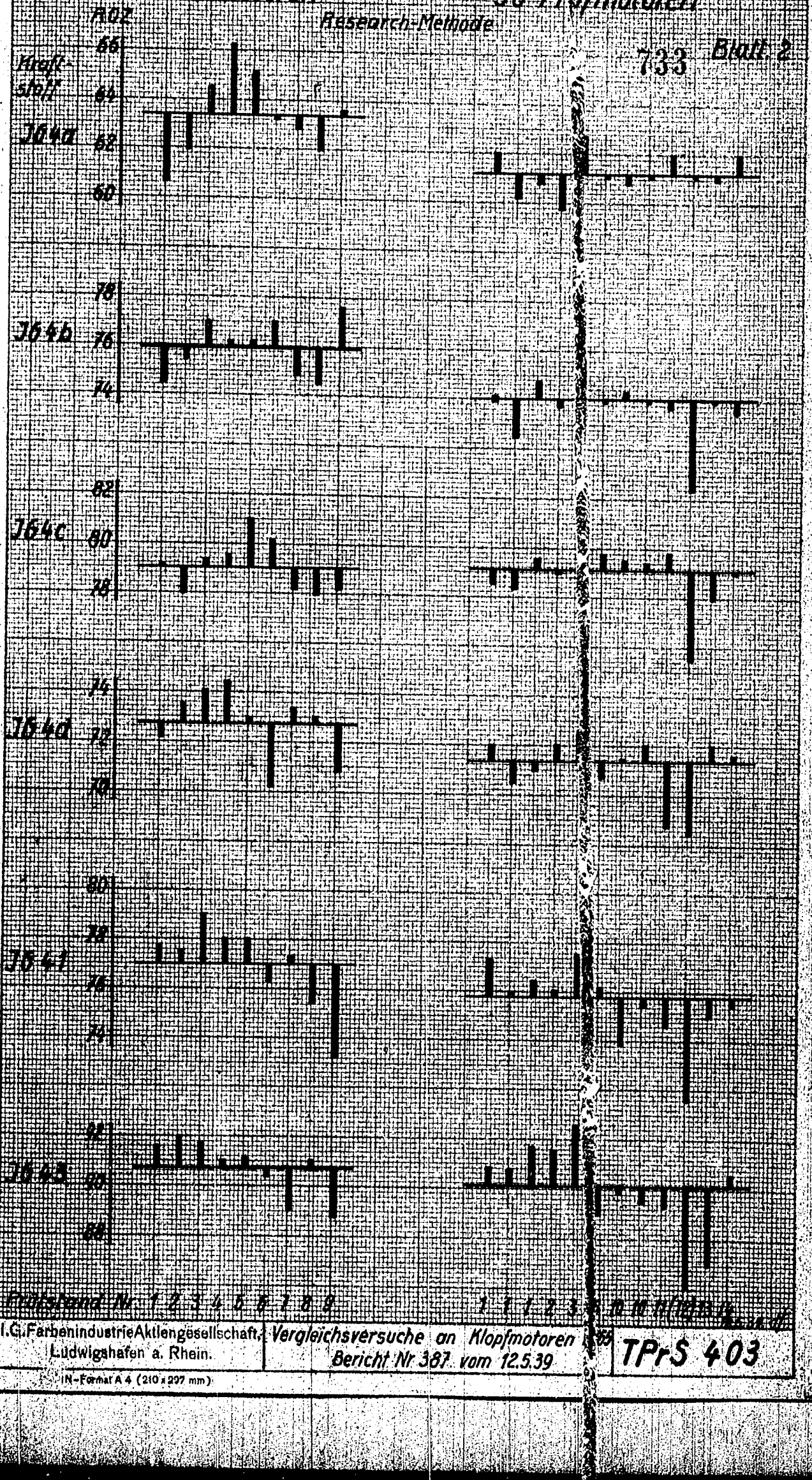
CFR-Motoren

Research-Methode

JG-Prüfmotoren

Techn. Prüfstand Op 208

733 Blatt 2



Prüfstand Nr. 1 2 3 4 5 6 7 8 9

1 1 / 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Vergleichsversuche an Klopfmotoren Bericht Nr 387 vom 12.5.39	TPrS 403

IN-Format A 4 (210 x 297 mm)

CFR-Motoren

Motor-Methode

J6-Prüfmotoren

Jeam Prüfstand Op 200

734 Blatt 3

Kraftstoff Nr	MOZ	64	62	60	76	74	72	70	76	74	72	78	76	74	72	92	90	88
J64a																		
J64b																		
J64c																		
J64d																		
J641																		
J643																		

Prüfstand Nr. 1 2 3 (4) 5 6 7 8 9 1 1 1 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Vergleichsversuche an Klopfmotoren V 65 Bericht Nr 387 vom 12.5.39.	TPrS 404

DIN-Format A 4 (210 x 297 mm)

Techn. Prüfstand Op 28b

CFR-Motoren

Research-Methode

J64-Motoren

73-

Blatt 4

Kraftstoff Nr. J64a

J64b

J64c

J64d

J64f

J643

Prüfstand Nr. 1 2 3 4 5 6 7 8 | 1 1 2 3 6 M 11 12 13

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

Vergleichsversuche an Klopfmotoren VVB

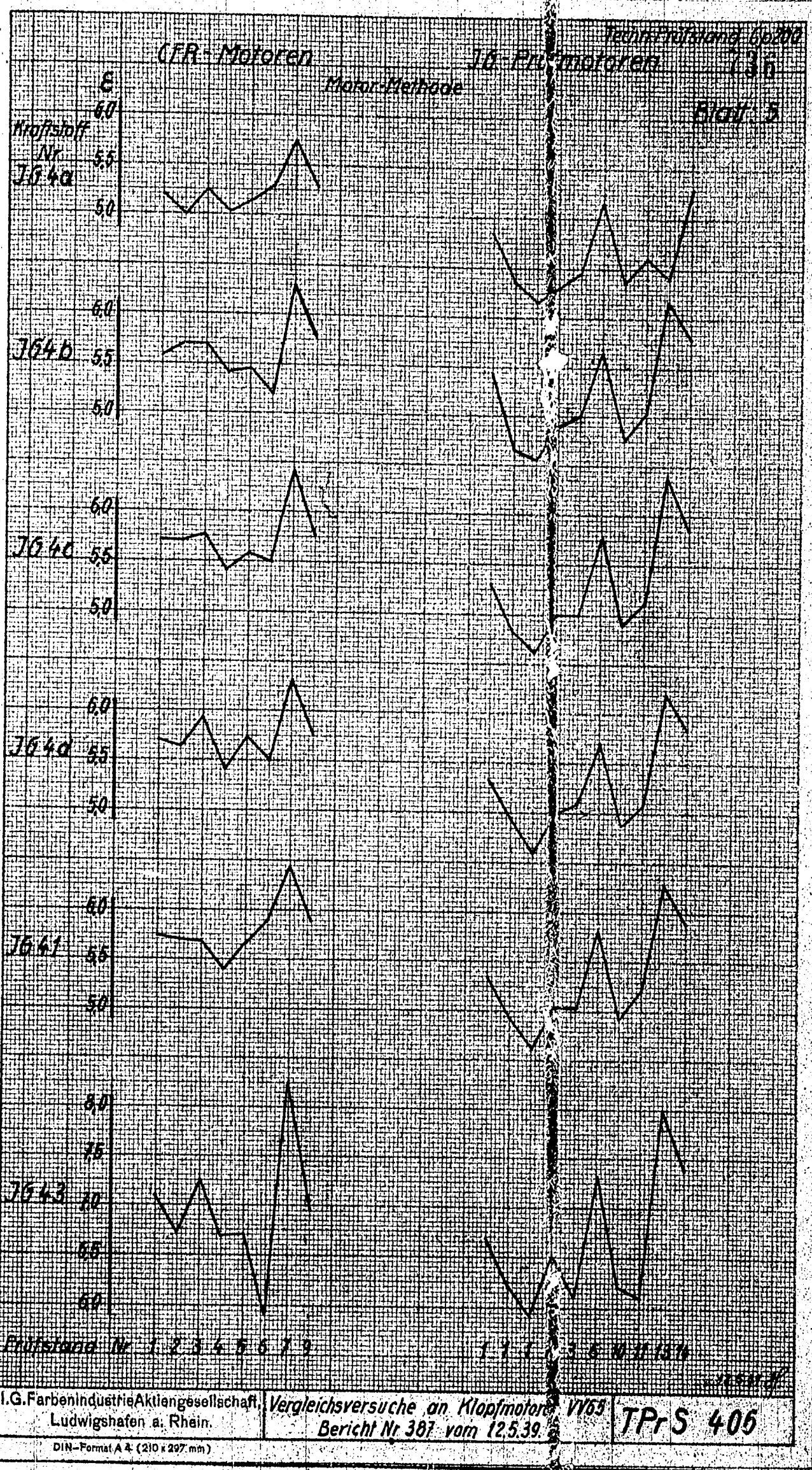
Bericht Nr 387 vom 12.5.39.

TPrS 405

DIN-Format A 4 (210 x 297 mm)

Techn. Prüfstand 6p.20

CFR-Motoren — Motor-Methode — J6-Flugmotoren — 73 b — Blatt 5



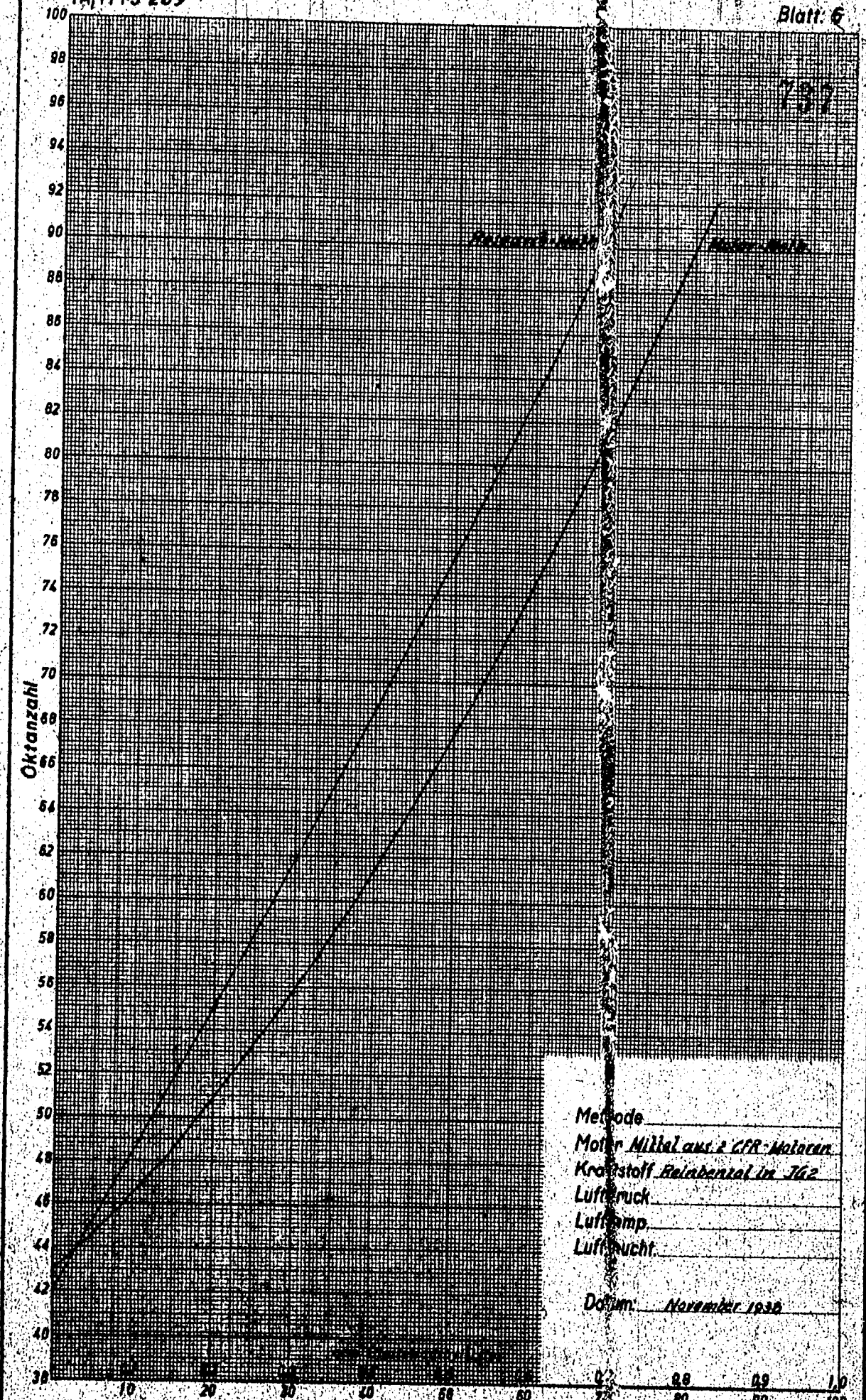
I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Vergleichsversuche an Klopfmotoren VV65 Bericht Nr. 387 vom 12.5.39	TPrS 406

DIN-Format A 4 (210 x 297 mm)

TA|TPrS 269

Blatt: 6

731



25.11.38 Sk

I.G. LUDWIGSHAFEN Technischer Prüfstand Op.	Vergl. Klopfwertbestimmungen KW65 Bericht Nr. 387	N 2380-16

Techn. Prüfstand Gb 200

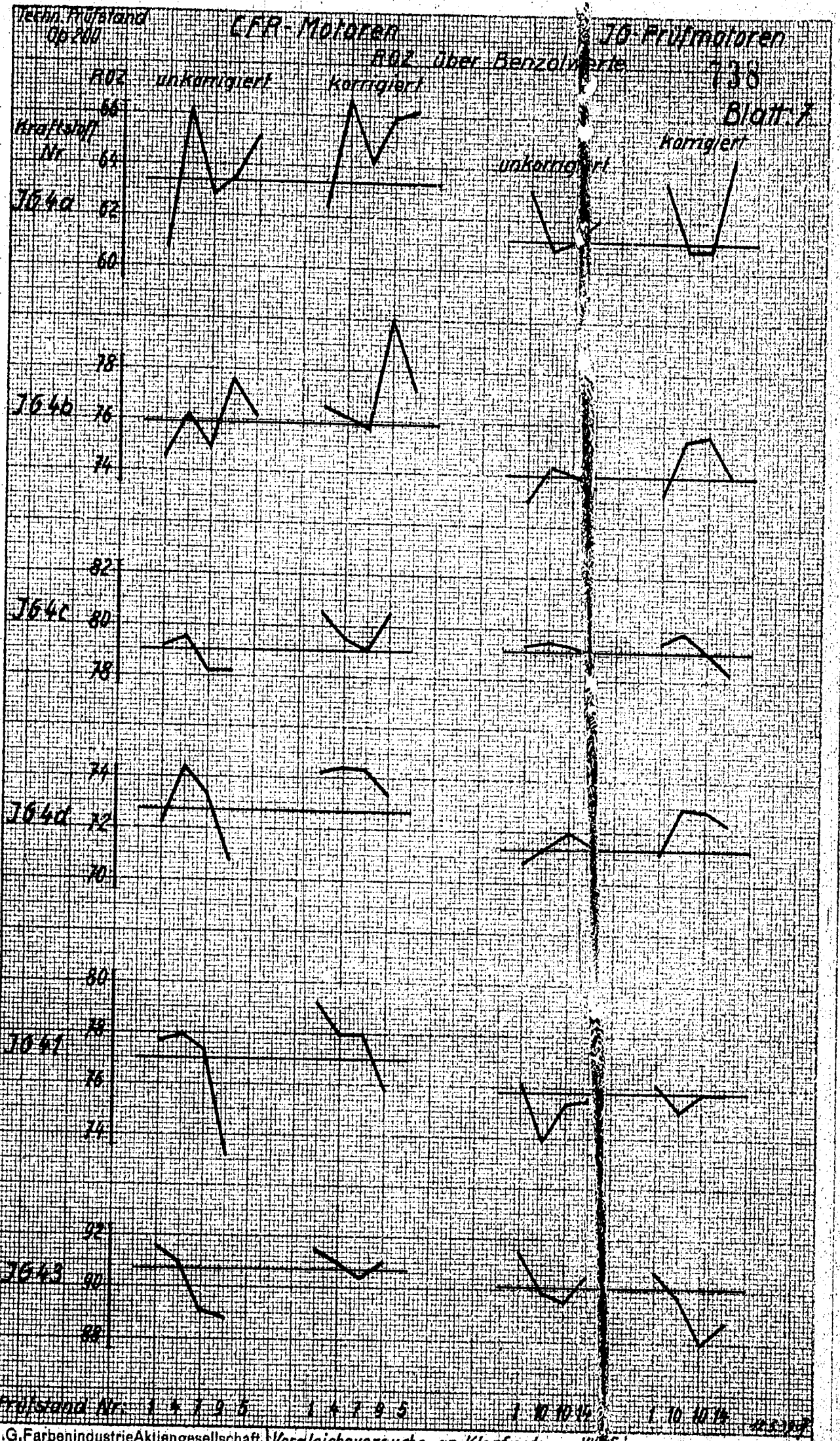
EFR-Motoren

70 Prüfmotoren

ROZ über Benzolwerte

136

Blatt 7



Prüfstand Nr: 1 * 1 9 5 | 1 * 7 9 5 | 1 10 10 44 | 1 70 10 44

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Vergleichsversuche an Klopfmotoren VVF 5 Bericht Nr 387 vom 12.5.39.	TPrS 407

DIN-Format A 4 (210 x 297 mm)

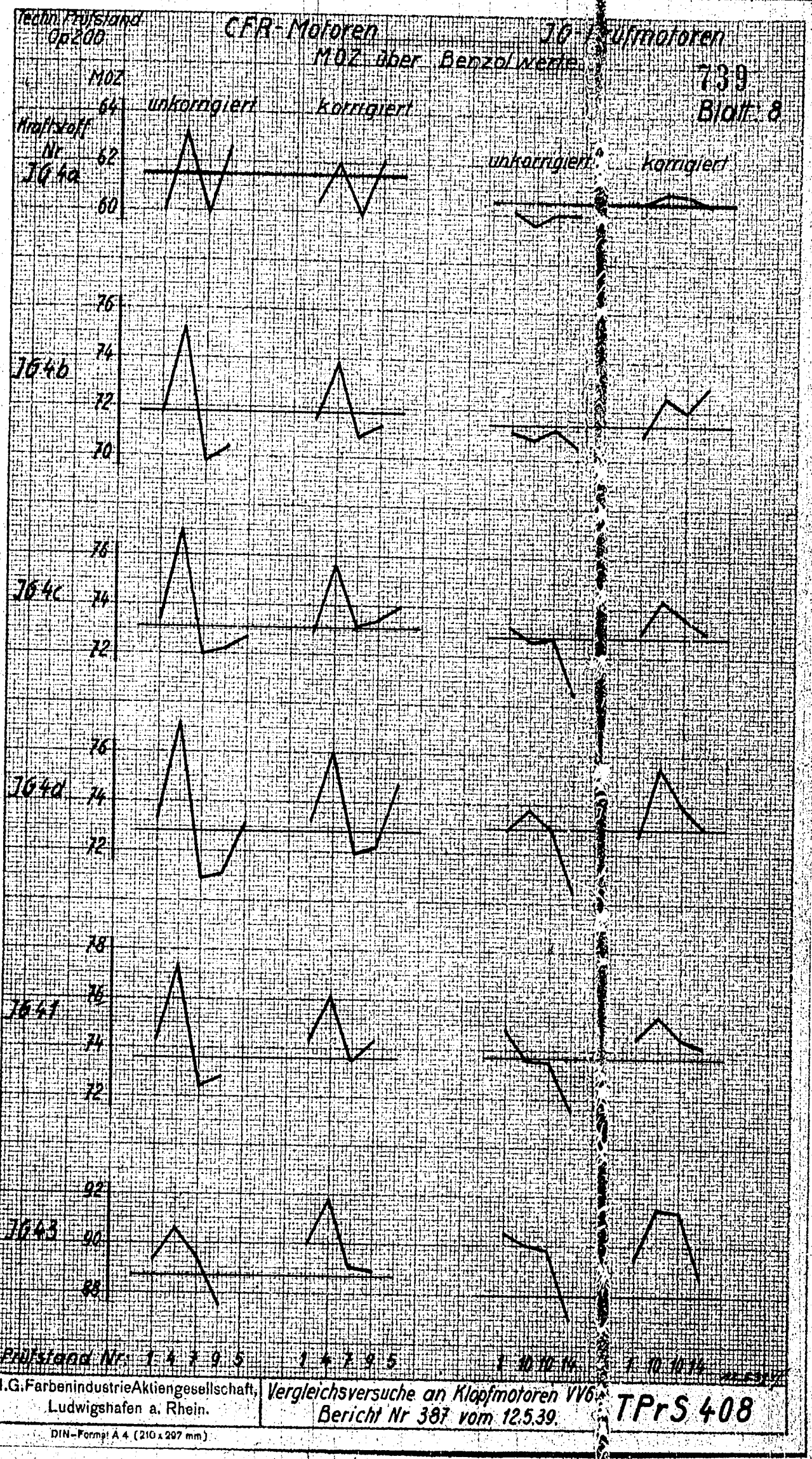
Techn. Prüfstand Op 200

CFR-Motoren JG Luftmotoren

MOZ über Benzolwerte

739

Blatt 8



Prüfstand Nr: 1 4 7 9 5 | 1 4 7 9 5 | 1 10 10 14 | 1 10 10 14

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Vergleichsversuche an Klopfmotoren VV6. Bericht Nr 387 vom 12.5.39.	TPrS 408

DIN-Format A 4 (210 x 297 mm)

I.G.Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a.Rhein
Techn.Prüfstand Op 200
Bericht Nr.394

Geheim

7

740

Geheim !

1. Dies ist ein Staatsgeheimnis im Sinne des § 88 RStGB.
2. Weitergabe nur verschlossen, bei Postbeförderung als „Einschreiben".
3. Aufbewahrung unter Verantwortung des Empfängers unter gesichertem Verschluß.

B e r i c h t:

DER OTTO - DIESEL - MOTOR

Inhaltsverzeichnis:

	Seite
Zusammenfassung.	1
Einleitung.	2
A) Der Otto-Motor.	4
B) Der Diesel-Motor.	5
C) Der Otto-Diesel-Motor.	7
1.) Allgemeines.	7
2.) Vorversuche.	8
3.) Der Zündverzug.	9
a) Einfluß der Leistung auf den Zündverzug	9
b) Einfluß der Lufttemperatur auf den Zündverzug und das Anlaßverhalten	9
c) Einfluß des Verdichtungsverhältnisses auf den Zündverzug	10
4.) Eigenschaften des Zündöles.	10
a) Allgemeines.	10
b) Nitroverbindungen.	13
c) Nitrierte Stoffe.	15
d) Peroxyde.	15
5.) Der Zündstrahl.	16
6.) Die Gemischbildung.	18
a) Die Gemischbildung im Otto-Motor.	18
b) Die Gemischbildung im Otto-Diesel-Motor.	18
7.) Sicherheitskraftstoffe im Otto-Diesel-Motor.	19
8.) Das Klopfverhalten des Otto-Diesel-Motors.	21
a) Allgemeines.	21
b) Vergleich der Überladefähigkeit des Otto- und des Otto-Diesel-Motors.	23

Kocha.Reifefeld Op 200
Bericht Nr.394

Oppau, den 9.August 1939.Kf.

742

B e r i c h t:

Der Otto - Dieselmotor.

Zusammenfassung:

Es wurde ein neues Arbeitsverfahren für Verbrennungsmotore entwickelt, mit folgenden Merkmalen:

G e m i s c h b i l d u n g nach Art des Otto-Motors durch Einspritzen des Kraftstoffes in Saug- oder Verdichtungshub.

Z ü n d u n g nach Art des Dieselmotors durch Einspritzen eines leichtentzündlichen Öles in das Otto-Gemisch.

Dieses Verfahren wird Otto-Diesel-Verfahren genannt. Durch Versuche wurden folgende Vorteile nachgewiesen:

1.) Leistungsregelung nicht durch Drosselung, sondern ausschließlich durch Änderung der Gemischzusammensetzung. Dadurch bei Teillast Kraftstoffersparnisse, bei Halblast beispielsweise etwa 15 %.

2.) Unempfindlichkeit der Zündeinrichtung gegen Rückstände der Antiklopfmittel, die sowohl bei Bleitetraäthyl als auch bei Eisencarbonyl zu Störungen an den Zündkerzen führen. Durch Wegfall der Hochspannungs-Zündung entfallen auch Störungen von Funkanlagen.

3.) Geringere Anforderungen an die Klopffestigkeit von Kraftstoffen gegenüber einem Otto-Motor bei gleichem Verdichtungsverhältnis (1:8).

4.) Geringere Abhängigkeit der Überladbarkeit von Kraftstoffen vom Mischungsverhältnis. Diese Erscheinung ist besonders ausgeprägt bei aromatischen Kraftstoffen.

5.) Geringe Empfindlichkeit gegen die Güte der Gemischbildung. Das Verfahren ist also zur Verwendung von hochsiedenden Sicherheitskraftstoffen geeignet. Mit TZ 900 wurden ohne vorhergehende Zersetzung oder Vorwärmung gute Ergebnisse erzielt.

6.) Durchführbarkeit an vorhandenen Motorenbaumustern. Hierbei sind nach dem jetzigen Stand der Entwicklung folgende Änderungen notwendig: Einbau von Kolben für Verdichtung 1:8, Anordnung einer zweiten Einspritzpumpe anstelle des Zündmagnetes sowie Einbau von Düsen anstelle der Zündkerzen. Für den

Zündkraftstoff, dessen Feuergefährlichkeit etwa der des Dieselöles entspricht, muß ein Behälter vorgesehen werden, dessen Fassungsvermögen ein Zwanzigstel des Behälters für den Kraftstoff beträgt.

Das neue Arbeitsverfahren stellt verschiedene Entwicklungsaufgaben auf dem Gebiet der Einspritzpumpen, Düsen und Reglern, die nicht schwer zu lösen sein werden.

Auf chemischem Gebiet hat die Entwicklung sich in erster Linie mit den Zündölen zu befassen. Es wurden bereits jetzt sehr wirksame Stoffe gefunden, die auch in größerem Maße hergestellt werden können.

Einleitung:

Der Otto-Motor hat sich seit der Zeit seiner Entstehung in grundsätzlichen Dingen nicht geändert. Er arbeitet auch heute noch mit einem Kraftstoff-Luft-Gemisch, das durch einen elektrischen Funken gezündet wird. Seine Mängel sind deshalb grundsätzlich die gleichen geblieben. Sie liegen in der Abhängigkeit der Regelung von den Zündgrenzen und in der punktförmigen Gestalt der Zündquelle sowie in der Empfindlichkeit der Zündkerzen gegen Verbrennungsrückstände.

Kraftstoff-Luft-Gemische zünden nur bei annähernd stöchiometrischem Verhältnis, und viel Entwicklungsarbeit war nötig, um Vergaser und Pumpenregler zu bauen, die dieses Verhältnis unter allen Bedingungen sicherstellen. Diese Abhängigkeit von engen Zündgrenzen führt dazu, daß eine Leistungsregelung nur durch verlustbringende Drosselung des Kraftstoff-Luft-Gemisches, nicht aber durch einfache Verminderung der Kraftstoffmenge zu erreichen ist. Der Otto-Motor arbeitet deshalb in seiner jetzigen Form unwirtschaftlich, sobald er nicht vollbelastet ist.

Grenzen für die Leistungsfähigkeit des Otto-Motors liegen in der Klopffestigkeit des Kraftstoffes und in der elektrischen Zündung. Die Klopferscheinungen, die im Motor etwa bei hoher Verdichtung oder starker Aufladung auftreten, stehen in engem Zusammenhang mit der punktförmigen Zündquelle der Zündkerze, von der aus eine gerichtete Verbrennung ausgeht. Es führt dies dazu, daß an der von der Zündquelle am weitesten entfernten Stelle des Verbrennungsraumes ein Gemischrest entsteht, der unter dem Einfluß der entstehenden Temperatur und des Druckes sich stoßweise entzündet.

Die Entwicklung der Zündkerzen ist stets ein Problem der Isolation gewesen, die auch bei hohen Temperaturen und Drücken dem hochgespannten Zündstrom

zuverlässigen Widerstand bieten muß. Grundsätzliche Mängel des Zündverfahrens liegen nicht nur darin, daß bei hohen Verdichtungsenddrücken Spannungen zum Funkenüberschlag notwendig werden, die mit den jetzigen Hilfsmitteln nicht beherrscht werden, sondern auch in der Empfindlichkeit der Isolatoren gegen Verbrennungsrückstände. Während früher Störungen hauptsächlich durch Ruß auftraten, sind es jetzt die Verbrennungsrückstände der Antiklopfmittel, die zu sehr unangenehmen Störungen führen. Es wurde dies am deutlichsten bei der Verwendung von Eisenkarbonyl offenbar, bei der Zündkerzenstörungen in solchem Umfang auftraten, daß die Entwicklung einer neuartigen Kerze aus Hinterkorund notwendig wurde, ohne damit die Anstände restlos beseitigen zu können. Die Störungen die bei Bleitetraäthyl, das über die ganze Welt verbreitet ist, an den Kerzen auftreten, führen zwar nicht so schnell zur Zerstörung der Isolatoren, es tritt aber gleichzeitig ein erhöhter Verschleiß der Elektroden ein, so daß im Flugbetrieb mit einer Lebensdauer von 50 bis höchstens 100 Betriebsstunden gerechnet werden muß.

Der Hesselman-Motor, ein Otto-Motor mit Einspritzung des Kraftstoffes während des Verdichtungshubes, ist für das Problem des Sicherheitskraftstoffes von großem Interesse, da er die Möglichkeit bietet, hochsiedende, also schwer entzündliche Kraftstoffe zu verwenden; schwierig bleibt jedoch die zuverlässige Zündung. Es müssen Zündkerzen mit weit vorgeschobenen Elektroden und Isolatoren verwendet werden, die schon bei gewöhnlichen Betriebsbedingungen Schwierigkeiten machen, bei erhöhten Anforderungen, etwa bei Überladebetrieb und bei der Verwendung zähflüssiger Kraftstoffe jedoch kaum verwendbar sind. Auch hier ist also der Entwicklung durch die Art der Zündung und ihre konstruktive Durchbildung eine Grenze gesetzt.

Der Dieselmotor weist weder den Mangel der Abhängigkeit von bestimmten Zündgrenzen noch die grundsätzlichen Schwächen der elektrischen Zündung auf. Sein entscheidender Mangel ist jedoch, daß im gleichen Zylinderraum nicht so viel Kraftstoff verbrannt werden kann wie im Otto-Motor. Der Dieselmotor ist deshalb und auch der hohen Spitzendrücke wegen schwerer als ein Otto-Motor gleicher Leistung.

Im Folgenden werden zunächst die Eigenschaften des Otto- und des Dieselmotors eingehender behandelt, um dann zu zeigen, daß eine betriebsweise möglich ist, die die Vorteile beider Verfahren in sich vereinigt.

Anhand von Versuchen wird eingehend dargelegt, welches die wesentlichen Eigenschaften des neuen Verfahrens sind und für welche besonderen Zwecke es geeignet erscheint.

A) Der Otto-Motor.

Der Otto-Motor verdichtet ein Kraftstoff-Luft-Gemisch und entzündet dieses kurz vor der höchsten Stellung des Kolbens durch einen elektrischen Funken. Die Mischung von Kraftstoff und Luft erfolgt entweder außerhalb des Motors im Vergaser, oder jetzt meist innerhalb durch Einspritzen des Kraftstoffes in den Zylinder, und zwar während in diesen Luft eingesaugt wird.

Wesentlich ist für die Güte der Gemischbildung, daß die Zeit für Verteilen und Verdampfen des Kraftstoffes genügend lang ist. Mit dem Einspritzen wird deshalb schon am Anfang des Saughubes begonnen, so daß der gesamte Saughub und der Verdichtungshub zur Gemischbildung zur Verfügung steht. Bei dieser Arbeitsweise spielt die Flüchtigkeit des Kraftstoffes eine sehr wichtige Rolle; die bekannte Siedelage der Benzine ist aus dieser Forderung entstanden.

Werden, wie beim Hesselman-Motor, Kraftstoffe höherer Siedelage verwendet, so darf erst gegen Ende des Verdichtungshubes eingespritzt werden, und es muß der Zeitmangel durch heftige Wirbelung ausgeglichen werden.

Die Regelung des Otto-Motors kann erfolgen:

1.) Durch Regelung der Kraftstoffmenge (Änderung des Kraftstoff-Luftverhältnisses, Luftmenge unverändert)

2.) Durch Regelung der Menge von Kraftstoff und Luft (Drosselung).

Zu 1.): Eine Regelung des Otto-Motors durch Veränderung der Kraftstoffmenge ist nur in sehr engen Grenzen möglich, da nur Kraftstoff-Luft-Gemische von bestimmter Zusammensetzung entzündet werden können. Die untere Explosionsgrenze kann zudem praktisch nicht erreicht werden, da die Gemischbildung im Motor nicht genügend gleichmäßig ist. So kann z.B. in der Nähe des Zündfunkens sich zufällig ein zu mageres Gemisch befinden, so daß die Zündung nicht erfolgt.

Wie Abb.1 auf Blatt 1 zeigt*), tritt über 10 % Luftüberschuß eine wesentliche Erhöhung des Verbrauches ein. Durch Anwendung einer größeren Anzahl von Zündstellen und mehrerer Zündfunken hintereinander ist es möglich, die Verbräuche zu verbessern und sehr arme Gemische anzuwenden. (K.A.F.Schmidt, Maßnahmen zur Verbesserung des Kraftstoffverbrauches beim Otto-Motor, Jahrbuch der Deutschen Luftfahrtforschung, 1938). Dieses Mittel vermag zwar den Betrieb bis dicht an die untere Zündgrenze zu ermöglichen, eine Leistungsregelung ist jedoch auch mit dieser Verbesserung nicht möglich. Durch Schichtung der Ladung in der Weise, daß sich in unmittelbarer Nähe der Kerze ein zündfähiges Gemisch befindet, während der übrige Teil des Verbrennungsraumes mit Luft gefüllt ist,

*) Die Betriebsbedingungen aller Versuche sind auf einer Tabelle am Schluß des Berichtes zusammengestellt.

müsste sich eine Regelung bis herunter zum Leerlauf ermöglichen lassen. Praktisch ist dies jedoch bisher nicht gelungen.

Zu 2.): Meist wird auf Gemischregelung ganz verzichtet und lediglich durch Veränderung des Ladungsgewichtes, durch Drosselung, eine Leistungsregelung vorgenommen. Kraftstoff und Luft haben dabei stets das gleiche Verhältnis zueinander. Diese Art der Regelung führt zu einer beträchtlichen Zunahme der Verlustleistung beim Ansaugen (vgl.Abb.2). Außerdem sinkt, wie beabsichtigt, bei zunehmender Drosselung das Gewicht der angesaugten Ladung, während die Restgasmenge die gleiche bleibt. Die Folge ist eine starke Vermischung der Ladung mit Abgasen, so daß die Verbrennung unvollkommen verläuft (CO-Gehalt der Abgase bei Teillast und Leerlauf). Der thermische Wirkungsgrad sinkt also. Hinzukommt noch, daß, wie bei allen Motoren, der gesamte Wirkungsgrad sinkt, weil bei abnehmender Belastung die mechanischen Verluste stärker hervortreten, um schließlich im Leerlauf der indizierten Leistung die Waage zu halten.

Bild 1 zeigt, daß durch Beeinflussung der Gemischzusammensetzung die Leistung im günstigsten Fall nur bis auf etwa 2/3 der Vollast-Leistung herabgeregelt werden kann (Luftüberschuß etwa 30 %). Wird nun anschließend die Regelung durch Drosselung vorgenommen (Abb.2), so findet eine sehr starke Zunahme des Verbrauches statt, der bei Halblast je Pferdekraftstunde etwa das 3,5 fache, bei Viertellast etwa das 3,2 fache des sparsamsten Verbrauches beträgt.

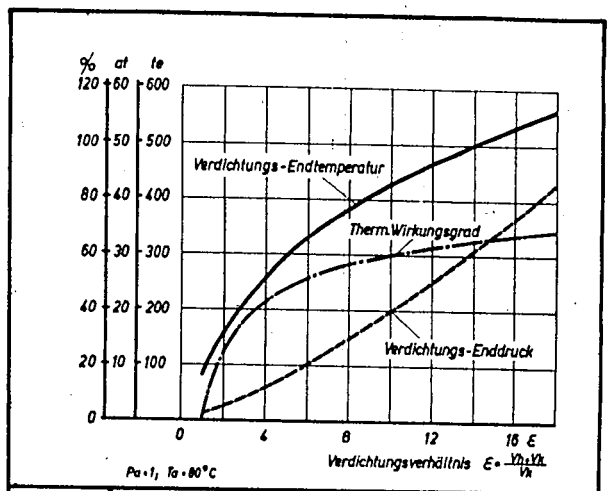
Dieser Zustand ist sehr nachteilig, da alle Fahrzeugmotoren nach der erforderlichen Höchstleistung bemessen sein müssen, im Betrieb aber meist mit Teillast betrieben werden. Flugmotoren z.B. benötigen die Volleistung nur zum Start und zum Steigflug, während beim Langstreckenflug nur mit 60-80 % Belastung (Luftwaffe) und weniger (Lufthansa) geflogen wird.

B) Der Diesel-Motor.

Der Diesel-Motor unterscheidet sich vom Otto-Motor im wesentlichen nur dadurch, daß das Kraftstoff-Luft-Gemisch nicht durch einen Zündfunken entzündet wird. Der Kraftstoff wird nahe am Ende des Verdichtungshubes in den Zylinder eingespritzt. Durch Anwendung eines hohen Verdichtungsverhältnisses von 1:14 bis 1:18 wird erreicht, daß die Luft so hoch erhitzt ist, daß der Kraftstoff sich entflammt. Nach dem Einspritzen findet zunächst ein wärmeverbrauchender Vorgang, das Aufspalten und Verdampfen des Kraftstoffes statt. Ist eine von der Art des Kraftstoffes und von motorischen Bedingungen abhängige Zeit, der Zündverzug, verstrichen, so setzt Verbrennung und folglich Drucksteigerung ein.

Der Kraftstoff muß hochsiedend und thermisch instabil sein.

Eine wesentliche Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades durch Anwendung des im Vergleich zum Otto-Motor hohen Verdichtungsverhältnisses wird nicht erzielt, da (Bild 895) dieser Wirkungsgrad oberhalb von ε = 8 nur noch mäßig ansteigt. Der thermodynamische Gewinn, der theoretisch erzielbar ist, wird praktisch mehr als ausgeglichen durch Verschlechterung des mechanischen Wirkungsgrades. Eine weitere Folge des für die Zündung notwendigen hohen Verdichtungsverhältnisses ist ein hoher Spitzendruck, der die Triebwerksteile stark beansprucht. Der Dieselmotorenbau strebt deshalb nach Anwendung möglichst niederer Verdichtungsverhältnisse.



Der wesentlichste Vorteil des Dieselmotors ist, daß er nicht von gleichmäßig zündgerechter Zusammensetzung des Gemisches abhängig ist, denn irgendwo am Übergang des eingespritzten und durch Krackoen vorbereiteten Kraftstoffes zur Luft stellt sich das zur Entzündung notwendige Kraftstoff-Luft-Verhältnis ein. Es ist deshalb eine Leistungsregelung vom Leerlauf bis zur Vollast nur durch Bemessung des Kraftstoffes möglich.

Ist die Verbrennung einmal angelaufen, so erfasst sie den gesamten Kraftstoff, sofern dieser sich in der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit mit der notwendigen Luftmenge mischen kann. Obgleich es ein Hauptziel der Dieselmotoren Entwicklung ist, ist es bis jetzt noch nicht gelungen, eine einwandfreie Verbrennung bei stöchiometrischem Verhältnis zu erreichen. Es muß deshalb stets ein Luftüberschuß von mindestens 20 % vorhanden sein, was gleichbedeutend damit ist, daß in einem gegebenen Zylinder nach dem Diesel-Verfahren weniger Kraftstoff verbrannt werden kann als nach dem Otto-Verfahren. Der Dieselmotor erreicht folglich einen mittleren Arbeitsdruck von etwa 7 atü, während beim Otto-Motor 10 atü erzielt werden.

Im Gegensatz zum Otto-Motor erreicht der Diesel-Motor sehr günstige Kraftstoffverbräuche bei Teillast, da hier infolge des großen Luftüberschusses eine

sehr vollkommene Verbrennung möglich ist. Wie Abb.4 zeigt, steigt trotzdem bei geringen Belastungen der Verbrauch, da auch beim Diesel-Motor dann die mechanischen Verluste vorherrschen. Bei hohen Belastungen steigt der Verbrauch durch Unvollkommenheit der Verbrennung.

Der Diesel-Motor ist also ein Motor geringerer Leistungsfähigkeit und von hoher Wirtschaftlichkeit bei mittleren Belastungen. Hohe Spitzendrücke und geringer Arbeitsdruck führen zu schwerer Bauweise, die den Diesel-Motor vorerst für Hochleistungszwecke mehr (Luftwaffe) wenig geeignet macht.

) Der Otto-Diesel-Motor.

1.) Allgemeinen.

Bei der Betrachtung des Otto-Motors haben wir gesehen, daß eine ausschließliche Gemischregelung nicht möglich ist, da die Energie des Zündfunkens nicht ausreicht, um die Verbrennung von Gemischen mit hohem Luftüberschuß in Gang zu bringen. Gelingt es, die Zündenergie wesentlich zu steigern, so entsteht eine Arbeitsweise, die die Vorteile des Otto-Verfahrens mit denen des Diesel-Verfahrens vereint. Das Verfahren, nach dem dies möglich ist, wurde Otto-Diesel-Verfahren genannt. Es arbeitet folgendermaßen:

Spritzt man bei einem Dieselmotor den Kraftstoff nicht in Luft ein, sondern in ein nach dem Otto-Verfahren hergestelltes Kraftstoff-Luft-Gemisch, so ist es möglich, mehr Kraftstoff in der Luft zu verbrennen, als dies nach dem Diesel-Verfahren möglich ist. Der Nachteil des geringen Arbeitsdruckes des Diesel-Motors wird dadurch vermieden.

Entzündet man bei einem Otto-Motor das verdichtete Kraftstoff-Luft-Gemisch nicht mit einem energiearmen Zündfunken, sondern durch die Entflammung eingespritzten Dieselöls, so ist es auch bei sehr armen Kraftstoff-Luft-Gemischen möglich, die Verbrennung einzuleiten. Der Nachteil des Otto-Motors, keine ausschließliche Gemischregelung zuzulassen, wird dadurch vermieden und gute Wirtschaftlichkeit bei geringen Belastungen erzielt. Außerdem werden die gegen Rückstände der Antiklopfmittel empfindlichen Zündkerzen vermieden. Dieser Vorteil ist sehr groß, denn bekanntlich sind Kerzen immer noch Verbrauchs-Gegenstände und keine Bauteile, die sie eigentlich sein sollten.

Da der übliche hohe Verdichtungsgrad des Diesel-Motors keinen wirtschaftlichen Vorteil bietet und an die Klopffestigkeit des gleichzeitig angewandten Otto-Kraftstoffes zu hohe Anforderungen stellt, muß beim Otto-Diesel-Motor ein

Verdichtungsverhältnis von etwa 1/8, verwendet werden. Die Zündwilligkeit des Zündöles muß über der des Cetans liegen, also wesentlich größer sein als die der üblichen Diesel-Kraftstoffe.

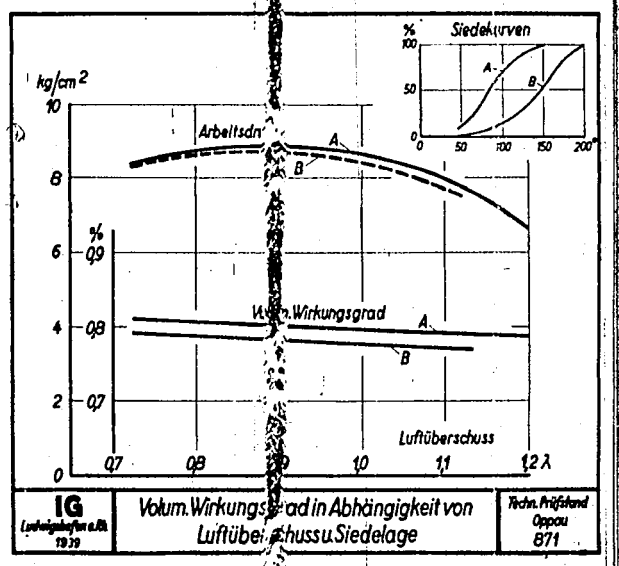
Die Regelung des Otto-Diesel-Motors findet derart statt, daß der Leerlauf vom Zündöl allein bestritten wird, wobei der Motor reine Luft ohne Drosselung ansaugt. Soll der Motor Leistung abgeben, so werden der Luft steigende Mengen von Otto-Kraftstoff zugesetzt.

2.) Vorversuche.

Abb.5 auf Blatt 3 stellt den ersten Versuch mit einem Otto-Diesel-Motor dar. Es ist hier dargestellt, wie sich Arbeitsdruck, Verbrauch und Zündverzug bei verschiedenem Luftüberschuß verhalten. Man erkennt, daß der Arbeitsdruck des Otto-Motors noch nicht erreicht wurde, daß aber eine Regelung lediglich durch Bemessen der Kraftstoffmenge möglich war. Während der Otto-Motor schon bei $\lambda = 1{,}3$ aussetzte, konnte der Otto-Diesel-Motor bis $\lambda = 4$ einwandfrei betrieben werden. Die noch mangelhafte Leistung des Otto-Diesel-Motors liegt in der Unvollkommenheit der angewandten Mittel, so daß der Anteil des Diesel-Kraftstoffes etwa 1/3 des gesamten Kraftstoffes betrug. Diese große Dieselölmenge kam nicht vollkommen mit dem ihr zugehörigen Sauerstoff in Berührung, verbrannte also unvollkommen und verursachte so den Hauptteil des Leistungsverlustes.

Die große Ölmenge wirkt sich auch in einer Verminderung der angesaugten Luftmenge aus, die von der Temperaturerniedrigung der Ladung durch Verdampfen des leichtsiedenden Otto-Kraftstoffes abhängt. Bild 871 zeigt beispielsweise, daß der volumetrische Wirkungsgrad eines Otto-Motors sinkt, sobald ein schwersiedender Kraftstoff verwendet wird. Dies erklärt ebenfalls die Minderleistung, denn bei den ersten Versuchen mit dem Otto-Diesel-Motor war die Luftmenge 4 % geringer als beim Otto-Motor.

Selbst dieser erste unvollkommene Versuch zeigt jedoch, daß mit dem neuen Arbeitsverfahren im Teillast-Gebiet erhebliche Ersparnisse gegenüber dem Otto-Motor erzielt werden können (Abb.6). Während bei geringen Lasten der Otto-Motor zur ungünstigen Drosselregelung übergehen muß, arbeitet der Otto-Diesel-Motor mit Gemischregelung



und hat so z.B. bei 1/3 Last einen um 25 % geringeren Verbrauch. Die Werte wurden aus Abb.2 und 5 entnommen. Der Versuch wurde wiederholt unter Benutzung eines besseren Zündöles und einer geeigneteren Einspritzdüse. Die Höchstleistung des Otto-Motors wurde nahezu erreicht. (Abb.7, Blatt 4). Der Verbrauch war bei Höchstleistung noch etwa 5 % zu hoch. Der Anteil des Zündöles konnte wesentlich gesenkt werden. Er betrug bei Vollast etwa 1[illegible] % des Verbrauches an Leichtkraftstoff.

Während beim Dieselmotor der Druckverlauf der einzelnen Arbeitsspiele sich nahezu gleicht, schwanken gemischbetriebene Motoren in ihren Druckverläufen von Spiel zu Spiel erheblich. Der Spitzendruck eines Otto-Motors kann deshalb nur als Mittelwert aus einer großen Zahl von Arbeitsspielen angegeben werden. In Abb.8 sind die so gewonnenen Spitzendrücke von Otto- und Otto-Diesel-Motor vergleichsweise dargestellt. Der etwas höheren Leistung entsprechend sind die Spitzendrücke des Otto-Motors etwas höher als die des Otto-Diesel-Motors. Grundsätzlich wird man sagen können, daß der Otto-Diesel-Motor im Gegensatz zum Diesel-Motor keinerlei Schwierigkeiten in dieser Richtung bereiten wird.

3.) Der Zündverzug.

a) Einfluß der Leistung auf den Zündverzug.

Der Zündverzug nimmt mit steigender Belastung der Maschine zu. Die Ursache liegt darin, daß für die zunehmende Menge des Leichtkraftstoffes Verdampfungswärme aufgebracht werden muß. Die Folge ist eine Senkung der Temperatur am Verdichtungsende und daher eine Zunahme der Aufbereitungszeit, also des Zündverzuges (Abb.8, Blatt 4). Bei diesen Versuchen wurden das Zündöl so eingespritzt daß der Druckanstieg im Totpunkt erfolgt. Spätere Versuche (vgl.Absatz 8b) ergaben, daß dies nicht unter allen Bedingungen vorteilhaft ist. Bei armen Gemischen, die langsam brennen, ergibt ein zeitiges Einspritzen höhere Leistung. Da zeitigeres Einspritzen niedere Temperaturen im Zylinder vorfindet, steigt der Zündverzug. Der Voreinspritzwinkel bleibt also praktisch nicht nur von der Leistung unberührt, sondern er nimmt mit abnehmender Leistung sogar zu.

b) Einfluß der Lufttemperatur auf den Zündverzug und das Anlaßverhalten.

Die Versuche werden im allgemeinen mit einer Lufttemperatur von 80° C durchgeführt. Abb.9 auf Blatt 5 zeigt, daß der Zündverzug (Druckanstieg o.T.) mit abnehmender Lufttemperatur zunimmt. So wächst z.B. der Zündverzug um 10°, wenn die Lufttempe-

ratur von 80° auf 45° gesenkt wird. Das vom Motor angesaugte Luftgewicht wächst mit abnehmender Lufttemperatur und deshalb steigt der Arbeitsdruck. Die Temperatur von 80° kann für überladene Motoren als normal angesehen werden. Bei starker Überladung treten Temperaturen von 100°C auf, die eine Verminderung des Zündverzuges zur Folge haben. Trotzdem muß nach möglichst hochwertigen Zündölen gesucht werden, um von der Ladelufttemperatur weitgehend unabhängig zu sein.

Der große Zündverzug bei niederen Temperaturen ist nicht gleichbedeutend mit Unmöglichkeit des Anlassens. Beim Anlassen ist zwar die Temperatur der Luft niedrig, der kühlende Einfluß des Leichtkraftstoffes fehlt jedoch, so daß es beispielsweise bei 20° Raumtemperatur keinerlei Schwierigkeit bereitet, lediglich mit Zündöl den Motor in Gang zu setzen.

c) Einfluß des Verdichtungsverhältnisses auf den Zündverzug.

Der Einfluß des Verdichtungsverhältnisses auf den Zündverzug ist sehr stark. So wächst der Zündverzug beispielsweise auf das Doppelte, wenn die Verdichtung von 1:8 auf 1:7,5 vermindert wird (Abb.10). Umgekehrt ist eine wesentliche Verbesserung zu erwarten, wenn die Verdichtung etwa auf 1:8,5 erhöht wird. Entscheidend ist hierbei die Klopffestigkeit des Otto-Kraftstoffes.

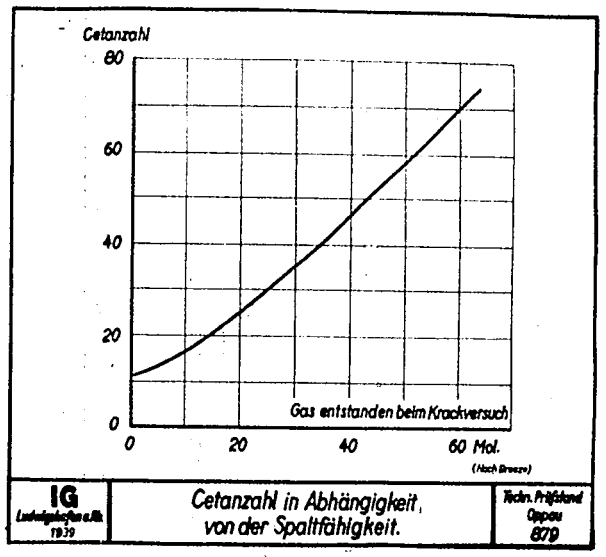
Stellt man die Zündverzüge abhängig von der Lufttemperatur und vom Verdichtungsverhältnis dar in ihrer gemeinsamen Abhängigkeit von der Temperatur am Verdichtungsende (Abb.10 rechts), so erkennt man, daß offenbar nicht diese Endtemperatur allein maßgebend ist, sondern viel mehr der Druck, d.h. die Sauerstoff-Konzentration Menge/ltr. Hieraus kann abgeleitet werden, daß die Zündverzüge mit zunehmendem Ladedruck abnehmen werden. (Durch weitere Versuche bestätigt).

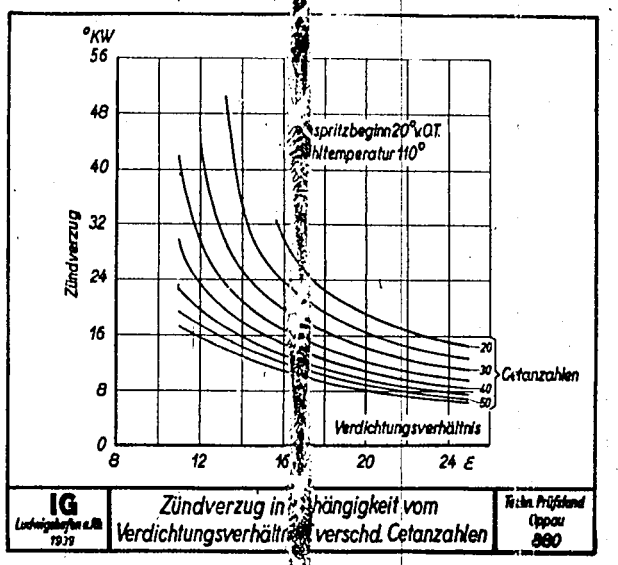
4.) Eigenschaften des Zündöles.

a) Allgemeines.

Der Entzündung eines Dieselkraftstoffes geht eine Aufbereitungszeit voraus. Hierbei findet eine langsam verlaufende Umsetzung statt, die z.T. ohne Gegenwart von Sauerstoff vor sich geht, also ein Kracken darstellt. Soweit die Moleküle mit Sauerstoff in Berührung kommen, tritt auch Oxydation und auch Peroxydbildung ein. Die Produkte ändern sich mit einer durch Druck und Temperatur bedingten Geschwindigkeit, wobei mit zunehmender Wärmeabgabe schließlich Verbrennung eintritt. Dieser Zündverzug ist umso größer, je geringer die Neigung des

Kraftstoffes zum Spalten ist. Paraffine mit geraden Ketten zerfallen leicht, Naphtene und Aromaten schwer. Die Zündwilligkeit eines Kraftstoffes, gemessen in Cetanzahlen, ist nach B r o o s o deshalb verhältig der Krackzahl, Bild 879.





Der Zündverzug soll klein sein, damit die Verbrennung bereits während der Verteilung des Kraftstoffes mit der Luft stattfindet. Ist der Zündverzug groß, so findet bereits vor der Zündung eine zu vollkommene Vermischung mit der Luft statt und die Verbrennung verläuft als Raumexplosion, also hart. Die hochverdichtenden Diesel-Motoren benötigen Kraftstoffe mit Cetanzahlen von 50-40, je nachdem mit unmittelbarer Einspritzung oder mit zündfördernden Vorkammern gearbeitet wird.

Der Zündverzug wächst mit abnehmendem Verdichtungsverhältnis, da hierbei die Verdichtungsendtemperatur sinkt (Bild 880). Soll, wie beim Otto-Diesel-Motor, mit niederem Verdichtungsverhältnis gearbeitet werden, so sind sehr zündwillige Stoffe nötig.

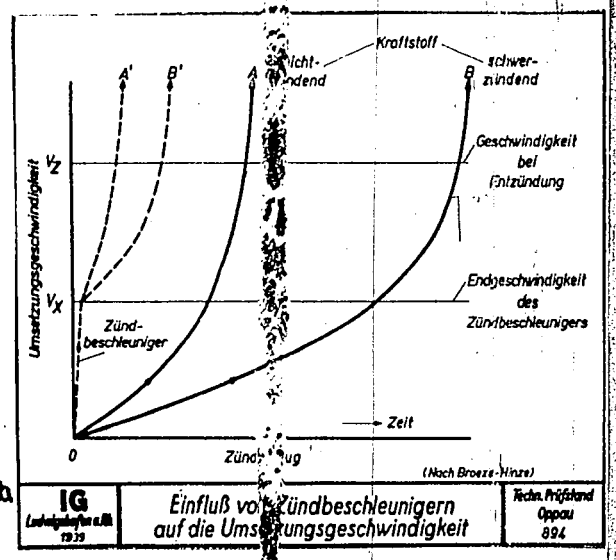
Die Umsetzungen, die während des Zündverzuges vor sich gehen, folgen in ihrer Geschwindigkeit nach S e m e n o f f dem Ausdruck:

$$v = A\,(e^{\varphi t} - k)$$

Die Geschwindigkeit "v" nimmt also exponentiell mit der Zeit "t" zu. Die übrigen Festwerte hängen vom Aufbau des Moleküls, vom Druck und der Temperatur ab.

Auf dem Schema (Bild 894) sind als Beispiel zwei Stoffe dargestellt, von denen "A" leicht, "B" schwerer entzündlich ist, also eine längere Aufbereitungszeit benötigt. Die Geschwindigkeit der Umsetzung nimmt zunächst langsam, dann

schnell zu, um schließlich beim Wert v_g in Entflammung überzugehen. Die entsprechende Zeit ist der Zündverzug. Offensichtlich kann der Zündverzug am wirksamsten dann verkürzt werden, wenn es gelingt, den langsamen Anlauf der Umsetzung zu beschleunigen. Man kann dies durch den Zusatz von Stoffen sehr großer Zerfallsgeschwindigkeit bewirken. Die Umsetzung wird dadurch zunächst weitgehend durch diesen Zusatz beherrscht. Die Geschwindigkeit nimmt sehr rasch zu, und zwar solange, als Zusatz verfügbar ist. Der Endwert der Beschleuniger-Umsatzgeschwindigkeit sei mit v_x bezeichnet. Die Geschwindigkeit folgt weiterhin den Eigenschaften des eigentlichen Kraftstoffes. Die Geschwindigkeitsverläufe der versetzten Kraftstoffe sind mit "A" bezw. "B" bezeichnet. Da sich die Kurven "A" und "B" im ersten Teil mehr unterscheiden als im letzten, so ist es einleuchtend, daß die Wirkung des Zusatzes auf den schlechtesten Kraftstoff "B" stärker ist als auf "A", und daß eine Steigerung des Zusatzes sich bei "B" stärker auswirkt als auf "A". Diese Vorstellung wird durch die Beobachtung bestätigt.



Die wesentlichste Aufgabe bei der Entwicklung des Otto-Diesel-Motors besteht also darin, Zündöle möglichst großer Zündwilligkeit zu suchen und diese mit möglichst wirksamen Beschleunigern zu versetzen.+)

Als zündwillige Grundöle kommen zunächst Stoffe der Paraffinreihe in Frage, die bekanntlich umso zündwilliger sind, je höher das Molekulargewicht ist, womit zugleich auch der Schmelzpunkt steigt. Hierdurch ist die praktische Verwertbarkeit begrenzt. Die Frage der Verzweigungen ist noch zu klären, denn es ist wohl möglich, daß bei großen Molekülen Verzweigungen bei besonderer Lage die Zündwilligkeit nicht beeinträchtigen. Es soll hier darauf hingewiesen werden, daß die wahrscheinlich stark verzweigten Polymere des Isobutylens (TZ 900) im Diesel-Motor wohl verwendbar sind. Von den normalen Paraffinen sind Cetan und Ceten die bekanntesten, obgleich sie in größeren Mengen nicht hergestellt werden.

-13-

+) Der Verfasser ist den Herren Dr.Andrussow und Dr.Roth für ihre bereits recht erfolgreichen Arbeiten auf diesem Gebiet zu großem Dank verpflichtet

	Ceten	Ceten	CO-Hydr.Öl
Formel	$C_{16}H_{34}$	$C_{16}H_{32}$	-
Spez.Gew.b.20°	0,775	0,783	0,762
Siedepunkt °C	282-297	280-295	200-315
Anilinpunkt °C	94,2	73,2	86,6
Flammpunkt °C	136	129	70
Brennpunkt °C	161	156	102
Heizwert kcal/kg	10 400	10 400	10 460
Zündpunkt (O_2)°C	230	238	240
Kriet.Beginn °C	+ 16	- 2,5	- 13
Stockpunkt °C			- 16
Zähigkeit b.20° cst.	4,5	4,1	2,9
b.50° cst.	2,4		
Cetenzahl	100	87	90

Als Grundöle sind am leichtesten zugängig die Öle der CO-Hydrierung. Die Daten eines Beispiels sind in der Zahlentafel gleichfalls angegeben. Es besteht wohl die Möglichkeit, aus diesem Ausgangsstoff Cetan in größeren Mengen herzustellen, jedoch ist der Anreiz gering, denn die inzwischen eingeleitete Entwicklung hat gezeigt, daß das Otto-Diesel-Verfahren keineswegs auf diese Stoffe angewiesen ist. Es wurden bereits andere und wahrscheinlich nicht schwer zu gängige Stoffe gefunden, die dem Cetan an Zündwilligkeit und sonstigen Eigenschaften nicht nur gleichwertig, sondern weit überlegen sind. Bei den hier beschriebenen Versuchen wurde allerdings noch meist mit CO-Öl und Cetan gearbeitet.

Von Grundölen und Zusätzen sind folgende Eigenschaften zu fördern:

1.) Beständigkeit bei normalen Temperaturen,
2.) Hohe Zündwilligkeit,
3.) Hoher Siedepunkt,
4.) Tiefer Schmelzpunkt,
5.) Gute Löslichkeit der Zusätze bei tiefen Temperaturen,
6.) Kein Angriff auf Werkstoffe.

b) Nitroverbindungen.

Nitroverbindungen der verschiedensten Art werden als Zündbeschleuniger vorgeschlagen, beispielsweise folgende:

Bezeichnung:	Formel	spez. Gew.	Siedepunkt °C	Schmelzpunkt °C	Sauerstoff: %
Amylnitrit	$C_5H_{11}ONO$	0,872	99		27
Amylnitrat	$C_5H_{11}ONO_2$	0,996	148		36
Nitromethan	CH_3NO_2	1,13	102		53
Tetranitromethan	$C(NO_2)_4$	1,65	126	+ 13	65
Nitroäthan	$C_2H_5NO_2$	1,05	114		43
Nitroäthylen	CH_2CHNO_2	1,07	99		44
Äthylnitrat	$C_2H_5ONO_2$	1,11	88	- 112	53

Die Nitrite und Nitrate sind am leichtesten zugänglich. Amylnitrat, bei den Versuchen als Zusatz "B" bezeichnet, ist wegen seines hohen Siedepunktes zu bevorzugen. Versuche hatten gezeigt, daß es ebenso wirksam ist wie Äthylnitrat woraus hervorgeht, daß auch der Aufbau des Moleküls und nicht nur der Sauerstoffgehalt maßgebend ist. Die übrigen Verbindungen werden wohl verschiedentlich als Zusatzstoffe zu Dieselöl und als Kraftstoff für Raketen genannt, ihre Herstellung ist jedoch schwierig.

Bevor andere Stoffe zur Verfügung standen, wurden durch Zusatz von Amylnitrat zu CO-Öl folgende Zündöle hergestellt:

	Flammpunkt °C	Brennpunkt °C	Selbstzündungspunkt °C	Cetanzahl
CO-Öl + 0 % B	87	96	243	92
2 %	77	83	238	111
4 %	75	82	235	120
6 %	70	75	229	128
10 %	65	65	225	140

Man erkennt, daß der Flamm- und Brennpunkt durch den Zusatz merklich vermindert wird. Die Zündwilligkeit ist als Cetanzahl angegeben, wobei graphisch über den Wert 100 extrapoliert wurde. Es wurde dies für den Otto-Diesel notwendig, da die erforderlichen Zündwilligkeiten über 100 Cetan liegen. Die Cetanzahl verschiedener Öle mit Amylnitrat-Zusätzen ist in Blatt 6, Abb.11, dargestellt.

Wie Abb.12 (Blatt 7) zeigt, entspricht die Untersuchung im Flugmotorenzylinder den Ergebnissen bei der Cetanzahl-Bestimmung im I.G.-Prüfdiesel, wie dies zu erwarten war. Es wurden Zündölmengen von 10 % (bezogen auf den Otto-Kraftstoff) und weniger angewandt. Dabei zeigte sich, daß die zündwilligsten Stoffe nicht nur die kleinsten Zündverzüge ergaben, sondern auch bei den kleinsten eingespritzten Mengen eine sichere Zündung einleiteten. Die bei der Zersetzung dieser Öle auftretende Temperatursteigerung ist also größer als bei

den weniger zündwilligen, bei denen eine größere Menge angewandt werden mußte um die Zündung zu sichern. Die Zündverzüge sinken mit zunehmender eingespritzter Menge. Bei großen Einspritzmengen scheinen sich die Öle wenig voneinander zu unterscheiden, weil dann offenbar auch die Öle mit geringem Gehalt an Amylnitrat die nötige Gesamtmenge dieses Stoffes liefern.

c) Nitrierte Stoffe.

Es ist bekannt, daß man die Zündwilligkeit von aromatischen Stoffen, wie z.B. Kohlenstaub oder Steinkohlenteeröl, durch Anlagern von NO_2 steigern kann. Nachteilig ist hierbei, daß sauerstoffhaltige Körper von harziger Beschaffenheit entstehen, die Störungen in den Einspritzdüsen verursachen.

Im vorliegenden Fall handelt es sich nun darum, die besten bekannten Stoffe, wie das aus hochwertigen Paraffinen bestehende CO-Hydrieröl zu verbessern. Es zeigte sich sehr bald, daß wohl eine merkliche Verbesserung des CO-Öles durch Nitrieren zu erzielen war, daß diese Wirkung jedoch nicht genügend war. Die Zündwilligkeit des Cetans wurde kaum erreicht.

Durch Nitrieren von Ceten wurde dagegen ein erheblicher Fortschritt erzielt. Die Wirkung dieses Stoffes entsprach der des Cetans mit einem Zusatz von 6 % Amylnitrat. Dieser als Z 14 bezeichnete Stoff hat folgende Eigenschaften:

Spez.Gewicht	0,9
Stockpunkt	- 2°
Cetanzahl	1
Zündpunkt	26 °C
Zähigkeit	31 cSt/20°
Wasserlöslichkeit	~ 0

Z 14 ist ein ziemlich einheitlicher Körper.

Wie viele Nitrokörper, so hat auch Z 14 die Eigenschaft, schwach zu korrodieren. Es bedeutet dies keineswegs einen entscheidenden Nachteil, denn es besteht sehr wohl die Möglichkeit, Schutzstoffe zu finden.

d) Peroxyde.

Über den Aufbau der Peroxyde, die als Zündbeschleuniger bekannt sind, stehen nur wenig Angaben zur Verfügung. Auch die physikalischen Daten sind nur von Stoffen geringer Wirksamkeit bekannt, da die aktiven Vertreter dieser Gruppe wegen ihres sprengstoffartigen Verhaltens schwer zu handhaben sind. Eine nachteilige Eigenschaft der meisten Peroxyde ist ihre geringe Beständigkeit.

Als Beispiel der Peroxyde soll hier das Acetonperoxyd erwähnt werden, das vom Shell-Laboratorium in Delft als Zusatz zu Dieselöl entwickelt wurde. Sein

besonderer Vorzug ist seine einfache Herstellungsweise aus Aceton und Wasserstoffsuperoxyd. Es kann bei einiger Vorsicht auch rein dargestellt werden und erweist sich dann als ein kristalliner reib- und stoßempfindlicher Stoff. Seine Struktur ist strittig. Vermutlich handelt es sich um Tri-Acetonperoxyd mit der Formel $(C_3H_6O_2)_3$. Sein Schmelzpunkt wird mit 19[illegible] angegeben. Als fester Körper hat dieses Peroxyd den Vorteil geringen Dampfdruckes, also der physikalischen Beständigkeit in Lösungen.

Nachteilig ist, daß es nur in geringen Mengen von etwa 3-4 % in Ölen gelöst werden kann. Um auch beim Abkühlen ein Ausfallen zu vermeiden, wird es dem Dieselöl nur in Mengen von höchstens 1 % zugefügt. Es vermag deshalb nur im Bereich niederer Zündwilligkeiten eine merkliche Wirkung auszuüben.

Für den Otto-Diesel kommt es deshalb kaum in Frage. Die Entwicklung läßt aber bereits jetzt schon erkennen, daß geeignetere Stoffe dieser Art hergestellt werden können. So wurde ein verhältnismäßig leicht herstellbares Peroxyd mit guten allgemeinen Eigenschaften gefunden.

5.) Der Zündstrahl.

Der Otto-Diesel-Motor unterscheidet sich vom Dieselmotor dadurch, daß das zündwillige Öl nicht in reine Luft, sondern in ein Kraftstoff-Luft-Gemisch eingespritzt wird. Es ist einleuchtend, daß das Ideal der Vielfunkenzündung dann erreicht werden würde, wenn es gelänge, den Diesel-Kraftstoff überall dahin zu bringen, wo sich noch nicht vom Leichtkraftstoff besetzte Sauerstoffmoleküle befinden. Es scheitert dies an der Unmöglichkeit, kleine Ölmengen über den gesamten Verbrennungsraum zu verteilen. Die Lösung dieses Problems wäre gleichbedeutend mit der Erfindung des Höchleistungs-Dieselmotors.

Es muß vielmehr damit gerechnet werden, daß nur einige Tröpfchen Zündöl den nötigen Sauerstoff finden und der Rest unvollkommen verbrennt. Die Menge des Zündöls muß deshalb möglichst klein sein. Der Strahl muß aber immerhin möglichst tief in das Otto-Gemisch eindringen, um die Wahrscheinlichkeit der Sauerstoff-Zuordnung zu vergrößern, also nur wenig zerstäuben.

Auf Abb.15 (Blatt 7) sind Arbeitsdrücke und Zündverzüge für verschiedene Düsen dargestellt, und zwar wiederum in Abhängigkeit von der Zündölmenge. Die Ausbildung der Strahlen, die diese Düsen liefern, ist aus den Lichtbildern auf Blatt 8 zu ersehen. Es sind dort auch Druckdiagramme des Zylinders und der Zündölleitung dargestellt.

Die ungünstigen Ergebnisse in Bezug auf Arbeitsdruck und Zündverzug lieferte die Boschdüse DE 40 n 60 M 5. Diese Düse, die für die Zerstäubung des Otto-Kraftstoffes bestimmt ist, liefert offenbar eine zu feine Vernebelung, sodaß die Tröpfchen durch den Otto-Kraftstoff zu sehr abgekühlt und dadurch in

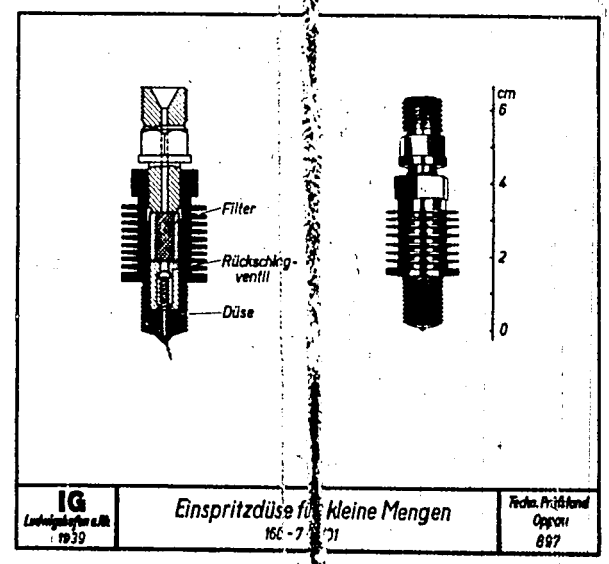
ihrer Aufbereitung gestört werden. Sehr günstig verhielt sich die Boschdüse DLL 20 S V 2099, die einen einzigen Strahl mit geringem Kegelwinkel abgibt. Ungünstiger ist die entsprechende Dreiloch-Düse Bosch DLL 20 SV 2?0?, die bei gleicher Liefermenge notwendigerweise eine geringe Eindringtiefe besitzt. Nahezu so gut wie die Bosch-Einlochdüse war eine selbst hergestellte offene Lochdüse, während eine auf bessere Vermebelung gebaute Prall-Düse schlechter arbeitete.

Die offenen Lochdüsen, die, abgesehen von einem vorgeschalteten Rückschlagventil, keine beweglichen Teile besitzen, haben sich bisher im Betrieb besser bewährt als die geschlossenen Düsen, obgleich das Einspritzende weniger genau erfolgt, wie die Schwingungen des Druckes erkennen lassen, die sehr lange anhalten. In den geschlossenen Düsen befindet sich eine eingeschliffene Düsennadel, die zwar einen genauen Abschluß am Einspritzende bewirkt, aber unter den besonderen Bedingungen dieser Versuche leicht hängen bleibt. Der Druckschrieb der DLLS-Düse zeigt deshalb Schwingungen, die auf Nachspritzen hindeuten.

Der Grund für das Versagen ist in den sehr kleinen Mengen zu suchen, die als Zündöl eingespritzt werden. Bei den Versuchen betrugen die Mengen beispielsweise:

Otto-Kraftstoff 14 ltr/h, entsprechend 292 mm³ je Hub,
Diesel-Kraftstoff 0,4 " , " 8,3 " " " .

Die Düse für den Diesel-Kraftstoff wird also im Gegensatz zu der Otto-Einspritzdüse kaum durch den Kraftstoff gekühlt, so daß Überhitzung eintritt. Der Düsenhalter wurde deshalb mit Kühlrippen versehen.
Bild 897. Die Aufgabe besteht also darin, Düsen mit sehr guter Kühlung zu entwickeln. Eine weitere Aufgabe besteht in der Entwicklung von Pumpen, die die Beherrschung so kleiner Mengen gestatten. Bei den Versuchen wurde ein Kolben von 5 mm verwendet; der wirksame Hub betrug hierbei etwa 1 mm. Die Regelung ist dadurch sehr erschwert.



Bei der weiteren Entwicklung sollte auch die Anwendung von Vorkammern

nicht außeracht gelassen werden, da hierdurch vielleicht die Anwendung niederer Verdichtungsverhältnisse ermöglicht wird.

6.) Gemischbildung.

a) Die Gemischbildung im Otto-Motor.

Der Otto-Motor üblicher Betriebsweise bildet sein Gemisch während der Dauer von 2 Hüben des Kolbens. Der Kraftstoff wird zu Beginn des Saughubes eingespritzt und es stehen ihm Saug- und Verdichtungshub zur Verdampfung zur Verfügung. Obgleich der wärmeerzeugende Verdichtungshub für die Verdampfung besonders günstig ist, kann auf den Zeiteinfluß des Saughubes nicht verzichtet werden; auch ist die Wirbelbildung der einströmenden Luft für die Verteilung günstig. Ändert man bei einem Otto-Motor die Lage des Einspritzbeginns (Blatt 9, Abb.15) so findet man, daß sich die Gemischbildung wesentlich verschlechtert, wenn später als 100° nach oberem Totpunkt einspritzt. Die Folge ist starker Leistungsabfall und Aussetzen.

b) Die Gemischbildung im Otto-Diesel-Motor.

Infolge seiner an vielen Orten einsetzenden Zündung verhält sich der Otto-Diesel-Motor gegen die Güte der Gemischbildung wesentlich unempfindlicher. Ein Leistungsabfall tritt erst ein, wenn nach unterem Totpunkt eingespritzt wird. (Blatt 9, Abb.15 u.16). Der Motor setzt dann zwar aus, erholt sich jedoch wieder bei 270°, um dann endgültig abzufallen. Diese Erhebung ist offenbar einem günstigen Zustand der Wirbel zuzuschreiben, denn sie tritt nicht bei allen Zylinderbauarten auf. Der Zündverzug ist in diesem Gebiet natürlich geringer. Bei späterer Einspritzung steigt er wieder an, offenbar weil die Gemischbildung infolge der zu kurzen Zeit sehr unvollkommen ist und das Durchbrennen langsamer erfolgt.

Die Unempfindlichkeit des Otto-Diesel-Motors gegen die Güte der Gemischbildung ist sehr wesentlich für die Verwendung von Sicherheitskraftstoffen. Diese hochsiedenden Kraftstoffe können bei Saughub-Einspritzung mit nur sehr schlechtem Wirkungsgrad verwandet werden, da sich der eingespritzte Kraftstoff an den Zylinderwänden niederschlägt, für die Verbrennung verlorengeht und das Schmieröl verdirbt. Bei Späteinspritzung dagegen liegen, wie der eingetragene Verlauf der Verdichtungsendtemperatur zeigt, die Verhältnisse für die Verdampfung günstig und der mangelhaften Gemischbildung wird durch die gründlichere Zündung des Otto-Diesel-Verfahrens entgegengearbeitet.

7.) Sicherheitskraftstoffe in Otto-Diesel-Motor.

Nachdem, wie beschrieben, die Verhältnisse der Gemischbildung an einem BMW VI-Zylinder untersucht worden waren, wurden Versuche mit Sicherheitskraftstoffen an einem BMW 132 F-Motor durchgeführt. Die Unempfindlichkeit gegen die Lage des Einspritzzeitpunktes ist hier noch größer, da dieser Zylinder anscheinend wesentlich günstigere Gemischführung (Wirbelung) besitzt als der wassergekühlte Zylinder älterer Bauart.

Folgende Stoffe wurden untersucht:

CV 2 b Steinkohle-Benzin — Siedelage: 10 % bei 82°, 90 % bei 147°C
Diäthylbenzol — 10 % " 164°, 90 % " 177°C
ET 200 Dodekan techn. — 10 % " 167°, 90 % " 184°C
TZ 900 Zähigkeit 2 E° bei 100°C — Zersetzung oberhalb 250°.

Wie in Abb.17 auf Blatt 10 dargestellt, setzt wohl der Leistungsabfall für den Leichtkraftstoff CV 2 b schon vor unterem Totpunkt ein, die Aussetzerlücke ist jedoch weniger ausgeprägt und die hier bei 240° liegende Erhebung zeigt noch eine ansehnliche Leistung.

Diäthylbenzol verhält sich nahezu gleich, allerdings war eine Aussetzerlücke bemerkbar. Der zum Vergleich eingetragene Versuch nach dem Otto-Verfahren zeigt Abfall bei 120°.

Auch das schwersiedende ET 200 erzielte dieselben Leistungen wie der Leichtkraftstoff (Abb.18), obgleich die Gemischbildung zweifellos wesentlich schlechter ist.

Ein sehr bemerkenswertes Ergebnis hatte die Wiederholung des Versuches mit größerem Luftüberschuß ($\lambda = 1{,}2$). Dabei zeigte sich bei Früheinspritzung ein ziemlich großer Leistungsunterschied, der bei Späteinspritzung nahezu verschwand (Abb.19). Es ist dies so zu deuten, daß der bei Früheinspritzung sich niederschlagende Kraftstoff bei armem Gemisch zu einer verhältnismäßig größeren zusätzlichen Verarmung führt als beim reichen Gemisch. Bei Späteinspritzung dagegen ist der Niederschlag offensichtlich sehr viel geringer und der Leistungsunterschied deshalb geringer, sicher auch noch deshalb, weil in der heißen Luft des Verdichtungshubes das ärmere Gemisch vollkommener verdampfen kann als das reiche.

Diese Erscheinung tritt in verstärktem Maße bei dem Sicherheitskraftstoff TZ 900 auf (Abb.19). Hier wurden drei verschiedene Kraftstoff-Luft-Verhältnisse untersucht. Bei Früheinspritzung konnten magere Gemische überhaupt nicht gefahren werden, da der Niederschlag zu groß war. Bei Späteinspritzung ergaben die Versuche gleiche Leistung. Offenbar wirkt hier, wie schon beim ET 200 erwähnt,

der Niederschlag des reicheren Gemisches und die vollkommenere Verdampfung des ärmeren Gemisches ausgleichend. Die beste Leistung kam, freilich bei entsprechender Kraftstoffverschwendung durch Niederschlag, mit reichem Gemisch erzielt werden, wenn durch Einspritzung bei etwa 120° genügend lange Zeit zur Gemischbildung gegeben ist.

Die Versuche wurden nun bei verschiedenen Luftüberschußzahlen fortgesetzt (Blatt 11, Abb.20 und 21). Dabei wurde sowohl der Zeitpunkt für die Einspritzung des Otto-Kraftstoffes als auch der für das Zündöl auf den für die Leistung günstigsten Wert eingestellt (Blatt 12, Abb.22).

Es ist zunächst festzustellen, daß die Leistung des Otto-Diesel-Motors mit Leichtkraftstoffen praktisch dieselbe ist wie beim Otto-Motor. Der geringe noch bestehende Unterschied wird sich bei der Weiterentwicklung insbesondere der Zündöldüsen noch beseitigen lassen.

Wie beim vorhergehenden Versuch, so wurde auch hier TZ 900/2 ohne Vorwärmung des Kraftstoffes gefahren. Die Verhältnisse sind schwieriger, als wenn beispielsweise TZ 900/5 bei einer Vorwärmung von 100° verwendet worden wäre, denn ersterer Stoff hat bei ungefähr 30°C eine Zähigkeit von etwa 30°E gegenüber 5°E beim zweiten.

Im Otto-Motor konnte TZ 900/2 nicht gefahren werden, beim Otto-Diesel dagegen war einwandfreier Betrieb möglich, wenngleich Leistung und Verbrauch noch nicht völlig befriedigen (Blatt 11, Abb.20 und 21). Die erzielbare Höchstleistung liegt 10 % tiefer, der dazugehörige Verbrauch 25 % höher als die entsprechenden Werte des Leichtkraftstoffes und auch der geringste erzielbare Verbrauch ist 15 % höher. In Abb.23 (Blatt 12) sind die Verbräuche in Abhängigkeit von der Belastung dargestellt.

Auffällig ist die geringe Neigung der Arbeitsdruck-Kurve, die nahezu geradlinig verläuft. Der Otto-Diesel-Motor läuft bei sehr geringem Luftüberschuß noch einwandfrei. Offensichtlich ist an der Verbrennung nur ein kleiner Teil des eingespritzten Kraftstoffes beteiligt. Der tatsächliche Luftüberschuß ist also größer als der gemessene und der linke Teil der pa-Kurve ist nach rechts verschoben zu denken. Je geringer die Belastung, desto später konnte eingespritzt werden. Bei den hierbei herrschenden hohen Temperaturen im Zylinder war die Gemischaufbereitung gut, sie führte anscheinend bis zum Gas, denn bei sehr armen Gemischen war die Leistung sogar besser als bei Leichtkraftstoff.

Die Versuche zeigen eindeutig, daß das Problem der Sicherheitskraftstof

fe durch Spätein spritzung lösbar ist. Der Hesselman-Motor, der in der Lage ist, auf diese Weise zu arbeiten, krankt an Mängeln der Zündung. Das Otto-Diesel-Verfahren ist geeignet, diesen Mangel zu beseitigen.

B.) Das Klopfverhalten des Otto-Diesel-Motors.

a) Allgemeines.

Der Otto-Diesel-Motor unterscheidet sich in der Art seiner Zündung weitgehend vom Otto-Motor, so daß untersucht werden muß, welche Anforderungen er an die Klopffestigkeit der Kraftstoffe stellt.

Detonation.

Die Umsetzungsgeschwindigkeit eines Kraftstoff-Luft-Gemisches ist umso höher, je höher Druck und Temperatur sind. Entzündet man nun ein Brenngemisch, so wird von der Zündquelle aus eine Flammenfront ausgehen, deren Geschwindigkeit sich zusammensetzt aus der reinen Geschwindigkeit der Flamme, bezogen auf das Gas, und aus der Geschwindigkeit, mit der die Flammenfront infolge des Gemisch durch die Ausdehnung des Verbrannten vorwärts geschoben wird. Durch diese letztere Erscheinung tritt eine Druckerhöhung im Unverbrannten ein, und durch Wärmefluß von der heißen Flamme her steigt die Temperatur. Die Reaktionsgeschwindigkeit nimmt zu und die Flamme schreitet mit ständig steigender Geschwindigkeit aufwärts. Es können so bei entsprechend langer Anlaufstrecke Geschwindigkeiten von 1000-4000 m/sec auftreten.

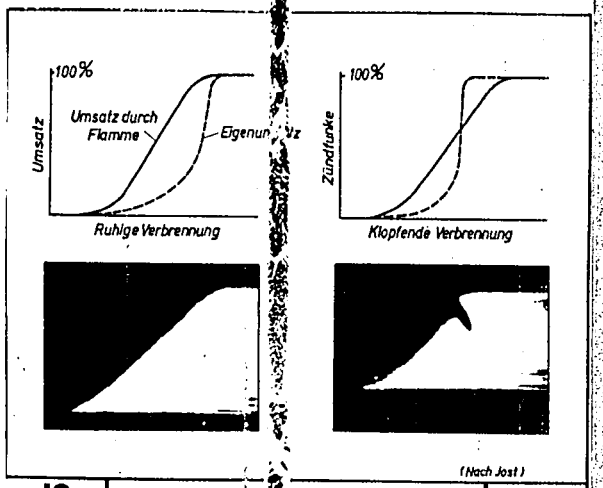
Verbrennung und Klopfen.

Im Motor können sich solche Geschwindigkeiten bei der Kleinheit der Verbrennungsräume nicht bilden, die Flamme pflanzt sich mit etwa 25-50 m/sec fort und für den Ablauf der Verbrennung ist das Verhalten des unverbrannten Gemisches vor der Flammenfront wesentlich.

Die Eigenumsetzung eines auf bestimmte Temperatur gebrachten Gemisches geht, wie im Abschnitt 3 gezeigt, als Exponentialfunktion der Zeit vor sich. Steht genügend lange Zeit zur Verfügung, so wird die Umsetzung so heftig, daß das gesamte Gemisch unter Flammenbildung stoßweise verbrennt und Raumexplosion entsteht. Begünstigt wird diese Eigenumsetzung dadurch, daß im Motor das Gemisch nicht sich selbst überlassen bleibt, sondern von der Flamme her gepreßt und geheizt wird. Entstehen beim Abbau des Kraftstoffes besonders reaktions-

fähige Zwischenglieder, so wird die Umsetzungsgeschwindigkeit erheblich gesteigert.

Nach J o s t kann man sich nun die ruhige Verbrennung so vorstellen, daß die Flammenfront den gesamten Verbrennungsraum durchläuft, bevor das unverbrannte Gemisch Zeit gefunden hat, seine Eigenumsetzung bis zur Explosion zu entwickeln. Bild 896 links. Die ausgezogene Kurve bedeutet den Umsatz durch die Flamme, während die gestrichelte Linie den Eigenumsatz anzeigt, der zu langsam vor sich geht, um die Verbrennung zu beeinflussen. Unter diesen Bedingungen zeigt deshalb die Flammenaufnahme, daß in einem Rohr die Flamme gleichmäßig von unten nach oben fortschreitet.



IG Ludwigshafen a. Rh. 1939 | Verlauf der Verbrennung | Techn. Prüfstand Oppau 696

Klopfen tritt nun ein, wenn, wie im rechten Bild angedeutet, der Eigenumsatz im Raum vor der Flammenfront zu einer Selbstentzündung führt, bevor die Flamme eine allmähliche Entzündung bewirkt. Es entstehen also vor der Flammenfront ein oder auch mehrere Flammenkerne, von denen aus die Verbrennung der Flammenfront entgegenläuft und diese durch den entstehenden Gegendruck scheinbar aufhält oder gar zurückdrückt. Der Grund, weshalb keine Raumexplosion eintritt, liegt darin, daß die Zusammensetzung des unverbrannten Restgases nicht einheitlich ist und auch die Temperaturen nicht gleichmäßig sind. Die Verbrennung des Restgases durch Selbstzündung wird also an einer oder mehreren günstigen Stellen beginnen.

Das Klopfen kann nun vom Kraftstoff her bekämpft werden, beispielsweise dadurch, daß reaktionsträge Stoffe, wie Alkohol oder Benzol, benutzt werden, oder dadurch, daß Zusätze (Antiklopfmittel) beigegeben werden, die aktive Zwischenglieder der Kettenreaktion wegfangen. Vom Motor her kann durch Ausbildung des Verbrennungsraumes dafür gesorgt werden, daß das Restgas gut gekühlt wird, um so die Eigenumsetzung zu hemmen.

Ein weiterer Weg ist in der Anordnung vieler Zündquellen zu suchen. Die Wege der Flammenfronten werden dann so klein und die Verbrennungszeit so kurz, daß keine Selbstzündung größerer Raumteile entstehen kann. Diesen Weg beschreitet der Otto-Diesel-Motor dadurch, daß er einen Diesel-Kraftstoff von

höher Geschwindigkeit der Eigenumsetzung im Verbrennungsraum verteilt, so daß an sehr vielen Stellen Flammenkerne entstehen.

Es muß deshalb erwartet werden, daß der Otto-Diesel-Motor geringere Ansprüche an die Klopffestigkeit der Kraftstoffe stellen wird als der Otto-Motor.

b) Vergleich der Überladefähigkeit des Otto- und des Otto-Diesel-Motors.

Um nun nachzuprüfen, ob zwischen den beiden Arbeitsverfahren tatsächlich ein Unterschied in den Anforderungen an die Klopffestigkeit der Kraftstoffe besteht, wurden die Klopfgrenzen folgender Kraftstoffe nach dem Überlade-Verfahren bestimmt:

Stanavo-Flugbenzin mit 0,06 % Pb	OZ 87
Shell C 1 - Flugbenzin + ET 100 + Pb	OZ 101
CV 2 b-Steinkohlenbenzin (50 % Arom.) + 0,12 % Pb	OZ 93
ET 100 + 0,06 % Pb Isooktan techn. + 0,06 % Pb	OZ 112

Es wurde der Ladedruck bestimmt, bei dem Klopfen eintritt und der dabei erreichte mittlere Arbeitsdruck aufgetragen gegenüber verschiedenen Luftüberschußzahlen.

In Abb.24 und 25 auf Blatt 13 sind die Ergebnisse nach dem Otto-Verfahren dargestellt. Es geht daraus hervor, daß Stanavo die geringste, ET 100 die höchste Klopffestigkeit besitzt. Dazwischen liegt C 1 und CV 2 b, bei dem sich die für aromatische Kraftstoffe bezeichnende hohe Klopffestigkeit bei reichem Gemisch bemerkbar macht.

Beim Otto-Diesel-Verfahren, Abb.26 und 27, Blatt 14, ist wohl die Reihenfolge unverändert, die erreichten Arbeitsdrücke sind jedoch wesentlich höher.

Es kann also festgestellt werden, daß der Otto-Diesel-Motor geringere Anforderungen an die Klopffestigkeit stellt als der Otto-Motor. Es darf jedoch nicht übersehen werden, daß der Otto-Diesel-Motor vorerst bei dem Verdichtungsverhältnis von 1:8 arbeitet und dadurch höhere Anforderungen an den Kraftstoff stellt wie der Otto-Motor, der gewöhnlich 1:6,5 verdichtet. Es gibt jedoch noch keinen Motor, der Kraftstoffe wie C 1, oder die noch klopffesteren Steinkohlenprodukte, wie z.B. CV 2 b ausnutzt. Schließlich ist noch zu beachten, daß es sich hier um erste Versuche handelt, und die Möglichkeit, die Überladbarkeit des Otto-Diesel-Motors noch weiter zu steigern, keinesfalls ausgeschöpft ist.

In Abb.28 (Blatt 15) ist dargestellt, wieviel die Überladbarkeit beim Otto Diesel-Motor höher ist als beim Otto-Motor bei gleicher Verdichtung 1:8. Es zeigt sich dabei, daß die Steigerung bei den vorwiegend paraffinischen Kraft-

stoffen 20-30 % betragen kann, und zwar tritt dies bei Luftüberschußzahlen von 1,7 - 1,2 auf, bei denen der Otto-Motor nur niedere Arbeitsdrücke zuläßt. In sehr viel stärkerem Maße tritt die Steigerung der Überladbarkeit bei dem aromatenreichen Kraftstoff CV 2 b auf, sie beträgt dort 70 % und mehr.

Aus der Darstellung der Zündverzüge in Abb.24 geht hervor, daß der Zündverzug mit zunehmender Überladung kleiner wird. Es ist jedoch nötig, diese Erscheinung getrennt zu untersuchen, denn in dieser Versuchsreihe ändert sich gleichzeitig das Kraftstoff-Luft-Verhältnis und die Art des Kraftstoffes. Nur so ist es wohl zu erklären, daß CV 2b den geringsten Zündverzug aufweist.

Grundsätzlich läßt sich sagen, daß der Otto-Diesel-Motor in seiner Überladbarkeit sehr viel weniger vom Kraftstoff-Luft-Verhältnis abhängig ist, als der Otto-Motor. Für die Anwendung der in dieser Beziehung sehr empfindlichen Aromaten-Kraftstoffe bedeutet dies einen außerordentlichen Vorteil.

Anlagen: 1 Tabelle
15 Schaubilder

Zum Bericht Nr. 394 v. 15.8.39.

Blatt-Nr.	Bild Nr.	Vers. Nr.	Zylinder	Kraftstoff:	Zünd-Öl:	Zündöl-Düse	Luftüberschuß λ	Zündung °C.	
1	1	757	132 F	CV 2 a	–	–	var.	30	Regelg.doh. Luftüberschuß
	2	762	"	"	–	–	1,28	28	Regelung doh. Drosselung.
3	5	757	"	"	–	–	var.	23	Vergleich Otto Motor mit Otto Diesel
		755	"	B 4	CO-Öl	VDZ 6/ 188 B	"	–	
	6	757	"	CV 2 a	–	–	"	28	Otto-Gem.Regel
		762	"	"	–	–	1,28	28	Otto-Dross.-Re
		755	"	B 4	CO-Öl	VDZ 6/ 188 B	var.	–	Otto-Diesel.
4	7,8	805	VI	ET 100 + 0,15 Pb	–	DE 40 N 60 M 5	"	24	Vergleich Otto Motor mit Otto Diesel
		806	"	" "	CO-Öl + 6 % B	–	"	–	
5	9	892	"	CV 2b + ET 100+ 0,03 Pb	CO-Öl + 6 % B	160-3-1089	1,15	–	Einfluß.d.Luft temp.
	10	893	"	" " "	CO-Öl + 10 % B	" " "	1,00	–	Einfl.d.Verd. Verh.Otto-Diesel im Vergl. Otto-Motor
		894	"	" " "	–	–	1,00	–	
7	12	871	"	C 1 + 0,05 Pb	CO-Öl + 4 % B	DE 40 N 60 M 5	1,15	–	Einfl.v.Amylnitrat-Zusatz
		872	"	" "	CO-Öl + 6 % B	" " "	1,15	–	" " "
		873	"	" "	CO-Öl + 10 % B	" " "	1,15	–	" " "
	13	878	"	CV 2 b + ET 100 + 0,03 Pb	CO-Öl + 6 % B	" " "	1,10	–	Versch.Zündöldüsen
		879	"			" " "	1,10	–	" " "
		880	"			" " "	1,10	–	" " "
		881	"			" " "	1,10	–	" " "
9	15,16	858	"	C 1 + 0,04 Pb	–	–	1,04	24	Einfl.d.Einspritzbeginns Otto-Mot.i.Vergleich a.Otto-
		859	"	"	Z 1	DE 40 N 60 M 5	1,01		

Techn. Prüfstand Oppau

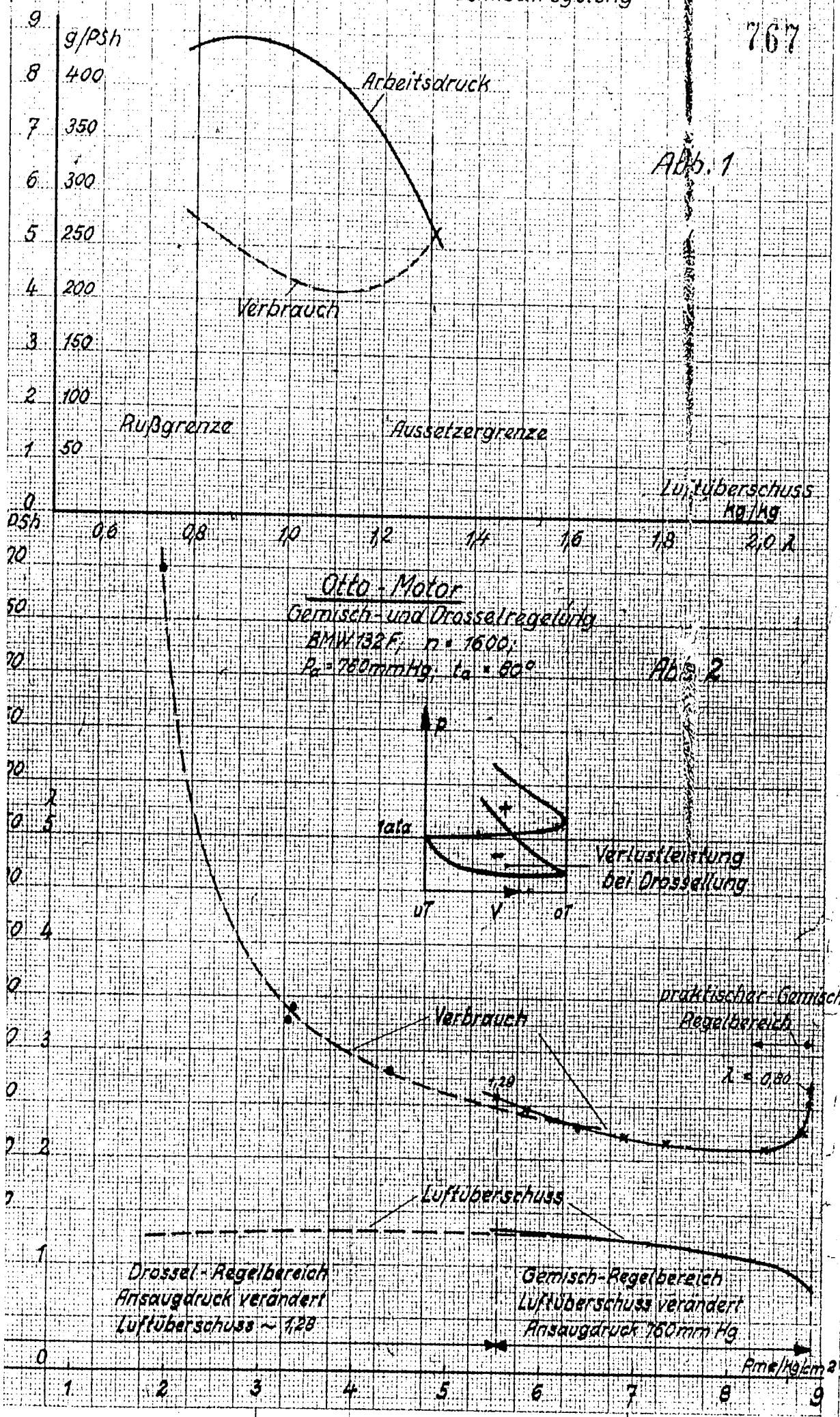
Blatt 1

767

Otto-Motor

Grenzen der Gemischregelung

Abb. 1



Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen am Rhein.	Zum Bericht Nr. 394 vom 15. Aug. 1939.	TPr. S. 388

DIN-Format A 4 (210 x 297 mm)

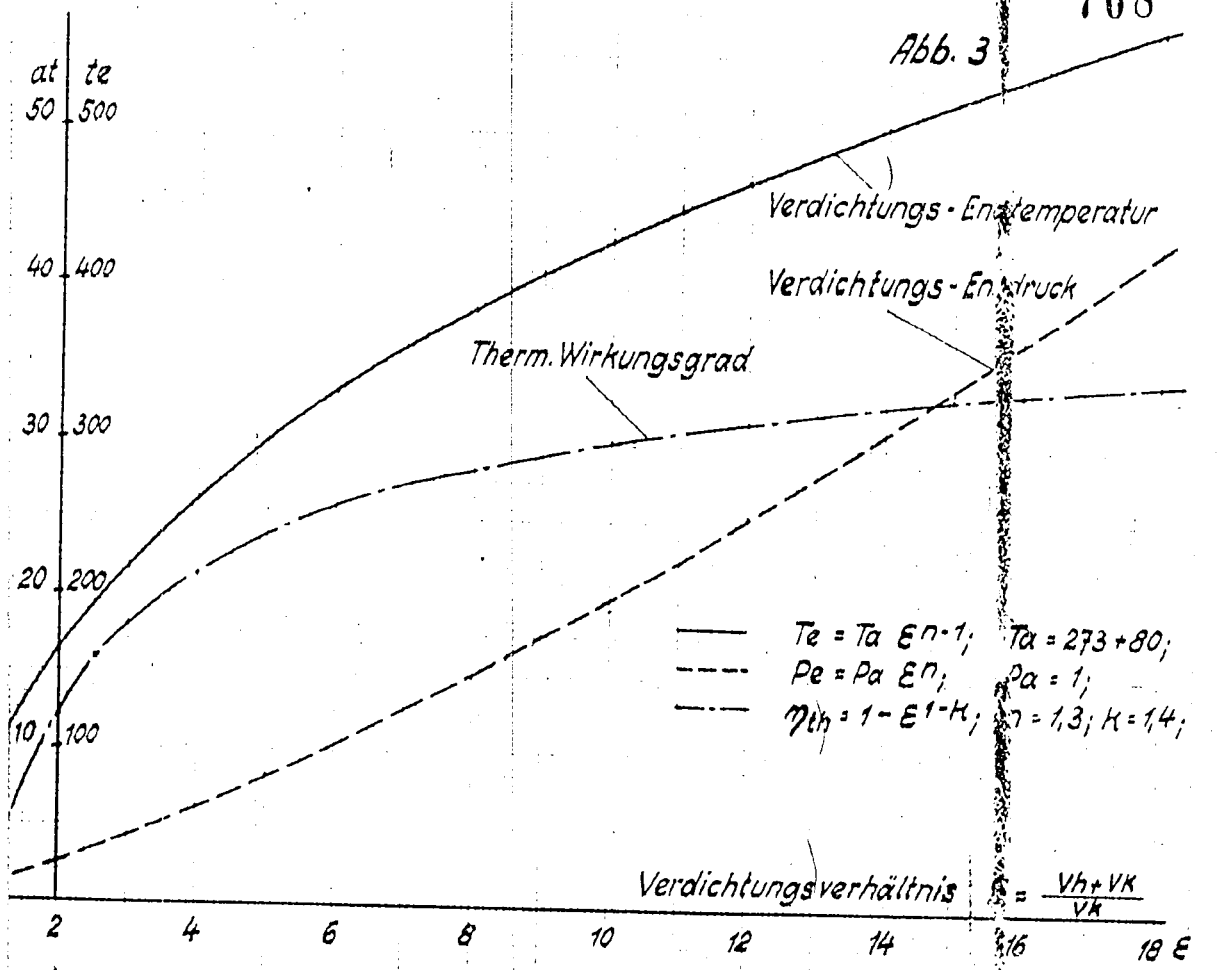
hn. Prüfstand Oppau

Einfluß des Verdichtungsverhältnisses

Blatt 2

768

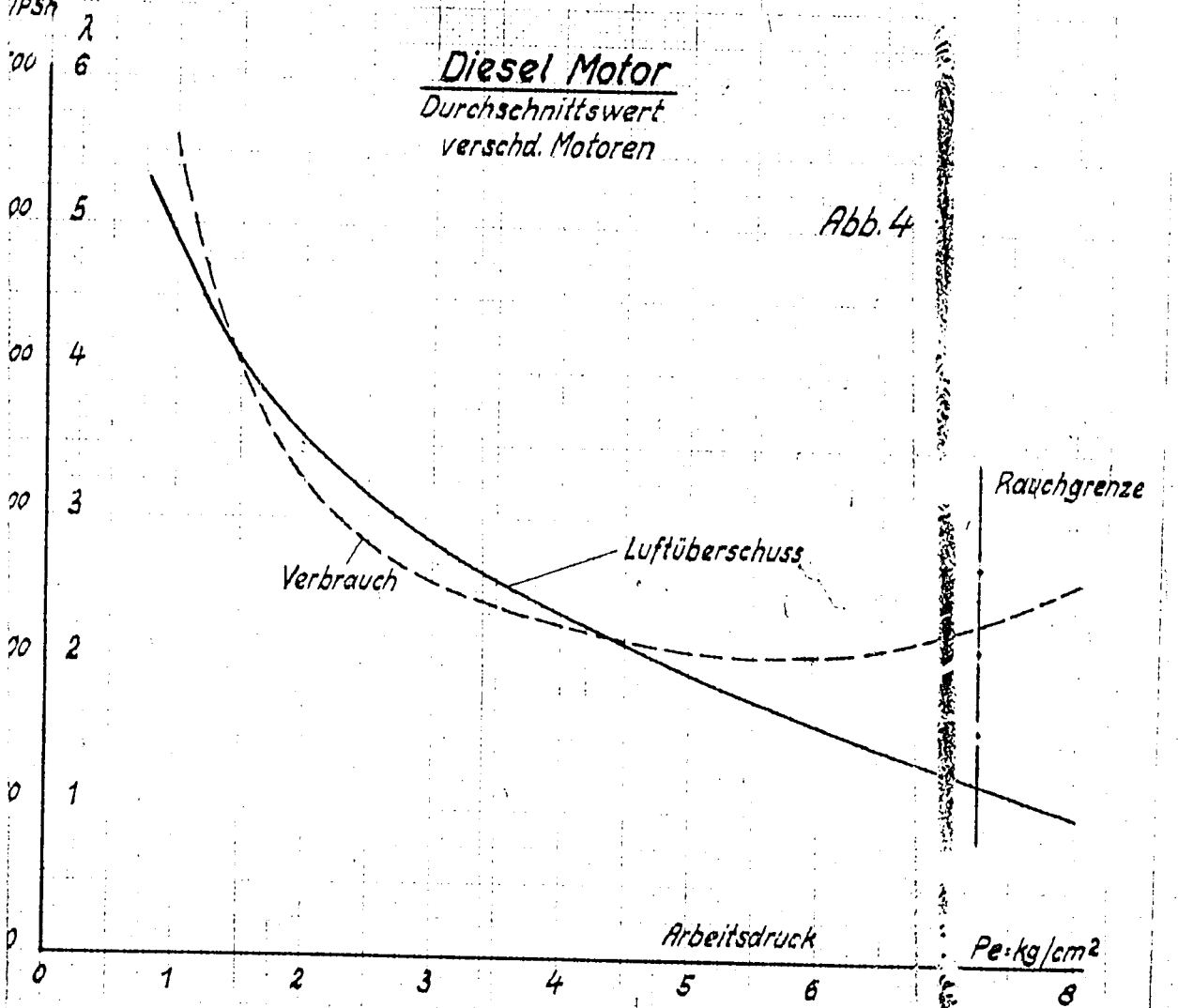
Abb. 3



Diesel Motor

Durchschnittswert verschd. Motoren

Abb. 4



Zum Bericht Nr. 394 vom 15. Aug. 1939. TPr. G. 426

chn. Prüfstand
Oppau

Otto-Dieselmotor

Vorversuch

Blatt 3

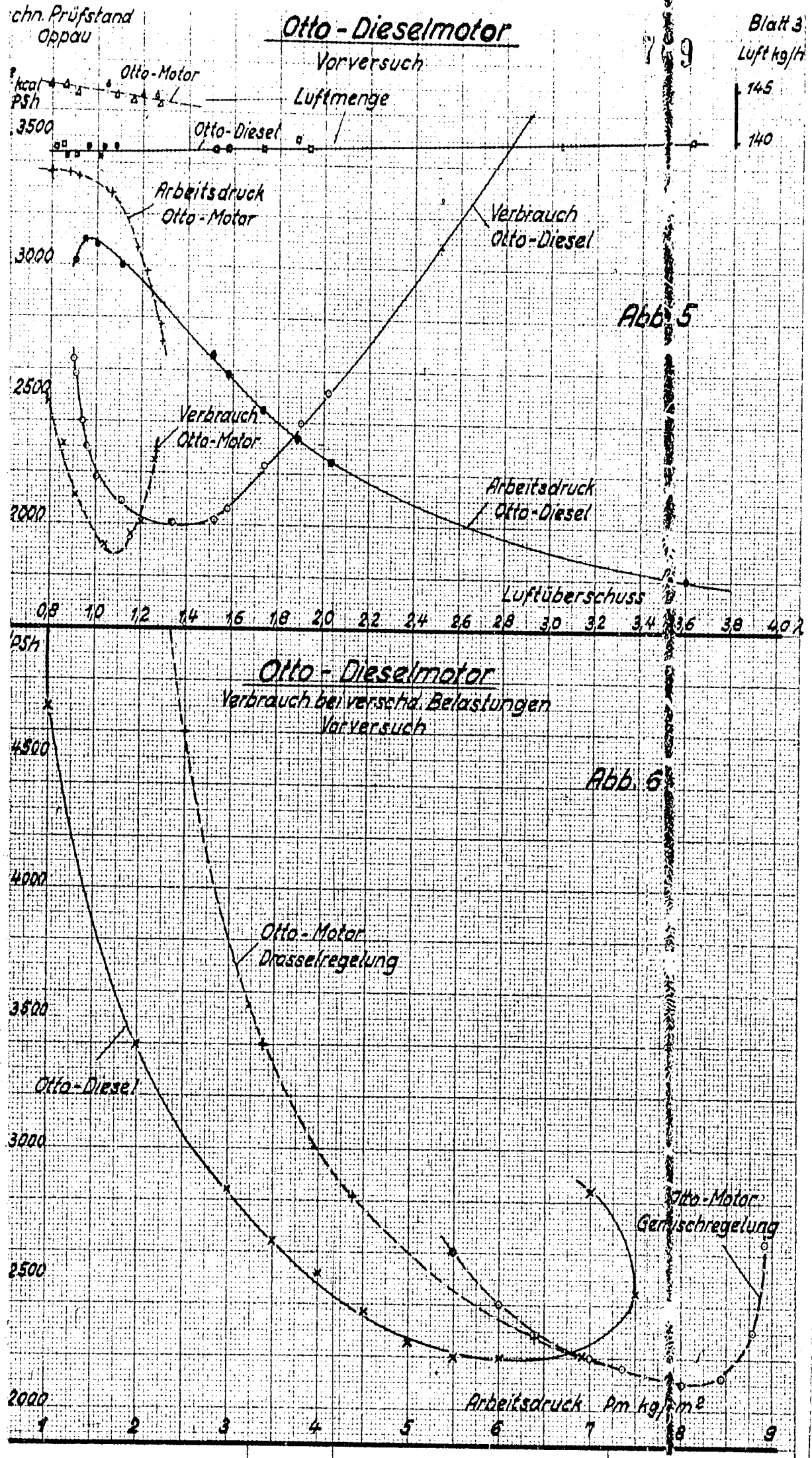


Abb. 5

Otto-Dieselmotor

Verbrauch bei verschd. Belastungen
Vorversuch

Abb. 6

Farbenindustrie Aktiengesellschaft,
Ludwigshafen a. Rhein.

Zum Bericht Nr. 394 vom 15. Aug. 1939.

TPr. S. 431

DIN-Format A 4 P (210 x 297 mm)

Techn. Prüfstand
Oppau

Otto-Dieselmotor

Teillastversuche

770

Blatt 4

Abb. 7

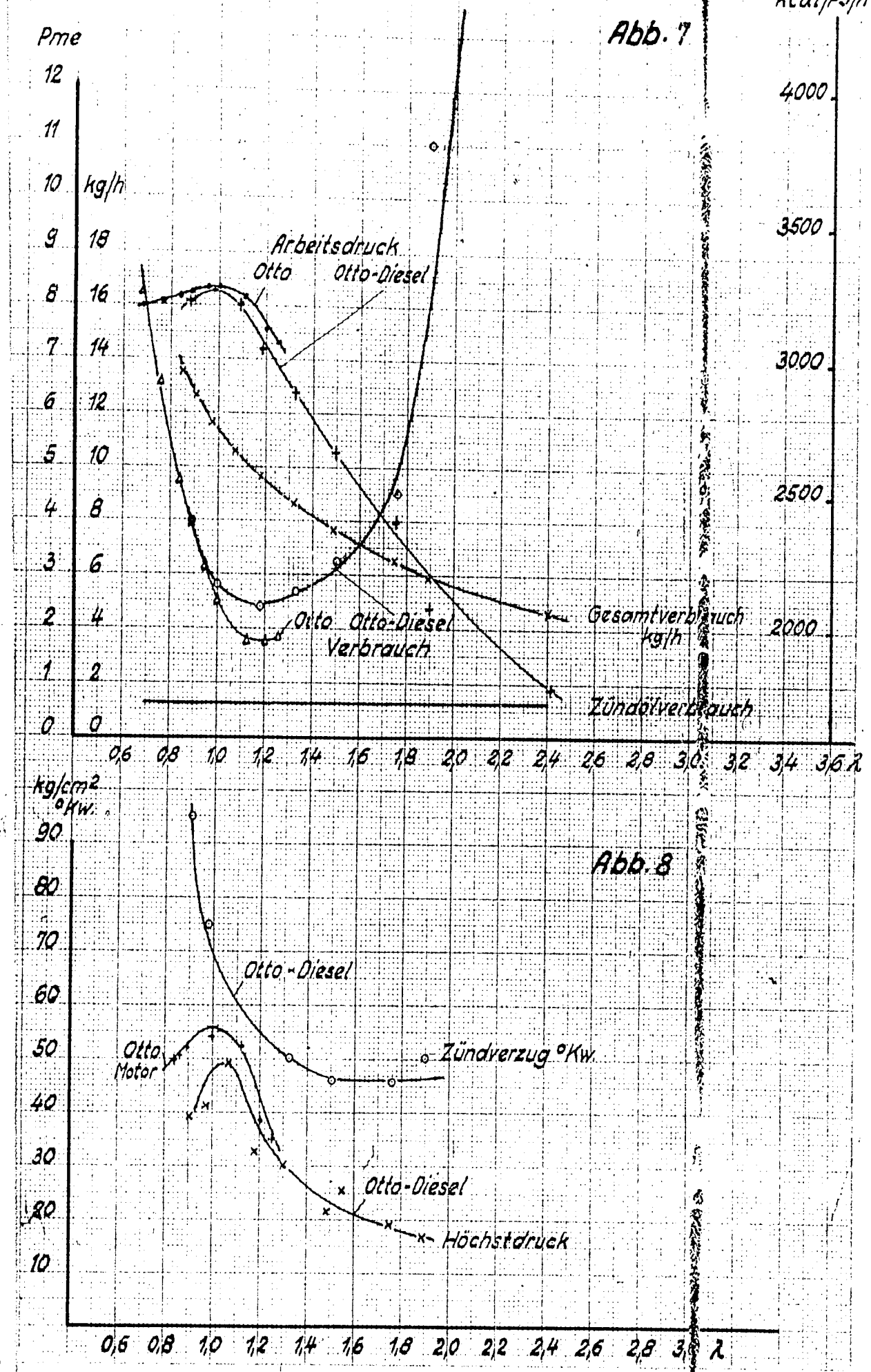


Abb. 8

Zum Bericht Nr. 394 vom 15. Aug. 1939 T Pr. S. 467

Techn. Prüfstand
Oppau

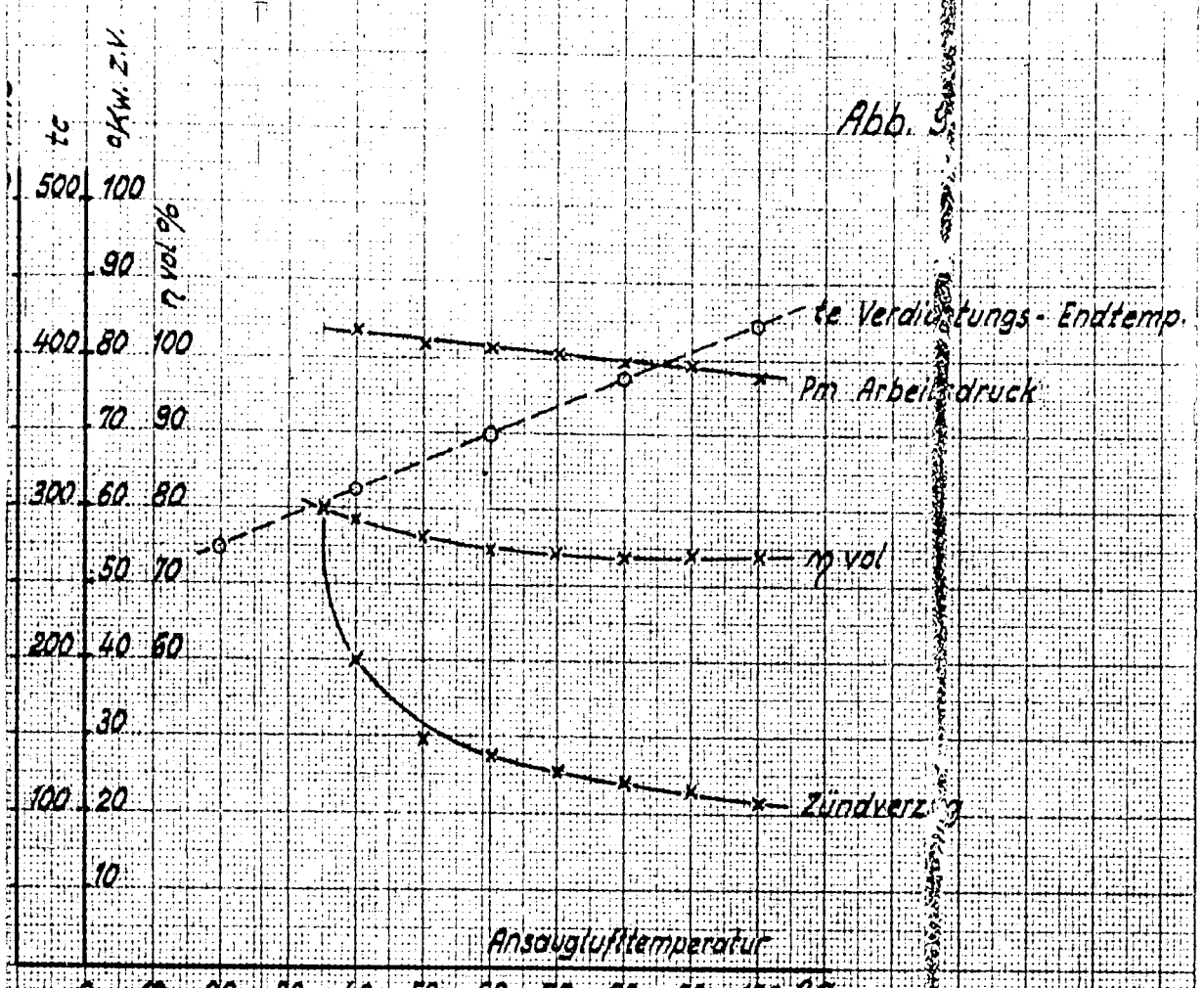
Blatt 5

Otto - Dieselmotor

Einfluß der Lufttemperatur auf den Zündverzug

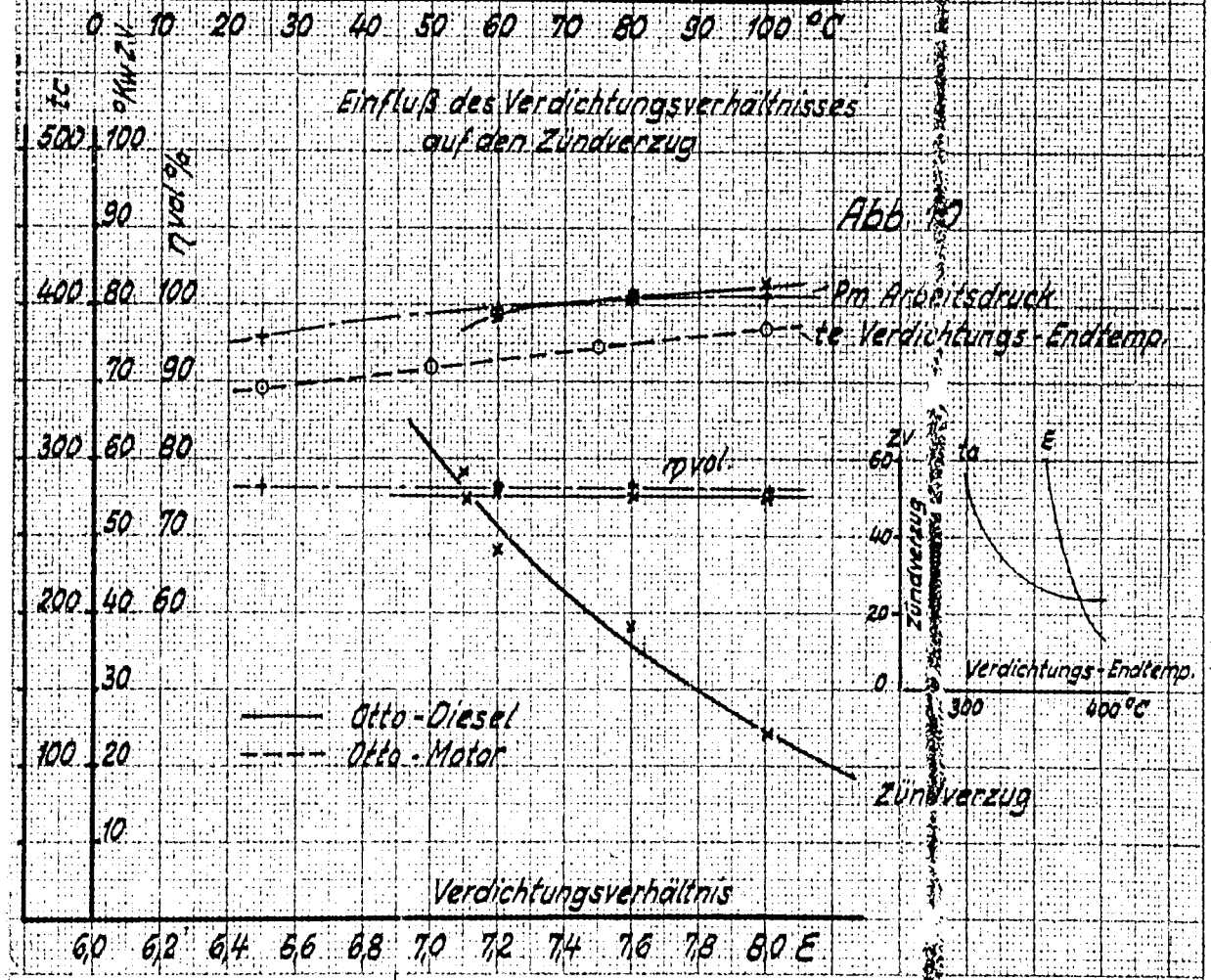
771

Abb. 9



Einfluß des Verdichtungsverhältnisses auf den Zündverzug

Abb. 10



G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft,
Ludwigshafen a. Rhein.

Zum Bericht Nr. 394 vom 15. Aug. 1939.

TPr. S. 478

DIN-Format A 4 P (210 x 297 mm)

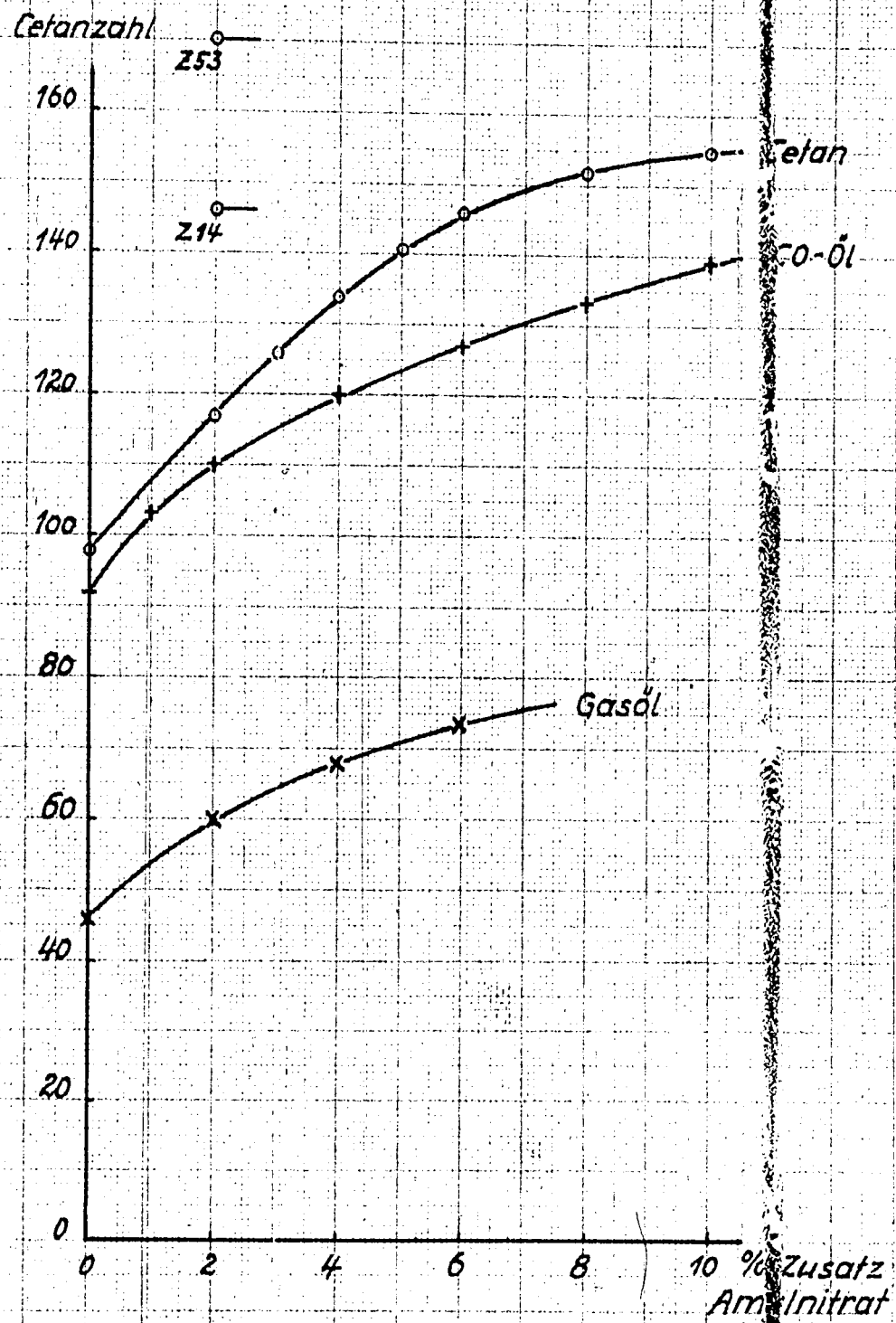
Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 6

772

Zündwilligkeit verschied. Zündöle mit Zusätzen von Amylnitrat

Abb. 11



Zum Bericht Nr 394 v. 15. Aug. 19

TPr. S. 502

Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 7

Otto-Dieselmotor

Versuche mit Amylnitrat-Zusätzen

773

Abb. 12

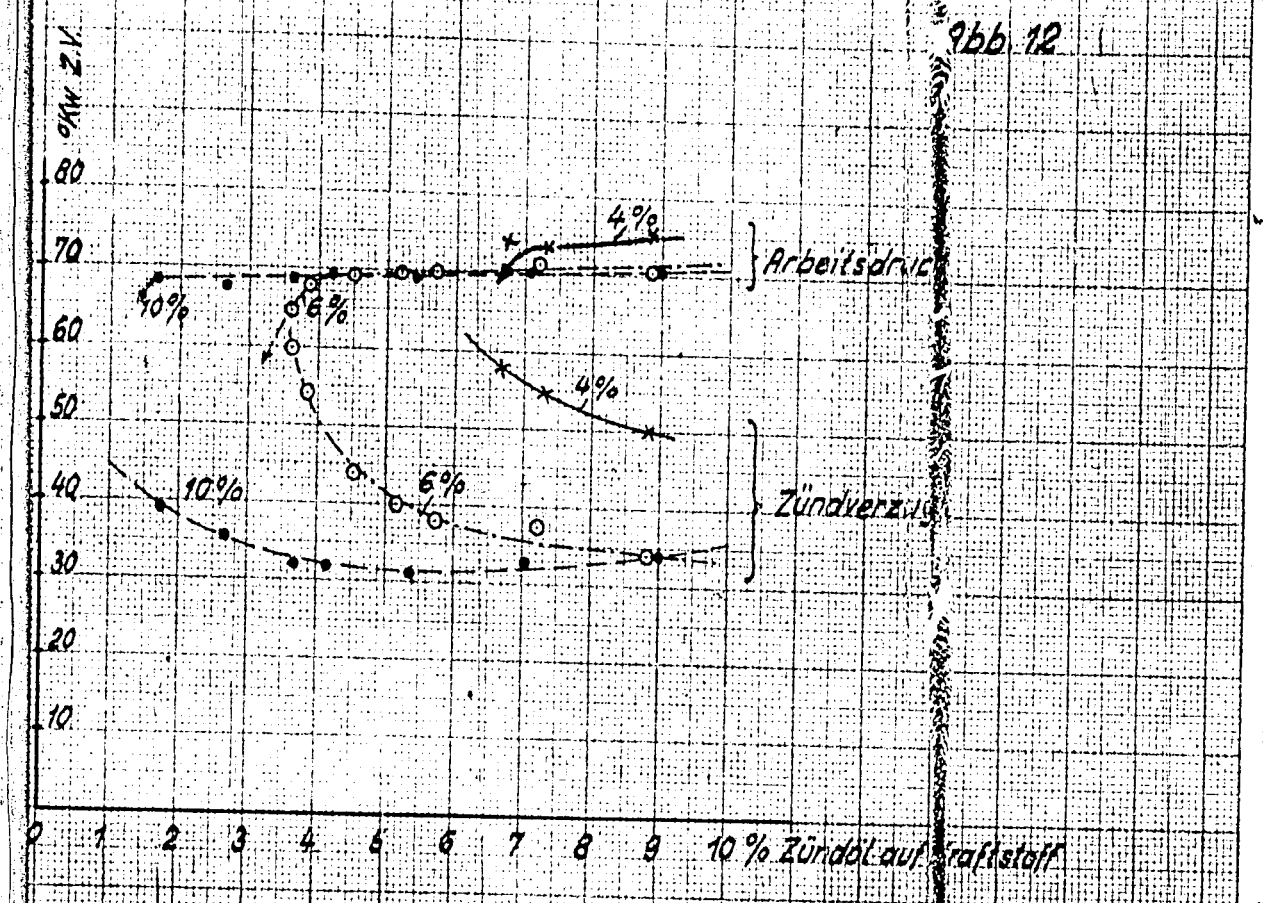
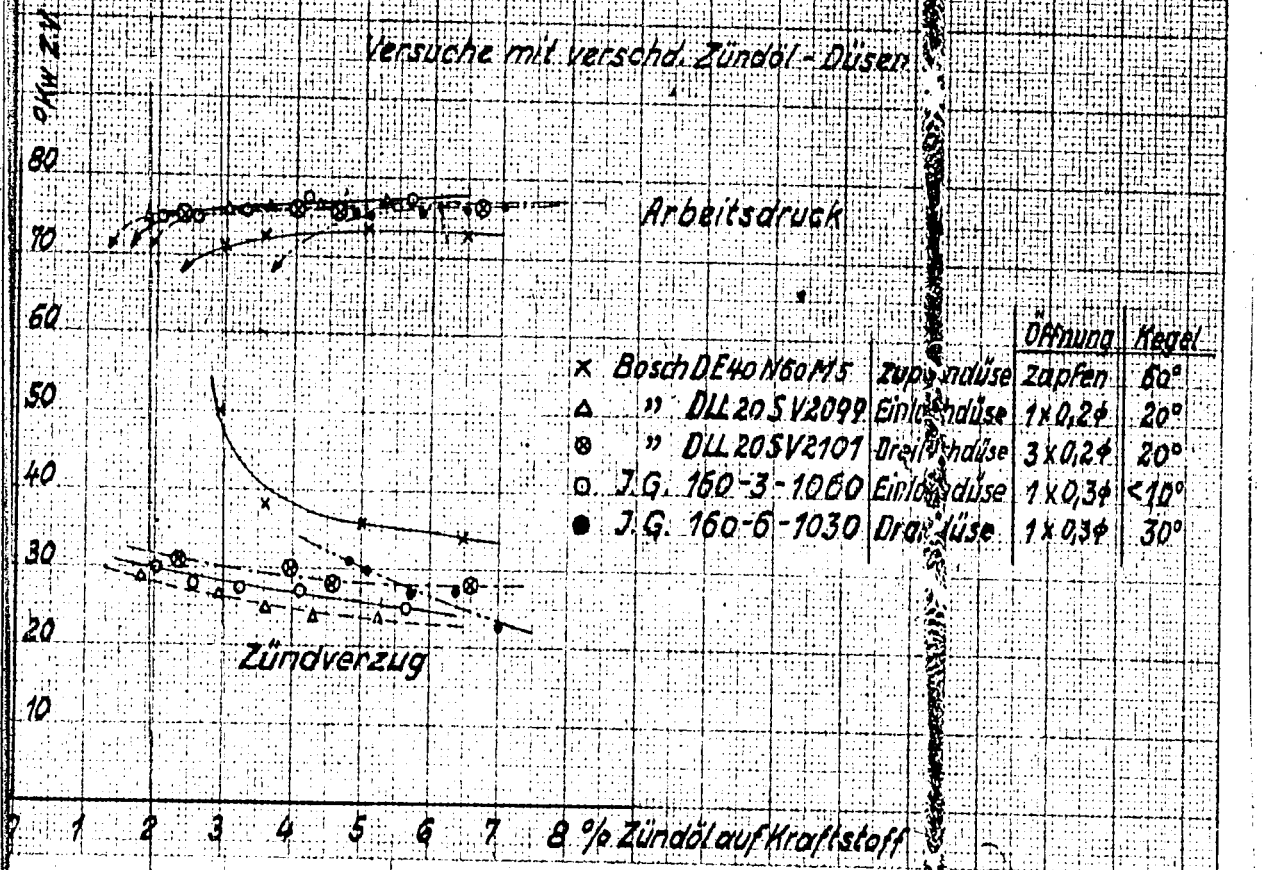


Abb. 13

Versuche mit verschd. Zündöl-Düsen



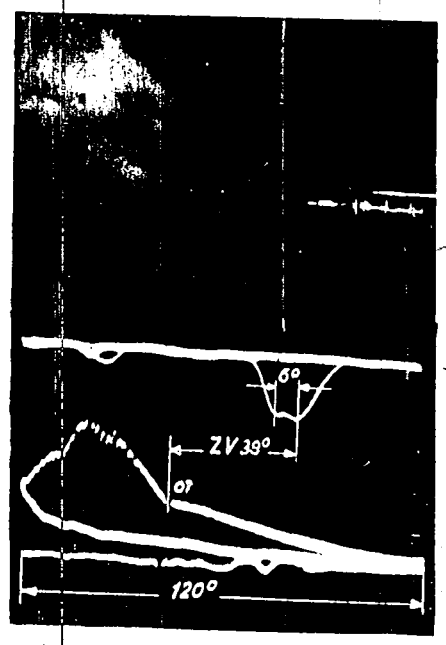
			Öffnung	Kegel
×	Bosch DE 40 N 60 M 5	Zapfendüse	Zapfen	60°
△	" DLL 20 S V 2099	Einlochdüse	1 × 0,2 ϕ	20°
⊗	" DLL 20 S V 2101	Dreilochdüse	3 × 0,2 ϕ	20°
◻	J.G. 160-3-1060	Einlochdüse	1 × 0,3 ϕ	< 10°
●	J.G. 160-6-1030	Drallochdüse	1 × 0,3 ϕ	30°

Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 8

774

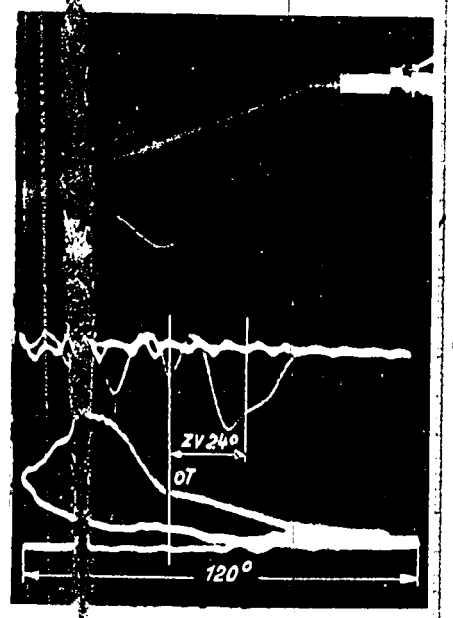
Zündöl - Düsen



Einspritz - Druck

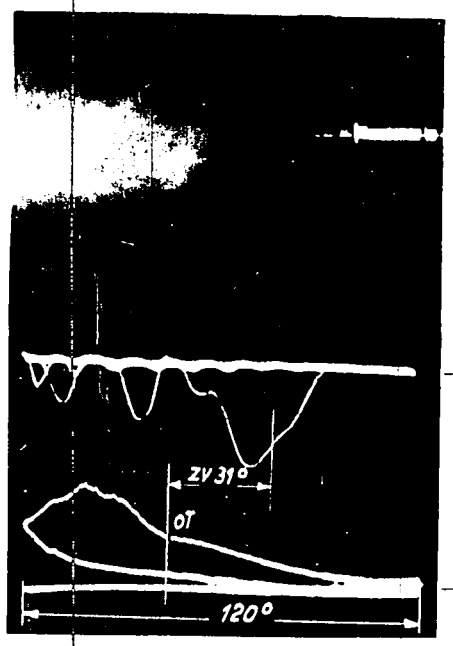
Zylinder - Druck

1.) Bosch DE 40 N 60 M 5



2.) Bosch DLL 20 S - V 2099

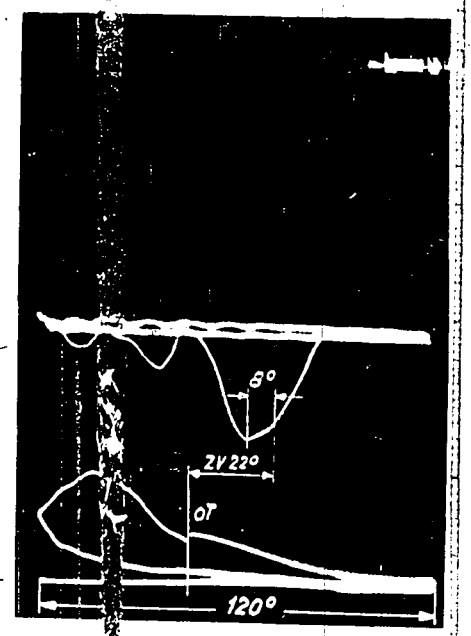
Geschlossene - Düse



Einspritz - Druck

Zylinder - Druck

3.) I.G. Dralldüse 160 - 3 - 1030



4.) I.G. Lochdüse 160 - 3 - 1060

Offene - Düse

Feine Vernebelung ist für die Einspritzung von Zündöl im Otto-Dieselmotor ungünstig

Zum Bericht Nr. 394 vom 15. August 1939

Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 9

775

Otto-Dieselmotor

Einfluß des Einspritzbeginns

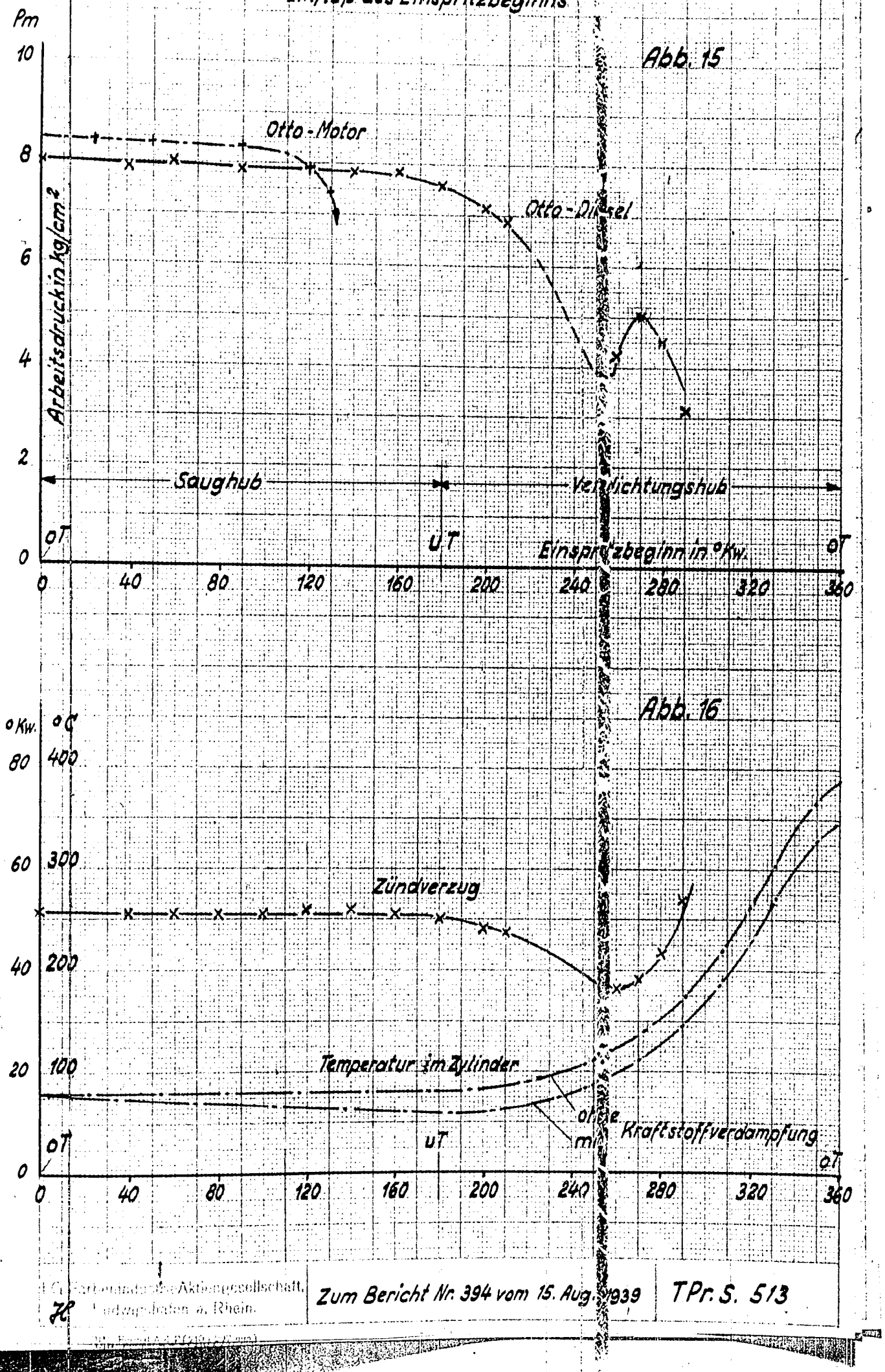


Abb. 15

Abb. 16

T.Pr. O.

Otto-Dieselmotor

Blatt 10

Einfluß des Einspritzbeginns auf Sicherheitskraftstoffe

776

Abb. 17

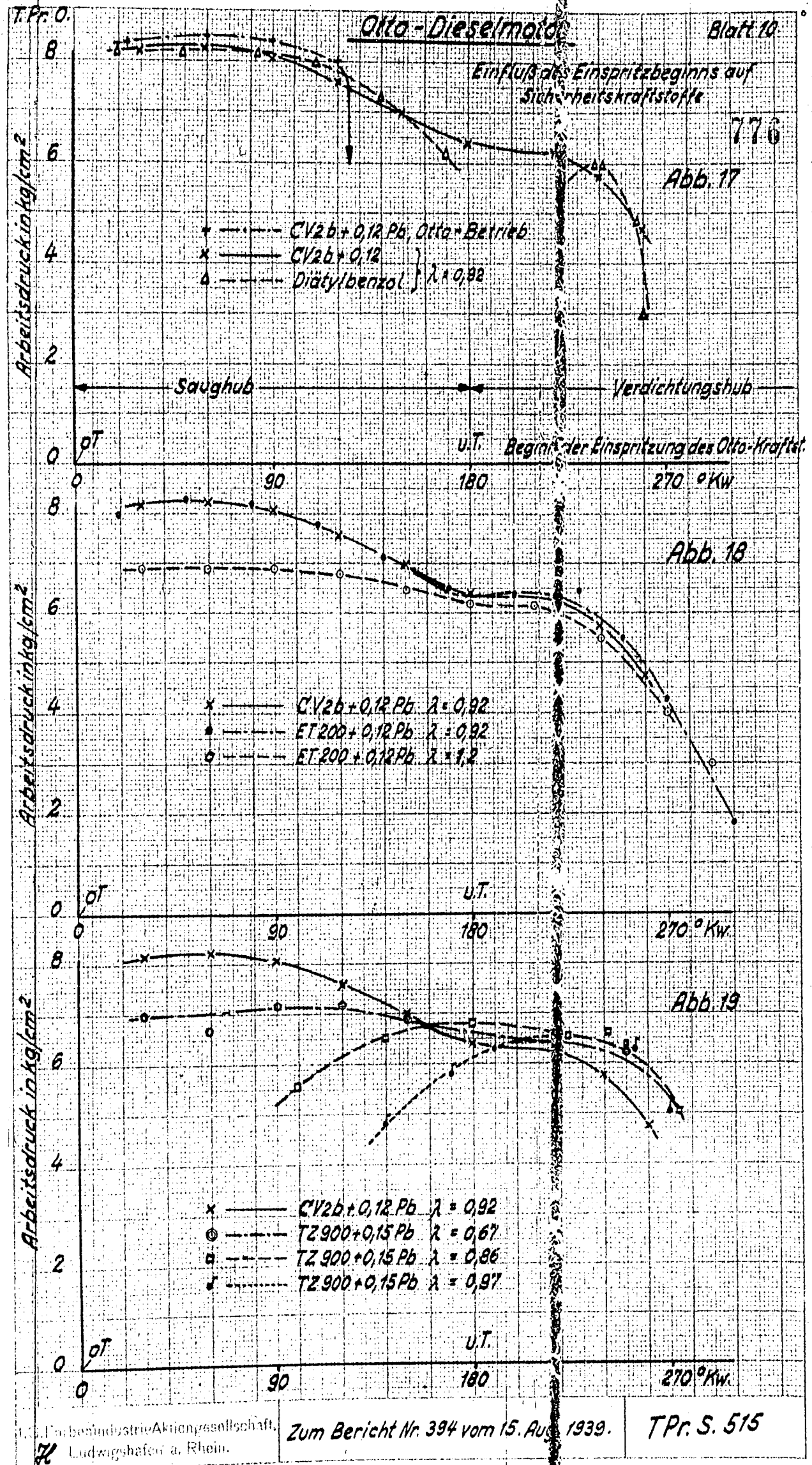


Abb. 18

Abb. 19

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Zum Bericht Nr. 394 vom 15. Aug. 1939.	TPr. S. 515

Techn. Prüfstand Oppau

Blatt 11

Otto-Dieselmotor

Versuche mit Sicherheitskraftstoffe

777

Abb. 20

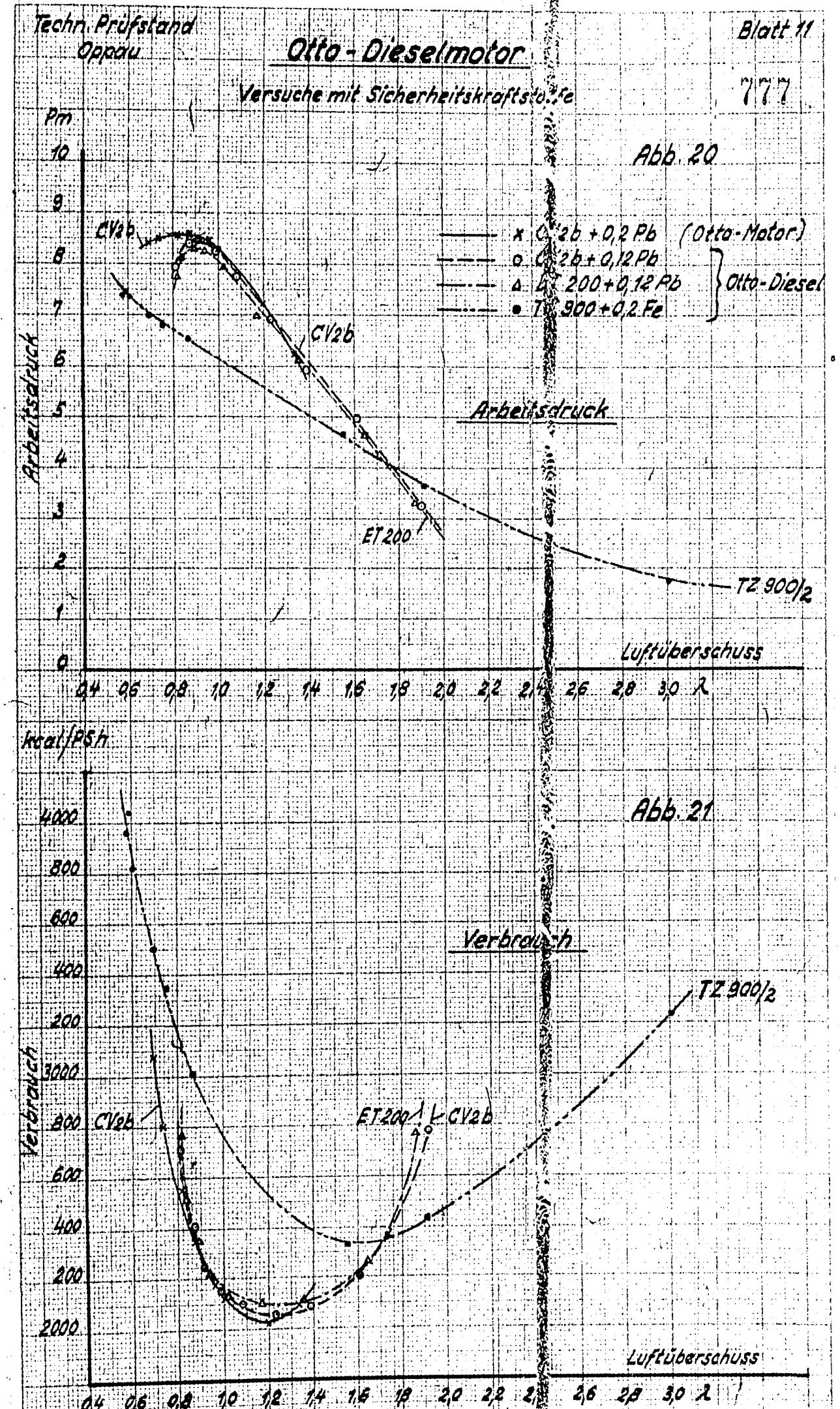


Abb. 21

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

Zum Bericht Nr. 394 vom 15. Aug. 1939.

TPr. S. 512

Techn. Prüfstand Oppau

Blatt 12

778

Stellung der Einspritzung

Abb. 22

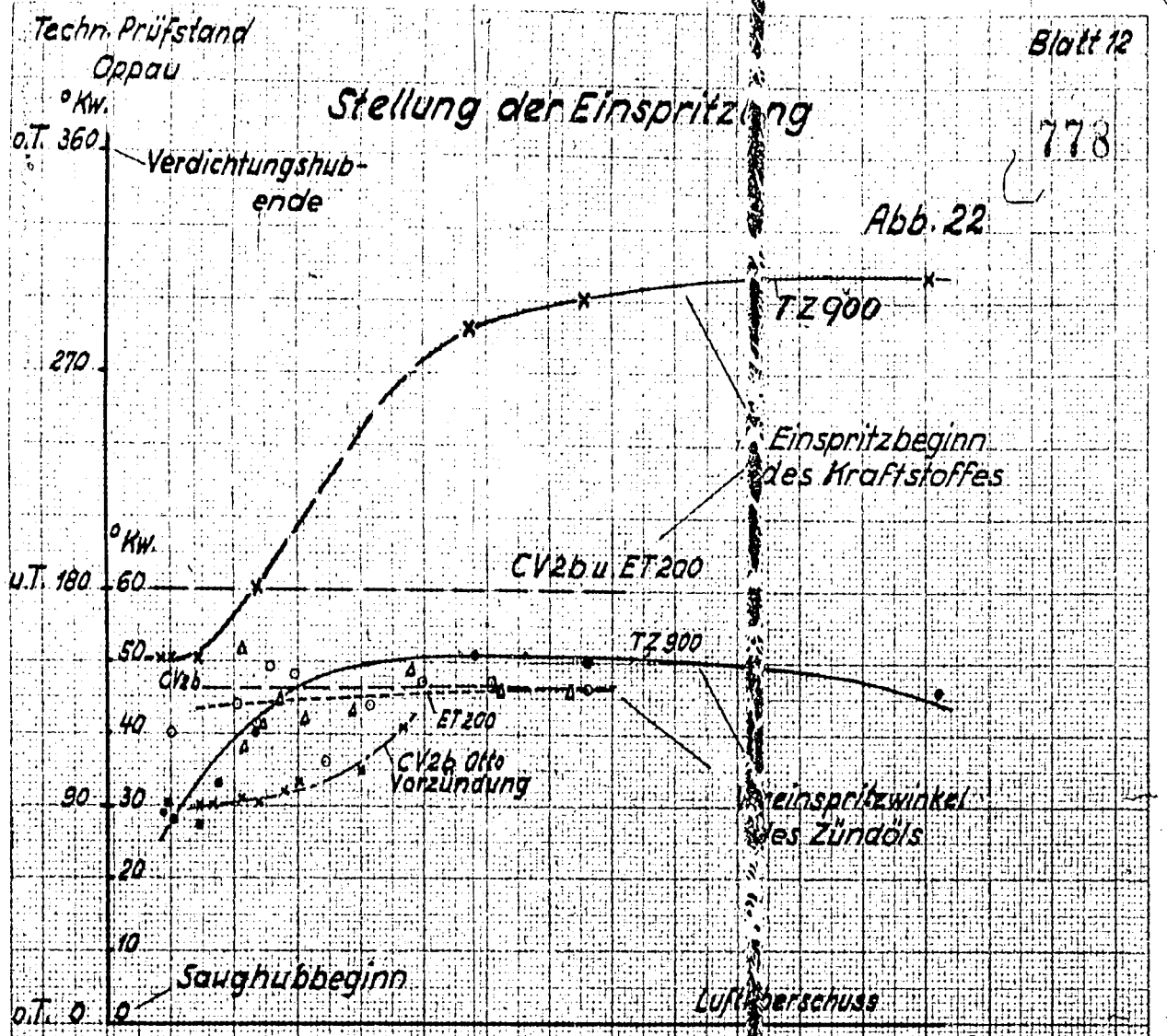
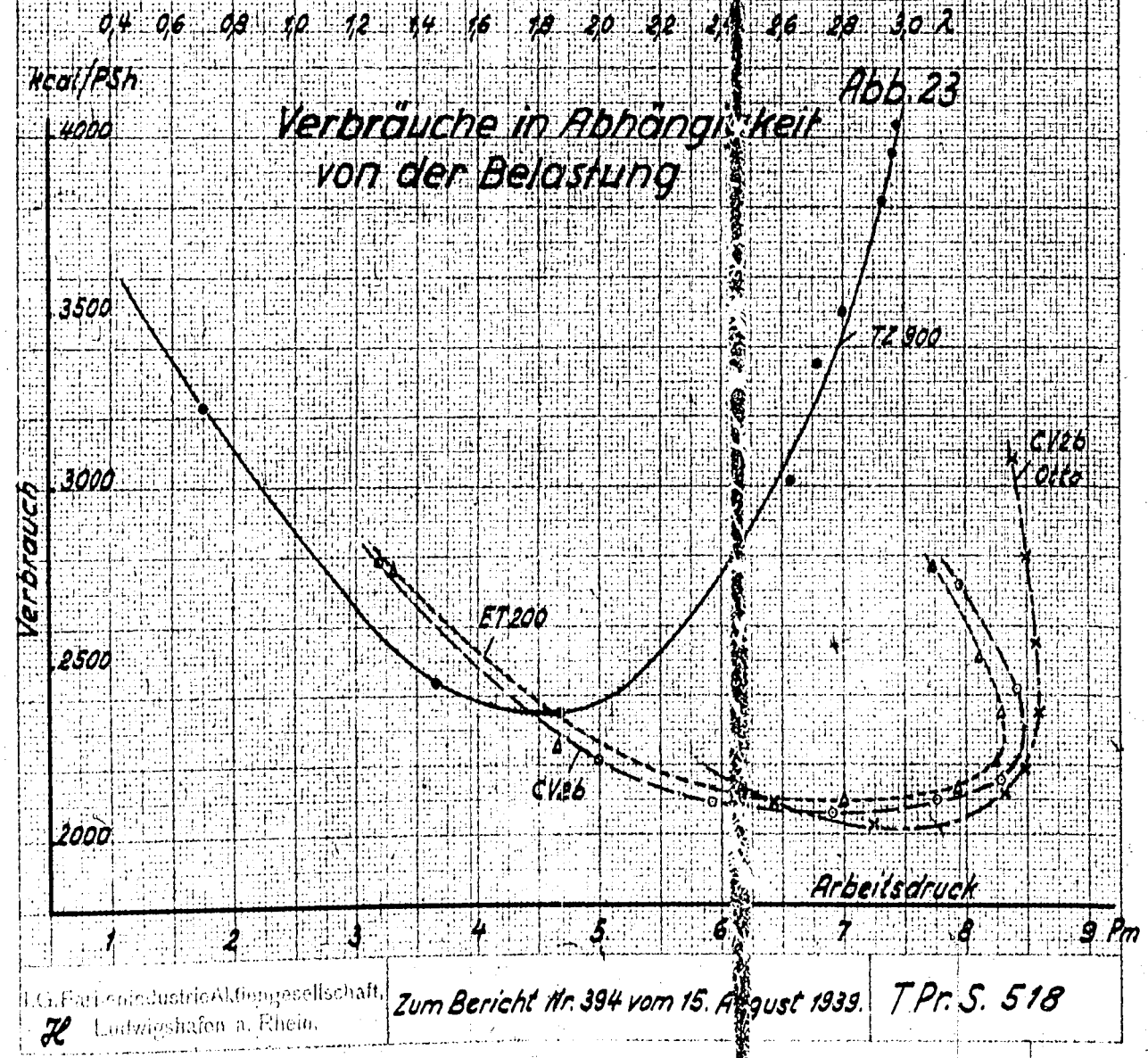


Abb. 23

Verbräuche in Abhängigkeit von der Belastung



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

Zum Bericht Nr. 394 vom 15. August 1939.

TPr. S. 518

Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 13

779

Otto-Motor

Überladefähigkeit verschd. Kraftstoffe

$\varepsilon = 1:8$

Abb. 24

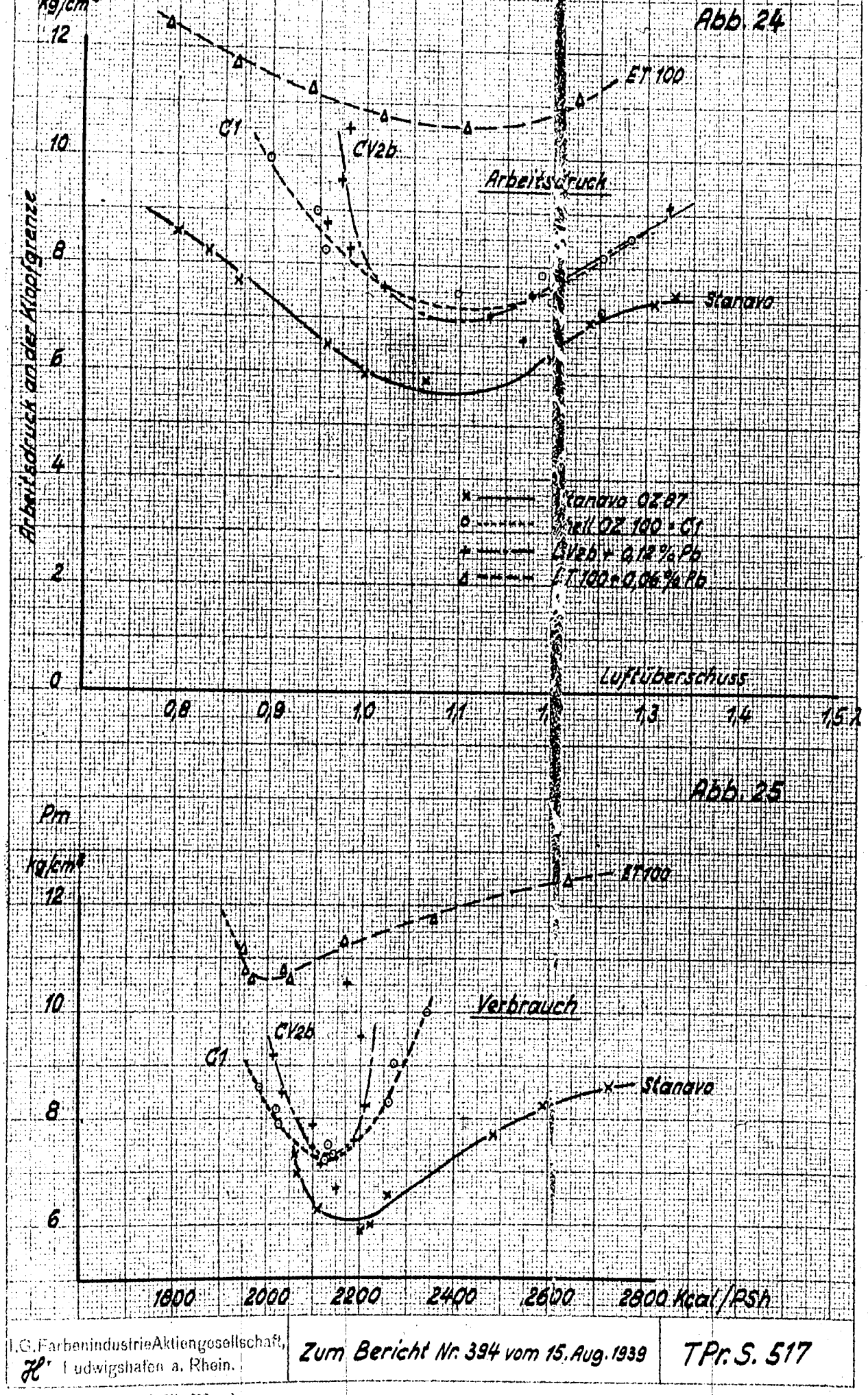


Abb. 25

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Zum Bericht Nr. 394 vom 15. Aug. 1939	TPr. S. 517

DIN-Format A 4 P (210 x 297 mm)

Techn. Prüfstand Oppau

Otto - Dieselmotor

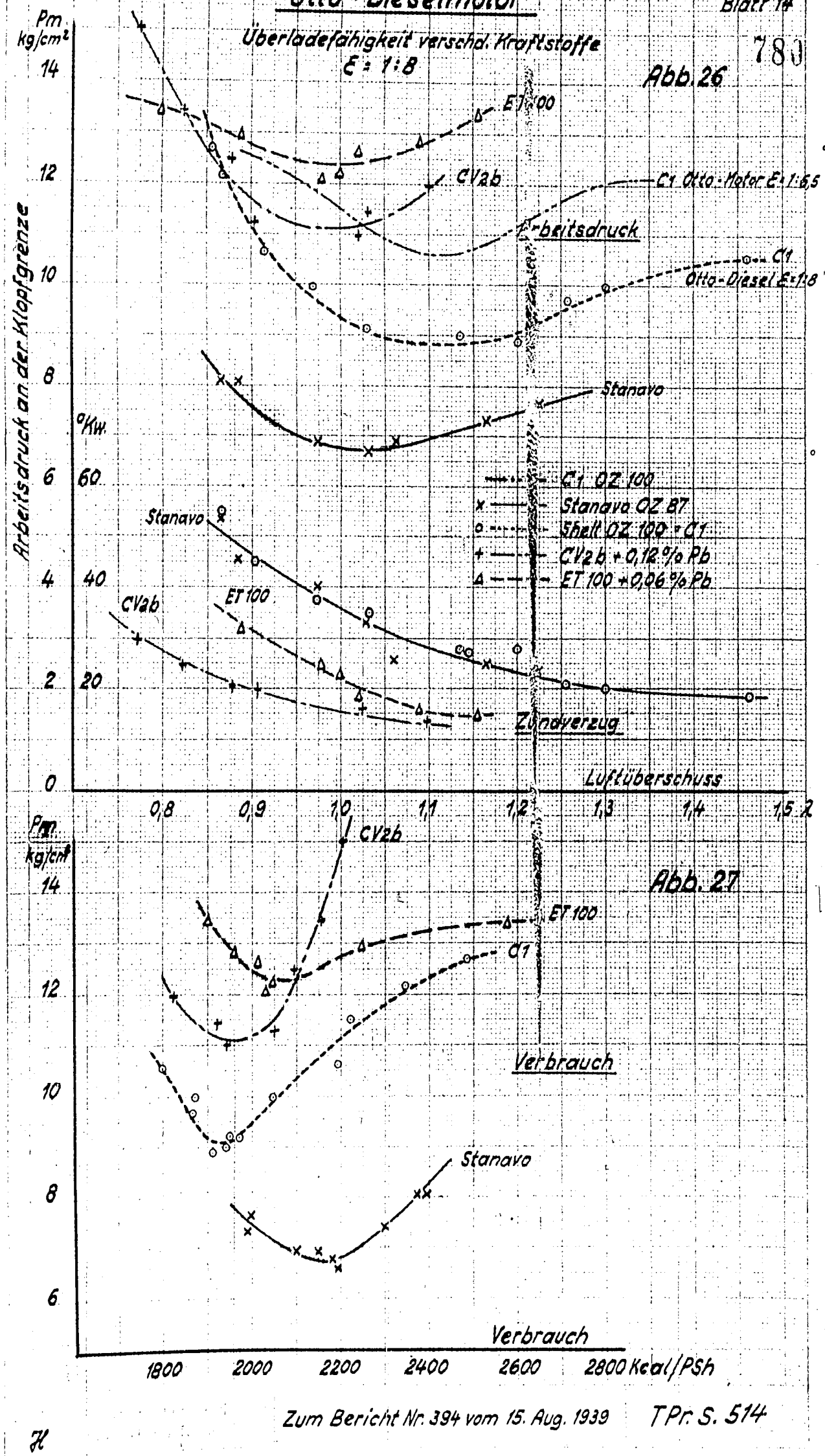
Blatt 14

Überladefähigkeit verschd. Kraftstoffe

ε = 1:8

780

Abb. 26



Zum Bericht Nr. 394 vom 15. Aug. 1939 TPr. S. 514

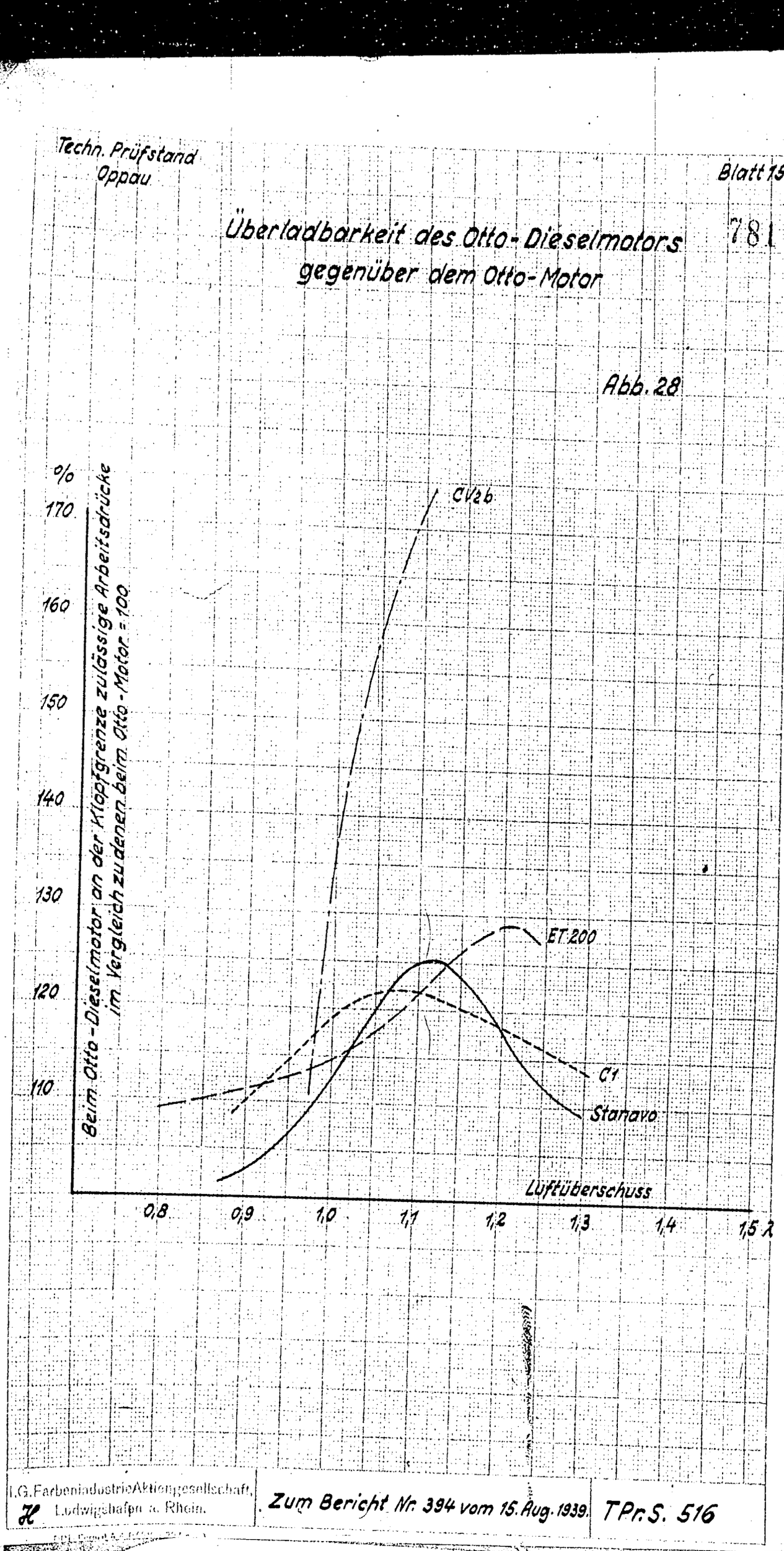
Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 15

781

Überladbarkeit des Otto-Dieselmotors gegenüber dem Otto-Motor

Abb. 28



echn.Prüfstand Op 200
Bericht Nr.405

Oppau, den 15.November 1939.Kf

782

B e r i c h t

über das

Zündverhalten einiger Treib- und Schmierstoffe.

usammenfassung:

Von verschiedenen Benzin- und Dieselöl-Mischungen wurden die Oktan- und Cetanzahlen bestimmt. Die sich aus diesen Versuchen ergebende Beziehung Oktanzahl/Cetanzahl ist zwar von den untersuchten Kraftstoffen abhängig, der beobachtete Unterschied ist jedoch verhältnismäßig gering.

Die nach der Cetanzahl untersuchten Schmieröle erwiesen sich als sehr standwillig.

ersuchsdurchführung und- ergebnis:

a) Kraftstoffe.

Die in der Zahlentafel aufgeführten Stoffe wurden als Kraftstoff verwendet. Es sind dies:

Oktan+Heptan (Urbezugskraftstoffe z.Oktanzahlbestimmung),
Benzol+Benzin (Unterbezugskraftstoffe zur Oktanzahlbestimmung),
Cetan+ α-Methylnaphthalin (Urbezugskraftstoffe zur Cetanzahlbestimmung),
Bad.Gasöl+techn.Methylnaphthalin (Unterbezugskraftstoffe zur Cetanzahlbestimmung
1 Hydrierbenzin 5058 aus Leuna,
2 Synthese-Benzine vom Steinkohlenbergwerk Rheinpreußen.

Im Dieselmotor konnten die Schmieröle Aero Shell leicht, mittel und schwer Essolub 20 und 30, sowie eine Mischung zu gleichen Teilen aus den beiden Essolub-Ölen untersucht werden.

b) Prüfmotoren.

Die Oktanzahlen der Kraftstoffe wurden im CFR-Motor nach der Motor-Methode untersucht und, soweit es die Flüchtigkeit der einzelnen Stoffe gestattete, auch nach der Research-Methode. Die Werte über OZ 100 wurden durch Verbleiung von Oktan, die Werte unter OZ 0 als Mischwerte bestimmt. Der CFR-Motor konnte naturgemäß mit Schmieröl nicht betrieben werden.

Die Cetanzahlen der Kraftstoffe wurden am I.G.-Prüfdiesel gemessen, nachdem dort zuvor die Einspritzpumpe für einen größeren Verstellbereich eingerichtet worden war. Gegenüber den normalen Dieselölen musste, um den vorgeschriebenen Einspritzbeginn bei 20° v.o.T. einhalten zu können, die Pumpe bei den Ottokraftstoffen vorgestellt, beiden Schmierölen etwas nachgestellt werden, wie aus den folgenden Einspritzzeitpunkten bei unveränderter Pumpenstellung erkennbar ist:

Dieselöl	=	20° v.o.T.
Benzin	=	14° v.o.T.
Schmieröl	=	22° v.o.T.

Zur Untersuchung selbst wurde die Probe mit dem vorgeschriebenen Zündverzug von 18° gefahren, während die beiden Vergleichsmischungen so gewählt wurden, daß deren Zündverzug größer bezw. kleiner als derjenige der Probe war. Aus den so ermittelten Werten für den Zündverzug wurde die Cetanzahl der Probe errechnet.

c) Ergebnis:

Das Ergebnis ist in der Zahlentafel enthalten und auf dem beiliegenden Kurvenblatt aufgetragen. Man erkennt, daß hier der Zusammenhang zwischen der Oktanzahl und der Cetanzahl zwar nicht ganz eindeutig, jedoch für die Verhältnisse der Praxis gut brauchbar ist. Die Oktanzahl von Schmierölen, die ja nicht unmittelbar meßbar ist, kann mittels des Kurvenblattes annäherungsweise über die Cetanzahl bestimmt werden.

Anlagen: 1 Zahlentafel
1 Schaubild (TPr S 536).

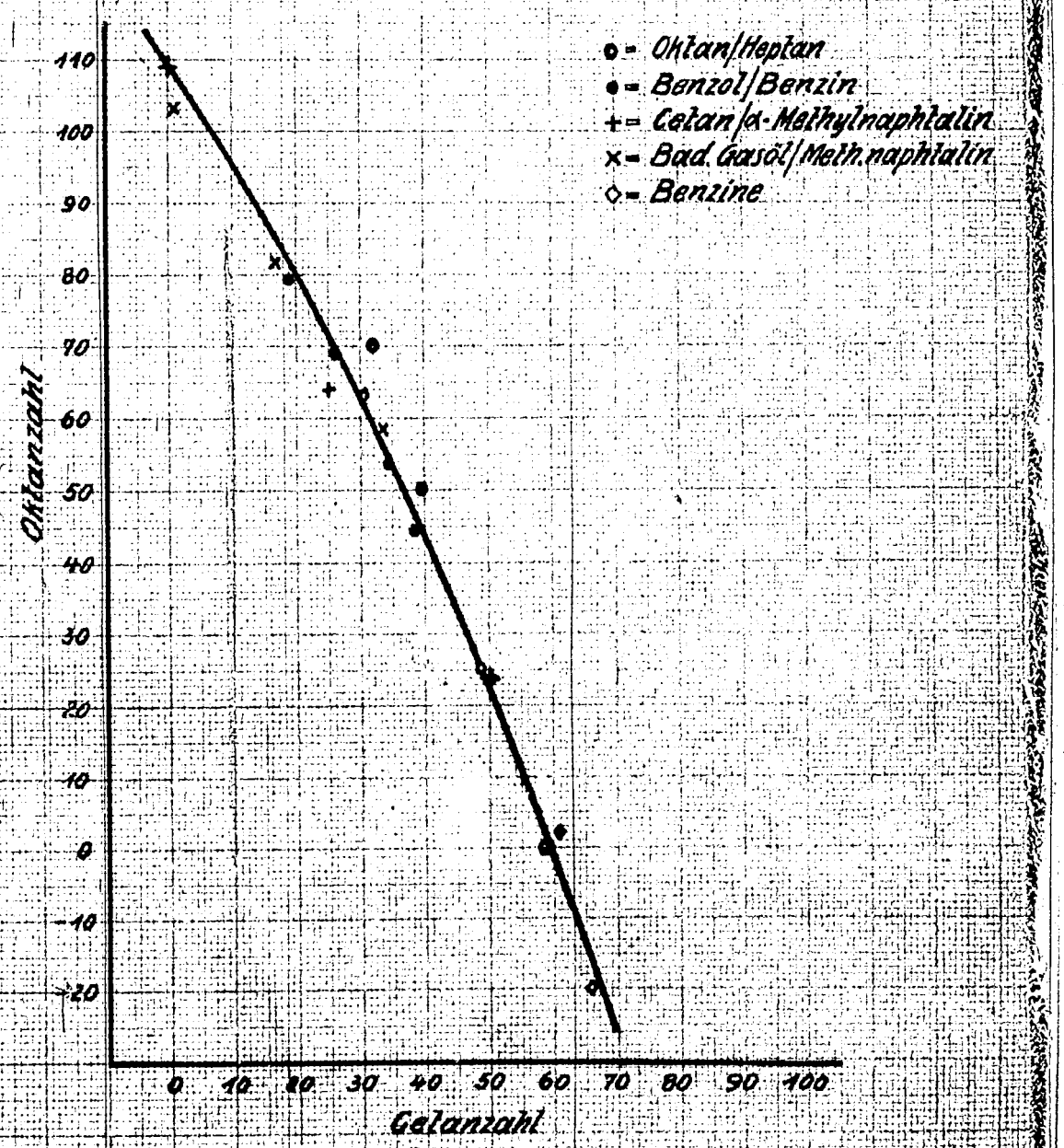
Dr. Singer

Zahlentafel:

		MOZ	ROZ	CaZ
a) Otto - Kraftstoffe:				
Oktan/Heptan:	70:30	70	70	31
	50:50	50	50	39,5
	25:75	25	25	49,0
	0:100	0	0	58,5
Benzol/Benzin:	65:35	79,5	87,5	19
	50:50	69	76	26
	25:75	54	57,5	34,5
	0:100	44,5	42,5	38,5
Leuna-Benzin Br 1099		63	63,5	30,5
Fischer-Benzin Br.1101		2	~-10	61
Fischer-Benzin Br.1102		~-20	~-40	66
b) Diesel-Kraftstoffe:				
Cetan-α-Methyl-naphthalin	50:50	24	-	50
	25:75	64	-	25
	0:100	109	-	0
Bad.Gasöl-techn.Methylnaphthalin	50:50	58,5	-	33,5
	25:75	81,5	-	17
	0:100	103	-	1
c) Schmieröle:				
Aero-Shell leicht		-	-	49
Aero-Shell mittel		-	-	46,5
Aero-Shell schwer		-	-	46,5
Essolub 20		-	-	64
Essolub 50		-	-	64
Essolub 20/Essolub 50 = 1:1		-	-	64,5

Oktanzahl und Cetanzahl

Prüfmotor : CFR-Motor J.G. Prüfdiesel
Prüfweise : Motor-Meth. Zündverzug-Meth.
Prüfdatum : 13./14. Okt. 1939



14.11.39 dl.

I.G. Farbenindustrie Aktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein.	Zum Bericht Nr. 405 vom 15.11.39	TPr S 536

DIN-Format A 4 (210 x 297 mm)

Techn. Prüfstand Op 200
Bericht Nr. 406

Oppau, den 1. Dezember 1939. Kf.

786

B e r i c h t

über die

Zündwilligkeit von Benzinen.

Zusammenfassung:

Für die ersatzweise Verwendung von Benzin im Dieselmotor eignen sich vor allem Benzine niederer Oktanzahl. Die Destillier-Benzine sind besser als die stark ungesättigten. Benzine, die Alkohol enthalten, sind möglichst zu vermeiden.

Zweck der Versuche und Allgemeines:

Die Benzine haben im allgemeinen eine niedrige Cetanzahl und es ist deshalb notwendig, bei dem durch die jetzige Kriegslage bedingten Ersatz des Dieselöls durch Benzin nur solche zu verwenden, die durch die die Oktenzahl erhöhenden Beimengungen nur unwesentlich verändert worden sind. Es soll im Nachstehenden geprüft werden, wieweit die Zusatzmittel im Benzin, wie Bleitetraäthyl, Alkohol und Benzol, sich auf die Zündwilligkeit auswirken. Weiterhin sollen noch einige charakteristische Typen von Benzinen auf ihre Brauchbarkeit im Dieselmotor untersucht werden.

Versuchsdurchführung:

Die Oktanzahlen der Kraftstoffe wurden im I.G.-Prüfmotor gemessen. Die Cetanzahlen der Benzine wurden im I.G.-Prüfdiesel bei den üblichen Betriebsbedingungen ohne jede Schwierigkeiten untersucht. Um dem Benzin etwas Schmierwirkung zu geben, wurden zur Schonung der Pumpen 2 % Schmieröl beigemischt.

-2-

Für die Versuche wurde ein Leuna-Mischbenzin Nr.1118, dessen Analyse beliegt, Bleifluid, Benzol und Alkohol beigemischt und von den Mischungen sowohl die Cetanzahl als auch die Oktanzahl bestimmt. Um den Überblick noch zu erweitern, wurden noch einige andere Benzine verwendet.

Versuchsergebnisse:

Auf Blatt 1 ist die Beziehung zwischen Isooktan-Heptan und Cetan- α Methylnaphthalin im I.G.-Prüfdiesel gemessen worden.+) Sie ist eine leicht gekrümmte Kurve, die gegen die hohen Cetanzahlen hin etwas weniger steil ansteigt. n-Heptan hat die Cetanzahl 60, Isooktan die Cetanzahl 16. Cetanzahl und Oktanzahl sind gegenläufig. Auf dem gleichen Blatt ist noch eine große Anzahl von Benzinen aufgetragen, für die das gleiche gilt. Jedoch ist bemerkenswert, daß sich für die Benzine eine neue Kurve aufzeichnen läßt, aber um die 3-4 Cetanzahlen niederere Werte für die Zündwilligkeit gibt.

Zunächst wurden einige Grundbenzine untersucht, die in ihrem chemischen Aufbau verschieden sind. Ein Destillier-Benzin aus badischem Erdöl mit vorwiegend paraffinischem Charakter und OZ 42 ergab die verhältnismäßig hohe Cetanzahl 39,5. Ein Fischerbenzin hatte die Cetanzahl 57 und, entsprechend, die Oktanzahl -5. Ein anderes Benzin (Nr.1136) mit etwa 60 % ungesättigten, das etwa einem Crackbenzin entsprechen dürfte, hatte OZ 82 und Cetanzahl 25. Die Zündwilligkeit auch für Leuna-Mischbenzin Nr.1118, das vorwiegend naphthenischen Charakter und die OZ 65,5 hat, ist mit 28,5 Cetanzahlen wesentlich niedriger als bei dem Destillierbenzin. Es wäre deshalb erwünscht, Benzin vom Charakter des Destillierbenzins aus bad. Erdöl oder Fischerbenzin für den Dieselmotor zu verwenden und die übrigen Benzine mit den sehr niedrigen Cetanzahlen und dementsprechend hohen Oktanzahlen für den Ottomotor aufzusparen. Es wurden in einer weiteren Versuchsreihe noch ein Schwerbenzin und ein

+) Bericht Nr.405 v.13.11.39.

Leuchtpetroleum untersucht. Der Siedeverlauf des Schwerbenzins geht über 300°C und ist in das Analysenblatt mit eingezeichnet. Es enthält etwa zur Hälfte Ungesättigte. Seine Cetanzahl beträgt 39 und die Oktanzahl 47,5. Vergleichsweise hatte Leuchtpetroleum, das paraffinisch ist, und etwa den gleichen Siedeverlauf hat (siehe Analysenblatt), eine Cetanzahl 6 und Oktanzahl -1,5. Auch hierbedingt der chemische Aufbau des Kraftstoffes einen großen Unterschied in der Zündwilligkeit, wie ja von den Dieselölen her bekannt ist. Die Cetanzahlen liegen jedoch bei diesen Schwerbenzinen im allgemeinen höher als bei den Leichtbenzinen.

In mehreren Versuchsreihen wurde schließlich die Veränderung der Zündwilligkeit der Benzine durch Zusatz von Blei, Benzol und Alkohol geprüft und das Ergebnis auf Blatt 2 aufgezeichnet. Die geringen Mengen Blei, die für die Oktanzahlverbesserung Benzin zugemischt werden, bedingen bereits einen merkbaren Abfall der Cetanzahl. Das gleiche tritt auch beim Zumischen von Alkohol und Benzol zum Benzin ein. 0,4 % Blei verringern die Cetanzahl um 3,5 Einheiten, die Oktanzahl steigt hierbei um 13,5 Einheiten. Alkohol setzt die Cetanzahl etwa 3 mal so stark herab als Benzol, bezogen auf gleiche Zusatzmenge. 10 % Alkohol verringern die Cetanzahl um 4,5 Einheiten. Bei Benzol ging sie nur um etwas mehr als 1 Cetanzahl herab. Die Oktanzahl steigt bekanntlich in umgekehrter Weise bei Zugabe von Alkohol zu Benzin etwa zweimal so stark als bei Zugabe von Benzol. Diese Meßergebnisse sind gleichfalls in das Kurvenblatt 1 aufgenommen und ordnen sich dort, zusammen mit den anderen Benzinen, befriedigend in die Kurve ein.

Über den Kaltstart der Motore mit Benzin und anderen Kraftstoffen wurden Versuche durchgeführt, die im Bericht Nr.407 mitgeteilt werden. Benzin ist seiner Leichtflüchtigkeit wegen im allgemeinen startfreudiger als ein Dieselkraftstoff gleicher Cetanzahl, jedoch liegen die Cetanzahlen der Benzine meist

unter der für den Motor geforderten Zündwilligkeit, so daß sich hierdurch Startschwierigkeiten ergeben.

Der Verbrennungsablauf im Dieselmotor ist mit Benzin weicher als mit Dieselöl gleicher Zündwilligkeit. Die auf Blatt 3 mit einem piezo-elektrischen Indikator aufgenommenen Druckverlauf-Diagramme zeigen für Benzin einen anfänglich schwachen Druckanstieg, der später steil ansteigt, wogegen er beim Dieselöl sofort steil ansteigt. Diese Unterschiede dürften sich aus den analytischen Daten der beiden Stoffe erklären lassen. Benzin ist gegenüber Dieselöl leichtflüchtig und hat geringes spezifisches Gewicht, wodurch die Zerstäubung an der Düse verschieden sein dürfte. Dazu kommen die durch die verschiedene Viskosität von 0,7 cst gegen mehr als 2 cst bei Dieselöl bedingten unterschiedlichen Einspritzzeiten, die durch die Leckverluste bedingt sind. Von wesentlichem Einfluß auf den Verbrennungsablauf ist natürlich auch der chemische Charakter des Kraftstoffes. Die Benzine haben stets kleine Moleküle wogegen die Dieselöle meist große Moleküle mit langen Ketten haben.

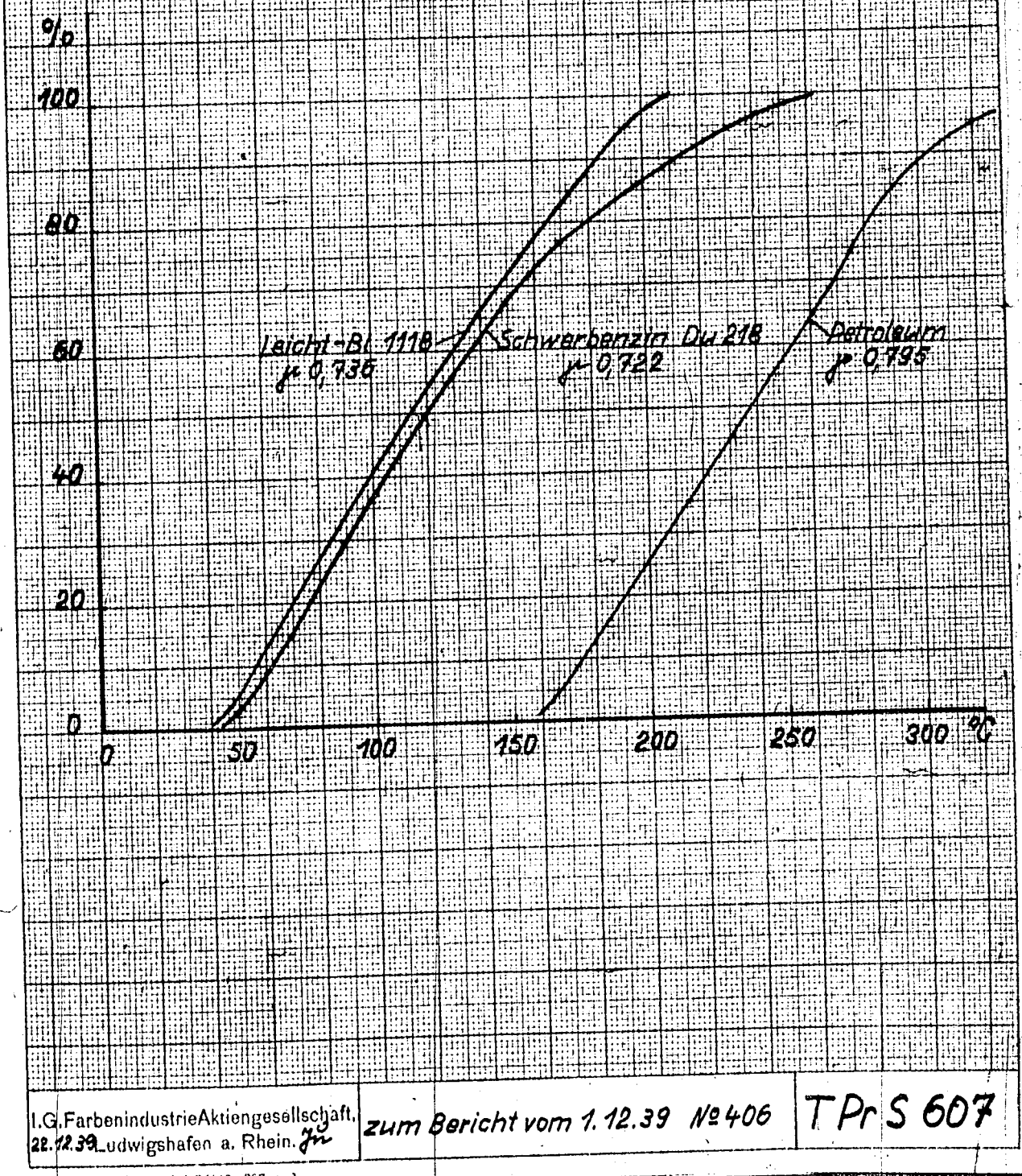
Anlagen: 1 Analysenblatt
2 Kurvenblätter
1 Blatt Diagramme.

Köhler.

Techn. Prüfstand
Oppau

790

Siedeanalysen einiger Leichtkraftstoffe.



I.G.FarbenindustrieAktiengesellschaft, Ludwigshafen a. Rhein. 22.12.39 Zu	zum Bericht vom 1.12.39 № 406	TPr S 607

DIN-Format A 4 P (210 x 297 mm)

Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 1

791

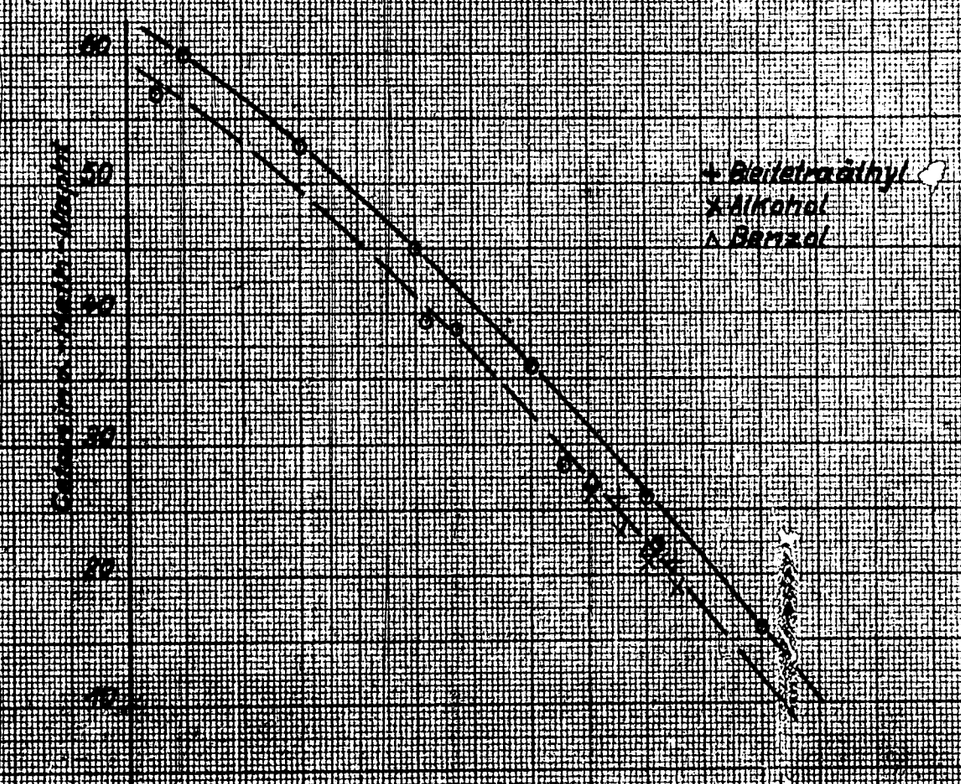
Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 1

791

Abhängigkeit zwischen Cetan- u. Oktanzahl

Cetan-Iso-Oktankurve



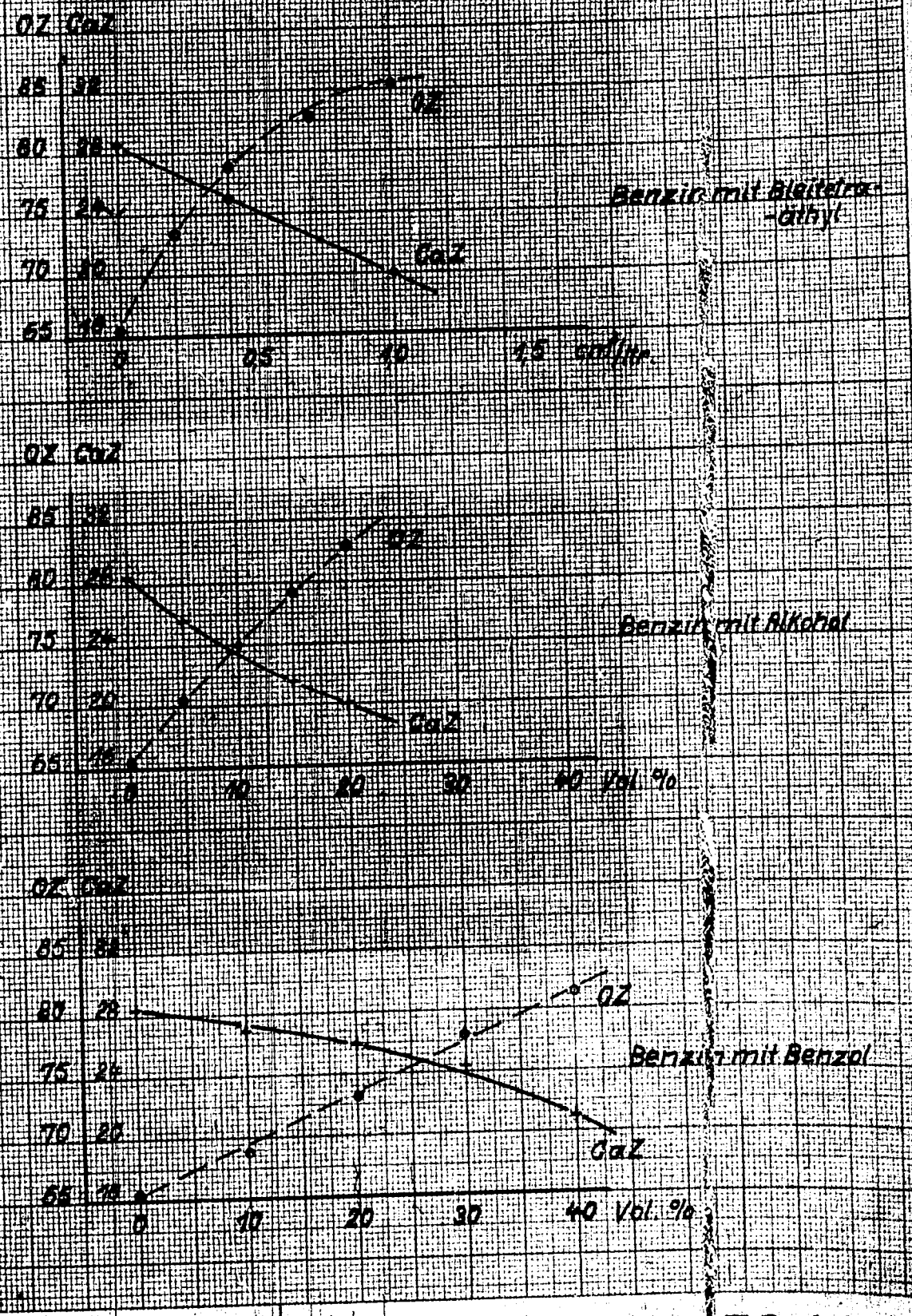
Benzol-Bi	CaZ 39	O2 = 75	Leuchtpetroleum	CaZ 61	O2 = 25
Alkohol-Bi	A 57	O = 75	J.G.A.-Bi	A 38,5	O = 44
Bi = 488	A 2,5	O 82	Leuna-Bi 1938	A 28,5	O = 65,5

Techn. Prüfstand
Oppau

Blatt 2

792

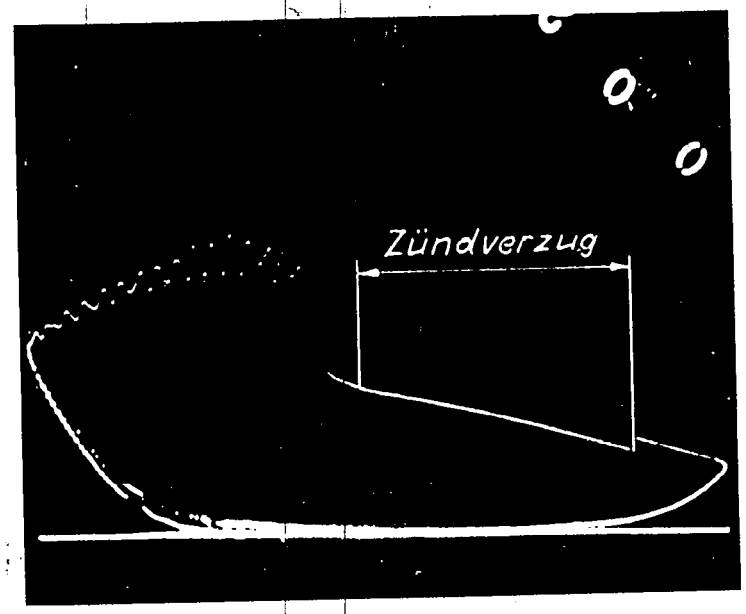
Veränderung der Oktan- u. Cetanzahlen durch Bleitetraäthyl, Alkohol u. Benzol.



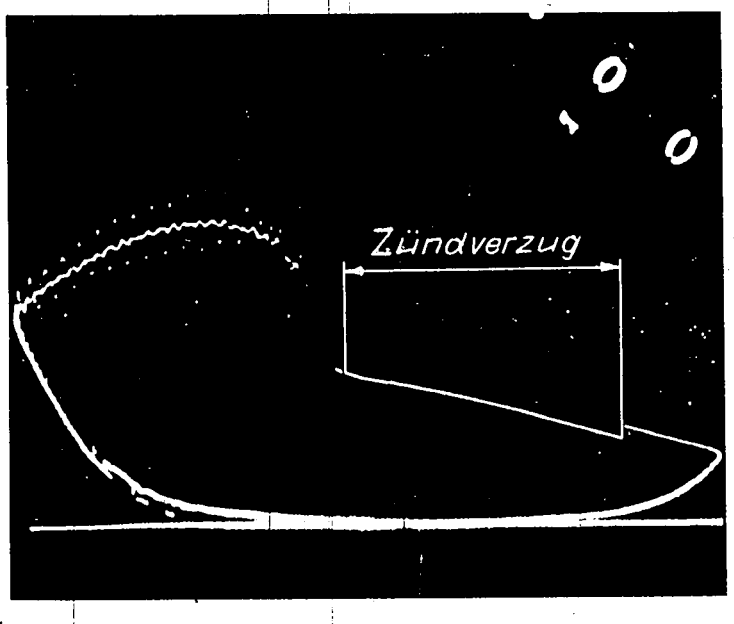
I.G.FarbenindustrieAktiengesellschaft. 6.12.39 Ludwigshafen a. Rhein. Zü	zum Bericht vom 1.12.39 № 406	TPrS 595

Anlage Blatt 3 z.Bericht Nr.406 v.1.12.39.

Druckverlauf-Diagramme von Benzin und Dieselöl im I.G.-Prüfdiesel I:



Benzin



Dieselöl

Benzin hat zunächst flachen , dann steilen Druckanstieg; beim Dieselöl steigt der Verbrennungsdruck sofort an. Beide Kraftstoffe haben die Cetanzahl 39,5 und wur den bei gleicher Verdichtung gefahren.

I.G.Farbenindustrie Aktiengesellschaft
Ludwigshafen a.Rhein.
Techn. Prüfstand Op 471.
Bericht Nr. 447.

B e r i c h t

über

Bestimmung der Lagerung und der Strömungsart von Würfel- und von Zylinderkontakten.

Inhaltsverzeichnis.

1.) Einleitung.

2.) Abmessung, Raumgewicht und Porenvolumen.

3.) Lagerung.

4.) Strömungsmessungen und Wärmeübergang.

Techn.Prüfstand Op 471.
Bericht Nr.411. 25.November 1940.Kl/L.

795

B e r i c h t
über
Bestimmung der Lagerung und der Strömungsart von Würfel- und von Zylinderkontakten.

1.) Einleitung.

In einem Kontaktofen waren Schwierigkeiten infolge ungleicher Temperaturverteilung im Kontaktgut aufgetreten. Die Gründe waren einmal in der apparativen Gestaltung des Kontaktraumes zu suchen, das andere Mal in der durch die unregelmäßige Lagerung der Kontakte bedingten Strömungsverteilung in den Porenräumen. Letztere Frage war durch Versuche zu klären.

2.) Abmessungen, Raumgewichte und Porenvolumen.

Es waren drei Kontaktarten zu untersuchen und zwar:

Probe 1. Ein würfelförmiger Kontakt, der von Hand hergestellt war und unregelmäßige Form sowie unscharfe Kanten hatte.

Probe 2. Ein würfelförmiger Kontakt gleicher Art wie Probe 1, nur maschinell hergestellt, sodaß er gleichmäßige Form und gerade Kanten hatte. (Material von Probe 1 und 2 war gesintertes Eisen).

Probe 3. Ein zylinderförmiger Kontakt, maschinell hergestellt und von gleichmäßiger Form.

Für die folgenden Untersuchungen interessieren die charakteristischen Abmessungen d_k (m) der Kontakte, die bei der Würfelform als Mittelwert von Höhe h, Breite b und Länge l ($d_k = \frac{h + b + l}{3}$), bei der Zylinderform als Mittelwert von Durchmesser d und Höhe h ($d_k = \frac{d + h}{2}$) gewählt wurden. Es sind bei

Kontakt	Höhe mm	Länge mm	Breite mm	Durchmesser mm	d_k m
Probe 1	15,5	16,4	13,3	-	0,015
Probe 2	12,0	13,6	11,0	-	0,0122
Probe 3	10,3	-	-	10,4	0,01035.

Die Maße sind Mittelwerte von je 100 Stück, wobei die Abweichungen bei Probe 1 etwa ± 10 %, bei Probe 2 etwa ± 3,5 %, bei Probe 3 etwa ± 0,5 % betragen.

Die Raumgewichte R (kg/m^3) der Kontaktschüttung wurden in einem 5 l Gefäß bestimmt. Sie sind bei:

Probe 1 R = 2240 kg/m^3
" 2 R = 2880 "
" 3 R = 840 " .

Die Porenvolumina ε (%) wurden im gleichen Gefäß bestimmt durch Eingießen von Wasser. Dabei zeigte sich, daß die inneren Poren der Kontakte sehr viel Wasser aufnahmen, vor allem die Proben 1 u.3, während Probe 2 weniger porös ist. Die Messungen wurden daher erst dann ausgeführt, nachdem die Proben einen Tag in Wasser gelegen und innen voll gesättigt waren. Es ergab sich

Probe 1 ε = 48,5 %
" 2 ε = 44,0 %
" 3 ε = 42,6 %.

3.) Lagerung.

Von grundlegendem Interesse ist die Lagerung der Kontaktschüttung, da Strömung und Wärmeübergang bezw. Wärmeleitung hiervon stark beeinflußt werden.

Die Abbildungen 1, 2 und 3 zeigen photographische Draufsichten auf die drei Kontaktformen, wobei allgemein für die 3 Proben eine regellose Lagerung zu beobachten ist. Bei Probe 2 ist häufiger als bei den anderen Proben festzustellen, daß zwei oder mehrere Kontakte mit ihrer ganzen glatten Fläche eng aneinander liegen und damit größere zusammenhängende Kontakträume bilden, die nicht von

Gas durchströmt werden können. Die Möglichkeit, daß sich zwei Kontakte in großer Fläche berühren, ist bei Probe 1 durch die häufigen Bruchflächen gegenüber Probe 2 sehr verringert, bei Probe 3 durch die zylindrische Rundung fast gänzlich vermieden.

Ein noch besserer Einblick in die Lagerung der Kontakte wurde dadurch gewonnen, daß die Porenräume mit einer erstarrenden Masse ausgefüllt und dann Schnitte angefertigt wurden. Als geeignetste Masse erwies sich Säurekitt SW 20 mit Wasserglas (Zement mit Wasser bezw. Zement mit Bölzit führte zu keinem Erfolg). Die Kontakte wurden einmal in einem Becherglas von 63 mm Ø, das andere Mal in einer Abdampfschale von 142 mm Ø ausgegossen. Die erstarrten Klötze wurden mit einer dünnen Schmirgelscheibe in der Steinhauerei Op 446 durchgeschliffen. Die Schliffe sind in den Abb. 4 bis 13 dargestellt. Es wurden jeweils Schliffe in etwa 2 mm und in 50 mm Höhe vom Boden des Gefäßes weg ausgeführt, bei Probe 3 noch in 35 mm Höhe.

Die Bodenschliffe aller drei Kontakte zeigen die bekannte Ordnung infolge des Wandeinflusses. Dabei liegen die Würfelkontakte mit einer Fläche am Boden an, was bei den glatten Kontakten der Probe 2 stärker ausgeprägt ist als bei den rauhen der Probe 1. Bei den Zylinder-Kontakten ist die Zylinderachse fast durchweg parallel oder senkrecht zur Bodenebene gerichtet.

In den Schnitten zeigt der Zylinderkontakt die gleichmäßigste Lagerung von allen drei Proben. Beim glatten Würfelkontakt ist mehrfach zu beobachten, daß zwei oder drei Würfel mit ihrer glatten Fläche eng nebeneinander liegen. Es bildet sich so ein nicht von Gas durchströmter Kontaktraum, der erhöhte Temperatur annimmt, während die Gasströmung die großen Hohlräume bevorzugt.

Die Ungleichförmigkeit der Lagerung tritt, wie zu erwarten, verstärkt bei dem kleineren Gefäßdurchmesser des Becherglases hervor, wobei noch der seitliche Wandeinfluß störend wirkt.

4. Strömungsmessungen und Wärmeübergang.

Wärmeübergang und Strömungswiderstand sind eng miteinander verknüpft, sodaß die genaue Kenntnis der Strömungsverhältnisse weitreichende Folgerungen auf den Wärmeübergang erlauben. Bei reiner Laminarströmung ist der Wärmeübergang nur gering von der Strömung beeinflußt. Aenderungen in der Betriebsweise oder verschiedene Gasgeschwindigkeiten in den einzelnen Porenkanälen ändern den Wärmeübergang nur in geringen Grenzen, da der Geschwindigkeitsexponent nur etwa 0,2 bis 0,3 beträgt. Bei rein turbulenter Strömung steigt der Exponent der Geschwindigkeit auf etwa 3/4. Im gleichen Kontaktraum können an benachbarten Porenkanälen beide Strömungsformen auftreten, was dann eine starke Verschiebung des Wärmeflusses bedingt.

Um zu erkennen, welche Strömungsart im Kontaktgut vorherrscht, wurden Strömungsmessungen durchgeführt. Der Kontakt wurde dazu in einem Rohr von 250 mm Ø und 1 m Höhe auf ein Sieb geschichtet, wobei entweder Luft oder Wasser hindurchströmte. Die Luftmenge wurde mittels Blende, die Wassermenge in einem Meßgefäß durch Abstoppen gemessen. Die Versuchsanordnung zeigt Abb. 14. Die Meßwerte sind in Tabelle 1 u. 2 angegeben.

Der Druckabfall Δp (mm WS) im Kontaktgut ist in den Abb. 15 bis 17 abhängig von der mittleren Geschwindigkeit Wm (m/sec.) im Schüttgut aufgetragen. Untersucht wurden Probe 1, d.i. der rauhe Würfelkontakt und Probe 3, d.i. der Zylinderkontakt. Entsprechend dem kleineren Porenvolumen und der engeren Lagerung hat der Zylinderkontakt einen etwa 1,5-fachen Widerstand gegenüber dem Würfelkontakt (Abb.17).

Als Charakteristikum der Strömungsform gilt die Abhängigkeit des Widerstandsbeiwertes ζ von der Reynolds'schen Zahl Re, ent-

sprechend den Beziehungen:

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{\gamma \cdot w^2}{2 \cdot g} \cdot \frac{l}{d_k} \quad x)$$

und $Re = \frac{w \cdot \gamma \cdot d_k}{\eta \cdot g}$

wobei folgende Dimensionen einzusetzen sind:

Δp (mm WS), γ (kg/m^3), w (m/sec.), η (kg/sec./m^3)

g = 9,81 (m/sec^2), dk (m), l (m). Spezifisches Gewicht γ, Geschwindigkeit w und Zähigkeit η beziehen sich auf den Zustand in halber Höhe ($l/2$) der Kontaktschüttung.

In Abb.18 ist die Funktion $\zeta = f(Re)$ dargestellt. Der linke schräge lineare Kurvenast gibt das rein laminare Strömungsgebiet, der rechte flache lineare Kurvenast das rein turbulente Strömungsgebiet zu erkennen. Die kritischen Reynolds'schen Zahlen liegen für

Zylinderkontakt bei $Re_{kritisch} = 70$

Würfelkontakt bei $Re_{kritisch} = 7$

Vergleichsweise ist die experimentell genau bestimmte Kurve für Kugelschüttungen eingezeichnet. Die Funktionen $\zeta = f(Re)$ gelten für jede Art strömenden Mediums und für jede ähnliche, aber verschieden große Kontaktabmessung und für jede Schütthöhe in nicht zu kleinen Gefäßen. (Korndurchmesser/Gefäßdurchmesser < 0,1). Der flache Verlauf des turbulenten Kurvenastes beim Würfelkontakt deutet darauf hin, daß die Gasströmung an den scharfen Kanten abreißt und den Körper nicht umspült, wobei ζ unabhängig von Re wird.

Die Reynoldssche Zahl des Würfelkontaktes im Betriebszustand des Kontaktofens beträgt nach Angaben von Herrn Dr.Hübner etwa

x) s.Bericht Dr.Kling: "Der Druckverlust von Schüttstoffen", Techn.Prüfstand Op, Nr.360.

2000 bis 3000. Die Strömung ist also nach Abb. 8 im Betrieb rein turbulent, sodaß wechselnder Strömungsumschlag, wie er im Uebergangsgebiet häufig vorkommt, im Ofen nicht auftreten kann. Wäre dies der Fall, so würde durch die verschiedene Güte der Wärmeübertragung (laminar: α = konst. $w^{\frac{1}{4}}$, turbulent: α = konst. $w^{\frac{1}{2}}$) eine je nach Strömungsart bedingte örtliche Temperaturerhöhung stattfinden können. Da dies infolge der viel zu kleinen kritischen Reynolds'schen Zahl $Re_{kr} = \frac{7}{8}$ nicht möglich ist, bleibt nur die Zusammenlagerung von Kontakten, wie sie in den photographischen Abb. 4 bis 13 gezeigt ist, als Ursache lokaler Ueberhitzungen anzusehen. In der Praxis hat sich die Unterteilung der ganzen Kontaktgutschicht in mehrere Schichten geringerer Höhe gut bewährt, wobei in den Zwischenräumen eine Mischung kalter und warmer Gaszonen stattfinden kann. Eine Verbesserung würde ohne Zweifel auch die Verwendung einer Kontaktform mit gleichmäßiger Lagerungsmöglichkeit bieten.

In dem hier zu behandelnden Reaktionsvorgang wird alle entwickelte Wärme durch Wärmeübergang an das Gas abgegeben, wobei eine Wandkühlung des Ofens nicht stattfindet. Das Wärmeleitvermögen des Kontaktgutes ist dabei kaum von Bedeutung. Erst im Falle örtlicher starker Temperaturerhöhungen ist die Wärmeleitung von Korn zu Korn von Einfluß, da dadurch die Wärme quer und senkrecht zur Strömungsrichtung an kältere Zonen im Kontaktgut abfließen kann. Da diese Wärmeleitzahl proportional der Zahl der Berührpunkte pro Flächeneinheit ist, würde eine Verkleinerung der Kornabmessungen in dieser Hinsicht einen Vorteil bedeuten, wobei jedoch als Nachteil zugleich ein größerer Druckverlust auftritt.

Anlagen: 2 Tabellen,
6 Blatt Abbildungen.

Ch. Kling

Tabelle 1. Strömungsmessungen am Würfelkontakt Probe 1.

a.) Wassermessungen vom 30.9.40.

Nr.	G	t	ΔP	W.10³	Re	ξ
Dim.	kg/h	°C	mm WS.	m/sec	-	-
1	217,8	16,5	0,9	1,23	1,28	177,1
2	214,0	16,8	0,9	1,21	1,25	183,3
3	654,5	19,0	3,7	3,71	3,76	81,1
4	654,5	19,3	3,3	3,71	3,76	71,9
5	1020	19,0	6,9	5,79	5,86	61,9
6	1440	16,3	11,7	8,16	8,44	52,7
7	2000	15,6	17,3	11,34	11,81	40,3
8	2542	15,3	30,0	14,42	15,03	43,2
9	4105	15,3	68,4	23,26	24,21	37,9
10	5640	15,3	117,6	31,98	33,29	34,6
11	7655	15,3	204,0	43,40	45,20	32,6
12	9260	15,5	296,2	52,55	54,70	32,2
13	10930	15,6	414,2	62,00	64,55	32,3
14	13090	16,0	544,0	74,10	76,60	29,6
15	14210	16,0	687,0	80,60	83,40	31,7.

Zu Tabelle 1.

b.) Luftmessungen vom 1.10.40. (große Blende).

Nr.	G	t	ΔP	W	Re	ξ
Dim.	kg/h	°C	mm WS.	m/sec.	-	-
1	65,0	20,5	11,5	0,31	375,0	28,6
2	92,7	20,8	22,5	0,44	438,5	27,6
3	137,2	20,6	53,0	0,66	650,0	29,6
4	162,1	21,0	73,0	0,78	763,0	29,1
5	237,3	19,0	134,0	1,04	1121	27,5
6	288,1	16,0	186,0	1,19	1378	27,4
7	543	12,2	535	1,79	2640	27,8
8	707	12,1	765	2,01	3440	27,3
9	836	12,1	928	2,12	4065	26,4
10	1110,0	12,2	1257,0	2,24	5400	25,6.

Tabelle 2. Strömungsmessungen am Zylinderkontakt. Probe 3.

803

a.) Luftmessungen vom 11.10.40 (kleine Blende).

Nr.	G	t	ΔP	W	Re	ξ
Dim.	kg/h	°C	mm WS.	m/sec.		-
1	10,9	20,0	2	0,05	3[illegible],6	123
2	30,3	19,5	8	0,14	9[illegible],0	63,8
3	36,4	19,0	11	0,17	11[illegible],6	60,5
4	41,1	20,0	12,5	0,20	13[illegible],3	54,1
5	49,2	20,0	16	0,24	16[illegible],7	48,0
6	54,6	20,0	20	0,25	17[illegible],5	60,2
7	65,0	20,5	25	0,30	21[illegible],3	44,8
8	73,6	22,0	32	0,32	23[illegible],3	47,0
9	46,6	22,0	16	0,22	15[illegible],5	49,4
10	61,9	22,5	26	0,28	20[illegible],0	51,6
11	110,9	23,0	58	0,44	35[illegible],0	41,3
12	157,1	23,5	90	0,51	50[illegible],0	39,5
13	198,1	23,0	118	0,56	64[illegible],0	37,2
14	250,0	23,0	152	0,61	80[illegible],0	34,8
15	321,5	23,0	194	0,62	102[illegible],5	34,0
16	350,7	23,5	212	0,63	112[illegible]	33,3.

Zu Tabelle 2.

b.) Luftmessungen vom 11.10.40 (große Blende).

Nr. Dim.	G. kg/h	t °C	ΔP mm WS.	W m/sec.	Re -	ξ
1	64,5	20,0	26	0,31	324,2	45,8
2	84,6	20,0	43	0,40	425,5	43,9
3	109,	20,3	66	0,52	547	40,7
4	138,2	20,4	96	0,66	694,5	36,8
5	156,5	20,2	122	0,75	785,5	36,5
6	191,8	20,2	176	0,87	917	36,8
7	231,8	20,0	235	1,00	1058	35,4
8	296	20,5	351	1,23	1301	33,5
9	176,5	23,0	152	0,81	870	37,2
10	244	22,0	268	1,05	992	35,2
11	304,5	21,5	364	1,26	1190	33,0
12	349,8	21,5	453	1,39	1337	32,6
13	414	21,0	557	1,56	1551	30,0
14	471	21,0	713	1,66	1640	31,8
15	543	21,0	860	1,79	1776	30,9
16	616	20,6	1024	1,89	2016	30,7
17	680	20,0	1152	1,97	2121	30,2
18	827,5	21,0	1422	2,08	2705	28,8
19	970	21,0	1680	2,15	3155	28,1
20	1021	21,0	1761	2,19	3240	27,5
21	1120	21,0	1922	2,22	3360	27,0
22	1230,5	20,5	2114	2,26	4120	26,4
23	1289,5	19,0	2206	2,27	4235	26,4