START

CODE DESIGNATIONS
AND ROLL NUMBER

REEL NO. 0198

GENERAL SUBJECT

GROUP A

THE LOW-TEMPERATURE CARBONIZATION OF COAL AND THE PROCESSING, USE AND DISTRIBUTION OF LOW-TEMPERATURE TAR AND PRODUCTS DERIVED THEREFROM. DOCUMENTS AND DRAWINGS.

GROUP B

PROCESSES AND EQUIPMENT FOR THE RECOVERY OF PHENOLS FROM INDUSTRIAL WASTE WATERS. DOCUMENTS AND DRAWINGS.

GROUP C

THE "BUTTNER" DRYER. DESCRIPTIVE PAMPHLETS AND DRAWINGS.

GROUP D

THE "PINTSCH-HILLEBRAND" WATER GAS GENERATOR AND THE PRODUCTION OF SYNTHESIS GAS FROM PEAT. DOCUMENTS AND DRAWINGS.

Reel No. C - 98

Source of Documents: Manufacturers and users of dephenolizing equipment in Germany.

Collected by: E. O. Rhodes, Miscellaneous Chemicals Sub-committee, JIOA, between September 15, 1945 and January 15, 1946.

Filmed by: JIOA

Date: 26 January 1946

REEL NO.	INDEX	FRAME NOS
C - 98	PART A	
	I. Books and documents dealing with low temperature carbonization of coal. Received from Dr. Adolf Thau, Didier Werke, Berlin.	
	1. The state of low temperature carbonization in Germany before the conclusion of the war. By Adolf Thau.	1 - 30
	2. Documents to accompany article by Adolf Thau entitled "The State of Low Temperature Carbonization in Germany before the Conclusion of the War". Diagrams and tables relating to low temperature carbonization of coal. Yearly report of the "Brennkrafttechnische Gesellschaft E.V." 1940-41.	31 - 201
	3. Kohlenschwelung Zuglefer Ergänzung zu "Die Schwelung von Braun- und Steinkohle" von Adolf Thau. The low temperature carbonization of coal supplement to "The Low Temperature Carbonization of Brown and Bituminous Coal".	202 - 418
	4. 70 Jahre Didier-Offenbau Mitteltemperaturverkokung. 70 years of Didier oven construction middle temperature coking.	419 - 424
	5. Amt für Technik der N.S.D.A.P. Bericht über die Tagung "Heimische Treibstoffe" Nürnberg, Oktober 1936. Report on the meeting "Domestic Motor Fuels", Nürnberg, October 1936.	425 - 482
	II. Documents from Brennstoff Technik, Essen.	
	1. Letter to Mr. E. Rhodes, description, drawings, diagrams and photographs relating to "Brennstoff-Technik" process for carbonizing coal at low temperatures.	483 - 506
	III. Documents concerning low temperature carbonization, low temperature tar and pressure gasification of solid fuels with oxygen. From Lurgi, Frankfurt am Main.	
	1. "Recent Developments of Low Temperature Carbonization of Solid Fuel in Germany" by Dr. F. A. Ostken. Reprinted from Engineering Progress October 1936.	507 - 513

REEL NO.		FRAME NOS.
C - 98	2. Krupp Lurgi Kammer-Schwelanlagen für Steinkohle. Krupp Lurgi chamber plants for low temperature carbonization of bituminous coal.	514 - 524
	3. Lurgi Carbonizers.	525 - 540
	4. Die Druckvergasung fester Brennstoffe mit Sauerstoff. Von Dr. Ing. Friedrich Damlat, Frankfurt a.M. The pressure gasification of solid fuels with oxygen.	541 - 550
	5. Statistics for 1943. Production and treatment of Low Temperature Tar.	551 - 552
	IV. Reports and diagrams received from H. Koppers, Essen.	
	1. Die Schwelung der Steinkohle nach Koppers. The low temperature carbonization of bituminous coal by the Koppers method.	553 - 564
	V. Documents obtained from Messrs. Friedrich Krupp A.G., Essen, Ruhr, Germany.	
	1. Lay-out drawings and flow diagram of low temperature carbonization and Fischer-Tropsch plants of Friedr. Krupp A.G.	
	a. Flow sheet for Krupp Lurgi low temperature carbonization plant - Wanne Eickel.	565
	b. Flow sheet for Krupp Fischer-Tropsch plant - Wanne Eickel.	566
	d. Krupp-Treibstoff Werk Gm.b.H. Lageplan. Krupp motor fuel plant lay-out.	567
	2. Reprints of articles concerning low temperature carbonization and low temperature tar, received from Fried. Krupp A.G., Essen - Ruhr.	
	a. "Steinkohlenschweltar" from "Kohlenschwelung" by Adolf Thau.	568 - 574
	b. Neuer Betriebserfahrungen mit der Steinkohlen-Schwellanlage Bauart "Krupp-Lurgi" auf Schachtanlage Amalie der Fried. Krupp Aktiengesellschaft, Bergwerke Essen. von K. Brüggemann. Concerning operating experience with the Krupp-Lurgi plant for the low temperature carbonization of bituminous coal at the "Amalie" shaft plant of Fried. Krupp. Akt. Mines Essen.	575 - 583

REEL NO. FRAME NOS.

C - 98

c. Wassergaserzeugung aus Steinkohlen-Schwelkoks. Von Dipl.-Ing. Wilke, Oberhausen-Holten.
Watergas production from coke produced by low temperature carbonization of bituminous coals. By Dipl.-Ing. Wilke, Oberhausen-Holten. 584 - 589

d. Die physikalische Prüfung von Schwel- und Hoch Temperaturkoks in einer E-kg-Trommel. Von E. Combles und W. Surmund.
The physical testing of coke produced by low temperature carbonization and high temperature carbonization. By E. Combles and W. Surmund. 590 - 593

e. Die Bestimmung der Pumpfähigkeit von Heizölen. Von H. R. Asbach und J. Tegethoff.
The determination of the pumpability of heating oils. By H. R. Asbach and J. Tegethoff. 594 - 598

f. Mischbarkeit von Heizölen von Dr. W. Demann, Essen.
Miscibility of heating oils by Dr. W. Demann, Essen. 599 - 606

g. Laboratoriumsapparatur für Steinkohlenschwelung nach dem Heizflächenverfahren von K. Scheeben, Essen.
Laboratory apparatus for low temperature carbonization according to the "heating surface" process by K. Scheeben, Essen. 607 - 612

h. Die bisherigen Arbeiten der Vereinigung für Steinkohlenschwelung (V.f.S.) von Dir. Dr. H. Weittenhiller, Dortmund.
The previous work of the "Vereinigung für Steinkohlenschwelung" (V.f.S.) by Dir. Dr. H. Weittenhiller, Dortmund. 613 - 622

i. Ueber die Schwelung der Steinkohle im Verbindung mit der Fischer-Tropach-Ruhrchemie-Sythese von F. Müller.
Concerning the low temperature carbonization of bituminous coal in connection with the Fischer-Tropsch-Ruhrchemie-synthesis by F. Müller. 623 - 625

j. Viskosimetrisches Verfahren zur Bestimmung der Mischbarkeit von Kohlenwasserstoffgemischen, insbesondere von Heizölen von Dr. Demann und H. R. Asbach.
Viscosimetric methods for determination of the miscibility of mixtures of hydrocarbons, especially of heating oils. 626 - 635

REEL NO.		FRAME NOS.
C -98	VI. Documents obtained from Messrs. Carl Still, Recklinghausen, Germany, concerning a tar plant for Messrs. Aktiengesellschaft Sächsische Werke in Espenhain, and a plant for processing hydrogenation residue for the Poelitz Hydrogenation Works.	
	1. Letter from Messrs. Carl Still, Recklinghausen, to Mr. E. O. Rhodes, referring to descriptions and drawings relating to the processing of tar.	633 - 637
	(For items 2 through 11, (except No. 7), referred to in the letter, see Reel No. C- frames 435 - 460 and for items 12 and 13 see Reel No. C- frames	
	2. Documents concerning a tar plant built by Messrs. Carl Still of Recklinghausen, Germany, for Messrs. Aktiengesellschaft Sächsische Werke at Espenhain.	
	a. Beschreibung einer Teerverarbeitungsanlage für die Aktiengesellschaft Sächsische Werke in Espenhain. Description of a tar processing plant for the A. G. Sächsische Werke in Espenhain.	638 - 641
	b. Espenhain low temperature tar plant built by Carl Still for Aktiengesellschaft Sächsische Werke Dresden.	642
	c. Beschreibung einer Rohteer-Schleuderanlage. Description of a crude tar centrifugal plant.	643 - 645
	d. Beschreibung einer Teerdestillation. Description of a tar distillation plant.	646 - 649
	e. Beschreibung einer Blasenredestillation für paraffinhaltige Oele. Description of a redistilling still for oils containing paraffin.	650 - 651
	f. Description of still for production of hard pitch with inert gas. (See Reel No. C- Frame Nos. 456 - 458, for description and drawings).	
	g. Beschreibung einer Pechkokerei. Description of a pitch coke plant.	652 - 656

REEL NO.		FRAME NOS.
C - 98	3. Beschreibung einer Anlage zur Zerlegung von 8 t/h eines Hydrierabschlammes für die Hydrierwerke Pölitz. Description of a plant for processing 8 tons per hour of a hydrogenation residue for the Pölitz Hydrogenation Works.	657 - 658
	VII. 1. Document received from Dr. Lemeck, Essen, Germany, concerning: The treatment of tars made by low temperature according to the process of BIK-Sulden-werke Chemische Fabrik A.G., Berlin-Oranienburg.	658 - 662
	VIII. Documents from Gesellschaft für Teerverwertung, Duisberg, Meiderich.	
	1. Beiträge zur Kenntnis des Steinkohlenschwelteeröls Von Dr. O. Kruber. Sonderdruck aus "Oel und Kohle vereinigt mit Petroleum", Heft 45, Seite 770 (1939). Contributions to the knowledge of tar oils produced by low temperature carbonization of bituminous coal by Dr. O. Kruber. Special print from "Oel und Kohle vereinigt mit Petroleum", volume 45, page 770 (1939).	663 - 667
	2. Versuchsbericht über eine diskontinuierliche Destillation von Schwelteer aus Waldschacht - Kohle in der Versuchsanlage der Gesellschaft für Teerverwertung m.b.H., Duisberg-Meiderich. Test report of a discontinuous distillation of low temperature carbonization tar from Waldschacht coal, in the test plant of the Ges. für Teerverwertung m.b.H., Duisberg-Meiderich.	668 - 672
	IX. Documents and drawings from I.G. Farbenindustrie, Leuna Plant, Merseburg.	
	1. Beschreibung und Plan der Kohlehydrierung. Description and diagram of the coal hydrogenation.	672A - 673
	2. Sumpfphase-Destillation Nr 888. Allgemeine Beschreibung der Anlage. Liquid phase distillation Nr 888. General description of the plant with apparatus flow diagram (drawing No. M1080-I) and drawing No. 11046(4), showing locations of thermocouples on pipe heater.	674 - 677

REEL NO.		FRAME NOS.
C - 98	3. Description of the phenol installations with drawings: M 5762-4 Phenolextraction, building Me 963 - M 6138-1 Phenol oil distillation, building Me 950 - Enn 3146-2 Flow diagram of springing and carbonising equipment.	678 - 684
	4. Description of phenol plant "South" with drawings: M-10231 "d"-2 Phenol refining, building Me 992 SK-101145-4 Phenol fractination, building Me 983 Production scheme Jan./May, 1944 M-6948-16 Phenol fractination, building Me 983 Flow diagram M 3924 "d"-1 Phenol fractination, building Me 983 Equipment arrangement M 6947-16 Pyrocatechol plant, building Me 994	685 - 697
	5. Description of the manufacture and distillation of Cyclohexanol, with drawing M 6881-16, building Me 978 and Me 975.	698 - 706
	6. Description of the manufacture of Cyclohexanone with flow diagram M 6882-16, building Me 975.	707 - 710
	7. Description of the manufacture of Oxime and Luran (Caprolactam) with flow diagram M 5626-8.	711 - 713
	8. Description of the adipic acid manufacture with flow diagram SK 31745, building Me 205.	714 - 716
	9. The synthesis stages of Igamides A, B and U.	717
X.	1. Über die oxydative Ringöffnung von o-Dioxybenzolen zu Mukonsäurederivaten. Dr. Günther Spengler, Munich. The oxidative ring fission of the o-dioxybenzenes to muconic acid derivatives.	718 - 738
XI.	1. Die Zerlegung von Schwelteeren aus Braunkohle und Ölschiefer mit selektiven Lösungsmitteln von Prof. Dr. Ing. Ernst Terres. The extraction of low temperature tar from brown coal and oil shales with selective solvents by Prof. Dr. Ing. Ernst Terres. Reprint received from Edeleanu-Gesellschaft, Berlin.	739 - 754
XII.	Documents obtained from Deutsche Erdöl - Aktiengesellschaft, Berlin.	

REEL NO.		FRAME NOS.
G-98	1. Verarbeitung in der Raffinerie Rositz in den Jahren 1942/43. Production at the Rositz Refinery in 1942-1943.	755
	2. Verarbeitung von Schwelteer auf Paraffin. Production of paraffin from low-temperature tar with drawing SK 327 and description thereon.	756 - 759
	3. Verarbeitungsschema von Schwelteer auf Treibstoffe (durch Spaltung). Procedure for making motor fuel from low temperature tar (by cracking).	760 - 762
	4. Verarbeitung des Waschteers. The processing of the wash oil residues ("wash tar").	763 - 764
	XIII. 1. Document and drawing from Schwelwerk Offleben (distillation plant Offleben) of Braunschweigische Kohlen Bergwerke, Helmstadt.	765 - 773
	XIV. Documents concerning Schwelerei Brüx, obtained from Hermann Göring Werke, Schwarzenfeld near Nürnberg.	
	1. Aufbau und Arbeitsweise der Lurgi-Spülgas-Schwelanlage für Rohbraunkohle in Brüx. Construction and production methods of the Lurgi flushing gas plant for low-temperature carbonization of crude brown coal.	774 - 785
	2. Elektrische Standmessung - Ausführung D. Electrical level indicator - Model D.	786 - 794
	3. Druckverlust in Rohrleitungen. Pressure drop in pipe systems.	795 - 805
	4. Lurgi Spülgas-Schwelanlagen. Bulletin of the "Lurgi Spülgas" low-temperature carbonization plant.	806 - 821
	5. Flow diagram for the low-temperature carbonization plant.	822
	6. CO_2-Waschanlage. CO_2 scrubbing plant.	823 - 864
	7. Klardampf-Karbonisier-Anlage Entwässerungs und Blasendestillation - Bau 342-344. Steam-stripping, springing, dehydration and distillation plant (for phenols), Building 342-344.	865 - 880

REEL NO.		FRAME NOS.
C -98	8. CO - Reinigung. Brüx. CO removal (from crude hydrogen).	881 - 887
	9. Winkler - Anlage. Brüx. Bau 55 (Generatoren), Bau 58 (Desintégratoren) u. Bau 66 (Gebläse). Winkler plant - Brüx. Building 55 (generators), building 58 (centrifugal dust removers) and building 66 (blowers).	888 - 900
	10. Wasch-öl- und Mittelöldestillation. Brüx. Wash oil and middle oil distillation.	901 - 920
	11. Steam flow diagram.	921
	12. Condensor water flow diagram.	922
	13. Druckkonvertierung. Pressure converters.	923 - 936
	14. Plant flow diagram.	937
	15. Turbinentrockener - "Büttner". Turbine dryer - "Büttner".	938 - 957
	16. Der Trockenentrockner in der Braunkohlen-Aufbereitung von Dr. Ing. K. Fritzsche, Mücheln. The turbine dryer in the brown coal production.	958 - 961
	17. Büttner Turbinen-Trockener - seine Entwicklung. Büttner turbine dryer - its development.	962 - 969
	18. Die Schwelung von festen Brennstoffen und ihre Bedeutung für die Beschaffung von flüssigen Treib- und Brennstoffen. The low-temperature carbonization of solid fuels and their importance for the obtaining of liquid fuels.	970 - 979
	PART B.	
	I. Documents and drawings pertaining to the removal of phenols from waste waters by various systems used at coke plants, hydrogenation plants and brown coal low-temperature carbonization plants.	
	1. Statement and three drawings concerning dephenolizing of waste waters received from H. Koppers, Essen. Entphenolung - 27.11.1945 - Dephenolizing. Drawings Nos. K 157 104, B 131748 IPh, and B 130888 Ph.V 629.	980 - 984

REEL NO.		FRAME NOS.
C - 98	2. Beschreibung zum Schema einer Entphenolungsanlage nach Blatt V 54/34 mit stehendem Rührwerks-Wascher (System Still). Description of the plan for a dephenolizing plant, with vertical agitator-washer, according to drawing V 54/34 ("Still" system).	985 - 988
	3. Beschreibung einer Entphenolungsanlage mit Umpumpsystem Still - Zeichnung: Lab. S 833. Description of a dephenolizing plant with the "Still" recycling system.	989 - 991
	4. Entphenolungs-Anlage. Dephenolizing plant. I.G. Farbenindustrie A.G. Mersaburg-Leuna. Tricresylphosphate system.	992
	5. Gegenwärtiger Stand der Entphenolung von Abwässern aus Kohleveredlungsanlagen von Dr. Ing. W. Herbert, Frankfurt a.M. Sonderdruck aus "Oel und Kohle" 38 Jahrgang 1942 Heft 19, Seite 525/31. Present position of the dephenolizing of waste waters from coal processing plants. Reprint from "Oil and Coal" 38, 1942, Vol. 19 pages 525/31.	993 - 1000
	6. Die Entphenolung von Industrieabwässern und -ölen nach dem Phenosolvan-Verfahren von Dr. Alfred Dierichs, Leverkusen. Sonderabdruck aus der "Chemischen-Zeitung", 1942 Jahrgang 66, No. 22/23 S. 238. The dephenolizing of industrial waste waters and oils by the Phenosolvan process by Dr. Alfred Dierichs, Leverkusen. Reprint received from Dr. Dierichs at I.G. Farbenindustrie Plant Schlopau.	1001 - 1004
	7. Entphenolung von Schwelwässern und Phenolgewinnung bei der Aktiengesellschaft Sächsische Werke von Dr. Ing. H. Just, Dresden. Sonderdruck aus "Braunkohle" 1941, Heft 19, S. 245-249 und Heft 20 S 259-263. Dephenolizing of low temperature coke plant waters and recovery of phenol at the Akt. Sächsische Werke by Dr. Ing. H. Just, Dresden. Reprint from "Braunkohle" 1941, Vol. 19, pages 245-249 and Vol. 20 pages 259-263.	1005 - 1013
	8. Phenosolvan process. Document from Dr. Lameck.	1014

REEL NO.		FRAME NOS.
0 - 98	II. Documents from Emschergenossenschaft, Essen.	
	1. Zehn Jahre Phenolgewinnung aus dem Gaswasser der Kokereien im Rheinisch-Westfälischen Industriegebiet - Essen 1939 - von Regierungsbaumeister a.D.H. Wiegmann, Essen. Ten years of phenol recovery from the coke plant gas liquors in the Rhine-Westphalia industrial area. Reprint received from Dr. Wiegmann, Emschergenossenschaft, Essen.	1015 - 1022
	2. The Emschergenossenschaft.	1023 - 1035
	3. Emschergenossenschaft und Lippeverband in den Jahren 1925 bis 1930. "Emschergenossenschaft" and "Lippeverband" in the years 1925 until 1930.	1036 - 1158
	PART C	
	I. Catalogs and drawings for Büttner Dryer, Büttner Werke A.G., Uerdingen, collected by Solid Fuels Team.	
	1. Kohle-Trocknung und -Kühlung. Coal drying and cooling (booklet).	1159 - 1199
	2. Der Turbinen Trockner - "Büttner". The trubine dryer (pamphlet).	1200 - 1219
	3. Farben - Pasten - Schlamm jeder Konsistenz. Colors - Pastes - Sludges of every consistency.	1220 - 1227
	4. Büttner-Werke - Drawing 81868 - Anordnung der U.B. Anlage der Grube Elisabeth. Lay-out of the U.B. Plant of mine "Elizabeth".	1228
	5. Aufstellungsplan des Büttner-Vert.Turb-Trockners für Feinkohle - Drawing OTu 85518. Cross sectional view of Büttner vert. turb. dryers for fine coal.	1229
	6. Aufstellungsplan einer Lignit-Trock.Anlage mit Büttner - Vertical - Turbinentrockner - Drawing OTu 88860. Cross sectional view of a lignite drying installation with Büttner - vertical turbine dryers.	1230

REEL NO. | FRAME NOS.

C - 98

PART D

1. Documents from Messrs. Julius Pintsch-Berlin, concerning: a. The "Pintsch-Hillebrand Process" and b. Synthetic gas from peat.

a. 1. Letter to FIAT, Berlin, November 14, 1945. 1231 - 1232

2. Die kontinuierliche Wassergaserzeugung nach dem Umwälzverfahren mit besonderer Berücksichtigung des Pintsch-Hillebrand-Generators von Friedrich Domann, Berlin.
The continuous water gas production according to the re-cycling process with special consideration to the Pintsch-Hillebrand generators by Friedrich Domann, Berlin. 1233 - 1278

3. Drawings for "Pintsch-Hillebrand", plant:

BGH 0250 Schnitt durch die PH Wg-Anlage.
Cross-section of the PH Wg-plant. 1279

BGH 0368 P.H. Wassergas-Anlage.
P/H. Water gas plant. 1280

BGH 0533 (Title undiscernable). 1281

BGHO 205 Elektromotoren in Bau 1 und Bau 7.
Electro motors in building 1 and building 7. 1282

BGH 0385 Generator und Regenerator (Längsschnitt).
Generator and regenerator (elevation view). 1283

BGH 0590 Synthesegaserzeugung aus Torf. Giebelansicht der Anlage.
Synthesis gas production from peat. View of plant. 1284

BGH 0386 Generator und Regenerator (Grundriss).
Generator and regenerator (plan view). 1285

BGH 0589 Synthesegaserzeugung aus Torf. Lageplan.
Synthesis gas production from peat. Lay-out. 1286

REEL NO.			FRAME NOS
C - 98	BGH 0418	Scheme der Pintsch-Hillebrand Wassergasanlage. Diagram of the Pintsch-Hillebrand water gas plant.	1287
	BGH 0630	Torfschwelanlage mit Couperfeuerung. Plant for the low-temperature carbonization of peat with Couper heating system.	1288
	b. 1.	Synthesegas aus Torf von Prof. Dr. Gustav Keppeler, Hannover. Synthetic gas from peat by Prof. Dr. Gustav Keppeler, Hannover.	1289 - 1307

PART B

	I. 1	Copy of a Dissertation by Ing. F. A. Coay entitled "Ueber ein Verfahren zur Gewinnung von Brenzcatechin aus Braunkohlenteeren, die Verwertung desselben im Grossbetriebe und die Reinigung des technischen Produktes." "Concerning a process for the recovery of Pyrocatechol from brown coal tar, the use of the same on a large scale and the purification of the technical product"	1308 - 1369

TITLE PAGE

PART A

I. Books and documents dealing with low temperature carbonization of coal. Received from Dr. Adolf Thau, Didier Werke, Berlin.

1. The state of low temperature carbonization in Germany before the conclusion of the war. By Adolf Thau.

Frame Nos. 1 - 30

Drawings, graphs and tables supplementing this report

in a separate file !

The state of low temperature carbonization in Germany before the conclusion of the war

Note 1) As the time at disposal for compiling this report does not permit the preparation of drawings or photos, reference is made to the latest book which appeared in Germany in the year 1938 on this subject viz. "Kohlenschwelung" by Adolf Thau. The bracketed figures refer to the pages of this book.

2) The processes mentioned in the following refer to retorts or chambers heated from the outside if not stated otherwise.

3) Instead of the expression "gaseous heat carriers" the shorter German expression "Spülgas" will be used.

Historical

The l.t. carbonisation of lignite commenced in Germany about 95 years ago and was confined to Central Germany principally to Saxony. While the English expression "lignite" stands for a whole class of fuel having a certain geological age, in Germany a difference is made between lignite and brown coal. The former has retained its wooden structure and may be termed fossile wood while the brown coal has no structure and shows a colloidal nature. Only part of the brown coal deposits of Germany is sufficiently rich in bitumen to economically justify its being subjected to l.t. carbonization.

The l.t. carbonization of bituminous coal was taken up first in Germany during the year 1918. There was such an acutely felt shortage of mineral oils at that time that the quality of the semi-coke manufactured as the main product by these processes was disregarded altogether. Consequently this rapidly developed

fuel industry disappeared again almost completely from Germany within a few years.

In the following the new development of the l.t. carbonization of brown coal and bituminous coal will be briefly reviewed.

I. The l.t. carbonization of brown coal

The vertical oven of circular section developed by Dr. Rolle during the year 1872 superceeded the horizontal metal retorts in use before that time and was adopted exclusively. Owing to its small throughput and its low yield of tar this oven has been abandoned though several plants are still in operation. No new units have been built during the last 20 years.

After experience had amply proved that the throughput as well as the yield of tar could be considerably improved by predrying the brown coal a number of the Rolle ovens have been converted so as to carbonise the fuel in the briquetted state. The space occupied by the fuel in the oven had to be enlarged considerably. After converting the old Rolle ovens in this fashion (13) the treatment of raw brown coal for this purpose has been abandoned completely andat the same time a rough-grained easely combustible semi-coke is being produced.

During the year 1924 Geissen introduced his all metal oven with a corrugated vertical revolving drum using pre-dried, screened brown coal reaching a throughput of about 60 tons of fuel per day.

Several plants are still operating on the basis of this oven by Geissen-Kohlenveredlung A.G. but during the year 1935 Geissen came out with a new type of l.t. carbonization oven constructed by Borsig and known under the name Borsig-Geissen

oven. Instead of the corrugated revolving vertical cylinder consisting of several heavy castings a plain seamless steel tube has been adopted while the basic features of the former type have been maintained. A full descriptive account of this oven appeared (14-20) elsewhere and need not be repeated here.

One or two plants of this kind have been built but the hopes which were entertained in this connection of the oven being able to treat a fuel containing a larger proportion of dust have not been fulfilled. The fact is, that if the proportion of dust in the charge exceeds a certain limit, the charge leaves the oven all of a sudden, a rush sometimes connected with an explosion. This disadvantage is connected with both types of ovens by Geissen.

This concludes the development of using ovens heated from the outside for the l.t. carbonization of brown coal.

In the majority of cases by far, ovens constructed by the Lurgi Co. are being applied for the l.t. carbonization of brown coal using spulgas for the transfer of the heat.

For the use of spulgas a lumpy or grainy size of the fuel is free from dust is a primary condition, as otherwise the gases cannot penetrate the charge evenly while ascending in the oven. The bituminous browncoal is rarely suitable for being directly treated by such a process. So the brown coal is in a preliminary step first dried and in the usual way transformed into briquettes by sausage presses. These briquettes are subsequently subjected to l.t. carbonization.

In the Geissen oven mentioned above a fine grained char is recovered which is suitable for consuming in special domestic ovens or as powdered fuel after grinding.

In the Lurgi oven also a fine-grained semi-coke is produced since the brown coal has no agglutinating power so that the briquettes disintegrate after carbonization. The semi-coke from

the Lurgi oven is however coarser than the coke from the Geissen oven and is easier combustible. A large proportion of the semi-coke recovered from the Geissen plants is mixed with pitch, pressed into ovoids which undergo finally a thermic hardening treatment to obtain a saleable boiler fuel.

To facilitate the disposal of the semi-coke such l.t. carbonising plants of the brown coal region have been built in connection with large central power stations which consume the semi-coke as powdered fuel. The plant at Böhlen near Leipzig can serve as an example for such an arrangement and it may also be mentioned as being the largest plant of its kind dealing with brown coal briquettes, the throughput of which is equal to 5000 tons per day. The primary tar produced is taken up by an attached hydrogenating plant so that the brown coal is converted into two products only i.e. electric power and motor spirit. Particulars about this and similar plants are given elsewhere (21-24).

In order that the brown coal semi-coke may be able to compete with normal coke special efforts have been made to obtain a lumpy coherent coke which serves very well for many purposes but owing to its greater abrability cannot take the place of metallurgical coke, quite apart from the high contents of sulphure and ash which are characteristic of all brown coals.

The converting of brown coal into a lumpy semi-coke is effected drying the brown coal down to 6-8% of water and reducing the fuel to a fine grain. In this condition the fuel is conveyed into a ring roller press and subjected to a pressures of about 2,500 atmospheres. The briquettes are subjected to l.t. carbonisation in a Lurgi oven operated with spülgas and apart from a certain shrinkage due to the expulsion of volatile matter the briquettes retain their shape completely. They are a favourite fuel for stationary and automotive gas producers.

Several Lurgi plants of this kind for the manufacture of lumpy coke from brown coal are in operation. Further particulars about this process have appeared elsewhere (24-29).

About 15 Lurgi l.t. carbonization plants dealing with brown coal have been constructed during the last ten years. Their total throughput is equal to about 85 000 tons raw brown coal per day. A number of these plants are equipped with ring roller presses of which each unit accounts for 250 tons briquettes per day and over 20 units have so far been constructed.

II. The low temperature carbonization of bituminous coal

The first development of l.t. carbonization of bituminous coal commenced just after conclusion of the first world war. Several reasons are responsible for this delay compared with the U.S.A. and England.

1.) There is an abundance of lean coal deposits in Germany used as domestic fuel so that a market for the semi-coke must be created.

2.) There is no excess of caking coals beyond those which are taken up by the coking plants.

Under these circumstances there was under normal conditions very little chance for the development of l.t.carbonization of bituminous coal on a broad basis.

With the aim of obtaining mineral oil at any price, the developments commenced with the continously operating revolving retort of which three different types have been introduced. The semi-coke was largely crushed, the formation of lumps was partly disturbed and the development of dust inside of the revolving retort spoiled the tar recovered. When the oil and fuel markets returned to normal prices the whole situation was evidently so uneconomical that the l.t.carbonization of bituminous coal was

given up almost completely. Individual inventors were able to operate trial plants on a small or semi-commercial scale and this kept the idea alive but did hardly contribute to a further development.

This was revived again by the requirements of the German navy for a fuel oil from home supplies independent from foreign sources while the semi-coke produced at the same time was to serve as a fuel for automotive gas producers.

This development started with 4 different types of processes i.e.:

1) The Lurgi spulgas process
2) The Kollergas " " "
3) B-P process by Duening
4) The Krupp-Lurgi process.

The Lurgi process (55) as well as the Kollergas process (57) are both operating on the spulgas principle and are thus adapted for the treatment of non-caking coals only. As to the most suitable sizes, experience has shown that the smallest grain should not be under 4 and the largest not over 30 mm. An even grain size throughput the charge assures an even quality of the semi-coke produced.

The Lurgi oven is of the same type as applied to the treatment of brown coal but the dimensions of the shaft are altered so as to meet the conditions of the coal charged. Instead of the predrier which forms the upper zone of the Lurgi oven treating brown coal, an oxydizing zone is provided which will reduce the agglutinating power of the bituminous coal. Experience has shown that there is no real bituminous coal in existence which is absolutely free from caking tendencies.

For the rest the basic principle of the Lurgi oven has also for the application to the treatment of bituminous coal been fully maintained.

Kollergas Process

The Kollergas process operates on the same principle as the Lurgi oven only a cylindrical shaft is being applied while the gas expelled from the coal is after having been freed from tar indirectly heated up in a tubular heater and is then used as spülgas while in the Lurgi process producer gas is generally used for this purpose.

B.-T.Process

The Puening process as constructed by the Brennstoff-Technik Co. and generally called B-T.process is as to its fundamental principles so well known (35-38) that the details need not be described here. Three single units have been erected for trial purposes in fifferent places and the course of the last war prevented a large plant of this type, which was under construction and the erection of which was far advanced from getting completed.

Krupp-Lurgi-Process

Geller made at the Krupp works at Essen trials to subject caking bituminous coal to l.t.carbonization in vertical chamber ovens conatructed entirely of metal. The difficulties encountered during these trials induced them to also apply movable side walls as introduced by Puening in the B.-T.-oven. This arrangement is, however, protected by patent so well that there is no way to get round it and for this reason the Krupp oven the construction of which has been taken over by the Lurgy Company consists of rigid vertical chambers slightly tapered towards the top.

The Krupp-Lurgi oven has been developed for producing a lumpy semi-coke from small grained caking coal and on discharging the coke drops out of the oven in the shape of slabs which are subsequently broken up.

Three plants consisting of Krupp-Lurgi l.t. carbonising ovens have been erected of which the largest, at Essen supplies the semi-coke to a water gas plant producing gas for synthesis.

Ceramic l.t. carbonising ovens.

During the year 1938 Thau suggested adapt the continously operated vertical chamber oven which had been successfully introduced into gasworks practice on the beginning of this century, for the l.t. carbonization of non caking coal. The oven was to be built up of fireclay bricks and the chambers be made so narrow that the coal would be completely carbonised within a reasonable time.

The continously operated vertical oven as developed originally by Woodall and Duckham had already been applied for this purpose at the Richmond gasworks near London. In these ovens the chambers were constructed of metal and they did thus not last very long.

A few years later the Fuel Research Institute at Greenich put up a similar oven with ceramic chambers and applying a semi-continous operation. This oven was intended for medium temperatures and so with these precedents I was sure of the success in applying a similar type to l.t. carbonization of non or slightly caking coal and my expectations have been fully realised.

The chambers operating with a low temperature can be constructed of fireclay blocks and shapes of cheap quality and

still the ovens will hold out three times the time of the metall chambers and an occasional overheating by accident or lack of attention will not hurt them.

The suggestion made in public was taken up by the Didier-Werke A.G. at Berlin and they constructed a trial unit at once on a semi-commercial scale to be erected at the Didier brick works at Stettin.

Koppers who were erecting a plant consisting of six continously operated vertical chamber ovens at Upper Silesia for the manufacture of reducing char altered the design at once for the low temperature carbonization of non-caking coal. Eventually Dr.Otto & Co. followed suit in adapting the construction of their continously operated vertical chambers ovens to the low temperature carbonization of non-caking bituminous coal. The three firms of oven builders mentioned viz. Didier, Koppers and Otto have during the course of the war collaborated in the development of this oven so that by slight alterations of each design a standard l.t. carbonization oven for continous operation and dealing with non-caking bituminous coals has been successfully developed.

The question why this oven does not treat caking coal, because the original vertical chamber oven was designed for manufacturing gas coke from caking coal, can be answered as follows.

In order to penetrate the coal charge evenly and within a reasonable time the low temperature carbonising chamber must be pretty narrow (about 200 mm). Since the semi coke does not contract as much after carbonization has been completed as the high temperature coke and as the friction set up between wall faces and coke ends would be too great to be overcome by the weight of the charge the coke charge is sure to stick in the chamber and for this reason only non-caking coal is treated in these ovens. Owing to the continous downward movement of the coal charge the

slight caking of coals having such a tendency can easely be prevented also by oxidizing the coal before it enters the chamber.

A commercial size oven of this kind has chambers 9.3 m high, 4 m deep and a medium width of 220 to 280 mm

Yields and throughput

Coal

water	8-10%
agglutinating power	0-8
size	10-80 mm
" under 10 mm	8%

Throughput of plant consisting of 24 chambers

300 000 tons coal per annum

If the coke is used for the manufacture of calcium carbide its contents of volatile matter do not exceed 7%.

Yield of tar

If the plant is adjusted so that 90% tar based upon the results of the determination by F.Fischer are recovered 50% of the tar can be used as fuel oil meeting the specifications of the German navy. If the yield of tar is reduced to 80% then 70% will be utilisable as fuel oil.

The ovens are heated by producer gas having a calorific value 1500 kcal/m^3. The consumption of heat for the l.t. carbonization of the coal mentioned above has been determined to be in average equal to 380 Calories per kilo coal.

The yield of gas amounts to 130 Nm^3* per ton having a gross calorific value of about 5000 kcal/Nm^3 in average. The gas has the following composition

	per cent
methane (CH_4)	38-42
nitrogen (N_2)	3-5
hydrogen (H_2)	30-40
carbon monoxide (CO)	10-15)

* (Nm^3 = normal cubic metres 0°C and 760 mm barometer)

Application of this oven

As already mentioned there is very little caking coal available in Germany to be treated by low temperature carbonization since owing to the scarcity of coking coal all caking kinds are swallowed by the coke oven plants. The low temperature coking plants operating on caking coal are real exceptions.

Thus in most cases non or very weakly coking coal is treated by l.t.carbonization and apart from the Lurgi oven operated by sp.gas only the ceramic vertical chamber oven has of late been applied for the purpose and generally nut coal has been treated.

Manufacturing metallurgical coke

For the two stage process manufacturing metallurgical coke from non-coking coal this oven has been adapted to form the first step. The non caking coal which must have a certain content of tar is subjected to l.t.carbonization in these ovens. The semi-coke discarged is crushed and mixed with the pitch recovered as a residue from the primary tar. Apart from about 6% of pitch about 10% of caking coal are added and the mixture is in a roller press transferred into briquettes or ovoids which in identical ~~transformed~~ ovens are subjected to a high temperature of 900 to 1000°C yielding a shaped metallurgical coke of great hardness and excellent combustible properties. This process was to supplement the production of metallurgical coke in Upper Silesia where a geologically young coal does not yield a coke suitable for metallurgical purposes.

Where a domestic semi-coke is required the semi-coke (smoke of fire) discharged from these ovens is also trandformed into ovoids using pitch as a binder and these ovoids are subjected to a thermic hardening in the second stage consisting of identical ovens.

13

The ceramic, continuously operated 1-t carbonization ovens with vertical chambers have introduced themselves very quickly and the details of their construction also showing the design of the heating flues as well as of the recuperators can be taken from the attached 4 sheets marked 1-4. The construction is so simple and can be understood so easily that the drawings don't call for further explanation in this connection.

One very important feature of this oven constructed by Didier must yet to be mentioned. Just above the coke extractor a distributing pipe is placed into the brickwork and by means of this a certain amount of gas from the circuit after having been freed from tar is introduced into the chamber again and distributed evenly over the whole sectional area of the charge.

By a greater or smaller addition of gas the velocity of the gases and tar vapours expelled from the coal is affected so that by these means the length of time during which these gases and vapours are to remain inside of the chamber can be adjusted within very wide limits and from this depends the quality of the tar as well as the height of its yield.

I summing up the whole situation of low temperature carbonization of bituminous coal in Germany before the end of the war, these are available:

1) 2 processes for treating caking coal i.e.
   Brennstoff-Technik (Fuening)
   Krupp-Lurgi
2) 2 Spülgas processes for lumpy coal i.e.
   Lurgi process
   Kollergas process
3) One continuously operated vertical chamber oven by Didier, Koppers and Dr. Otto.

It will be noted that there is a type of oven for every kind of coal except for non-coking small which, as has been shown in connection with brown coal, must be briquetted first or in the case of the Geissen ovens the finest fraction must be removed to prevent the coal from "floating" while passing through the mechanically operated oven.

Büttner drier

The utilization of non-coking smalls, for instance flotated coal or slimes, oil chalk and all such materials which cannot be treated by the ovens mentioned above offered a serious problem which, however, has in the meantime been solved quite successfully by adapting the Büttner turbine dryer for the purpose.

The drier is represented in two sections by the fig.5 and will be briefly described as follows. As per the fig.5 a stationary cylindrical housing a well insulated against heat losses by radiation takes up a frame work b consisting of ring discs and being slowly revolved by means of the electric motor c. In the centre of the frame work b a vertical shaft d is arranged to which are fixed a number of circulating fans e the blades of which are shaped similarly to turbine blades. There is one fan wheel for every stage of the drier. The shape of these fans is responsible for the name of "turbine" drier by which the apparatus is known. The fan shaft d has an independent drive from the gear f and is revolved in opposite direction to the frame work b. The combustion gases serving as heat carrier are, if hot waste gases from a near-by source are not available, produced by the combustion of powdered fuel or of gas in the furnace g and by recirculating and mixing with cooler gases the proper temperature of the drying gas is adjusted. For this purpose the return pipe h is arranged between the furnace g and the top of the drier and in the upper outlet i of the latter a butterfly valve is provided which

facilitates the adjustment of the returned gas volumes. The way of the gases from the furnace through the drier and in between the single ring discs, guided by the effect of the turbine fans e is indicated by arrows in the fig.1. The wast gases loaded with vaporous moisture escape through the upper outlet i and are conducted through a dust separator before being released into the open air.

The fuel is introduced through the opening k in the top of the housing a at a uniform rate so as to allow for its even distribution on the upper ring disc. Each ring is in one place provided with an open slot, l and over this a stationary elastic scraper is fixed which forces the fuel after having made one revolution on the top with the ring disc to drop into the next lower ring disc on which it is also distributed in an even layer. This operation commencing on the upper ring disc is repeated downwards in the drier from disc to disc until at last the fuel is discharged through the outlet m in the bottom of the drier housing from which it drops on to a conveying belt leading to a screening plant. Through the outlet m is by the effect of the turbine fans air drawn in at the same time which causes a certain cooling of the dried fuel. The fuel is thus treated very gently while passing through the drier and the formation of dust during drying is very small. The number of revolutions of the frame work carrying the ring discs, corresponding at the same time to the turning over of the fuel to which it is subjected while passing through the drier, can be very closely adjusted to the original contents of water of the fuel and to the desired moisture contents of the dried fuel. The fuel passes in a vertical direction to the forward and backward gas current zones of each single turbine fan c so that the drying gases are conducted in a changing direction over the fuel and exert their drying action.

This unit described above as a coal dryer has, as already mentioned been adapted for subjecting non-coking smalls to low temperatures carbonisation. There exists in Holstein (Germany) a valuable deposit of chalk containing in average 15 to 20 per cent of oil. It was for many years impossible to make use of this deposit because no suitable carbonization could be found. At last by adapting the turbine drier and raising the temperature of the gaseous heat carriers to a level most favourable for the expulsion of the oil the problem had been solved quite successfully. The material is freed from tar completely and the primary tar recovered is free from dust. The consumption of heat remains within the usual limits and the wear and tear of such units can be compared well with those serving as a drier. The application of the drier for the l.t.carbonization of small non-caking bituminous coal had been contemplated on several places before the end of the war.

Situation of contemplated developments of low temperature carbonization in Germany 1939.

The throughput of coal and the recovery of liquid products from the contemplated l.t.carbonization plants is compiled in the table 6 while table 7 shows the output of semi-coke of the same plants.*

From these two tables will be noted that 4 plants have been put down in Upper Silesia all dealing with non-caking coal. Two plants were erected by the Lurgi Co (spülgas ovens) and the other two by Didier.

On the Ruhr the Krupp-Lurgi plant has been put down to supply by means of water gas, the synthesis gas from the semi-coke for a Fischer-Tropsch plant.

On the Sarre the Brennstoff-Technik Co erected a huge l.t.carbonization plant dealing with cyclds. This plant was dis-

made by the Fuller process

mantled again long before its erection was completed on account of the altered situation of the war.

The further two plants mentioned on the bottom of the tables 6 and 7 to be put down at a gasworks at Berlin and Vienna respectively have never been realised.

In connection with the numerous trials to develop the ceramic l.t.carbonization oven extensive investigations have been made the results of which are compiled in the attached tables. Only those tables are included here xix which are of common interest though they all allude to conditions prevailing in Germany.

When l.t.carbonization was first developed in Germany during the year 1918 the recovery of mineral oils was of such paramount importance that the quality of the semi-coke was disregarded altogether. Naturally no l.t.carbonization process could economically exist on these conditions so that the development came to a sudden end.

When it was taken up again about 5 years ago the quality of the semi-coke became of primary importance to safeguard the economical position of the process. The attentionpaid to the quality of the coke is xx reflected also by the research work carried out in this connection and a few tables alluding to this are mentioned in the following.

The table 8 represents the bulk weight of semi-coke (Schwelkoks) as well as of the high temperature coke (H.T.-Koks). The semi-coke from Krupp consists od lumps, made from caking coal while the semi-coke from Upper Silesia was made from nut coal in the ceramic ovens. The semi-coke indicated in the last column of the table 8 refers to the bulk weight of ovoids which have been subjected to l.t.carbonization in the Spülgas Lurgi oven.

The abrasive properties of briquetted semi-coke in the shape of ovoids as well as semi-coke made from nuts are stated in the table 9 and for comparison coke oven coke broken up into corresponding sizes is set in ~~for comparison~~ the last column. The first column of ~~the~~ table 9 represents the grain size after the samples have passed the drum. The semi-coke consisting of ovoids weighing 12 grammes each and having been carbonised in the Lurgi Spulgas oven are as to their abrasive properties represented in the columns 2 and 3 of the table 9. Similar ovoids have been carbonised in the B.-T. metal oven weighing 12 and 45 grammes as indicated in ~~the~~ columns 4-6 while in column 7 semi-coke made from nuts in the B-T oven is taken into account. Semi coke from nuts of the same coal mine but treated in the ceramic oven as well as ovoids weighing 35 grammes each are taken into account in the columns 8 and 9 while the last column refers to broken up metallurgical coke shown as a comparison.

The reactivity of different fuels in comparison to semi-coke expressed by the ignition point in degrees centigrade is stated on table 10 from which will be noted that the semi-coke in the briquetted ~~from~~ form as ovoids shown the most favourable results.

Table 11 indicates the reactivity of metallurgical coke in the first and semi-coke in the second column expressed in seconds required for the fuels to ignite in each case.

In the graph, table 12, different curves are plotted representing the loss of weight in per cent by combustion in minutes, the end point being the uncombustible ash. The various kinds of coke are indicated on the graph and translated.

The semi-coke produced at the Krupp works near Essen in the Krupp-Lurgi steel chamber ovens is utilized on the spot for generating water gas by the blowing and steaming system. The

results of this gasification in comparison to the consumption of metallurgical (H.T.Koks) coke for the same purpose are shown in table 13 in which also the ratio $CO:H_2$ in the water gas is considered because the water gas is being converted to become a gas for synthesis.

The graph represented by the table 14 indicates the costs of the semi-coke depending upon the price of the basic fuel which may either have the form of caking smalls or of ovoids. The graph stands for the l.t.carbonization ovens with chambers heated from the outside and based upon a sale price of 100 RM per ton of fuel oil.

The graph table 15 represents the identical conditions as shown in table 14 with the exception that it refers to the Spülgas process.

In table 16 are compiled the figures for the requirements of motor fuels and lubricating oils in Germany and it should be mentioned that "Mio" stands for million and Jato for tons per annum. The table is based upon the conditions prevailing during the year 1943. It must be understood that the l.t. carbonization alleviates the situation as indicated on the table 16 only to a very small extent in comparison and it should here be taken into account that the recovery of natural crude oil increased from 1119 to 320 000 tons in 1934 103 000 tons in the year 1934 while the coke oven and gas works plants supplied about 300 000 tons of benzole per annum apart from other fuel oils recovered from the tar.

By the table 17 are shown the properties of fuel oils recovered by the l.t.carbonization of coal under different conditions. In the second column of the table 17 the properties are stated which the fuel oil had to meet if it was to be taken over by the German navy. In the third column the Spülgas process and in the next two the chamber ovens are considered. It will be

noted that the quality of the fuel oils does not meet the specification of the navy in every respect.

The dependence of the costs of the fuel oil from the price of the basic fuels based upon a sale price of 22.50 RM per ton of lumpy semi-coke is indicated by the graph shwon in table 18 representing the l.t.carbonization ovens with chambers heated from the outside while the table 19 shows a similar graph based upon conditions of the Spülgas process.

The geologically young deposits of bituminous coal in Upper Silesia lend themselves very much for the l.t.carbonization while the metallurgical coke produced under high temperature conditions leaves much to be desired as to its quality.

In the table 20 the yields of the high and low temperature carbonization process dealing with bituminous coal from Upper Silesia are set side by side in two colums to show by comparison the differences of the respective yields

The average values of the products obtained from 1 ton of fuel subjected to high and low temperature carbonization are shown in the table 21. In this appears also the oil chalk deposit of Holstein mined near a place called Heide. As to the bituminous coal it will be noted that the income from the l.t. carbonization process is much higher compared with the high temperature carbonization

The table 22 indicates the capital costs required for two different low temperature carbonization processes viz. the Spülgas process and the ceramic chamber ovens compared with coke oven plants. It will be noted that the capital per ton of coal throughput per annum is equal to 20.60 Marks for the Spülgas plant and about twice as much for the ceramic chamber ovens being equal to 40 RM while the coke oven plant requires 33.50 RM per ton of coal throughput per annum.

The research work in connection with l.t.carbonization had become very necessary to show what can be done with the semi-coke as well as with the primary tar because both these products must be viewed from quite a different angle as the corresponding products obtained from coal in high temperature carbonization practice.

The results laid down in the tables just mentioned above form a small contribution towards a better understanding of the limits of l.t.carnonization and the products obtained by these processes.

The latest papers about this subject have been published in the"Jahrbuch der Brennkrafttechnischen Gesellschaft", Vol.21/22 1940/41 of which a copy is attached to this report and attention is drawn to the papers on different subjects contained therein relating to low temperature carbonization. Prof. Kayser has investigated almost every kind of semi-coke and the results are compiled in his paper appearing on page 7 of the attached book.

Further l.t.carbonising processes

Apart from the processes mentioned in this report which takes into account only those which have been introduced on a commercial scale several other ovens habe been developed and tried but they have disappeared again and have thus not been taken into account.

Pintsch process

Quite a number of years ago Messrs.J.Pintsch developed their Spülgas l.t.carbonization process as a part of boiler furnaces (67-71). The coal bunker of a mechanical chain grate stoker is constructed to such a height that combustion gases drawn by a blower from the furnace through the coal cause its l.t.distillation. The coal sinking down steadely through the bunker shaft

reaches the chain grate in the form of hot semi-coke while the gas drawn off is forced through a pelouze tar extractor and after cooling is conducted to a burner fixed to the furnace of the boiler. A number of boiler furnaces have been equipped that way where brown coal briquettes are used as a boiler fuel or bituminous non-caking nuts, which must be free from large proportions of smalls as otherwise the gases cannot penetrate the charge of the bunker evenly. In spite of this process being cheap and independent from the coke market no further boiler furnaces have been equipped that way though during the last part of the war an effort was made by the technical military authorities to get all boiler furnaces consuming bituminous coal or brown coal briquettes equipped that way in order to recover primary tar for want of fuel oil for the navy.

The results of such a plant using brown coal briquettes as well as bituminous nuts as boiler fuel are laid down in the paper by Friedrich Müller appearing on Page 66 of the attached "Jahrbuch" so that the results need not further be discussed here.

Most boilers have, however, to be content with a large proportion of smalls as a fuel and to be able to recover the primary tar from this the processes by Pintsch and by Weber have been united.

Such a plant is diagrammatically shown in fig.23. The small bituminous coal arriving is tipped into an elevator pit and lifted into a bunker from which it drops together with a binding medium stored in a smaller tank into a mixing and feeding arrangement transferring the mixture into a roller press.

The ovoids dropping from the press are taken up by a slow moving elevator consisting of broad perforated buckets. Into

the housing of the elevator hot gases are introduced on the base and escaping on the top. The ovoids are being hardened while conveyed upwards and they are discharged into the furnace bunker from which they are allowed to slide into the carbonising shaft discharging the semi-coke on to the chain grate of the boiler. By these means the process is independent from the physical condition of the raw fuel.

Blümmer Process

Some years ago E.Blümmer who is known as the inventor of the cracking process applying a bath of molten lead for the vapours to pass through developed a new process in which the coal is at the same time or simultaneously subjected to the extraction, to emulsification, to distillation, to soaking, to dissolving, to cracking, to hydrogenating etc.

The process is fully protected by patents which have been maintained since Dr.Blümmer some years ago acquired the Swiss nationality. A trial plant of semi-commercial size was constructed by the Borsig Co, but did not go beyond the drawings. Though several experts of repute expressed a favourable opinion about the process and its economical possibilities, the money to put down and operate a trial plant could not be found. Blümmer went over to London and during the year 1936 he tried to float the Blümmer Fuel Corporation at 31, Lime Street, E.C.3 but in spite of all his efforts had no success.

During the war some experts on the technical staff of the German government took an interest in the process which, it is said, has been shelved by the J.G.Concern to prevent it from being introduced into practice. By the aid of the government the money for constructing a trial plant on a semi-commercial scale was found and a plant capable of dealing with 10 tons of bituminous coal per day was to be erected. A suitable place found in Berlin

had to be given up on account of air raids and at last the plant has been erected at a place in the neighbourhood of Munich but I understand that by the end of the war it was not completed yet. On account of the comparatively high yields which Blumner expects and because it represents an entirely new process for the treatment of bituminous or of brown coal a great interest from many quarters was noticable awaiting the results with impatience.

The table 24 represents a diagrammatic flow sheet of the process for a plant with an assumed throughput of 100 tons of bituminous coal per day. The input consisting of a mixture of 60 tons dust or powdered coal and 40 tons of oil. The mixture is subjected to a pressure of 30 atmospheres and preheated, emulsified, extracted, distilled and decomposed in two steps. The residue consisting of coal and oil is, after it has been allowed to expand, mixed with 40 tons of smalls and carbonised, yielding 65 tons of coke. The gases evolved while carbonising are together with the gases of the pressure treatment passed through a scrubber after they have been cooled and are freed from oils to serve as a heating gas for the pressure retorts and the coke ovens. The oil recovered from the process is subjected to fractionating and will, as the flow sheet on table 24 shows, yield: 40 tons of oil remaining in circulation, 8.5 tons of fuel oil, 6.5 tons of diesel oil and 8.5 tons crude gasoline.

The arrangement of the whole plant is shown on the table 25 and the following legend will suffice to understand the construction and operation without a lengthy description.

It should here be mentioned that Blumners's first idea

in developing this process was to produce colloidal fuel as a residue which, owing to the transforming of the coal particles into semi-coke, would represent an absolute stable mixture. Colloidal fuel has not turned out to be a great commercial proportion as was first expected and Blümner thus supplemented his process by a retort or chamber oven plant to convert the residual colloidal fuel into a hard coherent coke. In the following the mixture of coal and oil will be termed colloidal fuel. The Blümner process has been fully described by A. Thau in Brennstoff-Chemie 1936, Vol. 17, p. 361-366 and from this article further particulars can be taken.

1, delivery of powdered coal - 2, coal dust bin - 3, oil storage tank - 4, high level tank for oil - 5, coal feeding arrangement - 6, oil measuring arrangement - 7, mixer for coal and oil - 8 pressure pump for colloidal fuel - 9, store tank for colloidal fuel - 10, operating tank for colloidal fuel - 11, pressure pump for hot colloidal fuel - 12: preheater - 13, 8-f. retorts with hollow revolving cylinders inside - 14, oven setting - 15, vapour offtake - 16, expansion vessel - 17, drain pipe - 18, carbonising ovens - 19, return pipe for colloidal fuel - 20, furnace for expansion vessel - 21, vapour offtake - 22, rectifying column - 23, dephlegmator - 24, gas outlet - 25, water cooler - 26, separator - 27, light oil overflow - 28, water offtake - 29, collecting main - 30, hot oil pipe - 31, oil cooler - 32, pipe for gases and vapours - 33, diesel oil drain pipe - 34, diesel oil cooler - 35, diesel oil offtake - 36, fuel oil pipe - 37, fuel oil cooler - 38, fuel oil offtake.

The most vital parts of this process are the cylindrical steel retorts in which the colloidal fuel is heated and agitated under a pressure of about 30 atmospheres. One of these retorts is shown in fig. 26 and on cross section in fig. 77. Inside of the

cylindrical steel shell a is placed the hollow cylinder b ending on both ends in a shaft c and d respectively. The latter passes through the gland e and carries on top a tooth wheel f. To the cylinder cover is connected a safety valve g and to the bottom the feed pipe h while the offtake pipe i leads to the next cylinder and is provided with a valve k. The retorts are surrounded by a firebrick setting l to be heated by gas. As will be noted in the fig.27, representing a cross section through the retort the internal revolving cylinder b has lengthways steel strips fastened to it holding on their edge the scrapers m which keep the inside surfaces of the cylinder a always free from deposits.

This is no doubt a very interesting process but a definite judgment as to its success cannot be passed until the results of the trial plant still under construction are available.

Weber Process

L. Weber developed a number of processes for the purpose of briquetting small semi-coke to convert it into a marketable product. Weber utilizes a waste product as a binding medium i.e. the sulphide lye running to waste from pulp works. It must, for using it as binder in briquetting be concentrated by evaporation. To obtain hard briquettes having a dense structure and maintaining their shape during combustion Weber discovered that some inert material must be added and he found that about 1 per cent of fireclay suffices to get the best results although the contents of ash in the fuel will be raised by this addition of clay in proportion.

While Weber first briquetted the small semi-coke he found that in using non-caking bituminous coal the coal should be briquetted and the briquettes be subjected to low temperature carbonisation in order to recover the primary tar and produce at the same time a first class free and smokeless burning fuel of even shape.

Here it should be mentioned that such a process is not applicable for treating brown coal because this fuel must be carbonised first and the semi-coke can then be converted into briquettes so that in this case the process must be divided into two stages while with bituminous coal the direct conversion is the simplest and cheapest.

The diagram of a plant by Weber is shown on table 28 and it should be mentioned that for carrying out the process, means are applied well known and forming parts of other processes where they have proved their technical adaptability.

The coal is on arrival tipped into a pit and by means of an elevator conveyed to a crusher from which it drops into a hopper. A tank arranged near the hopper serves to hold a suspension of slaked clay and a second tank contains the concentrated lye serving as a binder. Coal, clay and lye are thouroughly agitated and heated in a mixer. From this the mixture is conveyed to a roller press by which briquettes or ovoids are formed. These are taken up by very slowly moving drying belts and after most of the water has been expelled they are transferred to a low temperature carbonisation plant for the recovery of the tar, yielding at the

same time very reactive, dense, hard and smokeless burning briquettes or ovoids.

This process, though old in itself, has been developed further and it now forms the bridge over which metallurgical coke may be manufactured from non-caking coals and even from brown coal. There is no doubt that not only in Germany, England and France but also in the U.S. a distinct shortage of good coking coal makes itself more and more acutely felt while non-caking coals rich in volatile matter are available in abundance.

The Didier-Werke A.G. at Berlin have developed a two stage process by which non-caking coals are by the first stage subjected to low temperature carbonization in continuously operated ceramic vertical ovens as mentioned before in this report. The tar recovered is being distilled to obtain the pitch as a binding medium for making briquettes from the semi-coke and these are in the second stage carbonised at high temperature producing a shaped metallurgical coke of great hardness and having a high reactivity. Similar to Carbocoal process in the U.S.A.

Weber who has in the mean time made use of every suitable binding medium which offers the greatest economy has developed a further process which is likely to have a great effect upon the present mode of pig iron manufacture. There is no doubt that the richest iron ores on the Continent as well as in England and in the U.S. contain large proportions of smalls and others are so soft that the blast furnace can be burdened with them only if they are briquetted first. In any case the operation of the blast furnace is always hampered by the iron ore dust partly kept in suspension by the blast furnace gas and partly being deposited where it is not wanted and frequently gives ride to serious troubles.

Weber developed based upon his former research work on briquetting, a process which is to manufacture pig iron without using coking coal or metallurgical coke and utilising at the same time small grained or soft iron ores. To accomplish this Weber mixes finely ground non-caking coal and powdery ore in a certain proportion, adds a binder, such as for instance pitch, oil residuals or partly hydrogenated coal and transformes the mixture by roller presses into ovoids which are subsequently subjected to low temperature carbonization to recover the primary tar. By distilling the latter pitch for binding the next batch of ovoids is being recovered. The carbonised ovoids can be used as a fuel for liquid slag gas producers or for low shaft furnaces and in both cases a pig iron of good quality is being produced at the same time, the carbon contained in the ovoids suffices to effect a chemical reduction of the iron ore. If there is a large excess of carbon the furnace or gas producer may be burdened in addition with a corresponding proportion of lumpy iron ore.

The large volumes of gas produced may be utilized for synthetic purpose and Weber further suggests a combination with a coal hydrogenating plant in order to improve the economical results of the latter by way of using the coal which has been partly hydrogenated.

It would exceed the scope of this report to go into further details in connection with the processes developed by Weber. They are sure to be realised sooner or later if at first only to a moderate extent. By these processes the low temperature carbonisation will get on to a sound foundation by being wedged in as an indispensable bridge between other industrial processes and the products recovered will be oils and gas only while the semi-coke is being worked up together with the ore in the pig iron manufacture.

If it comes to a general introduction of the Weber process into the iron works their face will undergo an extensive alteration in as much as the coking plants will disappear completely and in their place a low temperature carbonisation plant will supply the fuel which in the shape of briquettes already contains the iron ore in the right proportion. The high blast furnace stacks would disappear to make room for low shaft furnaces. If the works are coupled with a plant for the manufacture of synthetic gasoline, liquid slag gas producers will take the place of the blast furnace stacks and will supply the gas necessary for the synthesis. If the works are to be coupled with a high pressure hydrogenating plant the coal will only partly be hydrogenated and will then be used for manufacturing the briquettes while the residuals from the distilling of the hydrogenation oils will be used as a binder if such is at all required under these circumstances.

Summary

The development of low temperature carbonisation of bituminous coal in Germany commenced on the end of the first world war and three different types of continually operated revolving retorts were introduced for this purpose. Owing to a scarcity of mineral oils, the quality of the semi-coke was neglected altogether and the low temperature carbonization of bituminous coal had to be abandoned for economical reasons.

Trials with individual ovens followed without great success but two Spülgas ovens, one by the Lurgi Co and the other by the Kollergas Co have been introduced on several plants. Chamber ovens constructed entirely of metal and heated from the outside were successfuly introduced by Fuening of Brennstoff-Technik Co, having movable side walls and a rigid type by Krupp-Lurgi. It followed the continously operated ceramic vertical oven as applied on gasworks in a slightly modified form and suitable to apply low temperatures.

For the low temperature carbonisation of small grained or powdery non-caking fuels the turbine drier developed by Buettner-Werke has been adapted retaining the basic drier construction completely. The process has proved its success by treating for a number of years now oil chalk on a commercial scale for which no suitable oven could be found for years.

About ten years ago E.Blumner invented a process for the thermic treatment of fuels in which low temperature carbonisation, extraction, leaching, cracking, hydrogenating and distillation are in an overlapping way affecting the fuel which is continually treated in the form of an oil suspension. Of this process

29

and is being

a pilot-plant is under construction for some time now [redacted] erected in the neighbourhood of Munich. This trial plant is laid out to have a throughput of 10 tons of bituminous coal per day.

The low temperature carbonization of brown coal in Germany is about 25 years old and was for many decades confined to the static Rolle oven. Its small throughput has been raised in recent years by carbonising briquettes instead of raw brown coal. For predried brown coal/freed from the finest dust, the Geissen oven has been developed and an improved construction, han by the name of "Borsig-Geissen" been successfully introduced during recent years.

For the treatment of brown coal briquettes by Spülgas the Lurgi oven has been adopted on almost every plant of importance and by the introduction of the ring roller press, operating continuously, it has been accomplished to produce a hard cohorent coke from brown coal in the form of carbonised briquettes made at a pressure of about 2,500 atmospheres.

The deposits of bituminous coal suitable for being carbonized at low temperature are in Germany situated principly on the Sarre and in Upper Silesia. These districts have suffered so heavily by the results of the war that of the newly built low temperature carbonisation plants which were partly still under construction probably not much will be left.

30

The low temperature carbonization of brown and bituminous coal in Germany

List of tables attached

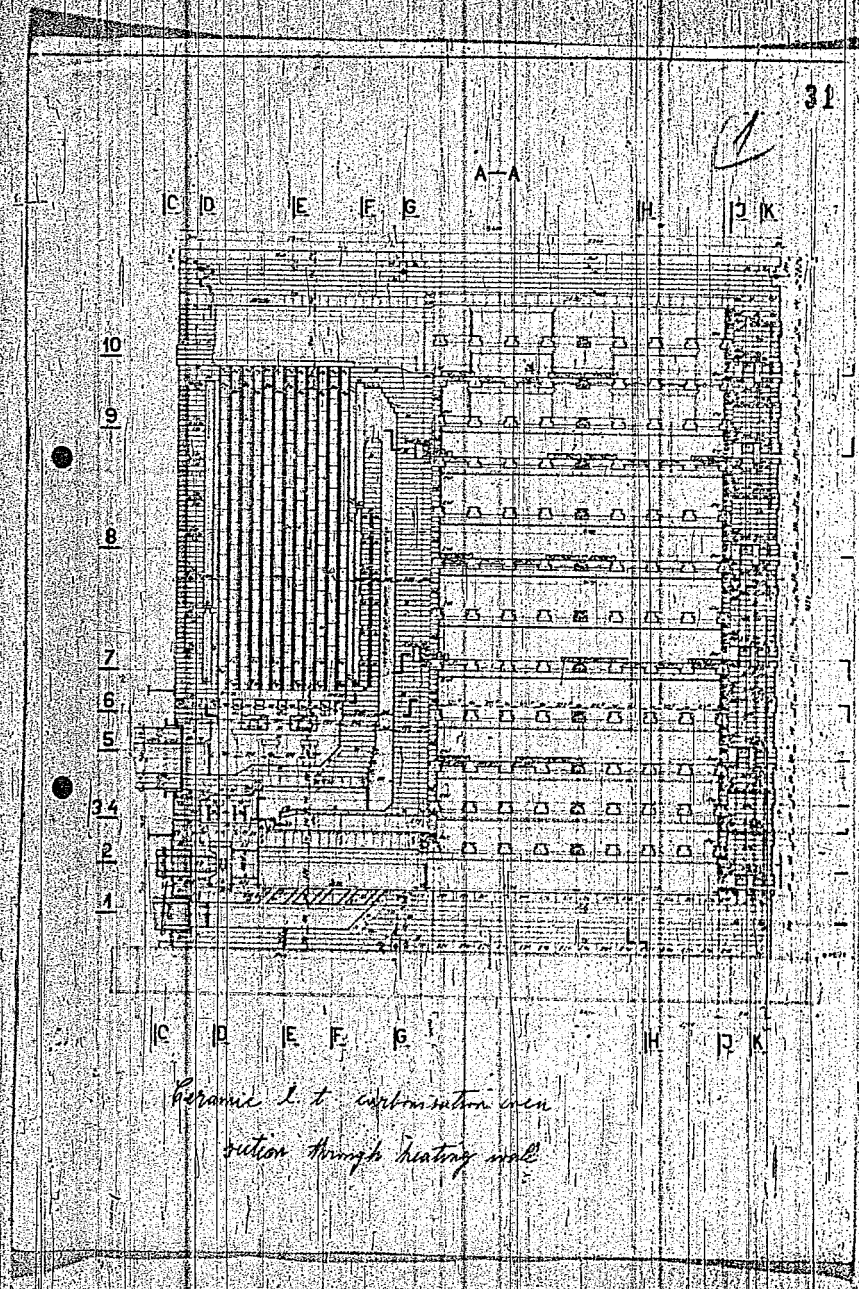
Table No.

1 Continuously operated ceramic vertical low temperature carbonisation oven chamber section
2 " " " " " " oven; heating flue section
3 " " " " " " " details heating flues
4 " " " " " " " " " " "
5 Turbine drier by Buettner adapted as l.t.c.oven for small non-caking coals
6 L.t.c. plants contemplated in Germany output of coke
7 " " " " " " " " oils
8 Bulk weight of semi-coke
9 Hardness of semi-coke
10 Reactivity of fuels indicated by ignition point in centigrades
11 " " " " " time in seconds required for ignition
12 " " " " " curves representing consumption by combustion
13 Semi- coke for the manufacture of water gas
14 Price of semi-coke made in chamber ovens heated from the outside
15 Price of semi-coke made in Spulgas ovens
16 Requirements and supplies of mineral oils in Germany
17 Properties of fuel oils recovered by l.t.carbonization of bituminous coals
18 Price of fuel oil depending upon the price of the basic fuel. l.t.c. chamber ovens
19 " " " " " " " " " " " " " l.t.c.spulgas ovens
20 Comparative yields of high and low temperature carbonization
21 Value of products yielded per ton of fuel treated
22 Capital requirements for low and high temperature carbonization in Upper Silesia
23 Diagrammatic view of Weber-Pintsch l.t.c. process for boiler furnaces
24 Diagram indicating course of operation of Blumner process
25 Flow sheet of Blumner plant
26 Pressure retort for Blumner plant
27 Cross section through pressure retort of Blumner plant
28 Diagram of basic Weber process

TITLE PAGE

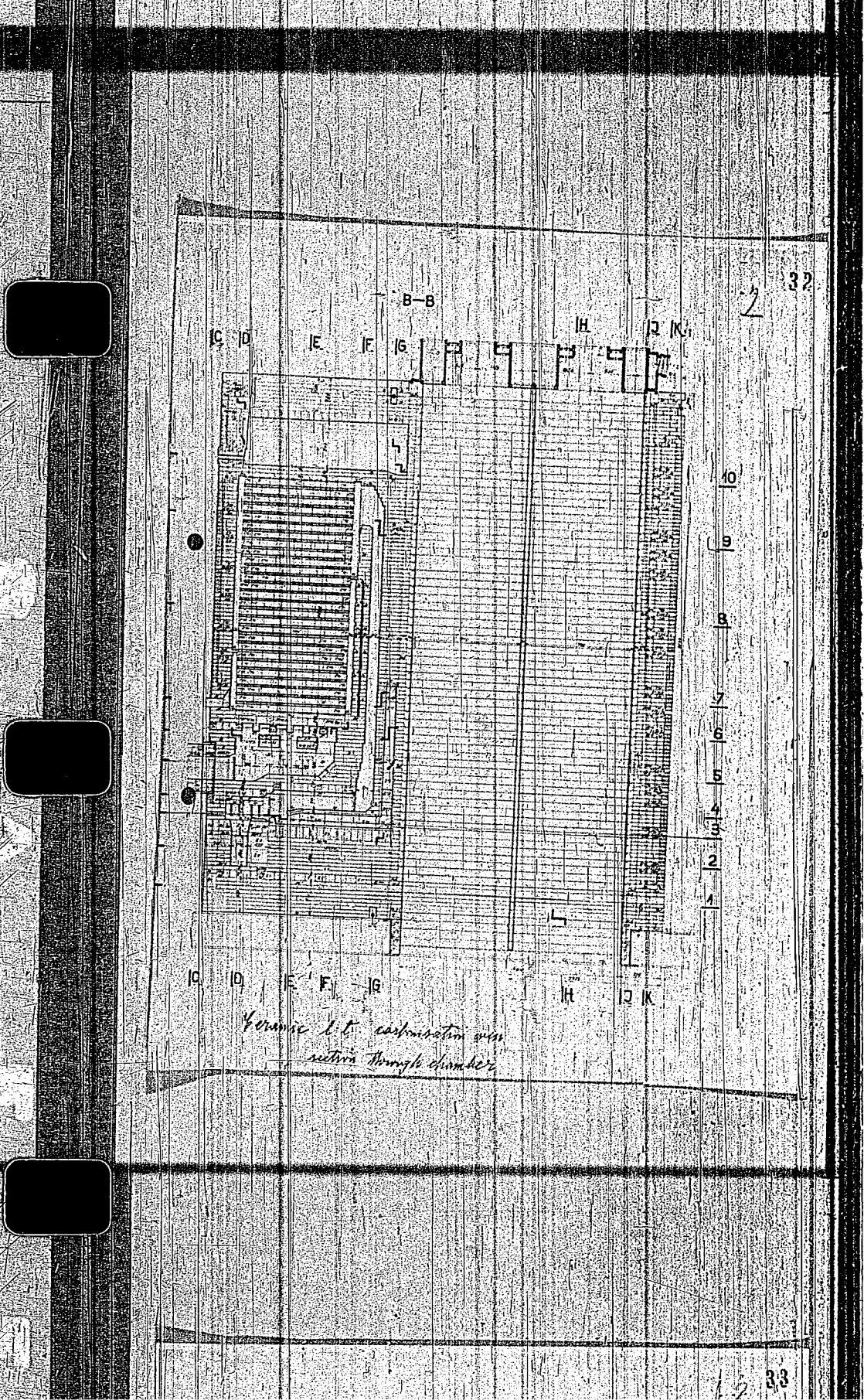
2. Documents to accompany article by Adolf Thau entitled "The State of Low Temperature Carbonization in Germany before the Conclusion of the War". Diagrams and tables relating to low temperature carbonization of coal. Yearly report of the "Brennkrafttechnische Gesellschaft E.V." 1940-41.

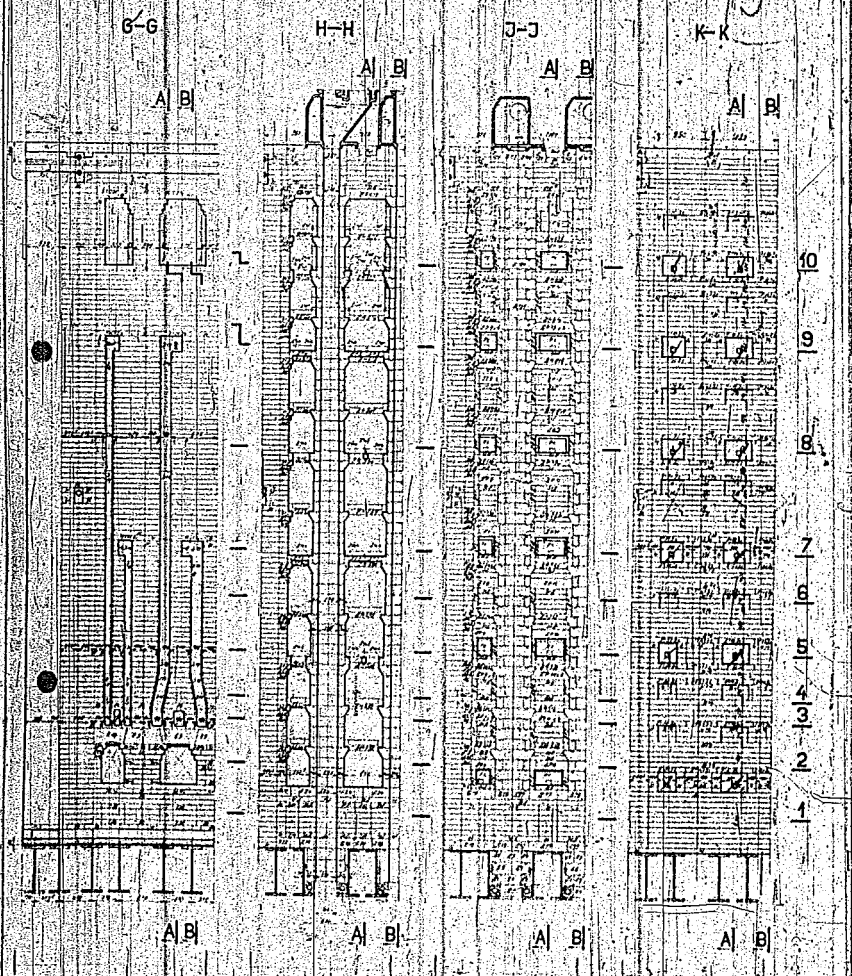
Frame Nos. 31 - 201



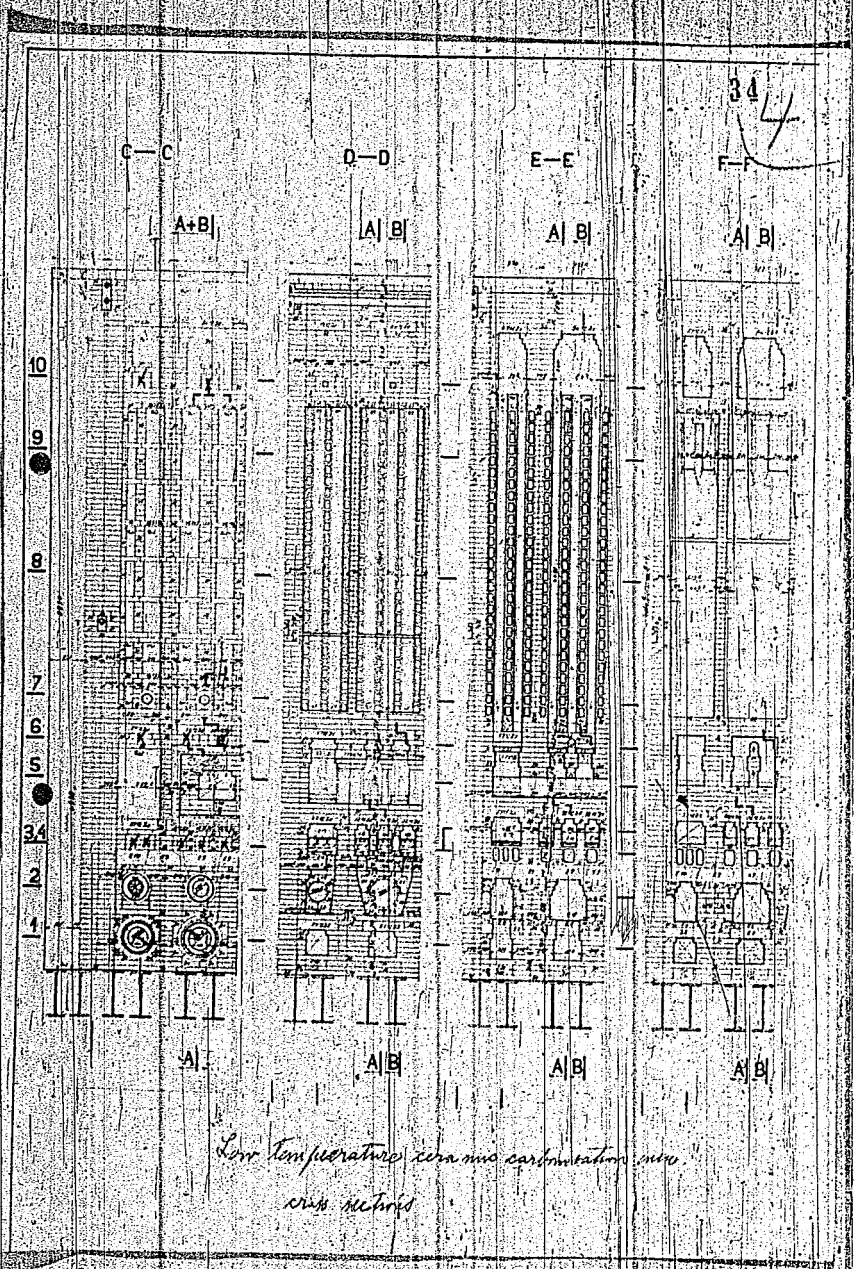
Ceramic I. t. combustion oven

Section through heating wall


B–B
C
D
E
F
G
H
J
K
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
Ferunic l. t. estimatum suum
retrix Thought Chamber



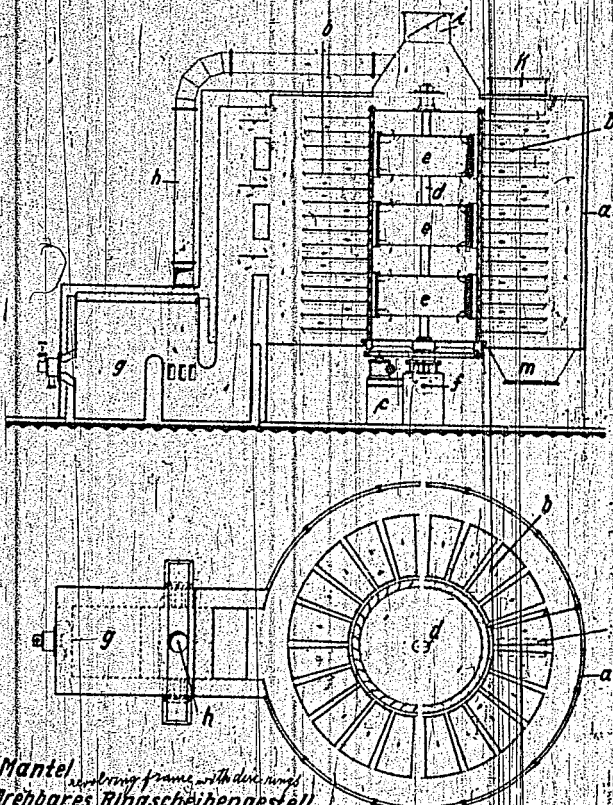
Perpendicular to carbonization chamber, Cross section



Low temperature zone no carbonization zone.

cross sections

Buettner coal drier adapted for the low temperature carbonization of small non-caking fuels



housing

a. Mantel revolving frame with discharge
b. Drehbares Ringscheibengestell
c. Scheibengestell-Antrieb
d. Turbinenwelle turbine shaft
e. Turbinen turbine fans
f. Antrieb d. Turbinenwelle drive of turbine shaft
g. Feuerung furnace
h. Abgasrückführung waste gas return
i. Wrasenaustritt vapour offtake
k. Kohlenzufuhr coal feed
l. Durchgangsöffnung coal slot
m. Kohlenaustrag coal discharge

Contemplated erection of low-temperature-carbonization plants

2. Production of semi-coke

Geplante Schwelprojekte

Kohlenrevier und Export	Kohlendurchsatz Jato	Gesamter Kokereianfall Jato	Kleinkoks u. Abrieb Jato	Grobkoks Jato	Grobkoksverbrauch neuer Werke Jato	Grobkoks für den freien Markt Jato
		2. Anfall an Schwelkoks				
Oberschlesien						
1.) Oberschles. Hydrierwerke A.G. Blechhammer I. u. II	1.600.000	1.350.000	200.000	1.150.000	1.150.000	—
2.) Schwelerei OS II, verbunden mit Hydrierung	1.000.000	750.000	75.000	675.000	675.000	—
3.) Schwelerei OS III, verbunden mit Chemiewerk	1.000.000	750.000	75.000	675.000	675.000	—
4.) Schwelerei OS IV	1.000.000	750.000	75.000	675.000	—	675.000
Oberschlesien:	4.600.000	3.600.000	425.000	3.175.000	2.500.000	675.000
Ruhr- und Saarrevier						
1.) Krupp-Treibstoffwerke A.G., Rhein-Elbe	265.000	200.000	20.000	180.000	180.000	—
2.) Schwelerei (s.S.Saar)	1.000.000	750.000	75.000	675.000	300.000	375.000
Ruhr-u-Saarrevier:	1.265.000	950.000	95.000	855.000	480.000	375.000
Sonstiges						
1.) Berliner Gaswerke A.G. Schwelerei I u. II	700.000	525.000	50.000	475.000	—	475.000
2.) Gaswerk Wien, Schwelerei	600.000	450.000	45.000	405.000	—	405.000
Sonstiges:	1.300.000	975.000	95.000	880.000	—	880.000
Insgesamt:	7.165.000	5.525.000	615.000	4.910.000	2.980.000	1.930.000
	throughput of coal	total production	breeze and ballast	lump coke	consumption	semi-coke
	tons per	of semi-coke	tons per	tons per	of semi-coke	for the gen.
	annum	tons per annum	annum	annum	of new works	tons per annum

Contemplated erection of low temperature carbonization plants

1. Production of tar and oils

Geplante Schwelprojekte (projects of)

1.Anfall an flüssigen Produkten

Kohlenrevier	Kohledurchsatz Jato	Erzeugung an Teer Jato	Rohbenzin Jato	Treibstoffe aus Teer u.Benzin Heizöl Jato	Benzin Jato
Oberschlesien Upper Silesia					
1.)Oberschles.Hydrierwerke A.G.,Blechhammer I u.II	1.800.000	162.000	18.000	92.000	17.500
2.)Schwelerei OS II,verbunden m.Hydrierung	1.000.000 (300.000)	90.000	10.000	75.000	9.700
3.)Schwelerei OS III,verbunden m.Chemiewerk	1.000.000	90.000	10.000	75.000	9.700
4.)Schwelerei OS - IV	1.000.000	90.000	10.000	75.000	9.700
in Oberschlesien	4.800.000	432.000	48.000	317.000	46.600
Ruhr and Saarre Ruhr und Saar					
1.)Krupp-Treibstoffwerk GmbH.,Wanne-Eickel	265.000	24.000	2.500	14.000	2.300
2.)Schwelerei (z.B.Saar) in Ruhr and Saarre district im Ruhr-u.Saarrevier;	1.000.000	90.000	10.000	75.000	9.700
	1.265.000	114.000	12.500	89.000	12.000
Sonstiges Further					
1.)Berliner Gaswerk A.G., Schwelerei I u.II	700.000	63.000	7.000	52.000	6.800
2.)Gaswerk Wien,Schwelerei	600.000	54.000	6.000	45.000	5.800
Further Sonstiges :	1.300.000	117.000	13.000	97.000	12.600
Total Insgesamt:	7.365.000	663.000	73.500	513.000	71.200

Motor fuels from tar and gasoline fuel gasoline oil tons per annum

Schwelerei = Low temperature carbonization plant

Bulk weight of several kinds of coke in kilogram per cubic meter

Schüttgewichte verschiedener Kokssorten

kg / m³

Körnung mm	mittlere Schüttgewichte Rh.-W.-Koks (Ruhr)	Schwelkoks Krupp	mittlere Schüttgewichte Rh.-W.-Koks O/S.	Schwelkoks (Nüsse) Schlesien/OS	Schwelkoks (Brikett) Blechh. OS
15 - 25	-	-	-	500	
40 - 50	530	430	510	-	520

Hardness of some coke from bituminous coal

Festigkeitseigenschaften von Steinkohlenkoksen

Siebfraktionen nach Trommelung	Spiegas-Verfahren		Reiflisches-Verfahren						Kal.-Verkokung
			Stahlschwelöfen				Vertikale Öfen		
	Fürst Leopold (Ruhr) 12 g Brik.	Brassert (Ruhr) 12 g Brik.	Fürst Leopold (Ruhr) 12 g Brik.	Ehe. Luise (O.S.) 12 g Brik.	Ehe. Luise (O.S.) 45 g Brik.	Duraton Centrum (O.S.) (Masse) 10/20 mm	Duraton Centrum (O.S.) (Masse) 30/40mm	Klöckner (O.S.) 35 g Brik.	Kohlbergwerk Grube Anderweit Brechkoks 40/80 mm
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
aktive									
Über 20 mm	90	90,2	95,4	96,2	95,1	39	75,2	94	95,1
5 – 20 mm	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	58,5	21,5	1	2,7
0 – 5 mm	9,9	9,7	4,4	3,7	3,7	2,5	3,3	5	2,2
screening fraction after drumming	Spiegas process 12 grammes worth		12 grammes worth	12 grammes worth	45 grammes worth	mesh 8×10	mesh 10×40	35 grammes worth	40 × 60 mm

Coke heated from outside ... Ruhr coke ... coke made of steel

10

Reaktionsfähigkeit verschiedener Koks

Zündpunkte nach Dr. Melzer

		°C
1.) Zechenkoks		
	Ruhr	630
	Oberschlesien	640
	Berliner Schmelzkoks	634
2.) Gaskoks		580
3.) Steinkohlen-Schwelkoks		
	Weberbriketts, Spülgas	340
	Weberbriketts, Spülgas	410
	Nusskoks, Spülgas	400
	Nusskoks, Reisflächen	430
	Nusskoks, Reisflächen	490
4.) Steinkohle		
	Ruhr - Anthrazit	420
	Deisterkohle	390
	Grube Glückhilf	320
	Oberschles. Gasflammkohle	260
5.) Braunkohlen-Schwelkoks		
	Offleben	290
	Brikett	260
	Hartkoks	240
6.) Braunkohlen-Brikett		230

Reactivity of several kinds of coke

Determination of ignition time in seconds (Oppauer Method)

Reaktionsfähigkeit verschiedener Koksе

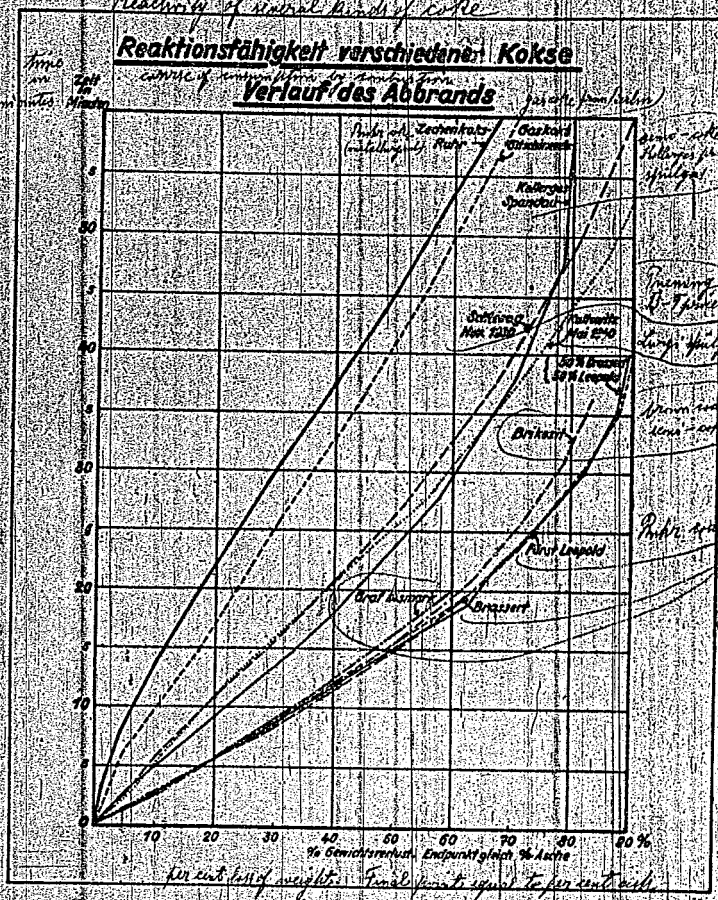
Bestimmung der Zündzeiten in Sekunden (Oppauer Methode)

Mittelwert aus 2 Bestimmungen	Sekunden	Steinkohlen - Schwelkoks	Sekunden
Ruhr	110	Hüttenkoks Karsten-Centrum (Upper Silesia)	33
Upper Silesia			
Oberschlesien (Gleiwitz)	78	Stückkoks Krupp, Wanne-Eickel (Lower Silesia)	31
Oberschlesien (Odertal)	99	Stückkoks E.T., Delbrück (Lower Silesia)	26
Niederschlesien	110	Brikettkoks I.G. Farben (Upper Silesia)	22
		Brikettkoks Lurgi/Blechhammer (Upper Silesia)	21

Reactivity of several kinds of coke

Reaktionsfähigkeit verschiedener Kokse

Verlauf des Abbrands



Water gas from Krupp Bit semi-coke and from metallurgical coke gas fed in Demag water gas producer

Vergasung von Schwelkoks und H.T.-Koks

im D e m a g - Generator

(Betriebsdaten der Krupp-Treibstoff GmbH., Wanne-Eickel)

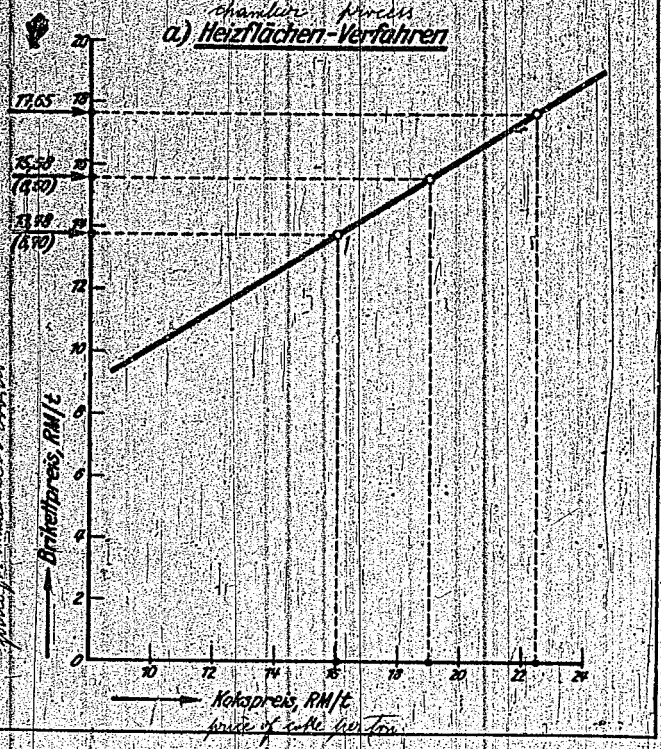
		Krupp-Schwelkoks	H.T.Koks
Zusammensetzung des Wassergases:	Vol % CO_2	7,6	6,9
	O_2	0,0	0,0
	CO	33,0	38,9
	CH_4	0,5	0,3
	H_2	55,9	49,9
	N_2	3,0	5,0
	Total Summe	100,0	100,0
inerte Restanteile		11,1 %	11,2 %
Verhältnis CO : H_2		1 : 1,69	1 : 1,28
Zusammensetzung des Blasegases:	Vol % CO_2	14,7	18,0
	O_2	0,0	0,0
	CO	11,0	4,1
	N_2	74,3	77,9
	Total Summe	100,0	100,0

Costs of coke depending upon the price of fine coal or briquettes if RM 100.- per ton oil are received for the fuel oil

Abhängigkeit des Kokspreises vom Feinkohlen- bezw. Brikettpreis

bei einem Heizöl-Erlös von RM 100.- /t

a) Heizflächen-Verfahren



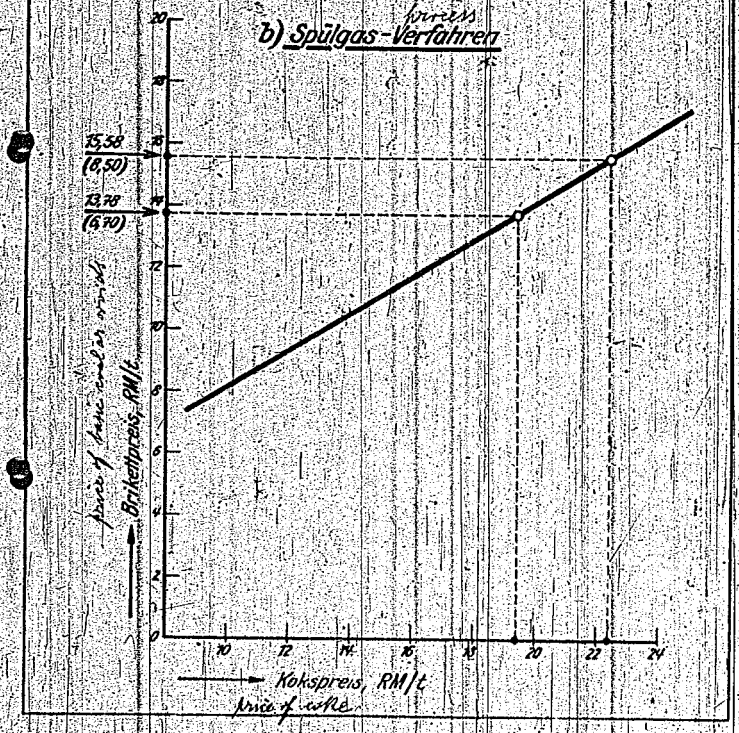
Dependence of costs of coke from the price of coals or ovals if for the fuel oil 100 M. per ton are realised

15

Abhängigkeit des Kokspreises vom Feinkohlen- bezw. Brikettpreis

bei einem Heizöl-Erlös von RM 100,-/t

b) Spülgas-Verfahren



Treibstoff- und Schmierölversorgung Deutschlands nach dem Kriege

(Stand 1943)

Gesamtbedarf an Treibstoffen und Schmieröl: 9,6 Mio Jato

Davon werden:

i) aus inländischen Rohstoffen erzeugt	6,3 Mio Jato	= 65,6% des Gesamtbedarfes
ii) durch Einfuhr gedeckt	3,3 " "	= 34,4% " " "
	9,6 Mio Jato	= 100,0% des Gesamtbedarfes

Die Einfuhr verteilt sich auf:

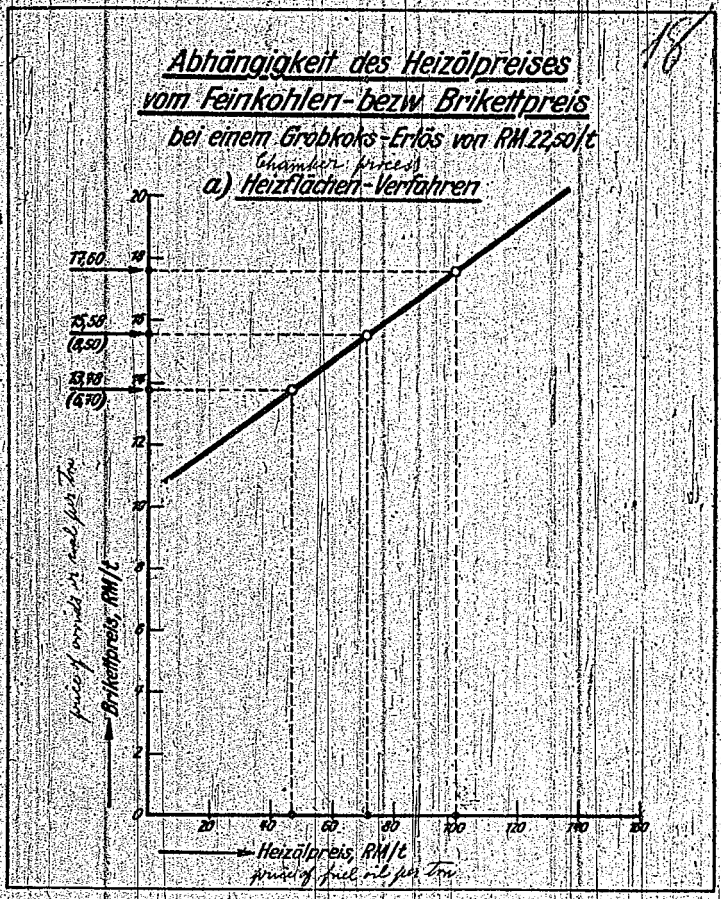
1.) Rohstoffe	1,2 Mio Jato	= 12,5% des Gesamtbedarfes
2.) Fertigerzeugnisse	2,1 " "	= 21,9% " " "
	3,3 Mio Jato	= 34,4% des Gesamtbedarfes

Properties of several fuel oils received by Ger. Engr. corporations 17

Eigenschaften einiger Schwelheizöle

	Wichtigste Anforderungen des Oberkommandos der Kriegsmarine	Spülgas-Verfahren: Brikette aus "Königin Luise"-Kohle	Externally heated vessels: Heizflächen-Verfahren: Stahlschwelofen Ruhrfettkohle	Heizflächen-Verfahren: Keramischer Ofen Briketts aus Blechhammergrus	Heizflächen-Verfahren: Steinkohle
Dichte bei 20° C	ohne über 1,03	1,024	1,083	1,04	1,047
Viskosität in °E bei 0°C	~~fünfte~~ mögl. 200° max. 300°	120	175,7	165,0	300
bei 20°C	max 25°	15,1	17,3	17,0	18,4
Heizwert unterer WE/l	~~fünfzig~~ möglichst nicht unter 9 000	8 890	9 400	8 900	9 150
Conradsontest, Gew.%	max. 6 %	4,4	4,5	3,4	3,7
Flammpunkt i. geschl. Tiegel, °C	ohne über 90°C	81	35	63	77
		Briquettes of coal from Königin Luise mine in Upper Silesia	Fuhr coal small Knapp-Lurgi oven	Ceramic retort oven Blechhammer mine works Upper Silesia	Mine for Chemie Upper Silesia

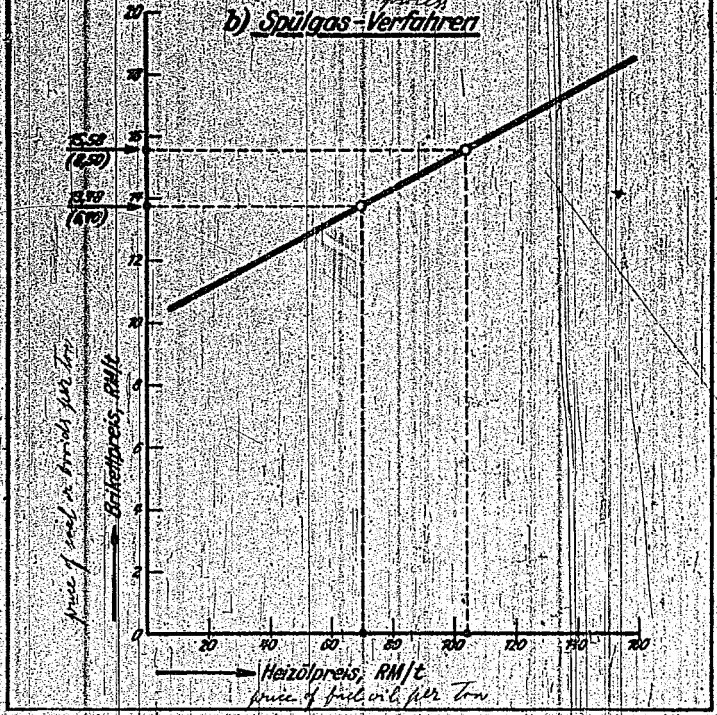
Costs of fuel oil depending upon price of coal or coke. If 22.50 RM are realised per Ton of coke.



Cost of fuel oil depending from prices of coal or coke of 12 Therm realized per ton of coke

Abhängigkeit des Heizölpreises vom Feinkohlen- bezw. Brikettpreis bei einem Grobkoks-Erlös von RM 22.-/t

b) Spülgas-Verfahren



Mehr Feinkohle RM/t
more fine coke per ton

High and low temperature carbonisation of coals from Upper Silesia.

Hochtemperaturverkokung u. Schwelung von O.S.-Kohlen

	high temp. carbonisation Hochtemperaturverkokung	*low temp. carbonisation* Schwelung
1. Kohle *Coal*	*caking coal* verkokbare Kohle (35% flücht. Bestandteile) *volatile matter*	*gas coal* Gasflammkohle (35% flücht. Bestandt.) *volatile matter*
Temperature of chamber walls 2. Kammerwand-temperatur	950 - 1000° C	600° C
yield per ton of coal 3. spezif. Kohlen-durchsatz		
a) je m^3 Kammerraum	40 kg/m^3/h	83 kg/m^3/h
b) je m^2 kohleberührte Wandfläche	9 kg/m^2/h	9 kg/m^2/h
4. Ausbeuten *Yields*		
a) Koks *Coke*	75 %	75 %
b) Teer *Tar*	3,5 %	9 %
or from tar davon nutzbare Öle *crude benzole or pasolene*	1,5 %	7-9 %
c) Roh-Benzol bzw. Benzin	1,2 %	1 %
d) Nm^3 Gas / t Kohle *cubic metres gas per ton of coal*	320 Nm^3	280 Nm^3

3 a = per cubic metre area of chamber

3 b = per square metre wall surface touched by coal

Nm 3 = normal cubic metre (0° Centigr. 760 mm barometer)

21

Yields of high and low temperature carbonisation
by quantity and by value

Mengen- u. wertmäßige Ausbeuten bei der Hochtemperaturverkokung und Schwelung

From the throughput the following products are received:
Aus 1 t Einsatzgut fallen/Fertigerzeugnisse an:

(finished products)	Fertiger-zeugnisse	Menge quantity	Einheitspreise price per unit	Wert value
1.) Hochtemperatur-Verkokung high temp. carbonisation	Koks coke	750 kg	RM 20,-/t	RM 15,--
	Teer tar	35 kg	" 45,-/t	" 1,58
	Benzol	12 kg	" 250,-/t	" 3,--
	Gas	320 m^3	" 0,01/m^3	" 3,20
				RM 22,78
2.) Schwelung l.t. carbonisation of coal	Koks	750 kg	RM 22,-/t	RM 16,50
	Teer (carbo tar)	90 kg	" 90,-/t	" 8,10
	Benzin (carbo benzene)	10 kg	" 150,-/t	" 1,50
	Gas	280 m^3	" 0,01/m^3	" 2,80
				RM 28,90
l.t. carbonisation of brown coal				
3.) Ölkreide Heide	Heizöl (carbo benzene)	111 kg	RM 90,-/t	RM 10,--
	Benzin	11 kg	" 150,-/t	" 1,65
	Dünge- und Baukalk lime for manuring and building	156 kg	" 20,-/t	" 3,12
				RM 14,77

12

Capital requirements of
low and high temperature carbonization
Upper Silesia

Kapitalbedarf

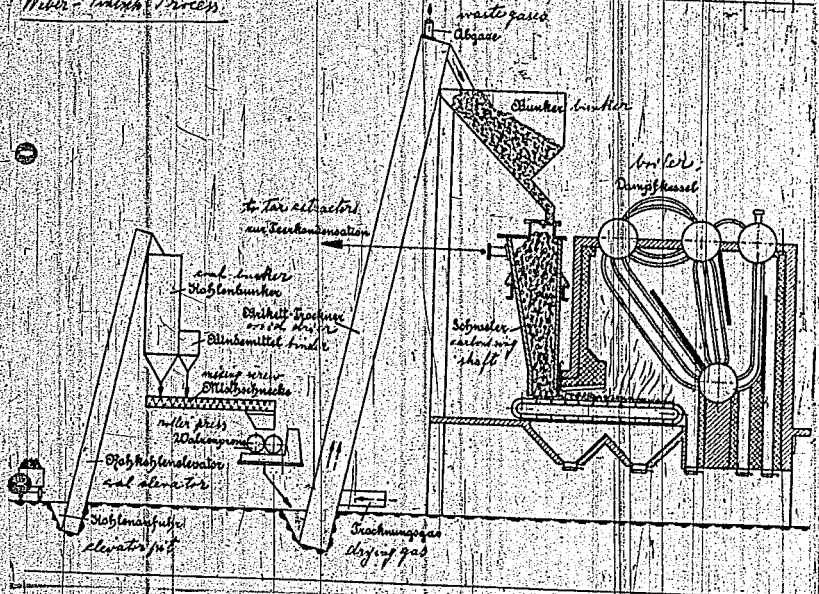
bei der Schwelung und Hochtemperaturverkokung in Oberschlesien

	N.T.-Verkokung		H.T.-Verkokung
	Schwelung		
	Spülgas-Verfahren	Heizflächen-Verfahren (keramisch)	
Durchsatzleistung	1,6 Mio jato	1,0 Mio jato	1,0 Mio jato
Anlagekapital	33 000 000	40 000 000	35 500 000
Anlagekapital pro t Kohle	20,60	40,—	35,50

Mio = million
jato = tons per annum

23

Weber-Pintsch Process



Weber-Pintsch low temperature carbonization plant
extracted to boiler furnace

14

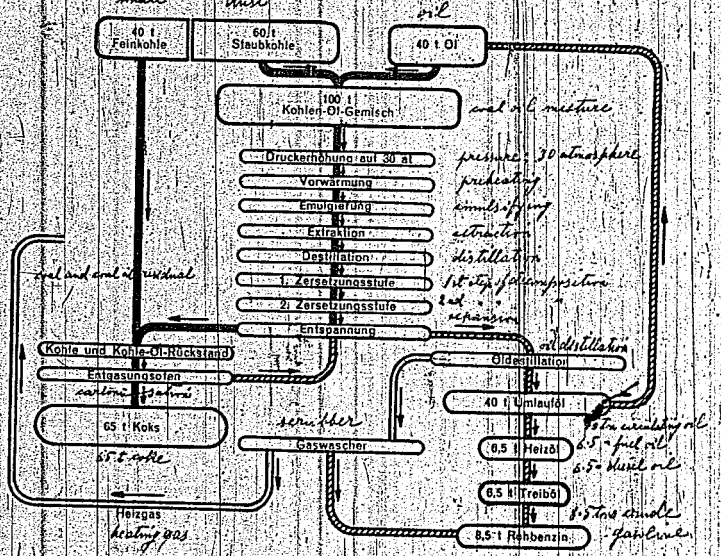


Diagram indicating operating principles of Bergius process based upon a throughput of 100 tons

2.5

Plant of process by E. Blümner, plan sheet

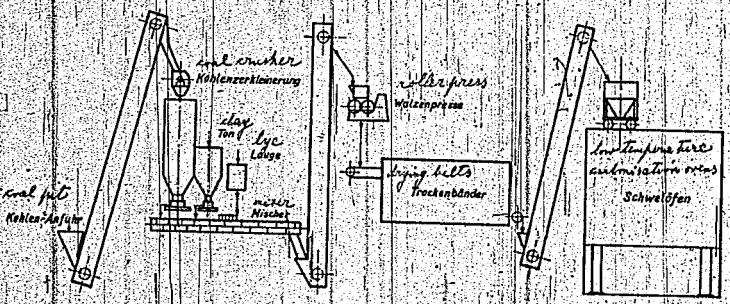
Fig. 6

Pressure retort by E. Ahmntz; vertical section

57

Riesmeier retort by E. Riesmeier, cross section

28 5R



Pieces by L. Kiler printing semi-coke ovoids

59

JAHRBUCH

DER

BRENNKRAFTTECHNISCHEN GESELLSCHAFT E.V.

EINUNDZWANZIGSTER BAND
ZWEIUNDZWANZIGSTER BAND

1940 1941

VERLAG VON WILHELM KNAPP IN HALLE (SAALE) 1943

60

Copyright 1943 by Wilhelm Knapp, Halle (Saale)
Printed in Germany 1943

Vorwort.

Den Zeitumständen Rechnung tragend, verzögerte sich die Herausgabe des Jahrbuches und mußten zwei Jahrgänge 21 und 22 zusammengelegt werden.

Im ersten Teil des vorliegenden Buches sind die Vorträge zusammengefaßt, die in der Arbeitssitzung des Fachausschusses für Feuerungen der Brennkrafttechnischen Gesellschaft unter Vorsitz des Oberreichsbahnrats Fr. Müller am 3. April 1941 in Berlin gehalten worden sind.

Dabei wurde insbesondere das Kernproblem der Steinkohlenschwelung erörtert. Auf dieses verwickelte Gebiet führte der großangelegte Vortrag über „Steinkohlenschwelkoks und seine verbrennungstechnischen Eigenschaften" von Professor Th. Kayser (Technische Hochschule Berlin), einem bekannten Sachverständigen des Kokereiwesens, der selbst eingehende Versuche und Untersuchungen angestellt hat und demgemäß eine Fülle zum Teil ganz neuer Ergebnisse und Erkenntnisse vorbringen konnte. Zweck der Steinkohlenverschwelung ist zwar die Gewinnung von Heizöl, das bestimmten Bedingungen entsprechen muß; die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens verlangt aber die Abstimmung des Schwelprozesses auf die Erzeugung von wirtschaftlich verwertbarem Schwelkoks.

Es folgt anschließend die Arbeit von Dipl.-Ing. Paul von der Vereinigung der Großkesselbesitzer über feuerungstechnische Erfahrungen mit Schwelkoks. Keineswegs immer decken sich praktische Erfahrungen mit Paradeversuchen, wie es auch eine, durch den Feuerungsausschuß der Brennkrafttechnischen Gesellschaft in der Industrie gehaltene Umfrage ergab. Die Ergebnisse der letzteren und das bei der Vereinigung der Großkesselbesitzer angesammelte umfangreiche Material hat der Vortragende zu einem anschaulichen Bild über den tatsächlichen Stand und den Ausbau des Verfeuerns von Schwelkoks zusammengestellt.

Durch seinen Bericht über praktische Versuche mit einem Steinkohlenverschwelschacht rollte Oberreichsbahnrat Fr. Müller eine Frage von volkswirtschaftlicher Bedeutung erneut auf, die vor etwa 20 Jahren namentlich bei den Feuerungen der Elektrizitätswerke erörtert wurde. Die Wirtschaftlichkeit der Kupplung von Feuerungs- und Schwelanlage hängt allerdings vom Teerpreise ab.

Der letzte Vortrag dieser Reihe von Dr.-Ing. Vorkauf über eine Brennkraftturbine mit Gleichdruckverbrennung und Drehkessel wurde angeregt vom Studienausschuß für Brennkraftturbinen der Brennkrafttechnischen Gesellschaft. Es sind ja Gasturbinen mit Gleichdruckverbrennung und geringem Wärmewirkungsgrad bereits seit Jahren im Betrieb, namentlich in der chemischen Industrie. Der Ausschuß hat sich jedoch weitergehende Ziele gesteckt, namentlich die Erreichung tunlichst hohen Wirkungsgrades der Turbinen bei sicherem Betrieb und Herabsetzung des Brennstoffaufwandes je Ps. Die Vorkauf-Turbine bietet Aussicht auf Erreichung dieses Zieles.

Der zweite Teil des Buches bringt die Vorträge der Gemeinschaftssitzung „Gas und Gaskraft", welche die Brennkrafttechnische Gesellschaft E.V. die Wirtschaftsgruppe Gas und Wasserversorgung und der Deutsche Verein von Gas- und Wasserfachmännern im NSBDT am 4. März 1942 unter Vorsitz des Herrn Generaldirektor Fabian in Berlin veranstaltet hatte.

Als erster Redner sprach Dr. Lingen's, Wirtschaftsgruppe Gas- und Wasserversorgung, Berlin, über „Technik und Wirtschaftlichkeit der Gasverteilung". Durch die außerordentliche, zum Teil sprunghafte Steigerung des Gasabsatzes mußten in der Ortsgas-

verteilung neue Methoden angewandt werden, um die Gasversorgung in den Ortsgebieten sicher zu stellen. Bei der Ferngasversorgung, die mit hohen Anfangsdrücken arbeitet, hängt die wirtschaftliche Gasförderung von der zu liefernden Gasmenge und dem hierfür notwendigen und verlegten Rohrdurchmesser ab. Bei dem weiteren Ausbau der Rohrnetze ist besondere Rücksicht auf die kommende Verbundwirtschaft zu nehmen.

Danach behandelte Dr.-Ing. e.h. A. Thau, Didierwerke A.G. Berlin, den Gasanfall bei der thermischen Kohlenveredlung und die neuere Entwicklung der Vergasung. Die restlose Vergasung als Mittel zur Stadtgaserzeugung findet besonderes Interesse, um von der für die Entgasungsverfahren wichtigen Sortenfrage hinsichtlich der Kohlenbeschaffenheit los zu kommen, zumal der Gasbedarf dauernd im Ansteigen begriffen ist und hohe Anforderungen an den Steinkohlenmarkt stellt. Eine allgemein befriedigende Lösung der Aufgabe, die Entgasung der Gaswerke durch ein Vergasungsverfahren zu ersetzen, ist noch nicht gefunden worden.

Chefingenieur Dipl.-Ing. Waldmann, Aktiengesellschaft der Kohlenwertstoff-Verbände, Gruppe Benzin-Benzol-Verband, Bochum, erörtert das Flüssiggas in der Wirtschaft. Das Flüssiggas ist gegebener Heimatstoff, der im Frieden gleichwertig neben den flüssigen Kraftstoffen verbraucht wird. Die für den Flüssiggasbetrieb notwendigen technischen Einrichtungen sind durchweg auf Grund freiwilliger Vereinbarungen der das Flüssiggas verteilenden Gesellschaften vereinheitlicht. Der Vortrag schildert Verbesserungen in der Flüssiggasverteilung durch den erfolgten Bau von Flaschenabfüllstellen, die von den Erzeugerwerken mit Druckkesselwagen beliefert werden.

Den heutigen Stand des Baues von Gaskraftmaschinen und deren wirtschaftliche Bedeutung behandelte der Vortrag von Direktor Dipl.-Ing. Hagenmüller, Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg AG., Nürnberg. Der Vortrag befaßt sich in der Hauptsache mit ortsfesten Anlagen. Das Sparen an Brennstoff, Anlagekosten, Grundfläche und Raum, womit die Steigerung der Drehzahl verbunden ist, kennzeichnet die bauliche Entwicklung, die sich auch weiterhin mit Verbesserung der Regelung und Verminderung des Wärmeverbrauchs befaßt. Im übrigen bringt der Vortrag an Hand von Kurventafeln und Zahlen wertvolle Angaben über Anlagekosten, Betriebskosten, Abwärmeverwertung und Verwendungsmöglichkeiten.

Besonderes Interesse für den Kraftverkehr dürfte der Vortrag von Dr.-Ing. Walter Hoffmann, Präsidialdirektor der Berliner Gaswerke, Berlin, über Stadtgas und Methan im Kraftverkehr bieten. Unter den Schwelgasen sind als Kraftstoffe nur die heizkräftigen, also in erster Linie die Gase aus eisernen Schwelöfen mit einem Heizwert (bis 7000 WE geeignet. Stadtgas und Kokereigas besitzen für die Kraftstoffwirtschaft den Vorteil, daß sie an allen wichtigen Plätzen des Reichsgebietes in den erforderlichen Mengen zur Verfügung stehen. Die Umschaltung von Kraftfahrzeugmotoren auf den Gasantrieb erfordert bei den Otto-Motoren keinerlei motorische Veränderungen. Die Abgabe des Stadtgases an die Fahrzeuge erfolgt in erster Linie durch ortsfeste Tankstellen. In Großstädten sind aber auch fahrbare Tankstellen zweckmäßig.

Schließlich bietet Dipl.-Ing. Kurt Schmidt, Oberingenieur der Klöckner-Humboldt-Deutz AG., Köln, einen guten Einblick in die Vergasung fester Brennstoffe und in die Gaskraft im Schiffsverkehr. Schmidt geht von den Grundverfahren der aufsteigenden, absteigenden und Doppelfeuervergasung aus, und stellt die chemischen und physikalischen Vorgänge in Gaserzeugern nebeneinander. Es ist Aufgabe der Vergasungstechnik, sich den naturbedingten Neigungen der Brennstoffe anzupassen, weil nur auf diese Weise die Vergasung in einem stabilen Gleichgewicht ablaufen kann. Der Überblick über den Stand der Schiffsanlagen, erläutert durch Bilder Deutzer Anlagen, vermittelt ein eindrucksvolles Bild über die Fortschritte, die durch gemeinsame Arbeit der Hersteller der Gaserzeuger und Gasmotoren, der Werften und der Reeder in wenigen Jahren erreicht worden sind.

Den Abschluß des Jahrbuches bildet die Niederschrift über die 23. Hauptversammlung der Brennkrafttechnischen Gesellschaft.

Gentsch.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	
Steinkohlenbergbau und seine verbrennungstechnischen Eigenschaften. Von Professor Th. Kayser	7
Feuerungstechnische Erfahrungen mit Schwelkoks. Von Dipl.-Ing. H. Paul	54
Praktische Versuche mit einem Steinkohlen-Vorschwelschacht. Von Oberreichsbahnrat Friedrich Müller	65
Brennkraftmaschine mit Drehkessel. Von Dr.-Ing. Heinrich Vorkauf	72
Technik und Wirtschaftlichkeit der Gasverteilung. Von Dr. Lieggers	78
Gasanfall bei der thermischen Kohlenverteilung und die neuere Entwicklung der Vergasung. Von Dr.-Ing. e. h. A. Thau	84
Flüssiges in der Wirtschaft. Von Chefingenieur Dipl.-Ing. Waldmann	89
Der heutige Stand des Baues von Gasbrennmaschinen und deren wirtschaftliche Bedeutung. Von Dipl.-Ing. F. Hagenmüller	105
Stadtgas und Methan im Kraftverkehr. Von Präsidialdirektor Dr.-Ing. W. Hoffmann	122
Die Vergasung fester Brennstoffe und die Gaskraft im Schiffsverkehr. Von Oberingenieur Dipl.-Ing. Kurt Schmidt	134
Niederschrift über die 24. Hauptversammlung der Brennkrafttechnischen Gesellschaft e. V. (geschäftliche Sitzung) am 3. April 1941	141

Steinkohlenschwelkoks und seine verbrennungstechnischen Eigenschaften.

Von Professor Th. Kayser, Berlin. Bearbeitet nach einem Vortrag vom 8. April 1941 vor der Brennstofftechnischen Gesellschaft E. V., Fachausschuß für Feuerungstechnik.

Inhalt:

Chemische und physikalische Eigenschaften und das brennstoffliche Verhalten der Steinkohlen-Schwelkoks — Zündpunkte einiger Brennstoffe — Versuche der Kohlenstaub- und Braunkohlenstaub in Berlin — Feuerungsversuche — Vergasungsversuche — Schwelversuche — Schwelversuche von Berg & Co., Lurgi, Brennstoffinstitut, Bergbau-Kolleg, Koppers — Vergleiche der Verdampferversuche — Verschwelung der verschiedenen Steinkohlensorten.

Der Träger der Wirtschaftlichkeit der Steinkohlenschwelung ist der Schwelkoks. Zu bei weitem größtem Teile werden die Kosten des Verfahrens durch die Erlöse aus dem Schwelkoks gedeckt. Die mit der Verkokung bei niederer Temperatur verbundene hohe Teerausbeute und die entsprechend der Qualität der anfallenden Teere erzielbaren Teererlöse begünstigen die Aufnahme der Steinkohlenschwelung. Die thermisch schonende Behandlung der Kohle durch Schwelen bietet zwar die Möglichkeit, die Steinkohle in erheblichem Umfange zur Erzeugung von Qualitätskoksen verschiedenster Art heranzuziehen; sie werden infolge ihres mengenmäßig geringen gewinnbaren Anteils und der Begrenzung der erzielbaren Erlöse immer Nebenprodukte bleiben.

Denkt man aber an die besonderen spezifischen Eigenschaften des bei der Schwelung gewonnenen Koks, so bieten diese allein schon die Grundlage zur Entwicklung und zum Ausbau des Schwelens, wozu eine grundlegende Umstellung des Brennstoffverbrauches erforderlich ist, die aus technischen und wirtschaftlichen Gründen schrittweise vorgenommen werden muß. Einerseits wird Schwelkoks in gleicher Weise wie Hochtemperaturkoks immer höher im Preise stehen müssen als die Kohle; andererseits darf man nicht übersehen, daß Schwelkoks trotz hoher Reaktionsfähigkeit seinem Endes feuerungstechnisch gesehen immer dem Hochtemperaturkoks näher steht als die unter starker Flammenentwicklung verbrennende gasreiche Kohle.

Die Aufnahme der Steinkohlenschwelung setzt, wenn sie von Erfolg begleitet sein soll, eine vernünftige Absatzplanung und eine für alle Teile tragbare Preisbildung voraus. Die gegebenen Eigenschaften des Steinkohlen-Schwelkoks weisen in allererster Linie auf die Verwendung für Hausbrandzwecke hin, wo zugleich auch die größten mengenmäßigen Absatzmöglichkeiten bestehen. Die Rauch- und Rußfreiheit der Schwelkoksfeuerung liegt im Sinne der seit Jahrzehnten angestrebten Verminderung der Rauchplage aus den unzähligen Kaminen der Hausbrandfeuerungen, und dem Verbraucher würde bei der Verfeuerung von Schwelkoks durch Fortfallen des Verteerens der Öfen und Herde und des unangenehmen Verrottens der Kamine gedient sein. Diese Vorzüge im Verein dürften auch einen hinreichenden Ausgleich für einen etwas höheren Preis des Schwelkoks bieten. Für Zentralheizungszwecke kommt Schwelkoks in Frage bei Kesseln mit Zweitluftzuführung und den bisher verwendeten und in großem Umfange in Gebrauch gekommenen Kleinkesseln. Unter gewissen Voraussetzungen kann der Schwelkoks in erheblichem Umfange über den Weg der Vergasung an die Stelle von Dieselöl treten. Vor allem ist der Schwelkoks ein spezifischer Brennstoff für Vergasungszwecke aller Art, auch kommt er für mancherlei metallurgische Verfahren in Frage. Schwieriger gestaltet sich, ganz abgesehen von der Preisfrage, aus technischen Gründen die Umstellung der Dampfkesselfeuerungen auf Schwelkoks.

Die Anforderungen, die an Schwelkoks gestellt werden müssen, sind verschiedener Art. In der Hauptsache handelt es sich dabei wohl um die Festigkeit und Reaktionsfähigkeit, hinzu kommen Teerfreiheit, hinreichender Heizwert und nicht zu hoher Aschegehalt.

halt, sowie möglichst hohes spezifisches Gewicht und eine den verschiedenen Verwendungszwecken angepaßte Körnung.

Der Ausgangspunkt aller Überlegungen hinsichtlich der Qualität des anfallenden Koks ist die Auswahl der Kohle, die in genügender Menge zu tragbaren Preisen zur Verfügung stehen muß, wobei der Gesichtspunkt zu berücksichtigen ist, daß im Hinblick auf die angestrebte Heizölgewinnung ein entsprechender Teer in möglichst großer Ausbeute anfällt. Verfahrensmäßig sind die Anforderungen je nach der Art der Kohle verschieden, und so wird beispielsweise ein Gaswerk dem Verfahren den Vorzug geben, das möglichste Freiheit in der Auswahl der Kohle bietet. Wo diese Freiheit nicht besteht, bestimmen die örtlich gegebenen Verhältnisse das Verfahren. Das wechselnde Verhalten der Kohlen im Schwelprozeß im Zusammenhang mit der Frage, welche Kohlensorten und zu welchem Preise sie in Zukunft zur Verfügung stehen, ist nicht zuletzt mit die Ursache für die unterschiedliche Auffassung hinsichtlich der Brauchbarkeit der einzelnen Schwelverfahren und die hier und da gegenüber der Aufnahme der Schwelung geübte Zurückhaltung.

Die von der Wirtschaftsführung vorwiegend für die Schwelung vorgesehenen Kohlensorten sind solche, die höchstenfalls mittlere Backfähigkeitszahlen aufweisen. Es mag dahingestellt sein, welches der bisher bekannten Schwelverfahren die günstigsten Teerausbeuten bei festem Schwelkoks erbringt. Verfahrensmäßig liegen aber bereits die Grundlagen fest, deren Einhaltung auch aus Kohlen geringerer Backfähigkeit bei hoher Teerausbeute einen brauchbaren Koks ergibt. Da Kohlen mit hoher Backfähigkeit zweckmäßiger der Hochtemperaturverkokung vorbehalten bleiben, kommen für die Steinkohlenschwelung in allererster Linie die weniger gut backenden Kohlen des oberschlesischen Reviertes zumal auch wegen ihres hohen Teergehaltes in Betracht, was nicht ausschließt, daß ein gewisser Teil backender Kohlen solchen von geringerer Backfähigkeit beigemischt wird. Ob man Nußkohle, backende Feinkohle oder schwachbackende Feinkohle brikettiert verschwelt, ist zunächst eine Preisfrage. Die zur Zeit gültigen Preise für oberschlesische zur Brikettierung geeignete Feinkohlen weisen im Hinblick auf die mit der Brikettierung verbundenen erheblichen Vorteile verschiedener Art auf diesen Weg.

Verfasser hat die meisten der bislang hergestellten Schwelkokse auf ihre chemische Zusammensetzung und ihr brenntechnisches Verhalten hin untersucht, Brikettierungs- und Schwelversuche mit einer Anzahl von Kohlensorten durchgeführt, sowie von anderer Seite angestellten Schwelversuchen beigewohnt. Die Ergebnisse dieser Versuche und ihre Vergleiche unter sich geben hinreichende Aufschlüsse, um den Steinkohlen-Schwelkoks feuerungstechnisch und wertmäßig in die Brennstoffwirtschaft einzureihen.

Was zunächst die rein feuerungstechnische Seite betrifft, so ist charakteristisch für den Schwelkoks seine hohe Reaktionsfähigkeit bzw. Brenngeschwindigkeit. Im Zusammenhang und Einklang mit der Reaktionsfähigkeit steht der verhältnismäßig niedrige Zündpunkt. Zündpunkt und Brenngeschwindigkeit schwanken mit der Menge der flüchtigen Bestandteile und dem Gehalt an Wasserstoff, der wohl als ein maßgebender Faktor angesehen werden kann. Da es sich bei der Verbrennung fester Brennstoffe um eine Oberflächenreaktion handelt, sind Zündpunkt und Brenngeschwindigkeit auch abhängig von der spezifischen Oberfläche. Da die Bestimmung des Zündpunktes der Brennstoffe in der gebräuchlichen Brennstoffkörnung versuchstechnisch große Schwierigkeiten bereitet, wendet man nur kleinste Mengen feinster Körnungen an, und es sind daher die Ergebnisse nur als Vergleichswerte anzusehen; für die Gebrauchskörnungen liegen die Zündpunkte wesentlich höher, wobei noch zu beachten ist, daß auch die verschiedene Wärmeleitfähigkeit der Brennstoffe eine erhebliche Rolle spielt. Während die Kohlen allgemein zu den schlechten Wärmeleitern zählen, besitzt der Koks als Ausnahme eine bei weitem höhere Wärmeleitfähigkeit, die wiederum von seiner Porosität abhängt und mit der Dichte des Koks steigt und fällt; andererseits ist sie abhängig von der höheren mit den Verkokungstemperaturen fortschreitenden Graphitierung, und Graphit ist ein guter Wärmeleiter. Größeres Wärmeleitvermögen beeinträchtigt die Zündwilligkeit, da die Wärme von der Oberfläche schnell in das Innere abgeleitet wird, und das um so mehr, je grobstückiger der Koks ist; geringere Wärmeleitfähigkeit unterstützt die Zündwilligkeit.

Unterschiedliche Werte zwischen Laboratoriumsuntersuchungen und praktisch verwendeten Körnungen ergeben sich weiter daraus, ob man für die Bestimmung des Zündpunktes Sauerstoff oder Luft verwendet; die Zündpunktbestimmungen mittels Luft ergeben um etwa 50 bis 60° höhere Werte.

Die Bestimmung der Zündpunkte der in nachfolgender Tabelle 1 aufgeführten Brennstoffe erfolgte mittels des Apparates von Dr. Melzer im Sauerstoffstrom. Die in der Zahlentabelle aufgeführten Ergebnisse der Gegenversuche lassen erkennen, daß es mit dieser Methodik unter sorgfältiger Einhaltung gleichmäßiger Versuchsbedingungen möglich

Tabelle 1

Zündpunkte einiger Brennstoffe

			Zündpunkt °C		
Gaskoks	Gaswerk Tegel		565	565	
	„ Tegel		570	570	
	„ Siemund		600	600	
	„ Kamenz		631	628	
	„ Stendal		607	610	
	„ Neukölln		615	615	
	„ Celle		569	566	
	„ Mariendorf		580	578	
	„ Gitschiner Straße		540	540	
Zechenkoks	Hammonia		637	637	639
	Ruhr		619	620	
	Oberschlesien		610	612	
	Magdeburger Schmelzkoks		600	600	
	Berliner Schmiedekoks		634	634	
	Ruhr		625	630	
Steinkohlen-Schwelkoks	Stückkoks	Gaswerk Nürnberg	426	426	
		O.K.V. Delbrück Schächte	400	400	
	Nußkoks	Göthe's Erben, Heinitzgrube Beuthen	411	416	
		Schlesag, Karsten-Zentrumgrube, Beuthen	402	399	399
		Schlesag, 10/20, Karsten-Zentrumgrube, Beuthen	405	410	
		Oheimgrube, Kattowitz	390	400	
	Briketts	Weberbriketts	340	340	
		Gaswerk Neukölln	431	432	
		„ Neukölln	340	340	
		Mandelbriketts Graf Blücher 100%	340	340	
		„ „ Brassert 100%	383	395	
		„ „ Walsum 100% Schwelltemperatur 520° C	360	363	
		„ „ Walsum 100% Schwelltemperatur 620° C	400	390	
		„ „ Fürst Leopold 100%	365	365	
		„ „ 50% Brassert + 50% Fürst Leopold	390	390	
	Eierbriketts	Königin Luise, Bergfeld-Kollergas-Verfahren	405	415	
	„	„ „ „ „ „ „	425	425	
	„	„ „ „ „ „ „	420	415	
	„	„ „ „ „ „ „	405	405	
Steinkohle	Deisterkohle		390	398	394
	Grube Glückhilf		319	316	
	Oberschlesische Stinkkohle		280	276	280
Braunkohlen-Schwelkoks	Offleben		286	290	
	erhalten von der Motorenfabrik Jastram, Hamburg		280	281	
	Briketts		261	263	
	Briketts		250	250	
	Hartkoks		240	240	
Braunkohle	Braunkohlenbriketts		232	230	
Anthrazit	Langenbraun		428	440	
	Sophie Jakoba		420	422	
	Westfalen-Anthrazit, entnommen gelegentlich eines Versuches		398	398	
Schwelторf	Schwelторf		232	235	
	Schwelторf		261	263	

ist, zu gut übereinstimmenden Werten zu gelangen. Der Zündpunkt von Steinkohlen-Schwelkoks liegt etwa 200° C unter dem von Hochtemperaturkoks, andererseits nähert er sich stark dem der Steinkohle und steht mit Anthrazit auf gleicher Höhe. Die Zündpunkte von Braunkohlen-Schwelkoks, Braunkohlenbriketts und Torfkoks liegen um etwa 100 bis 130° C niedriger.

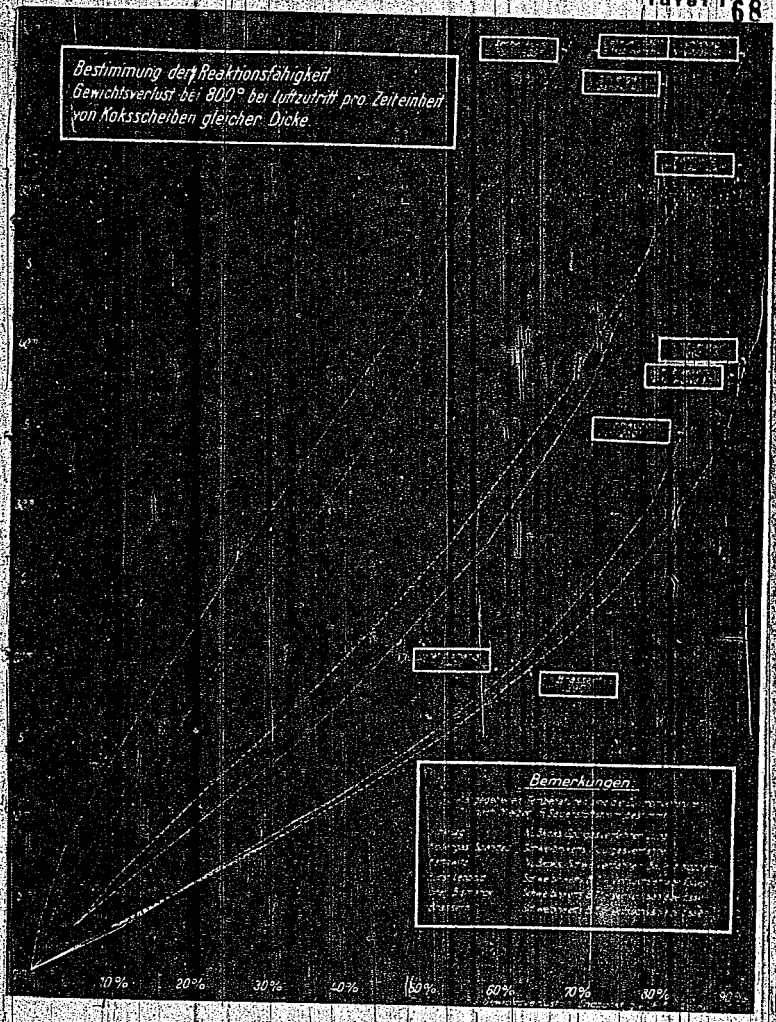
Zur laboratoriumsmäßigen Feststellung der Reaktionsfähigkeit mit kleinsten Mengen hat Verfasser in Gemeinschaft mit seinem Mitarbeiter — Chemiker Kronenberg — ein neuartiges Verfahren ausgearbeitet, das es in der nunmehr abgeschlossenen Art der Durchführung gestattet, die von der Waage angezeigte Gewichtsabnahme auf optischem Wege auf lichtempfindliches Papier zu übertragen und in Form einer Kurve zu erhalten. Der Verlauf der Kurven in dem beigefügten Diagramm — Tafel 1 — ist noch durch Wägungen von Hand ermittelt. Die Methodik des Verfahrens selbst besteht darin, daß eine kleinere Menge des Brennstoffes im Gewicht von einigen Gramm in einem von außen auf eine jeweils gewünschte Arbeitstemperatur erhitzten Porzellanrohr verbrannt wird, und zwar unter Regelung der Luftzuführ und Feststellung des Gewichtsverlustes in kurzen Abständen von einigen Minuten. Um die Verhältnisse in der Feuerschicht nachzuahmen, ist bei den vorliegenden Untersuchungen eine Temperatur von etwa 800° C angenommen und das Porzellanrohr während des Versuches in dieser Temperaturlage gehalten worden. Naturgemäß müssen die zu vergleichenden Brennstoffstücke gleiche Oberfläche und demgemäß gleiches Volumen haben. Da die Waage die absoluten Abbrandwerte anzeigt und die spezifischen Gewichte der Brennstoffe verschieden sind, ist der jeweilige Abbrand prozentual auf die angewendete Brennstoffmenge bezogen.

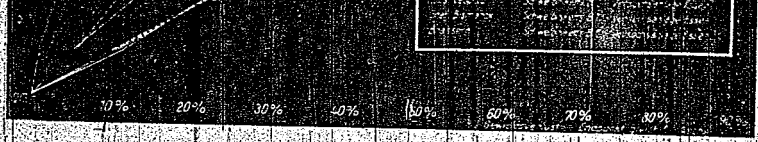
In der Diagrammtafel sind die Abbrandkurven einer Reihe verschiedener Kokssorten wiedergegeben. Im Verlauf der Kurven kommt anschaulich der Zusammenhang zwischen Zündpunktlage und Reaktionsgeschwindigkeit zum Ausdruck, die Verschiedenheit der Zündpunkte wiederum ist eine Folge der höheren oder niederen Verkokungs- bzw. Schweltemperatur. Wie die unterschiedliche Brenngeschwindigkeit zwischen Ruhrzechen-Koks und Gaskoks sich abhebt, lassen die weiteren Kurven erkennen, ob eine höhere oder niedere Schweltemperatur zur Anwendung gekommen ist. Charakteristisch für die Reaktionsgeschwindigkeit ist der Verlauf der Kurven in den ersten 10 und 20 Minuten; von hier ab macht sich bereits die Veraschung bemerkbar, die die Verbrennungsgeschwindigkeit verzögert. Die ausgesprochenen Schwelkokse mit niedrigerer Lage des Zündpunktes sind nach etwa 40 Minuten abgebrannt, Koks aus dem Bereich der Mitteltemperatur benötigt bis zum vollständigen Abbrand 50 bis 60 Minuten und Hochtemperaturkoks weit über 1 Stunde. Der hemmende Einfluß übermäßigen Aschengehaltes tritt anschaulich hervor in den Kurven Brikozit und Kollergas Spandau, Brikozit mit einem aus dem Kurvenblatt ablesbaren Aschengehalt von etwa 18½%, Kollergas mit einem solchen von über 20%. Wenn die Verzögerung des Abbrandes bei Hochtemperaturkoks wesentlich geringer ist, so erklärt sich das aus der bei weitem geringeren Brenngeschwindigkeit und dementsprechend längeren Verbrennungsdauer und mehr körnigen Struktur der Asche als einer Folge der hohen Verkokungstemperatur und der damit verbundenen Veränderung in der Zusammensetzung der Asche.

Die Brenngeschwindigkeit läßt sich aber auch praktisch mit größeren Mengen auf dem Prüfstande feststellen, wozu Verfasser im Laboratorium der Koks-Prüf- und Lieferungsstelle eine Anzahl von Untersuchungen angestellt hat. Das Kurvenblatt — Tafel 2 — zeigt Vergleichsversuche mit einer Reihe der meist gebräuchlichen Brennstoffe. In Vergleich gestellt wurden unter Anwendung gleichartiger Körnungen von 20/40 mm:

Braunkohlenbriketts (Salonbriketts zerkleinert),
Steinkohle (Oberschlesische Hausbrandkohle),
Steinkohlen-Schwelkoks,
Steinkohlen-Mitteltemperaturkoks,
Still-Koks (Steinkohlen-Mitteltemperaturkoks nach besonderem Verfahren im Kammerofen hergestellt),
Zechenkoks,
Gaskoks.

Tafel 168


Bestimmung der Reaktionsfähigkeit
Gewichtsverlust bei 800° bei Luftzutritt pro Zeiteinheit
von Koksscheiben gleicher Dicke
Bemerkungen
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%



Die Versuche erstreckten sich auf die Dauer von zwei Stunden, während welcher neben der Menge des Abbrandes der Gehalt der Verbrennungsgase an Kohlensäure, Kohlenoxyd und Wasserstoff durch registrierende Instrumente bestimmt wurde. Zu den Versuchen diente ein eiserner Ofen irischer Bauart. Die Versuchsapparatur gestattet die genaue Einhaltung bestimmter Zugverhältnisse; bei diesen Versuchen wurde ein, für reichliche Belastung ausreichender Zug von 1 mm WS mit Zugschwankungen von höchstens $\pm$ 1/10 mm WS eingehalten. Die Brauchbarkeit derartiger Versuche kann erst als erwiesen gelten, wenn sie reproduzierbar sind. Der Kurvenverlauf der Parallelversuche zeigt eine so charakteristische Übereinstimmung, daß die Methodik geeignet sein dürfte, brauchbare Unterlagen für das Verhalten der verschiedenen Brennstoffe im praktischen Betriebe, d. h. unter Verwendung gebräuchlicher Körnungen zu gewinnen.

Der Tieftemperatur- bzw. Schwelkoks gliedert sich in die Reihe der für die Versuche verwendeten Brennstoffe entsprechend seiner Reaktionsfähigkeit und seinem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen zwischen den gasreichen Brennstoffen Braunkohle und Steinkohle einerseits und Mitteltemperatur- und Hochtemperaturkoks andererseits gesetzmäßig ein. Die Menge des Abbrandes bleibt bei ihm, wie zu erwarten, hinter Steinkohle und vornehmlich Braunkohle stark zurück, sie liegt nicht wesentlich über dem Mitteltemperaturkoks, aber weit über den beiden Hochtemperaturkoksarten, welch letztere, da sie aus gleichartiger Kohle und unter ähnlichen Bedingungen gewonnen sind, sich praktisch kaum voneinander unterscheiden. Das Unverbrannte an Kohlenoxyd und Wasserstoff — anfänglich während kurzer Zeit tritt auch noch zusätzlich Methan auf — steigt und fällt mit dem Gehalt der Brennstoffe an flüchtigen Bestandteilen; bemerkenswert ist dabei, daß die Periode der unvollkommenen Verbrennung sich entsprechend der Abnahme der flüchtigen Bestandteile bzw. der fortschreitenden Entgasung auf die ersten vierzig Minuten des Abbrandes beschränkt. Im weiteren Verlauf des Abbrandes gleichen sich die Kurven der verschiedenen Brennstoffe entsprechend der zunehmend einheitlicheren Zusammensetzung des auf dem Rost verbleibenden Brennstoffrückstandes mehr und mehr einander an. Durch Erhöhung des Luftüberschusses unter Verwendung gröberer Körnungen ist in gewissen Grenzen die Möglichkeit gegeben, die Verluste durch Unverbranntes herabzusetzen, was praktisch z. B. beim Braunkohlenbrikett in Erscheinung tritt, das normalerweise in hälftig zerschlagenen großen Salonsteinen im Gewicht von etwa 480 Gramm und nicht, wie bei diesen Versuchen geschehen, in Stückelung von 20/40 mm verfeuert wird; durch das große Briketformat verringert sich zugleich die Brennstoffoberfläche, was gleichzeitig der unerwünscht großen Brenngeschwindigkeit entgegen wirkt. Schon diese kurzen Hinweise mögen genügen, um den Einfluß der Brennstoffkörnung auf das Auftreten von Unverbranntem und auf die Brenngeschwindigkeit darzutun.

Die Ergebnisse einiger auf dem Zentralheizungsprüfstand an einem Warmwasserkessel von 6,5 qm Heizfläche mit Schwelkoks und Gaskoks vorgenommenen Versuche sind in dem Versuchstableau — Tafel 3 — dargestellt. Zweck dieser Versuche war, den Einfluß der Zugstärke auf den Abbrand und das Ansteigen der Kesselwassertemperatur im Verlauf einer Stunde zu zeigen. Der Schwelkoks war aus Feinkohle, d. h. aus Kokskohle, im Heizflächenverfahren gewonnen.

Die Tabelle 2 enthält die zahlenmäßigen Ergebnisse der Versuche. Man erkennt, wie unterschiedlich die Zugverhältnisse sind bzw. eine wieviel geringere Zugstärke bei Schwelkoks gegenüber Gaskoks erforderlich ist, um im Verlauf einer Anheizzeit von einer Stunde auf gleiche Kesselwassertemperaturen zu kommen. Zum Kurvenverlauf der Kesselwassertemperaturen sei bemerkt, daß deren anfängliches Absinken eine Folge der starken Abkühlung bei Beschicken des Kessels mit frischem Koks ist. Es ist schon bei diesen Kurzversuchen an der Menge des Unverbrannten in den Abgasen in der Form von Kohlenoxyd und Wasserstoff ersichtlich, daß sich Schwelkoks mit seinem reichlichen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen in einem normalen für die Verfeuerung von Hochtemperaturkoks bestimmten Zentralheizungskessel selbst mit unterem Abbrand ohne Zuführung von Zweitluft nicht wirtschaftlich verfeuern läßt.

Der Heizwert von Koks im allgemeinen wird ausschlaggebend durch den Gehalt an Asche und Wasser bestimmt. Der Aschengehalt ist eine durch die Ausgangskohle festge-

Tafel 2 20

Abbrandversuche mit verschiedenen Brennstoffen
in einem eisernen Zimmerofen Fischer Stuart

L4

legte und durch deren Auswahl mehr oder weniger beeinflußbare Größe, während der Wassergehalt von der Art des Löschverfahrens, der Porosität des Koks und Zufälligkeiten der Witterungseinflüsse abhängt. Der Faktor Wassergehalt verdient bei Schwelkoks

Tabelle 2

Anheizversuche

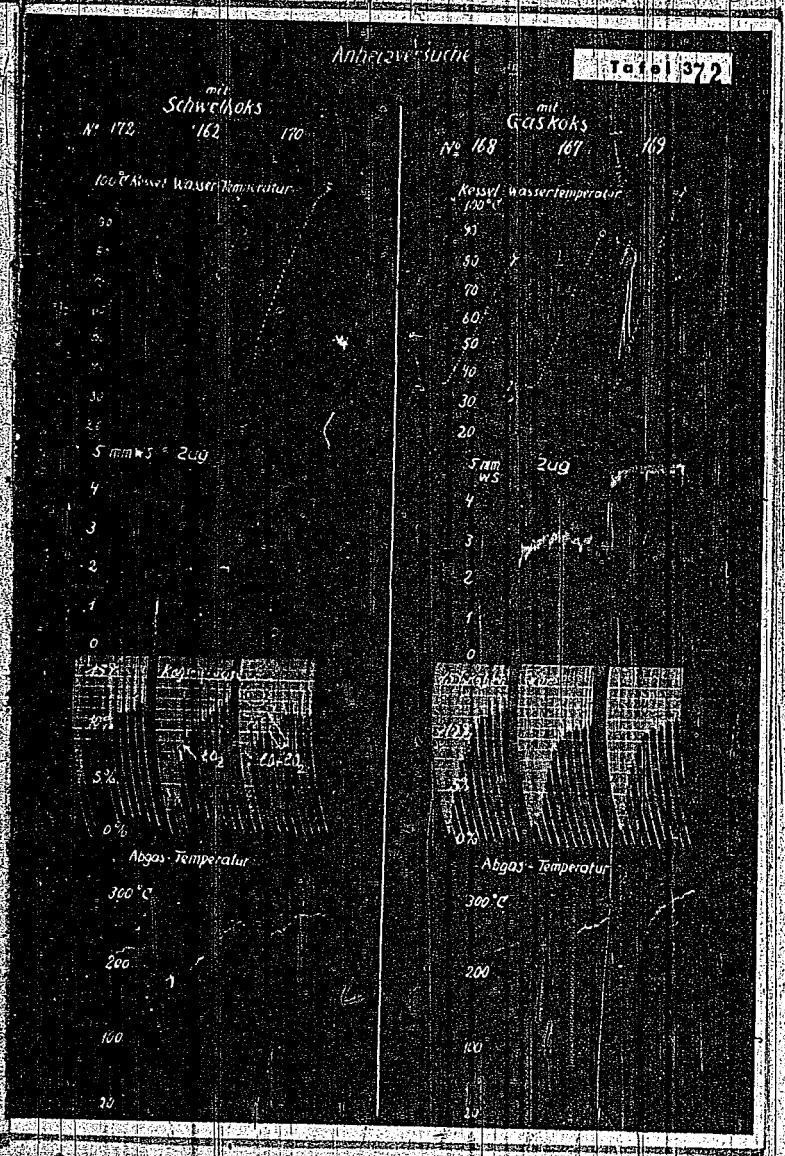
Versuch Nr.	Brennstoff	Zug mm WS	Erreichte Kessel-temperatur °C	CO_2 %	Abgas CO + H_2 %	Temperatur (— 20° C)	Verbrauchbare Wärme %	CO + H_2 %	Gesamt %	Abbrand kg	Belastung kcal/m²h
172	Schwelkoks	1,6	68 (84)	10,14	2,15	196	12,8	14,2	27,0	14,51	11 300
162	„	2,0	90	8,90	1,87	187	13,8	11,2	25,0	14,62	12 700
170	„	3,0	102	9,36	1,54	238	17,5	9,7	27,2	18,56	14 400
168	Gaskoks Schöneberg	2,0	84	8,48	0,47	178	16,0	3,2	19,2	11,36	10 000
167	„	3,5	92	7,56	0,10	200	20,9	0,7	21,6	13,69	11 900
169	„	5,0	102,5	8,70	0,10	238	21,6	0,6	22,2	16,87	14 300

besondere Beachtung, insofern seine hohe Reaktionsfähigkeit zur Verhinderung des Weiterbrandes im Bunker bzw. auf dem Lager einer energischen Kühlung bedarf. Der Verbraucher ist hinsichtlich des Wassergehaltes sehr empfindlich, so daß der Kühlung bzw. dem Ablöschen des Koks besondere Beachtung zu schenken ist. Die Zusammenstellung von Schwelkoksanalysen — Tabelle 3 — gibt einen Überblick über Heizwerte sowie

Tabelle 3

Schwelkoks-Analysen

Steinkohlen-Schwelkoks		Asche %	Wasser %	Flüchtige Bestandteile %	Heizwert Rohkoks kcal	Heizwert Reinkoks kcal	Asche im Trockenkoks %
Gaswerk Nürnberg		12,40	2,40	11,02	6773	7976	12,72
O.K.V.		11,13	4,25	10,27	6900	8185	11,62
O.K.V. — Delbrück-Schächte		11,03	4,03	10,29	6916	8171	11,49
O.K.V.		7,22	5,07	9,21	7179	8219	7,61
Schleisg 10/20		9,45	6,59	9,99	6727	8000	10,12
„ 10/20		8,11	10,61	8,64	6431	7991	9,08
„ 10/20		9,99	6,91	10,44	6516	7988	10,85
„ 10/20		10,03	4,01	8,25	6666	7069	11,51
„ 10/20		9,63	11,20	10,06	6278	8026	10,86
Weberbriketts		14,33	9,31	10,90	6438	7915	14,08
Gaswerk Neukölln I		12,82	9,02	11,51	6473	7815	13,36
„ „ II		8,01	23,65	8,60	5448	8180	10,49
„ „ III		7,81	22,38	7,72	5475	8035	10,06
„ „ II		8,50	18,40	9,10	5822	8122	10,49
„ „ III		8,66	16,15	8,54	5898	7972	10,32
Giesche's Erben 10/20		10,02	1,50	8,02	6871	8130	11,12
„ „ 10/20		8,58	10,80	8,89	6182	8090	9,31
„ „ 20/40		0,20	19,25	6,21	5061	8156	7,68
„ „ 20/40		7,06	7,80	7,52	6669	7974	8,01
„ „ 20/40		7,88	7,60	7,54	6683	7971	8,61
„ „ 20/40		7,78	9,86	7,35	6520	7888	8,63
„ „ 20/40		7,53	12,81	7,12	6307	8014	8,63
„ „ 20/40		6,61	13,91	6,65	6390	8152	7,72
„ „ 40/60		8,49	2,56	6,51	7238	8149	8,65
„ „ 40/60		8,41	2,50	6,54	7242	8140	8,66
„ „ 40/60		7,71	12,30	6,00	5807	7039	8,98
	i. M.:	9,08	10,28	8,58	6432	8053	10,08
Braunkohlen-Schwelkoks							
Offleben		18,83	3,49	17,83	6131	8011	19,70
Unbekannter Herkunft		16,14	5,76	15,01	6173	7811	16,95
Harkoks		20,11	7,03	16,99	5866	8109	21,63
	i. M.:	18,36	5,40	16,81	6058	7987	19,43


Anheizversuche
Tafel 372
mit Schwelkoks
№ 172 162 170
mit Gaskoks
№ 168 167 169
Kessel-Wasser-Temperatur
Kessel-wassertemperatur
5 mm WS
2ug
Abgas-Temperatur
Abgas-Temperatur

Aschen- und Wassergehalte einer größeren Anzahl von Schwelkokssorten verschiedener Herkunft.

Vergleichsberechnungen über den Marktwert der Brennstoffkalorie pflegt man gern den Heizwert der in Wettbewerb stehenden Brennstoffe zu Grunde zu legen. Derartige Berechnungen führen aber leicht zu Trugschlüssen, indem man den praktischen Gebrauchswert eines Brennstoffes übersieht. Insbesondere im Hausbrand kommt es nicht so sehr auf den Preis der Kalorie an als darauf, in wie weit sich ein Brennstoff seiner Eigenart nach dessen speziellen Bedürfnissen anpaßt. Der Hausbrand verlangt mäßigen Aschengehalt, leichtes Entzünden, hohe Brenngeschwindigkeit und lang anhaltende Glüt bei möglichst rauch- und rußfreier Verbrennung ohne Verteeren der Züge und Versotten der Schornsteine. Es sind das im Verein die Merkmale des Dauerbrandes, die sich in ihrer Gesamtheit in einem Brennstoff kaum erfüllen lassen. Schwelkoks dürfte sich jedenfalls in seinen verbrennungstechnischen Eigenschaften diesem Idealbrennstoff nähern. Lang anhaltende Glut und hohe Brenngeschwindigkeit sind zwar Eigenschaften, die sich als solche widersprechen. Dieser Widerspruch findet indessen einen Ausgleich durch das bei den verschiedenen Schwelkokssorten ziemlich übereinstimmend beobachtete besondere Verhalten der Asche. Die Asche von Schwelkoks verhält sich ähnlich wie jene der Braunkohle, sie bleibt gewissermaßen als ein Aschenskelett zurück und schirmt die Luftzufuhr zum Glutkern ab, ohne daß aber die Glut zum Verlöschen kommt. Die Schwelkoksasche ist im allgemeinen als gutartig zu bezeichnen, sie neigt weniger zur Schlackenbildung, was mit der niederen Verkokungstemperatur in Zusammenhang steht.

Die charakteristische Eigenschaft von Schwelkoks für Zwecke häuslicher Dauerbrandfeuerungen ist seine lange Brenndauer, wofür die Tabellen 4 und 5 nebst Kurvenblatt den Nachweis erbringen.

Tabelle 4

Heizversuche mit verschiedenen im Dauerbrandofen mit oberer

Heizversuch:	Nr. 23		Nr. 24		Nr. 25		Nr. 26	
Untersuchter Brennstoff:	Steinkohlen-Schwelkoks Neukölln		Steinkohlen-Schwelkoks Neukölln		Steinkohlen-Schwelkoks Neukölln		Steinkohlen-Schwelkoks Gerdts Erben	
Körnung:	Br. II (feucht)		Br. III (feucht)		Br. III (feucht)		20/40	
Versuchsdauer:	10 Stunden		10 Stunden		10 Stunden		6 Stunden	
Mittelwerte:								
CO_2	6,7 %		7,0 %		10,5 %		12,8 %	
$CO+H_2$	1,1 %		1,5 %		1,8 %		1,4 %	
Abgastemperatur	185 ° C		172 ° C		137 ° C		142 ° C	
Zug	0,78 mm WS		0,69 mm WS		0,54 mm WS		0,73 mm WS	
Belastung	1,233 kcal/m²,h		1,399 kcal/m²,h		1,456 kcal/m²,h		1,789 kcal/m²,h	
Wärmebilanz:	kcal	%	kcal	%	kcal	%	kcal	%
im durchgesetzten Brennstoff enthalten	21 575	100,00	23 036	100,00	22 803	100,00	15 950	100,00
Verluste durch fühlbare Wärme	3 329	15,43	2 413	10,21	1 477	6,48	1 036	6,50
Verluste durch $CO+H_2$-Gehalt	2 214	10,26	3 030	12,82	2 403	10,54	958	6,00
nutzbar gemachte Wärme	16 032	74,31	18 193	76,97	18 923	82,98	13 956	87,50
Belastung: Wirkungsgrad:	kcal/m²,h	%	kcal/m²,h	%	kcal/m²,h	%	kcal/m²,h	%
im Mittel zwischen 0⁰⁰ h und 12⁰⁰ h								
„ 12⁰⁰ h „ 24⁰⁰ h								
24⁰⁰ h Versuchsende innerhalb von 12 Stunden								
„ „ „ 24 „								
Insgesamt:	1 233	74,31	1 399	76,97	1 456	82,98	1 789	87,50

Zur Durchführung der Versuche wurden drei der gebräuchlichen Typen eiserner Öfen herangezogen, und zwar:

1. Dauerbrandofen mit oberer Rauchverbrennungskammer der Burger Eisenwerke, Burg im Dillkreis, (Juno 4104) mit 1,30 qm Heizfläche.
2. Dauerbrandofen mit seitlichen Stirnzügen der Frank'schen Eisenwerke, Adolfshütte, Niederscheld im Dillkreis, (Oranier, 9/19) mit 1,20 qm Heizfläche.
3. Dauerbrandofen dritter Bauart, mit Prallplatte der Buderus'schen Eisenwerke, Wetzlar, (Buderus 165 B) mit 1,00 qm Heizfläche.

Die Verbände deutscher Eisenofenfabrikanten in Kassel hat in den Richtlinien, die er in Verbindung mit der dem Reichswirtschaftsministerium angegliederten Reichsstelle für Wärmewirtschaft aufgestellt hat, den Begriff Dauerbrand genauer definiert und festgelegt. Diese Richtlinien, deren wesentliche Bestimmungen für die Beurteilung der vorliegenden Versuchsergebnisse wichtig sind, besagen, daß ein Ofen, wenn er als Dauerbrenner gelten soll, imstande sein muß, die Glut bei ¼ der normalen Belastung, d. h. bei 1000 Kal/m³/h ohne Nachfüllung und ohne Verwendung von Anfeuerungsmaterial beim Wiederanfeuern 12 Stunden zu halten. Naturgemäß ist die Erfüllung dieser Forderung nicht nur von der Konstruktion des Ofens, sondern auch von der Art des Brennstoffes, d. h. von seinem Heizwert, Schlingewicht und sonstigen feuerungstechnischen Eigenschaften abhängig oder, mit anderen Worten gesagt, Ofen und Brennstoff müssen wechselseitig aufeinander abgestimmt sein.

In Ergänzung zu den rein zahlenmäßigen Belegen sei ein Versuch in graphischer Darstellung wiedergegeben, der den Verbrennungsablauf in allen Einzelheiten veranschaulicht — Tafel 4 —. Es ist daraus die Bedienungsweise des Ofens, die Menge des Abbrandes, die nutzbar gemachte Wärmeenergie bzw. der Wirkungsgrad in Abständen von

Steinkohlen-Schwelkoks-Brikett
Kugelbrennerbrandgalsumer (Juno 4104)

Nr. 27	Nr. 28	Nr. 29	Nr. 31				
Steinkohlen-Schwelkoks-Brikett Cavallier's Erben	Steinkohlen-Schwelkoks-Brikett Cavallier's Erben	Steinkohlen-Schwelkoks-Brikett	Steinkohlen-Schwelkoks-Brikett Neunkirchen	Steinkohlen-Schwelkoks-Brikett Neunkirchen	Steinkohlen-Schwelkoks-Brikett Neunkirchen	Steinkohlen-Schwelkoks-Brikett Neunkirchen	
20/40	40/60	Mandelform	Eiform	Nr. III (grün)	Nr. III (blau)	Nr. II	(gelb)
25 Stunden	25 Stunden	20 Stunden	35 Stunden	26 Stunden	26 Stunden	24 Stunden	
5,8 %	30,2 %	11,1 %	6,8 %	8,7 %	8,3 %	8,2 %	
1,8 %	1,8 %	3,1 %	1,3 %	2,3 %	2,0 %	2,6 %	
88 ° C	106 ° C	13 ° C	102 ° C	98 ° C	84 ° C	95 ° C	
0,70 mm WS	0,52 mm WS	0,87 mm WS	1,06 mm WS	0,59 mm WS	0,56 mm WS	0,53 mm WS	
761 kcal/m³/h	750 kcal/m³/h	1,156 kcal/m³/h	640 kcal/m³/h	610 kcal/m³/h	482 kcal/m³/h	625 kcal/m³/h	

kcal	%	kcal	%	kcal	%	kcal	%	kcal	%	kcal	%	kcal	%
26 539	100,00	28 405	100,00	37 548	100,00	35 153	100,00	24 894	100,00	19 505	100,00	24 452	100,00
1 205	4,77	1 522	5,34	2 165	5,50	2 590	7,37	1 364	5,48	883	5,04	1 457	5,96
2 405	9,06	2 569	9,03	5 440	14,49	3 160	9,06	2 918	11,73	2 213	11,35	2 643	10,81
22 969	86,17	24 377	85,63	30 044	80,01	29 377	83,57	20 611	82,79	16 329	83,61	20 352	83,23

kcal/m³/h	%	kcal/m³/h	%	kcal/m³/h	%	kcal/m³/h	%	kcal/m³/h	%	kcal/m³/h	%	kcal/m³/h	%
1 116	87,08	1 130	88,93	1 516	79,23	1 308	88,21	835	85,20	830	88,41	1 013	84,24
341	81,72	420	71,36	615	93,03	266	72,77	271	77,79	177	74,06	288	77,66
42	77,10	40	83,50			348	76,20	691	76,82	227	75,43		
1 116	87,08	1 130	88,93	1 516	79,23	1 308	88,21	835	85,20	830	88,41	1 013	84,24
729	86,29	780	85,08			782	85,25	693	83,43	504	83,90	651	84,00
700	86,17	750	85,63	1 156	80,01	646	83,57	610	82,79	482	83,61	651	84,00

Temperaturmessungen jahrweise (I, II und III)

Tabelle 5

Heizversuche mit verschiedenen Steinkohlen-Schwelkoks-Sorten im Dauerbrandofen mit seitlichen Stirnzügen (Ofen Nr. 9/19)

Heizversuch:	Nr. 35	Nr. 36	Nr. 37
Untersuchter Brennstoff:	Steinkohlen-Schwelkoks Neukölln	Steinkohlen-Schwelkoks Neukölln	Steinkohlen-Schwelkoks Gerecke's Erben
Körnung:	Brech II	Brech II	40/60
Versuchsdauer:	12 Stunden	36 Stunden	40 Stunden
Mittelwerte:			
CO_2	6,01 %	5,67 %	5,97 %
$CO + H_2$	1,16 %	1,63 %	1,25 %
Abgastemperatur	110 ° C	62 ° C	60 ° C
Zug	0,30 mm WS	0,30 mm WS	0,38 mm WS
Belastung	1 443 kcal/m²,h	529 kcal/m²,h	742 kcal/m²,h

Wärmebilanz: im durchgesetzten Brennstoff enthalten	kcal	%	kcal	%	kcal	%
	25 721	100,00	29 325	100,00	42 162	100,00
Verluste durch fühlbare Wärme	2 424	9,42	1 381	4,71	2 344	4,56
Verluste durch $CO + H_2$-Gehalt	2 517	9,78	3 816	13,01	4 209	9,98
nutzbar gemachte Wärme	20 780	80,80	24 128	82,28	35 609	84,46

Belastung: Wirkungsgrad im Mittel	kcal/m²,h	%	kcal/m²,h	%	kcal/m²,h	%
zwischen 0⁰⁰ h und 12⁰⁰ h	1 443	80,80	896	83,64	1 295	88,45
„ 12⁰⁰ h „ 24⁰⁰ h			276	75,46	533	80,29
„ 24⁰⁰ h „ 36⁰⁰ h			503	84,01	604	84,31
„ 36⁰⁰ h „ 48⁰⁰ h					124	49,13
Insgesamt:	1 443	80,80	559	82,28	742	84,20

je einer Stunde, sowie der durch registrierende Instrumente festgehaltene Verlauf der Verbrennung ersichtlich. Bei geringster Wartung war es möglich, den Dauerbrand bis zu 35 Stunden aufrecht zu erhalten. Ein einfaches Rütteln genügte, um nach 24 Stunden das Feuer wieder zu vollen Glut zu entfachen. Man könnte gegen eine so lange Ausdehnung des Abbrandes den Einwand erheben, daß die stündliche Wärmeabgabe stark absinkt und damit ihren praktischen Wert verliert. Die Versuche sind indessen bewußt zum Nachweis der Reaktionsfähigkeit des Brennstoffes so lange ausgedehnt worden. In anderen Fällen reichte sogar noch nach 40 Stunden und darüber die auf dem Rost verbliebene Glut zum Zünden des frisch aufgegebenen Koks aus.

Selbst im Deckenzugofen einfachster Bauart, bei dem die Heizgase ohne Verlängerung des Rauchgasweges im Ofen durch Steinzüge unmittelbar in das Rauchrohr bzw. in den Schornstein eintreten, ergaben sich bei höherer Heizflächenbelastung noch Wirkungsgrade von 75 bis 79 %. Bei den anderen beiden Ofensystemen wurden Wirkungsgrade bis zu 86 und 87 % erreicht, im allgemeinen bewegen sie sich zwischen etwa 77 und 84 %. Auffallend ist in diesem Falle die bei Schwelkoks nicht ohne weiteres zu vermutende reichliche Entwicklung leuchtender Flammen, die auf den ihm noch verbliebenen Gehalt an schweren Kohlenwasserstoffen zurückzuführen ist und ihn auch für Herdfeuerung geeignet macht.

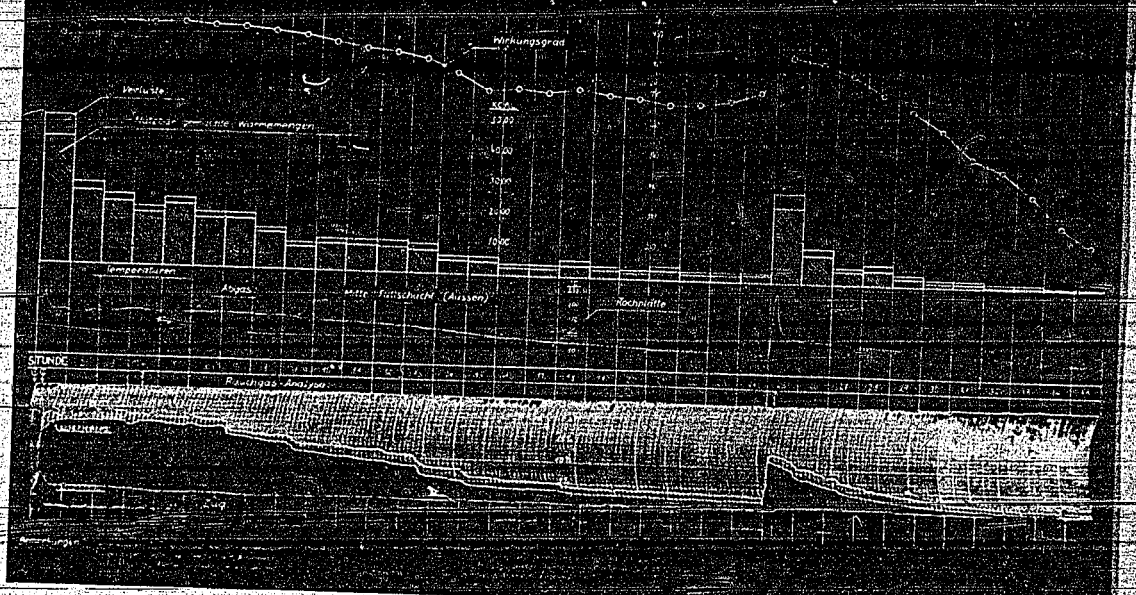
Durch die Versuchsergebnisse kann die Brauchbarkeit des Schwelkoks für den Hausbrand als erwiesen gelten. Der weit verbreitete neuzeitliche sogenannte „Allesbrenner" erfüllt die Aufgabe, alle im Hausbrand üblichen festen Brennstoffe unter guter Ausnutzung des Heizwertes nutzbar zu machen. Mit Rücksicht auf die Verfeuerung von Hochtemperaturkoks sind die Allesbrenner vielfach mit Großfeuertopf versehen, um durch dessen gegenüber Schamotteauskleidung höhere Wärmeleitfähigkeit eine Minderung der Feuerraumtemperatur zu erreichen und damit einer womöglichen Schlackenbildung entgegenzuwir-

Versuchsergebnisse

Brennstoff: Weber-Eier-Briketts, Grosses Format

Ofen: Juno-Universal-Allesbrenner 4104

Tafel 4



Versuche mit häuslichen Dauerbrandfeuerungen

20

ken. Es bestehen auch keine Schwierigkeiten, den Kachelofen, soweit notwendig und tunlich, der Eigenart des Schwelkoks anzupassen.

Das Gebiet der Zentralheizungen ist bereits kurz gestreift worden. Bei einer Umstellung der heute allgemein gebräuchlich gewordenen gußeisernen Gliederkessel auf Schwelkoksfeuerung ist zu beachten, daß nicht etwa der Koks erst für diese Kesseltypen geschaffen worden ist, sondern daß man sie vielmehr unsres so auszudrücken, um den Hochtemperaturkoks mit seinen besonderen Eigenschaften heimgebaut hat; sie stellen praktisch Spezialkessel für Hochtemperaturkoks dar, so daß sie nicht ohne weiteres für die Verfeuerung von Schwelkoks geeignet sind. Um in Kokskesseln auch gashaltige Brennstoffe zu verfeuern, ist die Zuführung von Zweitluft unerläßlich, andernfalls die Verluste durch Auftreten von Unverbranntem in den Rauchgasen sehr hoch werden. In Ermangelung einer solchen Zweitluftzufuhr besteht zudem bei Luftzutritt durch Öffnen der Füllür die Gefahr einer plötzlichen Entzündung unverbrannter Gase unter Herausschlagen der Flamme. Dagegen sind sie heute schon weit verbreiteten Großkessel, auch hier als „Allesbrenner" bezeichnet, mit Zweitluftzuführung ausgesprochen für die Verfeuerung von Schwelkoks geeignet. Verfasser hat bereits vor einiger Zeit an verschiedenen Großkesselanlagen Versuche mit Steinkohlen-Schwelkoks im Vergleich mit Braunkohlen-Schwelkoks und Hochtemperaturkoks durchgeführt. Die in Tabelle 6 zusammengestellten zahlenmäßigen Ergebnisse bestätigen diese an sich von vornherein gegebene Auffassung.

Tabelle 6. Versuchsergebnisse zum Vergleich

Versuch Nr.			1	2	3
Kesseltyp:			Nat. Radiator	desgl.	desgl.
Allesbrenner			Ideal 3 M		
Heizfläche		qm	45,6	45,6	45,6
Brennstoff			Braunkohlen-Schwelkoks	Anthrazit	Schleuz
Körnung			10/20	30/50	10/25
Versuchsdauer		Std.	12	9	8
Belastung		kcal/m²h	3 462	2 429	3 599
Zug i. M.		mm WS.	3,1	4,6	4,7
			Wärmebilanz		
Verluste durch fühlbare Wärme		%	18,4	23,5	19,0
„ „ Unverbr. ($CO+H_2$)		%	3,1	2,5	1,4
„ „ „ i. d. Asche		%	0,4	3,7	0,7
Kesselwirkungsgrad		%	78,1	70,3	78,9
Summe			100,0	100,0	100,0

Für die weitverbreiteten kleinen Zentralheizungskessel — Etagenheizungen, Heizungen von Siedlungshäusern, kleine Warmwasserversorgungen — gelten ähnliche feuerungstechnische Grundsätze wie bei den vorerwähnten eisernen Öfen. Hier dürfte gerade für den Schwelkoks ein großer Bedarf bestehen. Hochtemperaturkoks geht infolge seiner Eigenart in diesen Kesseln leicht aus, die bituminösen Brennstoffe wiederum verteeren im Dauerbrand, während der Schwelkoks geeignet ist, diese Bedarfslücke auszufüllen.

Im allgemeinen ist dem Schwelkoks auf dem Gebiete zentraler Wärmeversorgung noch eine zusätzliche Bedeutung beizumessen als Zündmittel zum An- und schnellen Aufheizen für Hochtemperaturkoks sowie in geringen Beimischungen zu diesem in Übergangszeiten und zum Durchhalten des Feuers über Nacht.

Einleitend wurde bereits kurz erwähnt, daß mancherlei Gründe wirtschaftlicher und feuerungstechnischer Art gegen die Verwendung von Schwelkoks in Hochdruckkesselanlagen bestehen. Das große Absatzgebiet häuslicher Feuerstätten läßt die Frage einer derartigen Verwendung zunächst auch nicht dringlich erscheinen, obwohl der Gedanke naheliegt, die bisher hier abgesetzte Steinkohle vor der Verfeuerung der Schwelung zu unterziehen. Neben der stärkeren finanziellen Belastung derartiger Anlagen durch den ungleich höheren Preis des Schwelkoks ist vor allem, rein feuerungstechnisch gesehen, die

Wesensverschiedenheit zwischen diesem und langflammigen Brennstoffen doch so erheblich, daß eine umfassendere Umstellung der gebräuchlichen Kesselfeuerungen ohne weiteres nicht als angebracht anzusehen ist.

Verfasser hatte Gelegenheit, auch auf diesem Gebiet eine Reihe von Versuchen durchzuführen. In einem Falle, bei einem industriellen Großbetrieb in der Ostmark, handelte es sich darum, festzustellen, ob in einem Zonenunterwind-Wanderrostkessel Schwelkoks an Stelle eines Gemisches aus österreichischer Steinkohle und Braunkohle treten könne. Das verfeuerte Brennstoffgemisch hatte einen Heizwert von etwa 4900 kcal bei einem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen von 37 %. Kurz gesagt, war es bei dieser Verbrauchsstelle durch geringe Änderungen des Entzündungsgewölbes — die Änderung des Zündgewölbes ist aus der Tafel 5 ersichtlich — und Verlegung der gesamten Unterwind-Zufuhr in die vordere Zone des Rostes möglich, Schwelkoks mit demselben Erfolg zu verfeuern wie das Kohlengemisch. Auch hier war auffallend die reichliche Entwicklung leuchtender Flammen. Die große Reaktionsfähigkeit des verfeuerten Schwelkoks zeigte sich hier praktisch in der mehrfach aufgetretenen Rückzündung des Koks in den Kohlentrichter. Trotz der vorhandenen Luftkühlung wurden die Roste reichlich heiß, so daß eine zusätzliche Kühlung durch Wassernebelung sich als zweckmäßig erwies.

Aus Tabelle 7 ergibt sich ein feuerungstechnischer Wirkungsgrad von 77,8 % bei Kohlenfeuerung und 76,5 % bei Verwendung von Schwelkoks, d. h. nach Abzug der Rest-

versuchen an Großkesselanlagen

4	5	6	7	8	9
desgl.	desgl.	desgl.	Steibel Ees V SK	desgl.	Blankenburg Normal 3
45,6	45,6	45,6	50	50,25	59,25
Schlesag	Schlesag	Giesche's Erben	OS Zechenkoks	Schlesag	Schlesag
10/25	10/25	20/40	16/24	10/25	10/25
8¼	8¼	8¼	10	11	10
3 769	3 662	3 850	4 100	4 250	4 700
3,8	3,7	2,9	3,4	3,9	5,3
		Wärmebilanz			
18,7	17,8	14,7	16,9	20,2	14,4
1,6	2,0	1,7	1,8	2,2	2,6
1,1	1,4	1,1	0,9	1,8	1,1
78,6	78,8	82,5	80,4	75,8	81,9
100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabelle 7

Versuchsergebnisse

Brennstoff			Versuch I	Versuch II
Dauer des Versuches		Std.	Kohle 19¼	Schwelkoks 13
CO_2	im Mittel	%	8,1	7,9
$CO + H_2$	im Mittel	%	0,19	0,22
Abgastemperatur	im Mittel	°C	250,6	219,7
Raumtemperatur	im Mittel	°C	25	27
Zug	im Mittel	mm WS	5,7	4,1
Die Verluste setzen sich wie folgt zusammen:				
Fühlbare Wärme in den Rauchgasen		%	20,1	19,8
Unverbranntes	in den Rauchgasen	%	1,5	1,0
Unverbranntes	in den Rückständen	%	0,6	2,1
			22,2	23,5

verluste für Strahlung und Leitung in Höhe von etwa 6 bis 7 % in beiden Fällen eine nutzbar gemachte Wärmemenge in Höhe von etwa 70 %. Die Ergebnisse sind also praktisch gleichwertig.

Wenn sich in diesem Falle der Wanderrostkessel mit geringen Änderungen von Kohle auf Schwelkoks umstellen ließ, so liegt das daran, daß hier die Verhältnisse bezüglich der Art des Entzündungsgewölbes sowie der zonenweisen Zuführung von Unterwind besonders günstig lagen. Andere Versuche an Wanderrostkesseln hatten dagegen infolge gänzlich anders gearteter konstruktiver und betrieblicher Bedingungen keinen Erfolg.

Ungleich einfacher liegen die Verhältnisse für die Umstellung von Kohle auf Schwelkoks bei Flammrohrkesseln mit Planrostfeuerung. Vergleichsweise wurde an einem Zweiflammrohrkessel — Planstoker, Heizfläche 128 m² — der gleiche Schwelkoks an Stelle von oberschlesischer Feinkohle verfeuert. Einschließlich Dampfüberhitzung ergab sich übereinstimmend ein Wirkungsgrad von 75 bis 76%. Allerdings wurden die Roste sehr heiß, so daß künstliche Kühlung erforderlich war, auch mußte im Vergleich zur Steinkohle der Schwelkoks häufiger in geringeren Mengen aufgegeben werden. Betrieblich bereitet die Verfeuerung von Schwelkoks an Stelle von Steinkohle auf Planrostfeuerungen auch bei hoher Belastung keine Schwierigkeiten, wenn man für hinreichende Kühlung der Roste Sorge trägt.

Im Hinblick auf das mit der Schwelung verbundene Ziel einer Ausweitung der Gewinnung von Nebenprodukten wie auch schon aus rein wirtschaftlichen Gründen sollte die Menge des restlichen Teergehaltes im Schwelkoks nicht zu hoch sein. Demgemäß darf der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen ein gewisses Maß nicht überschreiten, mitbestimmend wird indessen auch der Verwendungszweck des Koks sein.

Der mit der Reaktionsfähigkeit bzw. dem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen zusammenhängende Fragenkomplex mit allen sich daraus ergebenden Folgerungen kann unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden. Die Fa. Koppers vertritt den Standpunkt, bei der Schwelung quantitativ alle Wertstoffe der Kohle, d. h. Schwelteer, Schwelbenzin und Gas, möglichst restlos zu gewinnen, selbst auf die Gefahr hin, daß hierdurch der Zündpunkt sich erhöht und die Reaktionsfähigkeit des Koks herabgesetzt wird. Ein Koks mit hohem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und damit hoher Reaktionsfähigkeit hat nach Ansicht der Fa. Koppers den Nachteil zu schnellen Abbrandes der Feuerung und Verluste durch Unverbranntes in den Abgasen zur Folge. Die Fa. Koppers steht mit ihrer Ansicht nicht allein, auch von anderer Seite ist, wie schon erwähnt, aus verschiedenen Gründen — bessere Festigkeit des Koks, höhere Gasausbeute usw. — der Vorschlag gemacht worden, durch Übergang in den Bereich der höheren Verkokungstemperaturen dessen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen herabzusetzen.

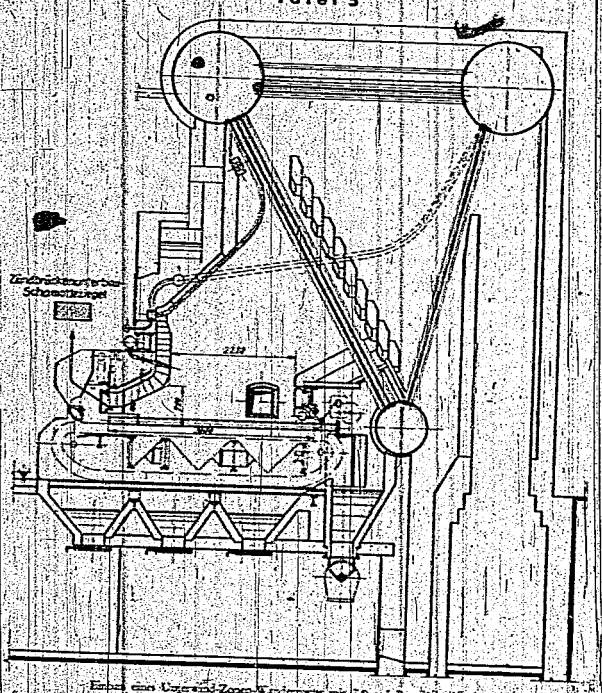
Feuerungstechnisch ist ein reichlicher Gehalt an flüchtigen Bestandteilen für Zwecke häuslicher Wärmeversorgung weniger erwünscht. Ohne Zweitluftzufuhr ist die Verfeuerung gasreicher Brennstoffe immer mit Verlusten wertvoller Bestandteile des Brennstoffes verbunden. Die Schwierigkeiten einer wirklich wirksamen Zweitluftzufuhr, insbesondere bei den begrenzten Raumverhältnissen häuslicher Feuerstätten, sind bekannt, letzten Endes ist und bleibt die Zweitluftzufuhr mehr oder weniger ein technischer Notbehelf bzw. ein Hilfsmittel, das notgedrungen zur Anwendung kommt und auf das man, wenn irgend möglich, verzichtet.

Für den Dauerbrandbetrieb im Haushalt ist ein einheitlich zusammengesetzter Brennstoff das gegebene Heizmaterial, und so erklären sich auch die für Hochtemperaturkoks erreichbaren hohen Wirkungsgrade in Dauerbrandöfen. Dem Vorzuge einheitlicher Zusammensetzung stehen aber seine schwere Entzündlichkeit und die Neigung, gegen Ende der Abbrandperiode leicht zu verlöschen, gegenüber, was frühzeitiges Nachschütten und stärkere Grundglut zum sicheren Zünden des frisch aufgegebenen Koks erforderlich macht.

Nach den schon erwähnten Bestimmungen des Verbandes deutscher Eisenofenfabrikanten gilt ein Ofen als Dauerbrenner, wenn er bei 1/3 der normalen Belastung ohne Nachfüllung und Verwendung von Anfeuerungsmaterial beim Wiederanheizen über die Dauer von 12 Stunden die Glut hält. Von der Seite des Brennstoffes aus gesehen, dürften Wünsche des Verbrauchers weitestgehend erfüllt sein, wenn unter den gleichen Bedingungen ein Dauerbrand von 24 Stunden möglich ist. So betrachtet, wird auch bei einem ge-

ringeren Gehalt des Schwelkoks an flüchtigen Bestandteilen eine für 24 stündigen Betrieb zureichende Reaktionsfähigkeit aufrecht erhalten, wobei allerdings zu berücksichtigen ist, daß die jeweilige Wärmeleitfähigkeit des Schwelkoks von Bedeutung ist.

Tafel 5



Ansicht eines Unterwind-Zonen-Wanderrostes mit 7,9 m² Aschfläche in einem Schwele-Wassergeneratorofen von 245 m³ Herdfläche i. lichten.

Die leichte Entzündlichkeit von Schwelkoks mit hohem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen bedingt im übrigen noch eine intensive Wasserbehandlung. Da der bei niedriger Temperatur hergestellte Schwelkoks im allgemeinen sehr porös ist, nimmt er stark das Löschwasser auf und der Wassergehalt des Koks ist dann also hoch. Der Verbraucher will aber möglichst trockenen Koks haben, und Schwelkoks kann nur gelagert und gebunkert

werden, wenn er nicht zur Selbstentzündung neigt. Diese Gefahr wird um so geringer, je niedriger der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und je dichter die Struktur des Koks ist.

Mancherlei wichtige Gründe sprechen also für stärkere Ausgarung des Schwelkoks und Übergang in den Temperaturbereich der Mitteltemperaturverkokung.

Die hohe Reaktionsfähigkeit des Schwelkoks ließ erwarten, daß er auch für Zwecke der Vergasung geeignet sei. Demgemäß hat Verfasser eine Reihe von Versuchen mit verschiedenen Schwelkoksorten — Briketts und Kleinkoks — auf dem Prüfstand angestellt. Im Laboratorium der Koks-Prüf- und -Beratungsstelle steht hierzu ein auf Sauggas umgestellter Dieselmotor mit Generatorprüfstand zur Verfügung. Die bei diesen Versuchen verwendeten Schwelkoksbriketts hatten ein Gewicht von etwa 12 Gramm; sie waren für diesen Verwendungszweck etwas zu groß; ein kleineres Sortiment von geringer Korngröße hätte zu noch besseren Ergebnissen geführt. Der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen betrug 11,4%. Festzustellen ist grundsätzlich, daß der Schwelkoks rein vergasungsmäßig ein ausgesprochener Generatorbrennstoff ist; für Sauggasbetrieb bzw. als Antriebsquelle für motorische Zwecke ist allerdings die Erfüllung gewisser Voraussetzungen unerläßlich, und zwar muß der Koks staubfrei und teerfrei sein.

Die Hauptmenge des Teeres ist praktisch bei einer Temperatur bis 580° C ausgetrieben. Bei jeder Schweltemperatur stellt sich ein chemisches Gleichgewicht ein, und auch eine beliebige Verlängerung der Garungszeit bei gleichbleibender Temperatur ändert nicht mehr wesentlich die stoffliche Zusammensetzung des Koks. Die nach Einstellung des Gleichgewichts dem Koks noch verbliebenen flüchtigen Bestandteile ergeben aber bei Temperaturerhöhung immer noch eine gewisse Menge Teer. Diese nicht restlose Entteerung im Schwelprozeß kann sich bei der Vergasung unangenehm bemerkbar machen insofern die geringen noch im Schwelkoks vorhandenen Teermengen aus hochsiedenden Kohlenwasserstoffen bestehen; sie können die Gaskühler und Motorenventile versetzen, und da die Restteere sehr harzreich sind, bereitet die Reinigung der Kühler Schwierigkeiten.

Abb. 1. Pechansätze im Rohrstutzen des Mischventils.

Abb. 1 zeigt die auf dem Prüfstand nach 30 Stunden Betriebszeit im Rohrstutzen zum Mischventil bei der Vergasung des vorerwähnten Briketts mit 11,4% flüchtigen Bestandteilen aufgetretenen Pechansätze. Die Ablagerung gerade an dieser Stelle ist eine Folge den starken Wirbelbildung, hervorgerufen durch die Drosselklappe in Verbindung mit der Verengung des Rohrquerschnittes und der Vermehrung der Gasmenge durch die Luftzufuhr.

Weitere Versuche mit stärker ausgegastem Nußkoks — flüchtige Bestandteile etwa 7% — ergaben bereits wesentlich geringere Teerabscheidungen aus dem Gas. Bei welchem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen eine hinreichende Teerfreiheit für Vergasungszwecke dieser Art erreicht ist, hängt von der geforderten Leistung des Generators wie in sehr erheblichem Umfange von der Ausbildung der Vergasungszone selbst ab, so daß sich diesbezügliche Grenzwerte nicht festlegen lassen. Weitergehende Ausgarung, vielleicht bis zu einigen Prozenten an flüchtigen Bestandteilen herab, dürfte jedenfalls die allgemeinere Verwendbarkeit von Schwelkoks für diese Zwecke begünstigen. Neben möglichst hoher Abriebfestigkeit verlangt der Generatorbetrieb Standfestigkeit im Feuer.

Hinsichtlich der Eignung von Schwelkoks für den Wassergasprozeß sei auf die in „Brennstoff- und Wärmewirtschaft" 1939, Heft 1, veröffentlichten Versuche des Verfassers hingewiesen. Besondere Beachtung verdient der Einsatz von Schwelkoks in Fahrzeug-Generatoren. Durch Schaffung eines Schwelbriketts von einheitlichem kleinstückigem

Format und stets gleichbleibender stofflicher Zusammensetzung ließe sich die Einführung der Fahrzeug-Generatoren erheblich fördern.

Einerlei, um welches Absatzgebiet als solches es sich von Fall zu Fall handelt, spielt die Frage der Festigkeit und Lagerbeständigkeit eines Brennstoffes eine große Rolle. Kornzerfall und Grusbildung durch Lagern und Transport können den Gebrauchswert eines Brennstoffes außerordentlich herabsetzen. Die Festigkeit des Schwelkoks ist wechselseitig verfahrensmäßig und durch die Art der Ausgangskohle bedingt. Zur Prüfung der Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung gibt es eine Reihe von Verfahren, die ihrem Wesen nach so weit auseinander gehen, daß von einer Einheitlichkeit ihrer Methodik nicht gesprochen werden kann. Vergleiche haben aber nur dann einen Zweck, wenn sie auf gleicher Basis erfolgen, und es wäre sehr zu begrüßen, wenn man sich auch hinsichtlich der Festigkeitsbestimmungen von Schwelkoks auf ein einheitliches Verfahren einigen könnte.

Verfasser hat die Schwelung der Steinkohle in Brikettform einer eingehenden Untersuchung unterzogen und zur Ermittlung der Festigkeit der geschwelten Briketts zunächst die für Hochtemperaturkoks allgemeiner gebräuchlich gewordene Syndikatstrommel verwendet. Das Prüfverfahren besteht darin, daß in einer Trommel von 1000 mm Durchmesser und 1000 mm Länge, in welcher in gleichen Abständen Schlageisen von 100 mm Breite angebracht sind, 50 kg Grobkoks 4 Minuten lang bei 25 Umdrehungen in der Minute getrommelt werden. Der Koks wird mit einer Gabel von 50 mm Zinkenabstand ausgegabelt. Die Absiebung des getrommelten Koks erfolgt mittels Sieben von runder Lochung mit einem Durchmesser von 100, 80, 60, 40, 20 und 10 mm. Der Anteil über 40 mm Korn ergibt die Trommelfestigkeit, derjenige unter 10 mm die Abriebzahl in Prozent ausgedrückt.

Ohne hier schon auf die Einzelheiten über die Herstellung und das angewendete Schwelverfahren einzugehen, sei vorerst über die Ergebnisse dieser Trommelversuche berichtet. Wenngleich auch nicht dem Hochtemperaturkoks gegenüber ähnliche Festigkeitswerte zu erwarten waren, so fiel doch der ungewöhnlich hohe Anteil an Abrieb von 0 bis 5 mm Korngröße auf, abgesehen davon, daß beim Öffnen der Trommel Wolken von Staub auftraten. Bei Schwelbriketts aus schwach backender Kohle erreichten die Abriebwerte über 50 % und selbst aus gut backender Kohle wiesen die Briketts bei Verschwelung in Schmalkammern und 620° C Schweltemperatur noch Abriebmengen von 19 % auf. Andererseits lehrten aber diese Trommelversuche auch schon, daß der Kornzerfall der Briketts in Stücken bis zu 5 mm + naturgemäß auch nicht ohne Abhängigkeit von Schwelverfahren und Schweltemperatur — nur gering war bzw. das Korn selbst erhalten blieb. Das Prüfverfahren in der Syndikatstrommel ist also an sich festeren Hochtemperaturkoks und dessen ganz anders geartete Struktur abgestellt, während man den Schwelkoks seiner Wesensart nach eher mit Steinkohlen, Steinkohlenbriketts und Braunkohlenbriketts vergleichen kann. Letztere Brennstoffe werden unter schonenderer Behandlung, in einer kleineren Trommel geprüft, und es erschien daher gegeben, die Festigkeit der aus den einzelnen Kohlensorten hergestellten und nach verschiedenen Verfahren geschwelten Briketts in einer derartigen Trommel zu bestimmen. Diese Trommel — Lieferant Maschinenfabrik Heinrich Schirm, Leipzig W 33 — hat einen Durchmesser von 445 mm und eine Länge von 590 mm, innen gemessen; im Innern der Trommel ist radial ein Blech von 180 mm Länge angeordnet. 10 kg Brennstoff werden in lufttrockenem Zustande bei 30 Umdrehungen der Trommel in der Minute 3 Minuten lang gerollt. Die Siebsätze, Rundlochsiebe, folgen sich in Abständen von 10 mm Durchmesser. Mit Rücksicht auf den vorerwähnten Anfall an feinkörnigem Grus und Staub ist die Siebanalyse bis auf 0,2 mm Korn ausgedehnt. Um das Bild zu vervollständigen, ist bei den vorliegenden Untersuchungen auch eine Anzahl anderer Schwelkokse sowie Hochtemperaturkoks vergleichsweise getrommelt worden. Die Trommelergebnisse sind auf den Tabellen 8—16 angegeben. Auffallend ist die gute Formbeständigkeit der Schwelkoksbriketts gegenüber allen anderen Schwelkokssorten. Selbst ein aus schwach backender Kohle nach monatelangem Lagern unter alleiniger Verwendung von Sulfitlauge als Bindemittel — alle anderen Briketts waren neben Sulfitlauge unter Zusatz von Pech und Ton gebunden — hergestelltes Brikett hielt sich im Rahmen der allgemeinen Trommelergebnisse. Dem Bri-

Tabelle 4

Trommel-Versuche

— angewendete Kokumenge: je 10 kg

Schwelverfahren:	Lurgi, Frankfurt			Brennstoff-Technik			Brennstoff-Technik			Brennstoff-Technik			Brennstoff-Technik		
Standort:	Versuchsanl. Heddernheim			Versuchsanlage Essen			Versuchsanlage Essen			Versuchsanlage Gaswerk Neukölln			Versuchsanlage Gaswerk Neukölln		
Ausgangkohle:	Feinkohle Fürst Leopold			Graf Bismarck Feinkohle			Graf Bismarck Feinkohle			Feinkohle Sosnitza			Feinkohle Sosnitza		
Kokisierung:	Eiform, etwa 12 g			Eiform, etwa 12 g			Eiform, etwa 12 g			Stückkoks			Stückkoks		
Körnung in mm — über	g	%	%	g	%	%	g	%	%	g	%	%	g	%	%
90										110	1,10		501	5,01	
60										1028	10,28		3291	32,91	
40										3806	38,06		2140	21,40	
30										470	4,70		305	3,05	
20	8990	89,90		9070	90,70		9055	90,55		180	1,80		177	1,77	
10	7	0,07								100	1,00		161	1,61	
5	2	0,02	89,99			90,70			90,55	130	1,30	91,24	122	1,22	91,03
3,0	2	0,02		1	0,01		2	0,02		36	0,36		13	0,13	
2,5	3	0,03		1	0,01		7	0,03		32	0,32		37	0,37	
2,0	1	0,01		7	0,03		1	0,01		37	0,37		53	0,53	
1,5	42	0,42		7	0,03		7	0,07		58	0,58		76	0,76	
1,0	128	1,28		7	0,07		7	0,07		76	0,76		92	0,92	
0,5	273	2,73		36	0,36		26	0,26		157	1,57		157	1,57	
0,3	111	1,41		51	0,51		45	0,45		106	1,06		136	1,36	
0,2	131	1,31		70	0,70		77	0,77		150	1,50		117	1,17	
über 0,2	231	2,33	9,69	161	1,61	5,33	158	1,58	5,26	139	1,39	7,91	170	1,70	8,81
verstaubt			0,41			0,51			0,17			0,85			0,16
			100,00			100,00			100,00			100,00			100,00

Bemerkung: Wiederholungsversuch

Bemerkung: Wiederholungsversuch

Tabelle 9

Trommel-Versuche

angewendete Kokskohlenmenge je 10 kg

Schwelverfahren:	Brennstoff-Technik			Brennstoff-Technik						Kollergas (Spülgas)			Hochtemperatur-verkokung			Hochtemperatur-verkokung		
Standort:	Versuchsanlage Gaswerk Neukölln			Versuchsanlage Gaswerk Neukölln			Mitteldeutsches Braunkohlenrevier			Versuchsanlage Spandau			Gaswerk Charlottenburg			Niederschl. Kohle		
Ausgangskohle:	Feinkohle Königin-Luise			Feinkohle Königin-Luise			Brikett 40/60			Königin-Luise mit 5% Melasse			40/60			40/60		
Kokskörnung:	Kiesenform, etwa 25 g			Kiesenform, etwa 25 g						Kiesenform, etwa 25 g								
Klassierung in mm über	g	%	%	g	%	%	g	%	%	g	%	%	g	%	%	g	%	%
80																		
60																		
40																		
30	0,312	03,12		0,316	03,16		5,478	54,78					8,705	87,05		0,440	04,40	
20	78	0,78		90	0,90		2,320	23,20					802	8,02		375	3,75	
10	31	0,31		36	0,36		1,455	14,55		1,160	15,64		127	1,27				
5	13	0,13	04,34	10	0,10	01,62	287	2,87	90,21			95,64	97	0,97	97,71	11	0,11	98,35
3,0	8	0,08		6	0,06		10	0,10		3	0,07		13	0,13		6	0,05	
2,5	0	0,00		5	0,05		14	0,14		1	0,02		8	0,08		4	0,04	
2,0	8	0,08		0	0,00		15	0,15		2	0,05		8	0,08		3	0,03	
1,5	21	0,21		17	0,17		17	0,17		3	0,11		12	0,12		3	0,03	
1,0	26	0,26		21	0,21		22	0,22		5	0,11		10	0,10		2	0,02	
0,5	92	0,92		86	0,86		41	0,41		18	0,41		21	0,21		8	0,08	
0,2	00	0,00		00	0,00		57	0,57		28	0,64		20	0,20		17	0,17	
0,2 unter	91	0,91		81	0,81		30	0,30		28	0,64		30	0,30		24	0,24	
	193	1,93	5,17	105	1,05	3,16	122	1,22	3,17	81	1,91	3,96	60	0,60	2,03	73	0,73	1,30
verstaubt		0,19			0,32			0,62			0,40			0,26			0,20	
	100,00			100,00			100,00			100,00			100,00			100,00		

Bemerkungen: naß gesiebt, Aumelzeit 3 Std., Wiederholungsversuch

Zur Prüfung stand nur eine Menge von 4356 g zur Verfügung

Tabelle 10

Trommel-Versuche

angewendete Koksmenge: je 10 kg

Schwelverfahren:	Koppers			Koppers			Koppers			Koppers			Koppers			Koppers		
Standort:	Oheimgrube Kattowitz			Oheimgrube Kattowitz			Oheimgrube Kattowitz			Oheimgrube Kattowitz			Oheimgrube Kattowitz			Oheimgrube Kattowitz		
Ausgangskohle:	Karsten-Zentrum Nußkohle			Karsten-Zentrum Nußkohle			König-Luise Sosnitza Hedw.-Wunsch, Castelengo			König-Luise Sosnitza Hedw.-Wunsch, Castelengo			König-Luise Sosnitza Hedw.-Wunsch, Castelengo			König-Luise Sosnitza Hedw.-Wunsch, Castelengo		
Kokskörnung:	30/40			30/40			Eiform, etwa 35 g			Eiform, etwa 35 g			Eiform, etwa 35 g			Eiform, etwa 35 g		
Körnung in mm über	g	%	%	g	%	%	g	%	%	g	%	%	g	%	%	g	%	%
90	—	—		—	—		—	—		—	—		—	—		—	—	
60	—	—		—	—		—	—		—	—		—	—		—	—	
40	—	—		3 838	38,38		—	—		—	—		—	—		—	—	
30	7 522	75,22		4 802	48,02		9 095	90,95		9 518	95,18		9 405	94,05		9 007	90,07	
20	1 791	17,91		739	7,39		190	1,90		55	0,55		73	0,73		81	0,81	
10	270	2,70		212	2,12		38	0,38		13	0,13		19	0,19		26	0,26	
5	88	0,88	96,71	94	0,94	96,85	14	0,14	93,37	3	0,03	95,89	7	0,07	95,04	14	0,14	92,18
3,0	22	0,22		23	0,23		13	0,13		5	0,05		5	0,05		12	0,12	
2,5	17	0,17		17	0,17		12	0,12		4	0,04		11	0,11		7	0,07	
2,0	17	0,17		18	0,18		20	0,20		8	0,08		16	0,16		16	0,16	
1,5	23	0,23		19	0,19		33	0,33		13	0,13		26	0,26		31	0,31	
1,0	18	0,18		22	0,22		58	0,58		22	0,22		42	0,42		56	0,56	
0,5	42	0,42		38	0,38		160	1,60		75	0,75		100	1,00		157	1,57	
0,3	36	0,36		27	0,27		126	1,26		71	0,71		76	0,76		142	1,42	
0,2	30	0,30		28	0,28		62	0,62		67	0,67		61	0,61		122	1,22	
unter 0,2	104	1,04	3,00	83	0,83	2,75	151	1,51	6,35	114	1,14	3,70	122	1,22	4,59	167	1,67	7,13
verstaubt			0,29			0,40			0,28			0,32			0,37			0,69
			100,00			100,00			100,00			100,00			100,00			100,00
Bemerkung:													helle Briketts			dunkle Briketts		
Flüchtige Bestandteile ermittelt	4,27 %			3,23 %			3,93 %			4,21 %			3,12 %			7,33 %		

Tabelle 11

Trommel-Versuche

angewendete Kohlenmenge je 10 kg

Schwelverfahren:	Brennstoff-Technik			Brennstoff-Technik			Brennstoff-Technik			Brennstoff-Technik			Brennstoff-Technik		
Standort:	Versuchsanlage Gaswerk Neukölln			Versuchsanlage Gaswerk Neukölln			Versuchsanlage Gaswerk Neukölln			Versuchsanlage Gaswerk Neukölln			Versuchsanlage Gaswerk Neukölln		
Ausgangskohle:	Ludwig Ulrich			Dr.-Ing. Wolfgang Hebau, Julius Heinrich Robert			Dr.-Ing. Wolfgang Hebau, Julius Heinrich Robert			Dr.-Ing. Wolfgang Hebau, Julius Heinrich Robert			Dr.-Ing. Wolfgang Hebau, Julius Heinrich Robert		
Kohlebehandlung:	Rüttelmaschine 45 s			Brech III			Brech III			Brech II			Brech II		
Körnung in mm über	B	%	%	B	%	%	B	%	%	B	%	%	B	%	%
60															
50															
40	1 183	11,83													
30	2 365	23,65		0 921	09,21		7 167	71,67		8 441	87,41		8 380	83,80	
20	2 212	22,12		1 700	17,00		694	6,94		408	4,08		208	2,08	
10	252	2,52		217	2,17		226	2,26		130	1,30		81	0,81	
0	100	0,01	10,00	100	1,00	40,08	101	1,01	89,81	150	1,50		120	1,20	
										113	1,13	00,02	101	1,01	00,10
0,0	11	0,11		41	0,41		30	0,30		30	0,30		51	0,51	
2,5	14	0,14		40	0,40		42	0,42		30	0,30		53	0,53	
5,0	20	0,20		63	0,63		50	0,50		67	0,67		60	0,60	
7,5	30	0,30		73	0,73		65	0,65		81	0,81		83	0,83	
10,0	70	0,70		94	0,94		62	0,62		80	0,80		101	1,01	
12,5	140	1,40		212	2,12		318	3,18		193	1,93		202	2,02	
15,0	180	1,80		152	1,52		151	1,51		142	1,42		157	1,57	
17,5	148	1,48		126	1,26		126	1,26		129	1,29		100	1,00	
20,0	201	2,01	9,10	105	1,05	9,60	105	1,05	9,08	108	1,08	9,71	165	1,65	9,55
unter 20,0			0,10			0,21			0,20			0,27			0,26
			100,00			100,00			100,00			100,00			100,00

Bemerkung: Probe trocken gesiebt — Ausdrehzeit 1 Stunden — Wiederholungsversuch — Wiederholungsversuch

Tabelle 12

Trommel-Versuche

angewandte Koksmenge: je 10 kg

Schwelverfahren:	Brennstoff-Technik Versuchsanlage		Brennstoff-Technik Versuchsanlage		Brennstoff-Technik Versuchsanlage		Brennstoff-Technik Versuchsanlage		Brennstoff-Technik Versuchsanlage		Brennstoff-Technik Versuchsanlage	
Standort:	Gaswerk Neukölln		Gaswerk Neukölln		Gaswerk Neukölln		Gaswerk Neukölln		Gaswerk Neukölln		Gaswerk Neukölln	
Ausgangskohle:	Feinkohle Königin-Luise		Feinkohle Königin-Luise		Feinkohle Königin-Luise		Feinkohle Königin-Luise		Feinkohle Königin-Luise		Feinkohle Königin-Luise	
Kokskörnung:	Kissenform, etwa 25 g		Kissenform, etwa 25 g		Kissenform, etwa 25 g		Kissenform, etwa 25 g		Kissenform, etwa 25 g		Kissenform, etwa 25 g	
Körnung in mm: über	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
100												
60												
40												
30	0 467	94,67	0 476	94,76	97 87	92,87	9 228	92,28	9 367	93,67	9 411	91,11
20			10	0,10	101	1,01	91	0,91	40	0,40		
10	1	0,01	2	0,02	21	0,21	31	0,31	28	0,28	7	0,07
5	1	0,01	2	0,02	11	0,11	20	0,20	6	0,06	7	0,07
	469	94,69	490	94,90	1130	91,22	9370	93,70	9441	94,41	9425	91,25
3,0	1	0,01	1	0,01	1	0,01	7	0,07	4	0,01	4	0,04
2,5	1	0,01	1	0,01	5	0,05	8	0,08	5	0,05	13	0,13
2,0	1	0,01	2	0,02	7	0,07	11	0,11	9	0,09	8	0,08
1,5	8	0,08	10	0,10	15	0,15	25	0,25	16	0,16	17	0,17
1,0	20	0,20	23	0,23	28	0,28	41	0,41	21	0,21	22	0,22
0,5	71	0,71	73	0,73	101	1,01	111	1,11	90	0,90	87	0,87
0,3	98	0,98	92	0,92	106	1,06	110	1,10	100	1,00	101	1,01
0,2	83	0,83	97	0,97	101	1,01	88	0,88	91	0,94	103	1,08
unter 0,2	190	1,90	192	1,92	167	1,67	175	1,75	177	1,77	169	1,69
	483	4,83	495	4,91	535	5,38	585	5,91	510	5,10	524	5,32
verstaubt		0,49		0,19		0,40		0,39		0,40		0,43
		100,00		100,00		100,00		100,00		100,00		100,00

Bemerkungen: trocken gekühlt, Ausstehzeit 2½ Std. Wiederholungsversuch

Bemerkungen: naß gekühlt, Ausstehzeit 2½ Std. Wiederholungsversuch

Bemerkungen: trocken gekühlt, Ausstehzeit 3 Std. Wiederholungsversuch

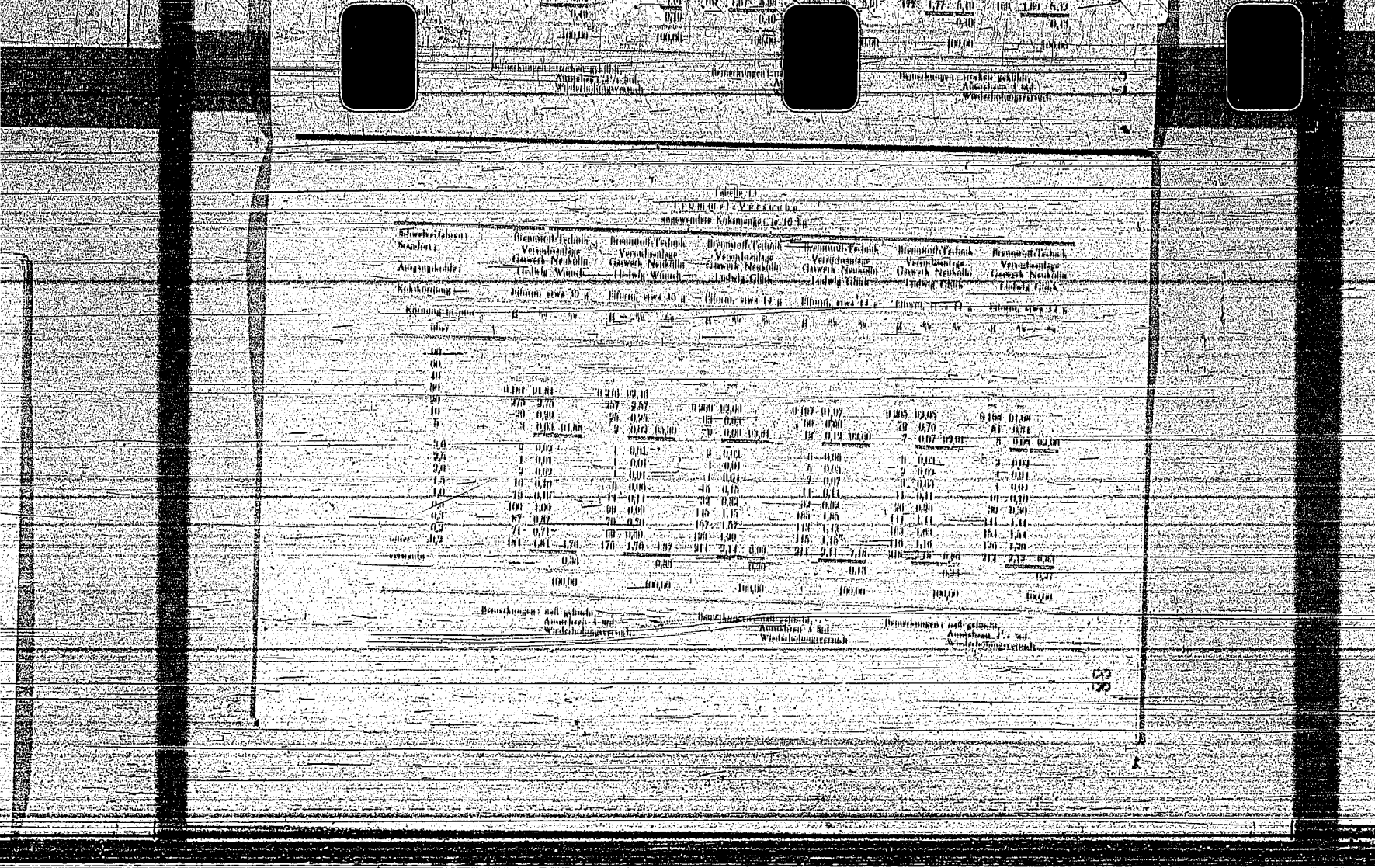


Tabelle 14

Trommel-Versuche

angewendete Koksmenge je 10 kg

Schwelverfahren:	Köllergas (Spülgas)	Brennstoff-Technik	Brennstoff-Technik	Brennstoff-Technik	Lurgi, Frankfurt
Standort:	Beuthen, Giesche's Erben	Versuchsanlage Essen	Versuchsanlage Essen	Versuchsanlage Essen	Versuchsanlage Heddernheim
Ausgangkohle:	Nußkohle Giesche'r Erben	Feinkohle 100% Walsum	Feinkohle Fürst Leopold	Feink. 40% Consol + 60% Heinitz	Feinkohle Bressert
Kokskörnung:	40/60	Eiform, etwa 12 g	Eiform, etwa 12 g	Eiform, etwa 12 g	Eiform, etwa 12 g

Körnung in mm über	g	%	%	g	%	%	g	%	%	g	%	%	g	%	%
90	—			—			—			—			—		
60	—			—			—			—			—		
40	5 751	57,51		—			—			—			—		
30	3 215	32,45		—			—			—			—		
20	516	5,16		9 500	95,00		9 539	95,39		9 365	93,65		9 015	90,15	
10	157	1,57		6	0,06		16	0,16		3	0,03		7	0,07	
5	61	0,61	97,33	—	—	95,06	5	0,05	95,60	2	0,02	93,70	3	0,03	90,25
3,0	18	0,18		3	0,03		3	0,03		1	0,01		4	0,03	
2,5	14	0,14		3	0,03		3	0,03		2	0,02		3	0,03	
2,0	16	0,16		4	0,04		3	0,03		3	0,03		5	0,05	
1,5	19	0,19		5	0,05		5	0,05		7	0,07		25	0,25	
1,0	23	0,23		10	0,10		7	0,07		22	0,22		100	1,00	
0,5	43	0,43		61	0,61		45	0,45		118	1,18		285	2,85	
0,3	28	0,28		92	0,92		50	0,50		122	1,22		178	1,78	
0,2	21	0,21		120	1,20		70	0,70		103	1,03		121	1,21	
unter 0,2	67	0,67	2,49	185	1,85	4,83	183	1,83	3,69	241	2,41	6,19	235	2,35	9,58
verstaubt			0,18			0,11			0,71			0,11			0,17
			100,00			100,00			100,00			100,00			100,00

Tabelle 15

Trommel-Versuche

angewendete Koksmenge: je 10 kg

Schwelverfahren:	Brennstoff-Technik		Brennstoff-Technik		Brennstoff-Technik		Brennstoff-Technik		Brennstoff-Technik		Brennstoff-Technik	
Standort:	Versuchsanlage Gaswerk Neukölln		Versuchsanlage Gaswerk Neukölln		Versuchsanlage Gaswerk Neukölln		Versuchsanlage Gaswerk Neukölln		Versuchsanlage Gaswerk Neukölln		Versuchsanlage Gaswerk Neukölln	
Ausgangskohle:	Königin-Luise		Königin-Luise		Königin-Luise		Königin-Luise		Königin-Luise		Königin-Luise	
Kokskörnung:	Kisenform, etwa 25 g		Kisenform, etwa 25 g		Eiform, etwa 30 g		Eiform, etwa 30 g		Eiform, etwa 45 g		Eiform, etwa 45 g	
Körnung in mm	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%	g	%
über												
90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	9312	93,12	9310	93,16	9539	95,39	9551	95,51	8876	88,76	8745	87,45
20	78	0,78	90	0,90	39	0,39	31	0,31	609	6,09	721	7,21
10	31	0,31	30	0,30	1	0,01	1	0,01	98	0,98	106	1,06
5	13	0,13	91,91	10	0,10	91,52	7	0,07	95,80	2	0,02	95,01	13	0,13	96,10	2	0,02	90,29
3,0	8	0,08		0	0,00		4	0,01		4	0,01		1	0,01		5	0,05	
2,5	0	0,00		5	0,05		1	0,01		2	0,02		1	0,01		1	0,01	
2,0	8	0,08		9	0,09		5	0,05		2	0,02		1	0,01		1	0,01	
1,5	21	0,21		17	0,17		6	0,06		6	0,06		7	0,07		7	0,07	
1,0	26	0,26		21	0,21		10	0,10		10	0,10		8	0,08		8	0,08	
0,5	92	0,92		86	0,86		51	0,51		51	0,51		49	0,49		56	0,56	
0,3	99	0,99		90	0,90		63	0,63		58	0,58		63	0,63		62	0,62	
0,2	91	0,91		81	0,81		59	0,59		66	0,66		64	0,64		71	0,71	
unter 0,2	193	1,93	3,47	195	1,95	5,16	170	1,70	3,69	175	1,75	3,74	168	1,68	3,62	135	1,35	3,46
verstaubt			0,19			0,32			0,45			0,35			0,19			0,25
			100,00			100,00			100,00			100,00			100,00			100,00

Bemerkungen: naß gelöscht, Ausstehzeit 3 Std. Wiederholungsversuch

Bemerkungen: naß gelöscht, Ausstehzeit 3 Std. Wiederholungsversuch

Bemerkungen: naß gelöscht, Ausstehzeit 3 Std. Wiederholungsversuch

Tabelle 16

Trommel-Versuche

angewendete Koksmenge: je 10 kg

Schwelverfahren:	Brennstoff-Technik			Brennstoff-Technik			Lurgi, Frankfurt			Lurgi, Frankfurt			O.K.V. Heizflächenverf.		
Standort:	Versuchsanlage Essen			Versuchsanlage Essen			Versuchsanlage Heddernheim			Schwelanlage Schlesag, Beuthen					
Ausgangskohle:	Feinkohle Brassert			Feinkohle Königin-Luise			Feinkohle Fürst Leopold			Nußkohle Karsten-Zentrum			Feinkohle		
Kokskörnung:	Eiform, etwa 12 g			Eiform, etwa 12 g			Eiform, etwa 12 g			10/20			Brech I		
Körnung in mm über	g	%	%	g	%	%	g	%	%	g	%	%	g	%	%
90															
60													3 910	59,10	
40													2 735	27,15	
30							8 430	84,30					655	6,55	
20	9 510	95,10		9 620	96,20		363	13,63		3 899	38,99		151	1,51	
10	4	0,04		6	0,06		64	0,64		5 721	57,21		90	0,90	
5	2	0,02	95,16	1	0,01	96,27	18	0,18	83,75	133	1,33	97,53	68	0,68	95,89
3,0	3	0,03		1	0,01		6	0,06		10	0,10		18	0,18	
2,5	5	0,05		0	0,00		5	0,05		7	0,07		18	0,18	
2,0	5	0,05		1	0,01		16	0,16		9	0,09		19	0,19	
1,5	2	0,02		2	0,02		73	0,73		10	0,10		25	0,25	
1,0	7	0,07		5	0,05		162	1,62		11	0,11		32	0,32	
0,5	64	0,61		25	0,25		238	2,38		17	0,17		53	0,53	
0,3	69	0,69		37	0,37		190	1,90		19	0,19		42	0,42	
0,2	71	0,71		41	0,41		137	1,37		21	0,21		41	0,41	
unter 0,2	181	1,81	4,07	176	1,76	2,91	210	2,10	10,37	110	1,10	2,14	119	1,19	3,70
verstaubt			0,77			0,82			0,88			0,33			0,41
			100,00			100,00			100,00			100,00			100,00

kett gegenüber fallen bei der Verschwelung von Nüssen und Feinkohle wechselnde Mengen von unterschiedlicher Körnung an, wobei zu beachten ist, daß die kleineren Sortimente nur geringere Erlöse bringen, während für das Brikett eine Preisdifferenzierung in Fortfall kommt.

In jeder Beziehung unerwünscht ist der Anfall an Grus und Staub. Grus und Staub sind für den Verbraucher meist unverwendbar und mindern den Gebrauchswert, der Anfall an diesem ist charakteristisch für die Widerstandsfähigkeit des Brennstoffes gegenüber mechanischer Beanspruchung. Unter diesem Gesichtspunkt betrachtet, dürfte ein Schwelkoks mit geringer Grusbildung zu bevorzugen sein, und das um so mehr, je geringer der Gehalt desselben an feinstem Korn, d. h. an Staub ist.

Was nun die Einzelheiten der Herstellung der in den Tabellen aufgeführten Briketts anbetrifft, so ist hierzu eine größere Anzahl von Gas-, Gasflamm-, Mager- und Eßkohlen aus dem Ruhrgebiet und Oberschlesien herangezogen worden, und zwar aus dem Ruhrgebiet Fürst Leopold, Walsum, Lohberg, Graf Bismarck, Konsolidation, Alstaden, Brassert, aus dem oberschlesischen Revier Heinitz und Königin Luise Ostfeld. Für die Brikettierung stand die Versuchsanstalt für Kohleaufbereitung der Firma Klöckner Humboldt-Deutz A.-G., Köln-Kalk, zur Verfügung. Die dort hergestellten Briketts sind in den Versuchsanlagen der Firmen

Ofenbau-Gesellschaft Berg & Co., Köln-Kalk,
Lurgi, Gesellschaft für Wärmetechnik m. b. H., Frankfurt M. — Heddernheim,
Brennstoff-Technik G. m. b. H., Essen,

verschwelt worden. Diesen eigentlichen Hauptversuchen gingen Vorversuche zur Feststellung der günstigsten Mischungsverhältnisse der Kohle und Bindemittel voraus. Die Grundlage für die Brikettierungsversuche bildeten die in längerer Zusammenarbeit der Firma Klöckner Humboldt-Deutz A.-G. mit Herrn Ludwig Weber, Berlin, bei Verwendung von Sulfitlauge, Pech und Ton als Bindemittel gesammelten Erfahrungen. Die Schwelung der Versuchsbriketts erfolgte in einem kleinen Versuchs-Muffelofen mit Eiseneinsatz von den Abmessungen 350 × 165 × 130 mm mit einer Scheidewand in der Mitte, Schwelltemperatur 600° C.

Die größte Festigkeit ergaben im Rahmen der Versuche Bindemittelzusätze in Höhe von 3 % Sulfitlauge und 1 bis 1½ % Pech. Zwar ist auch gemäß den früheren günstigen Erfahrungen die Beimischung von 1 % Ton beibehalten worden, Verfasser stand aber auf dem Standpunkt, daß der Tonzusatz nicht erforderlich ist, im Gegenteil stört er als inerter Stoff die Backfähigkeit und erhöht er den Aschengehalt um etwa 1,4 % im Brikett gegenüber dem der Ausgangskohle. Allerdings ist es richtig, daß der Zusatz von Ton den Aschenschmelzpunkt heraufsetzt; dem steht entgegen die Erfahrung, daß auch Briketts ohne Tonzusatz nicht schlacken bzw. nicht zu schlacken brauchen, wenn die Feuerung richtig bedient wird, und bei der Vergasung die Gefahr des Zementierens der Asche besteht. Von allergrößter Bedeutung ist die innige Mischung von Kohle und Bindemitteln sowie der Grad der Ausmahlung der Kohle entsprechend ihrem Backvermögen. Die gleichmäßige Verteilung der Bindemittel wird um so schwieriger, je geringer die Zusätze sind, was insbesondere für das Pech gilt, das im feinsten Korn leicht zusammenklebt. Ausgesprochen backende Kohlen sind für die Brikettierung weniger geeignet, die Briketts kleben zu Trauben aneinander oder fließen auch zu kompakten Stücken zusammen. Auch Briketts aus Kohlen mittlerer Backfähigkeit kleben u. U. zu Trauben aneinander. Insbesondere lehrten die Versuche, daß bei der Brikettierung von Kohlen mittlerer Backfähigkeit die Festigkeit der geschwelten Briketts mit steigendem Zusatz an Pech über 1½ bis 2 % hinaus stetig abnimmt und eine Steigerung desselben schädlich ist. Als geeignetes Mittel für die Brikettierung erwies sich die Magerung backender Kohle bzw. die Beimischung von backender Kohle als Aufwertungskomponente zu solchen von geringerem Backvermögen.

Da Pech als Bindemittel nicht zur Verfügung steht, wurde zwischenzeitlich von Dr. H. Bähr ein Verfahren entwickelt, bei dem Hydrierrückstände oder Hydrierprodukte mit dem Ziele erzeugt werden, daß dieselben als Bindemittel ähnliche Klebefähigkeit wie Pech zeigen. Diese Brikettiermittel können in zweifacher Weise hergestellt werden, und

zwar einmal in Verbindung mit der Rückstandsaufarbeitung einer Hydrierung, wobei die anfallenden Mengen sich nach der Erzeugung der Hydrierung und damit nach der Menge der erzeugten Öle bzw. Benzine richten, und im anderen Falle kann die Hydrierung der Kohle vollkommen im Sinne der Erzeugung von Brikettiermitteln durchgeführt werden, wobei auf eine Erzeugung von Öl oder Benzin ganz oder teilweise verzichtet werden kann. Von diesen Bindemitteln werden für die Brikettierung etwa die gleichen Mengen wie Pech benötigt.

Die Formbeständigkeit der Schwelbriketts liegt in der homogenen Zusammensetzung begründet. Zur Erzeugung bestmöglichen Brikettkokses wird man Kohlen auswählen, die möglichst bei der Verschwelung ein Schmelzvermögen aufweisen. Dieser Schmelzfluß wird erreicht bei einer Verarbeitung von Kohle mit einer Backzahl von etwa 10 bis 12 nach der oberschlesischen Methode.

Es ist naturbedingt, daß Koks auf Gasflamm-Nußkohle in der Körnung ungleichmäßig anfällt, weil diese Kohlen aus einer Mischung von Matt- und Glanzkohlen bestehen. Die Mattkohle schmilzt nicht, während die Glanzkohlen je nach ihrem Bitumengehalt mehr oder weniger schmelzen. Da Glanzkohle und Mattkohle miteinander verwachsen sind (Streifenkohle), lösen sich bei der Verkokung und nicht genügendem Gehalt der Glanzkohle an Schmelzbitumen die Glanzkohlen- und Mattkohlen-Partien voneinander ab und dann zerfällt das Nußkohlenstück in Einzelstücke, von denen dann der Koks aus der Glanzkohle weniger abriebfest ist als der Koks aus der Mattkohle.

Abb. 2.
Versuchsschwelretorte von Berg & Co.

Versuchsschwelofen der Firma Berg & Co., Köln-Kalk:

Der Ofen besteht fast ausschließlich aus keramischem Baustoff, in den das in Abb. 2 abgebildete Retortenbündel eingesetzt wird. Nach Abschwelung der Kohle wird die Retorte aus dem Ofen herausgezogen und auf dem Abkühlfeld abgestellt. Die Abkühlung des Schwelkoks erfolgt also trocken. Die Schwelteere werden in einer Schwelvorlage abgeschieden.

Die hier durchgeführten Versuche dienten in erster Linie der Kontrolle über die bei der Firma Klöckner-Humboldt-Deutz im Muffelofen geschwelten Briketts, so daß nunmehr mit den eigentlichen Großversuchen begonnen werden konnte.

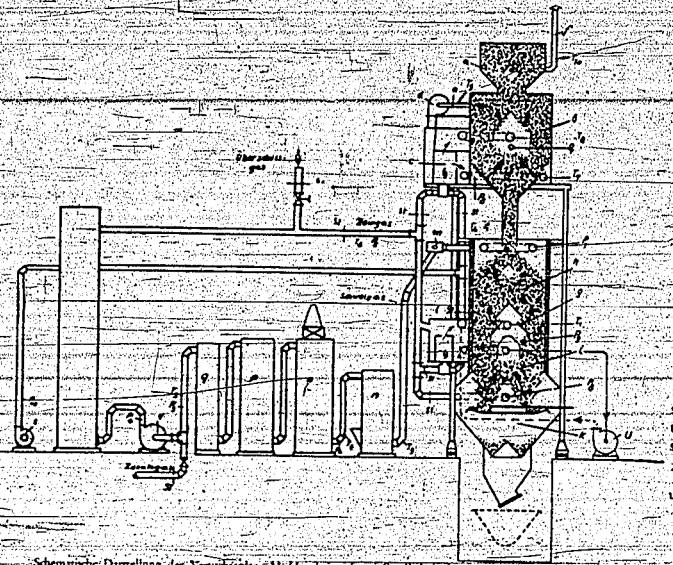
Lurgi-Versuchsschwelanlage Frankfurt/M.-Heddernheim:

Das Schema der Versuchsanlage ist in der Tafel 6, in die auch die Meßstellen für Temperatur, Drücke und Gasmengen eingetragen sind, dargestellt. Während der Versuche wurden alle für die Betriebskontrolle erforderlichen Messungen stündlich vorgenommen. Die in den Tabellen 17 bis 20 aufgeführten Zahlenwerte stellten täglich Mittelwerte dar. Nach Erreichung des Beharrungszustandes wurden täglich Durchsatz- und Ausbeutebestimmungen durchgeführt.

Zur Herstellung der Briketts waren verwendet Steinkohlen von den Gruben Leopold und Brassert unter Zusatz von 5% Sulfitlauge, 1% Pech und 1% Ton. Die Briketts waren in Papiersäcken und Kisten verpackt und mittels Eisenbahn nach Heddernheim transportiert. Die Rohbriketts zeigten bei ihrer Ankunft gute Festigkeit und nur geringen Abrieb.

Im ganzen wurden drei Versuchsabschlüsse gemacht, die jeweils so lange dauerten, wie Kohle in der Schwelzone vorhanden war und gleichzeitig von oben aufgegeben wurde. Da die Ergebnisse bei der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit leicht hätten ungenau werden können, wurden die Durchsatz- und Ausbeutemessungen mit den aus der Gesamtmenge von Kohle, Teer und Öl errechneten Werten verglichen; sie zeigten gute Übereinstimmung.

Tafel 6



a) Rohkohlenbunker
b) Vortrockner
c) Verbrennungsofen
d) Gebläse
e) Kreislaufleitung
f) Abschwaden
g) Schweler
h) Schwelzone
i) Kühlzone
k) Koksaustragung
l) Verbrennungsofen
m) Staubabscheider
n) Vorkühler
o) elektr. Teerabscheider
p) Kühler
q) Kühler
r) Gasgebläse
s) Benzinwascher
t) Luftgebläse
st) Stauscheiben zur Luft- und Gasmengen-Messung
u) Kühlgasgebläse

Schematische Darstellung der Versuchsanlage Heddernheim, Lurgi-Gesellschaft für Wärmetechnik m. b. H.

Tabelle 17

Betriebsdaten des Ofens

Kohle Bezeichnung	Leopold klein	Leopold groß	Brauer
Versuchsreihe	1300—600	2100—800	—
Stunden	17	11	10
Temperaturen °C			
Schwelermischgas	250	263	250
Schweleraustritt	203	202	200
Vorkühlereintritt	214	214	210
Koksaustritt	143	125	121
Heizgas	32	31	32
Trockner, Unterstufe	122	126	127
Trockner Oberstufe	124	131	131
Schwelgaskreislauf	117	119	107
Kühlgaskreislauf	240	280	298
Statische Drücke mm WS			
Kühlgaseintritt	74	81	88
Schwelermischgas	41	31	39
Schweleraustritt	34	30	29
Trockner Unterstufe	41	38	40
Druckverlust im Schweler	40	51	55
Gasmengen Nm³/Std.			
Trockner Luft	19	23	21
Schweler Luft	61	57	50
Trockner Gas	14	18	16
Schweler Gas	39	43	42
Kühlgas	102	106	107
Überschußgas	31	50	48
Gesamtreingas	257	307	303
Zusatzgas	10	0	11
Gasmengen Nm³/to Kohle			
Trockner Luft	153	124	141
Schweler Luft	407	322	329
Trockner Gas	112	101	88
Schweler Gas	388	243	228
Kühlgas	1280	1100	1070
Überschußgas	248	282	280
Gesamtreingas	2050	1735	1640
Zusatzgas	127	0	70

Tabelle 18

Laboratoriumsuntersuchungen von Kohle und Koks

Kohle Bezeichnung		Leopold klein	Leopold groß	Brauer
Versuchsreihe		1300—600	2100—800	—
Stunden		17	11	10
1. Kohle				
a) Schwelanalyse				
Teer	%	10,2	10,5	10,2
Schwelwasser	%	6,0	5,8	6,0
Koks	%	74,2	74,1	72,6
Feuchtigkeit	%	3,2	3,0	3,8
Gas + Rest	%	6,4	6,6	7,4
b) Immediatanalyse				
Asche	%	7,1	7,1	9,5
fixer Kohlenstoff	%	57,7	57,8	64,1
Feuchtigkeit	%	3,2	3,0	3,8
fl. Bestandteile	%	32,0	32,1	23,1
2. Trockenprobe				
Restfeuchtigkeit der Briketts nach dem Trockner	%	1,0	Spuren	Spuren
3. Koks				
a) Schwelanalyse				
Teer	%	0	0	0
Schwelwasser	%	1,0	1,2	0,6
Koks	%	96,4	97,8	98,6
Feuchtigkeit	%	0,6	0,0	1,2
Gas + Rest	%	1,8	0,4	0,2
b) Immediatanalyse				
Asche	%	10,3	10,0	12,1
fixer Kohlenstoff	%	85,0	87,0	83,7
Feuchtigkeit	%	0,9	0,0	1,2
fl. Bestandteile	%	3,0	2,4	2,7

Tabelle 19

Durchsatz- und Ausbeutebestimmungen

Kohle: Bezeichnung:		Leopold klein	Leopold groß	Brassert
Verschwelzeit:		13⁰⁰–6⁰⁰	21⁰⁰–8⁰⁰	
Stunden:		17	11	10
1. Brikettdurchsatz und Koksanfall				
Brikettdurchsatz	kg	2153	1950	2000
	kg/24 h	3040	4230	4870
Koksanfall	kg	1516	1436	1169
	kg/24 h	2140	3130	3520
Koksausbringen	%	70,4	73,6	72,4
Koksausbringen, bezogen auf den Wert der Analyse nach Fischer	%	93	99,4	99,7
2. Teeranfall				
a) Rohteeranfall	kg			
Vorkühlerteer		8	6	7
EGR-Teer		96	91	100
Mittelöl		69	70	66
Gesamtrohteer		173	167	173
b) Reinteeranfall (trocken und wasserfrei)	kg			
Vorkühlerteer		5	4	4
EGR-Teer		93	90	93
Mittelöl		66	68	63
Gesamtreinteer	kg	164	162	160
c) Reinteeranfall	kg/24 h			
Vorkühlerteer		7	9	10
EGR-Teer		131	196	238
Mittelöl		93	148	151
Gesamtreinteer	kg/24 h	231	353	391
3. Teerausbeuten				
a) Teerausbringen in % des Kohlendurchsatzes		7,7	8,3	8,2
b) Teergehalt der Kohle nach Fischer	%	10,2	10,5	10,2
c) Teerausbeute in % des Teergehaltes nach Fischer		75,5	79,0	80,5

Tabelle 20

Gasuntersuchungen

Kohle: Bezeichnung:		Leopold klein	Leopold groß	Brassert
Zeit: Uhr:		10⁰⁰	16⁰⁰	11⁰⁰
Gasanalyse				
CO_2	%	7,0	6,2	9,6
C_mH_n	%	0,3	0,2	0,2
O_2	%	0,0	0,1	0,3
CO	%	3,5	3,6	3,2
CH_4	%	10,7	13,4	9,7
H_2	%	14,0	18,0	8,7
N_2	%	64,5	57,5	68,4
Unterer Heizwert des Gases (errechnet)	kg Nm³	1400	1700	1200
Benzin im Gas (Bestimmung durch Aktivkohle)	g Nm³	13,0	13,7	14,0

Durchgesetzt bzw. verschwelt wurden 9410 kg, an Koks fielen 6600 kg an.

Da die Briketts sehr trocken waren, konnte mit niedrigen Trockentemperaturen gefahren werden, dagegen war die Mischgastemperatur entsprechend einer Schwelltemperatur der Briketts von 700° C mit 750° C sehr hoch. Durch diese hohe Schwelltemperatur sollte eine schnellere Erhitzung und bessere Ausnutzung des Backvermögens der Kohle erreicht werden.

Die Briketts hatten im Mittel 10,3 % Teer bei ca. 3 bis 4 % Feuchtigkeit, der Aschengehalt betrug im Mittel 7,3 % bei Leopold- und 8,5 % bei Brasserkohle. Beide Briketsorten ließen sich gut verschwelen, die geschwelten Briketts enthielten keinerlei Teer mehr. Der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen war entsprechend den hohen Schwelltemperaturen nur gering, die einzelnen Briketts kamen im allgemeinen ganz mit nur wenig Abrieb und, ohne untereinander zu backen, aus dem Ofen heraus.

Der Heizwert und die Zusammensetzung des Gases zeigten starke Schwankungen, was mit den während des Versuches erfolgten dauernden Umstellungen am Ofen zusammenhängt. Wenn das erzeugte Schwelgas nicht immer ganz zur

Beheizung des Ofens ausreichte, so dürfte das auf die bei der Versuchsanlage vorliegenden ungünstigen Verhältnisse zurückzuführen sein, ein kleiner Versuchsofen hat naturgemäß größere Abstrahlungen als ein großer. Im übrigen ist auch die Firma Lurgi der Auffassung, daß im Großbetrieb mit dem Anfall eines heizkräftigeren Gases zu rechnen ist. Hinsichtlich der Teerausbeute lieferte der Versuch ein zufriedenstellendes Ergebnis. Die Gesamtausbeute an Teer und Mittelöl ergab 8% der eingebrachten Kohle entsprechend 80% des Wertes der Fischeranalyse; unter Berücksichtigung der zu erwartenden Benzinmenge erhöht sich die Ausbeute auf 90 bis 92%.

Versuchs-Schwelanlage „Brennstoff-Technik", Essen.

Der Ofen, eine für Schwelversuche gebaute Kleinausführung des B. L.-Schwelofens mit beweglichen parallelen Heizwänden, hat nur eine durch zwei Heizwände gebildete Schwelkammer, deren Abstand für die Versuche auf Grund früherer Erfahrungen auf 60 mm Kammerbreite eingestellt war. Die Kammer faßt 32 kg Rohbriketts. Die Beheizung des Ofens erfolgt nach dem Umlaufprinzip. Durch eine besondere neuartige Verteilung der Heizgase über die kohleberührten Heizflächen wird eine praktisch völlig gleichmäßige Temperatur dieser Heizflächen und damit, wegen der Parallelität der Wände, eine völlig gleichmäßige Wärmezufuhr erzielt. Der Versuchsofen ist mit den Temperatur-Meßstellen und Meß- und Ablesegeräten in der Tafel 7 schematisch dargestellt.

Die so gering gewählte Kammerbreite von 60 mm hatte den Zweck, eine möglichst hohe Schwelgeschwindigkeit zu erreichen. Mit Rücksicht auf die Haltbarkeit des Eisens und um einen als Heizöl brauchbaren Schwelteer zu gewinnen, soll die Temperatur an den kohleberührten Heizflächen einen Höchstwert von 600° C nicht überschreiten.

Die Verschwelung sämtlicher Briketts wurde mit dieser Höchsttemperatur durchgeführt. Die Temperaturen an den kohleberührten Heizflächen sind während der ganzen Schwelzeit durch ein in einer Heizwand steckendes Pyrometer, das durch die Art des Einbaues die wirkliche Heizwandtemperatur anzeigt, kontrolliert. Durch eine selbsttätig wirkende Regelvorrichtung wurde die Heizwandtemperatur, die naturgemäß nach dem Einsetzen des Schwelgutes fällt, möglichst rasch auf den Höchstwert gebracht und hierauf gehalten.

Am ersten Versuchstage wurde zunächst je eine Charge der vier Brikettsorten

Fürst Leopold, Königin Luise,
Brassert, Heinitz/OS

zur Ermittlung der zweckmäßigsten Schwelzeiten hintereinander eingesetzt. Anschließend fanden die laufenden Versuche mit einer Schwelzeit von ca. 1 h 15 min statt, nur eine Füllung Fürst-Leopold-Briketts wurde, um den Einfluß der längeren Gärungszeit festzustellen, 2 h im Ofen belassen. Die Schwelgasentwicklung war jedoch bei dieser Charge nach ca. 1 h 20 min beendet. Nach Abschluß der Brikettverschwelung wurde dann noch eine Charge Feinkohle Fürst Leopold eingesetzt, deren Schwelung 2 h 15 min erforderte.

Eine weitere Versuchsserie folgte mit Briketts aus folgenden Kohlen:

Konsolidation und einer Mischung von 40% Konsolidation und 60% Heinitz OS
Lohberg und einer Mischung von 50% Lohberg und 50% Alstaden
Bismarck Walsum.

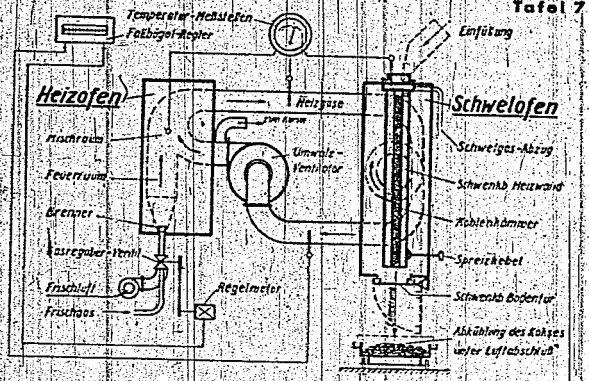
Die Ausbeute an Schwelteer und Schwelgas konnte nicht bestimmt werden. Die Briketts wurden trocken gekühlt.

Irgendwelche Betriebsstörungen traten während der Versuche nicht auf.

Aus sämtlichen vier Sorten Rohbriketts wurden Schwellinge von guter Beschaffenheit gewonnen. Die Briketts aus Kohlen Fürst Leopold und Königin Luise zeigten eine vorzügliche Schmelzung und waren sehr hart. Wegen der etwas geringeren Backfähigkeit der beiden anderen Kohlensorten war hier die Verschmelzung weniger gut, jedoch reichte die Festigkeit im allgemeinen völlig aus.

Die Rohlinge der Proben 40 % Konsolidation — 60 % Heinitz OS, 50 % Lohberg — 50 % Alstaden, Graf Bismarck und Walsum kamen in Form von Briketts wieder aus dem Ofen heraus. Sämtliche vier Sorten waren äußerlich hart und zeigten, mit Ausnahme der Probe 40 % Konsolidation — 60 % Heinitz OS, eine vorzügliche Schmelzung. Letztere Probe war zwar weniger gut geschmolzen, aber noch völlig ausreichend. Die Briketts Konsolidation waren im Ofen zu Trauben miteinander verwachsen, während die Briketts Lohberg zu einem festen Kuchen zusammenbackten. Die Verschwelung dieser Proben wurde daher aufgegeben.

Tafel 7



Schwelofen Brennstoff-Technik

Der unmittelbar aus der Feinkohle Fürst Leopold gewonnene Koks dagegen war nicht geschmolzen, sondern nur gefrittet, der Koks konnte mit der Hand zerdrückt werden, und die Festigkeit war gänzlich unzureichend.

Eine Änderung der physikalischen Beschaffenheit von Leopoldkohle, wie stärkere Entgasung, größere Festigkeit usw. durch die längere Entgasungszeit von 2 h, konnte nicht festgestellt werden.

Bemerkenswert ist die hohe Schwelgeschwindigkeit bei Briketts gegenüber Feinkohle. Wie bereits gesagt, beläuft sich die Schwelzeit für die Briketts auf nicht mehr als 80 min, während die Verschwelung von Feinkohle 135 min in Anspruch nimmt.

Das Gewicht der je Charge eingesetzten Briketts betrug 32 kg, das Gewicht der gestampften Feinkohle 38,5 kg. Der Durchsatz an Briketts beträgt in 24 h, bei Annahme einer Chargierzeit von 10 min

$$\frac{32\ \text{kg} \times 24\ \text{h}}{1{,}5} = 510\ \text{kg}$$

bei Verschwelung von Feinkohle, bei Annahme von 15 min Chargierzeit

$$\frac{38{,}5\ \text{kg} \times 24\ \text{h}}{2{,}5} = 370\ \text{kg}.$$

Bei Verschwelung von Briketts wird der Durchsatz gegenüber gestampfter Feinkohle bei gleichen Ofenabmessungen und gleichen Temperaturverhältnissen gesteigert um

$$\frac{510 - 370}{370} \times 100 = 38\,\%$$

Praktisch darf also mit einer Durchsatzsteigerung von mindestens 30 % gerechnet werden.

Aus der Tabelle 21 sind die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen ersichtlich. Die darin aufgeführten Zündpunkte liegen zwischen 335 und 360° C. Das Kurvenblatt — Abb. 1 — läßt erkennen, wie sich ein derartiger Schwelkoks abbrandgemäß gegenüber Mitteltemperaturkoks und Hochtemperaturkoks verhält.

Versuchsanlage Bergfeld-Kollergas-Schwelverfahren, Spandau.

Zur Vervollständigung der Versuchsreihe mit verschiedenen Bindemitteln erschien es zweckmäßig, auch einen Großversuch unter alleiniger Verwendung von Sulfitlauge durchzuführen. Hierzu stand die Schwelversuchsanlage Deutsche Kollergeneratoren- und Ofenbau-Gesellschaft Bergfeld & Co., Berlin, nebst Brikettierungsanlage zur Verfügung. Die Arbeitsweise des Bergfeld-Kollergas-Schwelverfahrens ist aus der schematischen Darstellung Tafel 8 ersichtlich. Ungewaschene Staubkohle der Grube Königin Luise mit einem Durchschnittsgehalt von 15 % Asche wurde auf 4 mm abgesiebt, durch Streudüsen mit 3 % eingedickter Sulfitlauge versetzt und auf einer Walzenpresse mit Kissenformat brikettiert. Durch Verzögerung des Umbaues der Brikettierungsanlage der Kollergas-Gesellschaft hatte die Kohle sechs Wintermonate im Freien gelagert. Durchgesetzt wurden durch die Schwelanlage 8½ t Briketts.

Trotz der geringen Backfähigkeit der Kohle — nach der Dr. Kühlweinschen Methode Backzahl 2,5 — und unter alleiniger Verwendung von Sulfitlauge befriedigte sowohl die Festigkeit wie auch die gleichmäßige Ausgarung der geschwelten Briketts. Die Abriebfestigkeit hätte zwar noch etwas besser sein können; immerhin beweist aber dieser Versuch, daß es auch unter alleiniger Verwendung von Sulfitlauge möglich ist, auch aus weniger gut backender Kohle ein brauchbares Schwelbrikett herzustellen.

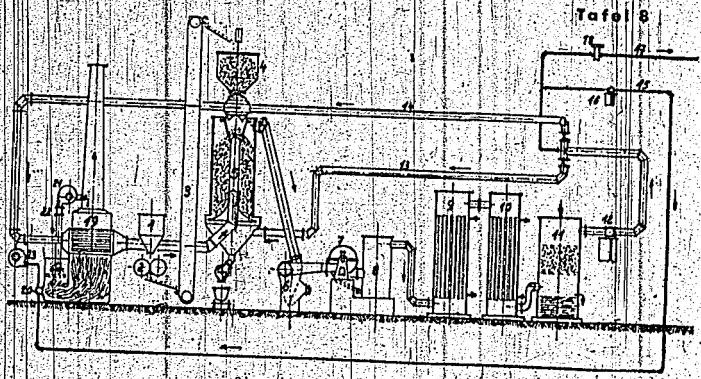
Infolge betriebstechnischer Schwierigkeiten war es nicht möglich, die Menge des erzeugten Gases und den Anfall an Teer zu bestimmen. Da die Anlage mangels eines Rekuperators zur Zeit der Versuche noch mit Verbrennungsgas betrieben wurde, konnten keine sicheren Rückschlüsse auf die mittlere Zusammensetzung des Gases gezogen werden.

Tabelle 21

Schwelverfahren Brennstoff-

	Rohsubstanz				
	Wasser %	Asche %	flücht. Bestandteile %	unterer Heizwert kcal	C %
100 % Walsum-Briketts	3,20	10,31	31,51	6 670	71,65
100 % Walsum-Schwelbriketts	3,35	14,45	10,16	6 574	73,88
100 % Bismarck-Briketts	3,18	9,75	31,03	6 773	72,33
100 % Bismarck-Schwelbriketts	3,49	11,40	10,64	6 770	76,13
100 % Consolidations-Briketts	1,61	8,20	27,68	7 358	77,52
100 % Consolidations-Schwelbriketts	2,45	9,27	10,78	7 002	78,46
100 % Lohberg-Briketts	1,80	8,48	31,02	7 069	74,07
100 % Lohberg-Schwelbriketts	3,40	10,65	10,11	6 891	77,07
40 % Consol. + 60 % Heinitz-Briketts	3,18	10,07	30,34	6 632	71,85
40 % Consol. + 60 % Heinitz-Schwelbriketts	3,23	12,83	12,23	6 657	70,41
50 % Alsaden + 50 % Lohberg-Briketts	1,51	11,27	22,53	7 004	75,30
50 % Alsaden + 50 % Lohberg-Schwelbriketts	2,49	13,91	9,16	6 758	75,60

Tafel 8



Schema der Bergfeld-Kollergas-Schwelanlage.

1 Mischer
2 Walzenpresse
3 Becherwerk bzw. Vortrockner
4 Zwischenbunker
5 Schwelofen
6 Wasser-Abschlußkasten
7 Theisen-Wäscher
8 Tropfenfänger
9 Röhrenkühler
10 Röhrenkühler
11 Rieselkühler
12 Gas-Sicherheitsregler
13 Kühlgasleitung
14 Rückgasleitung
15 Brennergasleitung
16 Gasdruckregler
17 Überschußgasleitung
18 Überdruckventil
19 Rekuperator
20 Gasbrenner
21 Walzgasgebläse
22 Drosselklappe
23 Windgebläse

Technik, Essen

Rohsubstanz			H_2O-freie Substanz		Reinsubstanz aschen- und wasserfrei			
H_u %	S %	Asche %	C %	H_u %	flücht. Bestandteile %	Heizwert kcal	Zündpunkt °C
4,70	1,56	10,66	82,03	5,41	30,47	7 753	—
2,85	1,18	14,35	80,88	3,17	12,36	8 022	345
4,59	1,52	10,07	83,07	5,27	33,61	7 801	—
3,01	1,11	12,11	89,76	3,58	12,54	8 006	335
4,72	1,18	8,33	85,95	5,23	31,02	8 070	—
3,11	0,92	9,50	88,87	3,90	12,21	8 038	310
5,01	1,60	8,01	82,56	5,58	38,02	7 891	—
2,96	1,13	11,03	90,43	3,45	11,77	8 017	315
4,61	1,22	10,10	82,82	5,35	34,97	7 607	—
2,91	0,98	13,26	91,03	3,50	14,59	7 953	335
4,33	1,35	11,11	86,33	4,97	25,83	8 010	—
2,83	1,15	14,26	90,54	3,30	11,17	8 102	360

Zu berichten bleibt noch über den Ausfall der im stetig betriebenen Schwelofen, System Koppers, Essen, auf der Oheimgrube Kattowitz verschwelten Steinkohlen und Steinkohlenbriketts.

Die Versuche erstreckten sich auf die Verschwelung von Nußkohle in Körnung von 30 bis 40 mm wie auch Briketts. Die Briketts waren hergestellt bei der Firma Klöckner-Humboldt-Deutz, sie bestanden aus Feinkohlen

Castellengo-Abwehr, Sosnitza,
Hedwig-Wunsch, Königin Luise-Ostfeld,

brikettiert nach dem Weberverfahren. Gewicht der Briketts 45 g, zu einem kleineren Teile 35 g.

Im Sinne der schon vorerwähnten Auffassung der Firma Koppers, daß aus den verschiedensten Gründen eine hohe Reaktionsfähigkeit nicht als zweckmäßig angesehen werden kann, ist bei den Versuchen auf der Oheimgrube ein Koks mit geringerem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen erzeugt worden.

Entsprechend dem geringeren Gehalt an flüchtigen Bestandteilen — Analysenergebnisse Tabelle 22 — liegen die Zündpunkte wesentlich höher als bei einem weniger ausgegasten Schwelkoks. Vergleicht man beispielsweise hiermit den Schwelkoks der „Brennstoff-Technik", so unterscheiden sich die Zündpunkte beider um etwa 100 Grad. Die unterschiedliche Reaktionsfähigkeit kommt auch in den Diagrammen — Tafeln 9 bis 11 — zum Ausdruck. Der Koppers-Koks mit einem Zündpunkt von 490° C liegt bereits in dem Bereich des Mitteltemperaturkoks.

Tabelle 22

Schwelverfahren Koppers.

	Kohlesubstanz				
	Wasser %	Asche %	flücht. Bestandteile %	unterer Heizwert kcal	C %
Schwelkoks (mit Grus) höhere Schweltemperatur	3,01	12,61	3,47	6 653	80,33
Schwelkoks (ohne Grus) höhere Schweltemperatur	3,16	7,71	2,79	7 157	86,3
Schwelkoks (mit Grus) niedere Schweltemperatur	3,10	11,51	1,52	6 637	79,70
Schwelkoks (ohne Grus) niedere Schweltemperatur	4,08	8,80	4,35	6 903	82,01
Schweleierbriketts (hell und dunkel) höhere Schweltemperatur	4,30	10,03	3,75	6 309	75,08
Schweleierbriketts (dunkel) höhere Schweltemperatur	5,03	15,05	7,10	6 295	72,41
Schweleierbriketts (hell) höhere Schweltemperatur	4,51	10,53	3,00	6 310	77,58
Schweleierbriketts (hell und dunkel) niedere Schweltemperatur	4,11	10,81	3,89	6 318	75,61
Schweleierbriketts (dunkel) niedere Schweltemperatur	4,38	14,77	8,24	6 181	73,21
Schweleierbriketts (hell) niedere Schweltemperatur	4,02	10,43	3,07	6 350	70,73

Während der Schwelkoks aus Nüssen eine sehr einheitliche Ausgarung und gleichmäßige Festigkeit aufwies, waren die Briketts schon ihrem Aussehen nach uneinheitlich. Ein Teil der Briketts von dunklerer Färbung mit 7 bis 8 % flüchtigen Bestandteilen ließ sich in der Hand zerbrechen, die silbergrauen Briketts mit 3 bis 4½ % flüchtigen Bestandteilen waren gut geschmolzen und sehr fest. Der Anteil an ausgesprochen dunklen und weniger gefestigten Briketts betrug schätzungsweise 20 %. Der Grund für den unter-

schiedlichen Gehalt der Briketts an flüchtigen Bestandteilen lag darin, daß in der Versuchsreihe, aus der der untersuchte Koks stammt, der Ofen aus besonderen Gründen ohne Spülgase gefahren wurde. In späteren Versuchen, bei denen mit Spülgasen gearbeitet worden ist, wurde ein Koks mit gleichmäßigem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und zwar in einer Versuchsreihe mit 2% flüchtigen und in einer anderen Versuchsreihe mit 8% flüchtigen Bestandteilen, gewonnen. Die Tatsache, daß die Briketts mit einem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen von 3 bis 4½% gut geschmolzen und sehr fest waren, unterstützt die Feststellung, daß die Höhe der Verkokungstemperaturen ausschlaggebend für die Stück- und Abriebfestigkeit des Koks ist.

Praktische Feuerungsversuche wurden an einem Zentralheizungskessel mit unterem Abbrand und zwei eisernen Zimmeröfen irischer Bauart vorgenommen. Der Kessel wurde durch Einsetzen von Düsenrohren über die ganze Länge des Kessels in geringer Höhe über den seitlichen Rauchgasabzügen behelfsmäßig auf Zuführung von Zweitluft hergerichtet. Zum Vergleich ist Gaskoks verfeuert worden. Die Diagrammblätter — Tafeln 9 bis 11 — zeigen den jeweiligen Verbrennungsverlauf mit Erläuterungen.

Auffallend ist der praktisch völlig übereinstimmende Verbrennungsverlauf der drei Koksarten: Schwelnüsse, Schwelbriketts und Gaskoks. Hinsichtlich der verhältnismäßig hohen Verluste durch Unverbranntes in den Rauchgasen ist zu bemerken, daß der Kessel

Tabelle 22

Versuchsanlage Karrowitz

Rohsubstanz			H_2O-freie Substanz	Reinsubstanz aschen- und wasserfrei				
H_2 %	S %	Asche %	C %	H_2 %	flücht. Bestandteile %	Heizwert kcal	Zündpunkt °C
0,88	0,86	13,10	90,10	1,05	1,11	7 979	165
0,77	0,59	7,93	90,83	0,86	3,13	8 051	455
1,07	0,76	12,13	93,61	1,29	3,42	7 989	410
1,28	0,63	9,28	93,51	1,48	8,03	8 019	410
0,89	1,28	17,67	90,57	1,13	1,77	8 018	470
1,58	1,22	16,75	91,63	1,99	9,06	8 001	103
0,56	1,27	17,27	98,25	0,71	3,88	8 033	400
0,99	1,19	17,50	90,09	1,26	1,91	8 060	465
2,07	1,16	15,32	90,55	2,56	10,19	8 018	385
0,67	1,17	17,11	96,51	0,81	3,86	8 018	490

an sich eine gröbere Körnung von 50 bis 80 mm erfordert, während die Schwelnüsse und Briketts nur in Körnungen von 20 bis 40 mm bzw. 40 bis 50 mm zur Verfügung standen, demgemäß der Kessel auch bei dem Vergleich mit Gaskoks mit einer entsprechenden, also erheblich zu kleinen Körnung betrieben werden mußte. Bei gröberer Körnung würden die Verluste durch Unverbranntes wesentlich geringer gewesen sein, so daß hieraus keine Rückschlüsse auf den Brennstoff als solchen zu ziehen sind. Nachteile durch den unterschiedlichen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen haben sich nicht bemerkbar gemacht. Hinsichtlich der geringeren Festigkeit eines gewissen Brikettanteiles ist bemerkenswert, daß die Briketts im Feuer nicht zerfielen, wie sie auch nach achtmonatigem Lagern im Freien, der Witterung ausgesetzt, nicht zerfallen sind.

Wenngleich der Verbrennungsverlauf der miteinander verglichenen drei Koksarten keine Unterschiede zeigte, so zündeten die Schwelkokse unverkennbar leichter als Gaskoks, und zeigten sich diese hinsichtlich der Reaktionsfähigkeit bei sonst ähnlichem Verhalten dem Gaskoks überlegen.

Die Heizversuche mit irischen Öfen wurden in zwei Ofentypen mit und ohne Sturzzug durchgeführt. Es ist selbstverständlich, daß ein Ofen ohne Sturzzug, bei dem die Rauchgase aus dem Ofen unmittelbar in den Rauchgasabzugsstutzen eintreten, höhere Abgastemperatur ergibt und sorgfältiger bedient werden muß, das gilt aber in gleicher Weise auch für alle anderen Brennstoffe und nicht allein für den reaktionsfähigen Schwelkoks. Doppelversuche mit einem Ofen der Firma Büdrus ergaben Wirkungsgrade von 75,13 % und 77,91 % im Verlauf von 12 Stunden, im Verlauf von 24 Stunden betrug der mittlere Wirkungsgrad 72,37 %. Bei Nußkohlen lagen die Wirkungsgrade im Verlauf von 9 Stunden bei 79,08 % und 79,31 %. Der höhere Wirkungsgrad erklärt sich daraus, daß in diesem Falle die gegenüber Briketts gröbere und für den Ofen vorgeschriebene geeignete Körnung von 40 bis 60 mm verfeuert wurde. Für diese Versuchsserie an eisernen Öfen ist die benötigte Menge an dem gröberen Korn 40/60 mm aus dem Koksvorrat ausgelesen worden.

Ein Sturzzugofen Oranier, gleichfalls mit der Körnung 40/60 mm gefeuert, ergab Wirkungsgrade von 83,25 % in den ersten 12 Stunden, 81,06 % zwischen 12 und 24 Stunden und 77,58 % in der Abbrandperiode von der 24. bis 33. Stunde. Mit der Körnung 20/40 mm dagegen konnte im Verlauf von 10 Stunden ein Wirkungsgrad von 77,13 % festgestellt werden.

Bei Briketts ergaben sich Wirkungsgrade von 82,77 % in der 1. bis 12. Stunde, 79,09 % in den folgenden 12 Stunden und 72,90 % bis zur 32. Stunde.

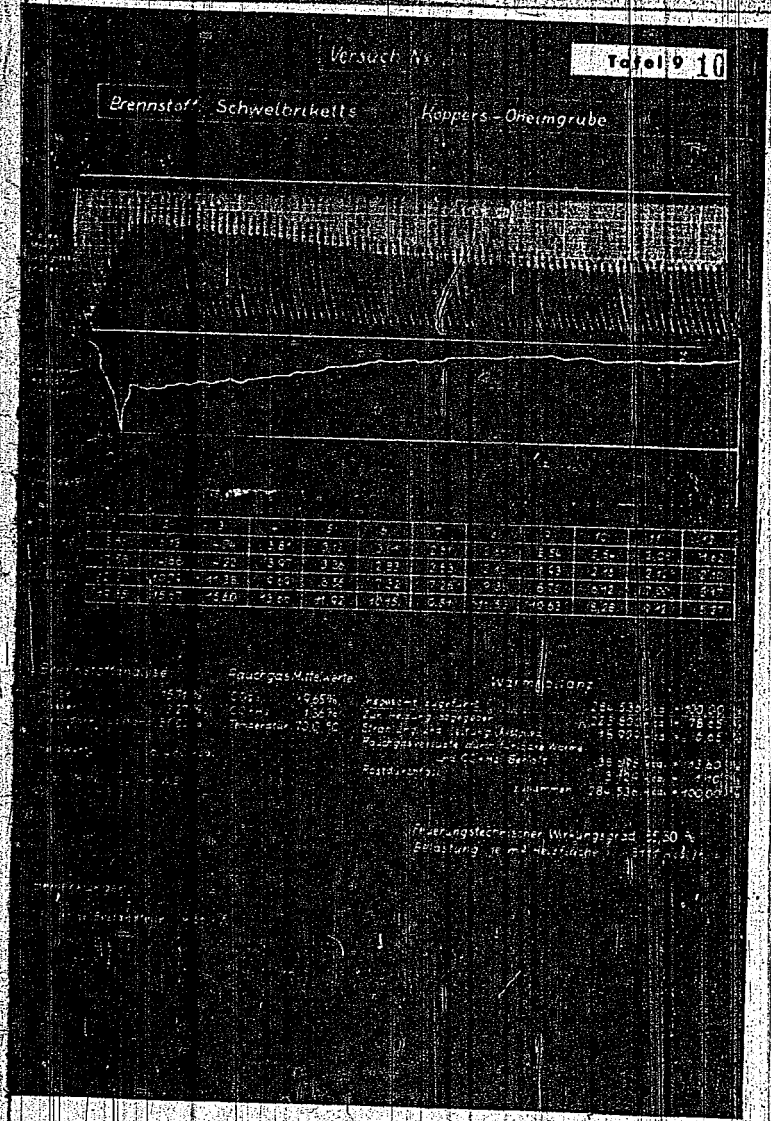
Die Wirkungsgrade vom Sturzzugofen lagen, wie zu erwarten, wesentlich höher. Es zeigt sich aber auch der Einfluß der Körnung. Die meisten Hausbrandöfen fordern eine Körnung von 40/60 mm, wenn sie mit bestem Wirkungsgrad arbeiten sollen.

Bei allen Versuchsserien konnte festgestellt werden, daß ein derartiger Schwelkoks mit verhältnismäßig geringem Anteil an flüchtigen Bestandteilen mit zwar für Hausbrandzwecke ausreichender Reaktionsfähigkeit, ein stärkeres Grundfeuer als bei dem Schwelkoks mit hohem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen und entsprechend hoher Reaktionsfähigkeit erfordert, wenn die frische Füllung ohne Zugerhöhung sicher zünden soll. Man kann ihn daher nicht so weit herunterbrennen lassen wie reaktionsfähigeren Brennstoff. Wenn man dies als Nachteil ansprechen will, darf man aber die Herabsetzung von Unverbranntem in den Verbrennungsgasen, die größere Stück- und Abriebfestigkeit und das höhere Wertstoffausbringen an Gas bei der Erzeugung dieses Koks als wesentlichen Vorteil nicht vernachlässigen.

Der Gedanke der Verkokung der Kohle bei niederer Temperatur ist an sich nicht neu. Die Anregung zur Tieftemperaturverkokung haben wohl die Arbeiten von Börnstein gegeben, die praktische Durchführung erfolgte zuerst in England in den Jahren vor dem Weltkrieg. In Deutschland setzten die Versuche der Steinkohlenschwelung ausgangs des Weltkrieges ein. Während es sich in England zur Bekämpfung der in den nebelreichen Jahreszeiten sich ins Unerträgliche steigernden Rußplage um die Herstellung eines rauchlos verbrennenden Heizmaterials handelte, stand für Deutschland schon damals die Erzeugung von Heiz- und Treibölen sowie Schmieröl im Vordergrund. In England verfeuert man den Schwelkoks in der Hauptsache und mit Vorliebe in offenen Kaminen als Strahlungsbrennstoff, so daß hier eine hohe Reaktionsfähigkeit unerläßlich ist. Trotzdem Schwelkoks in England sehr begehrt ist und dementsprechend hohe Erlöse bringt, die von vornherein die Wirtschaftlichkeit der Schwelung auf eine viel günstigere Basis stellen als bei uns, ist es dort zu einer umfassenderen Aufnahme der Steinkohlenschwelung nicht gekommen. In Deutschland ließ infolge der unbefriedigenden Qualität der Produkte alsbald das anfänglich rege Interesse für die Steinkohlenschwelung nach, wohl auch deshalb, weil die Gewinnung von Ölen nicht mehr so dringlich erschien. Die Zeit überdauert hat in England das Coalite-Verfahren, in Deutschland hat sich aus dem Schwelgenerator das Spülgasverfahren, und zwar zunächst zur Verschwelung von Braunkohlen, neuester Zeit auch zum Durchsatz von Steinkohlen entwickelt.

Versuch Nr. Tafel 9 10

Brennstoff: Schwelbriketts Koppers-Ofenmgrube



Rauchgas-Mittelwerte

Wärmebilanz

48

Wenn die Steinkohlenschwelung lange Zeit einer fast völligen Stagnation verfallen war, so liegt das nicht zuletzt auch in der Schwierigkeit begründet, konstruktiv die Arbeitsweise so zu gestalten, daß zugleich mit einem ausgesprochenen Schwelteer auch ein Koks von hinreichender Festigkeit anfällt, wobei weiterhin noch zu berücksichtigen ist, in wie hohem Maße die Wirtschaftlichkeit der Schwelung von der Durchsatzleistung abhängig ist. Thermisch schonende Behandlung der Kohle im Hinblick auf die Qualität des Teeres, Erhöhung der Verkokungstemperatur im Interesse größtmöglichster Festigkeit des Koks in Verbindung mit hoher Durchsatzleistung sind Widersprüche in sich. Es hat aber den Anschein, daß durch die Entwicklung der Schwelverfahren diese Forderungen erfüllbar sind.

Rein wissenschaftlich betrachtet ist unter dem Begriff der Schwelung eine Destillation der Kohle ohne Zerfall der primär gebildeten Kohlenwasserstoffe zu verstehen. Eine derart schonende Arbeitsweise scheidet indessen von vornherein wegen ihrer wirtschaftlich untragbar hohen Betriebskosten aus; außerdem lassen auch die Eigenschaften der bei so niedrigen Temperaturen gewonnenen Schwelteere und Schwelkokse eine solche Arbeitsweise nicht zu. Der Schwelteer enthält schon bei geringer Erwärmung zerfallende labile Verbindungen, der Schwelkoks ist zwar außerordentlich reaktionsfähig und sehr leicht entzündlich, er genügt aber hinsichtlich der sonstigen an ihn zu stellenden Anforderungen — Festigkeit, Schüttgewicht usw. — im praktischen Gebrauch nicht. Da wirtschaftlich aber die Lösung des Schwelproblems über den Weg der Erzeugung eines hochwertigen Gebrauchskoks geht — ein Mindererlös für den Koks in Höhe von RM 1.— ist gleichbedeutend mit einer Preiserhöhung des Teeres im Ausmaß von etwa RM 10.— je Tonne —, so werden sich die Anforderungen an die Qualität des Teeres in einem gewissen Umfange unterordnen müssen. Selbst einer gesteigerten Schwelkokserzeugung als Folge geringerer Teerausbeute steht nichts entgegen, solange das für den Koks schon reichlich vorhandene Absatzgebiet noch nicht erschöpft und schwelwürdige Kohle in ausreichender Menge verfügbar ist.

Von grundlegender Bedeutung für die Verkokung ist naturgemäß die Beschaffenheit der Einsatzkohle, der sich das Schwelverfahren anzupassen hat. Die Verschiedenheit an sich schwelwürdiger Kohlen läßt zwar die Entwicklung eines allgemein anwendbaren Schwelverfahrens nicht zu; das Bestreben wird aber dahin gerichtet sein müssen, den Schwelprozeß so zu gestalten, daß der Auswahl der Kohle möglichste Freiheit gelassen ist.

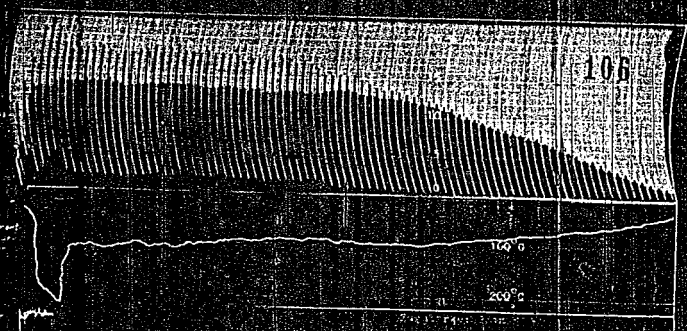
Backende Kohlen erweichen bei einer Temperatur von etwa 400° C und in jedem Falle, d. h. sowohl bei der Hochtemperatur- als auch bei der Tieftemperaturverkokung findet bei dieser Temperaturlage ein Schmelzvorgang statt. Derartige Kohlen werden zweckmäßig als Feinkohle durchgesetzt, da so ein gleichmäßig geschmolzener Koks entsteht. Bei der Hochtemperaturverkokung bildet sich von der Seite der heißen Kammerwand her zwischen dem bereits gebildeten Koks und der Kohle die sogenannte Teernaht, eine plastische Zone. In dieser Schicht erfährt die Kohle unter Bildung von Koks eine vollkommene Umwandlung in ihrer chemischen Zusammensetzung. Die Stärke der Teernaht, also der plastischen Zone, ist abhängig von der Art der Kohle — bei gut backenden Fettkohlen ist sie breiter als bei weniger gut backenden Gas- oder Gasflammkohlen. Auch die plastische Zone ist abhängig von der Breite der Kammern. Zweifellos ist die plastische Zone auch bei der Tieftemperaturverkokung vorhanden, da auch hierbei zwischen dem gebildeten Koks und der Kohle die Temperaturstufe von 400° C, also die Schmelzzone, durchschritten wird. Die plastische Zone ist praktisch gasundurchlässig; sie bildet sozusagen die Weggrenze für die sich entwickelnden Dämpfe und Gase. Die bis zum Erweichungspunkt der Kohle freiwerdenden Gase, die man als Gase der Vorentgasung bezeichnet, entweichen durch die Kohle, alle übrigen, und zwar die Gase der Mittel- und Nachentgasung ausschließlich nach der Koksseite bzw. Heizwand hin. Auf dem Wege zwischen der plastischen Zone und der heißen Kammerwand entgast der Koks bei zunehmender Temperatur unter stetigem Schrumpfen. Je höher die Verkokungstemperatur und je breiter der Ofen, um so stärker sind die Gaszersetzungen auf dem Wege durch den Koks zur Heizwand und je stärker ist die Graphitierung des Koks durch die Gaszersetzung. Diese Graphitierung gibt dem Hochtemperaturkoks seine spezifisch eigenen Verbrennungseigenschaften.

Versuch Nr 3

Tafel 10

Brennstoff: Carsten-Zentrum Schwelkoks „Stück"

Heizung °C



Zeit Std	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Gesamt kg	13.37	6.20	4.14	4.79	4.35	4.14	3.47	3.48	3.76	2.61	2.39	2.28
	5.40	4.09	3.89	3.50	3.09	3.43	3.06	4.45	5.56	5.57	7.00	10.08
	19.40	11.32	18.09	12.72	11.64	0.39	5.21	2.82	0.34	0.87	1.40	3.18
	2.26	13.41	10.18	16.22	15.03	13.82	9.17	7.27	5.93	5.64	8.49	13.96

Brennstoffanalyse:

Asche	8.86 %
Wasser	4.68 %
Brennbare Substanz	86.46 %
Heizwert	6 900 kcal
Zug - Mittel	% mm WS

Rauchgas-Mittelwerte:

CO_2	10.52 %
$CO + H_2$	1.59 %
Temperatur	91.0 °C

Wärmebilanz:

Insgesamt zugeführt	375 227 kcal	= 100.00 %
zur Heizung abgegeben	289 432 kcal	= 77.12 %
Strahlung und Leitung (festgestellt)	25 440 kcal	= 6.78 %
Rauchgasverluste durch fühlbare Wärme und $CO + H_2$ Gehalt	57 207 kcal	= 15.26 %
Rostdurchfall	3 152 kcal	= 0.84 %
zusammen	375 259 kcal	= 100.00 %

Feuerungstechnischer Wirkungsgrad 83.90 %

Belastung je m² Heizfläche 4036 kcal/h

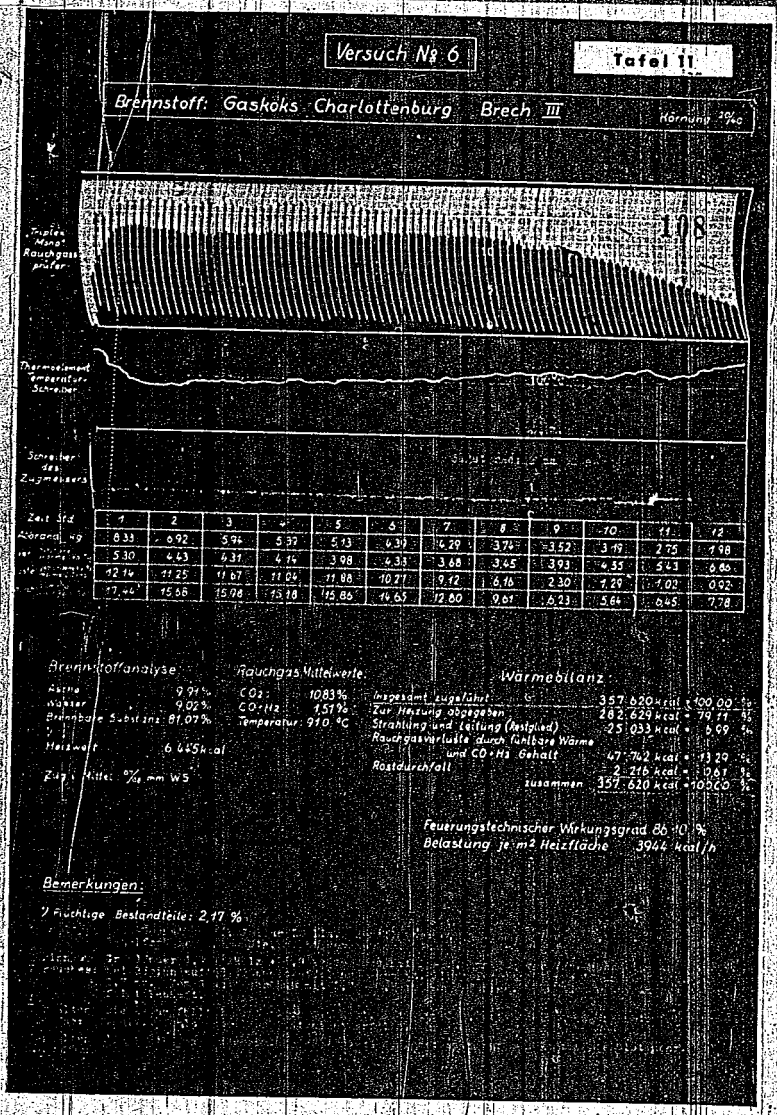
Bemerkungen:

1) Flüchtige Bestandteile: 3.66 %

Die aus den verschiedenen backenden Kohlen und deren Mischungen bei der Schwelung in Schmalkammeröfen bis zu 600° C erzeugten Koks zeigten in den meisten Fällen in der Mitte oder auch seitlich im Stück gelagerte Partien schaumiger Struktur. Es ist, wie bereits oben gesagt, unzweifelhaft, daß auch bei der Schwelung backender Kohle eine plastische Zone auftritt, nur kann bei der niedrigen Temperaturlage die Begrenzung dieser Zone zwischen Kohle und bereits gebildetem Koks nicht so ausgesprochen sein wie bei der Hochtemperaturverkokung. Die plastische Zone wird ausschließlich von der Kohle bestimmt. Ist die plastische Zone einer bestimmten Kohle bei Hochtemperaturverkokung gasundurchlässig, so ist sie dies auch bei der Schweltemperatur. Die Temperaturlage in der plastischen Zone liegt zwischen 400 und 450°, gleichgültig ob bei hoher oder niederer Temperatur verkokt wird. Der gebildete Koks schirmt in jedem Falle den Wärmefluß von der heißen Kammerwand zur plastischen Zone ab; folglich ist der Weg der Gase der Vor-, Mittel- und Nachentgasung bei der Hochtemperatur- und Tieftemperaturverkokung an sich der gleiche, und hieraus erklärt es sich auch, daß die Teerdämpfe bei Verarbeitung backender Kohle zur Hauptsache ihren Weg durch den gebildeten Koks nach der Kammerwand und an dieser entlang nehmen, nur mit dem Unterschied, daß die Gase und Teerdämpfe bei der Schwelung auf 500 bis 550° C, bei der Hochtemperaturverkokung auf 750 bis 800° C aufgeheizt werden. Hierauf basiert auch die relativ gute Teerqualität aus backender Kohle aus den eisernen Schwelöfen, die nicht möglich wäre, wenn ein großer Teil der Teerdämpfe durch den kalten Kohlenkern entweichen würde. Eine Gaszersetzung kann bei der Tieftemperaturverkokung nur in untergeordnetem Maße eintreten. Auch eine Graphitierung der an der Kammerwand liegenden Kokspartien kann bei der Schwelung nicht festgestellt werden, selbst dann nicht, wenn der Ofen übersteht, weil sich keine wasserstoffhaltigen Gase mehr entwickeln, die durch die mit dem Überstehen gleichlaufende Temperaturerhöhung unter Graphitbildung zersetzt werden könnten. Die unterschiedliche Dichte und Härte des aus ein und derselben Kohle hergestellten Schwelkoks und Hochtemperaturkoks ist ausschließlich durch die verschiedenen Temperaturlagen bedingt. Die Kokszellenbildung ist bei der Tief- und Hochtemperaturverkokung dem Grunde nach gleich. Durch die Temperatursteigerung bei der Hochtemperaturverkokung erfolgt die Schrumpfung und hierdurch die Verdichtung des Zellengefüges des Koks. Ein Koks von der Struktur und Härte von Zechenkoks und Gaskoks ist also im Temperaturbereich des Schwelkoks nicht zu erwarten. Schwelkoks, aus backender Feinkohle gewonnen, wird immer mehr oder weniger großporig sein, ein zellenartiges Gefüge haben und keine Kapillargefüge wie der Hochtemperaturkoks. Wohl läßt sich durch Stampfen der Kohle aus besonders gut backender Fettkohle ein besser geschmolzener und dichterer Koks erzeugen, hinsichtlich Abriebfestigkeit wird er indessen immer hinter Hochtemperaturkoks zurückbleiben. Gut backende Kohlen scheiden aber schon aus Gründen der Schwelunwürdigkeit dieser Kohlen in bezug auf Teerausbeute aus. Die Tatsache, daß bei der Hochtemperaturverkokung weniger gut backende Kohlen nur in schmalen Koksöfen bei Anwendung verhältnismäßig hoher Temperaturen einen stückfesten Koks ergeben, während gut backende Kohlen auch in breiten Koksöfen bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen einen stückigen und stückfesten Koks (Gießereikoks) liefern, beweist die Abhängigkeit der Temperaturlage zur Erzeugung einen stückfesten Koks von dem Gehalt der Kohle an schmelzenden Substanzen. Dieses Gesetz gilt auch für Tieftemperaturverkokung, d. h. der stückfeste Schwelkoks aus backender Kohle kann nur aus gut backender Kohle erzielt werden, weil bei weniger gut backenden Kohlen die Temperaturlage zur Verfestigung des Koks nicht zur Verfügung steht.

Bei den oberschlesischen Gasflammkohlen, die in erster Linie infolge ihres hohen Teergehaltes für die Schwelung in Frage kommen, handelt es sich in fast allen Fällen um ein Gemenge von Matt-Glanz-Kohle.

Bei fast allen Vorkommen sind Matt- und Glanz-Kohle miteinander verwachsen. Je nach dem Anteil des Kohlengemenges an Glanzkohlen schwankt die Backfähigkeit, da die Mattkohlen keine Backfähigkeit besitzen. Im Interesse eines stückfesten Koks wäre eine separate Förderung der mattkohlereichen und mattkohlearmen Flöze anzustreben. Dann könnte man die Mattkohlen getrennt von den Glanzkohlen abschwelen. Da die Mattkohlen, wie bereits gesagt, keine Schmelzeigenschaften besitzen, ist es, abgesehen von dem


Versuch № 6
Tafel II
Brennstoff: Gaskoks Charlottenburg Brech III
Körnung %
Triplex Mono Rauchgasprüfer
Thermoelement Temperatur Schreiber
Schreiber des Zugmessers
Zeit Std
Körnung kg
Brennstoffanalyse
Asche 9.91%
Wasser 9.02%
Brennbare Substanz 81.07%
Heizwert 6445 kcal
Zug in Mm WS
Rauchgas Mittelwerte
CO2 10.83%
CO+H2 1.51%
Temperatur 910 °C
Wärmebilanz
insgesamt Zugeführt 357.620 kcal = 100.00 %
Zur Heizung abgegeben 282.629 kcal = 79.11 %
Strahlung und Leitung (Restglied) 25.033 kcal = 6.99 %
Rauchgasverluste durch fühlbare Wärme und CO+H2 Gehalt 47.742 kcal = 13.29 %
Rostdurchfall 2.216 kcal = 0.61 %
zusammen 357.620 kcal = 100.00 %
Feuerungstechnischer Wirkungsgrad 86.10 %
Belastung je m2 Heizfläche 3944 kcal/h
Bemerkungen:
2 flüchtige Bestandteile: 2,17 %

Verlust an Wertstoffen, gleichgültig, ob diese Kohlen bei niedriger oder hoher Temperatur abgeschwelt werden.

Bei vielen Kohlenvorkommen in Oberschlesien wird man das Verwachsen der Glanzkohlen mit den Mattkohlen (Streifenkohlen) ausnutzen zur Verfestigung des Koks aus der Streifenkohle. Hierbei wird der Koks um so stückfester, je höher die angewendeten Temperaturen sind.

Die Gasflamm-Feinkohlen sind je nach dem Gehalt des Flözes an Glanz- und Mattkohlen mehr oder weniger mit Glanzkohle angereichert, weil die Sprödigkeit der Glanzkohle bei der Kohlegewinnung die Anreicherung unterstützt. Trotzdem genügt die Backfähigkeit, selbst bei relativ hohem Gehalt an Glanzkohle nicht, um bei der Schwelung bei niedriger Temperatur einen festen Koks zu erzeugen, so daß es unerläßlich ist, diese Feinkohle zu brikettieren und die Briketts zu schwelen. Die Stückfestigkeit der Briketts ist dann wiederum abhängig von der Verkokungstemperatur, je höher diese ist, um so stück- und abriebfester wird das Koksbrikett.

Es sei hier noch bemerkt, daß diese verhältnismäßig noch jungen Kohlen mit ihrer an sich geringen Backfähigkeit durch langsame Verkokungsgeschwindigkeit ihre Verkokungsfähigkeit völlig verlieren können.

Die nicht backenden oder nur sehr schwach backenden geologisch noch jungen Kohlen erweichen bei der Erhitzung praktisch nicht, weil sie überwiegend aus Mattkohle bestehen, und es tritt auch keine Veränderung ihrer Form ein außer einem mehr oder weniger starken Schrumpfen bei der Schwelung bzw. Verkokung. Man kann bei derartigen Kohlen also auch nicht von einer Verkokung im eigentlichen Sinne reden, es findet vielmehr eine Entgasung statt. So, wie die Stücke in den Ofen eingefüllt werden, kommen sie wieder heraus, falls sie nicht durch mechanische Einwirkungen zerkleinert werden oder zerfallen. Die Güte des aus Nußkohlen erzeugten Schwelkoks hängt zum größten Teil von der petrographischen Zusammensetzung der Ausgangskohle ab. Enthält diese einen hohen Anteil an Mattkohle mit muscheligem Bruch, die sich durch hohe Festigkeit auszeichnet, so ist der feste Zusammenhalt des Schwelkoks gewährleistet. Überwiegt der Anteil an Glanzkohle und enthält diese wenig Schmelzbitumen, so fällt ein großer Teil des Schwelkoks als Unterkorn an. Bei Streifenkohlen mit geringem Bitumengehalt der Glanzkohle führt der an sich nur lockere Zusammenhalt der Kohle bei der Schwelung zur Sprengung der Anteile voneinander und des Glanzkohlenanteiles unter sich.

Stärker backende Nußkohlen backen wegen ihres hohen Glanzkohlenanteiles mehr oder weniger zusammen und lassen sich daher nicht als Nüsse verschwelen. Werden sie bis zu ihrem Aufschluß, d. h. bis zur Breite der Streifen — etwa 2 mm — aufgemahlen, so erhält man ein gutes Ausgangsmaterial für die Brikettierung. Durch die Aufmahlung wird die Kohle gewissermaßen homogenisiert, die Glanz-, Matt- und Faserkohlenanteile werden in ihre Grundstrukturen aufgelöst, im Gefüge gleichmäßig verteilt, und die Glanzkohle erfährt durch die schwach backende Mattkohle und die nicht backende Faserkohle eine natürliche Magerung. Während das Gewicht des Koks aus geschwelten Nüssen nur etwa 70 bis 80 % desjenigen der Einsatzkohle beträgt, wird durch das Brikettieren ein wesentlich höheres Schüttgewicht des geschwelten Briketts erzielt, ähnlich dem des Zechen- oder Gaskoks. Es erklärt sich das daraus, daß Nußkohlen beim Schwelen zwar im Gewicht alle abgespaltenen Teile wie Wasser, Teer und Gas verlieren, sich dabei aber in ihrer Form nur unwesentlich verändern, während Briketts bedeutend stärker schrumpfen und einerheblich dichteres Gefüge aufweisen.

Unverkennbar vereinigt die Verschwelung der Kohle in Brikettform so mancherlei Vorzüge, so daß sich das Interesse mehr und mehr den hierdurch gegebenen Möglichkeiten einer Lösung des Schwelproblems zuwendet. Sowohl mäßig backende Kohlen wie Mischungen aus solchen verschiedener Backfähigkeit ergeben, wie die Versuche erwiesen, bei geeigneter Schwelweise ein Brikett von guter Festigkeit. Das Schwelbrikett fällt in genormter Form an und es lassen sich verschiedene Korngrößen herstellen. Bei der Größe des Korns ist jedoch zu beachten, daß, je größer das Korn, um so größer das Zeitelement zur restlosen Entteerung des Briketts sein muß. Gleichmäßiges Korn ist feuerungstechnisch ein großer Vorzug. Infolge der starken Verdichtung der Kohle durch den

Preßvorgang und infolge ihres Schrumpfens im Schwelprozeß haben die Schwelbriketts ein bedeutend höheres Schüttgewicht als der aus backender Feinkohle und nicht backenden Nußkohle erzeugte Schwelkoks. Absatzseitig ist das Transportproblem beim Schwelkoks von allergrößter Bedeutung, ein Umstand, dem bislang nicht immer die ihm gebührende Beachtung beigemessen worden ist. Infolge des gegenüber Koks etwas geringeren Schüttgewichtes erhöhen sich die Transportkosten, welche, wenn auch in geringerem Maße, ungünstig auf den Preis des Schwelkoks einwirken.

Bislang lagen die Feinkohlen mit ihrem Einstandspreis am niedrigsten, während die Nußsortimente am teuersten waren, dadurch erhöht sich der Anreiz zur Brikettierung von Feinkohlen, wofür immerhin Kosten in Höhe von mindestens RM 4.— je t in Ansatz zu bringen sind. Da infolge des geringen Arbeitsaufwandes die Förderkohlen voraussichtlich am billigsten sein werden, wäre zu erwägen, gegebenenfalls auf diese zurückzugreifen. Die Verarbeitung der Förderkohle hätte zugleich den großen Vorteil, daß hier die drei Gefügebestandteile Glanz-, Matt- und Faserkohle noch in dem gleichen Mischungsverhältnis vorhanden sind, wie sie im Flöz bestehen. Bei der Verarbeitung der Kohle über die Brikettierung ist es wesentlich, daß möglichst die Kohlenstreifen des Flözes, die das größte Backvermögen besitzen, erhalten bleiben. Bei der Sortierung der Kohlen gehen vorwiegend die Faserkohleninteile in die Feinkohle über, insofern diese Kohle die geringste mechanische Festigkeit besitzt. Durch die Vermahlung werden die einzelnen Kohlenarten, wie schon gesagt, innig miteinander gemischt, so daß die nicht backenden Kohlenanteile von den backenden mit eingebunden werden. In die Feinkohle geht im übrigen auch der größte Anteil der Asche, weshalb die Briketts teilweise auch einen unverhältnismäßig hohen Aschengehalt aufweisen, während der Aschengehalt bei Vermahlung von Nüssen aus demselben Flöz nur etwa 6 bis 7 % beträgt. Naturgemäß leidet auch unter hohem Aschengehalt die Festigkeit der Briketts. Im übrigen sind aber auch Aschengehalte in Höhe von 17 bis über 20 %, wie sie die Analysen aufweisen, vom Verbraucherstandpunkt aus gesehen, abzulehnen.

Abschließend wird noch erwähnt, daß Verfasser die Fragen und Eigenschaften, welche den Schwelteer betreffen, hier ganz außer Betracht gelassen hat, weil sie über den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen.

Die mit der erneut einsetzenden Entwicklung der Steinkohlenschwelung zusammenhängenden Fragen sind auf Grund zahlreicher eigener Untersuchungsergebnisse in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht umrissen. Es ist zu erkennen, daß die Erzeugnisse beim Betrieb der neuzeitlichen Schwelverfahren in günstiger Beschaffenheit anfallen und eine gute Aufnahme finden. Die Wege für eine Entfaltung der Steinkohlenschwelung in großtechnischem Ausmaß sind nunmehr geebnet und lassen erwarten, daß sich die Erzeugnisse vorteilhaft in die deutsche Wirtschaft eingliedern werden.

Feuerungstechnische Erfahrungen mit Schwelkoks.

Von Dipl.-Ing. H. Paul, Vereinigung der Großkesselbesitzer, Berlin, vorgetragen von der Brennkrafttechnischen Gesellschaft E.V., im Fachausschuß für Feuerungen, am 3. April 1941.

Die Herstellung synthetischer Kraftstoffe hat durch den Krieg über ihre friedensmäßige Aufgabe im Rahmen unser nationalen Eigenwirtschaft hinaus schlagartig an Bedeutung gewonnen. In diesem Zusammenhang erfordert die Verwendung des anfallenden Schwelkokses besondere Beachtung, da hiervon die Wirtschaftlichkeit der Kraftstoffgewinnung entscheidend beeinflußt wird.

Der Vergleich der Schwelkokseigenschaften und Zusammensetzung mit denen der Braunkohle zeigt überzeugend, daß es sich hierbei keineswegs um ein Abfallprodukt handelt, sondern vielmehr um einen hochwertigen Brennstoff. Einem unteren Heizwert der Braunkohle von 2300 bis 2500 kcal/kg steht je nach der Aufbereitung ein solcher des Schwelkokses von rd. 5000 kcal/kg und mehr gegenüber, während der mittlere Heizwert der Reinkohle 8000 und mehr erreicht. Der untere Heizwert liegt je nach der Herkunft des Kokses und seiner Verarbeitung zwischen 4000 bis 6400 kcal/kg.

In Anbetracht der derzeitigen Bedeutung der Schwelkoksverfeuerung hat es die Brennkrafttechnische Gesellschaft übernommen, die vorliegenden Erfahrungen mit der Verfeuerung von Schwelkoks in den verschiedensten Werken zu erfassen. Die Ergebnisse dieser Rundfragen, die durch die Erfahrungen bei der Vereinigung der Großkesselbesitzer ergänzt werden können, sollen nachstehend zu einem kurzen Bericht zusammengefaßt werden. In diesem Zusammenhang soll auch erwähnt werden, daß die Vereinigung der Großkesselbesitzer bereits 1937 erstmalig auf Grund der seinerzeitigen Erfahrungen die Frage der Schwelkoksverfeuerung in Dampfkesselanlagen aufgegriffen hat. Die Untersuchung erstreckt sich lediglich auf Braunkohlenschwelkoks, dem in Anbetracht der großen anfallenden Menge auch die größere Bedeutung beizumessen ist, zumal Steinkohlenschwelkoks für Kesselfeuerungen bisher kaum in Betracht kam und Erfahrungen mit der Verfeuerung dieses Brennstoffes über längere Betriebszeiten zur Zeit noch nicht vorliegen.

Eines der hauptsächlichsten Kennzeichen des Schwelkokses ist, wie bereits erwähnt, die Erhöhung des Heizwertes im Verhältnis zu dem seiner Ursprungskohle. Eine Gegenüberstellung einer Kohbraunkohle und eines Schwelkokses zeigt Tafel 1. Die verbrennungstechnischen Eigenschaften sind infolge der großen Reaktionsgeschwindigkeit, außerordentlich günstig. Die Zündung setzt in Anbetracht des niedrigen Zündpunktes von 250 bis 300° C sehr frühzeitig ein. Der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen in Höhe von 10 bis 22 % ist kein unmittelbares Maß für die Zünd- und Verbrennungseigenschaften, da der poröse Koks begierig Sauerstoff aufnimmt und dadurch die Verbrennung ganz offensichtlich fördert.

Der zur Zeit hohe Wassergehalt des handelsüblichen Kokses ist bei der hohen Aktivität bedingt durch die Anforderungen, die an Lagerungs- und Versandfähigkeit gestellt werden müssen. Während bei einer unmittelbaren Kupplung des Schwelwerkes mit dem Verbraucher eine Anfeuchtung und damit Inertisierung bis zu 2 bis 3 % Wasser genügt, macht der Versand über größere Entfernungen sowie auch die längere Lagerung zur Vermeidung von Selbstentzündungen einen Wassergehalt von 15 bis 20 % erforderlich, mit dem die Feuerung und auch die Versandkosten notwendigerweise belastet werden müssen. Die Höhe des erforderlichen Wassergehaltes kann selbstverständlich je nach der Aktivität des Koks und seiner Körnung sehr unterschiedlich sein. Da es sich im wesent-

lichen darum handelt, die Oberfläche durch Aufnahme von Wasser abzuschließen, kann der Feuchtigkeitsgehalt mit zunehmender Korngröße entsprechend geringer werden.

Mit der Verschwelung steigt der Aschegehalt je nach dem Schwelverfahren auf den 2- bis 4fachen Anteil der Rohkohle und erreicht damit Werte von 15 bis 40%, was bei der Wahl der Feuerungen und ihrer Auslegung berücksichtigt werden muß. Die verhältnismäßige Zusammensetzung und Eigenschaften der Asche sind in ihren Grundzügen gleich denen der Rohkohle, was auch für das Schmelzverhalten zutrifft. Für die feuerungstechnische Eignung eines Kokses ist die Körnung sehr wesentlich, die ihrerseits wieder durch das Aufbereitungsverfahren bedingt ist. Die unmittelbare Verarbeitung der Roh- oder Trockenkohle liefert ein verhältnismäßig feines Korn in der Größenordnung von 0 bis 5 mm, wobei 20 bis 40% unter 1 mm liegen. Wird die Kohle jedoch auf Strangpressen brikettiert, so ergeben sich größere Körnungen, wenn auch ein weitgehender Zerfall des Briketts im Ofen und bei dem weiteren Transport eintritt. Die Zahlentafel 2 zeigt die Kennlinie eines derartigen Kokses. Erst durch Einführung der Krupp'schen Ringwalzenpressen in Verbindung mit der Mahltrocknung von Lurgi wurde ein standfestes Brikett erreicht, das einen Stückkoks mit etwa 40 bis 50% Korn über 10 mm liefert und unter dem Namen „Brikozit" in den Handel kommt. Zahlentafel 2 zeigt in den Spalten C und D die Körnung zweier verschiedener Brechkokse, wie sie bei der unmittelbaren Verarbeitung der Roh- bzw. Trockenkohle anfällt. Für Kesselfeuerungen kommt Stückkoks zur Zeit in Anbetracht des noch verhältnismäßig geringen Anfalles nur in wenigen Fällen in Anwendung, zumal er ein hochwertiges Ausgangsprodukt für die Vergasung darstellt.

Rostfeuerungen.

Der Braunkohlenschwelkoks findet für Rostfeuerungen in einer größeren Zahl mitteldeutscher Industrieanlagen auf Grund der fabrikmäßig günstigen Lage zu den Schwelwerken Verwendung. Dabei handelt es sich um Anlagen mittlerer Größe, bedingt durch die Eigenart der Betriebe. Wie bereits gesagt, werden diese Werke fast ausschließlich mit Grudekoks beliefert und darüber hinaus auch in einzelnen Fällen mit Hartkoks bis zu 30 mm Korngröße.

Trotz der hohen Reaktionsfähigkeit erfordert die Verfeuerung auf dem Rost auf Grund der dichten Schüttung des Kokses grundsätzlich eine unterteilte und gut geregelte Dosierung der Verbrennungsluft, da andernfalls die Zündung erschwert wird oder abreißt. Diese Nachteile brachten die ersten Feuerungsversuche auf Rosten mit dem seinerzeit anfallenden Grudekoks auch größtenteils zum Scheitern. Erst die Verfeuerung auf Unterwind-Zonenwanderrosten (Abb. 1), bei denen die erwähnten Forderungen erfüllt sind, führte zu einem Erfolg. Eine Unterteilung in mehrere Zonen, etwa 3 bis 5, hat sich als vorteilhaft erwiesen. Nur in einer Anlage wurde ein Schwelkoks von 1 bis 30 mm Körnung längere Zeit auf einem Unterwindrost mit nur einer Zone befriedigend verfeuert. Trotzdem entschloß man sich später zum Einbau einer zweiten Zone. Der hohe Feinkornanteil und die demzufolge dichte Schüttung erfordern eine Begrenzung der freien Rostfläche auf etwa 2 bis 8%. Der Rostspalt beträgt dabei 0,5 bis höchstens 1 mm. Es war erforderlich, hierfür in Anlehnung an die Erfahrungen mit der Verfeuerung von magerer Feinkohle besondere Roststäbe zu entwickeln. Hierzu gehört auch der sogenannte durch-

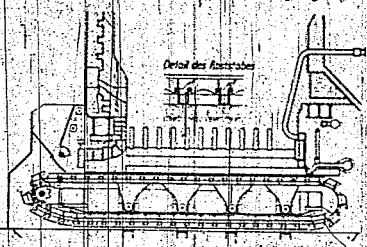


Abb. 1. Unterwind-Zonenwanderrost (Babcockwerke).

fallfreie Rostbelag, wie ihn beispielsweise die Firma Weck (Abb. 2) baut und auch die KSG. als Schuppenrost (Abb. 3). Mit diesen Maßnahmen konnte der Rostdurchfall bei Grudekoks wesentlich herabgesetzt werden, andererseits aber bewirkt die hohe notwendige Unterwindpressung eine starke Aufwirbelung des Feinkornes, zumal der Koks keine Backfähigkeit besitzt, so daß die Verbrennung mehr oder weniger in der Schwebe erfolgt, der Ausbrand ist demzufolge recht unbefriedigend und macht eine Rückführung des Flugkokses notwendig, um in wirtschaftlichen Grenzen zu bleiben. Mit dieser Maßnahme gelingt es, den Ausbrandverlust auf unter 5% herabzusetzen, während ohne Rückführung zum Teil höhere Verluste gemessen wurden. Darüberhinaus macht der erhöhte Flugaschenauswurf bei Verfeuerung von Schwelkoks, der im Zusammenhang mit der größeren Aschenmenge steht, in der Regel den zusätzlichen Einbau von Staubabscheidern notwendig.

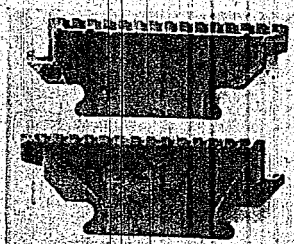


Abb. 2. Durchfallfreier Roststab (Ausführung Weck).

Bei der Ausbildung des Feuerraums muß darauf Rücksicht genommen werden, daß das Feinkorn, wie bereits gesagt, aufgewirbelt wird und in der Schwebe verbrennt. Demzufolge muß die Brennkammer genügend hoch sein, um einen vollkommenen Ausbrand auf dem Wege bis zum Eintritt in die Berührungsheizfläche zu erreichen. Andernfalls treten Nachverbrennungen innerhalb der Berührungsheizflächen ein, die besonders im Überhitzer zu starken Verschlackungen führen können. Die Brennkammerbelastung muß daher in mäßigen Grenzen gehalten werden, so daß die Rauchgas-Austrittstemperatur mit Sicherheit unterhalb des Entweichungsbeginns der Asche liegt. Die ausreichende Absenkung der Rauchgastemperatur in der Brennkammer ist nur eine Frage der Wärmeabgabe an die Strahlungsheizflächen. Die Seitenwandkühlflächen sind demzufolge so reichlich auszulegen, daß die erforderliche Wärmeabfuhr gewährleistet ist. Es hat sich in der Praxis in Übereinstimmung mit diesen theoretischen Überlegungen bestätigt, daß für die Verfeuerung von Schwelkoks grundsätzlich die Anordnung großer Kühlflächen zweckmäßig ist. Mit der Einführung hochbelasteter Strahlungsheizflächen werden Eisenaufwand und Anlagekosten zugleich herabgesetzt. Eine weitere Maßnahme zur Verbesserung des Ausbrandes ist in der Zuführung von Zweitluft zu sehen, da hierdurch eine gute Durchmischung von Luft und Brennstoff erreicht wird.

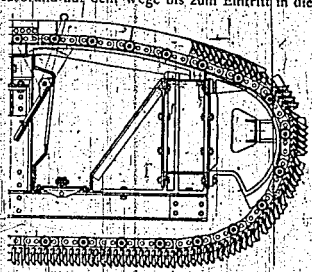


Abb. 3. KSG. Schuppenwanderrost.

Bei den Rostfeuerungen, die mit Schwelkoks arbeiten, überwiegt der Unterwindzonenwanderrost, wobei bemerkt werden muß, daß diese Kessel fast ausschließlich ursprünglich nicht für Schwelkoks ausgelegt waren, sondern erst im Laufe ihrer Betriebszeit mit dem Anfall größerer Schwelkoksmengen hierzu übergegangen sind, da in der Verwendung von Schwelkoks mit Recht ein wirtschaftlicher Anreiz gesehen wurde. Bei der breiten Brennstoffbasis, die dieser Rost besitzt, war der Übergang von Steinkohlen oder Braunkohlenbriketts zum Schwelkoks in den meisten Fällen ohne jeden Umbau oder mit nur ge-

ringfügigen Änderungen möglich, soweit der Rostbelag den Erfordernissen entsprach. Schwierigkeiten machte lediglich die seitliche Abdichtung, da bei dem hohen Anteil an Feinkorn ein erhöhter Verschleiß der Ketten eintrat und durch die Lässigkeitsverluste verschiedentlich ein Klemmen der Ketten herbeigeführt wurde. Eine zweckmäßige Ausführung, die auch bei Verwendung von Grudekoks diese Schwierigkeiten vermeiden läßt, zeigt die folgende Abbildung 4.

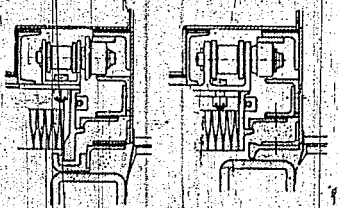


Abb. 4. Seitliche Abdichtung (Ausführung Steinmüller).

Weiterhin muß den infolge der Körnung im Gegensatz zu anderen Brennstoffen erhöhten Durchfall- und Schlackenmengen Rechnung getragen werden. Es empfiehlt sich daher, auf jeden Fall Schlacke und Durchfall bei längerer Lagerung Schwelnester bilden (Abb. 5).

Wie Vergleichsmessungen und die Angaben der Betriebe zeigen, ist auch in wärmewirtschaftlicher Beziehung durch die Umstellung auf Schwelkoks keine Verschlechterung eingetreten, da die Zunahme der Ausbrandverluste durch die Verminderung der Abgasverluste reichlich ausgeglichen wird. Der hohe CO_2-Gehalt, der bei Verfeuerung von Schwelkoks gefahren werden kann, hat in Verbindung mit der Herabsetzung der Rauchgasmenge sogar in vielen Fällen zu einer so wesentlichen Verminderung der Abgasverluste geführt, daß eine Verbesserung des Kesselwirkungsgrades erreicht wurde. Bei guter Feuerführung und zweckmäßiger Ausbildung des Rostes wurden Wirkungsgrade von 80 bis 82% und darüber erreicht.

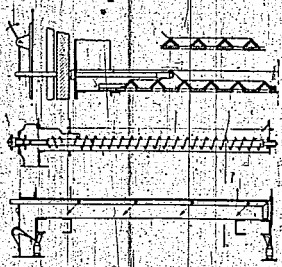


Abb. 5. Entfernung der Durchfallkohle.

Im allgemeinen konnte auch die Kesselleistung ausgefahren werden, in einigen Fällen sogar gesteigert, da die Zugverhältnisse bei den geringsten Gasmengen eine höhere Belastung zuließen. Nur bei Kesseln mit ungenügender Strahlungsheizfläche oder zu kleinen Verbrennungsräumen mußte eine Einschränkung in Kauf genommen werden, bedingt durch die starke Verschmutzung, die infolge der erhöhten Brennkammertemperatur und der Verschlackung infolge der Nachverbrennungen auftrat.

So traten beispielsweise an einem Kessel für 12,5 t/h bei Rostbelastungen von 0,9 × 10^6 kcal/m²h bei 300000 kcal/m³h Brennkammerbelastung gewisse Schwierigkeiten durch Verschlackung der Berührungsheizflächen ein, da die Kühlflächen der Brennkammerwände mit 31m² bei einer Teilung von 290 mm offensichtlich zu klein waren. Die Eigenschaften des verwendeten Kokses (Regis-Breitingen) sind im allgemeinen gut und haben anderenorts keine Schwierigkeiten bereitet. An einem Kessel gleicher Leistung zeigten sich bei einer Brennkammerbelastung von 250000 kcal/m³h und einer Kühlfläche von 50 m² keinerlei Anstände. Diese Ergebnisse bestätigen die Forderung nach mäßigen Brennkammerbelastungen in der Größenordnung von etwa 250000 kcal/m³h und reichlicher Bemessung der Kühlflächen. Die erreichten Rostleistungen bewegen sich im allgemeinen zwischen 0,8 und 1,0 × 10^6 kcal/m²h, wobei Spitzenwerte von 1,3 bis 1,5 kcal/m²h ohne Schwierigkeiten gefahren wurden.

58

Die wirtschaftliche Grenze für die Rostbelastung ist im allgemeinen in Abhängigkeit von dem Feinkornanteil durch den Flugkoksverlust gegeben, wie die Abbildung 6 zeigt

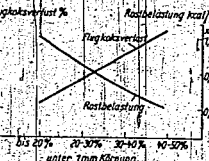


Abb. 6. Rostbelastung und Flugkoksverluste.

Der Rostverschleiß ist außerordentlich gering da die Stabtemperatur bei Verfeuerung von Schwelkoks niedriger ist als beispielsweise bei Steinkohle. So wurden Betriebszeiten bis 20000 h und mehr erreicht.

Gute Ergebnisse wurden ferner mit einem Pilz-Wanderrost von 16,8 m² der Firma Möller, Brackwede, erzielt, der über längere Zeit mit Grudekoks von 6000 H$_u$ und 5 % Wasser arbeitete. Die Belastung des Rostes erreichte 230 bis 250 kg/m²h, was 1,38 bis 1,5 × 10^6 kcal/m²h entspricht. Der Durchfall war sehr niedrig und der Verschleiß des Rostes außerordentlich gering.

Weitere Erfahrungen liegen mit Schürrosten vor. Bei derartigen Bauarten muß jedoch mit Rücksicht auf den geringen Böschungswinkel der Kohle eine ebene oder nur mit höchstens 10° geneigte Ausführung gewählt werden. Bei größerer Neigung führt das Fließen des Brennstoffes zu einer Überschüttung und damit zum Abreißen der Verbrennung.

Unter einem 10-t-Kessel wird auf einem mechanischen Topfgegenschubrost von 15,5 m² Schwelkoks der Braunkohlenwerke Brockdorf A.-G. seit vielen Jahren mit bestem Erfolg verfeuert. Der Koks hat einen Wassergehalt von 25 bis 35 %, der als Schutz gegen Staubbelästigung und übermäßigen Flugaschenauswurf dienen soll. Der Aschenanteil beläuft sich auf rund 16 % und der untere Heizwert auf 3900 bis 4000 kcal/kg. Entsprechend dem Anteil von 16 % flüchtigen Bestandteilen ist die Zündung befriedigend. Trotz der feinen Körnung — rd. 90 % unter 4 mm — kann der Rost mit einer Schichthöhe von etwa 400 mm bei einer Belastung von 0,7 × 10^6 kcal/m²h betrieben werden. Die Luft wird durch Seitenwandkanäle angesaugt und dabei auf 80 bis 100° C vorgewärmt, was keine Schwierigkeiten ergeben hat. Der hohe Feinkornanteil erfordert jedoch sehr große Zweitluftmengen. Im übrigen ist die Brennkammer ungekühlt und wird mit etwa 240000 kcal/m³h belastet. Nichtdestoweniger ergibt sich dabei in Anbetracht der kleinen Leistung ein günstiger Ausbrand. Die Verluste liegen zwischen 3 und 4 %. Der Kesselwirkungsgrad wurde zu 79,3 % bestimmt.

Vor einigen Jahren hat die Firma Rheinmetall-Borsig ebenfalls einen Schürrost herausgebracht, bei dem der Vorschub durch gegenläufige Bewegung der Rostplatten erreicht wird, so daß eine ständige Schürbewegung erfolgt. Der Rost ist verhältnismäßig flach, so daß ein Überschütten bzw. Fließen vermieden wird. Bei Verfeuerung von Schwelkoks der Riebeck-Montanwerke würde damit eine Rostbelastung von 0,62 × 10^6 kcal/m²h erreicht. Der Durchfall war mit 0,05 % außerordentlich gering, jedoch die Ausbrandverluste mit 5,3 % wohl etwas höher als üblicherweise bei Zonenwanderrosten. Trotzdem kann der Kesselwirkungsgrad mit 82,5 % als recht gut bezeichnet werden.

In neuester Zeit werden Versuche mit der Verfeuerung von Schwelkoks auf Martinrosten durchgeführt, die bisher zu recht günstigen Ergebnissen geführt haben. Die Versuche sind jedoch noch nicht abgeschlossen, so daß über Einzelheiten noch nicht berichtet werden kann.

Mühlen- und Staubfeuerungen.

Grundsätzlich mehr Schwierigkeiten als Rostfeuerungen bietet die Staub- und Mühlenfeuerung bei Verbrennung von Schwelkoks. Dabei muß berücksichtigt werden, daß es sich zunächst auch hier um Umstellungen vorhandener Feuerungen handelte, die meistens für Rohbraunkohle ausgelegt waren.

Der Schwelkoks unterscheidet sich in seinen feuerungstechnischen Eigenschaften und Kennzeichen wesentlich von der Braunkohle, so beispielsweise in Heizwert, Luftbedarf, Aschenmenge, so daß auch seine Verbrennung in der Schwebe andere Anforderungen stellt. Entsprechend dem Heizwert und geringeren Luftbedarf liegt die Brennkammertem-

peratur höher als bei Verbrennung von Braunkohle, und zwar wie bei allen Vergleichsversuchen festgestellt wurde, um rd. 100 bis zu 300° C (Tafel 3). Die Wärmeübertragung durch Strahlung und zum Teil auch Berührung in der Brennkammer wird durch die Änderung in der Gasmenge und Zusammensetzung, wobei die Verminderung des Wassergehaltes eine Rolle spielt, herabgesetzt. Infolgedessen liegt die Temperatur der Rauchgase bei Austritt aus der Brennkammer ebenfalls höher als bei Braunkohle. Bei den für Braunkohle ausgelegten Kesseln wurde daher nach dem Übergang zum Schwelkoksbetrieb in der Regel die Erweichungstemperatur der Asche überschritten, was in verhältnismäßig kurzer Betriebszeit zu starken Verschlackungen führte und häufig Betriebsunterbrechungen oder Einschränkungen der Belastung notwendig machte.

Mit den vorhandenen Mühlen, die für die Vermahlung von Braunkohle bestimmt waren, war ferner in manchen Fällen nicht die nötige feine Ausmahlung zu erreichen, die das Schwelkoksfeuer auf Grund seiner längeren Brenndauer erfordert. Die Verschlackung wurde daher durch Nachverbrennungen nicht begünstigt. So führten die ersten Versuche mit diesem Brennstoff bei Mühlenfeuerungen zum Teil zu Ausbrandverlusten von 10 bis 12 %. Der Verschleiß der Mahlteile belief sich entsprechend der Härte des Brennstoffes in Verbindung mit der notwendigen feinen Ausmahlung auf ein Vielfaches desjenigen bei Vermahlung von Braunkohle.

Diese Ergebnisse waren so abschreckend, daß manche Betriebe wieder zur Rohbraunkohle zurückkehrten, dagegen haben neuere Anlagen, abgesehen von der Notwendigkeit der Schwelkoksverfeuerung, hierin bei geeigneter Aufbereitung und richtiger Auslegung der Feuerung nach wie vor einen wirtschaftlichen Vorteil. Auf Grund der fortschreitenden Erkenntnisse und Erfahrungen wurden diese Anlageteile den Anforderungen des neuen Brennstoffes mehr und mehr angepaßt, bis schließlich auch günstige Betriebsergebnisse erreicht werden konnten. Trotz der Vielzahl kleinerer Betriebe mit Rostfeuerungen, die zur Verfeuerung von Schwelkoks übergegangen sind, liegt daher der Schwerpunkt des Absatzes in wenigen Großanlagen, die mit Staub- oder Mühlenfeuerung arbeiten. Diese Tatsache ist jedoch nicht der besonderen Eignung der Staub- oder Mühlenfeuerung für die Verbrennung von Schwelkoks zuzuschreiben, sondern lediglich durch die Größe der Kesseleinheiten bedingt, deren Leistung 100 bis 200 t/h beträgt, so daß sowohl aus baulichen als auch feuerungstechnischen Erwägungen heraus für diese Kessel nur Staub- bzw. Mühlenfeuerungen möglich waren. Diese Werke sind andererseits fast ausschließlich mittelbar oder unmittelbar mit der Schwelerei verbunden.

Die Entwicklung erstreckt sich einmal auf die Gestaltung und Auslegung der Brennkammer und zum anderen auf die zweckmäßige Vermahlung des Schwelkokses.

Bei der Gestaltung und Bemessung der Brennkammer ist grundsätzlich zu beachten, daß die Kühlflächen so zu bemessen sind, daß ihre Wärmeaufnahme unter allen Umständen die Brennkammerendtemperatur der Rauchgase unter die des Erweichungsbeginns der Asche absenkt. Erfahrungsgemäß sollen die Brennkammerwände so dicht berohrt sein, daß eine Kühlziffer von mindestens 0,75, besser noch 0,9 erreicht wird.

In Anpassung an die jeweilige Ausmahlung muß der Brennweg und damit die Brennkammergröße einen restlosen Ausbrand auch des gröbsten Kornes gestatten. Eine Abstimmung zwischen der Mühlen- und Brennkammerauslegung ist also erforderlich. In engem Zusammenhang hiermit steht auch die Frage der Anlage- und späteren Betriebskosten. Je feiner nämlich ein Brennstoff ausgemahlen wird, um so kleiner ist seine Brenndauer und um so kleiner kann damit auch die Brennkammer ausgeführt werden. Die Anlagekosten können damit selbstverständlich unter Umständen nicht unwesentlich gesenkt werden. Der Verminderung der Anlagekosten einerseits steht aber andererseits die Erhöhung der Betriebskosten gegenüber, die durch die feinere Ausmahlung bedingt ist. Es bedarf also einer sorgfältigen Abstimmung, um unter gegebenen Verhältnissen den wirtschaftlichsten Bestpunkt unter Berücksichtigung von Anlage- und Betriebskosten zu bestimmen. Es zeigt sich jedoch, daß bei einer hohen Benutzungsdauer ebenso wie in vielen anderen Fällen der Einfluß der Betriebskosten überwiegt. Als Richtwert für die Ausmahlung kann auf Grund wirtschaftlicher Überlegungen und Erfahrungen ein Rückstand von 15 bis etwa 18 % auf DIN 30 bei Verfeuerung von Schwelkoks angegeben werden, während bekanntlich für

Rohbraunkohle der Bestpunkt bei etwa 30 % Rückstand auf dem gleichen Sieb liegt. Weiterhin ist in diesem Zusammenhang unter Umständen entscheidend, welche Kleinlast aus betrieblichen Gründen mit der Kesselanlage gefahren werden muß, da die Aufrechterhaltung einer sicheren Zündung bei starker Kühlung der Brennkammer und niedrigen Belastungen unter Umständen in Frage gestellt ist.

Die Zerkleinerung des harten Schwelkokskornes erfolgt zweckmäßiger durch planmäßige Mahlung zwischen den Mahlkörpern als durch Zertrümmerung mittels Schlag. Langsamlaufende Mühlen, deren Mahlteile aufeinander abgewälzt werden, sind daher besser geeignet als schnellaufende Schlägermühlen, was auch aus den Kennlinien ganz augenscheinlich hervorgeht (Abb. 7). Die Kornfeinheit ist nun nicht allein eine Frage der Mahlung, sondern auch der Sichtung. Auf Grund ihrer Eignung für schwermahlbare Brennstoffe sind langsam laufende Mühlen, wie Rohrmühlen, Loeschemühlen und dergleichen, ganz allgemein mit Sichtereinrichtungen ausgerüstet, während bei der Schlägermühle als Einblasemühle nur die Geschwindigkeit im Mahlschacht und die Höhe des Mahlschachtes die Feinheit des ausgetragenen Kornes beeinflussen kann. Mit der zunehmenden Erkenntnis der Bedeutung einer sorgfältigen Sichtung wurden auch bei Schlägermühlen entsprechende Maßnahmen getroffen. So beispielsweise werden heute Prallwinkel und

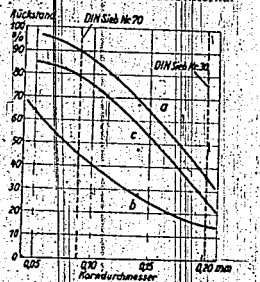


Abb. 7. Siebanalysen von Schwelkokssiebung.
a Krämer-Mühle
b Rohr-Mühle
c Bunker

Lenkbleche oder dergleichen eingebaut, die eine Ausscheidung des groben Kornes bewirken sollen (Abb. 8). Eine wirksame Verbesserung der Mahlfeinheit und damit der Kennlinien von Schlägermühlen wurde durch Verminderung der Querschnittsbelastung erreicht, die ursprünglich 6 bis 8 t/m²h betrug und heute selbst bei Braunkohlen mit schwierigen Verbrennungseigenschaften auf 5 t/m²h liegen. Damit konnten die Kennlinien derartiger Mühlen denen von Langsamläufern einigermaßen angeglichen werden.

In diesem Zusammenhang muß auch die KSG-Naßkohlenfeuerung erwähnt werden, die zwar mit einer Schlägermühle arbeitet, aber mit Sichter ausgerüstet ist, der eine gute Anpassung an die Anforderungen des Schwelkoksbetriebes, bezüglich der Mahlfeinheit gewährleistet.

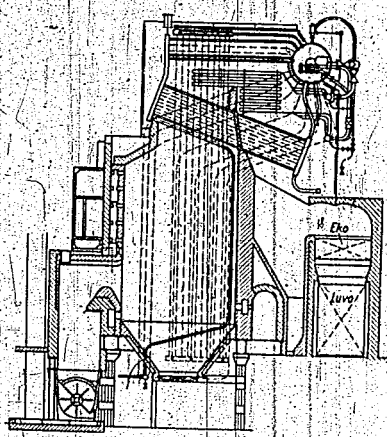


Abb. 8. Teilkammerkessel 55 atü, 30 t/h mit Mühlenfeuerung für Rohbraunkohle.

61

Infolge der großen Härte des Mahlgutes geht die Leistung einer Mühle im Vergleich zu Braunkohle, bezogen auf gleiche Ausmahlung, erheblich zurück. Wie sich bei Versuchen gezeigt hat, beträgt der Leistungsrückgang beispielsweise bei einer Rohrmühle bis zu 50 %. Eine weitere Verminderung tritt durch die erforderliche feinere Ausmahlung ein. Abgesehen davon, daß bei Schlägermühlen, die als Einblasemühlen arbeiten, die erforderlichen Sichtereinrichtungen zur Erreichung einer genügend feinen Ausmahlung nicht vorhanden waren, konnte bei der Umstellung auf Schwelkoks die erforderliche Mahlfeinheit oft gar nicht erreicht werden, da die Mühlenantriebe nicht über die genügende Reserve verfügten. Im Zusammenhang mit der Temperaturerhöhung bei Schwelkoksfeuerungen traten infolgedessen verschiedentlich erhebliche Schwierigkeiten durch übermäßige Verschlackung der Brennkammern und Berührungsheizflächen auf.

An einer derartigen Anlage wurden die Verbrennungsverhältnisse ausführlich untersucht. Es handelte sich hierbei um einen Kessel mit einer Leistung von 50 t/h, dessen Brennkammer mit rd. 240000 kcal/m³h belastet ist. Die Seitenwände sind verhältnismäßig dünn berohrt. Die projizierte Kühlfläche beträgt 38,6 m², was einer Kühlziffer von ~ 0,44 entspricht. Die Abbildung 9 ergibt einen Überblick über die Verweilzeit und Branndauer in Abhängigkeit von dem Korndurchmesser. Aus der Gasgeschwindigkeit, die bei Verfeuerung von Schwelkoks 4,48 m/s im Mittel und bei Braunkohle 4,85 m/s im Mittel beträgt, ergibt sich nach Abzug der Schwebegeschwindigkeit (w_s) die eigentliche Geschwindigkeit (w_k), mit der das Staubkorn die Brennkammer durchläuft. Aus der Länge des Brennweges läßt sich somit die Verweilzeit des Kornes in der Brennkammer (t_v) bestimmen. Andererseits läßt sich auf Grund rechnungsmäßiger Überlegungen, die sich auf Versuche stützen, die erforderliche Branndauer in Abhängigkeit von der Korngröße bestimmen. Die Kurven sind ebenfalls in der Abbildung 9 eingetragen (t_B). Man kann auf Grund einer solchen Untersuchung mit hinreichender Genauigkeit feststellen, bis zu welcher Korngröße eine einwandfreie Verbrennung stattfinden kann. Im vorliegenden Fall liegt der Schnittpunkt der Verweilzeit und Brenndauer bei etwa 0,25 mm Korndurchmesser. Das bedeutet, daß ein größeres Korn in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht mehr vollständig ausbrennen kann, so daß Nachverbrennungen und dementsprechend Verschlackungen eintreten. Um bei der verlangten Belastung einen störungsfreien Dauerbetrieb zu gewährleisten, müßte im vorliegenden Falle somit die Ausmahlung so erfolgen, daß Anteile von mehr als 2 bis 3 % Staub über 0,25 mm nicht anfallen können. Nach den Kennlinien der verwendeten Mühlen, entspricht das einem Rückstand von etwa 15 bis 20 % auf DIN 30. Da auf Grund anderer Messungen angenommen werden kann, daß der Siebrückstand auf DIN 30 im vorliegenden Falle mindestens 40 % beträgt, sind die auftretenen Schwierigkeiten durchaus erklärlich. In diesem Falle könnte nur durch Vergrößerung der Kühlflächen bei gleichzeitig feinerer Ausmahlung ein Erfolg erwartet werden. Als Ziel dieses Umbaues müßte die Absenkung der Brennkammertemperatur unter den Erweichungsbeginn der Asche, der bei etwa 1000° C liegt, angesehen werden. Die Abbildung 10 zeigt die Ergebnisse einer Berechnung der Brennkammerendtemperatur für verschiedene Kühlflächen. Die größte Fläche, die ohne vollständige Änderung des Systems in der Brennkammer untergebracht werden kann, ergibt eine Kühlziffer von 0,632 im sauberen Zustand, die bei teilweiser Verschlackung auf 0,5 zurückgeht. Danach ließe sich der Kessel im Dauerbetrieb selbst bei einer Ausmahlung auf 15 % Rückstand auf DIN 30 nur mit 40 t/h belasten. Diese Überlegungen sollen

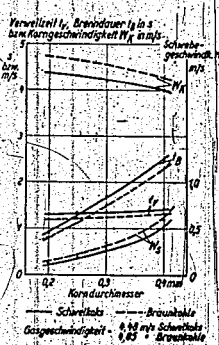


Abb. 9. Verweilzeit und Branndauer bei verschiedenen Korndurchmessern.

62

lediglich zeigen, daß die Brennkammerbelastung bei Verfeuerung von Schwelkoks in der Schwebe unter Berücksichtigung der Branndauer und der Ascheeigenschaften insbesondere ihres Schmelzverhaltens, bei der Planung sehr sorgfältig geprüft werden müssen. In diesem Zusammenhang sei auch betont, daß die Brennkammerbelastung kein absoluter Maßstab für eine feuerungstechnische Beurteilung ist, sondern nur in Verbindung mit der Kühlziffer eine Beurteilung erlaubt. Auf die Frage der Größenordnung und Brennkammerbelastung und Kühlziffer soll an späterer Stelle noch einmal eingegangen werden.

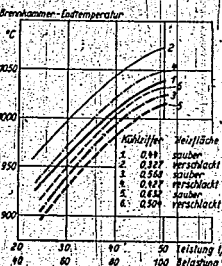


Abb. 10. Brennkammer-Endtemperaturen bei verschiedenen Kühlflächen und Belastungen.

Im Gegensatz zu der Rostfeuerung ist für Mühlen- und Staubfeuerungen der Feinkoks, also Grudekoks, vorzuziehen, der die Mahlarbeit herabsetzt, zumal er weicher ist als der grobkörnige Hartkoks. Einen derartigen feinkörnigen Koks, der sich zugleich durch hohe Reaktionsfähigkeit auszeichnet, liefern bekanntlich die Geissen-Öfen.

Von einer neueren Anlage, die mit Geissenkoks arbeitet, wurden mir freundlicherweise ausführliche Angaben über die bisherigen Betriebsergebnisse gemacht. Der von dem nahegelegenen Schwelwerk angelieferte Koks hat folgende Zusammensetzung:

Wasser höchstens	10 %	
Asche	rd. 32 %	
H_u	rd. 5100	kcal/kg
flüchtige Bestandteile	14 %	

Das Sintergebiet der Asche liegt zwischen 950 — 1210° C
das Schmelzgebiet 1220 — 1310° C
Fließtemperatur 1310° C

Der Schmelzfluß erfolgt also sehr plötzlich, jedoch liegt die Temperatur verhältnismäßig hoch.

Die Siebanalyse ergibt ein größeres Korn von 4 mm, höchstens 8 mm 55 % — 1.

Abb. 11 zeigt Aschenschmelzlinien nach Bunte-Baum.

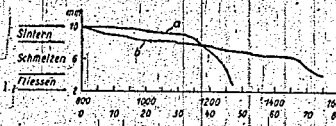


Abb. 11. Aschenschmelzlinien nach Bunte-Baum.
a = Durchschnittsaschenprobe der Rohkohle
b = Schwelkoks.

Der Kessel ist mit Schlägermühlen ausgerüstet und für Luftvorwärmung von 250 — 300° C ausgelegt. Bei der hohen Aktivität des Kokses, dessen Feuchtigkeit in der Regel nur 1 — 6 % beträgt, führten die Versuche, den Koks allein zu verfeuern, immer wieder zu Schwelestern und Bränden in den Mühlen. Es war daher anfänglich eine Mischung mit Braunkohle im Verhältnis 1 : 2 nötig.

Die Versuche, den Koks durch stärkere Anfeuchtung allein verbrennen zu können, führten bei mehr als 10 % Wasser auf Grund des hohen Feinkornanteiles zur Schlammbildung.

Ein einwandfreier Betrieb war erst nach Absenkung der Lufttemperatur vor den Mühlen auf 120/150° C bei einem Wassergehalt von 2 — 8 % möglich. Die reichliche Auslegung der Mühlen erlaubt eine feine Ausmahlung, so daß in Verbindung mit einer ausreichenden Verweilzeit von 2 — 2,5 s trotz der verhältnismäßig hohen Brennkammerbelastung von 215 — 230000 kcal/m³h ein guter Ausbrand erzielt wird.

6.

Die Verschmutzung ist mit Ausnahme des Überhitzers nicht ungewöhnlich, so daß Betriebszeiten bis zu 3500 h erreicht werden. Lediglich der Überhitzer macht eine häufigere Reinigung nötig, die man durch Änderung der Rußbläser noch zu vermeiden hofft.

Die Zahlentafel 4 gibt eine Übersicht über die Kennzahlen einiger der untersuchten Kessel und über deren Brennstoffeigenschaften. Neben einigen kleineren Kesseln sind in der Hauptsache größere Einheiten vertreten. Als Feuerung überwiegt offensichtlich die Schlägermühle. Die Kühlziffern der Anlage liegen zwischen etwa 0,25 bis 0,9. Mit wenigen Ausnahmen liegen die Brennkammerbelastungen auch bei den hohen Kühlziffern unter 180000 bis 200000 kcal/m³h. Im Falle C macht sich die hohe Feuerraumbelastung von 250000 kcal/m³h trotz der kleinen Leistung des Kessels sofort in dem hohen Ausbrandverlust bemerkbar. Die zulässige Grenze ist hier offensichtlich bereits überschritten. Selbst bei Anlage H mit nur 180000 kcal/m³h Brennkammerbelastung und 0,75 Kühlziffer liegen die Ausbrandverluste mit 5 % recht hoch. Die Ausmahlung der Krämermühle ist hier unzureichend und die Kühlziffer bei der hohen Belastung noch zu klein. Im Gegensatz hierzu konnten mit Kühlziffern von 0,9 selbst bis zu 200000 kcal/m³h Brennkammerbelastung und Ausmahlung auf 15 % Rückstand auf Sieb Nr. 30 Ausbrandverluste von weniger als 1 % betriebsmäßig erreicht werden. Diese Zahlen lassen einmal die engen Beziehungen zwischen Kühlfläche, Brennkammerbelastung und Ausmahlung erkennen und zeigen zum anderen, daß unter Beachtung der feuerungstechnischen Anforderungen mit Schwelkoks wirtschaftlich sehr günstige Ergebnisse erzielt werden können.

Mahlarbeit und Verschleiß

Für die Gesamtwirtschaftlichkeit der Schwelkoksverfeuerung sind neben dem Wirkungsgrad der Kesselanlage die erforderliche Mahlarbeit und die Verschleißkosten maßgebend. Die hierüber veröffentlichten Zahlen sind jedoch oft irreführend und lassen eine Beurteilung nicht zu, solange sie nicht auf die Dampfleistung bzw. die Brennstoffwärme bezogen sind oder Angaben über die Mahlfeinheit fehlen. Soweit auf Grund der vorhandenen Unterlagen Vergleichswerte angegeben werden können, ergibt sich folgendes Bild:

Arbeitsaufwand für Mahlung

	Feinheit in % Rückstand auf Sieb Nr.	kWh/t	kWh/t · 10^6 kcal Schwelkoks	kWh/t · 10^6 kcal Braunkohle
1. Rohrmühlen	15	16	3,8—7	8
2. Ringwalzenmühlen	18	16	4,0	
3. KKS-Naßkohlenfeuerungen	25	8	2,5	3,2—3,5
4. Krämermühlen	40—50	6—15	2,5—3	1,5—3

Bezogen auf die gleiche Mahlfeinheit werden sich die Unterschiede zwischen den verschiedenen Mühlenbauarten wohl weitgehend ausgleichen.

Der Arbeitsaufwand ist also in allen Fällen bezogen auf die Wärmemenge des Mahlgutes dem bei Braunkohle selbst bei der für diesen Brennstoff zulässigen weit gröberen Ausmahlung gleich, zum Teil sogar geringer.

Für den Verschleiß ist es noch schwieriger, zuverlässige Vergleichszahlen zu geben. Die Auswertung führte zu folgenden Näherungswerten:

	Schwelkoks
Langsamläufer	0,5 — 1,5 Rpf/1,0 · 10^6 kcal,
Schnellläufer bei gröberer Ausmahlung	0,5 — rd. 3 Rpf/1,0 · 10^6 kcal.

Der Verschleiß von Schlägermühlen liegt offensichtlich, umgerechnet auf gleiche Mahlfeinheit, weit über dem von Langsamläufern.

Im Vergleich zur Braunkohle beträgt der Verschleiß bei Schlägermühlen das 3- bis 8-fache, bei Rohrmühlen und dergleichen das 1,5- bis 2,5-fache.

Sowohl für den Aufwand an Mahlarbeit als die Verschleißkosten ist selbstverständlich in erster Linie die Körnung des Kokses und seine Härte ausschlaggebend. Ein weicher, feinkörniger Koks ist daher für Staub- und Mühlenfeuerungen vorzuziehen.

Zahlentafel 1

Brennstoff-Kennwerte

		Schwelkoks	Rohbraunkohle
Voranalyse			
Grobe Feuchtigkeit	%	14,01	39,76
Gesamtwasser	%	17,82	45,98
Asche	%	14,38	7,29
Verbrennliches	%	67,79	46,74
Elementaranalyse			
Kohlenstoff	%	61,58	33,54
Wasserstoff	%	1,92	2,62
Schwefel	%	2,71	1,55
Stickstoff	%	0,67	0,48
Sauerstoff	%	0,92	
Heizwertbestimmung			
Unterer Heizwert	kcal/kg	5327	2845
Heizwert Reinkoks bzw. Reinkohle	kcal/kg	8013	6666
Fester Kohlenstoff	%	79,90	38,00*
Flüchtige Stoffe	%	20,10	62,18*

*) Bezogen auf Reinkohle.

Zahlentafel 2

Körnungs-Kennwerte verschiedener Schwelkoksarten

Körnung mm	A %	B %	C %	D %
>30		1		15
>20		6		
>10	27	42	8,7	
10—8	6,9	24	3,8	0,4
8—6	7,7	24	7,5	4,1
6—4	9,5	24	14,6	10,2
4—2	17,6	11	37,5	34,9
2—1	14,8	23	14,0	31,2
1—0,2	15,7	23	13,9	19,2
0,2—0	0,8	23	—	19,2

A, B Hartkoks, C, D Weichkoks.

Zahlentafel 3

Verlauf der Rauchgastemperaturen für Schwelkoks und Rohkohle bei 100 % Dampfleistung

	Rohkohle	Schwelkoks
Feuerraum	1090	1370
Kessel-Ende	790	900
Überhitzer-Ende	635	620
Luvo-Ende	390	370
Eco-Ende	250	230

Zahlentafel 4

Kennzahlen von Kesselanlagen

Anlage		A	B	C	D	E	F	G	H
Brennstoff:									
Asche	%	16,3	17,4	21,3	40	18	16,5	19,0	15,5
Wasser	%	18,9	16,1	26,8	3	23,1	19	3,7	17
Flüchtige Bestellung	%			15,4	18	6,5	14,3		20
Heizwert (Hu)	kcal/kg	4930	5119	3670	4100	4529	5000	6400	5200
Kessel:									
Leistung	t/h	14	12	13	40	30	80	75	110
Druck	atü	12	14	15	35	40	40	36	18
Heißdampftemperatur	°C	250	380	380	425	425	460	440	425
Heizfläche	m²	445	276	300	750	455	300		1100
Feuerung:									
Bauart		K. M.	K. M.	K. M.	St. Ringwalzen	K. M.	St. Rohrmühle	K. M.	K. M.
Anteilige Kühlfläche der Brennkammer	%	19	21		14		26		49
Kühlzäfer									0,75
Brennkammerbelastung	kcal/m³h	175000	187000	250000	120000		80000	230000	180000
Lufttemperatur	°C	RL 240				RL 400			360
Aufbereitung:									
Mahlfeinheit Rückstand Din 30	%				18	70			
Arbeitsaufwand									
a) Mühle	kWh/t		12	7,9	7	15			6,8
b) Gebläse	kWh/t				9				
Unverbranntes	%		1,0	5,8					5
Kesselwirkungsgröße	%	78	85,2	69,7*			82	85,2	84

*) ohne Speisewasservorwärmer

Zusammenfassend kann man feststellen, daß sich aus der Vielzahl der Erfahrungen trotz teilweise recht verschiedener Ergebnisse bei eingehender Prüfung ein verhältnismäßig klares Bild über die Bewährung der Schwelkoksfeuerung ergibt. Die Verfeuerung von Schwelkoks auf dem Rost läßt sich bei Anpassung des Rostbelages an die Körnung des Kokses, die bei jedem anderen Brennstoff ebenso nötig ist, ohne Schwierigkeiten beherrschen. Die Wirtschaftlichkeit kann sich mit der von jedem anderen Brennstoff messen. Für die Staub- bzw. Mühlenfeuerungen gelten die gleichen Folgerungen, wenn den Eigenschaften des Kokses Rechnung getragen wird.

Auf Grund der Untersuchungen lassen sich auch gewisse allgemeine wichtige Richtlinien aufstellen.

Grundsätzlich ist es bei der verschiedenartigen Zusammensetzung in noch höherem Maße als bei der Braunkohle wichtig, vor Übergang zur Schwelkoksfeuerung oder dem Bau solcher Anlagen die Zusammensetzung und Schmelzeigenschaften genau zu prüfen und die Bauart der Feuerung davon abhängig zu machen. Die Feuerräume sind in jedem Falle reichlich zu bemessen und gut zu kühlen, um die Temperatur zu beherrschen. Bei Verbrennung in der Schwebe ist für ausreichende Verweilzeiten in Anpassung an die Mahlfeinheit, für die als Richtwert eine Auszählung auf 15 % Rückstand auf Sieb DIN 30 angegeben werden kann, Sorge zu tragen. Ausreichende Reinigungsmöglichkeiten, Rußfänger oder dergleichen, sind vorzusehen.

Mit Rücksicht auf die großen Aschenmengen der Schwelkokse ist eine zweckmäßige und wirksame Entstaubung auch bei Rostfeuerung in den meisten Fällen nötig. Ebenso ist der Entaschung im Zusammenhang hiermit besonderer Beachtung zu schenken.

Bei sorgfältiger Auslegung und Berücksichtigung der vorliegenden Erfahrungen wird die anfallende Schwelkoksmenge nicht nur, soweit erforderlich, in Dampfkesselanlagen unterzubringen sein, sondern auch eine wirtschaftliche Verfeuerung gestatten.

Praktische Versuche mit einem Steinkohlen-Vorschwelschacht.

Von Oberreichsbahnrat Friedrich Müller, Reichsbahn-Zentralamt Berlin. (Vorgetragen vor der Braunkohlenwissenschaftlichen Gesellschaft E. V., im Fachausschuß für Feuerungen, am 3. April 1941.)

Die Einsatzmöglichkeit von Steinkohlen in Vorschwelanlagen für Kesselfeuerungen, die für die Ausweitung der deutschen Mineralölwirtschaft Bedeutung gewinnen kann, ist durch Versuche hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit in der von der Firma Pintsch im Reichsbahnausbesserungswerk Brandenburg-West gebauten Anlage eingehend geprüft worden. Der 1913 gebaute Versuchskessel von 500 qm Heizfläche hat drei Ober- und einer Untertrommel für 14 atü und 375° Überhitzungsgrad im Jahre 1925 mit einer Vorschwelanlage ausgerüstet worden. Bisher wurden in diesem Betriebe nur Braunkohlenbriketts durchgesetzt. Die Anordnung zeigt Abb. 1.

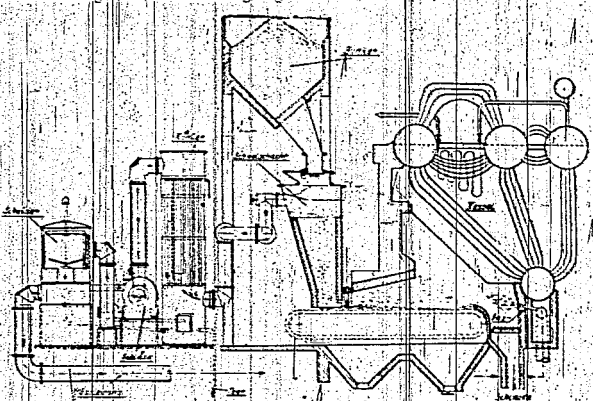


Abb. 1. Vorschwelanlage im RAW Brandenburg-West.

Der Kessel ist mit 2 Wanderrosten von zusammen 17 m² Rostfläche versehen. Außer der Rostfeuerung besitzt der Kessel eine nachträglich eingebaute Zusatzgasfeuerung, die mit Schwelgas beheizt wird. Die Brennerdüsen sind unterhalb der Untertrommel an der Feuerungsrückwand angeordnet.

Die Vorschwelanlage besteht vor allem aus der eigentlichen Schweleinrichtung, nämlich den jeden Wanderrost vorgeschalteten Schwelschächten, dem Gaskühler, der Teerscheideanlage, dem Gebläse und den zugehörigen Rohrleitungen. Die Schwelschächte sind 4,7 m hoch. Bis zu ²/₃ ihrer Höhe sind sie mit Schamotte ausgefüttert. Ihre Vorderwand neigt sich über den Heizerstand, während die übrigen Wände senkrecht verlaufen, so daß sich ein schlanker Kohlentrichter ergibt, dessen waagerechter Innen-

querschnitt oben 2,8 m² und unten 1,3 m² beträgt. Die Schwelschächte werden aus den über ihnen befindlichen Bunkern stündlich einmal durch Öffnen der Kohlenschieber beschickt. Die am oberen Schachtende sich ansammelnden Schwelgase werden durch den Kühler hindurch von einem Gebläse abgesaugt. Die untere Begrenzung der Schwelschächte bildet der Wanderrost des Kessels. Der Durchsatz wird also durch die Vorschubgeschwindigkeit des Rostes und durch die Einstellung des Brennstoffschiebers geregelt. Zur Sicherung gegen Zerknall dienen gewichtsbeschwerte Drehklappen.

Der Gaskühler ist als vertikaler wassergekühlter Röhrenkühler von 7 m Höhe und 1,6 m ∅ ausgebildet. Der Teer schlägt sich an den Kühlwänden nieder und sammelt sich in der Teervorlage des Kühlers.

Die Teerscheider arbeiten nach dem Stoßverfahren und sind als drehbar aufgehängte Glocken ausgebildet, deren Mantelunterkante im Teersumpf liegt. Der Glockenmantel wird aus 4 Lagen gelochter, versetzt angeordneter Bleche gebildet, an welchen der Teer sich niederschlägt und in den Scheidersumpf herunterrieselt, von wo er nach der Teervorlage des Kühlers abfließt.

Das Schwelgas wird im normalen Betriebe zum Teil durch eine Leitung von 500 mm l. W. nach dem Kessel, zum Teil durch eine zweite Leitung zu den Schmiedeöfen des Ausbesserungswerkes gedrückt, wo es an Stelle des früher verbrauchten Steinkohlenteers verbrannt wird.

Der Teer fließt aus der Teervorlage in die auf dem Aschenflur aufgestellten heizbaren Sammelbehälter, aus denen er nach der Wasserabscheidung zum Versand in Eisenbahnwagen gepumpt wird.

Ich komme nun zu der eigentlichen Versuchsdurchführung, die der Versuchsanstalt für Wärme- und Energiewirtschaft des Reichsbahnzentralamtes Berlin übertragen war. Die zahlreichen erforderlichen Meßinstrumente wurden dem sogenannten Wärmemeßwagen entnommen, den ich in Abb. 2 zeige.

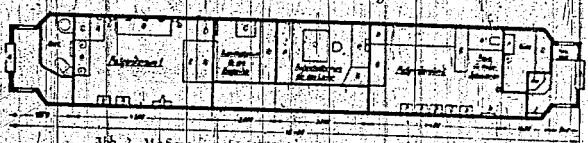


Abb. 2. Meßwagen für Wärme- und Energiewirtschaft.

a Schaltpult und Schaltpult.
b Zugmesser
c Trockenfeuchtkühler
d Wassermesser
e Thermoelemente und Widerstandsthermometer
f Dampfmengenpapier
g Indikatoren, elektr. Zähler, Strom- und Spannungsmesser, Watt- und Blindleistungsschreiber, Kontrollmanometer usw.
h Rauchgasprüfer
i Druck- und Temperaturschreiber
k Kleiderschrank
l Tisch
m Bücherei
n Rundfunkgerät
o Sofa
p Geräte zur Best. des spez. Gewichtes von Gasen, Gasapparate
q Gasuhrzähler, Gasmesser, Luftmengenmessern, Dampfgeschwindigkeitsmesser, Temperaturmeßgeräte, Pyradio und Pyropto, Sauerstoff- und Stickstoffmesser, Trommelwassermesser, Werkzeuge
r Meßflaschen, Geräte zur Bestimmung der Staubbeladung von Gasen, Werkbank
s Mengenmeßgeräte für Gase, Dämpfe und Flüssigkeiten
t Geräte für Wasseruntersuchungen
u Stinkofen Arbeitstisch
v Küchengeräte
w Feuerlöscher
x Stationsbarometer
y Wärmeisolierungsgeräte
z Verbandskasten

Die Versuche wurden, um die Frage der wirtschaftlichen Verwendung der Vorschwelung zu klären, zunächst ohne Schwelung unter völliger Abschaltung der Schwelanlage und dann mit Schwelung und Verbrennung des gesamten Schwelgases im Kessel durchgeführt. Vor den beiden Hauptversuchen wurden Vorversuche vorgenommen, um die eingebaute Meßapparatur zu prüfen und die geeignete Kessellast und -einstellung zu ermitteln.

Diese Vorversuche haben unter anderem ergeben, daß der Rost für den Betrieb mit Steinkohle ohne vorherige Schwelung im Vorschwelschacht zu kurz ist, so daß, um den gleichen Ausbrand zu erwirken, bei dem Betrieb ohne Schwelung mit wesentlich höherem Luftüberschuß gefahren werden mußte. Hierdurch sind die Abgasverluste um 2,9% höher geworden als beim Betrieb mit Schwelung. Ferner hat sich gezeigt, daß das feuerfeste Mauerwerk des Kessels, der bisher mit Braunkohlenbriketts betrieben wurde, bei dem Betrieb mit Steinkohle auf die Dauer keine höhere Kesselleistung als 11 t/h verträgt. Damit war die für die Versuche zu wählende Vergleichslast mit rd. 10 t/h festgelegt. Ferner zeigten die Vorversuche, daß beträchtliche Schwankungen der Dampfabgabe im Betriebe zu erwarten waren. Deswegen war zur Sicherstellung brauchbarer Vergleichswerte eine möglichst lange Versuchsdauer anzustreben. Diese wurde auch durch die unvermeidbaren Fehlerquellen bei der Brennstoff- und Teermessung bedingt. Der Versuch ohne Schwelung wurde daher über 40½ Stunden und der mit der Schwelung über 100 Stunden ausgedehnt.

Bei der Auswahl der Steinkohlensorte mußte natürlich auf die Eigenart der Schwelung Rücksicht genommen werden. Es mußte unter allen Umständen vermieden werden, daß die Kohle im Schwelschacht zusammenbackte. Es wurde daher eine nicht backende Kohle mittlerer Körnung, und zwar Gasflammkohle der Grube Karsten-Zentrum Nuß II, gewählt. Die Tafel 1 enthält die hauptsächlichsten Analysenwerte dieser Versuchskohle.

Zahlentafel 1.

Brennstoffprobe Oberschlesischer Gas-Flammkohle aus der Karsten-Zentrum-Grube

bezogen auf Rohkohle				bezogen auf Reinkohle	
unterer Heizwert kcal/kg	Wasser %	Asche %	Reinkohle %	unterer Heizwert kcal/kg	flüchtige Teile %	Koks %
6201	9,0	8,3	50,5	7564	39,0	61,0

Brennbares: 82,7 %

	bezogen auf Rohkohle	bezogen auf Reinkohle
Teer	8,1 %	9,8 %
C	67,7 %	81,9 %
H	4,3 %	5,1 %
S	0,6 %	0,7 %
N	1,0 %	1,2 %
O	8,9 %	10,8 %

Aus den Versuchsergebnissen ist auf folgende Werte hinzuweisen. Die Rohverdampfung betrug bei dem Betrieb

ohne Schwelung 7,43 kg
mit Schwelung 6,73 kg Dampf je kg Kohle.

Von den in der Kohle der Anlage zugeführten Wärmemengen wurden bei dem Betrieb

ohne Schwelung 83,3 %
dagegen mit Schwelung nur 70,3 %

im Dampf gewonnen. Dazu treten aber noch 10,2 %, die im Teer gewonnen wurden, so daß im

Wärmeverbleib von der wiedergewonnenen Wärme

83,3 % ohne Schwelung
80,5 % mit Schwelung

gegenüberstehen. Die Differenz von 2,8 % dürfte zum größten Teil durch erhöhte Abstrahlung der hinzugekommenen Vorschwelanlage verursacht sein. Zweifellos sind darin auch die Auswirkungen der Meßfehlergrenzen zu erkennen, die das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung aber nur wenig beeinflussen.

Bei der Verschwelung von rd. 235 t Kohle sind rd. 19 t Rohteer angefallen mit einem mittleren Heizwert von 8345 kcal/kg. Das entspricht einem Rohteeranfall von 0,08 kg Teer/kg Kohle oder 8 %. Die Untersuchungen des Teers ergaben Mittelwerte, die in Tafel 2 den beim Betrieb mit Braunkohlenbriketten erhaltenen Werten gegenübergestellt

Zahlentafel 2.

Gegenüberstellung der Analysen von Braunkohlen- und Steinkohlenteer aus der Vorschwelanlage des Reichsbahn-Ausbesserungswerkes Brandenburg-West.

			Braunkohlenteer	Steinkohlenteer
Wasser	v. H.		1,5 — 5,3	3,58
Benzinunlösliches			0,25 — 1	0,31
Spezifisches Gewicht bei 44 °C			0,94 — 0,947	1,048
Erstarrungspunkt bei		°C	11 — 28	32,0
Heizwert		kcal	9500 — 9700	9450
Rohöl	v. H.		31,3	19,5
Paraffinmasse und rote Produkte			67,7	48,9
Koks			8,5	17,1
Gase, Verluste			1,5	14,1
			100,0	100,0
Kreosotgehalt im Rohöl	v. H.		23	38
Kreosotgehalt im Rohöl und in der Paraffinmasse			17	47
Paraffin in der Paraffinmasse			20,42	3,19
Paraffin im Teer			13,3	1,55
Kreosot im Teer			11,8	31,9

sind. Der in der Vorschwelanlage gewonnene Teer ist durch Hydrierung in kleinem Maßstabe untersucht und hierbei als Rohstoff für die Hydrierung als geeignet gefunden worden. Wegen seines höheren Gehalts an Asphalt und an Vakuumrückstand ist er etwas geringer zu bewerten als die bekannten Steinkohlenteere, die durch Spülgasschwelung nach Lurgi gewonnen werden. Es wurde geschätzt, daß der Teer als Rohstoff für die Benzingewinnung durch Hydrierung ½ bis ⅔ des Wertes von Braunkohlenschwelteer besitzt.

Die Destillation des Teeres ergab Werte, die ich auf der Tafel 3 zeige.

Zahlentafel 3.

Destillation des Steinkohlenteeres aus der Vorschwelanlage des Reichsbahn-Ausbesserungswerkes Brandenburg-West.

Das spezifische Gewicht des Teeres betrug $d_{20} = 1{,}050$.
Die Destillation des Teeres ergab

Wasser	4,3 %
Leichtöl	0,9 %
Carbolöl	9,7 %
Waschöl	17,7 %
Heizöl	17,0 %
Pech E.P. 67°	43,5 %
Destverlust	1,9 %
	100,0 %

Der Gehalt des rohen Teeres an Phenolen betrug:

Reinphenol	0,78 %
Kresole	3,18 %
Xylenole	1,95 %

73

Eine Verarbeitung des Teeres auf Motorenbrennöl nur durch Destillation erscheint nicht zweckmäßig, da er wegen seiner Dickflüssigkeit und seines hohen Stockpunktes nur im Gemisch mit großen Mengen hochwertigen Schieferöldestillats als Motorenbrennöl verwendet werden könnte. Die Herstellung von Frakturen Kraftstoff, Waschöl und Heizöl bei der Destillation ergibt ein als Heizöl verwendbares Destillat, wie Tafel 4 näher zeigt.

Zahlentafel 4

Übersicht einer versuchsweisen Verarbeitung des gewonnenen Schwelteeres zu Motoren- und Heizöl

	Teer	Destillat
Ausbeute, am Teer berechnet	94,0 %	61,1 %
Spez. Gewicht bei 20°	1,075	1,031
Viskosität bei 20° in °E	nicht bestimmt	5,3° E
" " " 50° " "	2,3° E	1,9° E
Stockpunkt	+ 15°	+ 5°
Kältezahlen bei 0°	dickf. teilweise fest	dickfl. Paraffin-Ausscheidung
Flammpunkt n. o. T.	121°	98°
Siedeverlauf		
	214° — 250° = 20 %	188° — 221° = 20 %
	214° — 262° = 25 %	188° — 231° = 25 %
	214° — 309° = 30 %	188° — 254° = 30 %
	214° — 330° = 40 %	188° — 296° = 40 %
	214° — 345° = 50 %	188° — 332° = 50 %
	214° — 350° = 60 %	188° — 349° = 60 %
	214° — 355° = 70 %	
Siedebeginn	—	176
Asphalt	0,055 %	—
Verharzen	8,28 %	0,13 %
Oberer Heizwert, kcal	8929	9579
Feuergefahr	71 °	61 °
Verbrennen unter	242 °	354 °
Wassergehalt	—	—
Kohlenstoffgehalt	83,1 %	85,8 %
Wasserstoffgehalt	8,0 %	8,5 %
Schwefelgehalt	0,065 %	0,041 %

Zu dem Schwelgas wäre zu sagen: Es trat mit 55° C aus den Schwelschächten aus. Sein Taupunkt lag bei 52° C. Der Heizwert des Schwelgases betrug 1630 kcal/Nm³. Die Gasausbeute wurde mit 1,5 Nm³ trockenen Schwelgases je kg Rohkohle festgestellt. Die Mittelwerte der Gasanalyse ergeben sich aus der Tafel 5.

Zum Schluß möchte ich auf Grund der ermittelten Zahlen noch eine kurze wirtschaftliche Betrachtung anstellen, die aber wie die in Brandenburg-West bestehenden Verhältnisse wegen und dürfen nicht ohne weiteres verallgemeinert werden.

Zahlentafel 5

Mittel aus den Gasanalysen
Schwelversuch im Reichsbahn-Ausbesserungswerk Br[illegible]-West

Heizwert	1630 kcal/Nm³
Kohlenoxyd CO	3,3 %
Schwer Kohlenwasserstoffe C_nH_m	0,4 %
Sauerstoff O	1,5 %
Kohlendioxyd CO_2	15,7 %
Wasserstoff H_2	11,9 %
Methan CH_4	4,9 %
Stickstoff N_2	59,6 %

darf. Unter Zugrundelegung eines Brennstoffpreises frei Grube von 14,50 RM/t also ohne jegliche Frachtkostenbelastung kostet 1 t Normaldampf an Brennstoffkosten

ohne Schwelung RM 1,79
mit Schwelung RM 2,02

Bei Schwelung entstehen also 23 Rpf Brennstoffmehrkosten je Tonne Normaldampf. Weitere Mehrkosten entstehen durch erhöhten Stromverbrauch, besonders durch das Gebläse, und zwar 9,6 Rpf, und durch Heizdampfverbrauch 9,3 Rpf je Tonne Normaldampf. Das sind also zusammen 42 Rpf Mehrkosten je Tonne Normaldampf. Es werden benötigt 0,14 t Kohle je Tonne Normaldampf, aus denen 11,2 kg Teer im Werte von rd. 0.40 RM gewonnen werden, so daß also die Mehrkosten von 42 Rpf durch den Erlös des Teeres bis auf 2 Rpf aufgewogen werden.

Die Kosten für Verzinsung, Erneuerung, Unterhaltung und Bedienung der zusätzlichen Schwelanlage betragen etwa 23 Rpf je Tonne Normaldampf. Um diesen Betrag wird also der Preis des Normaldampfes durch die Schwelung weiter verteuert. Wenn eine Verteuerung des Normaldampfes beim Betrieb mit Schwelung gegenüber dem ohne Schwelung nicht eintreten soll, müßte für den Steinkohlenschwelteer ein etwas höherer Preis erzielt werden als er bisher geschätzt worden ist. Ob das möglich ist, müßte nachgeprüft werden.

Schließlich möchte ich noch hervorheben, daß der Übergang von Braunkohlenbriketts auf Steinkohle ohne jede Störung vor sich gegangen ist.

Brennkraftturbine mit Drehkessel.

Von Dr.-Ing. Heinrich Vorkauf, i. Fa. La Mont-Kessel Herpen & Ko. K.-G., Berlin, vorgetragen vor der Brennkrafttechnischen Gesellschaft E. V. im Fachausschuß für Feuerungen am 3. April 1941.

Der Entwicklung der Gasturbine gilt schon seit langer Zeit das besondere Interesse des Ingenieurs; allerdings bisher zum größten Teil theoretisch. Erst in der letzten Zeit ist es gelungen, auch schon beachtliche praktische Resultate zu erzielen, wenn auch die Wirkungsgrade dieser Anlagen die anderen Kraftanlagen wie Dieselmotoren und Dampfkraftanlagen noch nicht ganz erreichen. Es braucht an dieser Stelle wohl nicht hervorgehoben zu werden, welch beachtlicher Vorteil für Energiebeschaffung und Antrieb von Verkehrsmitteln aller Art entstehen würde, wenn man eine Gasturbine zur Verfügung hätte, die beispielsweise die Wirtschaftlichkeit des Dieselmotors erreichen würde.

Die Lösung des technischen Problems „Gasturbine" liegt in der Beherrschung der hohen Temperaturen. Je höher die Temperatur ist, mit der man in die Gasturbine hineingehen kann, um so besser wird der Wirkungsgrad der Anlage und auch die Leistungsfähigkeit eines bestimmten Aggregates. Es laufen Gasturbinen mit Eintrittstemperatur der Gase von 500°—600° und in einzelnen Fällen noch etwas höher. Man ist wohl bestrebt, diese Temperaturgrenze noch höher heraufschieben zu können z. B. durch Schaffung besonderen Materials, das höheren Temperaturen widerstehen kann. Aber auch hier sind bald physikalische Grenzen gezogen.

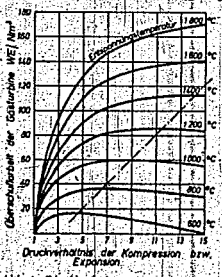


Abb. 1. Einfluß der Entspannungstemperatur vor der Gasturbine und des Druckverhältnisses auf die Überschußarbeit.

Angenommene Wirkungsgrade: Kompressor 85 %, Gasturbine 75 %.

Anzustreben ist jedoch, daß man in der Gasturbine Temperaturen fahren kann, wie sie bei der wirtschaftlichen Verbrennung mit nur geringem Luftüberschuß erzielt werden und das sind Gastemperaturen von 1500° und mehr.

Welchen Einfluß die Temperatur vor der Gasturbine auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage hat, zeigt die Abb. 1. Bei 600° kann aus 1 m³ komprimierter Luft nur eine Überschußarbeit entsprechend 18 WE entnommen werden. Bei 1400 bis 1500° dagegen das 7fache. Dieses Bild läßt nicht nur die höhere Wirtschaftlichkeit erkennen, sondern auch die hohe Leistungsfähigkeit eines bestimmten Aggregates. Bei dem Gasturbinenprozeß ist es unangenehm, daß der Leistungsaufwand zum Auf-Druck-bringen verhältnismäßig hoch ist, so daß die Differenz von Gasturbinen-Arbeit und Kompressor-Arbeit sehr stark von dem Wirkungsgrad der Maschine abhängig ist. Durch Anwendung hoher Temperaturen sinkt nun der prozentuale Leistungsanteil des Kompressors immer mehr ab, so daß hierdurch die Gesamtlage nicht mehr so empfindlich ist gegenüber den Wirkungsgrad-Veränderungen. Bei einem Druck von 5 at und einer Temperatur von 600° z. B. beträgt die Kompressorleistung 77 % der gesamten Gasturbinen-Leistung. Bei 1000° nur noch 50 %, und bei 1400° sinkt dieser Anteil auf 38 % herab.

Wenn man eine Nutzleistung von z. B. 10000 PS erzeugen will, so muß bei 600° vor der Gasturbine diese tatsächlich eine Leistung von ~~43 400~~ 44 400 PS haben, denn 34 400 PS,

sind zum Antrieb des Kompressors notwendig. Abb. 2 veranschaulicht diese Verhältnisse mit steigender Temperatur. Bei niedriger Gastemperatur erhalten nicht nur Gasturbine und Kompressor bezogen auf die Nutzleistung außerordentlich große Abmessungen,

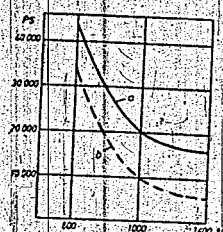


Abb. 2. Notwendige Leistung der Gasturbine bei einer Nutzleistung von 19000 PS.
Kurve a: Gasturbinenleistung
Kurve b: Leistungsbedarf des Kompressors.

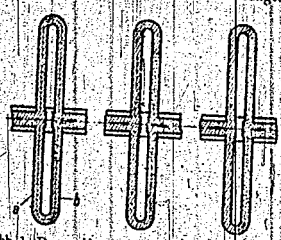


Abb. 3. Darstellung des Drehkesselprinzips
b beheizter Schenkel
a unbeheizter Schenkel.
Mit der Änderung der Beheizung des Schenkels b ändert sich der Wasserinhalt in diesem Schenkel und damit die eingespeiste Wassermenge.

sondern selbstverständlich auch alle dazugehörigen Teile wie Luft- und Abgasleitungen, Regeleinrichtungen usw. Bedeutend besser werden die Verhältnisse erst bei hohen Temperaturen wie z. B. 1500°.

Solche Temperaturen lassen sich jedoch in einer Maschine nur beherrschen, wenn man die diesen Temperaturen ausgesetzten Teile kühlt. Mit der Notwendigkeit der Kühlung von Gasturbinen muß man sich m. E. daher genau so abfinden, wie man die Kühlung von Hochleistungs-Brennkraft-Kolbenmaschinen schon längst als etwas Selbstverständliches ansieht.

Eine Kühlung der Gasturbinenteile mit Kühlwasser ähnlich wie eine Kühlung der Brennkraft-Kolbenmaschinen scheidet jedoch vollkommen aus, da hierdurch derartig hohe Verluste auftreten würden, daß der Wirkungsgrad der Gasturbine trotz Anwendung höherer Gastemperatur zu sehr absinken würde. Es muß daher schon eine Kühlung sein, die ebenfalls zur Energieerzeugung ausnutzbar ist d. h. eine Kühlung durch Dampferzeugung, sei es nur von Wasser oder einer anderen Flüssigkeit.

Bei einer Gasturbine sind selbstverständlich der Läufer und die Laufschaufel den höchsten Beanspruchungen ausgesetzt. Gerade diese Teile der Gasturbine kann man nun in sehr einfacher Weise nach dem sogenannten Drehkesselprinzip kühlen.

Das Drehkesselprinzip ist von Herrn Oberingenieur Hüttner und mir zu annähernd gleicher Zeit vor einigen Jahren vorgeschlagen worden für Dampfkraftanlagen, bei denen ein rotierender Kessel vorgesehen wird*). Da der Läufer einer Gasturbine ebenfalls rotiert, liegt die Verwendung des Drehkesselprinzips zur Kühlung der Gasturbine besonders nahe. Es soll nun an Hand der Abb. 3 erklärt werden, wie das Drehkesselprinzip arbeitet.

Man stelle sich ein um eine Achse rotierendes U-Rohr vor. Von links wird das Wasser drucklos zugeleitet, dieses wird nach außen geschleudert. Wird dieses Wasser nun auf dem Wege zur Achse zurückverdampft, so entsteht auf Grund der verschiedenen spezifischen Gewichte in den beiden Schenkeln und der wirksamen Zentrifugalkräfte eine beachtliche Druckerhöhung in dem dampfbildenden Schenkel. Durch diese selbsttätige Druckerhöhung

*) Vorkauf, Z. d. VDI., Bd. 76 (1932), S. 989/90; Hüttner, ETZ., Bd. 55 (1934), S. 242/44 Hüttner, Z. d. VDI., Bd. 83 (1939), S. 397/404.

wird eine Speisepumpe unnötig, was aber das viel wichtigere ist, die Einspeisung erfolgt automatisch entsprechend der erzeugten Dampfmenge. Wenn gar kein Dampf in dem nach innen führenden Schenkel erzeugt wird, so befindet sich in beiden Schenkeln Wasser und es tritt gar keine Einförderung von Wasser auf. Je mehr Dampf erzeugt wird und je weiter der Wasserspiegel nach außen gedrückt wird, eine um so größere Wassermenge muß einströmen, um das nötige Gleichgewicht zwischen beiden Schenkeln aufrecht zu erhalten.

Die automatische Einspeisung bei dem Drehkesselprinzip vereinfacht den Dampferzeugungsprozeß ganz ungeheuer; denn es wird ohne besondere Hilfseinrichtungen aus dem drucklos zufließenden Wasser gebrauchsfertiger Dampf gemacht, ohne die sonst notwendigen Einrichtungen wie Speisepumpe, Reservespeisepumpe, eventuelle Umwälzpumpe, Dampfabscheider, Wasserstands- oder Speiseregler zu benötigen.

Die Abb. 4 zeigt nun ein der Praxis näher kommendes Schema, wie man das Drehkesselprinzip zur Kühlung von Gasturbinen verwenden kann. Statt des einen U-Rohres wie es vorher zum Erklären gewählt war, nimmt man in der Praxis selbstverständlich ein System von U-Rohren, deren Krümmer jedoch am Außenumfang liegen müssen. Der Wasserzufluß erfolgt hier nur durch die Hohlwelle a bis zum Außenumfang. In den Laufschaufeln b und dem zylindrischen Teil c des Läufers entsteht Dampf, der zur Mitte zurückströmt und durch die Hohlwelle d abgeleitet wird.

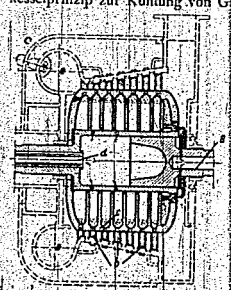


Abb. 4. Läufer einer Drehkesselgasturbine.

Die Verbrennung kann z. B. bei dieser Ausführung in dem ringförmigen Brennraum e erfolgen, von hier werden dann die Gase in dem Schaufelsystem entspannt. Aus der Ableitung rechts strömen die Abgase dann ab. Bei hohen Temperaturen wird sich die Notwendigkeit ergeben, auch die Leitschaufeln jedenfalls in den ersten Stufen zu kühlen. Dies kann nun durch Überhitzung des erzeugten Dampfes erfolgen oder in bestimmten Fällen durch die komprimierte Luft. Der von der Dampfableitung aus der Hohlwelle d kommende Dampf kann z. B. durch die Leitschaufel geführt werden, wobei er die notwendige Überhitzung erhält, um in einer Gasturbine, die gegebenenfalls auf gleicher Welle oder mit der Gasturbine verbunden ist, seine Energie abzugeben. Der durch die Kühlung von Gasturbinen erzeugte Dampf wurde bekanntlich auch schon zum Antrieb des Kompressors benutzt.

Aus der Abb. 4 geht hervor, wie der Wasserzufluß und Dampfabfluß erfolgen sollte. Die eigentliche Kühlung der Gasturbinenschaufel ersieht man aus den Abb. 5 und 6. Gemäß dem Unterschied der Gewichte von Dampf und Wasser befindet sich ein Wasserring in dem dampferzeugenden Teil (Abb. 5). Das Wasser wird in einem mittleren Rohr zugeleitet; an den Wandflächen bildet sich Dampf, hierdurch erfolgt ein intensiver Umlauf. Durch die Zentrifugalkraft ist dieser Umlauf so stark, daß trotz Bohrungen mit kleinsten Abmessungen ein zur Kühlung ständig ausreichender Umlauf erfolgt.

Bei der Ausführung nach Abb. 5 ist die Herstellung der Schaufeln zusammengeschweißt gedacht, die ganze Schaufel soll dann stumpf auf den Läufer aufgeschweißt werden. Bei der Ausführung nach Abb. 6 sollen die Schaufeln aus einem Ring herausgearbeitet sein; der Ring wird von Scheiben gehalten und ist mit jeweils einer Scheibe zur Zu- und Abführung von Dampf und Wasser dichtgeschweißt.

Dadurch, daß die Turbinenschaufel, der Läufer und die Leitschaufel gekühlt sind, werden jedoch die hohen Temperaturen noch nicht allein beherrscht; man muß auch einen Feuerraum haben, in dem durch Verbrennung von Öl oder Gas diese Gase hoher Temperaturen erzeugt werden. Wenn man nun mit möglichst geringem Luftüberschuß verbrennt, so entstehen in einem ungekühlten Feuerraum Temperaturen von rund 2000°, da die vom Kompressor kommende Verbrennungsluft schon Temperaturen von 200 —

700° hat. Man kann mit Recht bei so hohen Temperaturen Bedenken haben, daß kein Material standhält, zumal wenn man bedenkt, daß die Feuerkammer unter einem Überdruck von einigen Atmosphären steht.

Das Drehkesselprinzip gibt auch hier die Möglichkeit, die Feuerkammer ganz oder teilweise zu kühlen. Die Abb. 7 zeigt eine Anordnung, bei der die Feuerkammer vollkommen gekühlt ist, da sie innerhalb des Trockenschachtes der Gasturbine liegt.

Der Weg der Luft bzw. der Gase ist folgender:

Die Luft kommt vom Kompressor a, dient zur Kühlung der Leitschaufel b, und strömt durch einen Ringbrenner c in den Feuerraum d. Hier wird auch das Öl zugegeben, die Verbrennung setzt ein, die Feuergase ziehen sich in achsialer Richtung durch den Raum, werden dann umgelenkt und entspannen in dem Gasturbinenteil. Die aus der Gasturbine austretenden Gase werden über weitere Drehkesselheizflächen e geleitet, um ihre Wärme bis auf 200 bis 300° abzugeben.

Das Wasser wird durch den Stutzen f eingeleitet und durch die Hohlwelle geführt; es wird dann nach außen geschleudert, strömt dann durch die nachgeschaltete Heizfläche e und durch Heizflächen, die den Feuerraum auskleiden und die Gasturbinenschaufeln kühlen. Der Dampf wird dann überhitzt und tritt durch die linke Hohlwelle g unmittelbar in die Dampfturbine h ein. Die Dampfturbine ist in diesem Fall eine gegenläufige Radialturbine, der eine Teil treibt den Kompressor an, der andere überträgt seine Leistung zusammen mit der Gasturbinenleistung über ein Getriebe i zur Kraftabgabe. Die gegenläufige Dampfturbine ergibt die Möglichkeit, daß der Kompressor mit anderen Tourenzahlen laufen kann als die Gasturbine, wodurch eine Regelung gut möglich wird.

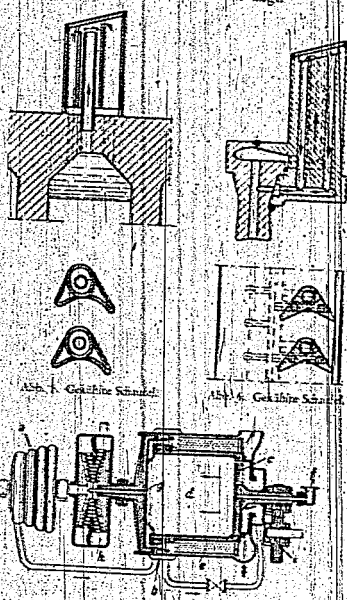


Abb. 7. Drehkessel-Gasturbine mit Innenerregung.
a Kompressor
b Leitschaufel
c Brenner
d Feuerraum
e nachgeschaltete Drehkesselfläche
f, Wasserabstreuer
g Dampfhohlwelle
h Dampfturbine
i Getriebe

Man muß sich darüber im klaren sein, daß die Dampferzeugung bei einer solchen Anlage als Kühlmaschine zu betrachten ist. Je weniger Dampf erzeugt wird, um so günstiger ist der Gasturbinen-Prozeß. — Aber wie gesagt — sind bisher keine Mittel vorhanden, um Temperaturen von 1500° und mehr in der Gasturbine zu verarbeiten, ohne die den heißen Gasen ausgesetzten Teile zu kühlen.

Das Wasser wird durch den Stutzen f eingeleitet und durch die Hohlwelle geführt; es wird dann nach außen geschleudert, strömt dann durch die nachgeschaltete Heizfläche e

Abb. 5. Gekühlte Schaufel

Abb. 6. Gekühlte Schaufel

und durch Heizflächen, die den Feuerraum auskleiden und die Gasturbinenschaufeln kühlen. Der Dampf wird dann überhitzt und tritt durch die linke Hohlwelle g unmittelbar in die Dampfturbine h ein. Die Dampfturbine ist in diesem Fall eine gegenläufige Radialturbine; der eine Teil treibt den Kompressor an, der andere überträgt seine Leistung zusammen mit der Gasturbinenleistung über ein Getriebe i zur Kraftabgabe. Die gegenläufige Dampfturbine ergibt die Möglichkeit, daß der Kompressor mit anderen Tourenzahlen laufen kann als die Gasturbine, wodurch eine Regelung gut möglich wird.

Man muß sich darüber im klaren sein, daß die Dampferzeugung bei einer solchen Anlage als Kühlmaßnahme zu betrachten ist. Je weniger Dampf erzeugt wird, um so günstiger ist der Gasturbinen-Prozeß, — aber wie gesagt — sind bisher keine Mittel vorhanden, um Temperaturen von 1500° und mehr in der Gasturbine zu verarbeiten, ohne die den heißen Gasen ausgesetzten Teile zu kühlen.

Von allem muß man danach streben, die Temperaturen vor der Gasturbine möglichst hoch zu halten und um dies zu erreichen, muß die Brennkammer so klein wie möglich gemacht werden, d. h. man muß danach streben, die Brennkammerbelastung hoch zu bringen, wobei selbstverständlich trotzdem eine gute Verbrennung erhalten bleiben muß. Bei einer 3000-PS-Anlage nach Abb. 7 ist mit einer Brennkammerbelastung von rd. 15 Mill. WE/m³h gerechnet. Die Verbrennung soll bei einem Überdruck von 4 at erfolgen. Je höher die Brennkammerbelastung gewählt werden kann, um so höher werden die Gastemperaturen und um so kleiner und wirtschaftlicher das Aggregat.

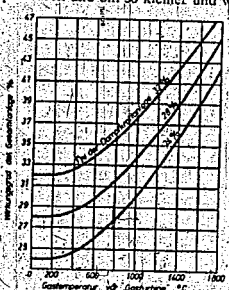


Abb. 8. Einfluß der Entspannungstemperatur auf den Wirkungsgrad der Gesamtlage angenommene Wirkungsgrade: Kompressor 85 %, Gasturbine 75 %.

Mit der Verwendung höherer Temperaturen vor der Gasturbine erweist es sich aus Gründen der Wirtschaftlichkeit auch als notwendig, den Wärmeinhalt der Gase hinter der Gasturbine weiter auszunutzen. Auch hierfür gibt das Drehkesselprinzip eine einfache Lösung dadurch, daß die aus der Gasturbine austretenden Gase in einer auf gleichem Läufer angeordneten Drehkesselheizfläche weiter abgekühlt werden. Zur Ausnutzung der Abgaswärme von Gasturbinen hat man sonst an einen Wärmeaustausch vom Abgas an die Verbrennungsluft gedacht. Diesem Wärmeaustausch sind aber wegen der hohen Temperatur der komprimierten Luft Grenzen gesetzt, ganz abgesehen davon, daß ein solcher Wärmeaustauscher außerordentlich große Abmessungen erhalten und deshalb für bewegliche Anlagen schon gar nicht in Frage kommen würde.

Es wird nun interessieren, welche Wirkungsgrade mit einer solchen Gasturbine einschließlich der Dampfkraftanlage zu erzielen sind.

In dem Diagramm nach Abb. 8 sind die Wirkungsgrade aufgetragen in Abhängigkeit von der Gastemperatur vor der Gasturbine. Die Voraussetzung sind: Kompressorwirkungsgrad 85 %, Gasturbinenwirkungsgrad 75 %. Der Gesamtwirkungsgrad ist nun natürlich auch noch abhängig von dem Wirkungsgrad der Dampfkraftanlage; deshalb sind für drei verschiedene Dampfkraftanlage die Kurven aufgetragen.

Wie sich die aufgenommene Wärme auf Gasturbine und Dampfkraftanlage verteilt, ist aus der Abbildung 9 zu ersehen. Die Leistung der Dampfturbine beträgt rd. 60 % von der Leistung der Gasturbine bei den angenommenen Werten. Man wird möglichst immer den Kompressor mit Dampf antreiben, da sich hierdurch gute Regelbarkeit ergibt. Wenn man der Dampferzeugungs-Kühlung bei Gasturbinen den Vorwurf macht, daß sie den Gasturbinenprozeß zu kompliziert mache, so kann dies bei der Kühlung nach dem Drehkesselprinzip nicht mehr anerkannt werden; denn der ganze Kühlungsvorgang besteht eigentlich nur darin, daß ein Kühlmittel, z. B. Wasser, in sich selbst regelnder Weise in die

Gasturbine hineinläuft und der entspannte Dampf von der Dampfturbine in einen Kondensator strömt. Daß neben der Gasturbine noch eine Dampfturbine vorhanden ist, kann nicht als Nachteil angesehen werden, da ein besonderer Antrieb des Kompressors auch beim reinen Gasturbinenprozeß angestrebt werden wird. Vergleicht man die Größe des Kondensators für die Drehkessel-Gasturbine mit der eines Kondensators für eine reine Dampfkraftanlage gleicher Leistung, so kommt man unter Berücksichtigung der höheren Wirtschaftlichkeit der Drehkessel-Gasturbine auf rund nur die Hälfte der Kondensatorfläche.

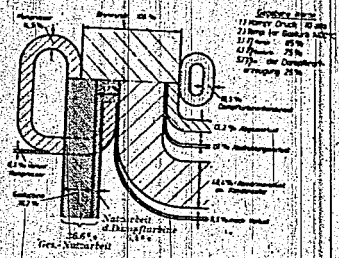


Abb. 9. Sankey-Diagramm einer Drehkessel-Gasturbine.

Es muß nun noch auf einen Vorteil hingewiesen werden, den die Einschaltung des Dampfkraftprozesses in eine Gasturbinenanlage mit sich bringt. Wie man aus Abb. 2 und 3 ersieht, muß von der erzeugten Nutzarbeit ein beachtlicher Teil wieder in den Kompressor gesteckt werden. Der Überschuß der Gasturbine ist demnach immer stark davon abhängig, wie hoch der Wirkungsgrad von Gasturbine und Kompressor ist, dieser Wirkungsgrad wird insbesondere bei kleinen Belastungen sehr stark absinken, so daß eine reine Gasturbine bei Teillast schlechte Wirkungsgrade haben muß. In dieser Hinsicht wirkt nun die Dampfkraftanlage ausgleichend, da deren Wirkungsgrad wegen der nicht in Erscheinung tretenden Leistungen zum Auf-Drückbringen des Arbeitsmittels mit kleiner Belastung nicht so stark absinkt. Selbstverständlich ist die Möglichkeit gegeben, mit Hilfe des Dampfes eine gewisse Energiespeicherung vorzusehen, die zur Elastizität der Anlage benutzt wird.

Von entscheidender Wichtigkeit wird neben dem rein wärmetechnischen Verhalten auch die Betriebssicherheit sein und es ist anzunehmen, daß eine Gasturbine mit gekühltem Läufer wesentlich längere Betriebszeiten haben wird, als eine ungekühlte

Technik und Wirtschaftlichkeit der Gasverteilung.

Von Dr. Liagens, Wirtschaftsgruppe Gas- und Wasserversorgung, Berlin, vorgetragen vor der Brennkrafttechnischen Gesellschaft in der Gemeinschaftstagung „Gas und Gasbau" am 4. März 1942.

In den ersten Jahren der deutschen Gaswirtschaft spielten die Fragen der Technik und der Wirtschaftlichkeit der Gasverteilung wohl wenn überhaupt eine untergeordnete Rolle, denn damals wurden Gaswerke an den Orten des Bedarfes errichtet und das Gas wurde zu den Bedarfsstätten mittels nicht allzu langer Leitungen hingebracht. Erst die Entwicklung dieser kleinen Gasversorgungen zu größer dimensionierten Versorgungsgebieten brachte eine gewisse Standortsverlagerung der Gaswirtschaft nach den Rohstoffen oder Transportmöglichkeiten mit sich, bis schließlich infolge der notwendigen Einschaltung von großen Mengen Gas aus den Kokereibetrieben neben die Erzeugung als ebenso wichtiger Faktor das Problem der Verteilung trat. Selbst wenn heute wieder wenigstens teilweise genau entgegengesetzte Tendenzen zu der eben erwähnten Entwicklung festzustellen sind, so dürfte diese Tatsache an der jetzt üblichen Verteilungsmethode nichts oder nur wenig ändern. Denn man wird durch Hochleistungs-Gaserzeugungs-Verfahren jeder hierbei evtl. auftretenden Gefahr zu begegnen wissen.

Im Rahmen meines Vortrages soll uns jedoch nur die Gasverteilung interessieren und hierbei ist festzustellen, daß man entsprechend dem Mengenbedarf und dem Standort der Konsumenten drei Gruppen zu unterscheiden hat:

1. die Eigenerzeugung ohne Verteilung, d. h. also der Bedarf ist bestimmend für die zu erzeugende Menge. Man erzeugt dann eben nur soviel als man wirklich braucht. Hierzu gehören neben den stationären Anlagen auch u. a. als augenfälligstes Beispiel die Generatoranlagen auf den Fahrzeugen;
2. Die Gaserzeugung, die durch ein Netz zur Verteilung gelangt, wo wir zu unterscheiden haben zwischen Ortsnetz und Ferngasleitung;
3. Verteilung mittels Flaschen, die der Vollständigkeit halber hier auch wenigstens erwähnt werden sollen, ohne daß es notwendig ist, hierauf näher einzugehen.

Denn uns interessieren zur Behandlung des mir gestellten Themas nur die unter 2. angeführten Verteilungsarten.

Im Folgenden sollen deshalb die neuesten Erkenntnisse der Technik und Wirtschaftlichkeit der Gasverteilung durch Leitungen und Netze dargelegt werden. Sie verteilen sich auf die zwei Hauptgebiete:

1. Gasverteilung in den Ortsnetzen und
2. Gasverteilung in den Ferngasleitungen.

Gasverteilung in den Ortsnetzen:

Durch die außerordentliche, z. T. sprunghafte Steigerung des Gasabsatzes in Haushalt, Gewerbe und Industrie reichte das vorhandene Rohrnetz mit der Niederdruckverteilung vielfach nicht mehr aus. Es mußten neue Wege beschritten werden, um die Gasversorgung in den Ortsgebieten sicherzustellen. Man stand vor der Frage, das vorhandene Rohrnetz zu erweitern oder den Druck zu erhöhen. Aus wirtschaftlichen Gründen ging man den letzteren Weg. Während man im ersteren Falle einen großen Teil des vorhandenen Rohrnetzes hätte verstärken müssen, benötigte man im zweiten Falle entweder überhaupt keine Neuverlegung bzw. nur einzelne zusätzliche Leitungen. Die Druckerhöhung konnte nun für das gesamte Rohrnetz durchgeführt werden oder man konnte das

Rohrnetz durch Speiseleitungen mit erhöhtem Druck speisen. Der Druck würde dann durch Bezirksregler wieder auf den Verbrauchsdruck heruntergesetzt. Bei der Druckerhöhung in dem gesamten Netz konnte bei einer Drucksteigerung auf 120 mm WS das 1½-fache und bei einer Steigerung auf 300 — 400 mm WS eine 3 — 4fache Leistungssteigerung erreicht werden. Zu der Druckerhöhung ist man vor allen Dingen gezwungen, wenn sowohl das Rohrnetz als auch die Steigleitungen einen geringen Querschnitt haben. Durch die Druckerhöhung erhöhen sich gleichfalls die Verteilungskosten, und zwar um die Kosten, die notwendig sind für die Anschaffung, den Einbau und die Unterhaltung von Wohnungsdruckreglern bzw. Hausdruckreglern und aus den Betriebskosten der Verdichtung.

Die zweite Art der verstärkten Zuleitung ist die Leistungserhöhung durch Anlegung von Speiseleitungen für erhöhten Druck mit Einsatz von Bezirksreglern. Diese Art der Verteilung hat sich ebenfalls bewährt und ist in vielen Städten durchgeführt worden. Durch den erhöhten Druck konnte man Verteilungsleitungen von schwächerem Durchmesser wählen, die die Herstellungskosten erheblich senkten. Außerdem ist man bei steiger Überwachung des Rohrnetzes auf seine Drücke jederzeit in der Lage, schwache Punkte im Rohrnetz, d. h. in Bezirken durch Nebenanschluß an die Verteilungsleitungen zu verbessern. Die Art der Durchführung ist sehr elastisch und kann den jeweiligen Verhältnissen angepaßt werden.

Falls die bisher ausgeführten Maßnahmen nicht ausreichen, ist man gezwungen, die beiden Arten zu kombinieren, d. h. im gesamten Rohrnetz mit erhöhtem Druck zu fahren und außerdem dieses durch Druckleitungen über Bezirksdruckregler zu speisen. Da man die Drücke der Speiseleitungen sehr hoch halten kann, ist man in der Lage, eine 8- bis 10fache Leistungssteigerung gegenüber dem früher vorhandenen Niederdruckrohrnetz zu erreichen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß alle diese Arten sich in der Praxis eingeführt und bewährt haben. Die Meinungen sind aber je nach dem vorliegenden Verhältnissen geteilt darüber, ob die Verlegung einer besonderen Speiseleitung mit Bezirksdruckreglern oder die Erhöhung des Verteilungsdruckes unter Anwendung von Wohnungsdruckreglern jeweils die richtige Lösung ist. Entscheidend ist der Zustand und Aufbau des Rohrnetzes und mitbestimmend die lichte Weite der Zu- und Steigleitungen.

Allgemein ergibt sich aus Berechnungen, daß die Anlagekosten eines Mitteldrucknetzes nur noch 50 % derjenigen des Niederdruckpetzes betragen, daß aber Steigerungen im Niederdrucknetz über 500 mm WS hinaus keine weiteren wesentlichen Kostenersparnisse bringen. Dieser Verteilungsdruck scheint daher ein Optimum an Anlage- und Betriebskosten zu bilden.

Gasverteilung in den Ferngasleitungen:

Im Gegensatz zur Ortsgasversorgung, die mit niedrigeren Drücken arbeitet, arbeiten die Ferngasversorgungen mit hohen Anfangsdrücken in der Fernleitung. Um mit geringen Rohrdurchmessern auszukommen, ist es also von großer Wichtigkeit, den notwendigen Durchmesser richtig zu ermitteln, da hiervon, allein die Wirtschaftlichkeit des Rohrstranges abhängt. Daher ist bei der Planung und dem Ausbau der Rohrleitung die abzusetzende Gasmenge von entscheidender Bedeutung, die an Hand von sorgfältigen Aufnahmen ermittelt werden muß. Die wirtschaftlichste Rohrweite hat demnach den Leitungsdurchmesser, bei dem der Transport einer bestimmten Menge Gas über bestimmte Entfernungen und unter Verwendung eines jeweils bestimmten Transportdruckes mit dem wirtschaftlich günstigsten, d. h. mit dem niedrigsten Einsatz an Kapital und Kosten ermöglicht wird.

Da bei den aus wirtschaftlichen Gründen festgelegten Rohrweiten der Druck ebenfalls erheblich sein kann und die wechselnden Belastungen beträchtliche Druckänderungen hervorrufen können, gilt es nun die Aufgabe zu lösen, mit den geringst möglichen Verdichtungskosten die erforderlichen Gasmengen zu liefern und den Druck in der Fernleitung konstant zu halten bzw. den Druck im Ende der Leitung so hoch zu halten, daß der erforderliche Leitungsdruck niemals unterschritten wird. Die Gaslieferung der Lei-

tung bedarf daher einer sorgsamen Steuerung in Abhängigkeit vom Gasbezug der an das Fernleitungsnetz angeschlossenen Abnehmer. Hierzu ist erforderlich, daß man Tagesleistungskurven aufstellt, die als Grundlage für die Lieferung dienen können. Vergleicht man hiermit einmal die Tagesleistungskurven bei der Ortsgasversorgung, so erhält man zwei vollkommen verschiedene Bilder. Bei der Ferngasversorgung ist die Kurve wesentlich flacher. Während bei der Ortsgasversorgung eine starke Spitze in der Mittagszeit auftritt, verursacht durch den Kochverbrauch, tritt diese bei der Ferngasversorgung nicht in Erscheinung. Gemeinsam unterliegen beide den Witterungseinflüssen, mit zunehmender Kälte steigt der Gasabsatz sehr stark an. Um nun jederzeit die Druckverhältnisse in den Fernleitungsnetzen überwachen zu können, werden an einigen Stellen des Netzes Druckmessungen vorgenommen. Dies wird aus wirtschaftlichen Gründen getan, um die hohen Verteilungskosten des Gases herabzusetzen. Man beobachtet die Drücke an den verschiedensten Stellen der Leitung mit Hilfe der Fernmessung, und je nach fallender oder steigender Tendenz wird die Lieferung entsprechend gesteuert.

Da die elektrische Übertragung der Drücke ohne jede Zeitverschiebung vor sich geht, ist nur die Laufzeit der durch eine Lieferänderung bedingten Druckwelle von Anfang bis Ende einer Leitung in Rechnung zu setzen. Aus der Beobachtung des Druckes kann nicht ohne weiteres auf das Ausmaß der Mengenänderung geschlossen werden. Bei einer gegebenen Leitung ergibt sich jedoch aus der Geschwindigkeit des Druckabfalles oder Druckanstieges auf Grund der Erfahrung auch die Größenordnung der Entnahmeänderung der Lieferung, um den Enddruck wieder auf seinen normalen Wert zu bringen. Der Mindestdruck in dieser Rohrleitung darf niemals unterschritten werden, da hierdurch Schwierigkeiten bei den industriellen und sonstigen Gasverbrauchern auftreten. Es muß also immer über dem normalen Gasdruck liegen. Hierzu ist, wie aus dem vorher Gesagten hervorgeht, es aber häufig notwendig, um eine Druckminderung am Ende einer Leitung schnell auffüllen zu können, eine hohe Zusatzlieferung vorzunehmen. Da die Leitungen für einen bestimmten Höchstdruck gebaut werden, ist daher ihre Leistungsfähigkeit begrenzt. Es ist also unmöglich, bei einem starken Druckabfall am Ende der Leitung bei einem Anfangsdruck von z. B. 20 atü soviel Gas hindurchzudrücken, wie erforderlich ist, um die Gaslieferung bei entsprechendem Druck dem Endabnehmer sicherzustellen. Ist eine Leitung nun so lang bzw. sind schon am Anfang der Leitung Abnehmer angeschlossen, so kann es vorkommen, daß der Enddruck nicht gehalten werden kann. Dann ist man gezwungen, Zwischenverdichtungen vorzunehmen. An bestimmten Stellen der Leitungen werden Zwischenverdichterstationen eingebaut, die den Enddruck dann herstellen. Diese Zwischenverdichteranlagen sind dann wieder aus rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten notwendig, um die hohen Kosten der Verdichtung am Anfang der Leitung zu verringern.

Eine andere Lösung, um am Ende der Leitung oder an Zwischenpunkten genügend Gas zu haben, ist die Speicherung. Während der Höchstbeanspruchung kann dann zusätzlich aus dieser Gas entnommen werden, wogegen bei geringer Belastung, hauptsächlich des Nachts, die Speicherung wieder aufgefüllt wird. Ob man an diesen Punkten die Ausführung von Niederdruck-, Hochdruck- oder sonstigen Druckbehältern durchführt, kann nur von Fall zu Fall nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten beurteilt werden.

Betriebsüberwachungen und Instandsetzungsarbeiten.

Zum Betrieb von Leitungen gehören sowohl bei der Ortsgas- als auch bei der Ferngasversorgung die dauernde Überwachung, die Unterhaltung und die Beseitigung von Störungen. Bei der Ortsgasversorgung hat es sich gezeigt, daß Leitungen von geringem Querschnitt viel empfindlicher gegen äußere Einwirkungen sind als solche mit größerem Querschnitt. Vor allen Dingen ist dies zurückzuführen auf den hohen Straßenverkehr und die häufigen Erdarbeiten in einem Stadtgebiet. Deshalb wäre es vorzuziehen, daß in Zukunft, ähnlich wie beim Wasserrohrnetz, Leitungen unter 100 mm Durchmessen nicht verlegt werden; denn gerade die Unterhaltungskosten des Rohrnetzes machen einen erheblichen Teil der Verteilungskosten aus.

Während die ständige Überwachung des Rohrnetzes bei der Ortsgasversorgung nicht in dem Maße notwendig ist, wie bei der Ferngasversorgung, da hier mit Nieder- oder Mitteldruck gearbeitet wird und die Rohrleitungen in bebautem Gelände liegen, wo Störungen durch die Anwohnerschaft schnellstens gemeldet werden, liegen die Fälle bei den Ferngasleitungen anders. Die Ferngasleitungen sind in unbebautem Gelände verlegt, häufig in Wald- und Wiesengebieten, und hier ist es unbedingt erforderlich, die Leitungen sorgfältig und dauernd zu überwachen. Hierzu werden Streckenwärter eingesetzt, die planmäßig ihre Streckenabschnitte begehen. Diese Strecken sind wiederum nur so lang bemessen, daß sie an einem Tage begangen werden können.

Nach DIN 2470 muß über jede Schweißnaht innerhalb der Bebauung ein Riechrohr angeordnet sein. Hierzu wird bei der Kontrolle und Begehung erhebliche Zeit benötigt und die Tagesabschnitte richten sich dann danach. Genau wie bei den Ortsgasnetzen sind auch hier die Störungstrupps mit kleinen Gassuchgeräten ausgerüstet. Während kleinere Mängel von den Streckenwärtern behoben werden können, werden bei erheblichen Störungen die Betriebsleitungen unterrichtet und die Störungen dann durch entsprechend ausgerüstete Störungstrupps, die ohne größere Schwierigkeiten schnellstens an die Störungsstelle gelangen können, beseitigt. Dies hat sich bei großen Ortsbezirken und bei den Fernleitungen bestens bewährt. In den hierzu eingesetzten Bereitschaftswagen sind alle für die Beseitigung der Störungen vorhandenen Geräte untergebracht. Ferner befindet sich darin ein Mannschaftsraum, der den Mannschaften Unterkunft gewährt und sie gegen die Unbilden der Witterung schützt. Daher ist die Mannschaft bei Ankunft an der Unfallstelle frisch und voll leistungsfähig zum Arbeitseinsatz.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Eine Leistungssteigerung des Rohrnetzes ergibt sich bereits durch Erhöhung des vorhandenen Niederdruckes von 80 auf 120 mm WS. Sie wird weiter verbessert durch Übergang auf einen Verteilungsdruck von 300 bis 400 mm WS, wobei jedoch zur Erzielung eines gleichbleibenden Gebrauchsdruckes von 60 bis 80 mm WS an den Geräten Haus- oder Wohnungsdruckregler eingebaut werden müssen. Diese Steigerung der Netzleitung wächst jedoch nur mit dem Wurzelwerk des Druckgefälles und ist daher auf die 3- bis 4fache Anfangsleistung begrenzt. Überall dort, wo heute schon ein Verteilungsdruck von 80 bis 120 mm WS eingeführt ist, läßt sich daher nur noch eine ungefähre Verdoppelung der Leistung erzielen, die aber den zu erwartenden Steigerungen nicht mehr häufig gerecht wird. Für solche Verhältnisse ist das System der Druckerhöhung im Verteilungsnetz nur noch wenig elastisch.

Die Einführung von Speiseleitungen oder eines überlagerten Mitteldrucknetzes ist dem gegenüber wesentlich elastischer und anpassungsfähiger. Durch Einbau von Bezirksdruckreglern in das Niederdrucknetz kann dessen Leistung je nach den vorliegenden Verhältnissen ganz erheblich (bis auf das 8- bis 10fache) gesteigert werden. Die Endleistung des Mitteldrucknetzes kann aber wiederum durch ein zweites überlagertes Hochdrucknetz vervielfacht werden. Auf diese Weise ist es möglich, sich den Anforderungen des Verbrauchs und der Ausdehnung des Verbrauchsgebietes jeweils schrittweise anzupassen und damit die sparsamste Art der Rohrnetzerweiterung durchzuführen, im Gegensatz zu den Gepflogenheiten früherer Jahre, wo man die Querschnitte der Stammleitung für den Bedarf einiger Jahrzehnte möglichst groß ausgeführt hat.

Die Anlagekosten eines solchen überlagerten Mitteldrucknetzes sind infolge der kleineren Rohrdurchmesser und der wenigen erforderlichen Rohrstränge verhältnismäßig gering gegenüber den Anforderungen des Niederdrucknetzes. Ebenso sind infolge des geringen Anfangsbetriebsdruckes die Betriebskosten für den Anfang niedrig. Der weitere Ausbau unserer Rohrnetze müßte demgemäß in erster Linie durch Anlage eines Mitteldrucknetzes erfolgen, das neben der Versorgung des Niederdrucknetzes dem Zweck dienen würde, Gewerbe- und Industrieanlagen, weiterhin auch Stadtrandsiedlungen unmittelbar zu versorgen. Der Ausbau unserer Niederdrucknetze sollte nur in dem Maße geschehen, als Ringleitungen zusammenzuschließen wären und Anschlußmöglichkeiten für den späteren Einbau von Bezirksreglern in Betracht zu ziehen sind. Falls Niederdruckleitungen nicht mehr genügen, sind Hochdruckleitungen anzulegen, sie aber von Anfang an so gestaltet werden müssen, daß sie den späteren Möglichkeiten, wie etwa der Einschaltung als Teile einer größeren Fernleitung für einen Betriebsdruck von 10—25

atü, genügen können. In jedem Falle sind die Versorgungsnetze der Ortsnetze so auszubauen, daß sie allen späteren Anforderungen leicht angepaßt werden können. Dabei ist einem sparsamen Materialaufwand und den sonstigen wirtschaftlichen Belangen besondere Beachtung zu schenken.

Der weitere Ausbau der Fernversorgung und das Bestreben, ein Reichsgasnetz zu schaffen, das die Kokereien und größten Ortsgaswerke verbindet, um auch im Gas eine Verbundwirtschaft zu erreichen, wird die wichtigsten Industriegegenden Deutschlands gasmäßig aufschließen und eine spätere Ausnutzung des Gases gewährleisten. Wie Sie alle wissen, ist in den letzten Jahren der Gasbedarf enorm gestiegen und viele Industriegegenden, die einen hohen Gasbedarf haben, müssen erst noch aufgeschlossen werden. Es werden natürlich neben der Systematik der Aufschließung vor allen Dingen die wirtschaftlichen Belange die Aufschließung beeinflussen. Da bei der Aufschließung und Erweiterung der vorhandenen Anlagen bzw. bei dem Ausbau von neuen Erzeugungsanlagen nicht nur die rein wirtschaftlichen sondern ebenso die wehrwirtschaftlichen Belange eine Rolle spielen, hat sich hierbei die Reichsregierung tatkräftig eingeschaltet, und in vielen Fällen wird die Planung in ihrer großen Abmessung von dieser bestimmt. Die finanziellen Schwierigkeiten werden dann durch Reichsmittel überbrückt.

Um die großen Aufgaben reichseinheitlich durchführen zu können, ist vor allen Dingen notwendig, im ganzen Deutschen Reich ein einheitliches Gas zu erzeugen und in die geplanten Verteilungsleitungen zu schicken. Dieses Gas muß dann überall gleichen Heizwert, gleiche Dichte und gleiche Zündgeschwindigkeit haben. Die Arbeiten zur Vereinheitlichung der Gaseigenschaften sind jetzt aufgenommen worden und werden hoffentlich bald zu einem Ergebnis führen, das sowohl die Erzeugerstätten der Gasversorgungsbetriebe als auch der Kokereien befriedigen und sich zum Wohle des Großdeutschen Reiches auf die deutsche Gaswirtschaft auswirken wird. Denn heute, wo sich bereits die Konturen eines neuen Europas abzeichnen, wäre es verfehlt, noch wie vor wenigen Jahren eine sog. Kirchtumpolitik zu treiben, d. h. nur von dem Standpunkt des eigenen Gaswerkes oder sonst einer im Gesamtblickfeld kleinen Einheit die Entwicklung zu betrachten oder gar meistern zu wollen. Auch auf dem Gebiete der Gasverteilung verlangt die Gegenwart weitschauende Planung. Die Erinnerung an den meines Erachtens völlig unsinnigen Kampf zwischen Stadtgas und Ferngas von einstmals sollte uns allen eine Warnung sein. Denn wenn man an das neue Europa und an eine Großraumwirtschaft dieses Erdteiles glaubt, dann dürfte es auch nicht als vermessen angesehen werden, an eine zumindest großdeutsche Gaswirtschaft zu glauben. Wir werden hierbei von der ursprünglichen Ortsgasversorgung über die Synthese der Orts-Ferngasversorgung zu der Reichsgasversorgung kommen müssen, und am Ende dieser Entwicklung steht der sog. Reichsgasring, der neben der Zusammenfassung aller wichtigen Gaserzeugungsstätten eine klare und sichere Steuerung der Gasverteilung zulassen wird. Hierbei werden selbstverständlich gerade an das Gebiet der Gasverteilung gewaltige Forderungen gestellt werden müssen, wobei die Frage der Wirtschaftlichkeit zweifellos hinter die Frage der Technik zu treten haben wird. Man wird sich zwangsläufig freimachen müssen von egozentrischen Gesichtspunkten und wird sich bei der Planung derartig großer Aufgaben einzig und allein leiten lassen von dem elementarsten Grundsatz unseres heutigen Staates, nämlich der deutschen Wirtschaft und damit dem Volke zu dienen. Nicht Eigenbrödelei, sondern nur Zusammenfassung aller aufbaufähigen Kräfte kann hier zum Ziele führen, ungeachtet aller Opfer, die hierbei verlangt werden müssen; denn nach dem jetzigen Kriege muß der Friede ebenfalls gewonnen werden.

Zusammensetzung von Steinkohlengasen

	Schwelgas-Anlage					Spülgas-schwelung		Entgasung		Vergasung von			Schwelofen-Generatorgas		Wassergas aus			
	Fr.-Ofen	Krupp-Essigl.-Ofen	Koksm.-Dieber-Ofen	Koksm.-Koppers-Ofen	Kl.-Dieb.-Dieb.-Ofen	un-mittelbar	mittelbar	Stadtgas	Koksofengas	Kohle	Anthrazit	Koks	Schwelgas	Schwelgas	Kohle	Koks	Doppelgas	Glühgas
Kohlendioxyd ..... %	8,2	4,5	7,5	4,4	6,4	7,5	3,5	4,0	2,3	2,0	4,7	0,0	2,0	2,1	5,0	5,0	0,2	7,8
Schwere Kohlenwasserstoffe ..... %	3,8	3,3	2,5	1,7	3,5	1,0	1,5	2,0	2,8	0,3	0,0	0,0	0,3	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0
Sauerstoff ..... %	0,6	0,5	0,2	0,2	0,4	0,5	0,2	0,5	0,5	0,5	0,0	0,0	1,0	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0
Kohlenoxyd ..... %	5,0	9,2	14,0	12,0	4,2	10,0	15,5	21,0	14,0	20,0	20,8	30,0	31,1	31,2	33,7	40,0	33,5	29,0
Wasserstoff ..... %	21,9	23,8	28,0	50,2	15,0	25,0	40,3	51,5	53,4	10,3	10,0	1,4	11,8	11,4	50,3	50,0	40,0	2,5
Methan und Homologe %	54,1	50,7	43,0	25,4	46,0	14,0	29,0	17,0	22,0	2,1	0,0	0,0	4,8	2,4	4,7	0,0	5,2	0,0
Stickstoff ..... %	0,5	9,0	4,8	5,2	23,0	42,0	7,0	4,0	5,0	40,2	57,0	(67,1)	48,4	52,2	5,0	5,0	8,5	61,0

Zusammensetzung von Braunkohlengasen

	Schwelgase					Drehrost-Generatorgas		Stadtgas		Generatorgas von Winkler						Synthesegas, Ruhrgas-Technik		
	Rolig-Ofen		Geisweid-Ofen[1]							Kohle			Schwelkoks					
	Rohkohle	Schwelkoks	K.V.G.	Ibbenbüren	Lurgi-Verfahren	Rohkohle	Briketts	Dieberbybetrieb	Lurgi-Druckvergaser	Schwachgas	Mischgas	Wassergas	Schwachgas	Mischgas	Wassergas	Ammoniaksynthese	Fischer-Synthese	Benzin-Fischer-Synthese
																Lignit	Braunkohlenbriketts	
Kohlenoxyd ..... %																		
Schwefelwasserstoff ..... %	18,2	22,0	30,0	54,0	10,0	0,3	3,7	8,5	3,0	8,5	10,3	10,1	4,0	13,3	17,0	0,3	11,7	46,2
Schwere Kohlenwasserstoffe ..... %	0,0	1,5	4,5	6,1	0,8	0,0	0,0	2,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,4
Sauerstoff ..... %	0,0	4,0	0,0	0,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kohlenoxyd ..... %	2,0	10,5	12,2	13,0	11,5	23,3	30,0	19,0	22,8	22,5	32,0	41,8	32,7	38,0	42,0	38,0	28,0	0,8
Wasserstoff ..... %	14,8	21,0	10,0	5,5	11,0	11,9	10,7	45,9	48,7	12,0	20,7	37,2	7,0	20,5	39,0	51,8	50,3	18,3
Methan und Homologe %	8,0	12,5	24,5	17,1	11,0	1,5	2,0	18,2	22,0	0,7	1,3	0,0	0,5	0,0	0,7	0,8	1,5	17,0
Stickstoff ..... %	47,7	28,5	4,4	2,0	45,5	54,0	53,0	5,0	2,3	53,7	10,8	1,0	54,0	21,5	0,7	5,9	1,0	11,2

[1]) K.V.G. = Kohlenveredlungsgesellschaft (Obere Bauart)
Iberg-Geisweid (neuere Bauart)

Gasanfall bei der thermischen Kohlenveredlung und die neuere Entwicklung der Vergasung.

Von Dr.-Ing. e. h. A. Thau, Berlin; vorgetragen vor der Brennkrafttechnischen Gesellschaft E.V. auf der Gemeinschaftstagung „Gas und Gaskraft" am 4. März 1942.

Die thermische Veredlung der Steinkohle erstreckt sich ganz überwiegend auf ihre Entgasung und Verkokung in Koksöfen und den Gaserzeugungsöfen der Gaswerke. Das dabei anfallende Kohlengas bleibt hinsichtlich seiner Verwendung in diesem Zusammenhang außer Betracht, soweit es als Heiz- und Treibmittel dient, wozu in Form von Stadt-, Fern-, Industrie- und Maschinengas der weitaus größte Teil verbraucht wird. Da auch die Verwendung verdichteten Kohlengases zum Antrieb von Fahrzeugmotoren hier nicht einbezogen wird, bleibt nur noch seine Berücksichtigung als Ausgangsstoff für chemische Verfahren, zu welchem Zweck das Gas einer physikalischen, thermischen oder thermisch-katalytischen Aufbereitung unterworfen werden muß.

Gaszerlegung durch stufenweise Verdichtung.

Bei der chemischen Auswertung des Koksofengases wird der größte Anteil fast ausschließlich als Ausgangsgas zu chemischen Synthesen herangezogen, wofür es sich besonders eignet, da es zur Hälfte aus Wasserstoff besteht. Die als Synthesegas unerwünschten Anteile werden durch stufenweise Verdichtung entfernt und, soweit sie brennbare Gase bilden, anderen Zwecken zugeführt. Dabei handelt es sich um Kohlenoxyd, Äthylen und Methan, wovon das zuerst genannte meist einem Heizgas zugesetzt wird. Das für die stufenweise Zerlegung des Kohlengases angewandte Verfahren von Linde [1]) kann hinsichtlich seiner Bau- und Betriebsweise als bekannt vorausgesetzt werden. Die thermodynamischen Rechnungsgrundlagen für solche Anlagen zur Gewinnung des Wasserstoffs aus Koksofengas entwickelte V. Fischer [2]) in einer Arbeit, auf die hier verwiesen wird. V. Fischer [3]) führt in einem anderen Aufsatz auch die Berechnung einer Gaszerlegungsanlage durch. Die Anlagen werden in der Größenordnung für einen Durchsatz von 3000 bis 7000 Nm³/h Koksofengas erbaut, und nach den Angaben von H. Brückner [4]) wird das Koksofengas für die Ammoniaksynthese mengenmäßig wie folgt zerlegt.

Zugeführt:	Koksofengas	6611	Nm³
	Stickstoff (verflüssigt)	1495	„
		8106	Nm³
Abgeführt:	Äthylenfraktion	330	Nm³
	Methanfraktion	1959	„
	Kohlenoxydfraktion	882,5	„
	Wasserstoff-Stickstofffraktion	4932	„
		8103,5	Nm³

Das Kohlendioxyd erscheint nicht in dieser Aufstellung, da es vorher durch eine Druckwasserwäsche entfernt wird. Die Kohlenoxydfraktion wird, wie bereits erwähnt, in der Regel einem Heizgas zugesetzt, so daß Äthylen und Methan als wertvolle Bestandteile anderweitig zur Verfügung stehen. Die Verwendung des Methans als Kraftstoff zum Faltrzeugantrieb bietet in Form von Flaschengas die einfachste Absatzmöglichkeit, doch soll darauf im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen werden.

Die fraktionierte Zerlegung wurde von Bronn[1]) im Jahre 1916 auf Koksofengas angewandt und nach den Angaben von A. Sander[2]) waren allein im Ruhrgebiet im Jahre 1929 bereits 4 Linde-Anlagen mit 13 Einheiten in Betrieb, deren jährlicher Durchsatz 500 Millionen m³ Koksofengas entspricht. Die chemische Weiterverarbeitung des Äthylens auf Äthylalkohol durch Bindung an Schwefelsäure hat sich nicht durchsetzen vermocht und die Überführung des Methans in Azetylen und Benzol, für die Franz Fischer[3]) und seine Mitarbeiter mehrere Verfahren im Kohlenforschungsinstitut zu Mülheim entwickelt hatten, konnte sich im Großbetrieb noch nicht behaupten. Über die weiteren Verfahren zur chemischen Auswertung des Methans berichtete R. Heinze[4]).

Rußherstellung.

In Amerika wird das vielfach zu über 90% aus Methan bestehende Erdgas durch Verbrennung bei ungenügender Luftzufuhr auf Ruß verarbeitet. Von dieser Möglichkeit ließe sich auch bei uns in Verbindung mit der Methanverwertung Gebrauch machen, obwohl sie in dieser Form als Energieverschwendung zu betrachten ist. Über die für die Rußherstellung aus verschiedenen Rohstoffen gültigen Arbeitsbedingungen berichtete M. Goecke[5]), wobei infolge der im Laufe der Jahre gewaltig gesunkenen Rußpreise die Aussichten für eine solche Aufarbeitung des Methans in wirtschaftlicher Hinsicht nicht als günstig angesprochen werden können, so daß diese Möglichkeit der Methanverwertung hier nur der Vollständigkeit halber angeführt wird.

Um die Bedeutung der Erzeugung und des Verbrauchs an Ruß kurz zu kennzeichnen sei hier erwähnt, daß nach den Angaben von Goecke im Jahre 1932 bei uns in Deutschland 6300 t Ruß erzeugt wurden, dessen Preis im Jahre 1925 61 M/t betrug, der aber bis zum Jahre 1932 auf 33 M/t gesunken war. Im gleichen Jahre wurden dann 5711 t Ruß aus Amerika zu einem Preis von 60 M/t eingeführt, für die im Jahre 1925 noch 124 M/t gezahlt werden mußten. Neben den Schwarzfarbenfabriken ist die Gummiindustrie der Hauptverbraucher für Ruß.

Thermische Gasumformung.

Für die Kraftstoffsynthese nach Fischer und Tropsch ist eine so weitgehende Reinheit des Ausgangsgases, wie sie für die Ammoniaksynthese notwendig ist, nicht erforderlich, weshalb man dafür von einer Zerlegung des Gases in Einzelfraktionen absehen kann, und man begnügt sich daher mit einer thermischen Umformung, um so mehr, als ja das im Koksofengas enthaltene Kohlenoxyd als Reaktionsteilnehmer an der Synthese erhalten bleiben soll, wozu es mengenmäßig nicht einmal ausreicht. Aber auch bei der Ammoniaksynthese wendet man oft eine thermische Umformung des Koksofengases an, um das Methan in Gegenwart von Wasserdampf in Wasserstoff zu überführen.

Als einfachsten Weg zu diesem Ziel hatten F. Fischer[6]) und seine Mitarbeiter Versuche durchgeführt, bei denen Koksofengas mit Wasserdampf gemischt durch den Wassergaserzeuger gedrückt wurde, wobei das Methan im Feuerbett des Schachtes thermisch aufgespalten wird. Nach den Angaben von Gumz und Lessnig[7]) hat dieses Verfahren zu keinem befriedigenden Ergebnis geführt, da, abgesehen von Rußabscheidungen und anderen Störungen, die Umsetzung des Methans über 70% nicht hinausging.

Bei der Herstellung von Kohlenwassergas gelingt es dagegen, die im Schwelgas enthaltenen Kohlenwasserstoffe einschließlich des Methans beim Hindurchleiten des Gases durch das Feuerbett des Gaserzeugers vollkommen aufzuspalten. Nur bei einem Vergasungsverfahren, und zwar bei dem mit Sauerstoff betriebenen Wassergaserzeuger von Thyssen-Galocsy ist die Aufspaltung des im Koksofengas enthaltenen Methans erfolgreich durchgeführt worden, worüber Gumz und Lessnig[7]) berichten.

Die Aufspaltung des Methans beim Überleiten des Koksofengases über hoch erhitzte Steinflächen erfolgt nach den Gleichungen:

$$CH_4 + H_2O = CO + 3H_2 \text{ oder bei niedrigeren Temperaturen:}$$
$$CH_4 + 2H_2O = CO_2 + 4H_2$$

§6

Kuhlmann-Verfahren.

Die erste auf die Behandlung von Koksofengas zugeschnittene Einrichtung stammt von Kuhlmann[10]) in Frankreich. Eine solche Anlage besteht aus mehreren mit feuerfestem Gitterwerk ausgesetzten Regeneratoren, die in je einem stark ausgemauerten, liegenden, aus Kesselblech zusammengenieteten Zylinder untergebracht sind. Durch Verbrennungskammern, die in Zwischenzonen des Gitterwerkes vorgesehen sind, wird dieses wechselweise hochgeheizt und abwechselnd wird das mit Wasserdampf vermischte Koksofengas durch das aufgeheizte Gitterwerk hindurchgedrückt, wobei 90% des Methans nebst schweren Kohlenwasserstoffen aufgespalten werden. Die Temperaturen liegen bei 1400° C und trotz des hohen Überschusses an Wasserdampf tritt durch die Gegenwart der schweren Kohlenwasserstoffe eine starke Rußbildung ein, die dazu zwingt, das Gas anschließend zu filtrieren. Die im Betrieb mit einer solchen in baulicher Hinsicht sehr einfachen Anlage auftretenden Schwierigkeiten hat P. Ebeling[11]) sehr plastisch geschildert.

Koppers-Verfahren.

An Stelle dieser waagerecht angeordneten hat Koppers stehende Gasumformer entwickelt, die sich in der Form und Einrichtung eng an die bekannten Hochofenwinderhitzer (Cowper) anschließen, wobei jedoch zum Unterschied von diesen der ganze Querschnitt mit Gitterwerk ausgesetzt ist. Die Kuppel ist durch einen Doppelkrümmer mit einer senkrecht daneben angeordneten Brennkammer verbunden und an diese schließt sich ein Wärmespeicher an, in welchem die Verbrennungsluft beim Aufheizen vorgewärmt wird. Auch diese Umformer sind stets paarweise angeordnet, um sie im Wechselbetrieb aufheizen zu können. Die Umformtemperatur liegt bei etwa 1300° und nach den Angaben von Gumz und Lessnig[9]) beträgt, auf 1 Nm³ Koksofengas bezogen, der Dampfverbrauch etwa 0,75 kg, der Wärmebedarf etwa 970 bis 980 kcal.

Gasumformverfahren von Linde.

Das von E. Karwat[4]) bei der Gesellschaft für Linde's Eismaschinen[12]) entwickelte Umformverfahren besteht aus zwei unten verbundenen, mit Koks beschickten Schächten, deren Verbrennungszone Sauerstoff zugeführt wird, während das Koksofengas wechselweise in den einen oder den anderen Schacht oben eingeleitet und aus dem anderen oben abgeführt wird. Das Methan und die schweren Kohlenwasserstoffe werden unter dem Einfluß der Flammenzone an den heißen Koksoberflächen thermisch zersetzt, wobei das aufsteigende Gas seine fühlbare Wärme auf die Kokssäule überträgt. Die Umkehr des Strömungsweges wird durch ein selbsttätiges Steuerwerk bewirkt.

570 bis 600 Nm³ Koksofengas werden bei einem gleichzeitigen Verbrauch von 120 bis 130 Nm³ Sauerstoff und 60 kg Koks in 1000 Nm³ Synthesegas übergeführt, das 92 bis 95% Wasserstoff + Kohlenoxyd enthält. Das Verfahren, von dem die erste Betriebsanlage in Italien erbaut wurde, ist mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit für Leistungen von 1300 Nm³/h aufwärts anwendbar.

Thermisch-Katalytische Umformung.

Die rein thermische Aufspaltung des im Koksofengas enthaltenen Methans erfordert, wie bereits angeführt, ziemlich hohe Temperaturen, wodurch der Gitterwerkeinbau dieser Einrichtungen einer hohen Beanspruchung ausgesetzt wird. Um mit niedrigeren Temperaturen arbeiten zu können, hat die Gesellschaft für Kohlentechnik[13]) ein katalytisches Verfahren zur Betriebsreife entwickelt, durch welches bei einer Temperatur von nur 1100° das Methan und daneben auch das Kohlenoxyd umgewandelt und das Koksofengas in ein für die Ammoniaksynthese geeignetes Gas überführt wird.

Ein weiteres Verfahren hat die I.-G. für die thermisch-katalytische Umformung des Methans entwickelt, bei dem man mit einer Temperatur von nur 800° auskommt. Über die Einzelheiten berichtete C. Bosch[14]), der erwähnt, daß reduziertes Nickel als Kon-

taktstoff dient, weshalb das Gas vor der Umformung vollkommen entschwefelt werden muß. Der Kontakt wird in Rohre aus Chromnickelstahl gefüllt, die in Kreisanordnung in einen Schachtofen stehen und von außen beheizt werden. Mehrere Anlagen dieser Art sind von der Bamag erbaut worden.

Die Aufbereitung des Koksofengases zur Verwendung als Synthesegas ist damit abgeschlossen. Auf die Synthesegaserzeugung durch das Wassergasverfahren soll in diesem Zusammenhang nicht eingegangen werden, da sie aus dem Rahmen dieser Arbeit fällt.

Schwelgas aus Braunkohle

Das bei der Schwelung der Braunkohle anfallende Gas war, so lange der Rohbraunkohle durchsetzende Rolle-Ofen das Feld beherrschte, so stark mit eingesaugter Luft vermischt, daß es mit Rücksicht auf seinen Sauerstoffgehalt oft sehr nahe an die Explosionsgrenze heranreichte. Es wird daher ausschließlich zur Beheizung der Rolle-Öfen verbraucht, wozu sein Anfall beim Durchsatz von Rohbraunkohle nicht einmal ausreicht. Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang auch, daß vor vielen Jahren im Zeitz-Weißenfelser Braunkohlenrevier ein kleines Gasmaschinengaswerk bestand, das mit Braunkohlenschwelgas betrieben wurde. Nachdem der Rolle-Ofen [13]) auf die Verarbeitung von Briketts umgestellt wurde und zu diesem Zweck einen oberen Verschluß erhielt, verringerten sich die Anteile eingesaugter Luft, doch wird das nun in seiner Beschaffenheit wesentlich bessere Gas ausschließlich zur Beheizung der Öfen benutzt.

Den ersten vollkommen geschlossenen Braunkohlenschwelofen führte C. Geissen bei der Kohlenveredlungsgesellschaft [14]), ein, dem eine weitere bei den Borsigwerken [15]) in neuerer Zeit entwickelte Bauart folgte. Da in diesen Öfen lediglich vorgetrocknete Braunkohle geschwelt wird, die nur einen verhältnismäßig geringen Wärmeaufwand erfordert, steht eine gewisse Menge Überschußgas zur Verfügung, das auf den mit einer Teeraufarbeitung verbundenen Schwelanlagen zur Destillation des Teeres ausgenutzt wird. Diese Möglichkeit ist auf der Schwelanlage der Grube Leopold zu Edderitz nicht gegeben, weshalb das überschüssige Schwelgas von dort durch eine Leitung mit 100 mm lichter Weite nach dem etwa 30 km entfernt liegenden Gaswerk Dessau gedrückt wird. Über die zu diesem Zweck getroffenen Maßnahmen berichtete A. Jahn [15]) bereits im Jahre 1934. Das Wesentliche dieser Schwelgasaufbereitung und -fernlieferung ist neben der Verdichtung die Druckwasserwäsche, durch die, außer dem Kohlenoxyd auch der Schwefelwasserstoff bis auf einen ganz geringen Rest entfernt wird. Die Wirkung der Druckwasserwäsche auf die Zusammensetzung des Schwelgases ist aus den im folgenden gegenübergestellten Durchschnittswerten erkenntlich, die sich auf das rohe und das aufbereitete Gas beziehen:

Schwelgasbeschaffenheit

		roher Schwelgas	aufbereitetes Schwelgas
Schwefelwasserstoff	%	3,5	0,0003
Kohlendioxyd	%	33,4	6,0
Schwere Kohlenwasserstoffe	%	3,2	3,5
Äthylen	%	1,3	1,6
Sauerstoff	%	0,9	1,0
Kohlenoxyd	%	12,2	19,0
Wasserstoff	%	16,6	25,2
Äthan	%	7,0	9,3
Methan	%	17,5	26,6
Stickstoff	%	4,4	7,8
Dichte (Luft = 1)		0,983	0,693
Verbrennungswärme	kcal/Nm³	5145	6905
Heizwert	kcal/Nm³	4791	6293

Unter diesen Umständen werden rund 35 Vol % des Gases durch die Aufbereitung entfernt, wovon 79 % aus Kohlenoxyd und 11 % aus Schwefelwasserstoff bestehen, während die restlichen 10 % auf die übrigen Gasbestandteile entfallen. Der Gesamtschwefelgehalt des aufbereiteten Gases beträgt 30 bis 32 g/100 m³, die auf dem Gaswerk in

Dessau in Trockenreinigern entfernt werden. Die Tagesabgabe der Anlage beträgt etwa 13000 m³ Rohgas, entsprechend 8450 m³ aufbereiteten Gases, dessen Aufbereitungskosten sich auf 2,5 Pfg/m³ belaufen. Die Abgabe an Ferngas wird nach dem erfolgten Ausbau der Schwelanlage demnächst beträchtlich erhöht.

Über das auf den Spülgasschwelereien anfallende Überschußgas, das mit einem Gehalt von rund 65% inerten Bestandteilen hinsichtlich seiner Beschaffenheit und seines Heizwertes einem Schwachgas entspricht, ist nur zu berichten, daß es im eigenen Betriebe wie Schwachgas für Heizzwecke ausgenutzt wird.

Steinkohlenschwelgas.

Die Steinkohlenschwelverfahren kann man, ähnlich wie die der Braunkohle, in zwei Gruppen teilen, und zwar in Spülgasschwelöfen und Kammeröfen mit Außenbeheizung. Das überschüssige Spülgas hat eine ähnliche Beschaffenheit wie das Braunkohlenspülgas und hinsichtlich seiner Verwendung hat das im Zusammenhang damit oben Gesagte ebenfalls Gültigkeit. Eine Ausnahme macht das Spülgas des Kollergas-Schwelverfahrens [29]), das nicht durch Verbrennung unmittelbar hergestellt wird, sondern aus mittelbar aufgeheiztem Schwelgas besteht, so daß es als solches zu gelten hat.

Da es in Deutschland nur wenige große Steinkohlenschwelanlagen gibt, stehen praktische Beispiele für die Verwendungsmöglichkeiten nicht zur Verfügung, abgesehen davon, daß es zur Schwelofenbeheizung dient und auch dem Ferngas der Kokereien zugesetzt wird. Die Aufgabe, in welcher Weise größere Mengen von Steinkohlenschwelgas am zweckmäßigsten Verwendung finden, wird daher erst in naher Zukunft zu lösen sein.

Der am meisten gemachte Vorschlag sieht eine Aufbereitung des Schwelgases mit Wassergas vor, um die Beschaffenheit des Mischgases den Normen des Stadtgases anzugleichen und es als solches zu verwenden. Dieser Vorschlag begleitete schon die ersten Anfänge der Steinkohlenschwelung in England, ohne daß er je verwirklicht worden wäre. Da der Heizwert des Schwelgases zwischen 6000 und 8000 kcal/Nm³ schwankt, ist ein ziemlich großer Wassergaszusatz erforderlich, so daß man mit einem verhältnismäßig hohen Kohlenoxydgehalt im Mischgas zu rechnen hat, der nach den heute vorherrschenden Begriffen über die Zusammensetzung des Stadtgases nicht erwünscht ist. Dagegen wird sich das Schwelgas sehr gut dazu eignen, das Stadtgas vor der Entgiftung anzureichern und seinen Heizwert zu erhöhen.

In den erstmalig von mir angegebenen stetig betriebenen keramischen Kammerschwelöfen hat man die Möglichkeit, durch Zusatz überhitzten Wasserdampfes und die dadurch bewirkte Wassergasreaktion unmittelbar ein normgerechtes Stadtgas zu erzeugen, wobei jedoch Bedingung ist, daß die untere Zone des Schwelofens heiß genug ist, um eine ausreichende Umsetzung des eingeleiteten Wasserdampfes zu bewirken. Schon dieser Umstand läßt erkennen, daß sich eine solche Arbeitsweise mit den für einen Schwelofen erforderlichen Betriebsbedingungen schwer vereinbaren läßt. Man ist dabei gezwungen, den Schwelkoks eine Zone mit so hoher Temperatur durchwandern zu lassen, daß die flüchtigen Bestandteile fast völlig ausgetrieben werden, wodurch die Beschaffenheit des Schwelkokses beeinträchtigt wird, sofern nicht ein Schwelkoks mit niedrigem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen für Sonderzwecke erzeugt werden soll. Hinzu kommt noch, daß der in der Kammer aufsteigende Wasserdampf gleichzeitig als Wärmeträger wirkt, so daß eine zonenmäßige Temperaturunterteilung nicht mehr oder doch nur sehr schwer durchführbar ist. Aus diesen Gründen ist die in Gaswerksöfen übliche gleichzeitige Wassergaserzeugung in Verbindung mit dem Schwelverfahren nicht zu empfehlen, insbesondere, wenn Wert darauf gelegt wird, einen wirklichen Schwelteer und einen gasreichen Schwelkoks mit niedrigem Zündpunkt herzustellen. Wo dem Schwelgas Wassergas zugesetzt werden soll, wird man unabhängig von den Schwelöfen eine normale Kokswassergasanlage mit Vorteil einbauen und betreiben, um das Wassergas nach der Entteerung und Leichtölgewinnung dem Schwelgas beizumischen, so daß man die Einstellung der Schwelöfen ungehindert in der Hand behält. Werden Steinkohlenschwelanlagen mit einer chemischen Fabrik gekuppelt, die gleichzeitig für das Schwelgas Verwendung hat, so

stehen dafür die bereits weiter oben angedeuteten Verfahren zu einer thermischen oder thermisch-katalytischen Umformung zur Verfügung, um die Beschaffenheit des Schwelgases dem gegebenen Verwendungszweck anzupassen.

Hydrierung und Synthese.

Auch bei den neuzeitlichen Kohlenveredlungsverfahren, der Druckhydrierung und der Kraftstoffsynthese fallen, wenn auch in verhältnismäßig geringem Anteil, brennbare Gase an. Sie haben außerhalb des Verfahrenskreislaufs keine Bedeutung, denn sie werden zum Zweck der Flaschengasgewinnung von Propan und Butan befreit, um dann entweder für die Wärmeerzeugung herangezogen oder zwecks Gewinnung von Wasserstoff einer katalytischen Umformung unterworfen zu werden.

Bei der Kraftstoffsynthese kehrt der Teil des Synthesegases, der an der chemischen Bindung in den Kontaktkammern nicht teilgenommen hat, als Restgas zurück, nachdem es in Aktivkohlefiltern von dampfförmigen Kohlewasserstoffen befreit ist. Die Menge schwankt zwischen 20 und 25 % des ursprünglichen Synthesegases. Dieses Gas enthält 40 bis 50 % Kohlendioxyd, 4 bis 8 % Kohlenoxyd, 16 bis 18 % Wasserstoff, 17 bis 20 % Methan und 8 bis 10 % Stickstoff, während den Heizwert 2000 bis 2400 kcal/Nm³ beträgt. Es wird dem Heizgas der Synthesegaserzeugungsverfahren zugesetzt; das dadurch eine willkommene Anreicherung erfährt. Die Möglichkeit, dieses Restgas für Stadtgaszwecke nutzbar zu machen, hat man ebenfalls in Erwägung gezogen, worüber H. Brückner[20]) Betrachtungen anstellt, mit denen er unter Berücksichtigung der geeigneten Wege zu dem Ergebnis kommt, daß die jährlich ansteigende Menge dieser Restgase in absehbarer Zeit zur Eingliederung in die Stadtgasversorgung führen wird.

Mit der gleichen Frage befaßt sich L. Ostermeier[21]) in einer sehr ausführlichen Arbeit, in der er insbesondere auf die hervorragende Reinheit dieses Gases hinweist, die Möglichkeit einer unmittelbaren Kupplung von Kraftstoffsynthese und Gaswerk bejaht und einen Weg weist, der den Gaswerken die Einschaltung in die heimische Kraftstoffwirtschaft eröffnet.

Gaszusammensetzung.

Die Zusammensetzung bei der thermischen Veredlung einschließlich der Vergasung von Braun- und Steinkohle anfallenden Gase ist in einer Tafel zusammengestellt, aus der die kennzeichnenden Eigenschaften jeder Gasart abgeleitet werden können.

Vergasung.

Einem von mir an anderer Stelle[22]) im vorigen Jahr an Hand des Patent- und Fachschrifttums auf Anregung von Geheimrat Gentsch erstatteten Bericht ist zu entnehmen, daß die Entwicklung auf dem Gebiet der ortsfesten, wie auch der Fahrzeug-Gaserzeuger große Fortschritte gemacht hat.

Fahrzeug-Gaserzeuger.

Hinsichtlich der Entwicklung der Fahrzeug-Gaserzeuger ist dem oben erwähnten Bericht[22]) gegenwärtig noch nichts hinzuzusetzen. Die durch den Krieg bedingte Umlagerung in der Verteilung flüssiger Kraftstoffe hat sich auf die Verbreitung der Fahrzeug-Gaserzeuger so günstig ausgewirkt, daß man schon seit einiger Zeit auf den Reihenbau von Lastkraftwagen mit Gaserzeugerantrieb übergegangen ist. Der Fahrzeug-Gaserzeuger ist, wenn es auch an der begehrten, jede Brennstoffart vergasenden Einrichtung noch fehlt, so weit vervollkommnet worden, daß er sich einen bleibenden Platz auf den Fahrzeugen gesichert hat, den er auch dann behaupten wird, wenn nach der Rückkehr normaler Verhältnisse die Beschränkungen hinsichtlich der Verwendung flüssiger Kraftstoffe fortfallen.

Ortsfeste Gaserzeuger.

Über die Entwicklung der ortsfesten Gaserzeuger ist im Anschluß an den erwähnten, Mitte vorigen Jahres erstatteten Bericht[22]) hervorzuheben, daß die Schwelteergewinnung

in Verbindung mit der Vergasung von Steinkohle im Vordergrunde steht und daß dabei beachtliche Fortschritte zu verzeichnen sind, die sich insbesondere auf die Beschaffenheit des Schwelteeres beziehen. War früher die Bezeichnung „Generatorteer" gerade in Verbindung mit der Steinkohlenvergasung gleichbedeutend mit einem minderwertigen, stark Wasser- und staubhaltigen Teer, mit dem man in vielen Fällen nichts rechtes anzufangen wußte, da seine Weiterverarbeitung meist erhebliche Schwierigkeiten verursachte, hat man die Verfahren inzwischen so weit vervollkommnet, daß die Beschaffenheit des Teeres der des Schwelofenteers sehr nahe kommt. Beispiele solcher Anlagen werden weiter unten näher berücksichtigt.

Restlose Vergasung.

Unter den durch die gegenwärtige Kriegslage angespannten Bedingungen ist die Belieferung der Gaswerke mit backenden, nicht treibenden Kohlen bestimmter Beschaffenheit oft mit Schwierigkeiten verknüpft, um so mehr, als infolge eines allerwärts gestiegenen Gasverbrauches zusätzliche Kohlenmengen zur Entgasung gebraucht werden. Die Stadtgasindustrie sucht daher über diese Beschränkungen hinsichtlich der Kohlenauswahl durch die Anwendung von Vergasungsverfahren zu überwinden, bei denen kein Koks anfällt und der gesamte Kohlenstoff in Gas überführt wird, so daß, auf die Gasausbeute bezogen, wesentlich geringere Kohlenmengen verbraucht werden. Dabei wird allerdings zur Voraussetzung gemacht, daß die Beschaffenheit des erzeugten Gases den Stadtgasnormen zu entsprechen hat. Ein solches Vergasungsverfahren gibt es gegenwärtig noch nicht, was auch aus den Berichten einer im Mai abgehaltenen, unter der Bezeichnung „Restlose Vergasung" stehenden Tagung hervorgeht, auf der K. Traenckner[23]), A. Rettenmaier[24]), Ch. Gerdes[25]), H. Löffler[26]), K. Lesch[27]), A. Thau[28]), F. Danulat[29]), F. Sommer[30]) und E. Schumacher[31]) Vorschläge zur Lösung dieser Aufgabe nach dem heutigen Stand der Technik machten.

Aus der diese Tagung kennzeichnenden Stellungnahme kann man ableiten, daß die restlose Vergasung nach dem heutigen Stand der Entwicklung nur in besonders gelagerten Fällen dazu berufen ist, an die Stelle der Entgasung backender Steinkohle zu treten, Abgesehen von der Sauerstoff-Druckvergasung, die an eine Sauerstoffgewinnungsanlage gebunden ist und daher bei einer Tagesleistung je Einheit von 25000 Nm³ Stadtgas mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit nur für Großgaswerke anwendbar ist, kommt die Doppelgaserzeugung hinsichtlich des Gasheizwertes den Bestrebungen der restlosen Vergasung für die Stadtgaserzeugung am nächsten, obwohl die Verbrennungswärme des Doppelgases über 3200 kcal/Nm³ nicht hinausgeht. Über die im Betrieb des Gaswerkes Dresden mit einer solchen Anlage gemachten Erfahrungen nebst den dabei gewonnenen Ergebnissen berichteten W. Schroth und W. Konrad[32]) ausführlich, so daß hier nur darauf hingewiesen zu werden braucht.

Kohlengaserzeuger für Hüttenwerke.

Das hauptsächlichste Anwendungsgebiet der Großgaserzeuger sind die Hüttenwerke und über die Steinkohlen vergasenden Anlagen liegt ein ausführlicher, den heutigen Entwicklungsstand umreißender Bericht von E. Rueß[33]) vor, in welchem die neuzeitlichen Gaserzeuger beschrieben werden, die sich für den Durchsatz westdeutscher Kohlen eignen. Die nichtbackenden Steinkohlen der westdeutschen Reviere sind meistens teerarm gegenüber denen Oberschlesiens, so daß sich bei der Vergasung westdeutscher Steinkohlen eine Teergewinnung kaum lohnt. Bei den hier angewandten Gaserzeugern geht man über eine lichte Schachtweite von 3 m nicht hinaus. Durch Anordnung eines Rührwerkes im Schacht läßt sich die Leistung beträchtlich steigern und beim Durchsatz von Ruhrnußkohle vergast eine solche Einheit mit 2,6 m Schachtdurchmesser 950 bis 1000 kg/h, entsprechend einer Stundenleistung von 178 bis 188 kg/m² und erzeugt daraus ein Gas, dessen Heizwert rund 1450 kcal/Nm³ entspricht. Ruß hat in seiner Arbeit mehrere Tafeln mit Anhaltszahlen zusammengestellt, die sich nicht nur auf Gaserzeuger mit abweichendem Schachtquerschnitt, sondern auch auf die Vergasung der verschiedensten westdeutschen Steinkohlen einschließlich Anthrazit und Brechkoks beziehen, deren Wiederholung jedoch über den Rahmen dieser Arbeit hinausgeht.

Steinkohlenvergasung mit Schwelteergewinnung.

Über eine Anlage, in der oberschlesische Steinkohle vergast und gleichzeitig Schwelteer gewonnen wird, berichtete K. Skroch[34], und zwar ist in die im Jahre 1934 eingebauten Gaserzeuger, die eine lichte Schachtweite von 3 m haben, oben eine nach oben leicht verjüngte ortsfeste Schwelglocke aus Kesselblech eingehängt, die bei 2 m Höhe einen unteren Durchmesser von 1850 mm hat. Schwel- und Klargas werden getrennt abgeführt, um die Teerscheidung zu entlasten und in gereinigtem Zustand werden beide Gasarten in eine gemeinsame Leitung gedrückt. Der Gaserzeuger setzt täglich bis zu 32 t Erbskohle in der Körnung 15—25 mm durch und erzeugt stündlich 3800 Nm³ Gas mit einem Heizwert von 1511 kcal/Nm³. Bei einem auf Trockenkohle bezogenen Teergehalt der Kohle von 10,6% beträgt die Teerausbeute im Betrieb 8,6% bei einem Wassergehalt der Durchsatzkohle von 6,5%. Die Eigenschaften des Teers sind aus den folgenden Angaben erkenntlich:

Siedeverlauf

205—220° C	bis °C	230	270	300	360
Siedebeginn	%	6—7	19—12	27—22	51—49
Ölgehalt	%			48,29—48,55	
Pechgehalt EP 70°	%			49,58—50,06	
Spezifisches Gewicht				1,094—1,104	
Stockpunkt °C				+ 23— + 19	
Benzolunlösliches	%			9,1—13,1	
Verkokungsrückstand	%			3,05—6,07	
Asche	%			0,27—0,95	
Saure Öle im Destillat, auf Teer bezogen	%			25,40—20,00	
Basen „ im Destillat, auf Teer bezogen	%			2,00— 2,10	
Paraffin „ im Destillat, auf Teer bezogen	%			1,48— 1,66	

Das Verfahren hat sich für die Vergasung nichtbackender Steinkohlen bewährt.

Kohlengaserzeuger mit Teergewinnung, Bauart Viag.

Im folgenden wird ein von der Vergasungsindustrie AG (Viag) entwickelter und im praktischen Betrieb bewährter Kohlengaserzeuger ausführlicher berücksichtigt, weil die Einzelheiten dieses Verfahrens bisher noch nicht veröffentlicht wurden und daher kaum bekannt sind.

Eine Anlage Bauart Viag ist in der Abb. 1 schematisch dargestellt. Der eigentliche Gaserzeuger besteht aus dem Vergasungsunterteil a üblicher Einrichtung mit Drehrost, Dampfkesselkühlmantel, Dampfsammler und nassem Aschenaustrag. Darüber ist der besonders ausgebildete Schwelschacht b angeordnet, in welchem eine gleichmäßige Spülgasschwelung der Kohle unter Vermeidung jeder Überhitzung durch einen Teil des in der Feuerzone gebildeten Gases bewirkt wird. Der Schwelschacht ist in der Senkrechten mehrfach unterteilt und trägt oben auf dem Deckel eine selbsttätige Beschickungsvorrichtung c. Die Kohle wird aus dem Vorratsbehälter d mittels der selbsttätigen mechanisch angetriebenen Beschickungsvorrichtung e in die Eintragschleuse c überführt.

Mit Hilfe des Windgebläses f wird dem Schacht durch die unter den Drehrost führende Leitung g Luft zugeführt, und zwar wird der Luft durch die mit dem Dampfsammler h des Wassermantels verbundene Leitung i eine gewisse Dampfmenge zugesetzt. Der größte Teil des in der Vergasungszone a gebildeten Gases — wegen der Abwesenheit von Teerdämpfen als Klargas bezeichnet — wird durch den Anschluß k unmittelbar abgeführt, während das restliche Gas hochsteigt und seinen Weg als Spülgas gleichmäßig verteilt durch die Beschickung des Schwelschachtes b nimmt. Das Klargas durchströmt den Röhrenkühler l und anschließend wird es in dem Standrohr m mit Umlaufwasser berieselt, um es von Staub zu befreien, wonach es in die Gassammelleitungen tritt.

Das die Kohle im Schwelschacht b durchdringende, als Wärmeträger dienende Spülgas bewirkt die Schwelung der Kohle und mischt sich mit den entbundenen Gasen und Dämpfen. Dieses Gemisch tritt durch das Pilzventil o in die Gasleitung p und gelangt in die erste Stufe q eines elektrischen Teerabscheiders. In diesem wird der Teer bei einer über

dem Taupunkt liegenden Temperatur abgeschieden, so daß er in wasserfreier Beschaffenheit anfällt. Das nun von dem größten Teil des Teeres befreite Gas wird in dem Wasserrohrkühler r auf 25 bis 30° heruntergekühlt und anschließend durch die zweite Stufe s eines elektrischen Teerscheiders geleitet, in welchem alle Teer- und Ölteilchen zurückgehalten werden, wonach das Gas durch die Sammelleitung n tritt, in welcher es sich mit dem Klargas mischt.

Die Menge des durch den Schwelschacht geleiteten Gasanteils ist abhängig von dem Wärmebedarf der Kohle. Bei der Schwelvergasung von Steinkohle reicht ein Drittel der Gesamtgasmenge aus, bei der Vergasung von Braunkohle oder eines Gemisches von

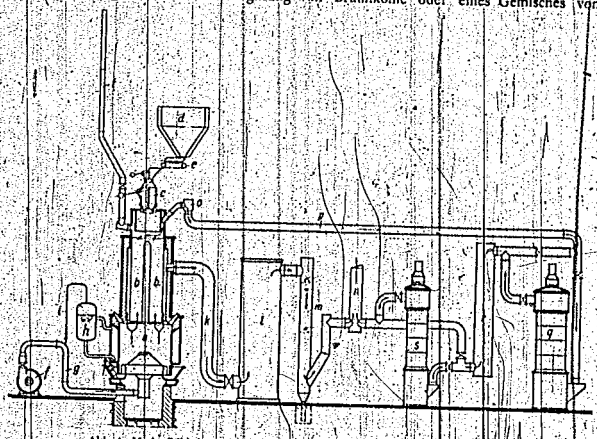


Abb. 1. Umlaufbild der Kohlenvergasungsanlage mit Teergewinnung, Bauart Viag.

Braun- und Steinkohle muß man jedoch mit zwei Drittel rechnen. Gemäß der in Abb. 1 gewählten Darstellung werden beide Gasströme nach der Reinigung vereinigt und als Gemisch abgeführt. Der Betrieb läßt sich aber auch für getrennte Gasabführung einrichten, in Fällen, bei denen eine bessere Verwendungsmöglichkeit für das heizkräftigere Schwelgas vorliegt. Bei vorübergehenden Stillständen entweicht das Gas aus dem seitlich an den Hals des Gaserzeugers angeschlossenen Abblasrohr t ins Freie.

Bei der Vergasung von Steinkohle hat das erzeugte Mischgas einen Heizwert von etwa 1600 kcal/Nm³, der deswegen verhältnismäßig hoch liegt, weil durch die gleichmäßige Wärmedurchdringung der Kohle im Schwelschacht auch die hochmolekularen Kohlenwasserstoffe erhalten bleiben.

Das so eingerichtete Kohlenvergasungsverfahren Bauart Viag bietet außer der Erzeugung eines Gases mit verhältnismäßig hohem Heizwert den Vorteil der Gewinnung eines wasserfreien Schwelteers und daneben eines Teeröls, das sich leicht von dem gleichzeitig niedergeschlagenen Schwelwasser trennt. Die Teerausbeute, bezogen auf die Bestimmung nach Fischer, beträgt mindestens 90%. Etwa zwei Drittel werden in der ersten Abscheiderstufe in wasserfreiem Zustand gewonnen und ein Drittel als Öl. Dieses hat man nach Waschung mit Natronlauge für Dieselmaschinen verwendet. Es hat einen

93

zwischen 83 und 95° liegenden Zündpunkt und sein Siedebereich entspricht den folgenden Werten:

85°	bis °C	125	140	195	203	208	212	215	222	230	238	243	255	266	275	290
Siedebeginn,	%	5	7	10	15	20	25	30	40	50	55	60	70	80	90	95

Rückstand in flüssiger Form.

In Anlagen dieser Art sind unter anderem nicht backender Steinkohlen aus dem oberschlesischen Revier sowie Kohlen aus dem Saargebiet mit der Backzahl 5 ohne Schwierigkeit durchgesetzt worden. Diese beiden Kohlensorten mit I und II bezeichnet, haben die folgende Zusammensetzung:

		I	II
Wasser	%	4,6	2,6
Flüchtige Bestandteile	%	25,2	27,6
Fester Kohlenstoff	%	53,6	61,2
Asche	%	16,6	8,6
Teergehalt	%	9,8	15,4
Blähgrad (etwa)		0,89	1,29

Bei einer lichten Weite des Schachtes von 2,6 m werden täglich 24 t oberschlesische oder 14 t Saarkohle obiger Zusammensetzung vergast.

Die Teerausbeute beträgt 90 bis 95 %, bezogen auf die Bestimmung nach Fischer, wobei $^2/_3$ als wasserfreier Schwelteer und $^1/_3$ als Teeröl anfallen, wobei der Siedeverlauf des letzteren bereits weiter oben angeführt ist.

Die Ausbeute an Reingas mit einem unteren Heizwert von etwa 1600 kcal/Nm³ bezogen auf 1 kg oberschlesischer Kohle mit der oben angeführten Zusammensetzung beträgt 3,2 bis 3,6 Nm³. Die Zusammensetzung des Gases geht aus den im folgenden zusammengestellten Bestimmungswerten hervor.

Kohlendioxyd	%	3,3	4,1	3,9
Kohlenoxyd	%	28,5	28,2	26,5
Wasserstoff	%	16,4	16,9	16,7
Methan	%	3,5	3,1	4,2
Stickstoff	%	48,3	47,7	48,7

Das in der Abb. 2 wiedergegebene Wärmeflußbild läßt erkennen, daß das Verfahren mit einem wärmetechnischen Wirkungsgrad von 88 % sehr günstig abscheidet, wobei 72 % auf die Gas- und 16 % auf die Teererzeugung entfallen. Aus dem Bild ist gleichfalls zu entnehmen, daß die Dampferzeugung im Wassermantel des Schachtes ausreicht, um die Menge des Dampfzusatzes zur Gaserzeugerluft zu decken.

Zwei Anlagen dieser Art sind seit längerer Zeit erfolgreich im Betrieb und weitere Einheiten im Bau. Das Verfahren ist berufen, einen weiteren Beitrag zur Mineralölwirtschaft zu leisten.

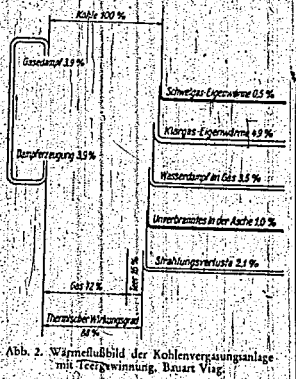


Abb. 2. Wärmeflußbild der Kohlenvergasungsanlage mit Teergewinnung, Bauart Viag.

Zusammenfassung.

Bei allen Verfahren der thermischen Kohlenveredlung fallen wertvolle Gase an, insbesondere bei der Entgasung und Verkokung der Steinkohle, bei der Kohlenschwelung, bei der Hydrierung und der Kraftstoffsynthese. Abgesehen von der Verwertung des Koks-

ofengases als Heiz- und Treibstoff wird seine Aufbereitung auf physikalischem, thermischen und thermisch-katalytischen Wegen besprochen. Das Braunkohlenschwelgas wird im Eigenbetrieb verbraucht, nur auf einer Anlage wird es aufbereitet und als Ferngas abgegeben. Über die Verwertung des Steinkohlenschwelgases außerhalb der Eigenbetriebe liegen praktische Erfahrungen noch nicht vor. Das bei der Hydrierung anfallende Gas kehrt in den Kreislauf zurück, das Restgas der Kraftstoffsynthese deckt einen Teil des für die Synthesegaserzeugung erforderlichen Wärmebedarfs. Die Möglichkeit, dieses Restgas als Stadtgas zu verwerten, ist in Betracht gezogen worden. Kennzahlen für die Zusammensetzung bei der thermischen Veredlung und Vergasung von Braun- und Steinkohlen anfallenden Gase sind in einer Tafel zusammengestellt. Der heutige Entwicklungsstand des Fahrzeug-Gaserzeugers wie auch der ortsfesten Industriegaserzeuger wird kurz gestreift und zum Schluß ist eine neuzeitliche Kohlenvergasungsanlage mit Teergewinnung an Hand eines Umlauf- und Wärmeflußbildes besprochen.

Schrifttum-Verzeichnis.

1) R. Heinze, Die Veredlung gasförmiger Brennstoffe, Leipzig 1934.

2) V. Fischer, Gewinnung von Wasserstoff aus Koksofengas, Z. VDI, Beiheft Verfahrenstechnik 1937, Nr. 1, S. 14.

3) V. Fischer, Berechnung eines Koksofengas-Zerlegungsapparates, Z. VDI, Beiheft Verfahrenstechnik 1936, Nr. 2, S. 24.

4) H. Brückner, Handbuch der Gasindustrie, München 1937, Bd. 6.

5) J. Bronn, Die Chemische Ausnutzung der Koksofengase, Jahrb. Brennkrafttechn. Ges. 9 (1928), S. 40.

6) A. Sander, Chemische Umwandlung des Methans, Glückauf 66 (1930), S. 89.

7) M. Goecke, Stand der Kenntnisse über die Grundlage der Rußherstellung, Öl und Kohle 1 (1933), S. 105.

8) F. Fischer, H. Pichler und H. Kölbel, Über halbtechnische Versuche zur Herstellung von Synthese-Mischgas durch gleichzeitige Umsetzung von Kokereigas und Wasserdampf über Koks im Generator, Brennst.-Chemie, 16 (1935), S. 331.

9) W. Gumz und R. Lessnig, Verfahren zur Herstellung von Synthesegas, Z. VDI, Beiheft Verfahrenstechnik 1940, Nr. 2, S. 35.

10) J. Schmidt, Das Kohlenoxyd, Leipzig 1935.

11) P. Ebeling, Methankonvertierung, Vortrag im schlesischen Kohlenforschungsinstitut, Breslau 1931.

12) F. Martin, Die Entwicklung der Kohlenwasserstoffsynthese aus Wassergas, Chem. Fabrik 12 (1939), S. 233.

13) W. Gluud und Mitarbeiter, Gewinnung von Wasserstoff und Wasserstoff-Stickstoff-Gemischen, Ber. Ges. für Kohlentechn. Bd. 3, S. 211.

14) C. Bosch, Probleme großtechnischer Hydrierungsverfahren, Chem. Fabrik 7 (1934), S. 1.

15) A. Thau, Kohlenschwelung, Halle 1938, S. 13.

16) A. Thau, Die Schwelung von Braun- und Steinkohle, Halle 1927, S. 148.

17) R. Heinze, Das Borsig-Geissen-Schwelverfahren, Braunkohle 36 (1937), S. 357.

18) A. Jahn, Braunkohlenschwelgas und seine Verwendung als Stadtgas, Öl und Kohle 2 (1934), S. 212.

19) s. Fußnote 15, S. 57.

20) H. Brückner, Handbuch der Glasindustrie, München 1940, Bd. 2, Teil 2, S. 61.

21) L. Ostermeier, Das Restgas der Benzinsynthese nach Fischer-Tropsch und seine Verwendung als Stadtgas, Gas- und Wasserfach 81 (1938), S. 62.

22) A. Thau, Die neuzeitliche Entwicklung der Vergasung fester Brennstoffe, Brennstoff und Wärmew. 23 (1941), S. 89 und 108.

23) K. Fraenckner, Das Problem der restlosen Vergasung, Gas- und Wasserfach 84 (1941), S. 461.

[21]) A. Reitenmaier, Verfahren und Ausgangsstoffe der restlosen Vergasung und ihre Bedeutung für die Deckung zukünftigen Gasmehrbedarfs, Gas- und Wasserfach 84 (1941), S. 473.

[22]) Ch. Gerdes, Die Herstellung von Stadtgas aus Vergasungsgas und ihre Wirtschaftlichkeit, Gas- und Wasserfach 84 (1941), S. 485.

[23]) H. Löffler, Kohlenvergasungsanlagen der Ostmark mit Teergewinnung, Gas- und Wasserfach 84 (1941), S. 498.

[24]) K. Lesch, Die Doppelgasanlagen der Wiener Gaswerke, Gas- und Wasserfach 84 (1941), S. 501.

[25]) A. Thau, Wassergaserzeugung bei äußerer Wärmezufuhr, Gas- und Wasserfach 84 (1941), S. 509.

[26]) F. Danulat, Die Sauerstoff-Druckgasversorgung fester Brennstoffe, Gas- und Wasserfach 84 (1941), S. 549.

[27]) F. Sommer, Stadtgas aus Braunkohlenbriketts nach dem Ahrens-Verfahren für Spitzendeckung und Großerzeugung, Gas- und Wasserfach 84 (1941), S. 521.

[28]) E. Schumacher, Restlose Vergasung, Gas- und Wasserfach 84 (1941), S. 528.

[29]) W. Schroth und W. Konrad, Fortschritte in der Entwicklung großer Doppelgasgeneratoren, Gas- und Wasserfach 77 (1934), S. 608.

[30]) E. Ruß, Die Vergasung westdeutscher Steinkohlen, Stahl und Eisen 61 (1941), S. 694 und 713.

[31]) K. Skroch, Die Schwelvergasung der oberschlesischen Steinkohle, Stahl und Eisen 60 (1940), S. 557.

Flüssiggas in der Wirtschaft.

Von Dipl.-Ing. Waldmann, Chefingenieur der A.G. der Kohlenwertstoffverbände, Bochum, vorgetragen vor der Brennkrafttechnischen Gesellschaft E.V. auf der Gemeinschaftstagung „Gas und Gaskraft" am 4. März 1942.

In unserer nationalen Kraftstoffwirtschaft ist zu den allbekannten permanenten Gasen vor wenigen Jahren ein kraftvoller, kalorienreicher Genosse, das verflüssigbare Gas gestoßen. Es hatte sich bereits im Frieden, gelenkt durch unternehmungsfreudige Kraftstoff-Firmen, rasch durchgesetzt und es stand bereits bei Kriegsausbruch als dritter Kraftstoff ebenbürtig neben den flüssigen Leichtkraftstoffen und neben dem Gasöl im Dienste unserer Kraftverkehrswirtschaft.

Ich nehme an, daß ich in diesem Kreise die technische Seite dieses Problems nur sehr konzentriert zu streifen brauche, denn es sind darüber schon eine ganze Reihe von Vorträgen gehalten worden und zahlreiche gute Veröffentlichungen erschienen. Ich will dafür etwas mehr als bisher geschehen, die Stellung des Flüssiggases in der Wirtschaft und vornehmlich in der deutschen Kraftverkehrswirtschaft streifen.

Wo kommen die Flüssiggase her?

Die Verfahren der Hydrierung und Synthese bezwecken die Umwandlung des groben, komplizierten, wasserstoffarmen Kohlemoleküls in kleinere, einfachere, wasserstoffreiche Kraftstoff-Moleküle. Die Hydrierung erreicht durch Wärme ein Spalten des Moleküls in Bruchstücke geeigneter Größe, denen durch Mitwirkung eines Katalysators Wasserstoff unter hohem Druck angelagert wird. Während man die Hydrierung als Umbau des Moleküls bezeichnen kann, baut die Fischer-Tropsch-Synthese aus dem Baustein Kohlenoxyd und dem Baustein Wasserstoff in Kontaktöfen unter Mitwirkung von Katalysatoren bei Anwendung niedriger Temperaturen von rund 200° (gegenüber 400 bis 500° bei der Hydrierung) und unter wenigen ata Druck Kohlenwasserstoffe auf. Nach beiden Verfahren entstehen vorzugsweise Kohlenstoff-Wasserstoff-Verbindungen von der Form offener Ketten, deren einfachste das gasförmige Methan (CH_4) ist und von denen sich jedes höhere Glied von dem vorhergehenden durch die Ersetzung eines H-Atoms durch eine CH_3-Gruppe unterscheidet. Das Gebiet der Kohlenwasserstoffe ist allerdings noch wesentlich mannigfaltiger, so daß neben Paraffinen auch Olefine oder verzweigte Ketten entstehen. Mit wachsender Kettenlänge steigt Siedepunkt und spez. Gewicht, so daß wir uns gasförmige-, leichtflüchtige-, flüssige-, schwerflüssige-, Teste Paraffine vorzustellen haben. Es ist daher leicht einzusehen, daß die Nachbarn in der Kohlenwasserstoff-Reihe sehr ähnliche Eigenschaften haben und das ferner Gase, welche dicht an der Grenze zum flüssigen Kraftstoff liegen, sich verhältnismäßig leicht in den flüssigen Zustand überführen lassen, und zwar entweder durch Anwendung niedriger Temperaturen oder durch Anwendung geringer Überdrücke. Von dieser zweiten Möglichkeit macht man beim Flüssiggas, dessen Hauptbestandteile Propan, Propylen, Butan, Butylen und noch etwas Äthan oder Äthylen sind, Gebrauch und befördert es am Fahrzeug unter Druck verflüssigt in der Flasche. Das ergibt große Energie-Konzentration und man entspannt es dann vor der Verwendung im Motor, wobei es den ursprünglichen gasförmigen Zustand wieder annimmt.

Wir haben es also beim Flüssiggas vornehmlich mit einem Stoff zu tun, welcher bei der Hydrierung und Synthese zwangsläufig anfällt. Daneben kann es auch im Erdgas oder als Crackgas in den Erdölverarbeitungsstätten oder überhaupt bei jedem Crack-Prozeß in erheblichen Mengen auftreten. Die Größenordnung der anfallenden Mengen bewegt sich je nach dem Ausgangsstoff und der Benzinart, die man herstellen will, zwischen 6 und 12%.

Da Flüssiggas nicht ohne besondere Umstände getankt werden kann, ist es als Kraftstoff für militärische Fahrzeuge an der kämpfenden Front nicht verwendbar. Es ist also der gegebene Heimatkraftstoff, der im Frieden gleichwertig neben den flüssigen Kraftstoffen, dabei aber mit wirtschaftlichen Vorteilen für den Fahrzeughalter verbraucht wird und der im Kriege in seiner Gesamtmenge unvermindert zur Verfügung steht. Es haftet dem Flüssiggas also nicht das Odium eines Ersatzkraftstoffes an, den man im Kriege gezwungenerweise an Stelle von besseren, aber nicht erhältlichen Kraftstoffen verwenden muß, den man aber in Friedenszeiten oder nach Lockerung der Zwangsbewirtschaftung schleunigst wieder den Rücken kehrt.

Welcher Verwendung werden nun die verflüssigbaren Gase zugeführt?

Im Rahmen dieses Vortrages will ich die Verwendung als Einsatzprodukt für eine chemische Weiterverarbeitung nur kurz streifen. In den letzten Jahren sind neue Verfahren zur Herstellung von sehr klopffesten Benzinen in den Vordergrund des Interesses gerückt. Im Endpunkt dieser Entwicklung steht das Iso-Oktan, der Endpunkt der bekannten Klopffestigkeitsskala, der durch Beigabe von Bleitetraäthyl zum Iso-Oktan sogar noch überschritten werden kann. Als Rohmaterial dient eine Fraktion, die hauptsächlich Butan und Butylen enthält, die also aus dem Flüssiggas der Synthese oder Hydrierung durch fraktionierte Destillation bzw. Verflüssigung herausgeschnitten werden kann. Durch Isomerisieren und katalytische Polymerisation werden dieses Butan und Butylen in Isobutylen überführt und ergeben bei schonender Hydrierung Iso-Oktan. Iso-Oktan wird in Hochleistungsflugmotoren verwendet. Da es erst bei 100° siedet, kann man es unvermischt nur in Einspritzmotoren verwenden. Für Vergasermotoren kann man es aber mit einem leichtersiedenden Kohlenwasserstoff, z. B. mit Iso-Pentan, vermischen und diese Mischung durch Zusatz von Bleitetraäthyl wieder auf eine Oktanzahl von 100 bringen.

Besonders klopffeste Benzine mit der Oktanzahl 80 bis 90 werden auch durch Polymerisation erhalten. Unter Polymerisation wird die Vereinigung zweier oder mehrerer gleichartiger organischer Verbindungen — z. B. Kohlenwasserstoffe — zumeist geringer Kohlenstoffzahl in Komplexe mit höherer Kohlenstoffzahl verstanden.

Durch Polymerisieren können z. B. bei gewöhnlicher Temperatur gasförmige Kohlenwasserstoffe, wie sie in den Flüssiggasen vorliegen, in höhersiedende Kohlenwasserstoffe von Benzincharakter umgewandelt werden. Zur Polymerisation sind geeignet die ungesättigten Kohlenwasserstoffe Äthylen, Propylen und Butylen, wie sie anteilig in den Flüssiggasen der Fischer-Synthese auftreten. Liegen gesättigte Kohlenwasserstoffe, wie Äthan, Propan und Butan in den Flüssiggasen der Hochdruckhydrierung vor, so müssen diese erst dehydriert werden, also durch thermische Zersetzung in ungesättigte Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden, also durch einen weiteren Prozeß mit Kosten und Verlusten.

Über den Umfang der Anwendung dieser Verfahren in Deutschland kann aus bekannten Gründen nichts ausgesagt werden. Aus den gleichen Gründen kann auch der Einsatz der Flüssiggase für die Butasynthese nur erwähnt bleiben.

Im Gegensatz zum Ausland und vornehmlich im Gegensatz zu Amerika spielt die Verwendung von Flüssiggas für Brennzwecke im Haushalt oder für technische Betriebe mengenmäßig bisher nur eine ganz untergeordnete Rolle. Für diese Zwecke sind in der Regel die für Kraftfahrzeuge üblichen Flüssiggasgemische aus Äthan, Äthylen, Propan, Propylen, Butan, Butylen und unter Umständen mit einem Schuß Pentan nicht verwendbar. Von einem Propan-Butan-Gemisch würde bei gasförmiger Entnahme infolge des verschiedenen Dampfdruckes zunächst Propan und dann Butan vergasen. Beide Gase haben verschiedene Heizwerte im entspannten Zustand und verschiedenen Luftbedarf, so daß die Brennerflamme sich in Abhängigkeit von der Flaschenentleerung verändern würde. Stellt man die Flaschen im Freien auf oder in einem gesonderten, unbewohnten Raum — was in Deutschland für Haushaltsanlagen verlangt wird —, so könnte der Fall eintreten, daß der Butananteil mit seinem niedrigen Dampfdruck überhaupt nicht mehr vergast. Man verwendet deshalb in Deutschland für diese Zwecke reines Propangas, während man z. B. in Frankreich Butangas verwendet und dabei die Flaschen im Haus aufstellt.

Das flüssige Propan in Flaschen — gewöhnlich mit Haushaltspropan bezeichnet — wird von Haushaltungen, Laboratorien und Gewerbebetrieben vornehmlich benutzt, wenn kein Anschluß an ein städtisches Gaswerk möglich ist. Dies begründet z. B. die starke Verwendung von Flüssiggas in den weiträumigen Vereinigten Staaten von Nordamerika, wo z. B. 1939 rund 40% des gesamten Flüssiggasabsatzes im Haushalte ging, während bei unserem wesentlich dichteren Gasnetz der Anteil des Haushaltpropans nur etwa 2% der Menge beträgt, die als Flüssiggasgemisch im Kraftfahrzeug verwendet wird. Wenn das Haushaltspropan in Konkurrenz zum Leuchtgas treten will, kann es gegen einen Leuchtgaspreis von etwa 22 bis 25 Pfg. und darüber je cbm konkurieren.

In der Industrie wird Propan auch dort verwendet, wo eine sorgfältige und genaue Temperaturregelung bei Fabrikationsverfahren erforderlich ist und in den betreffenden, meist kleineren Anlagen nicht ohne unverhältnismäßigen Aufwand gesichert werden kann. Dies trifft z. B. zu für metallurgische Öfen oder für das Absengen von Härchen in Stoff-Fabriken oder, wenn wir schon einmal beim Sengen sind, beim Absengen der Haare der Schweinekörper in Groß-Schlächtereien.

Auch zum Löten, Schneiden und Brennen von Eisen und Nichteisenmetallen kann Propan aber auch Butan in Konkurrenz zu gelöstem Azetylen erfolgreich eingesetzt werden. Günstig ist hierbei das geringe Transportgewicht von etwa 0,2 kg für 1000 WE gegenüber gelöstem Azetylen mit 1,2 kg für 1000 WE. Unsere Pioniere arbeiten daher schon in beachtlichem Umfange mit Propan-Schneidbrennern. Die Anwärmzeit dauert infolge der niedrigen Flammentemperatur und der niedrigeren Zündgeschwindigkeit etwas länger, während die Schneidgeschwindigkeit nicht geringer als bei Azetylen zu sein braucht. Die Anwärmzeit spielt aber nur eine Rolle, wenn sehr kurze Schnitte ausgeführt werden, während normalerweise die Hauptzeit auf das Führen des Schnittes fällt. Schweißen von Stahl und Eisen ist nicht durchführbar, während Schweißungen von Nichteisenmetallen, wie Kupfer, Messing, Nickel, Aluminium, Hydronalium, Elektron einwandfrei auch bezüglich Zeitaufwand, Gasverbrauch und Verbrauch an Zusatzwerkstoffen durchführbar sind.

Unabhängig von den Flüssiggasmengen, die für die erstgenannten chemischen Umwandlungsprozesse abgetrennt werden, betrachtet, spielen die Mengen, die als Kraftstoff für Fahrzeugmotoren eingesetzt werden, die hauptsächlichste Rolle.

Voraussetzung für den Betrieb eines Fahrzeuges mit Flüssiggas ist die Anbringung besonderer, aber verhältnismäßig einfacher Einrichtungen am Kraftwagen. Das sind in großen Zügen die auswechselbaren Gasflaschen, der durch Auspuffgase oder durch das Kühlwasser gewärmte Druckregler und eine Gaseinführung in die Ansaugleitung.

Der technische Vorgang ist folgender: Das Flüssiggas wird der Flasche in flüssigem Zustand entnommen. Es läuft über ein Absperrventil und über einen Verdampfer, der auch Vorwärmer genannt wird, und strömt, durch Wärme vergast, in den Druckregler, der das Gas auf einige Millimeter Unterdruck entspannt. Man kann aber auch flüssig in den Druckregler gehen, entspannen und dem entspannten, aber teilweise noch flüssigen Gas die zur restlosen Überführung in den gasförmigen Zustand notwendige Wärmemenge zuführen, also mit Nachverdampfung arbeiten. Dieses letztere Weg ist für die Start- und Warmlaufperiode des Motors der zweckmäßigere, weil dann ein größeres Temperaturgefälle zwischen dem Wärmeträger, d. h. also dem Kühlwasser und dem Wärmeempfänger — dem Flüssiggas — zur Verfügung steht. Vom Regler aus wird das Gas durch eine Gaseinführung in den Lufttrichter des normalen Benzinvergasers eingeführt oder es wird der Ansaugluft durch ein besonderes Gasmischgerät, welches an Stelle des Vergasers oder zwischen Vergaser oder Ansaugrohrflansch eingebaut wird, beigemischt.

Ein mit Flüssiggas betriebenes Kraftfahrzeug unterscheidet sich in seiner Fahrweise und seinem Betrieb nicht von einem Benzinfahrzeug. Es wird die gleiche PS-Leistung erzielt, wenn nicht eine besonders stark beheizte Ansaugleitung vorliegt. Der Grund für diesen Leistungsverlust, der nur wenige Prozent betragen kann, liegt dann darin, daß eine geringe Füllungsverminderung eintritt, weil das Flüssiggas bereits restlos vergast der Ansaugluft beigemischt wird, dieser also keine Verdampfungswärme mehr entzieht, wie dies beim Benzinbetrieb der Fall ist. Im Benzinbetrieb kommt eine ganze Portion des Kraft-

stoffes noch in konzentrierter, wenig Raum einnehmender Tröpfchenform in das Ansaugrohr und verdampft erst dort unter Absenkung der Temperatur der Ansaugluft. Dies bringt eine kleine Erhöhung der Füllung gegenüber Gasbetrieb. Abschalten der für Benzinbetrieb notwendigen Vorwärmung, soweit dies möglich ist, schafft Abhilfe. Bei der Neukonstruktion von Otto-Fahrzeugen für Wechselbetrieb oder ausschließlichen Gasbetrieb sollte auf diesen Umstand Rücksicht genommen werden.

Die Vorteile des Flüssiggasbetriebes durch die gleichmäßige Gemischverteilung, durch die rückstandsfreie, das Schmieröl nicht verschmutzende Verbrennung, durch die hohe bei Oktanzahl 100 liegende Klopffestigkeit, durch die Möglichkeit, mit ärmeren Gemischen zu fahren, sind bekannt.

Die Entwicklung des Absatzes und der Verwendung als Kraftstoff vor und während des Krieges hat folgendes Bild:

Während man die bei den ersten Benzinerzeugungsstätten anfallenden Propan-Butan-Mengen zunächst in den Werksbetrieben verheizte, suchte man gleichzeitig nach wirtschaftlicheren Absatzmöglichkeiten für dieses hochwertige Nebenprodukt der Benzingewinnung.

Nach dem Vorbild der Amerikaner wurde ein Teil der anfallenden Mengen in dem schon erwähnten Haushaltgas abgesetzt. Man war sich aber klar darüber, daß in diesem Gebiet in Anbetracht der in Deutschland weit verzweigten Elektrizitäts- und Stadtgasversorgung nur Bruchteile der anfallenden Mengen untergebracht werden konnten.

Die in den letzten Jahren vor dem Kriege immer mehr in Betrieb kommenden Hydrier- und Synthese-Werke ließen Mengen erwarten, deren Absatz auf dem Haushaltgasgebiet unmöglich ist. Andererseits drängte auch das Bemühen zur Unabhängigmachung der Kraftstoffversorgung vom Ausland, also ein rein national-wirtschaftlicher Grund, zur Verwendung der dafür auf Grund ihrer Qualitäten so außerordentlich gut geeigneten Gase im Kraftwagen.

Vorbereitend hatten die mit dem Flüssiggas sich beschäftigenden Verteilergesellschaften, das waren damals der Benzol-Verband und die Deutsche Gasolin, einen großen Ingenieurstab geschult, der nun wiederum die mit dem Umbau zu beauftragenden Firmen schulte und die Umbauten der Motoren überwachen sollte. Diesem starken technischen Einsatz ist es zweifellos zu einem großen Teil zuzuschreiben, daß die Entwicklung des Flüssiggasverbrauches für Kraftfahrzeuge ein Tempo annahm, das ich dann in einzelnen Zahlen schildern will.

Die Einführung des Flüssiggases erfuhr eine Förderung dadurch, daß der Staat in seinem Interesse an der Erweiterung der Kraftstoffdecke durch Verbrauch heimischer Kraftstoffe für die mit Flüssiggas betriebenen Kraftfahrzeuge mit einer Verordnung vom 1. Mai 1935 Steuerermäßigungen für diese Kraftfahrzeuge gewährte, die bis zu 75% der Lastkraftwagensteuer ausmachten.

Die Vertriebsorganisationen vereinbarten untereinander einheitliche Preisgestaltung für den neuen Kraftstoff. Der Preis wurde in ein bestimmtes Verhältnis zum Benzinpreis gesetzt und zwar in Anlehnung an das Verbrauchsverhältnis von 1 kg Treibgas = 1,6 l Benzin. Um dem Verbraucher über die Steuerermäßigung hinaus einen Anreiz zu geben, wurde der Umrechnungsfaktor von Benzin auf Treibgas aber nicht mit 1,6, sondern mit 10% weniger, also 1,44 festgesetzt. Das Flüssiggas wurde außerdem von der im Jahre 1936 erfolgten Mineralölsteuererhöhung von RM 3.— resp. RM 4.— nicht betroffen. Demnach liegen die reinen Betriebsstoffkosten beim Flüssiggasbetrieb um rund 20% günstiger als beim Benzinbetrieb.

Auf Flüssiggas wurden umgestellt:

Im Jahre 1936 4000 Lastkraftwagen
Im Jahre 1937 7700 Lastkraftwagen
Im Jahre 1938 nochmal 7700 Lastkraftwagen
Im Jahre 1939 bis zum Kriegsausbruch 13300 Lastkraftwagen,

so daß bei Kriegsbeginn bereits 32700 Lastkraftwagen mit Flüssiggas betrieben wurden.

Der Absatz an Flüssiggas für Fahrzeuge entwickelte sich entsprechend den Fahrzeugumbauten wie folgt:

1936:	12000 Jahrestonnen
1937:	33000 Jahrestonnen
1938:	59500 Jahrestonnen
1939:	93000 Jahrestonnen.

Die letztere Zahl würde dem gleichen Heizwert von rund 300 Millionen cbm Stadtgas entsprechen, als kleiner Anhaltspunkt für die hier anwesenden Gasfachmänner.

Diese Erfolge konnten ohne behördlichen Zwang nur durch Werbung und durch Überzeugen der Verbraucher von den technischen Vorteilen des Flüssiggasbetriebes erreicht werden. Erschwerungen brachten verschiedene militärische Forderungen, die einmal für einen besonders gängigen Typ, den 3-Tonner, das teilweise Verbot auf Umbauten erließen und die außerdem die Genehmigung zum Betrieb mit Flüssiggas von der jederzeitigen Umschaltbarkeit auf den Betrieb mit flüssigen Kraftstoffen abhängig machten. Zur Sicherung der Betriebsbereitschaft des Fahrzeuges mit flüssigen Kraftstoffen gehörte das Mitführen eines Reserveschwimmers und einer Reservemembran für die Kraftstoffpumpe, das ständige Mitführen einer für die Umschaltung auf den Betrieb mit flüssigem Kraftstoff ausreichenden Menge flüssigen Kraftstoffs, die Durchführung eines mindestens alle 14 Tage zu erfolgenden Probestarts und Probebetriebs mit flüssigem Kraftstoff, die Forderung, daß Schwimmer, Vergaser und Düsen nicht ausgebaut werden dürfen u. a. Durch Übernahme dieser Kontrollen durch die das Treibgas verteilenden Kraftstoff-Firmen und durch einen erweiterten Ausbau des technischen Dienstes dieser Firmen wurden diese Kontrollen und zusätzlichen Ausstattungen dem Fahrzeugbesitzer erleichtert.

Es war bedauerlich, aber vielleicht nicht zu umgehen, daß die verlangte jederzeitige Umschaltbarkeit von Flüssiggas auf flüssigen Kraftstoff eine Ausnutzung der hohen Klopffestigkeit des Flüssiggases unmöglich machte, und zwar auch bei den Fahrzeugen, die zur Aufrechterhaltung der Wirtschaft auch während eines Krieges hinter der Front bleiben müssen.

Mit Ausbruch des Krieges ging der Vertrieb von Treibgas ebenso wie der aller anderen Kraftstoffe auf das Zentralbüro für Mineralöl G. m. b. H. über. Das Umbautempo wurde nun entsprechend der sich steigernden Mehrerzeugung durch behördliche Anordnungen geregelt.

In der Verteilung machten sich gelegentlich Unebenheiten bemerkbar, die auch mit Unterbrechungen zu einem Bezugsscheinsystem und zu Kontingentierungen geführt haben, die aber in keinem Verhältnis zu den Abzügen stehen, die ein mit Benzin oder Gasöl betriebenes Fahrzeug sich zwangsläufig gefallen lassen muß. Der Grund zu diesen Unebenheiten liegt darin, daß nur geringe Möglichkeiten zur Speicherung von Flüssiggas in großen Mengen vorhanden sind. Druckloses Benzin kann man in erheblichen Mengen in Tanklägern aufbewahren ohne besondere technische Schwierigkeiten, aber bei Flüssiggas handelt es sich um einen Stoff, dem man Behälter mit einem Prüfdruck von 25 at zuordnen muß. Die Schaffung von Großraumbehältern für diesen Prüfdruck ist zum mindesten während der Kriegszeit mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden, so daß man heute ohne große Puffermengen durchkommen muß. Da man die Treibgaserzeugung dauernd mindestens voll auslasten muß, um nicht bei Absatzstockungen — wie sie auch im Kriege, z. B. bei Einschränkung des Kraftverkehrs durch Natureinflüsse unvermeidlich sind — wertvolle Kalorien abfackeln zu müssen, weil man dafür keine Pufferbehälter hat, muß man eben in Kauf nehmen, daß man bei Ausfällen in der Erzeugung, die absolut friedensmäßige Ursachen haben können, mal eine kurze Weile in Treibgasnot kommt.

Vom Beginn der Flüssiggasverwendung im Kraftfahrzeug an mußte umfangreiche technische Entwicklungsarbeit geleistet werden, die zum ganz überwiegenden Teil bei den Versuchsanstalten der Flüssiggaserzeuger oder -verteiler lag.

Während sich die Kaufleute bereits 1936 zur Vermeidung von Markt- und Preiskämpfen in konventionsmäßigen Abmachungen zusammenfanden, gingen die Techniker noch längere Zeit getrennte Wege in vielen Einzelheiten. Es ist dies nicht zu verwerfen,

denn die separaten Anstrengungen jedes einzelnen während der Entwicklungszeit brachten die Gesamtidee rasch vorwärts. Bereits vor Kriegsbeginn war eine weitgehende gegenseitige Abstimmung und Übereinstimmung in technischen Dingen erfolgt, ohne daß seitens des Staates ein diesbezüglicher Druck erfolgt wäre oder notwendig war.

Man baut heute nur noch die Flasche mit 79 l Wasserinhalt, die mit 33 kg Flüssiggas gleich der Reichweite von 53 l Benzin, gefüllt wird und leer rd. 40 kg wiegt.

Ob die Flasche nahtlos in einem Stück gezogen oder mit einer Längs- und zwei Quernähten aus Blechen geschweißt oder aus zwei tiefgezogenen gleichen Hälften durch eine Rundnaht zusammengefügt wird, ist für den Kraftfahrer selbst gleichgültig. Für die Besitzer der Flaschen und das sind die Kraftstoffverteiler — weil im Gegensatz zum Leuchtgasbetrieb nur Leihflaschen abgegeben werden — haben die drei Herstellungsarten unterschiedlich beurteilte wirtschaftliche Bedeutung. Die nahtlose Flasche ist im Anschaffungswert teurer als die geschweißte Flasche, aber wesentlich stoß- und verbeulungsfester, weil für letztere mit Rücksicht auf gute Schweißungen weichere Bleche gewählt werden müssen.

Beim Flaschenventil hat man sich ebenfalls zu einem Einheitsventil auf Grund freier Vereinbarungen gefunden. Es wird von drei Ventilfabrikanten, vollkommen übereinstimmend, von einem vierten Fabrikanten mit einem etwas anderen Ventilkörper und einer anderen Spindelabdichtung gebaut, aber die dem Verschleiß hauptsächlich unterliegenden Eingeweide sind auch bei diesem Ventil austauschbar gegen die Teile der ersteren Fabrikationsart.

Die richtige Lage der Flasche für die Entnahme des Gases aus der Flüssigphase war früher und ist heute infolge der während des Krieges langsamen Abänderungsmöglichkeiten noch von drei verschiedenen Richtungen des Gasaustrittsstutzens am Ventil abhängig. Man einigte sich, daß der Gasaustrittsstutzen nach unten zeigen muß; dann mündet auch das das Flüssiggas aus der Flasche entnehmende Tauchrohr an der tiefsten Stelle. Etwa 40 % der Flaschen hatten bereits vor dem Kriege diesen nach unten zeigenden Gasaustritt, seit Kriegsbeginn sind alle Flaschenneuzugänge — und diese entsprechen der schon geschilderten Absatzentwicklung — so ausgerüstet worden und der alte Rest wird umgebaut.

Der wichtigste Teil der im Fahrzeug fest eingebauten Flüssiggas-Apparatur, der Entspannungsregler, machte die meisten Veränderungen durch. Auf die einzelnen Systeme will ich nicht eingehen, darüber ist von berufenen und unberufenen Federn genügend geschrieben worden. Bereits Anfang 1939 einigten sich die beiden größten Verteilergruppen, die Leuna und der Benzolverband, auf eine gemeinsam verwendete Apparatur, die dann auch vom Zentralbüro übernommen wurde. Wenn daneben auch noch andere Typen auf dem Markte erschienen, so kann man diesen von der Deutschen Vergaser-Gesellschaft hergestellten Regler doch als Einheitsregler bezeichnen, da er wohl bei sicher 90 bis 95 % aller Einbauten Verwendung fand. Der gleiche Weg wird beibehalten werden, wenn auch im Laufe dieses Jahres der bisherige Einheitsregler durch eine vollkommen neue Konstruktion abgelöst werden wird.

Der Umbaupreis eines Fahrzeuges auf Flüssiggasbetrieb betrug bis Ende 1938 RM 420.—. Er konnte Anfang 1939 mit der Verwendung einer einheitlichen Apparatur auf RM 280.— herabgesetzt werden. Inzwischen ist noch eine weitere Senkung von RM 250 durchgeführt worden.

Außer mit den eben erwähnten Entwicklungen, die sich auch laufend während des Krieges auf die Verwendung von Sparmetallen und Ausweichwerkstoffe erstreckten, haben sich die Versuchsanstalten der Kraftstoff-Erzeuger- und -Verteiler-Gesellschaften auch laufend mit der Verbesserung der Gaseinführung in das Saugrohr beschäftigt.

Eines der schwierigsten Probleme war die Frage der Verteilung und Beförderung der Flüssiggase. Allerdings ist auf diesem Gebiet inzwischen eine Erleichterung in der Versorgung über alle Teile des Reichsgebietes dadurch eingetreten, daß neue Benzinwerke in den verschiedensten Gegenden Deutschlands in Betrieb kamen und noch kommen werden. Immerhin sind aber die Entfernungen zu manchen Teilen des Versorgungsgebietes noch groß.

Der Transport der Flüssiggase erfolgte zunächst ausschließlich in Flaschen mit Lastwagenzügen. Heute wird bereits fast die Hälfte aller Mengen in Druckkesselwagen von den Werken zu den inzwischen errichteten Kesselwagen-Abfüllstationen befördert. Dort wird auf Flaschen abgefüllt und der Weitertransport in Lastwagen zu den kleineren Auslieferungslagern vorgenommen. Die Abfüllstellen selbst legt man natürlich an Punkte großen Ortsverbrauches. Damit ist der Transportweg für das Flaschengut wesentlich verkürzt, infolgedessen auch eine Senkung des zunächst hohen Flaschenumlaufes möglich gewesen. Durch die Abfüllstationen sind auch im besonderen Maß Lastkraftwagen zum Ersatz für andere Zwecke frei geworden.

Es dürfte auch nicht uninteressant sein, einmal die Auswirkungen des Flüssiggasbetriebes im Kraftfahrzeug auf andere Wirtschaftszweige zu beleuchten.

Der Wert der erstellten Erzeugungs-, Abfüll- und Vorratsanlagen auf den Erzeugerwerken läßt sich naturgemäß schwer erfassen. Zweifellos macht er aber Millionenbeträge aus.

An Flaschen für den Flüssiggasbetrieb sind heute rund 550000 Stück eingesetzt. Diese stellen einen Wert von rund 28 Millionen Reichsmark dar, wovon auf Ventile etwa 6 Millionen Reichsmark entfallen.

Die Herstellung der Apparaturen, Rohrleitungen, Ventile, Flaschenhalterungen, Verbindungsschläuche, Gaseinführungen erfolgt nach den Angaben der Gaserzeuger oder Großverteiler bei der einschlägigen Industrie. Ihr Einbau in die Fahrzeuge geschieht durch das mittelständische Kraftfahrzeug-Reparatur-Gewerbe.

Die bisher erfolgten Einbauten haben für diesen Zweig der Industrie Umsätze von rund 40 Millionen RM gebracht, wovon etwa die Hälfte für die Einbautätigkeit in das mittelständische Kraftfahrzeuggewerbe geflossen ist.

In den Kesselwagen-Abfüllstationen sind bisher investiert etwa 6 Millionen Reichsmark. Die für Flüssiggas laufenden Kesselwagen stellen einen Wert von 7,5 Millionen Reichsmark dar (später 12 Millionen Reichsmark).

Für den Transport der Flüssiggase wurden im Jahre 1940 13,5 Millionen Reichsmark ausgegeben (1941: 20 Millionen Reichsmark), die zum ganz erheblichen Teil dem Speditionsgewerbe zugeflossen sind.

Neben den eigenen Lägern der Vertriebsorganisationen werden heute 650 Läger bei den Spediteuren und Zapfstellenverwaltern unterhalten. Aus den umgeschlagenen Mengen haben die Lagerhalter Einkünfte von rund 1,8 Millionen Reichsmark im Jahre 1940 gehabt.

Der Umsatzwert des Flüssiggases selbst müßte in dreistelligen Millionenzahlen ausgedrückt werden.

Wie bereits angedeutet, kann man für die nächste übersehbare Zukunft mit einem weiterhin vergrößerten Anfall an Flüssiggas, der für die Kraftfahrt zur Verfügung gestellt wird, rechnen, trotz der erwähnten auch steigenden Verwendung als Vorprodukt für eine weitere chemische Verarbeitung.

Genaue Zahlen zu nennen oder sich über den Zeitpunkt ihres Zutreffens oder ihrer Richtigkeit zu verbreitern, ist nicht angebracht und nicht erwünscht. Jedenfalls steigen die Mengen und es kann nicht nur jetzt, sondern auch im Frieden oder bei einer Lockerung unserer Erdölnöte damit gerechnet werden, daß über 100000 Lastkraftwagen ständig mit Flüssiggas betrieben werden und daß von diesen friedensmäßig gesehen, etwa jedes Jahr 20000 Stück zum Neuersatz kommen.

Diese Sachlage erfordert eine größere Berücksichtigung der Belange des Flüssiggasbetriebes im Fahrzeug als bisher. Bisher wurde immer nachträglich eingebaut, d. h. es war im großen ganzen für die Treibgasapparatur und für die Unterbringung der Flaschen nichts vorgesehen. Daß bei diesem Verfahren oft unschöne Kompromißlösungen unvermeidlich sind, liegt auf der Hand. Es wäre also zu wünschen, daß für die genormten Flaschen ein vorbereiteter Platz freibliebe, vor allem bei Spezialfahrzeugen, wie Kippern und dergleichen.

Für das den Regler erwärmende d. h. die Verdampfungswärme schaffende Mittel sind entsprechende Stutzen vorzusehen. Ich bin überzeugt, daß man in der Frage der Reglerbeheizung sich jetzt endgültig für die Verwendung des Kühlwassers des Motors entschieden hat. Je einen Stutzen an zwei Punkten, zwischen denen etwas Druckgefälle im Kühlwasserkreislauf vorhanden ist, also vor und hinter der Pumpe, anzubringen, ist bestimmt kein Problem.

Wenn man bisher unzählige Arten von Gaseinführungen wählen mußte, so lag dies daran, daß man Fahrzeuge aller möglichen Baujahre und Typen umbauen mußte. Nach der Typenzahlverringerung der Treibgasfähigen LKW-Motoren wird es ebenfalls einfach sein, geeignete, d. h. sparsamst arbeitende Mischgeräte unter Wegfall des Benzinvergasers oder des zwischengeschalteten Gerätes zwischen Vergaser und Ansaugrohr-Flansch zu schaffen.

Die größte Aufmerksamkeit wird man aber dem Motor selbst widmen müssen. Ich erwähnte bereits, daß die Flüssiggase sich durch eine sehr hohe Klopffestigkeit auszeichnen, und zwar liegt Butan bei etwa 95 OZ und Propan bei etwa 125 OZ. Die handelsüblichen Flüssiggase für den Kraftfahrzeugbetrieb schwanken hinsichtlich ihrer Propan- und Butan-Anteile. Die Folge ist, daß ihre Klopffestigkeit schwankt, wobei diese aber (siehe Butan OZ 95) weit über der Klopffestigkeit des Benzins oder des Benzolgemisches bleibt. Aber gerade diese Differenz zwischen OZ 74 und OZ 95 gilt es auszunutzen. Die Zahl OZ 95 ergibt sich sehr einfach aus der Überlegung, daß man bei Betrachtungen über die Ausnutzung des Treibgases hinsichtlich seiner Klopffestigkeit an den niedrigsten beim Treibgas möglichen Klopfwert denkt.

Hohe Klopffestigkeit kann man durch höhere Verdichtung ausnutzen; es tritt eine erhebliche Senkung des spezifischen Verbrauches ein. Diese Verbrauchssenkung beträgt bei einer Ausnutzung der Spanne zwischen OZ 74 und OZ 95 vorsichtig gerechnet 15 %. Man hat es dabei in der Hand, diese Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades unter Beibehaltung der früheren Leistung voll und ganz in eine Senkung des Kilometerverbrauches umzuwandeln oder unter Beibehaltung des früheren Kilometerverbrauches eine höhere Leistung dem Motor abzuverlangen. Da die einzelnen Lastwagentypen nach Nutzlast eingeteilt sind und sich für diese Nutzlastgruppen bestimmte Antriebsleistungen als Normen herausgebildet haben, wird man die Verbesserung durch Hochverdichtung rein nach der verbrauchsmäßigen Seite hin ausnutzen, sofern nicht in bestimmten Fällen, wie z. B. beim Omnibusbetrieb, eine höhere Leistung aus dem gegebenen Hubvolumen erwünscht ist. Es muß einem späteren, eigens auf dieses Spezialgebiet abgestellten Vortrag überlassen bleiben, ins einzelne gehende Versuchsergebnisse aufzuzeigen.

Bei jedem Aufzeigen eines technischen Fortschrittes oder Vorteiles taucht automatisch die Frage auf, was evtl. auf der Minusseite zu verbuchen ist. Im Falle dieser Ausrichtung eines Motors auf die Klopffestigkeit des Flüssiggases erscheint als einziger Punkt, daß ein Umschalten auf handelsübliche flüssige Zapfstellenkraftstoffe nicht möglich sein soll, vielleicht allenfalls noch ein Notbetrieb, aber jedenfalls kein regulärer Betrieb. Ist das aber wirklich so? Es ist im Rahmen dieses Vortrages aufgezeigt worden, daß die Flüssiggaserzeugung noch ansteigen wird und daß das Verteilungsnetz und die Verteilungsmittel bereits sehr groß geworden sind und mit der Zunahme des Absatzes weiter steigen werden. Für friedensmäßige Verhältnisse kann also unbedingt ein auf weite Strecken geschicktes, nur auf den Betrieb mit Flüssiggas eingerichtetes Fahrzeug genügend Abgabestellen von Treibgasflaschen vorfinden. Die Reichweite zweier Treibgasflaschen entspricht immerhin der Reichweite von 106 l Benzin und daß man selbst bei einem Dreitonner auch die doppelte Anzahl Flaschen ohne Beeinträchtigung der Ladefläche unterbringen kann, zeigen die von Rüsselsheim nach Brandenburg ohne Treibgasergänzung fahrenden Lastzüge der Firma Opel. Außerdem ist es durchaus nicht ausgeschlossen, daß im Frieden flüssige Kraftstoffe zur Verfügung gehalten werden können, die gleiche Klopffestigkeit wie das Treibgas aufweisen, so daß das Fahrzeug bei Ausfallen auf der Treibgasseite ohne Aufenthalt betriebsfähig bleibt.

In der Richtung, die hohe Klopffestigkeit des Treibgases voll auszunutzen und Einstoffahrzeuge zu schaffen, macht man jetzt bereits einen Anfang, indem man für den

notwendigen Umbau von Dieselfahrzeugen auf Treibgas für bestimmte Gebiete, die in der Nähe von Treibgaserzeugungsstätten liegen, eine Verdichtung von OZ 95 anwendet. Für den Frieden gesehen, braucht man diese örtliche Einschränkung natürlich nicht zu berücksichtigen, denn die zu dieser Einschränkung zwingenden Schwierigkeiten in der Beförderung der Treibgasflaschen vom Erzeugerwerk zu weit entfernten Verwendungsgebieten, die dann auch einmal in einem weitentfernteren Treibgaslager zu einer völligen Leere führen können, fallen in normalen Friedenszeiten natürlich weg, d. h. im Frieden wird der Treibgasmotor seinen Treibstoff überall finden.

Nachdem die Erfahrungen des jetzigen Krieges gezeigt haben, wieviel Lastkraftwagen der Wirtschaft der Heimat belassen werden müssen, darf wohl angenommen werden, daß man bei der militärischen Planung der friedlichen Kraftverkehrswirtschaft schon eine genügende Zahl von Wirtschaftsfahrzeugen, die von vornherein konstruktiv dem Heimatkraftstoff Flüssiggas zugeordnet werden, bereitstellen wird. Damit wäre eine restlose Ausnützung der technisch so wertvollen Treibgaskalorien gewährleistet und es liegt auf der Hand, daß wir auch in einem kommenden Frieden uns nicht den Luxus leisten können — sagen wir 15% — von rund 500000 t = 75000 t eines Kraftstoffes mit 11000 Kalorien je kg ungenutzt zum Auspuff hinauszujagen.

Es ist deshalb die Frage zu untersuchen, ob und in welchem Umfange für den reinen Treibgasbetrieb konstruktive Änderungen an LKW-Otto-Motoren, die gleichzeitig als OZ 74-Type durchkonstruiert werden sollen, getroffen werden müssen. Als zweite Frage wäre zu untersuchen, welche Möglichkeiten für die Entwicklung eines solchen Treibgasmotors auf der Basis eines vorhandenen Diesel-Triebwerkes bestehen. In diesem Falle liegt bereits ein starkes Triebwerk vor und die starke Steigerung der Literleistung auf Basis reinen Treibgasbetriebs gegenüber der Literleistung auf Basis reinen Dieselbetriebs bietet recht interessante Möglichkeiten für die Verwendung eines solchen Motors, der in seinen konstruktiven Hauptteilen einmal für Dieselbetrieb und einmal für reinen Treibgasbetrieb ausgelegt wird.

Mit diesen Problemstellungen, die nicht nur im künftigen Frieden, sondern auch schon im Kriege für die Fahrzeuge, welche fabrikneu der Wirtschaft zugeführt werden müssen, ihre große Bedeutung haben, will ich meinen Querschnitt über das Flüssiggas in der Wirtschaft schließen. Ich zeigte Ihnen den Entwicklungsgang eines technisch wie wirtschaftlich hochinteressanten „Nebenproduktes". Seine Verwendung als Kraftstoff war nicht nur der Vorkriegszeit nützlich, sondern wird auch im künftigen Frieden seinen Platz als dritter Kraftstoff behaupten. Im jetzigen Kriege ist es unentbehrlich für die Aufrechterhaltung des Lebens hinter der Front und trägt so zu seinem Teil dazu bei, den Krieg zu gewinnen.

Der heutige Stand des Baues von Gaskraftmaschinen und deren wirtschaftliche Bedeutung.

Von Dipl.-Ing. F. Hagenmüller, Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg A.G., Nürnberg, vorgetragen vor der Braunkohlenbaulichen Gesellschaft E.V. auf der Generalversammlung „Gas und Gaskraft" am 4. März 1942.

Die Kolbenkraftmaschine zur wirtschaftlichen, unmittelbaren Verwertung brennbarer Gase — der „Gasmotor" oder die „Gasmaschine" — hat eine mehr als 60jährige Entwicklungszeit hinter sich. Die Gasmaschine für große Leistungen wird erst seit 40 Jahren gebaut. Während aber diese Großgasmaschine in diesen 40 Jahren fortschreitender Entwicklung hauptsächlich auf den Eisenhüttenwerken, aber auch in der chemischen Großindustrie ein weites Verwendungsgebiet erlangt hat und sich auch neben der Dampfturbine behaupten konnte, wurde der Gasmotor kleiner und mittlerer Leistung, wie er früher für gewerbliche Zwecke, für Stromlieferung und sonst noch mannigfach häufig Anwendung fand, immer mehr verdrängt durch den Elektromotor, durch den Dieselmotor und den Vergasermotor, die weniger Bedienung und Wartung brauchten als die mit eigener Gaserzeugungsanlage verbundenen Gasmaschinen. Das Stadtgas aber war damals zum Betrieb des Gasmotors zu teuer im Verhältnis zum Treibölpreis. Erst als die straffe Devisenbewirtschaftung und dann, noch mehr der Krieg die Verwendung flüssiger Brennstoffe auf wenige Sondergebiete einschränkten, war für die Gasmaschine, die mit heimischen, genügend vorhandenen Treibstoffen auskommt, ihre Zeit wieder gekommen und zwar auf allen ihren früheren Verwendungsgebieten und für alle Leistungen. Sie griff sogar auf Gebiete über, wo sie früher über Anfänge nicht hinausgekommen war, nämlich auf den Antrieb von Fahrzeugen zu Wasser und zu Land. Als erstes Gasschiff auf dem Rhein ist, soviel aus dem technischen Schrifttum bekannt ist, der Gasschlepper „Wilhelm" anzusehen, der von der Schiffswerft von Fritz Lünnemann in Ruhrort gebaut und mit einem 160/175 PS-Sauggasmotor von Emil Captaine ausgerüstet, im Frühjahr 1907 in Betrieb genommen wurde. Siehe Z. d. V. D. I. 1907, Seite 1905/06. Trotzdem vergingen seitdem fast 3 Jahrzehnte, in denen nur wenige Versuche mit Gasschiffen unternommen wurden.)

Daß es der Gasmaschine möglich war, unter den veränderten Verhältnissen in die Bresche zu treten, beweist, daß sie die technischen Vorbedingungen erfüllt. Es ist anzunehmen, daß die Erkenntnisse in der Gegenwart sich nach dem Krieg auf die künftige Einschätzung der Gaskraftmaschine auswirken, wobei mitbestimmend sein wird, in welchen Mengen dann flüssige Brennstoffe zur Verfügung stehen und wie sich die Betriebskosten für die verschiedenartigen Brennstoffe gestalten.

Was für leistungsfähige Zubringer und was für weite Verbraucherbezirke an die schon bestehender Gasfernversorgungen noch angeschlossen werden sollen, ist ja schon bekannt. Und gerade im Anschluß an die Ferngasversorgung, an städtische Gasnetze und Stellen mit Gasanfall steht die Gasmaschine in Bezug auf bequeme Handhabung und schnelle Einsatzbereitschaft ihrer Konkurrenz nicht nach und bietet häufig wirtschaftliche Vorteile. Wo künftig kein Anschluß an eine Ferngasversorgung zu erhoffen ist, besteht besonders für hohe Betriebsstundenzahl und gute Belastungsverhältnisse die Voraussetzung für wirtschaftliche Anwendung der Gaskraftmaschine in Verbindung mit eigener Gaserzeugung.

Deshalb einiges über den heutigen Stand des Baues dieser Maschinen und über die wirtschaftliche Bedeutung von Gaskraftanlagen, unter Beschränkung auf Kolbenmaschi-

nen, und unter diesen wieder hauptsächlich auf ortsfeste Anlagen. Der Antrieb von Landfahrzeugen und von Schiffen wird nur gestreift, wo es wegen der Übersicht notwendig ist.

Obwohl nur der heutige Stand der Technik behandelt werden soll, kann an manchen Stellen Früheres nicht ganz übergangen werden.

Es werden die Arbeitsverfahren und die heute vorherrschenden Bauformen besprochen, im Anschluß daran einiges über Anlagekosten, Verbrauchszahlen, Betriebskosten und Anwendungsgebiete.

Also zunächst die Arbeitsverfahren.

Der Weiterentwicklung und Verfeinerung des Viertaktes wurde bei den Gasmaschinen entschieden mehr Aufmerksamkeit zugewendet als dem Zweitakt, obwohl auch bei diesem Ansätze vorhanden sind für Sondergebiete.

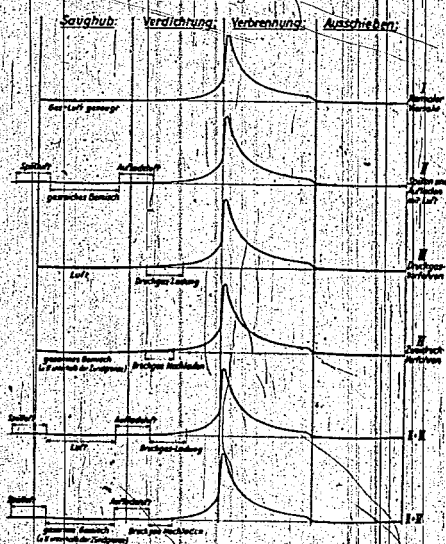


Abb. 1. Verschiedene Arbeitsweisen der Viertakt-Gasmaschine.

Wenn hier von einer Weiterentwicklung und Verfeinerung des Viertaktes gesprochen wurde, so soll damit hingewiesen werden auf die Leistungssteigerung durch Spülen und Aufladen, ferner auf den Druckgasbetrieb, auf das Zweidruckverfahren und auf die Dieselgasmaschine. Manches hierüber ist bekannt.

Bei der schon lange angewendeten Leistungssteigerung, werden am Ende des Ausschubhubes die Abgasreste mit Luft ausgespült. Am Ende des Saughubes wird mit ver-

dichteter Luft aufgeladen, nachdem man der vermehrten Luftladung entsprechend ein gasreicheres Gas-Luft-Gemisch angesaugt hat. Diese Leistungssteigerung durch Spülen ist bis jetzt hauptsächlich an den liegenden, doppelt wirkenden Großgasmaschinen bei Betrieb mit Hochofengas angewendet worden. Bei Maschinen kleiner und mittlerer Leistung ist es gewöhnlich einfacher und billiger, eine etwas größere Maschine zu verwenden oder größere Zylinderzahl anzuwenden, um mit dem gewöhnlichen Viertakt auf die nötige Leistung zu kommen. Bei den stehenden Gasmaschinen größerer Leistung ist es immerhin naheliegend, in besonderen Fällen an diese Art der Leistungssteigerung zu denken.

Die ebenfalls schon angewendete Leistungssteigerung mit Spülen und Aufladen unter gleichzeitiger Vorverdichtung des Hochofengases hat sich bisher nicht durchsetzen können.

Besondere Möglichkeiten bestehen, wo das Gas an manchen Anschlußstellen der Gasleitungsnetze von Ferngasversorgungen schon unter einem genügend hohen Überdruck steht, der häufig zwischen 1,5 bis 5 atü liegt. Aus diesem nun schon einmal aus anderen Gründen vorhandenen Überdruck kann man Nutzen ziehen durch die Druckgasaufladung. Dabei saugt die Gasmaschine kein brennbares Gemisch, sondern nur Luft. Die erforderliche Gasmenge wird während des Verdichtungshubes in den Zylinder gedrückt. Man hat dabei zwei Vorteile: 1. Die Steigerung der Leistung, weil man mehr Verbrennungsluft in den Zylinder bekommt als wenn man mit dieser gleichzeitig auch das nötige Gas ansaugen muß; 2. Trotz der größeren Leistung und der damit im Zusammenhang stehenden höheren Temperaturspitzen besteht keine Vorzündungsgefahr, eben weil nur Luft angesagt wird. Die Auspufftemperatur ist niedriger als beim normalen Viertakt.

Nun gibt es aber noch Fälle, wo am Netzanschluß der Gasfernversorgung ein für die Druckgasaufladung genügender Gasdruck nur zeitweise vorhanden ist. Auch bei manchen Gaspumpstationen ist in der Zubringerleitung kein für Druckgasaufladung genügender Gasdruck vorhanden. Für solche Fälle sind Maschinen am Platz, die sowohl im normalen Viertakt als auch im Druckgasbetrieb arbeiten können. Es trifft bei solchen Gaspumpstationen gut zusammen, daß bis zu einem gewissen Förderdruck für den Leistungsbedarf des Gasverdichters die antreibende Gasmaschine im gewöhnlichen Viertaktverfahren ausreicht. Wenn aber der zunehmende Fördrdruck eine größere Leistung verlangt, dann genügt dieser schon zur Anwendung des Druckgasverfahrens durch Entnahme von Gas hinter der Gaspumpe oder aus einer ihrer Verdichterstufen. Um mit möglichst geringer Entnahme von Druckgas auszukommen, wird man in solchen Fällen von der Gasmaschine einen Teil des benötigten Gases mit der Luft ansaugen lassen. Wenn dieses angesaugte Gas-Luft-Gemisch so gasarm gehalten wird, daß es unter der Zündgrenze liegt so ist das ebenfalls eine wirksame Sicherung gegen vorzeitige Entzündung. Nur die zusätzlich benötigte Gasmenge wird während des Verdichtungshubes nachgeladen. Wir benützen also hier zum Betrieb der Gasmaschine bis zu einer bestimmten Leistung nur den normalen Viertakt und erst von da an Gas von zweierlei Drücken und nennen es deshalb das Zweidruckverfahren.

Aus dieser Schilderung geht schon hervor, daß Druckgas- und Zweidruckverfahren hauptsächlich bei Verwendung hochwertigen Gases in Betracht kommen, in Verbindung mit Gasversorgungen und deren Pumpstationen, wobei sich neben der Verhinderung vorzeitiger Zündungen der Vorteil ergibt, mit etwas kleineren antreibenden Maschinen auszukommen als bei dem gewöhnlichen Viertakt.

Dieses Zweidruckverfahren kann aber noch in einem anderen Anwendungsgebiet wertvoll sein, nämlich bei Fahrzeugen, die im reinen Otto-Verfahren mit Generatorgas betrieben werden. Bekanntlich bestehen da Schwierigkeiten bei plötzlich auftretender Mehrbelastung. Der Gaserzeuger kann nicht so schnell dem plötzlich auftretenden Mehrbedarf folgen. Besonders bei Binnenschiffen wäre es keine Schwierigkeit, hochwertiges Gas in einigen Stahlflaschen verdichtet mitzuführen, um geringe Mengen davon beim Eintritt in starke Gegenströmung den Zylindern während des Verdichtungshubes zuzuführen, was bei dem Überdruck in solchen Gasflaschen leicht möglich ist. Das wäre gewissermaßen Zweidruckverfahren mit Zweigasverfahren verbunden.

Für Dieselgasmaschinen, auf die ich noch zu sprechen komme, hat dies weniger Bedeutung, weil man sich bei diesen durch Vermehrung der Zündölmenge helfen kann.

108

Welche Überlastbarkeit beim Druckgasverfahren und beim Zweidruck-Betrieb möglich ist, zeigen die folgenden Diagramme auf Bild 2, die bei Betrieb mit Leuchtgas entnommen sind. Die obere Reihe zeigt die normalen Kraftwegdiagramme, die also mit dem Kolbenweg zusammenfallen, die untere Reihe enthält Diagramme, die um 90° versetzt sind, so daß man den Verlauf des Zündvorganges besser erkennen kann. Die vordersten Diagramme (I) entsprechen der Vollast bei normalem Viertakt, die Diagramme II u. IV

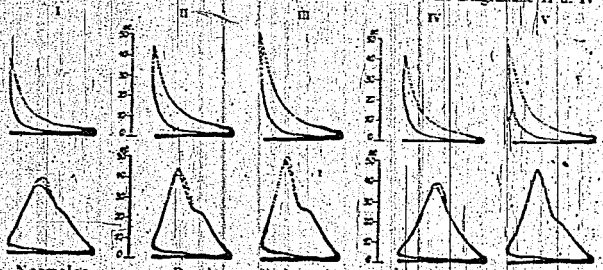


Abb. 2.

ungefähr der Vollast, mit der die Maschinen vertragsgemäß mit dem Druckgasverfahren oder im Zweidruckbetrieb arbeiten. Die Diagramme III u. V zeigen die Überlastbarkeit. Mit einer so hohen stundenlangen Überlastung sollte nur die Sicherheit gegen Vorzündungen nachgewiesen werden. Man wird aber mit Rücksicht auf die Lebensdauer der Maschinen diese sehr hohen Überlastdrücke nicht für Dauerbetrieb zulassen. Wegen der hohen Drehzahl mußte der piezoelektrische Indikator angewendet werden. Die Raumfrage bedingte dessen Aufstellung in der Nähe der Belastungsdynamo, deren Einfluß sich deshalb etwas auf den Diagrammverlauf auswirkte.

Bei noch höheren Anforderungen in Bezug auf Leistungssteigerung käme in besonderen Fällen Verbindung des Spülen und Aufladens und des Zweidruckverfahrens in Betracht. Soweit Luft oder gasförmiger Brennstoff für die beschriebenen Verfahren vorzuverdichten ist, könnte dazu u. U. die Auspuffenergie verwendet werden.

Da ich kurz vorher von der Ausnützung des Gasdruckes, wie er im Anschluß an Ferngasleitungen manchmal zur Verfügung steht, gesprochen habe, muß ich auch noch auf eine Zweitakt-Gasmaschine hinweisen, die unter gleichen Voraussetzungen wirtschaftlich anwendbar und dabei für große Leistungen geeignet ist. Bekanntlich lag die Schwierigkeit bei den früheren Zweitaktgasmaschinen immer in den Spülverlusten und darin, daß bei dem Zusammendrängen des Spülens und der frischen Ladung auf die kurze Zeit des Kolbenumkehrs nur mäßige Drehzahlen erreicht werden konnten. Wenn aber hochwertiges Gas mit genügendem Vordruck vor der Maschine steht, also nicht noch besondere Energie für die Vorverdichtung aufzuwenden ist, ist das ein günstiger Umstand. Man kann alle Spülverluste vermeiden und trotzdem auf hohe Drehzahlen und reichliche Leistung kommen. Auch hier wird, wie das Kraftweg-Diagramm Bild 3 zeigt, der vorhandene Gasdruck benützt, erst während des Verdichtungshubes das Gas einzubringen, wenn die Auspufföffnungen schon vom Kolben wieder überdeckt sind. Eine solche Maschine ist schon vor Jahren gebaut und erprobt worden. Der Bau einer zweiten Maschine, bei der die

gewonnenen Erfahrungen verwertet werden sollten, mußte zu Beginn des Krieges leider bis auf weiteres eingestellt werden.

Alle bis jetzt behandelten Gasmaschinen arbeiten mit elektrischer Zündung. Die Notwendigkeit, viele der vorhandenen Dieselmotoren, ganz gleich ob ortsfest oder für Schiffe und Landfahrzeuge, auf Gasbetrieb umzustellen mit möglichst geringem Bedarf an neuen Teilen, hat zur Dieselgasmaschine geführt, an der hier nicht vorbeigegangen werden kann, weil auch sie vorwiegend mit Gas betrieben wird. Die Zündtemperatur der in Betracht kommenden Gas-Luft-Gemische liegt über der bei der normalen Verdichtung im Dieselmotor erreichten. Die elektrische Zündung der bisher angewendeten Ausführungen genügt nicht mehr, weil bei der hohen Verdichtung der Zündfunke nicht sicher genug überspringt oder eine so kurze Funkenstrecke bedingt, daß hieraus Nachteile entstehen. Man ist deshalb wieder auf ein Verfahren gekommen, das Rudolf Diesel schon Ende des vorigen Jahrhunderts vorgeschlagen hatte und auf das damals ein DRP. 109186 erteilt wurde.

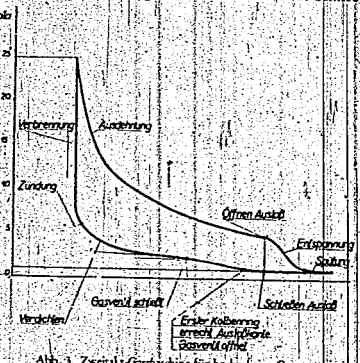


Abb. 3. Zweitakt-Gasmaschine für hochwertige Gase.

Der Dieselgasmotor saugt wie die gewöhnliche Viertakt-Gasmaschine das brennbare Gasluftgemisch an, verdichtet dieses etwa so hoch wie beim Dieselverfahren und zündet durch Einspritzen von Gasöl. Der Bedarf an Zündöl macht etwa 7—15% des Gasölbe-

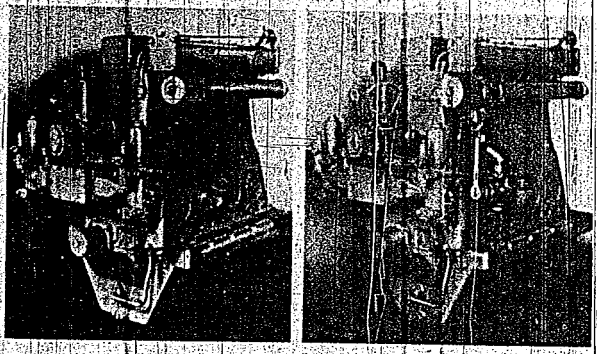


Abb. 4. Umbau einer Schiffsdieselmotors (100 PS bei 750 U/min) in einen Dieselgasmotor.

bedarfes bei reinem Dieselbetrieb und Vollast aus. Die Leistung im Dieselgasbetrieb ist nur wenig geringer als beim Dieselbetrieb. Die Maschine wird mit Gasöl in Betrieb genommen und wird dann auf Gas umgestellt. Sinngemäß gilt dieses auch für den Dieselgaszweitakt. Man kann ohne stillzusetzen von der einen Betriebsart auf die andere übergehen, im Gegensatz zur Wechselmaschine, unter der man eine Dieselmaschine versteht, die so eingerichtet ist, daß sie durch Auswechseln von Teilen auf das Otto-Verfahren umgebaut werden kann.

Im Bild 4 ist ein kleiner Schiffsdieselmotor einem Dieselgasmotor gegenüber gestellt, um den geringen Unterschied zu zeigen, der sich bei einfachstem Umbau ergibt, wie er in diesem Fall zulässig ist.

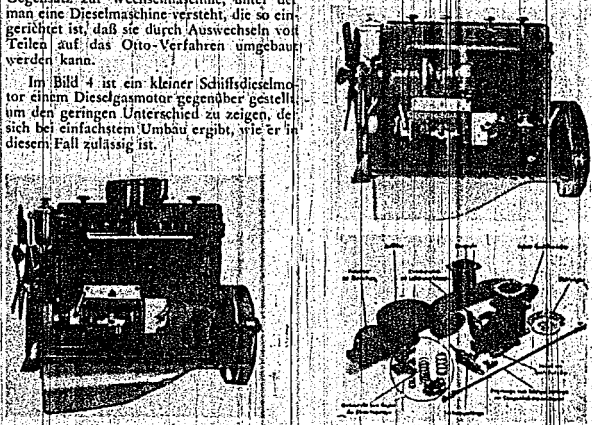
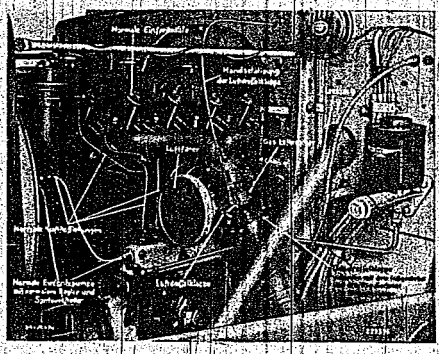


Abb. 5. Lastwagenmotor 110 PSn = 1900 als Dieselmotor und als Dieselgasmotor.



Welch geringer Aufwand zum Umbau eines Lastwagendiesels für Dieselgasbetrieb nötig ist, läßt sich aus Bild 5 erkennen. Der Deutlichkeit halber folgt noch das Bild 6 eines solchen im Lastwagen eingebauten Dieselgasmotors.

Abb. 6. Im Lastwagen eingebauter Dieselgasmotor.

III

Nach diesen kurzen Abschweifung wieder zurück zu den ortfesten Maschinen. Wenn an die Regelung z. B. mit Rücksicht auf den elektrischen Teil höhere Anforderungen gestellt werden, wie bei der ortfesten 1000 PS Dieselgasmaschine im Bild 7, die aus einem früheren Dieselmotor entstanden ist, so wird Zumessung und Mischung gesondert für jeden Zylinder unmittelbar vor diesem angeordnet, ähnlich wie bei fahrzeugen Gasmaschinen.

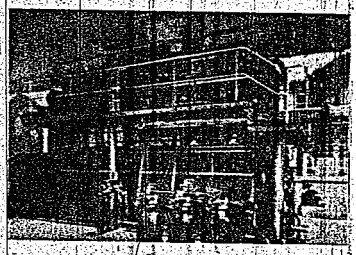


Abb. 7. Dieselgasmotor für Leerlauf, Leistung 1450 PS bei 215 U/min

Bei selbsttätig anlaufenden Notstrommaschinen läuft der Dieselgasmotor als Dieselmotor an mit den gleichen Vorrichtungen, die sich an diesem für Selbstanlauf vielfach bewährt haben. Es ist dann nach dem Anlaufen Zeit genug, vom Dieselbetrieb auf Dieselgasbetrieb überzugehen.

Für reine Gasmaschinen waren Einrichtungen zum selbsttätigen Anlauf bisher nicht bekannt. Eine Gasmaschine mit selbsttätigen Anlauf kam vor kurzem in einem Gaswerk in Betrieb. (Bild 8.) Sie ist von der M. A. N. gebaut. Neben einem Teil der Einrichtungen zum selbsttätigen Anlassen zeigt die Bild die charakteristische Bauform der stehenden, einfach wirkenden Viel-Zylinder-Gasmaschine, deren Schnitt im Bild 9 dargestellt ist und die heute in Betracht kommt für Leistungen bis zu etwa 1000 PS.

Bei der Besprechung der Bauformen ist es wegen der Zeit nicht möglich, viel auf Konstruktionseinzelheiten einzugehen. Das Sparen an Werkstoff, Anlagekosten, Grundfläche und Raum beherrscht die Entwicklung nicht nur bei den Fahrzeugmotoren, sondern auch

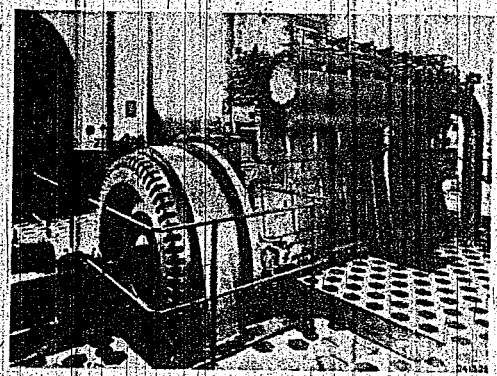


Abb. 8. Gasmaschine (600 PS bei 125 U/min) mit Einrichtung zum selbsttätigen Anlauf, betrieben mit Leuchtgas

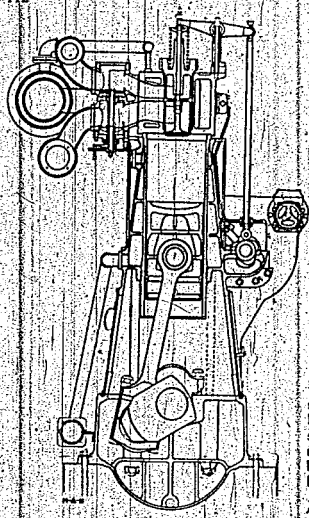


Abb. 9. Stehende Viertaktgasmaschine

bei den ortsfesten Anlagen. Damit ging die Steigerung der Drehzahl Hand in Hand, auch auf Verbesserung der Regelung, auf Verminderung des Wärmeverbrauches und ruhigen sicheren Gang wurde weiterhin Wert gelegt. Bei Maschinenleistungen, die häufig gebraucht werden, wirkt der Serienbau verbilligend, da durch daß man bei den stehenden Maschinen durch die Beweglichkeit in der Zylinderzahl mit dem gleichen Modell ziemlich große Leistungsbereiche überdecken kann. Man kommt auf diese Weise z. B. für Leistungen zwischen 30 und 600 PS mit 2 Modellen aus. Obwohl bei der im Bild 10 dargestellten Gaskraftanlage für Eigenstromerzeugung im Anschluß an die Ferngasversorgung die Leistungen der einzelnen Maschinen weit auseinanderliegen: eine zu 315 PS, 2 zu je 240 PS, und wegen des geringen Strombedarfes über Nacht: 1 Maschine für nur 35 PS, sind für alle 4 Maschinen die gleichen Reserveteile verwendbar. Mit dieser Bauform beherrscht man heute wie schon erwähnt Leistungen bis zu etwa 1000 PS. Von da ab tritt aber schon die liegende, doppelt wirkende Gasmaschine in Erscheinung, die das Gebiet bis zu den größten in Gasmaschinen erzielbaren Leistungen beherrscht.

Abb. 10. Kraftgasanlage (insgesamt 830 PS) im Anschluß an Fernversorgung

Mit dieser liegenden Großgasmaschine kann es bei Verwendung hochwertiger Gase in Sonderfällen die bei Besprechung der Arbeitsweisen schon erwähnte stehende Zweitaktmaschine Bild 11 aufnehmen wegen ihrer höheren Drehzahl und dem geringen Platzbedarf. Dieser geht aus der Übereinanderzeichnung (Bild 12) zweier Maschinen gleicher Leistung dieser verschiedenen Bauweise hervor. Nur schade, daß diese Zweitaktmaschine sich für arme Gase weniger eignet. Aber schon ist dieser stehenden Zweitaktmaschine wieder ein Gegner entstanden in einer neuartigen, liegenden Viertakt-Gasmaschine die für alle Gase verwendbar ist. Bevor diese neue Form behandelt wird, muß ein kurzer Hinweis auf die bis jetzt angewendete Großgasmaschine eingefügt werden. Diese (Bild 13) zeigt trotz aller Verbesserungen im Lauf der Jahrzehnte immer noch das Grundsätzliche der Form der Nürnberger Erstausführungen zu Beginn dieses Jahrhunderts. Die größte damit erreichbare Leistung beträgt bei Zwillingsanordnung (Bild 14) rund 10000 PS bei einer Drehstromzahl von 94 U/min. Diese Leistungsgrenze ist gegeben nicht nur durch die Rücksichten auf das Ladeprofil der Eisenbahn und durch die Schwierigkeit der Beherrschung des Schmiedevorganges bei den großen Triebwerksteilen, sondern auch durch die von dem Triebwerk auf das Fundament und dessen Umgebung ausgeübten großen Massenkräfte. Es ist wohl zurückzuführen auf ihre Unverwüstlichkeit und Zuverlässigkeit im rauhen, ununterbrochenen Hüttenbetrieb, daß diese Maschinenform auch heute noch bei Neubeschaffung Verwendung findet trotz des großen Platzbedarfes, des hohen Gewichtes und des riesigen Fundamentes. Aber die Weiterentwicklung mußte auch hier darauf ausgehen, an Werkstoff, Anlagekosten, Grundfläche und Raum zu sparen. Auf dem Bild 15 sind im gleichen Maßstab zwei Großgasmaschinen gleicher Leistung gegenübergestellt, nämlich die bisherige Bauweise neben der neuen. Die Unterschiede in der Größe der Maschine, Fundament und Raumbedarf sind so auffallend, daß es eines besonderen Hinweises nicht bedarf. Durch die S-Kurbelform in Verbindung mit der besonderen Anordnung der einzelnen Maschinenpaare werden im Gegensatz zu der bisherigen Bauweise die Massenkräfte erster und zweiter Ordnung innerhalb der Maschine aufgenommen. Man kann deshalb auf das 2½fache der bisher möglichen Drehzahl gehen. Die höhere Drehzahl verlangte aber, die hin- und hergehenden Triebwerksteile so leicht als möglich zu machen, um die Lager vor zu hohen Beanspruchungen durch die Beschleunigungs- und Verzögerungskräfte zu schützen. Man setzt deshalb beide Kolben auf eine Stange, vermindert dadurch die Gesamtkolbenstangenlänge und vermeidet die Stangenkupplung. Die beiden Zylinder sitzen nahe beisammen. Während bei der alten Form Gestellkrone, Zylinder, Mittelstück und hintere Führung mit Flanschverbindung aneinander gehängt waren, die auf Zug und Biegung beansprucht war, sind diese Hauptteile jetzt durch zwei seitliche Längsanker aneinander gepreßt. Dadurch sind nicht nur die auf Zug und Biegung beanspruchten Flanschverbindungen beseitigt, sondern es ergibt sich auch eine Kürzung der Maschine. Damit sich die Vorspannung dieser Längsanker nicht viel verändert, wenn die Maschine infolge der Betriebserwärmung sich ausdehnt, sind die beiden Längsanker mit einem Wassermantel umgeben, durch den das abfließende Zylinderkühlwasser strömt. Auch sonst ist

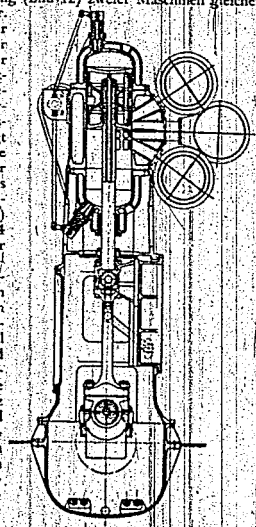


Abb. 11. Zweitakt-Gasmaschine für hochwertige Gase.

auf Vermeidung ungleichmäßiger Erwärmung von Maschine und Fundament Wert gelegt. Während man früher die Auspuffleitung seitlich heraus führte und damit sowohl die Maschine als auch das Fundament einseitig erwärmte, liegt jetzt die Auspuffleitung in der

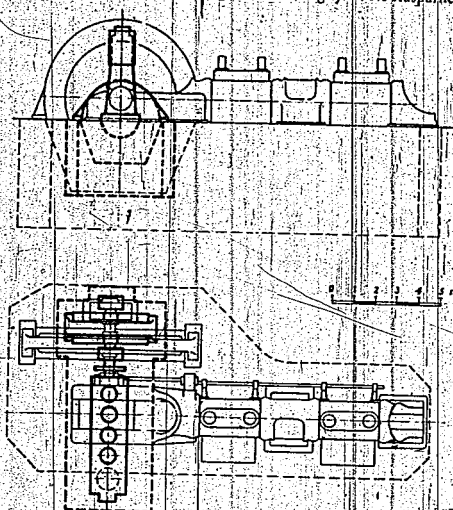


Abb. 12. Vergleich des Platz- und Fundamentbedarfes einer 2000 PS-Viertaktmaschine bei 125 U/min und einer Zweitaktmaschine für hochwertige Gase bei gleicher Leistung und 300 U/min.

senkrechten Mittelebene unter der Maschine, wobei die Auspuffgehäuse als Verbindungsstücke in der Leitung sitzen. In den kurzen Dehnungsstücken zwischen den Auspuffgehäu-

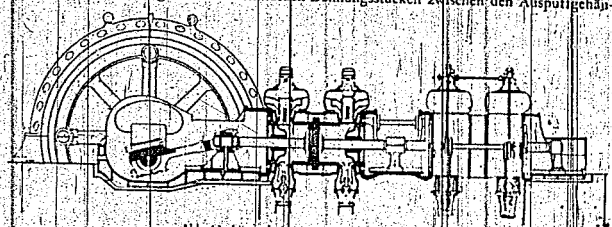


Abb. 13. Längsschnitt einer Großgasmaschine.

sen liegen Rohrschlangen, die schon einen Bestandteil des hinter der Maschine angeordneten Zwangsumlaufkessels zur Verwertung der Abgaswärme bilden und die Temperaturspitzen abfangen. Damit ist die Wärme ausstrahlende Fläche der Auspuffleitung auf ein

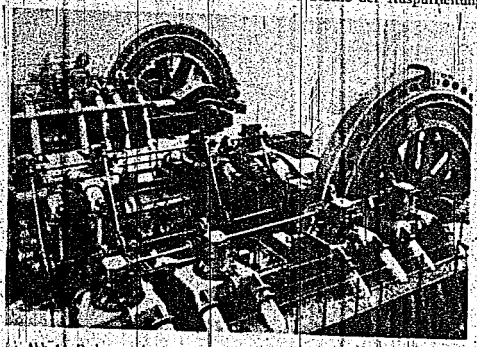


Abb. 14. Drehstromanlage 14000 KW mit 2 M.A.N-Gasmaschinen je 10000 PS.

Mindestmaß gebracht, was der Dampfgewinnung zugute kommt und die unerwünschte Erwärmung des Maschinenraumes verhindert. Selbstverständlich bedingt die Vereinigung beider Kolben auf einer Kolbenstange andere Wege zum Nachsehen der Stopfbüchsen

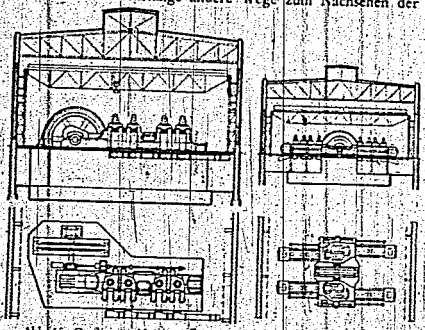


Abb. 15. Großgasmaschinen 5500 PS bisheriger und neuester Bauweise.

und Kolbenringe. Zu diesem Zweck wird der hintere Zylinder mit Hilfe des Schaltwerkes zurückgerollt.

Diese neue Form ermöglicht es, auch bei großen Maschineneinheiten mehr die Voraussetzung für die Serienanfertigung zu erfüllen. Es gibt größere Stückzahlen und man

kann mit denselben Modellen z. B. Maschinen für 2500, 5000, 7500 und 10000 PS bauen. Während bisher für Maschinen von 5000 und 10000 PS Zylinder mit 1,5 m Bohrung und 1,5 m Kolbenhub nötig waren, kommt man bei der neuen Bauart mit der Hälfte dieser Maße aus. Man ist also mit den Abmessungen von Triebwerk, Zylindern und sonstigen Teilen noch lange nicht an der Grenze und damit ist jetzt auch die Möglichkeit gegeben, mit der Gasmaschine noch wesentlich größere Einzelleistungen zu erreichen als bisher. Diese neue Maschinenform gewinnt auch dadurch Bedeutung, daß man sie an Stelle von liegenden Maschinen alter Form und kleinerer Leistung setzen kann, die vielfach noch die Maschinenhäuser der Hüttenwerke füllen. Man kann also unter Benutzung der alten Maschinenhäuser und der darin vorhandenen Krane wesentlich größere Leistungen unterbringen. Aber auch für Neubauten ergeben sich große Vorteile und zwar nicht nur an Raumgewinn, wie aus der Gegenüberstellung der Zahlen für Werkstoffbedarf und Anlagekosten ersichtlich ist (Bild 16).

Leistung	5000 PS (3500 kW)		5000 PS (3500 kW)	
	Neue Form		Bisherige Form	
Maschinentyp	DS 7a		DT 15	
U/min	214		94	
Zyl.-Durchmesser/Hub	750/750		1500/1500	
	RM	t	RM	t
Maschine m. Rohrleitg., Pumpen, Druckluftanlage, Zündbatterie	465 000	311	465 000	531
Fracht und Aufstellung	35 000	—	40 000	—
	500 000	311	505 000	531
Drehstromerzeuger mit Schaltanlage	170 000	60	200 000	140
Fracht und Aufstellung	12 000	—	16 000	—
	682 000	371	721 000	671
Maschinenfundament:				
Beton		850		2350
Armierung, Stützen, Schienen	30 000	27	65 000	250
	712 000	398	786 000	921
Maschinenhauskrankran	30 000	25	60 000	55
Gebäude	90 000	—	200 000	—
Anlage ohne Abwärmeverwertung	832 000	413	1 046 000	976
Anlagekosten je SW ohne Abwärmeverwertg.	245		308	
Abwärmeverwerter 40 at	85 000	45	75 000	40
Anlagekosten je kW mit Abwärmeverwertg.	269		328	

	Neue Form	Bisherige Form
	DS 7a	DT 15
Kranspannweite/Tragfähigkeit	23 m/15 t	29 m/45 t
Grundfläche	13×24 = 312 m²	18×30 = 540 m²
mehr bei Abwärmeverwertung	—	145 m²
Umbauter Raum	4400 m³	9720 m³
mehr bei Abwärmeverwertung	—	1000 m³
Kontingentgewichte		
Maschine, Rohrleitungen, Pumpen, Druckluftanlage, Zündbatterie	440 t	760 t
Elektrischer Teil	90 t	210 t
Armierung des Fundaments, Stützen, Schienen, Maschinenhauskrankran	60 t	330 t
	590 t	1300 t

Gerechnet mit:
RM 50 je Kubikmeter Fundament
RM 20,5 je Kubikmeter umbauter Raum
Baugelände ist nicht berücksichtigt

Abb. 16. Vergleich von Anlagekosten, Gewichten, Werkstoffaufwand und Raumbedarf bei Großgasmaschinen gleicher Leistung neuer und bisheriger Form.

Darstellung 17 vergleicht die Anlagekosten und die Kosten für die installierte Leistungseinheit für Maschinen zwischen 2500 und 10000 PS und berücksichtigt auch den Fall, wo neuartige Maschinen an Stelle von älteren Maschinen geringerer Leistung kämen, wodurch die Kosten für das neue Maschinenhaus erspart würden. Die im letzteren Fall anfallenden Kosten für das Entfernen der alten Maschinenfundamente sind nicht berücksichtigt, weil diese nach Bauart und Zustand der Fundamente sehr verschieden sein können.

Die Anlagekosten hängen zum Teil ab von Beschaffenheit des Baugrundes, Wasserverhältnissen, Ausstattung des Baues und der Schaltanlage, Anwendung der Abhitzeverwertung, auch davon, ob Eigengaserzeugungsanlage nötig ist.

Bei kleinen Kraftanlagen ist häufig ohne Neubauten auszukommen. Um gleiche Verhältnisse zu Grunde zu legen, sind bei der Gegenüberstellung 18 der auf Leistungseinheit bezogenen Anlagekosten für Maschinen kleiner Leistung bis zu Einzelleistungen von

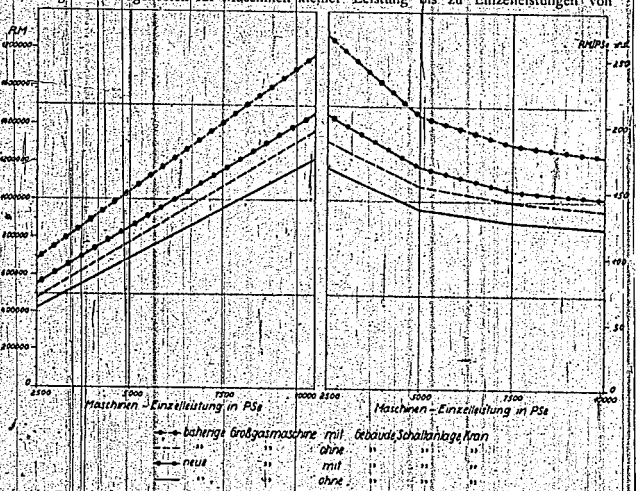


Abb. 17. Anlagekosten und Kosten für das installierte PS für liegende, doppelt wirkende Viertaktgasmaschinen zwischen 2500 und 10000 PS Einzelleistung.

2000 PS die Kosten für Gebäude, Schaltanlage und Kran oder sonstiger Hebezeuge nicht eingerechnet, sondern nur Maschine, Fundament, unmittelbar gekuppelter Drehstromerzeuger und Aufstellung. Am meisten streuen die Werte für die kleinen Leistungen. Die niedrigen Kosten bei Maschinen mit 500, 400 und 300 U/Min. gegenüber den Maschinen größerer Leistung sind z. T. dadurch zu erklären, daß bei letzteren der Bedarf gewöhnlich nicht zur Serienherstellung reicht. Schon bei der Besprechung der Bauformen wurde angedeutet, daß etwa bei 1000 PS die Anlagekosten der stehenden vielzylindrigen Viertaktgasmaschinen und der liegenden Großgasmaschinen sich nähern. Dies wird durch die Kurven bestätigt. Darüber hinaus wird die liegende Großgasmaschine die betriebliche Vorteile bietet, günstiger, je größer die Leistung.

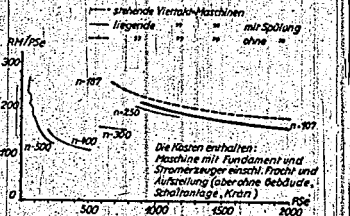


Abb. 18. Kosten bezogen auf installierte PS für Gasmaschinen zwischen 50—2000 PS Einzelleistung.

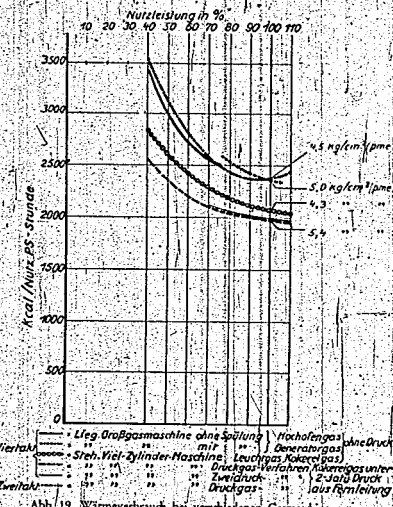


Abb. 19. Wärmeverbrauch bei verschiedenen Gasmaschinenarten und Arbeitsverfahren.

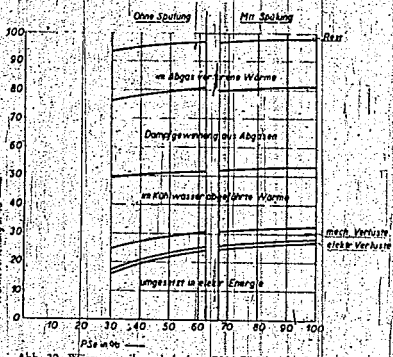


Abb. 20. Wärmeverteilung bei einer 7500-PS-Viertakt-Gasmaschine.

Die Betriebskosten hängen in der Hauptsache vom Wärmeverbrauch, vom Brennstoffpreis und von der Durchschnittsbelastung ab, aber auch davon ob eine Verwertungsmöglichkeit für die Abhitze vorhanden ist, woraus sich eine besonders bei großen Anlagen bedeutende Gutschrift ergibt.

Die Kurvenschar in der Darstellung 19 gibt eine Übersicht über den Wärmeverbrauch bei Maschinen verschiedener Leistung und verschiedener Bauweise. Der größere Wärmeverbrauch der Zweitaktmaschinen und der Viertakt-Großgasmaschinen gegenüber den stehenden Maschinen kleinerer Leistung kommt zum Teil daher, daß man bei letzteren wegen der kleineren Kolbenfläche und viel dünneren, also besser gekühlten Wandstärken mit höherer Verdichtung und etwas höheren mittleren Drücken arbeitet, bei der Zweitaktmaschine zum Teil auch noch von dem Leistungsaufwand für Vorverdichtung der Luft.

Die Wärmeverteilung an einer Großgasmaschine im Bild 20 läßt erkennen, welcher Gewinn aus der Verwertung der Abgaswärme dieser großen Maschinen zu erzielen ist, besonders wenn man bedenkt, daß diese gewöhnlich im Jahr über 8000 Betriebsstunden bei guter Durchschnittsbelastung laufen und es sich um verwertbare Temperaturen zwischen 500 und 700° handelt. Es werden damit je nach Maschinen-

größe bei Vollast 0,8 bis 1,1 kg/PSeh überhitzter Dampf gewonnen, also bis zu 1,6 kg/KWh.

Auch für die Kühlwasserwärme gibt es verschiedene Verwendungsmöglichkeiten. Die Gewinnung von Niederdruckdampf aus der Zylinderkühlung ist möglich, bringt aber infolge der größeren Erwärmung des Zylinderinneren Leistungsminderung und größere Abnützung der Laufbahn und der Kolbenringe mit sich.

Bei den stehenden Maschinen ohne Kolbenkühlung kann man je nach der Größe und den sonstigen Verhältnissen 0,4 — 0,6 kg Niederdruckdampf je PSeh aus den Abgasen gewinnen, oder aus Kühlwasser und Abgasen zusammen je PSe stündlich zwischen 20 und 30 l Warmwasser von 60 — 70°, wobei die Warmwassermenge zum Teil abhängt von der Größe und Belastung der Maschine und von der Zulauftemperatur des Kühlwassers.

Die Betriebskosten für kleine Anlagen streuen sehr, weil die Betriebsverhältnisse zu verschieden sind. Zum Vergleich sind auf der Zahlentafel 21, unter ganz gleichen Voraus-

Grundlagen: Belastung 80 %, Betriebsstunden 3000 im Jahr,
Verzinsung 5 %, Abschreibung 6 %, Instandhaltung 2 % der Anlagekosten,
Schmieröl RM 60,—/100 kg, Kühlwasser 2 Rpf./m³,
Bedienung RM 1,—/Std. Bei Gasbezug Bedienung im Nebenamt; deshalb Lohn nur für 1/3 Betriebszeit, dagegen Lohn für volle Betriebszeit bei eigener Gasanlage,
Zündölpreis für Dieselgasmaschine 32 RM/100 kg

Brennstoff	Unterer Heizwert		Brennstoffpreis		Reine Brennstoff-Kosten der Gasmaschine	Reine Brennstoff-Kosten der Dieselgasmaschine	Kosten der kWh in Rpf. Gasmaschine während der Abschreibung	Gasmaschine nach der Abschreibung	Dieselgasmaschine während der Abschreibung	Dieselgasmaschine nach der Abschreibung
	kcal/m³	kcal/kg	Rpf/m³	RM/t	Rpf/kWh	Rpf/kWh	Rpf/kWh	Rpf/kWh	Rpf/kWh	Rpf/kWh
Ferngas	4000	—	2,5	—	2,2	3,0	3,8	3,0	4,75	3,8
Stadtgas	4000	—	5,0	—	4,4	5,0	6,0	5,2	6,75	5,8
Generatorgas aus										
Braunkohl.-Schwelk.	—	5500	—	16	1,37	2,22	4,30	3,03	5,15	3,88
Anthrazit	—	7800	—	24	1,45	2,29	4,40	3,13	5,24	3,97
Koks	—	7000	—	21,5	1,45	2,29	4,50	3,21	5,32	4,05

Abb. 21. Kosten der kWh bei einer Gas- und einer Dieselgas-Kraftanlage 300 PS bei verschiedenen Gasen und verschiedenen festen Brennstoffen.

setzungen, aber für verschiedene Brennstoffe für eine 300 PS Maschine die Gesamtgestehungskosten für die kWh gegenübergestellt. Bei den kWh-Kosten für die Dieselgasmaschine gleicher Leistung wirkt sich der hohe Preis für das Zündöl und für den Treibölverbrauch in der Anfahrzeit ungünstig aus.

Je geringer die Durchschnittsbelastung, um so mehr wird sich bei der Dieselgasmaschine die Verteuerung der kWh-Kosten für Zündölverbrauch bemerkbar machen, weil dieser, auf die Leistungseinheit bezogen, mit abnehmender Last zunimmt.

Für Großgasmaschinenanlagen bringt Bild 22 die kWh-Kosten aus Hüttenwerkszentralen. Es geht daraus aber auch die lange Lebendauer dieser Maschinenart hervor und ihre Wirtschaftlichkeit trotz der langen Betriebszeiten dieser zum Teil noch aus den Anfängen des Großgasmaschinenbaues stammenden Einheiten. Der erste Fall bezieht sich auf eine Anlage mit veralteten Maschinen mittlerer Größe, die jetzt über 35 Jahre rauhen Dauerbetrieb hinter sich haben. Beim zweiten Beispiel handelt es sich um 3 auch schon lange abgeschriebene Zentralen zusammengehöriger Hüttenwerke mit zusammen 40000 kW. Der dritte Fall bringt die kWh-Kosten einer etwas neueren Anlage als Mittel aus den ersten 4 Betriebsjahren, wozu also die Belastung für Tilgung und Zinsen in der damaligen Höhe kommt. Diese Maschinen sind jetzt abgeschrieben und haben heute keine höheren Betriebskosten als damals ohne Zurechnung der Tilgung und Zinsen.

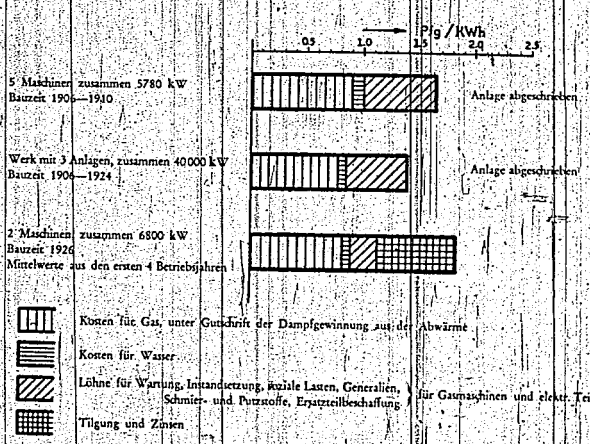


Abb. 22. kWh-Kosten aus elektrischen Gasmaschinen-Zentralen deutscher Hüttenwerke.

Zum Schluß noch eine Übersicht (23) über die behandelten Gasmaschinenarten in Bezug auf Drehzahl, Leistung und Verwendungsmöglichkeiten, woraus auch auf die wirtschaftliche Bedeutung der Gasmaschine zu schließen ist. Diese Übersicht ist nur roh und kann nicht beanspruchen vollständig zu sein. Es ist z. B. zu ergänzen, daß Gaswerks-Fachmänner auf die Zweckmäßigkeit der Verbindung der Gaswerke mit der Stromlieferung hingewiesen haben, wobei Gasmaschinen Verwendung finden sollen, die teils mit Generatorgas aus dem anfallenden Koks, teils mit Leuchtgas betrieben werden, letzteres hauptsächlich zur Deckung von Belastungsspitzen.

Meine Herren! Ich habe versucht, Ihnen das Wesentlichste über Gaskraftanlagen vorzutragen, so gut es in der verfügbaren Zeit möglich war. Ich wollte dabei auch zeigen, daß nicht nur in der Zeit des Krieges, sondern auch in der Zukunft die Gaskraftmaschine in die engere Wahl zu ziehen ist, wenn es sich darum handelt zu entscheiden, welchen Antrieb man für die eine oder andere Kraftanlage wählen soll. Selbstverständlich muß man die verschiedenen Möglichkeiten, z. B. ob Gas oder Dampf oder ob Strombezug oder irgend eine Verbindung dieser Möglichkeiten gegeneinander abwägen, unter Berücksichtigung der jeweiligen örtlichen Verhältnisse, der Betriebszeiten, der Lastschwankungen, der Durchschnittsbelastung, der Brennstoffrage, der Wasserverhältnisse usw.

Obwohl nur über die Kolben-Gasmaschine berichtet wurde, muß zum Schluß doch noch auf die von verschiedenen Seiten ausgehenden ernsten Bemühungen hingewiesen werden, die Gasturbine zu einer wirtschaftlich arbeitenden und betriebssicheren Maschine zu entwickeln. Heute kann man aber noch nicht sagen, wann dieses Ziel erreicht sein wird und wie sich die Anwendungsgebiete zwischen Gaskolbenmaschine und Gasturbine in der Zukunft abgrenzen werden. Das wird erst möglich sein, wenn die verschiedenen in der Entwicklung befindlichen Gasturbinen-Arten einen mehrjährigen Dauerbetrieb hinter sich haben.

Maschinenart		Leistung	Drehzahl	Verwendbare Gase	Hauptsächliche Anwendungsgebiete
1) Großgasmaschinen (Viertakt, liegend, doppelt wirkend)	bisherige Form	von 1000 PS bei 150 U/min bis zu 10000 PS bei 94 U/min	Hochofen-Gas, Generator-Kokerei-Stadt-Schwel-Renn-Faul-Erd-Raffinerie- und ähnliche Gase	Antrieb von Stromerzeugern und Gebläsen für Hochofen- und Stahlwerke, von Gaskompressoren der chemischen Industrie, von Gaspumpen im Bereich der Ferngasversorgung
	neue Form	von 2500 PS bei 250 U/min bis zu 15000 PS bei 115 U/min		
2) Gasmaschinen (Viertakt, einfach wirkend, abgesehen von kleinsten Leistungen fast durchweg mit stehenden Zylindern		von kleinster Leistung bei 2000 U/min bis zu 1000 PS bei 250 U/min		Antrieb von Stromerzeugern, Gas- und Luftverdichtern, Wasserpumpen, Transmissionen, Schiffen und Landfahrzeugen
3) Viertakt-Gasmaschinen wie 1) und 2), aber mit Druckgas oder Zweidruckverfahren		wie 1) und 2) (ausgenommen kleinste Leistungen)	besonders für hochwertige Gase	Im Anschluß an Ferngas-Druckleitungen, Erdgasquellen und sonstigen Anfall von brennbaren Gasen unter Druck, zum Antrieb von Stromerzeugern, Wasserpumpen, Gaspumpen und dergl.
4) Zweitakt-Gasmaschinen (liegend, doppelt wirkend, mit Druckgasbetrieb)		1500 PS bei 300 U/min bis zu 8000 PS bei 200 U/min		
5) Dieselgasmotoren (Viertakt und Zweitakt)		richtet sich nach den vorhandenen Dieselmotorenmodellen	für alle brennbaren Gase wie 1) und 2). Benötigt außerdem Treiböl zum Anfahren und Zünden	Hauptsächlich bei Umstellung vorhandener Dieselmotoren auf Gasbetrieb. Neubeschaffung: Besonders für Schiffe selbsttätig anlaufende Notstromanlagen, Verwendung in Bohrbetrieben mit Erdgasvorkommen.

Abb. 23. Leistungen, Drehzahlen, Verwendbarkeit verschiedener Gasmaschinen.

Stadtgas und Methan im Kraftverkehr.

Von Präsidialdirektor Dr.-Ing. W. Hoffmann, Berliner Gaswerke, Berlin. Vorgetragen vor der Brennkrafttechnischen Gesellschaft E.V. auf der Gemeinschaftstagung „Gas und Gaskraft" am 4. März 1942.

Die Einsätze der Wehrmacht und der Bedarf der Kriegs- und Rüstungswirtschaft haben zu einer außerordentlichen Steigerung des deutschen Treibstoffbedarfes geführt. Dieser wird mit der Ausweitung der Operationsräume und der Verstärkung des Rüstungsprogramms noch weiter anwachsen. Die deutsche Treibstofflage macht es daher erforderlich, zur Versorgung des Kraftverkehrs in der Heimat und in den besetzten Gebieten auch Ausweichkraftstoffe, also Holz, Kohle und Koks, Flüssiggas, sowie die permanenten Gase einzusetzen. Als Permanentgase bezeichnet man alle Gase, deren kritische Temperatur so tief liegt, daß sie sich bei normalen Temperaturen auch unter höchsten Drücken nicht verflüssigen lassen und daher gasförmig gespeichert werden müssen. Von den Permanentgasen bzw. Gasmischungen, die in diesem Vortrage zu behandeln sind, kommen als Treibstoffe in erster Linie Erdgas, Klärgas, Schwelgas und Stadtgas sowie die aus Stadtgas durch physikalische oder chemische Verfahren gewonnenen Anteile mit höherem Heizwert in Frage.

Da in Deutschland Erdgas nur in bescheidenstem Umfange zur Verfügung steht, sind bereits vor längeren Jahren die ersten Versuche für die Verwendung des Stadtgases im Kraftverkehr durchgeführt worden. An einzelnen Stellen konnte auch das aus Klärgas gewonnene Methan für den Kraftverkehr nutzbar gemacht werden. Entscheidend für den Wert eines Gases als Treibstoff ist neben seinen chemischen Eigenschaften vor allem der Heizwert, durch den der Fahrbereich des Kraftfahrzeuges bestimmt wird. Das Ziel der Entwicklung muß daher die Bereitstellung von Gasen mit möglichst hohen Heizwerten sein, weil bei diesen sowohl der Fahrbereich dem der flüssigen Treibstoffe am nächsten kommt oder gar gleichwertig ist und auch das günstigste Verhältnis zum Eigenbedarf und toten Gewicht der Fahrzeugausrüstung erreicht wird.

Das oberste Erfordernis beim Gasantrieb von Kraftfahrzeugen ist natürlich die Sicherheit im Verkehr und die Gefahrlosigkeit des Betriebes. Daraus ergibt sich eine Reihe von Forderungen hinsichtlich der Gasbeschaffenheit, die korrodierende Einflüsse der Gase auf die Flaschen ausschließen muß. Es ist bekannt, daß sich beim Stadtgasbetrieb im Jahre 1938 in den Stahlflaschen z. T. Rißerscheinungen gezeigt hatten, die zum Zerknall mehrerer Flaschen führten. Auf Veranlassung des Reichswirtschaftsministers und in Verbindung mit den Technischen Überwachungsvereinen sind eingehende Versuche durchgeführt worden, um die Ursache der Zerstörungen zu ergründen. Diese ist in den Bestandteilen des Stadtgases, die sich in Form von Kondensaten nach der Verdichtung in den Stahlflaschen niedergeschlagen hatten, gefunden worden. Die Druckgasverordnung des Reichswirtschaftsministers vom 5. 12. 41 sieht daher als Maßnahme für den Korrosionsschutz der Flaschen die völlige Trocknung des Gases und die Entfernung des Cyans aus dem Gase vor. Beide Forderungen können heute erfüllt werden, da es gelungen ist, das Cyan während des Kompressionsvorganges durch Wäsche fast völlig auszuscheiden. Die Kühlung des Gases auf eine Temperatur von 0°, mindestens aber um 2° unter die jeweilige Außentemperatur, hat sich in mehreren Gastankstellen des besetzten Gebietes zur Erzielung des erforderlichen Trocknungsgrades bewährt. Damit ist die Frage der Korrosion der Druckgasbehälter als Folge der Gasbeschaffenheit gelöst.

Bei der Beurteilung des Gases als Treibstoff muß man sich darum erinnern, daß der Dieselmotor aus der Gasmaschine entwickelt worden ist, am Anfang der Entwicklung also das Gas und nicht der flüssige Treibstoff stand. Auch der moderne Motor im Kraftfahrzeug verbrennt nicht den flüssigen Brennstoff, sondern wandelt ihn erst in Gas und

durch Zusatz von Luft in ein Gasluftgemisch um. Das Gasgemisch und die diesem innewohnenden Wärmeeinheiten sind also entscheidend für die mehr oder minder gute Eignung eines Kraftstoffes für den Antrieb eines Verbrennungsmotors (Bild 1). Sie sehen auf dem Bild die verschiedenen Kraftstoffe mit ihren Heizwerten, ihrem günstigsten Mischungsverhältnis mit Luft sowie die Heizwerte der Gemische. Generatorgas mit einem unteren Heizwert von 1100 WE hat bei einem Mischungsverhältnis von 1 : 1 einen Heizwert des Gasluftgemisches von 550 WE. Bei einem Steinkohlengas mit einem unteren Heizwert von nur 3600 WE und einem Mischungsverhältnis von 1 : 3,8 ist der Heizwert des Gemisches 750 WE. Das Propan hat 22000 WE und bei einem Mischungsverhältnis von 1 : 22 einen Heizwert des Gasluftgemisches von 960 WE. Bei stark unterschiedlichen Heizwerten der Kraftstoffe weisen also die für die Verbrennung im Motor entscheidenden Heizwerte der Gasluftgemische nur wesentlich geringere Unterschiede auf.

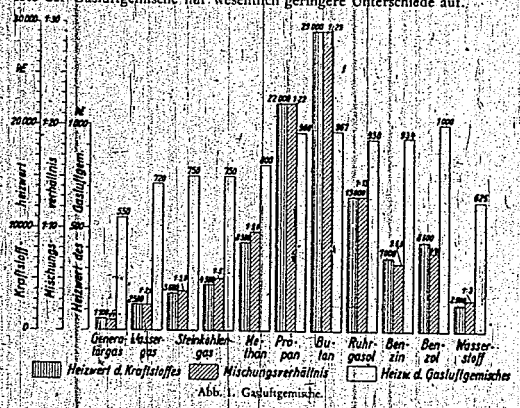


Abb. 1. Gasluftgemische.

Der idealste Kraftstoff unter den permanenten Gasen ist das Methan infolge seines hohen Heizwertes von 9000 — 11000 WE. In Gestalt von Erdgas kommt das Methan in Deutschland nur in wenigen Fällen vor. Die von kurzem in Bentheim erschlossene Erdgasquelle mit ziemlich hoher Ausbeute ist bisher noch nicht für die Zwecke des Kraftverkehrs erschlossen worden; die Vorbereitungen hierzu sind aber bereits eingeleitet. Eine Aufbereitung des Erdgases für motorische Zwecke ist im allgemeinen nicht notwendig. Motorenmethan aus Kokereigas wird in Deutschland zur Zeit nur bei der Hibernia nach dem Linde-Verfahren erzeugt. Die technische Eignung des Methans als Treibstoff und seine außerordentliche Bedeutung für den Kraftverkehr zeigt das Beispiel Italiens. In den Erdölrevieren Norditaliens sowie entlang der Apenninen, aber auch in Süditalien und auf Sizilien sind im Laufe der letzten Jahre erhebliche Erdgasmengen erbohrt worden. Dr. Birk hat für das Jahr 1938 die Ertragsfähigkeit sämtlicher Erdgasvorkommen Italiens mit 45000 cbm täglich entsprechend einer Jahresförderung von 16,4 Mio cbm angegeben. Bei einer Äquivalenz von 10 cbm Erdgas = 12 l Benzin stellt diese Erdgaserzeugung bei restloser Verwendung zu Treibzwecken einen Benzinwert von 14200 t dar. Inzwischen ist es gelungen, die Erdgasgewinnung in Italien zu verdoppeln, so daß zur Zeit 20000 Fahrzeuge, davon allein rund 3000 in Rom, mit Methan betrieben werden. Bei der im Gange befindlichen Erschließung weiterer Erdgasquellen ist eine noch stärkere Umstellung des italienischen Kraftverkehrs auf Methan zu erwarten. Auch die industrielle

Methangewinnung wird in Italien in Großanlagen betrieben. Durch den Bau zahlreicher Verdichterstationen, durch Ferntransporte der Gasflaschen im Waggon und im Kraftwagen sowie durch fahrbare Tankwagen und Ferngasleitungen wird das Verteilungsnetz in Italien immer mehr erweitert.

Auch das Klärgas aus den Kläranlagen der Städte eignet sich wegen seines günstigen Heizwertes als Treibstoff für Kraftfahrzeuge. Der mengenmäßige Anfall ist aber zu gering, als daß ihm eine entscheidende Rolle in der Kraftstoffversorgung zukommen könnte. Dennoch wird der Ausbau von Kläranlagen und die Verwendung dieses Gases als Treibstoff behördlicherseits stark gefördert. Zur Zeit sind in Deutschland 12 Gasanstellen für Klärgas in Betrieb und die Erstellung weiterer 10 Anlagen wird vorbereitet. Der aus dem Abwasser der Städte abgesetzte Klärschlamm entwickelt Gase, die zu 75—80% aus Methan bestehen, während der Rest im wesentlichen Kohlensäure ist. Der Gasanfall beträgt etwa 0,5 cbm je kg Schlamm entsprechend etwa 15—20 l Klärgas je Einwohner und Tag. Die Aufbereitung des Gases erfolgt lediglich in einer Schwefelreinigung. Der Heizwert beträgt etwa 6500 WE und kann durch Einschaltung einer Kohlensäurewäsche auf 9000 WE gesteigert werden.

Die bei der Steinkohlenschwelung anfallenden Gase sind je nach den Verfahren und den Bedingungen ihrer Erzeugung außerordentlich verschiedenartig (Bild 2). Sie weisen

	Trieftöhnverfahren		Spülgasverfahren		
	Liegende Schwelöfen (BT)	Keramische Öfen (Kappers)	bei direkter Beheizung	bei Innenbeheizung (Sauerstoff)	bei indirekter Beheizung
CO_2 ..... Vol %	8,2	4,4	5—10	14—17	3—4
$C_n H_m$ ..... Vol %	3,8	1,7	0,5—1,5	1,0—1,5	ca. 1,5
O ..... Vol %	0,0	0,2	0,0—0,5	0,1—0,3	0,1—0,2
CO ..... Vol %	5,9	12,9	6—14	10—12	15—18
H_2 ..... Vol %	21,9	50,2	20—30	30—45	45—50
CH_4 + Hom ..... %	54,1	25,4	10—18	22—29	26—30
N_2 ..... Vol %	5,5	5,2	30—50	0—8	5—7
Spez. Gewicht kg/Nm³	0,769	0,576	0,85—1,0	0,72—0,8	0,56—0,6
Verbrennungswärme (ohne Benzin) kcal/Nm³	7 770	ca. 4 500	2 200—2 700	4 000—4 500	ca. 5 400
Gasausbeute Nm³/t	85 (Unterfeuerung nicht abgezogen)	260 (Unterfeuerung nicht abgezogen)	185—230 (Unterfeuerung abgezogen)	130—150 (Unterfeuerung abgezogen)	ca. 65 (110) (Unterfeuerung abgezogen)

Abb. 2. Steinkohlenschwelgase.

Heizwerte von 2200 bis zu 7000 WE/Ncbm auf. Als Treibgas sind nur die heizkräftigen, also in erster Linie die aus eisernen Schwelöfen gewonnenen Gase geeignet. Ihre hohe Verbrennungswärme und hoher Methangehalt bewirken günstige motorische Eigenschaften. Die Schwelgase mit Ausnahme derjenigen aus direkt und außenbeheizten Spülgasöfen sind methanreich und können daher auf Motorenmethan verarbeitet werden.

Das Stadt- und Kokereigas besitzt für die Treibstoffwirtschaft den Vorteil, daß es in allen wichtigen Plätzen des Reichsgebietes in den erforderlichen Mengen zur Verfügung steht. Es weist aber mit der verhältnismäßig niedrigen Verbrennungswärme von 3600 bis 4200 WE/Ncbm unteren Heizwert den Nachteil des hohen Flaschengewichtes und geringeren Fahrbereiches auf. Bereits seit Jahren werden von einigen deutschen Gaswerken Stadtgastankstellen mit gutem Erfolg betrieben. Auch in den besetzten Gebieten von Frankreich, in Belgien und in den Niederlanden wird das Stadtgas in ständig steigendem Maße für den Antrieb von Last- und Personenkraftwagen verwendet. In den besetzten Gebieten sind bereits 15000 Fahrzeuge auf Stadtgas umgestellt worden. In Ermangelung einer ausreichenden Zahl von Verdichterstationen und Stahlflaschen wird dort auch Niederdruckgas verwendet, jedoch beträgt der Fahrbereich hierbei nur 15—20 km (Bild 3). Für die Omnibuslinien der Stadt Paris ist daher eine größere Anzahl von Tankstellen im Niederdrucknetz der Pariser Gasgesellschaft errichtet worden (Bild 4). Diese Einrichtung ist aber ebenso wie der Ballongasantrieb der Autotaxen in Holland nur als eine Übergangserscheinung der Kriegswirtschaft zu werten.

Der Betrieb von Kraftfahrzeugen mit komprimiertem Stadtgas kann nach den mehrjährigen praktischen Erfahrungen technisch und wirtschaftlich als gelöst angesehen werden. Es besteht daher auch der Plan, das gesamte deutsche Reichsgebiet mit einem Gastankstellennetz zu überlagern, so daß die wesentlichen Verkehrslinien mit Stadtgas bedient werden können. Das Ziel der weiteren Entwicklung muß aber darauf gerichtet sein, dem Verkehr ein Stadtgas mit höherem Heizwert zur Verfügung zu stellen. Für die Lösung dieses Problems stehen physikalische und chemische Verfahren zur Verfügung. Un-

Abb. 3. Fahrzeug für Stadtgasbetrieb.

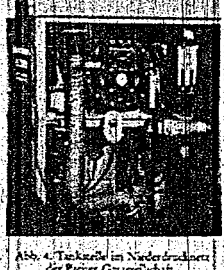


Abb. 4. Tankstelle im Niederdrucknetz der Pariser Gasgesellschaft.

Verbrennungswärme und hoher Methangehalt bewirken günstige motorische Eigenschaften. Die Schwelgase mit Ausnahme derjenigen aus direkt und außenbeheizten Spülgasöfen sind methanreich und können daher auf Motorenmethan verarbeitet werden.

Das Stadt- und Kokereigas besitzt für die Treibstoffwirtschaft den Vorteil, daß es in allen wichtigen Plätzen des Reichsgebietes in den erforderlichen Mengen zur Verfügung steht. Es weist aber mit der verhältnismäßig niedrigen Verbrennungswärme von 3600 bis 4200 WE neben unteren Heizwert den Nachteil des hohen Flaschengewichtes und geringeren Fahrbereiches auf. Bereits seit Jahren werden von einigen deutschen Gaswerken Stadtgastankstellen mit gutem Erfolg betrieben. Auch in den besetzten Gebieten von Frankreich, in Belgien und in den Niederlanden wird das Stadtgas in ständig steigendem Maße für den Antrieb von Last- und Personenkraftwagen verwendet. In den besetzten Gebieten sind bereits 15000 Fahrzeuge auf Stadtgas umgestellt worden. In Ermangelung einer ausreichenden Zahl von Verdichterstationen und Stahlflaschen wird dort auch Niederdruckgas verwendet, jedoch beträgt der Fahrbereich hierbei nur 15 — 20 km (Bild 3). Für die Omnibuslinien der Stadt Paris ist daher eine größere Anzahl von Tankstellen im Niederdrucknetz der Pariser Gasgesellschaft errichtet worden (Bild 4). Diese Einrichtung ist aber ebenso wie der Ballongasantrieb der Autotaxen in Holland nur als eine Übergangserscheinung der Kriegswirtschaft zu werten.

125

Der Betrieb von Kraftfahrzeugen mit komprimiertem Stadtgas kann nach den mehrjährigen praktischen Erfahrungen technisch und wirtschaftlich als gelöst angesehen werden. Es besteht daher auch der Plan, das gesamte deutsche Reichsgebiet mit einem Gastankstellennetz zu überziehen, sobald die wesentlichen Verbesserungen mit Stadtgas bedient werden können. Das Ziel der weiteren Entwicklung muß aber darauf gerichtet sein, dem Verkehr ein Stadtgas mit höherem Heizwert zur Verfügung zu stellen. Für die Lösung dieses Problems stehen physikalische und chemische Verfahren zur Verfügung. Un-

Abb. 3. Fahrzeug für Stadtgasbetrieb.

Abb. 4. Tankstelle an Niederdrucknetz der Pariser Gasgesellschaft.

ter den letzteren ist das Verfahren der stufenweisen Verflüssigung des Gases nach Linde seit Jahren bekannt und wird zur Zerlegung von Kokereigas zur Wasserstoffgewinnung für die Ammoniaksynthese verwendet. Das dabei als Nebenerzeugnis anfallende Motorenmethan wird bereits an einigen Stellen für die Treibstoffwirtschaft restlos gewonnen.

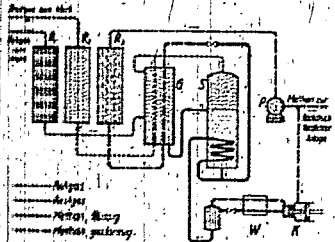


Abb. 5. Moderne Methangewinnung aus Kokereigas nach Linde.

Eine Anlage, die ausschließlich der Gewinnung von Motorenmethan aus Stadtgas dient, wird m. W. erstmalig von den Berliner Gaswerken zusammen mit der Firma Linde bearbeitet (Bild 5). Die Anlage besteht im wesentlichen aus 1 Regenerator, einem Gegenstrom-Wärmeaustauscher, einer Methansäule, einer Vakuumpumpe und einer Kältemaschine. Das Rohgas durchströmt zunächst den Regenerator R 1, in welchem es soweit abgekühlt wird, daß sich aus dem Gasstrom Kohlensäure- und Kohlenwasserstoff in fester oder flüssiger Form abscheiden. Vom Regenerator strömt das Rohgas zum Wärmeaustauscher G, in welchem die weitere Abkühlung bis zur Verflüssigung des Methans erfolgt. Die erforderliche Kälte wird aus der Verdampfungswärme des in den Kühlschlan-

126

gen unter Vakuum siedenden Methans entnommen. Das flüssige Methan sammelt sich am Boden des Apparates und wird der Methansäule S zugeführt, in welcher die gleichzeitig mit dem Methan in geringer Menge kondensierten Anteile von CO und N 2 ausgetrieben werden. Das so gewonnene Methan wird mittels der Vakuumpumpe P entspannt, dient zunächst seinerseits als Kühlmittel im Gegenstrom Wärmeaustauscher, durchströmt den Regenerator R 1, in dem es sich anwärmt, gelangt zur Vakuumpumpe P und von dort zur Hochdruck-Verdichteranlage bzw. einem zwischengeschalteten Ausgleichbehälter. Das Restgas durchströmt eine Kühlschlange des Wärmeaustauschers G und gelangt von dort zum Regenerator R 2, in dem es beim Durchströmen die in der vorhergehenden Schaltperiode aus dem Rohgas ausgefrorenen Bestandteile wieder verdampft und mitnimmt. Die für den Prozeß erforderliche Kälte liefert die Kältemaschine K, die sich als Kälteträger eines aus dem erzeugten Methan hinter der Vakuumpumpe abgezweigten Teilstromes bedient.

Abb. 3. Fahrzeug für Stadtgasbetrieb.

Abb. 4. Tankstelle im Niederdruckbetrieb der Pariser Gasgesellschaft.

ter den ersteren ist das Verfahren der stufenweisen Verflüssigung des Gases nach Linde seit Jahren bekannt und wird zur Zerlegung von Kokereigas zur Wasserstoffgewinnung für die Ammoniaksynthese verwendet. Das dabei als Nebenerzeugnis anfallende Motorenmethan wird bereits an einigen Stellen für die Treibstoffwirtschaft nutzbar gemacht.

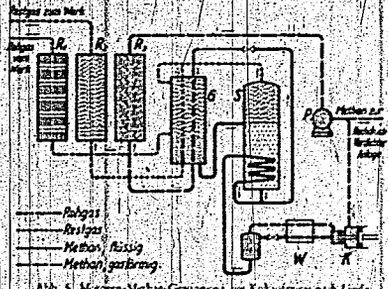


Abb. 5. Motoren-Methan-Gewinnung aus Kokereigas nach Linde.

Eine Anlage, die ausschließlich der Gewinnung von Motorenmethan aus Stadtgas dient, wird m. W. erstmalig von den Berliner Gaswerken zusammen mit der Firma Linde bearbeitet (Bild 5). Die Anlage besteht im wesentlichen aus 3 Regeneratoren, einem Gegenstrom-Wärmeaustauscher, einer Methansäule, einer Vakuumpumpe und einer Kälteapparatur. Das Rohgas durchströmt zunächst den Regenerator R 1, in welchem es soweit abgekühlt wird, daß sich Wasserdampf, Kohlensäure und Kohlenwasserstoff in fester oder flüssiger Form abscheiden. Vom Regenerator strömt das Rohgas zum Wärmestromaustauscher G, in welchem die weitere Abkühlung bis zur Verflüssigung des Methans erfolgt. Die erforderliche Kälte wird aus der Verdampfungswärme des in den Kühlschlan-

gen unter Vakuum siedenden Methans entnommen. Das flüssige Methan sammelt sich am Boden des Apparates und wird der Methansäule S zugeführt, in welcher die gleichzeitig mit dem Methan in geringer Menge kondensierten Anteile von CO und N 2 ausgetrieben werden. Das so gewonnene Methan wird mittels der Vakuumpumpe P entspannt, dient zunächst seinerseits als Kühlmittel im Gegenstrom-Wärmeaustauscher, durchströmt den Regenerator R 3, in dem es sich anwärmt, gelangt zur Vakuumpumpe P und von dort zur Hochdruck-Verdichteranlage bzw. einem zwischengeschalteten Ausgleichbehälter. Das Restgas durchströmt eine Kühlschlange des Wärmeaustauschers G und gelangt von dort zum Regenerator R 2, in dem es beim Durchströmen die in der vorhergehenden Schaltperiode aus dem Rohgas ausgefrorenen Bestandteile wieder verdampft und mitnimmt. Die für den Prozeß erforderliche Kälte liefert die Kältemaschine K, die sich als Kälteträger eines aus dem erzeugten Methan hinter der Vakuumpumpe abgezweigten Teilstromes bedient.

Das nach dem Linde-Verfahren gewonnene Methan hat einen unteren Heizwert von 8000—8500 WE. In der projektierten Anlage sollen für eine vorhandene Stadtgastankstelle stündlich 300 cbm Motorenmethan gewonnen werden. Hierzu werden rund 3500 cbm Stadtgas/h mit einem Methangehalt von etwa 20% benötigt, so daß rund 2200 cbm Restgas mit einem Methangehalt von etwa 9% und einem Heizwert von rund 3600 WE übrig bleiben.

Das Verfahren ist also nur in Verbindung mit einer wirtschaftlichen Verwertung der Restgasmenge durchführbar. Daher wird die Methangewinnung nach Linde auf eine verhältnismäßig kleine Anzahl von Anwendungsmöglichkeiten beschränkt bleiben. Die Betriebskosten des Verfahrens sind zu $^3/_4$ Energiekosten. Bei einem kWh-Preis von 4 Rpf. betragen die Gesamtkosten einschl. Kapitaldienst und Gaskosten unter Berücksichtigung der Gutschrift für das Restgas rund 14 Rpf/cbm Methan. Der Preis der 1000 WE, bezogen auf den unteren Heizwert, errechnet sich daraus bei Methan zu 1,7 Rpf. gegenüber 1,1 Rpf. beim Stadtgas. Diese Mehrkosten des Methans werden jedoch wieder ausgeglichen durch die Ersparnisse bei der Verdichtung des Gases und im Betrieb der Tankstellen, da sich hier die Kosten proportional der Erhöhung des Heizwertes verringern. Als Endergebnis stellen sich die Kosten je 1000 WE frei Fahrzeug für Stadtgas und Methan praktisch gleich hoch, und zwar auf etwa 2,5 Rpf. Die einem Liter Benzin äquivalente Wärmemenge kostet also in Form von Methan und Stadtgas von rund 18 Rpf. Gegenüber dem Stadtgas hat das Methan dabei den wesentlichen Vorteil des mehr als doppelten Heizwertes in cbm, der zusammen mit der günstigen Kompressibilität des Methans den Fahrbereich annähernd auf das Dreifache erhöht.

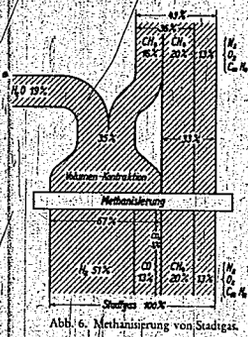


Abb. 6. Methanisierung von Stadtgas.

Die Heizwerterhöhung von Kokerei- und Stadtgas auf chemischem Wege, die sogen. Methanisierung, beruht auf der Tatsache, daß Kohlenoxyd und Kohlensäure in Gegenwart geeigneter Katalysatoren unter bestimmten Reaktionsbedingungen mit Wasserstoff zu Methan und Wasser reagieren. Dabei sind theoretisch zur Bindung von einem Teil CO, 4 Teile H_2 erforderlich (Bild 6). In der Abbildung sind die mit der Reaktion verbundene Volumenkontraktion und der Verlust durch das entstandene Verbrennungswasser dargestellt, und zwar für den theoretischen Fall eines Gases das genau die vorhergenannten Mengenverhältnisse an CO, CO_2 und H_2 besitzt, und unter der Annahme eines vollständig quantitativen Verlaufes der Reaktion. Das Ausgangsgas entspricht einem Stadtgas in den normalen Beschaffenheitsgrenzen. Das Endgas ist auf rund die Hälfte zusammengeschrumpft und hat bei einem Methan-

gehalt von 73 % einen unteren Heizwert von 6500 WE, also günstigenfalls rund des nach Linde gewonnenen Methans.

(Bild 7). Eine von der Firma Pintsch entwickelte Methanisierungsanlage besteht aus einem Gebläse zur Förderung des Gases, einem Wärmeaustauscher, in dem das methanisierte Gas einen Teil seiner fühlbaren Wärme an das unbehandelte Gas abgibt, einem CS_2-Reiniger, einem Gasvorwärmer, dem Kontaktofen und einem Nachkühler. Das unbehandelte Gas verläßt den Wärmeaustauscher mit etwa 200° und tritt in den CS_2-Reiniger ein, in welchem die organischen Schwefelverbindungen abgeschieden werden. Diese Befreiung von organischen Schwefelverbindungen bereitet bei Wassergas keine Schwierigkeiten, es fehlen jedoch hierüber Erfahrungen mit Stadtgas. Es ist zu befürchten, daß bei Stadtgas infolge der verschiedenartigen Verunreinigungen die Kontakte eine geringere Lebensdauer als bei Wassergas haben werden. Auf den CS_2-Reiniger folgt ein befeuerter Gaserhitzer, in welchem die Gastemperatur auf etwa 300° erhöht wird. In dem anschließenden Kontaktofen findet die teilweise Umsetzung von Kohlenoxyd und Wasserstoff in Methan und Wasserdampf statt. Da diese Reaktion exotherm verläuft, steigt die Gastemperatur auf etwa 350° an. In dem bereits erwähnten Wärmeaustauscher wird das Gas auf etwa 50° abgekühlt und dann durch einem Nachkühler geleitet. Die Abscheidung des Wasserdampfes erfolgt außer in den Kühlern im Laufe der nachfolgenden Kompression, wobei auch die Kohlensäure teilweise entfernt wird. Die Einschaltung der CS_2-Reinigung und der Methansynthese zwischen die erste und zweite Kompressorstufe erleichtert die Abscheidung des entstandenen Wassers und der Kohlensäure und vermindert die Abmessungen und Kosten der Apparatur.

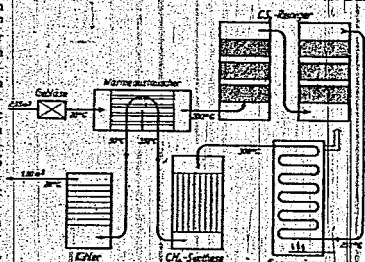


Abb. 7. Anlage zur Methanisierung CO- und H_2-haltiger Gase.

Ein von der Ruhrchemie entwickeltes Verfahren der Methanisierung soll wesentliche Vereinfachungen enthalten. Eine Reihe grundlegender Fragen hinsichtlich des Verlaufes der Reaktion, der Notwendigkeit eines Wasserstoffüberschusses sowie der Feinreinigung des Gases vor dem Kontaktturm und damit der Lebensdauer der Kontakte ist noch zu klären. Es wäre daher auch verfrüht, über die Kosten des Verfahrens zu sprechen.

Der Vollständigkeit halber ist noch kurz über den Wasserstoff und das Azetylen als Treibstoff zu berichten. Die Verwendung von Wasserstoff für motorische Zwecke ist im wesentlichen eine Frage der Entwicklung betriebssicherer Wasser-Druckzersetzer. Ihre Wirtschaftlichkeit hängt entscheidend vom Strompreis und der Lebensdauer der Zersetzer ab. Nachteilig ist für die Verwendung als Treibstoff der niedrige Heizwert von nur rund 3000 WE/cbm. Azetylengas hat einen unteren Heizwert von 13400 WE/cbm. Es wird neuerdings, z. B. in der Schweiz, als Treibstoff für Personenwagen eingesetzt. In Deutschland steht Karbid für diesen Zweck nicht zur Verfügung. An Stelle von 1 l Benzin werden rund 1,4 kg Karbid benötigt. Nachteilig ist der außerordentlich große Explosionsbereich für Azetylen-Luftgemische, der zahlreiche Sicherheitseinrichtungen erforderlich macht.

Zusammenfassend kann hinsichtlich der als Treibstoffe zur Verfügung stehenden permanenten Gase also festgestellt werden, daß das Methan allen übrigen bei weitem überlegen ist; es besitzt die günstigsten motorischen Eigenschaften. Die Verfahren zur industriellen Methangewinnung und der Methanisierung des Stadt- und Kokereigases werden in Zukunft die Möglichkeit bieten, auf der Grundlage der über ganz Deutschland verzweigten