

474

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



~~384~~

L. inw.

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

und Eisen

von

A. Bing

Zweite Auflage

Wissenschaft



und Bildung

WISSENSCHAFT UND BILDUNG

Deutsche Malerei seit 1870 Von Professor Dr. W. Waegold

Geschichte

Eiszeit und Urgeschichte des Menschen Von Prof. Dr. J. Pohlig 3. Aufl.

Die Indogermanen Von Professor Dr. D. Schrader 3. Aufl.

Afforientalische Kultur im Bilde Von Dr. J. Hunger und Professor Dr. H. Lamer

Die babylonische Geisteskultur in ihren Beziehungen zur Kulturentwicklung der Menschheit Von Professor Dr. H. Winkler 2. Aufl.

Die Kultur des alten Agypten Von Prof. Dr. Freiherrn W. v. Bissing 2. Aufl.

Die ägäische Kultur Von Prof. Dr. Freih. N. v. Lichtenberg 2. Aufl.

Griechische Kultur im Bilde Ein Bilderatlas Von Prof. Dr. H. Lamer 2. Aufl.

Vom Griechentum zum Christentum Von Professor Dr. A. Bauer

Vom Judentum zum Christentum Von Professor Dr. A. Bauer

Römische Kultur im Bilde Ein Bilderatlas Von Professor Dr. H. Lamer 3. Aufl.

Zur Kulturgeschichte Roms Von Geh. Rat Prof. Dr. Th. Virit 3. Aufl.

Das alte Rom Sein Werden, Blühen und Vergehen Von Professor Dr. E. Diehl 2. Aufl.

Cäsar Von Hauptmann G. Beith

Westdeutschland zur Römerzeit Von Prof. Dr. H. Dragendorff 2. Aufl.

Die germanische Reiche der Völkerwanderung Von Professor Dr. L. Schmid 2. Aufl.

Grundzüge der Deutschen Altertumskunde Von Prof. Dr. H. Fischer 2. Aufl.

Deutsche Altertümer im Rahmen

deutscher Sitte Von Professor Dr. D. Lauffer

Niederdeutsche Volkskunde Von Professor Dr. D. Lauffer

Das deutsche Haus in Dorf und Stadt Von Professor Dr. D. Lauffer

Vom Wikingerschiff zum Handels-tauchboot Deutschlands Seeschiffahrt und Seehandel von den Anfängen bis zur Gegenwart Von Professor Dr. B. Schmeidler

Deutsche Kultur des Mittelalters im Bilde Von Prof. Dr. P. Herre

Kulturgeschichte der Deutschen im Mittelalter Von Professor Dr. G. Steinhäuser 2. Aufl.

Kulturgeschichte der Deutschen in der Neuzeit Von Prof. Dr. G. Steinhäuser 2. Aufl.

Die deutsche Revolution (1848) Von Geh. Rat Prof. Dr. E. Brandenburg 2. Aufl.

Seehelden und Admirale Von Vize-Admiral H. Kirchhoff

Der Kampf um die Herrschaft im Mittelmeer Von Prof. Dr. P. Herre

Die Kultur der Araber Von Professor Dr. H. Hell 2. Aufl.

Mohammed und die Seinen Von Professor Dr. H. Redendorf

Die Polarvölker Von Dr. H. Byhan

Bürgerkunde und Volkswirtschaftslehre

Staat und Gesellschaft Von Professor Dr. A. Vierlandt

Grundlinien des deutschen Staatswesens V. Geh. Hofr. Dr. R. Schmidt

Staatsbürgerkunde Von Geh. Rat Professor Dr. E. Bernheim

Politik Von Professor Dr. Fr. Stier-Somlo 4. Aufl.

Unsere Gerichte und ihre Reform Von Professor Dr. W. Kisch

WISSENSCHAFT UND BILDUNG

Die deutsche Reichsverfassung Von
Geh. Rat Prof. Dr. Ph. J o r n 3. Aufl.
Unsere Kolonien Von Gouverneur
Dr. H. S c h n e e
Unsere Marine Von Vizeadmiral
H. K i r c h h o f f
Die Haupttheorien der Volkswirt-
schaftslehre Von Professor Dr. D.
S p a n n 3. Aufl.
Einführung in die Volkswirtschafts-
lehre Von Professor Dr. W. W y g o d-
z i n s k i 2. Aufl.
Volkswirtschaft und Staat Von Pro-
fessor Dr. E. K i n d e r m a n n
Die Praxis des Bank- und Börsen-
wesens Von Bankdirektor J. S t e i n-
b e r g 2. Aufl.
Die Großstadt und ihre sozialen Pro-
bleme Von Prof. Dr. A. W e b e r 2. Aufl.
Die Kleinwohnung Studien zur Woh-
nungsfrage Von Baudirektor Pro-
fessor J. S c h u m a c h e r
Der Mittelstand und seine wirtschaft-
liche Lage Von Syndikus Dr. J.
W e r n i c e
Die Frauenbewegung in ihren mo-
dernen Problemen Von Helene
L a n g e 2. Aufl.
Fürsorgewesen Einführung in das
Verständnis der Armut und der Ar-
menpflege Von Professor Dr. Chr.
K l u m k e r
Soziale Säuglings- und Jugend-
fürsorge Von Prof. Dr. A. U f f e n-
h e i m e r

Zoologie und Botanik

Anleitung zu zoologischen Beobach-
tungen Von Professor Dr. F. D a h l
Der Tierkörper Seine Form und sein
Bau Von Privatdozent Dr. E. N e-
r e s h e i m e r
Licht und Leben im Tierreich Von
Professor Dr. W. S t e m p e l l

Die Säugetiere Deutschlands Von
Privatdozent Dr. H e n n i n g s
Kryptogamen (Algen, Pilze, Flechten,
Moose und Farnpflanzen) Von Prof.
Dr. M. M ö b i u s
Die Bakterien und ihre Bedeutung
im praktischen Leben Von Professor
Dr. H. M i e h e 2. Aufl.
Anleitung zur Beobachtung der
Vogelwelt Von Professor Dr. E.
Z i m m e r 2. Aufl.
Das Schmarohtertum im Tierreich
und seine Bedeutung für die Art-
bildung Von Hofrat Professor Dr.
L. v. G r a f f
Tier- und Pflanzenleben des Meeres
Von Prof. Dr. A. N a t h a n s o h n
Anleitung zur Beobachtung der
Pflanzenwelt Von Professor Dr. J.
R o s e n 2. Aufl.
Befruchtung und Verbreitung im
Pflanzenreiche Von Professor Dr.
G i e s e n h a g e n
Pflanzengeographie Von Professor
Dr. P. G r a e b n e r
Phanerogamen (Blütenpflanzen)
Von Professor Dr. E. G i l g und Dr.
R. M u s c h l e r
Zimmer- und Balkonpflanzen Von
Garteninsp. P. D a n n e n b e r g 2. Aufl.
Unser Garten Von Garteninsp. Dr.
F. J a h n
Von der Hacke zum Pflug Eine Ge-
schichte des Gartenbaues Von Pro-
fessor Dr. E. d. H a h n

Anthropologie / Hygiene

Lebensfragen Der Stoffwechsel in der
Natur Von Prof. Dr. F. B. A h r e n s
Gesundheit und Lebensflughelt Von
Geh. Sanitätsrat Dr. R. P a a s c h

WISSENSCHAFT UND BILDUNG

Deutsche Malerei seit 1870 Von Professor Dr. W. Waegold

Geschichte

Eiszeit und Urgeschichte des Menschen

Von Prof. Dr. J. Pohlig 3. Aufl.

Die Indogermanen Von Professor Dr. D. Schrader 3. Aufl.

Akrorientalische Kultur im Bilde Von Dr. J. Hunger und Professor Dr. H. Lamer

Die babylonische Geisteskultur in ihren Beziehungen zur Kulturentwicklung der Menschheit Von Professor Dr. H. Winckler 2. Aufl.

Die Kultur des alten Ägypten Von Prof. Dr. Freiherrn W. v. Bissing 2. Aufl.

Die ägäische Kultur Von Prof. Dr. Freih. R. v. Lichtenberg 2. Aufl.

Griechische Kultur im Bilde Ein Bilderatlas Von Prof. Dr. H. Lamer 2. Aufl.

Vom Griechentum zum Christentum Von Professor Dr. A. Bauer

Vom Judentum zum Christentum Von Professor Dr. A. Bauer

Römische Kultur im Bilde Ein Bilderatlas Von Professor Dr. H. Lamer 3. Aufl.

Zur Kulturgeschichte Roms Von Geh. Rat Prof. Dr. Th. Virt 3. Aufl.

Das alte Rom Sein Werden, Blühen und Vergehen Von Professor Dr. E. Diehl 2. Aufl.

Cäsar Von Hauptmann G. Veith

Westdeutschland zur Römerzeit Von Prof. Dr. H. Dragendorff 2. Aufl.

Die germanischen Reiche der Völkerwanderung Von Professor Dr. L. Schmidt 2. Aufl.

Grundzüge der Deutschen Altertumskunde Von Prof. Dr. H. Fischer 2. Aufl.

Deutsche Altertümer im Rahmen

deutscher Sitte Von Professor Dr. D. Lauffer

Niederdeutsche Volkstunde Von Professor Dr. D. Lauffer

Das deutsche Haus in Dorf und Stadt Von Professor Dr. D. Lauffer

Vom Wikingerschiff zum Handels- tauchboot Deutschlands Seeschifffahrt und Seehandel von den Anfängen bis zur Gegenwart Von Professor Dr. B. Schmeidler

Deutsche Kultur des Mittelalters im Bilde Von Prof. Dr. P. Herre

Kulturgeschichte der Deutschen im Mittelalter Von Professor Dr. G. Steinhäusen 2. Aufl.

Kulturgeschichte der Deutschen in der Neuzeit Von Prof. Dr. G. Steinhäusen 2. Aufl.

Die deutsche Revolution (1848) Von Geh. Rat Prof. Dr. E. Brandenburg 2. Aufl.

Seehelden und Admirale Von Vize- Admiral H. Kirchhoff

Der Kampf um die Herrschaft im Mittelmeer Von Prof. Dr. P. Herre

Die Kultur der Araber Von Professor Dr. H. Hell 2. Aufl.

Mohammed und die Seinen Von Professor Dr. H. Redendorf

Die Polarvölker Von Dr. H. Byhan

Bürgerkunde und Volkswirtschaftslehre

Staat und Gesellschaft Von Professor Dr. A. Vierlandt

Grundlinien des deutschen Staatswesens V. Geh. Hofr. Dr. R. Schmidt

Staatsbürgerkunde Von Geh. Rat Professor Dr. E. Bernheim

Politik Von Professor Dr. Fr. Stier- Somo 4. Aufl.

Unsere Gerichte und ihre Reform Von Professor Dr. W. Kisch

WISSENSCHAFT UND BILDUNG

Die deutsche Reichsverfassung Von
Geh. Rat Prof. Dr. Ph. J o r n 3. Aufl.
Unsere Kolonien Von Gouverneur
Dr. H. S c h n e e
Unsere Marine Von Vizeadmiral
H. K i r c h h o f f
Die Haupttheorien der Volkswirt-
schaftslehre Von Professor Dr. D.
S p a n n 3. Aufl.
Einführung in die Volkswirtschafts-
lehre Von Professor Dr. W. W y g o d-
z i n s k i 2. Aufl.
Volkswirtschaft und Staat Von Pro-
fessor Dr. E. K i n d e r m a n n
Die Praxis des Bank- und Börsen-
wesens Von Bankdirektor J. S t e i n-
b e r g 2. Aufl.
Die Großstadt und ihre sozialen Pro-
bleme Von Prof. Dr. A. W e b e r 2. Aufl.
Die Kleinwohnung Studien zur Woh-
nungsfrage Von Baudirektor Pro-
fessor J. S c h u m a c h e r
Der Mittelstand und seine wirtschaft-
liche Lage Von Syndikus Dr. J.
W e r n i c e
Die Frauenbewegung in ihren mo-
dernern Problemen Von Helene
L a n g e 2. Aufl.
Fürsorgewesen Einführung in das
Verständnis der Armut und der Ar-
menpflege Von Professor Dr. Chr.
K l u m e r
Soziale Säuglings- und Jugend-
fürsorge Von Prof. Dr. A. U f f e n-
h e i m e r

Zoologie und Botanik

Anleitung zur zoologischen Beobach-
tungen Von Professor Dr. F. D a h l
Der Tierkörper Seine Form und sein
Bau Von Privatdozent Dr. E. N e-
r e s h e i m e r
Licht und Leben im Tierreich Von
Professor Dr. W. S t e m p e l l

Die Säugetiere Deutschlands Von
Privatdozent Dr. H e n n i n g s
Kryptogamen (Algen, Pilze, Flechten,
Moose und Farnpflanzen) Von Prof.
Dr. M. M ö b i u s
Die Bakterien und ihre Bedeutung
im praktischen Leben Von Professor
Dr. H. M i e h e 2. Aufl.
Anleitung zur Beobachtung der
Vogelwelt Von Professor Dr. E.
S i m m e r 2. Aufl.
Das Schmarohtum im Tierreich
und seine Bedeutung für die Art-
bildung Von Hofrat Professor Dr.
L. v. G r a f f
Tier- und Pflanzenleben des Meeres
Von Prof. Dr. A. N a t h a n s o h n
Anleitung zur Beobachtung der
Pflanzenwelt Von Professor Dr. J.
R o s e n 2. Aufl.
Befruchtung und Verbreitung im
Pflanzenreiche Von Professor Dr.
S i e s e n h a g e n
Pflanzengeographie Von Professor
Dr. P. G r a e b n e r
Phanerogamen (Blütenpflanzen)
Von Professor Dr. E. G i l g und Dr.
R. M u s c h l e r
Zimmer- und Balkonpflanzen Von
Garteninsp. P. D a n n e n b e r g 2. Aufl.
Unser Garten Von Garteninspektor
Fr. J a h n
Von der Hacke zum Pflug Eine Ge-
schichte des Gartenbaues Von Pro-
fessor Dr. E. d. H a h n

Anthropologie / Hygiene

Lebensfragen Der Stoffwechsel in der
Natur Von Prof. Dr. F. B. A h r e n s
Gesundheit und Lebensflughelt Von
Geh. Sanitätsrat Dr. R. P a a s c h

WISSENSCHAFT UND BILDUNG

Arznei und Genußmittel, ihre Segnungen und Gefahren Von Professor Dr. F. Müller →

Der menschliche Organismus und seine Gesunderhaltung Von Oberstabsarzt Dr. A. Menzer →

Leib und Seele Von Professor Dr. H. Borutta →

Das Nervensystem und die Schädlichkeiten des täglichen Lebens Von Professor Dr. P. Schuster →

Unsere Sinnesorgane u. ihre Funktionen Von Professor Dr. med. et phil. E. Mangold 2. Aufl. →

Stoffwechsel und Diät von Gesunden und Kranken Von Geh. Medizinalrat Prof. Dr. E. A. Ewald →

Die Volkskrankheiten und ihre Bekämpfung Von Professor Dr. W. Rosenthal →

Die Hygiene des männlichen Geschlechtslebens Von Geh. Medizinalrat Prof. Dr. E. Posner 4. Aufl. →

Gesundheitspflege des Weibes Von Prof. Dr. P. Straßmann 3./4. Aufl. →

Die moderne Chirurgie für gebildete Laien Von Geheimrat Professor Dr. H. Tillmanns →

Geologie / Geographie Astronomie / Mineralogie

Grundfragen der allgemeinen Geologie Von Konrektor Dr. P. Wagner 2. Aufl. →

Die vulkanischen Gewalten der Erde Von Geheimrat Prof. Dr. A. Haas →

Die Bodenschätze Deutschlands Von Professor Dr. L. Milch Bd. I u. II →

Mitteleuropa und seine Grenzmarken Von Professor Dr. G. Braun →

Die Alpen Von Professor Dr. F. Machatschek 2. Aufl. →

Das Wetter und seine Bedeutung für das praktische Leben Von Professor Dr. E. Kassner 2. Aufl. →

Das Reich der Wolken und der Niederschläge Von Prof. Dr. E. Kassner →

Himmelstunde Von Professor Dr. A. Marcuse 2. Aufl. →

Physik / Technik

Die Elektrizität als Licht und Kraftquelle Von Prof. Dr. P. Evershheim 2. Aufl. →

Starkstromtechnik Von Professor Dr. P. Evershheim →

Elektrochemie Von Professor Dr. W. Vermbach →

Hörbare, Sichtbare, Elektrische und Röntgenstrahlen Von Geh. Rat Professor Dr. Fr. Neesen →

Telegraphie und Telephonie Von Telegraphendirektor und Dozent F. Hamacher →

Das Licht im Dienste der Menschheit Von Dr. G. Leimbach →

Kohle und Eisen Von Professor Dr. A. Binz 2. Aufl. →

Das Holz Von Forstmeister H. Kottmeier und Dr. F. Uhlmann →

Das Buchgewerbe einst und jetzt Von Museumsdirektor Dr. A. Schramm →

Die Särunsgewerbe und ihre naturwissenschaftlichen Grundlagen Von Prof. Dr. W. Henneberg und Dr. G. Bode →

Milch- und Molkereiprodukte, ihre Eigenschaften, Zusammensetzung und Gewinnung Von Dr. P. Sommerfeld →

Rohstoffe der Textilindustrie Von Geh. Reg.-Rat Dipl.-Ing. H. Glafey →

Spinnen und Zwirnen Von Geh. Reg.-Rat Dipl.-Ing. H. Glafey →

Die Textilindustrie Herstellung textiler Flachengebilde Von Geh. Reg.-Rat Dipl.-Ing. H. Glafey →

Unsere Kleidung und Wäsche Von Direktor B. Brie, Professor P. Schulze, Dr. K. Weinberg →

Naturwissenschaftliche Bibliothek

Herausgegeben von **Konrad Höller** und **Georg Ulmer**
Jeder Band von 140—200 Seiten mit zahlreichen Abbildungen. Geb. M. 1.80

An die Jugend wenden sie sich und an den Mann aus dem Volke, um mit ihrer streng allgemeinverständlichen und also im besten Sinne populären Darstellung Kenntnis der Natur und Anregung zu eingehender Beschäftigung mit ihren Erscheinungen in die weitesten Kreise zu tragen. Schule und Haus haben in gleicher Weise alle Ursache, dieser neuen naturwissenschaftlichen Bibliothek die ernsteste Beachtung zu schenken. Jedes dieser Bändchen ist ein Muster einer vornehmen und allen Ansprüchen genügenden Ausstattung.

Aus der Natur

Es ist erschienen:

- | | |
|---|--|
| Aus Deutschlands Urgeschichte Von G. Schwantes 2. Aufl. → | Aus der Vorgeschichte der Pflanzenwelt Von Dr. W. Gothan → |
| Der deutsche Wald Von Prof. Dr. M. Bueßgen 2. Aufl. → | Wie ernährt sich die Pflanze? Von D. Krieger → |
| Die Heide Von W. Wagner → | Niedere Pflanzen Von Professor Dr. N. Timm → |
| Im Hochgebirge Von Professor E. Keller → | Häusliche Blumenpflege Von P. F. F. Schulz → |
| Tiere der Vorzeit Von Rekt. E. Haase → | Der deutsche Obstbau Von F. Meyer → |
| Die Tiere des Waldes Von Forstmeister K. Sellheim → | Vulkane und Erdbeben Von Prof. Dr. Brauns → |
| Unsere Singvögel Von Professor Dr. A. Voigt → | Chemisches Experimentierbuch Von D. Hahn → |
| Das Süßwasseraquarium Von E. Heller → | Die Photographie Von W. Zimmermann → |
| Reptilien- und Amphibienpflege Von Dr. P. Krefst → | Beleuchtung und Heizung Von J. F. Herding → |
| Bienen und Wespen Von Ed. Scholz → | Kraftmaschinen Von Ingenieur Ch. Schüße → |
| Bilder aus dem Ameisenleben Von H. Viehmeier → | Signale in Krieg und Frieden Von Dr. Fr. Ulmer → |
| Die Schmarotzer der Menschen und Tiere Von General-Oberarzt a. D. Dr. v. Linstow → | See-Loos- u. Rettungswesen Von Dr. F. Dammeyer → |
| Die mikroskopische Kleinwelt unserer Gewässer Von E. Neufauf → | Naturgeschichte einer Kerze Von M. Faraday 6. Auflage Mit einem Lebensabriß Faradays Herausgeg. von Prof. Dr. R. Meyer 202 S. m. zahlr. Abb. Geb. M. 2.60 → |
| Unsere Wasserinsekten Von Dr. G. Ulmer → | |
| Aus Seen und Bächen Von Dr. G. Ulmer → | |

Täler der Jugend Roman. Von Wilhelm Scharrelmann. Ca. 350 Seiten. Geheftet ca. Mark 5.—. Gebunden ca. Mark 7.—

„Täler der Jugend“ — das sind die blumigen Gründe mit den jungen Haimen der ersten Freundschaft und der ersten Liebe, durch die der junge Mensch wie durch ein Märchenland geht. „Täler der Jugend“ — das sind aber auch die Niederungen, durch die jedes junge Leben geht, ehe es die Kraft findet, die Höhen und Gipfel zu erklimmen. Kleinstadt und Großstadt, die ehrfame Stube des kleinen Handwerkers und das brausende Getriebe einer großen Werft, das einsame Woppswede, München und Innsbruck sind die äußeren Stationen dieses Romans, in dem das Leben eines jungen Arbeiterkünstlers dargestellt ist, der den Willen und den Drang zur Höhe hat und einen einsamen Weg geht. Mädchenbilder von einer zarten, milden Schönheit, wie mit dem Silberstift gezeichnet, wandeln durch den Roman.

Neue Geschichten aus der Piefbalge Von Wilhelm Scharrelmann. Ca. 220 Seiten. Geheftet ca. M. 3.50. Gebunden ca. M. 5.—

Es ist eine völlig einheitliche, in sich geschlossene Welt, „die Piefbalge“, aus der Wilhelm Scharrelmann diesen neuen Band humorvoller Erzählungen geschrieben hat. In eine enge, vom Strom des Großstadtlebens abseits liegende Gasse, in eine idyllische Welt hat Scharrelmann mit dem Auge des Dichters geblickt und mit sicheren Strichen merkwürdige Gestalten und ergötzliche Geschichten daraus festgehalten, die sich dem Leser mit einer Eindringlichkeit einprägen, daß man sie nicht leicht wieder vergißt.

Novellen und Legenden aus verflungenen Zeiten. Von Geh. Rat Prof. Dr. Theodor Birt. 318 S. mit 6 Tafeln. Geb. M. 3.—

„Einer unserer besten Kenner des Altertums, Professor Birt, gibt in diesem ansprechenden Werk „Novellen und Legenden“ aus der griechischen Literatur. Ein zarter Reiz jenes lyrisch gestimmten Geistes strömt aus den einzelnen Motiven heraus. . . Die Geschichten sind in ihrer schlichten und doch klassischen Schönheit voller eigentümlicher Werte, die es verständlich erscheinen lassen, daß gerade in jetziger Zeit die versonnene freie Art des Altertums wieder wachgerufen wird.“ Die Post.

Verlagstat

Wissenschaftl
verf

Quelle &

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296044

ammlungen

Bibliothek

erlag

3straße 14

2

Wissenschaft und Bildung
Einzeldarstellungen aus allen Gebieten des Wissens
69

Kohle und Eisen

Von

Prof. Dr. Arthur Binz

Zweite verbesserte Auflage



*N. G. 91.
V, 201.*

Arbeitsbücherei 444

~~247~~

1919

Verlag von Quelle & Meyer in Leipzig

*W 1/3
379*



I 384

Alle Rechte vorbehalten.



I 301733

Akc. Nr.

~~2543~~ 51

Ohlenroth'sche Buchdruckerei
Georg Richters
Erfurt

BP KL B-190/2017

Vorwort.

Über „Kohle und Eisen“ sprach ich vor einigen Jahren in einem Volkshochschulkursus am chemischen Institut der Universität Bonn und seither an dem von mir geleiteten chemischen Institut der Handelshochschule Berlin. Die Aufgabe, über denselben Gegenstand in dem vorgeschriebenen Umfang dieses Bändchens zu berichten, erfordert einen Gesichtspunkt, von dem aus die Darstellung eines so ungeheuren Stoffes in kleinem Rahmen überhaupt durchführbar erscheint. Ein solcher ist der der technischen Entwicklung, wovon deshalb hauptsächlich ausgegangen wurde. Bei ihrem Studium verknüpfen sich Sondergebiete aus „Kohle und Eisen“, die in unserer Zeit scheinbar weit voneinander entfernt liegen. Durch Aufsuchen ihrer gegenseitigen Beziehungen läßt sich die Darstellung konzentrieren. Zugleich wird noch eines erreicht: wie man Politik nicht ohne Geschichte verstehen kann, so wenig ist ein tieferes Verständnis einzelner Industriezweige ohne Kenntnis ihres genetischen Zusammenhanges denkbar. Der letztere kann in den technologischen, für angehende Fachleute bestimmten Lehrbüchern aus redaktionellen Gründen nicht ausführlich behandelt werden. Andere Werke, wie Beck's klassische „Geschichte des Eisens“ liegen wieder wegen ihrer Ausführlichkeit dem Publikum fern. Lehrbücher mit einem mittleren Maß von rückschauender Darstellung gibt es auf dem Gesamtgebiete „Kohle und Eisen“ nicht, und darum ist hier versucht worden, ein solches im kleinen Umfange zu schaffen.

Beim Kapitel „Eisen“ konnte ich dank der Erlaubnis des Königlichen Materialprüfungsamtes zu Groß-Lichterfelde die dort angefertigten metallographischen Photographien wiedergeben. Derartige Bilder wurden in gemeinschaftlichen Darstellungen bislang nicht benutzt, dürften sich aber gerade zur didaktischen Erläuterung von „Eisen und Stahl“ vortrefflich eignen.

Im Kapitel „Steinkohlenteer“ wurde der Versuch gemacht, einen Stoff, der sonst nur dem Chemiker zugänglich ist, auch Nicht-Chemikern verständlich zu machen. Im übrigen sind die chemischen Fachausdrücke auf das notwendigste beschränkt und auf die Grundbegriffe zurückgeführt worden.

Berlin, im Dezember 1908.

A. Binz.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Nach den Erfahrungen des Krieges beanspruchen alle volkswirtschaftlich wichtigen Dinge, darunter in erster Linie die Beschaffung und Verarbeitung von Kohle und Eisen, mehr als jemals das Interesse auch der Nichtfachleute. Der Verfasser blieb deshalb bei der gemeinfaßlichen Darstellung und versuchte, in großen Zügen das Bild herauszuarbeiten, das sich bei der zusammenhängenden Betrachtung von Kohle und Eisen ergibt. Dagegen besteht ebenso wie bei der ersten Auflage so auch diesmal nicht die Absicht, Einzelkenntnisse zu übermitteln. Das ist im Rahmen dieses Bändchens weder möglich noch auch notwendig, da es für jedes Teilgebiet vortreffliche Fachbücher gibt.

Die wesentlichen Neuerungen, welche die letzten Jahre gebracht haben, wurden berücksichtigt, soweit unter den gegenwärtigen Verhältnissen eine Besprechung angezeigt erscheint.

Berlin, im September 1918.

A. Binz.

Inhalt.

	Seite
I. Die Holzfohle	7
II. Braunkohle und Steinkohle	12
III. Chemisches über das technische Eisen	27
IV. Der Hochofen	32
V. Die Entkohlung des Roheisens	38
VI. Das Leuchtgas	60
VII. Der Kampf ums Licht	71
VIII. Das Ammoniak	82
IX. Der Steinkohlenteer	92
X. Statistisches und Schluß	111

I. Die Holzkohle.

In baumreichen Gegenden Deutschlands und anderer Länder sieht man mitunter an lichten Stellen des Waldes eigentümliche runde Schichtungen von Holz, die mit Rasen und Reissig überdeckt sind. Es sind Meiler, in denen man Holzkohle gewinnt. Sie erinnern an Romantik und Köhlerglauben vergangener Zeiten.

Die Holzkohle ist ein vornehmer Brennstoff. Glüht man mit ihr Eisenerze, so entsteht ein Eisen von unerreichter Güte. Ihr Feuer raucht nicht und riecht nicht nach brennendem Schwefel. Leider ist aber ihre Rolle größtenteils ausgespielt, denn seit einigen hundert Jahren kann der Bedarf der Hochöfen durch sie nicht mehr gedeckt werden. Man hat zur plebejischen Steinkohle gegriffen, weil sie reichlich und zu etwa $\frac{1}{4}$ des Holzkohlepreises erhältlich ist. Sie liefert ein im Vergleich minderwertiges Eisen. Ihre Flamme qualmt und stößt schweflige Gase aus, welche die Atmung erschweren. Begreiflich ist daher der Widerstand Londoner Bürger aus dem 14. Jahrhundert gegen die damals aufkommende Steinkohle. Sie ersuchten den Magistrat, „ein so schädliches und ungesundes Brennmaterial“ zu verbieten¹. Jene Menschen ahnten nicht, wie notwendig die Steinkohle noch sein werde, und der Mensch des 20. Jahrhunderts ist geneigt, den Begriff des technischen Fortschrittes und darum, soweit das nach dem Kriege noch möglich ist, auch den der Kultur an die Steinkohle zu knüpfen. Indessen hören wir das Zeugnis, das der große Denker und Chemiker Clemens Winkler der Steinkohle und ihrer Wirkung ausstellte²: „Das Welttheater zeigt gänzlich neue Gestaltung. Die Vorgänge auf ihm gemahnen an eine Freischütz-Aufführung, bei welcher die wilde Jagd über die Bühne zieht. Schnaubende Dampfungeheuer bilden die Staffage . . .

¹ E. Beck, Geschichte des Eisens, Bd. 2, S. 102 (1895.)

² Zeitschr. f. angewandte Chemie, Jahrg. 1900, S. 731.

Aus der Versenkung aber steigt schweigend der schwarze Samiel der Kohle und er wirft sich den Glutmantel um . . . , während das fortschrittbegierige Menschenkind, unbeirrt um all' den Hexensabbath, die Eule der Wissenschaft zu Häupten, seine Freiflügel gießt, . . . die da treffen aber auch äffen können.“

Das Zeugnis, das die Londoner des 14. Jahrhunderts der Steinkohle ausstellten, hat sich also nicht wesentlich geändert. Wir leben in einem Hexensabbath, und mit der Holzkohle ist der Waldesfrieden aus dem Leben der Menschen geschwunden. Sie hat das Recht der Schönheit für sich, sie ist die älteste technische Kohle, und ihr soll darum das erste Kapitel gewidmet sein.

Holz enthält in vollkommen trockenem Zustande ungefähr 50 % Kohlenstoff, 5 % Wasserstoff, 40 % Sauerstoff. Der Rest ist Mineralsubstanz. Jene Elemente kann keine Laboratoriumskunst so zusammenzwingen, wie sie im Baume verbunden sind. Der Mensch vermag hier nur zu trennen. Es geschieht durch Hitze, wie am Umbrennen eines Zündholzes ersichtlich. Ein Teil des Stäbchens verflüchtigt sich, und bei zeitigem Löschen der Flamme bleibt Kohle zurück. Der Brand einer Hütte oder eines Waldes mußte schon in den ersten Zeiten des Menschengeschlechts zu derselben Beobachtung führen. Tief versteckt aber lag ihr technischer Wert, der darin besteht, daß Holzkohle beim Brennen zwei- bis dreimal so viel Wärme gibt wie die gleiche Gewichtsmenge selbst eines vollkommen trockenen Holzes.

Der Mensch, der das in grauer Vorzeit bemerkte, war ein großer Erfinder. Er schuf die geeignete Feuerungsmethode für Metallurgie und Keramik. Sein Verdienst ist um so größer, als ihn keinerlei Wissenschaft leitete, welche uns Aufschluß darüber gibt, warum Holzkohle einen so viel höheren Brennwert hat als Holz. Der Grund ist folgender:

Dasjenige Element, welches hauptsächlich dem Holz seine Brennbarkeit gibt, ist der Kohlenstoff. Zwar entwickeln auch Wasserstoff und Sauerstoff große Hitze, wenn sie in freiem Zustande zusammentreffen und sich dann vereinigen, wie es z. B. beim Abbrennen von Leuchtgas der Fall ist. Im Holz aber sind sie bereits größtenteils miteinander verbunden, ähnlich wie im Wasser. Darum erhöhen sie die Heizkraft nicht, sondern wirken als Ballast. Wenn man also Wasserstoff und Sauerstoff durch starkes Erhitzen austreibt, so daß möglichst nur 50 % Kohlenstoff zurückbleiben, so muß der Heizwert entsprechend steigen,

Dazu baut der Köhler seinen Meiler. Er rammt einige lange Pfähle in den Boden einer Waldlichtung und schichtet Holzscheite rings herum. Das Ganze wird mit Rasen bedeckt. Dann erfolgt entweder von unten aus oder nach Herausziehen eines Pfahles von oben die Entzündung. Ein Teil des Holzes verbrennt, nicht aber das Ganze, da hierzu die Luft im Meiler nicht ausreicht.



Fig. 1. Kohlenbrenner. (Nach einem alten Holzschnitt.)

Nach einigen Tagen erlischt das Feuer, und man erhält etwa 25 % des Holzes als Kohle.

Fig. 1 zeigt eine alte Meilerstätte¹. Der Brand ist hineingeworfen, ein Teil des Holzes verkohlt, und von oben gibt man neues hinzu, um die durch Schrumpfung entstandene Höhlung zu füllen und den Luftzug zu mäßigen.

¹ Aus M. Buesgen, Der deutsche Wald, 1908. Leider gelang es nicht, die Herkunft des Originalbildes festzustellen, noch auch den Text mit der Erläuterung der Buchstaben zu erhalten. Im übrigen erklärt sich diese historisch interessante Zeichnung von selber.

Als die Waldbestände abnahmen und die Steinkohle auffam, drohte dem Holzkohलगewerbe der Untergang. Vor völliger Vernichtung haben es hauptsächlich die Chemiker gerettet. Sie frugen sich, was aus dem Wasserstoff und dem Sauerstoff werde, die sich in der Hitze vom Holze lostrennen, und sie fanden, daß diese Elemente zum Teil als Wasser, zum anderen Teil aber in chemischer Bindung mit Kohlenstoff entweichen, der demnach nicht vollkommen in der Holzkohle zurückbleibt.

Daß der brennende Meiler eigentümliche Flüssigkeiten in Dampfform ausstößt, war den Köhlern nicht unbekannt. Im besonderen Falle der Nadelholzverkohlung fingen sie einen derartigen Stoff auf, das „Kienöl“. Es verdichtet sich von selber außerhalb des Meilers und ist dem Terpentin verwandt, das beim Ritzen der Rinde aus Nadelbäumen ausfließt. Das meiste dessen aber, was aus dem Meiler flüchtig ist, entging den Köhlern, weil die Niederschlagung in flüssiger Form besondere Kühlvorrichtungen voraussetzt. Erst die gelehrten Untersuchungen von Boyle (1661), Taylor (1812), Berzelius (1814), Dumas (1830), Kolbe (1843) führten zur Gewinnung von „Holzgeist“, der dem Weingeist der Traube ähnelt, und von „Holzessig“, der mit dem wirksamen Prinzip des Weinessigs identisch ist.

Man begann darum seit 1820¹ und in größerem Umfang seit 1856 Fabriken zur Destillation von Holz und Gewinnung der flüchtigen Produkte zu bauen. Das Holz wird in eisernen Retorten erhitzt. Daran schließen sich Röhren und Behälter, die von kaltem Wasser umflossen sind. Hier verwandeln sich die Dämpfe in eine Flüssigkeit, die der Hauptsache nach aus einem Gemisch von Holzessig und Holzgeist besteht. Ihre Trennung geschieht durch Destillation über Kalk, der den Holzessig als essigsauren Kalk bindet. Man nennt ihn wegen seiner Farbe „Graukalk“. Große Mengen davon kommen aus holzreichen Ländern, vor dem Kriege insbesondere aus Amerika, nach Deutschland. Die Substanz wird durch Zerlegen mit Schwefelsäure auf reine Essigsäure verarbeitet, dem unentbehrlichen Hilfsstoff bei der Fabrikation von Indigo, von Beizen zum Färben mit Alizarin Farben, bei der Darstellung von Heilmitteln wie Antipyrin, Aspirin, Antifebrin und von Aceton zum Gelatinieren der Schießbaumwolle beim Formen des rauchschwarzen Pulvers.

¹ f. Knapp, Chemische Technologie. Braunschweig 1847, Bd. 2, S. 500.

Der Holzgeist dient in rohem Zustande, d. h. verunreinigt mit den unangenehm riechenden Zersetzungserzeugnissen des Holzes, zum Denaturieren von Spiritus. Gereinigt, als „Methylalkohol“, verwendet man ihn in der Industrie der Anilinfarben. Mit Luft über eine glühende metallische sogenannte Kontaktmasse geleitet gibt er den „Formaldehyd“, der ebenfalls in der Farbenindustrie sowie im Zeugdruck unentbehrlich geworden ist und als „Formalin“ ein bekanntes wertvolles Desinfektionsmittel bildet. Methylalkohol ist giftig, also nicht als Schnaps verwendbar.

Die Betriebe, welche Holzessig und Holzgeist erzeugen, liefern selbstverständlich auch in großen Mengen Holzkohle. Dennoch kann man die altertümliche Köhlerarbeit nicht entbehren. Sie findet überall dort ihren Lohn, wo Holz sehr billig ist; und sie behält ferner darum ihren Wert, weil die im Meiler erzeugte Kohle großstückig bleibt, während die Retortenkohle wegen des stärkeren Erhitzens und des gewaltsameren Hervorbrechens der Gase zerfällt. Daraus ergibt sich ein Vorteil der Meilerkohle beim Schmieden und Löten; denn hier will man kompakte Kohlenstücke haben, die nicht durch Stäuben das Metall schwärzen.

Mag nun die Kohle aus Meilern oder aus Retorten stammen, stets ist sie rein wie der Baum, aus dem sie entstanden ist. Sie brennt leichter als Steinkohle und Koks. Daher der Wert der Holzkohle für die Kleinindustrie, insbesondere in Werkstätten, in denen man mühelos ein reinliches Feuer haben will, ferner für die Fabrikation von Pulver aus Salpeter, Schwefel und Kohle. Steinkohle ist in diesen Fällen nicht zu brauchen oder minderwertig, weil sie in ihrer höchst wunderbaren geologischen Vergangenheit nicht so wie die Holzkohle im Feuer geläutert worden ist und außerdem noch erdige Verunreinigungen aufgenommen hat.

In großen Mengen dient schließlich Holzkohle zum Reinigen von Flüssigkeiten, insbesondere zum Entfäulen von Rohspiritus. Hier kommt die merkwürdige Erscheinung der „Flächenanziehung“ zur Geltung, die darin besteht, daß Flächen jeder Art solche Stoffe anziehen, die sie in sehr feiner Verteilung, sei es flüssig oder gasförmig, umgeben. Aus diesem Grunde verdichtet sich Luft auf Platinschwamm und bringt in diesem Zustand Leuchtgas zur Entzündung. Holzkohle, die ähnlich wie Platinschwamm porös ist, belädt sich ebenfalls mit Luftsauerstoff. Läßt man nun Rohspiritus durch eine hohe Holzkohlenschicht hindurchsickern, so wirkt der Sauerstoff auf die Fuselöle ein und ver-

wandelt sie in angenehmen schmeckende Stoffe. Besonders Meilerkohle aus Kiefernholz hat diese Wirkung, da sie hervorragend porös ist und darum viel Sauerstoff aufnehmen kann. Man erhöht ihre Reinheit durch doppeltes Ausglühen, so daß keine Spur harziger oder brenzlicher Stoffe zurückbleibt und den Geschmack des Spiritus verschlechtert.

Knochenkohle oder Tierkohle nennt man ein Produkt, das durch Glühen von Knochen entsteht. Es sieht wie Kohle aus, enthält aber der Hauptsache nach phosphorsauren Kalk und nur etwa 10 % Kohlenstoff. Auch Knochenkohle ist porös. Sie äußert eine starke Flächenanziehung gegenüber den Unreinigkeiten von Rohzuckerlösungen. Man verwendet sie beim Raffinieren von Zucker. Holzkohle wirkt hier weniger günstig. Knochenkohle dient ferner zur Fabrikation von Stiefelwixse. Hierzu mengt man sie mit dem Rückstand der Rübenzuckergewinnung, der „Melasse“, die vorher unter Zusatz von Schwefelsäure verkohlt wird.

II. Braunkohle und Steinkohle.

Die Umwandlung von Bäumen in Kohle, die künstlich im Meiler bewerkstelligt wird, ist in ungeheurem Maßstabe und in längst verflossenen geologischen Epochen auf natürlichem Wege vor sich gegangen. So sind die Kohlen entstanden, die man bergmännisch fördert und darum als Mineralkohlen bezeichnet. Bei ihnen findet man auch flüssige und flüchtige Produkte ähnlich wie bei der Arbeit des Köhlers. Flüssig lassen sie sich als Teer austreiben, flüchtig als Leuchtgas. Die natürlich vorkommenden nennt der Bergmann schlagende Wetter. Zwischen den Erzeugnissen des Meilers und denen des Erdinnern besteht also Ähnlichkeit; nicht aber Gleichheit, denn die Natur hat mit anderen Mitteln gearbeitet als der Mensch, so daß ihr Erzeugnis ganz ihren Stempel trägt.

Wie die Natur zu Werke gegangen ist, weiß man, seit im Jahre 1838 H. F. Link kunstvoll präparierte Steinkohle unters Mikroskop legte und die Reste pflanzlicher Zellen darin entdeckte. Damit war die „Mineralkohle“ ins Pflanzenreich verwiesen. Geologische und botanische Forschungen taten das übrige und führten zu folgender Vorstellung.

Stagnierende Gewässer werden durch üppig wuchernde Pflanzen überdeckt. Was abstirbt, sinkt zu Boden. Auf dem

Wasserspiegel und an den Ufern entsteht eine neue Generation. Auch sie stirbt ab, und so geht es weiter, bis schließlich der See zum Moor geworden ist. Keine Strömung durchwühlt die Massen. Daher dauernder Abschluß der unteren Schicht von der Luft. Infolgedessen kann dort keine Verflüchtigung der toten Substanz stattfinden, wie es unter dem Einfluß des Luftsaauerstoffs der Fall wäre, vielmehr tritt das ein, was man „Selbstzersehung“ oder „Vermoderung“ nennt. Hierbei lösen sich Wasserstoff und Sauerstoff der Pflanzen teilweise vom Kohlenstoff los, vereinigen sich zu Wasser und mischen sich mit dem des Sumpfes. Der Kohlenstoff aber bleibt, gebunden an einen nicht entweichenden Rest von Wasserstoff und Sauerstoff, zurück und wird in der faulenden Masse bis auf vielleicht 60 % angereichert, während die lebenden Pflanzen höchstens etwa 50 % enthielten. Das so gebildete Produkt ist Torf.

Falls nun die Umstände es fügen und die klimatischen Bedingungen günstige sind, so siedeln sich im Torfmoor Bäume an, die mit der Zeit ebenso wie vordem die kleineren Gewächse absterben, ein „Waldmoor“ bilden und dabei zunächst auch torfartige Beschaffenheit annehmen.

Dieser Vorgang kann in unserer Zeit noch beobachtet werden. Dazu kam aber vor Millionen von Jahren eine andere Naturerscheinung, die jetzt, wo die Erde alt und ruhig geworden ist, nicht mehr eintritt: die Gebirgsbildung.

Das glühende Erdinnere strahlte mehr Hitze als heute in den Weltraum. Daher gigantische Schrumpfung und auf der Oberfläche Bildung von Falten. Ganze Erdstriche senkten sich, füllten sich mit herabrieselndem oder einbrechendem Wasser und wurden so zu Waldmooren von großer Ausdehnung.

Welche Phase der Selbstzersehung ein Kohlenlager aufweist, hängt von seinem Alter ab. Die Geologie rechnet mit kolossalen Zeiträumen, es sind also sehr große Unterschiede möglich. Die Kohlenarten des Handels sind zum Teil aus diesem Grunde so mannigfaltig. Man unterscheidet zwei Hauptklassen, Braunkohle und Steinkohle.

Die Braunkohle¹ steht im Alter und darum auch in ihren Eigenschaften dem Torfe nahe. Sie liegt meist unter Gestein-

¹ Handbuch für den Deutschen Braunkohlenbergbau, herausgegeben von G. Klein, Halle bei Knapp. 2. Aufl. 1911, I. Band, Die deutsche Braunkohlenindustrie.

schichten, die verhältnismäßig jung sind und sich leicht abräumen lassen. Das Bergwerk wird durch „Tagebau“ betrieben, das heißt, man sieht das Licht des Tages und braucht nicht in das Dunkel eines Schachtes zu steigen.

Die Steinkohle dagegen ist älter. Durch die längere Dauer der Selbstzersetzung hat sich der Kohlenstoff auf rund 80—90 % angereichert, wogegen die Braunkohle nur etwa 60—80 % enthält.

Nach diesen Zahlen könnte es scheinen, als sei der Unterschied zwischen beiden Kohlenarten nur ein gradueller. Dem ist indessen nicht so, vielmehr ist die Verschiedenheit tiefer begründet.

Die Braunkohlenflora nämlich ähnelte der heutigen, insbesondere enthielten die Bäume jener Epoche ebenso wie viele unserer Zeit Harz. Die Steinkohle dagegen ist aus Bäumen entstanden, die deshalb andere waren, weil zwischen ihrer Lebensperiode und dem Zeitalter der Braunkohlenwälder gewaltige Zwischenräume lagen. Stellt man nach der wissenschaftlichen, insbesondere der mikroskopischen Untersuchung das Bild der Waldmoore wieder her, aus denen Steinkohle entstanden ist, so ergeben sich seltsame Schachtelhalme und Farne, deren Formen oder Größenverhältnisse uns ungewohnt sind (s. das Titelbild¹). Jene Bäume sonderten kein Harz ab. Dieses natürliche Schutzmittel gegen Verwundung ist erst später durch Anpassung entstanden. Gemäß diesen Verschiedenheiten waren auch die Ergebnisse der Verwesung jeweils andere, indem Braunkohle anders aussieht und sich anders verhält wie Steinkohle. Diese schwarz, zur Herstellung von Leuchtgas geeignet und der Farbstoffindustrie Teer liefernd. Jene braun, ein Rohstoff zur Gewinnung von Leuchtöl und von Paraffin. Brennbar sind sie beide, aber auch hier ist die Verschiedenheit groß. Steinkohle enthält durchschnittlich nur etwa 4 % Grubenfeuchtigkeit. Alles andere hat sich verflüchtigt. Der Braunkohle dagegen haftet das Wasser des Holzes und des Morastes an, belastet sie bis zur Hälfte ihres Gewichtes und drückt ihren Heizwert auf etwa $\frac{1}{3}$ von dem der Steinkohle herab.

¹ H. Potonié. Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt (wie des Torfes, der Braunkohle, des Petroleums). 5. Aufl. 1910, Berlin bei Borntraeger. Das Titelbild dieser Auflage ist künstlerisch schöner, aber didaktisch nicht so klar wie das aus diesem Grunde hier behaltene Bild aus der 4. Auflage des Buches von Potonié.

Zwischen den verschiedenen Braunkohlesorten gibt es gewisse Unterschiede, noch größere aber findet man bei den Steinkohlen, weil sie so viel länger im Erdinnern gelagert haben und Zustandsänderungen durchmachen konnten, die bei Braunkohle ausgeschlossen sind. Eine Vorstellung von dem Alter der Steinkohlen gibt die Betrachtung eines Bergwerks. Man findet dort dünne Kohlelager, sogenannte Flöze. Dieselben sind in Fig. 2 als dicke Striche bei den Buchstaben c gekennzeichnet; a ist der Schacht.

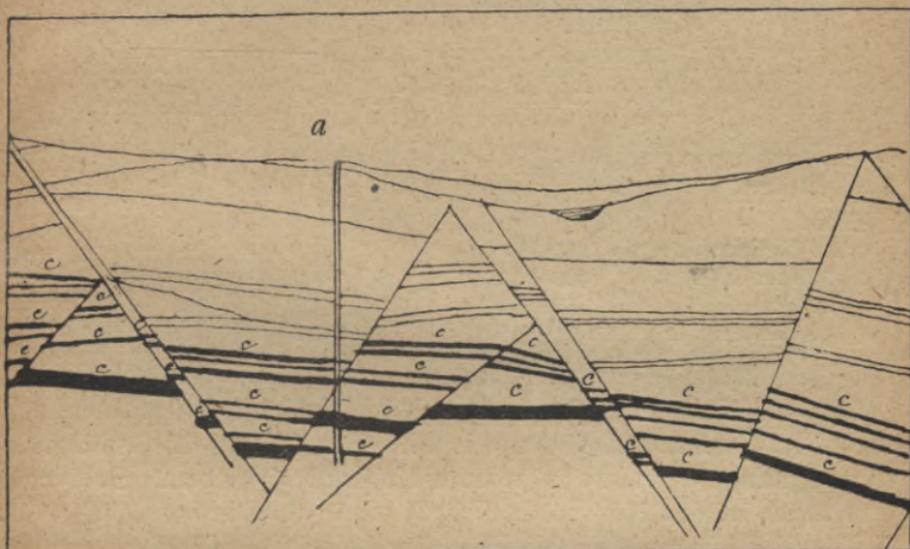


Fig. 2. (Nach Herding, Beleuchtung und Heizung.)

Dickere Gesteinsmassen trennen die Flöze voneinander. Die Anzahl der letzteren ist oftmals eine große. So folgen sich beispielsweise im westfälischen Kohlenbecken 69 Flöze von je etwa 1 m Vertikaldurchmesser in einer Tiefe von rund 3000 m. Daraus geht hervor, daß wenigstens 69 Waldgenerationen am Aufbau dieses Lagers beteiligt waren, wahrscheinlich aber mehr, da ein und dasselbe Moor das Grab vieler Generationen werden konnte, bevor die Überlagerung mit Geröll eintrat. Ferner müssen sehr lange Zeiträume verstrichen sein, bis aus den Geröllen die dichten Felsmassen wurden, die in so überwältigender Stärke die einzelnen Flöze bedecken. Die Steinkohle ist also innerhalb eines Zeitraumes entstanden, der unserem Fassungsvermögen dieselben Schwierigkeiten macht wie die Entfernung der Erde

vom Sirius. F. Bergius hat berechnet, daß 7—8 Millionen Jahre nötig waren¹.

Je älter nun ein Flöz ist, desto vollkommener haben sich Wasserstoff und Sauerstoff des ursprünglichen Holzes vom Kohlenstoff getrennt, um so mehr waltet der letztere vor. Ordnet man die Flöze nach steigendem Kohlenstoffgehalt, so kann man im allgemeinen vier verschiedene Schichten unterscheiden. Sie sind hier tabellarisch mit den Handelsnamen und des Vergleiches halber mit Holz, Torf und Braunkohle aufgeführt:

Ungefährer Prozentgehalt² an

	Kohlenstoff	Wasserstoff	Sauerstoff (mit etwas Stickstoff)
Holz	50	6	45
Torf	55—65	5,5—7	30—40
Braunkohle	65—75	5—6	20—30
Steinkohle:			
1. Kesselfohle	75—80	5,5—4,5	19—15
2. Gaskohle	80—85	6—5	14—10
3. Fettkohle	85—91	5—4,5	10—5,5
4. Magerkohle	91—95	4,5—3,5	5,5—3,5

Diese Zahlen lassen erkennen, wie durch fortschreitende Zersetzung des Holzes der Prozentgehalt an Kohlenstoff (und damit auch der Brennwert) gewachsen ist. Der Ablauf dieses Vorganges müßte offenbar zu reinem Kohlenstoff führen. Solcher findet sich in der Natur als Graphit und als Diamant. Diese Stoffe sind aber wahrscheinlich unter besonderen Bedingungen des Druckes und der Temperatur im Erdinnern auskristallisiert, und es ist zum mindesten zweifelhaft, ob der Kohlenstoff in diesen Fällen vom Holze stammt. Die Vermoderung des Holzes hat vielmehr bei einer bestimmten Grenze halt gemacht, denn selbst in der ältesten Magerkohle ist der Kohlenstoff immer noch mit einer gewissen Menge anderer Elemente verbunden.

Mineralkohle ist also nicht identisch mit Kohlenstoff. Für ihre technischen Anwendungen ist diese Tatsache von der größten Bedeutung. Um zu verstehen, warum das der Fall ist, muß man sich folgende chemische Grundbegriffe vergegenwärtigen:

Substanzen, in denen Kohlenstoff mit anderen Elementen verbunden ist, nennt man organische. Der Name rührt daher,

¹ Vgl. den Aufsatz von Rosenthal in der Zeitschrift „Braunkohle“, Halle, bei Knapp. 13. Jahrgang 1914/1915, S. 611.

² Bezieht sich auf die Analyse der vollkommen getrockneten Materialien.

daß man in den ersten Zeiten chemischer Forschung Kohlenstoff hauptsächlich in den Produkten pflanzlicher und tierischer Organe fand. Die organischen Stoffe haben die aller verschiedensten Eigenschaften, sie sind theils fest, theils flüchtig, theils gasförmig, es sind unter ihnen gefärbte und farblose und vor allem sind sie stets ganz verschieden vom Element Kohlenstoff, wie er z. B. in der Holzkohle enthalten ist. Am ausgeprägtesten ist die Vielfältigkeit der organischen Stoffe in den „Kohlenwasserstoffen“, die, wie der Name andeutet, Kohlenstoff und Wasserstoff in chemischer Bindung enthalten. Aus derartigen Substanzen setzen sich die Mineralkohlen zusammen und darum sind sie etwas so ganz anderes wie Kohlenstoff. Letzterer eignet sich zwar wohl zu den Zwecken, denen die Holzkohle dient, nicht aber könnte man aus Kohlenstoff so wie aus Braun- und Steinkohle Gase, Flüssigkeiten und schimmernde weiße Massen gewinnen, die in einen weiten Kreis der gewerblichen Tätigkeit führen: Die Kessel- feuerung, die Leuchtgasbereitung, die Industrie des Teers, des Paraffins, der Farbstoffe, der Heilmittel und andere Industrie- zweige, von denen noch die Rede sein wird.

Gegen diese scharfe Unterscheidung zwischen Mineralkohle und Kohlenstoff könnte man speziell in Ansehung der Steinkohle zwei Einwände machen.

Erstens legt das Schwarz der Steinkohle die Vermutung nahe, daß sie doch wohl größtenteils aus Kohlenstoff besteht. Diese Außerlichkeit deutet aber lediglich auf Beimengungen von Kohlenstoff oder auf die schwarze Eigenfarbe der Kohlenwasserstoffe.

Zweitens erscheint es verwunderlich, daß der Wasserstoff in der Steinkohle von solchem Einfluß sein soll, da doch die Analyse nur sehr geringe Mengen ergibt. Eher könnte man dem Sauerstoff einen wesentlichen Einfluß zuschreiben. Wie sehr indessen die Eigenschaften organischer Stoffe gerade selbst durch einen geringen Wasserstoffgehalt bestimmt werden, lehrt die Chemie, aus deren Materialsülle einige Beispiele herausgegriffen seien. Es enthalten die Kohlenwasserstoffe

Acetylen	92,3%	Kohlenstoff,	7,7%	Wasserstoff
Benzol	92,3%	„	7,7%	„
Naphthalin	93,7%	„	6,3%	„

Acetylen ist ein Gas, Benzol eine Flüssigkeit, Naphthalin eine feste kristallinische Substanz. Man hat also bei scheinbar geringfügigen Schwankungen des an und für sich schon kleinen Wasser-

stoffgehaltes und sogar bei Gleichheit desselben die allergrößten Verschiedenheiten.

Der Grund dieser Erscheinung wird ersichtlich, wenn man aus den Prozentzahlen die chemischen Formeln berechnet. Das geschieht nach einer Theorie, der zufolge die Materie aus einzelnen sehr kleinen Theilen, den Atomen bestehen muß, weil nur unter dieser Annahme die stete Wiederkehr bestimmter Zahlenverhältnisse bei den Analysen erklärlich ist. Die Atome eines und desselben Elementes haben alle das gleiche Gewicht; von Element zu Element aber sind die Gewichte verschieden. Da die Atome weit jenseits der Grenze des Sichtbaren oder gar Wägbaren liegen, so kennt man ihre wirklichen Gewichte nicht, wohl aber hat man durch Analysen und andere sinnreiche Methoden feststellen können, in welchem Verhältnis die Atomgewichte verschiedener Elemente zueinander stehen. Auf diese Weise hat sich ergeben, daß die Wasserstoffatome die leichtesten sind. Man setzt daher, um eine Einheit zu haben,

$$\text{Das Gewicht von 1 Atom Wasserstoff} = 1.$$

Darauf bezogen ist

$$\text{Das Gewicht von 1 Atom Kohlenstoff} = 11,97$$

$$\text{Das Gewicht von 1 Atom Sauerstoff} = 15,96.$$

Daraus und aus den Prozentzahlen der Analysen läßt sich leicht berechnen, wieviel Atome der betreffenden Elemente mit je einem Atom Wasserstoff verbunden sind. Nennt man ihre Anzahl x , so gilt im Fall eines aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehenden Körpers die Gleichung:

$$\frac{x \cdot 11,97}{1} = \frac{\text{Prozentgehalt an Kohlenstoff}}{\text{Prozentgehalt an Wasserstoff}}$$

Auf diese Weise findet man im

Acetylen:	auf 1 Atom Wasserstoff	1 Atom Kohlenstoff
Benzol:	" 1 "	" 1 "
Naphthalin:	" 4 "	" 5 "

Von diesen Verhältniszahlen kommt man zu den chemischen Formeln, indem man jedes Atom mit einem Symbol bezeichnet:

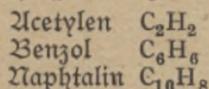
Wasserstoff = H (lat. Hydrogenium)

Kohlenstoff = C (lat. Carbo)

Sauerstoff = O (lat. Oxygenium)

und die Anzahl der sich vereinigenden Atome mit kleinen Zahlen bezeichnet, z. B. C_1H_1 , C_5H_4 . Diese Formeln sind aber noch

ungenau, denn offenbar wären nach ihnen Acetylen und Benzol beide C_1H_1 , obgleich, diese Stoffe keineswegs identisch sind. Die richtigen Formeln ergeben sich erst, wenn man berücksichtigt, daß sich die Atome verschiedener Elemente bei gleichbleibendem Zahlenverhältnis zu verschieden großen Komplexen, den „Molekülen“ zusammenschließen können, wie man aus der Schwere der Dämpfe berechnet hat. Auf diese Weise hat man als genauen Ausdruck der Tatsachen folgende Formeln gefunden:



Für die Kohlenwasserstoffe und damit auch für die Steinkohle folgt hieraus dreierlei:

1. Wenn auch der Wasserstoffgehalt prozentualiter sehr gering ist, so kann doch die Anzahl der Wasserstoffatome eine beträchtliche sein. Da nun die Eigenschaften der Stoffe wesentlich durch die relative Anzahl der Atome bestimmt werden, so ist es begreiflich, daß die Kohlenwasserstoffe, wie sie in der Steinkohle enthalten sind, keineswegs die Eigenschaften des Kohlenstoffs haben, sondern sich als ganz besondere chemische Individuen äußern.

2. Der Einfluß des Sauerstoffs in der Kohle ist viel geringer als der des Wasserstoffs, denn die Anzahl der Sauerstoffatome tritt wegen seines hohen Atomgewichtes sehr zurück.

3. Da ein und demselben Atomverhältnis eine Vielheit von Molekülen entspricht, wie am Beispiele des Acetylens und Benzols ersichtlich, so kann durch den Wasserstoffgehalt der Kohle eine unabsehbare Mannigfaltigkeit von Kohlenwasserstoffen in ihr bedingt sein.

Aus allem ergibt sich: Mineralkohle besteht der Hauptsache nach aus einem Gemisch von Kohlenwasserstoffen. Dieselben können je nach dem Alter der Kohle und der Zufälligkeit ihres Entstehens ganz verschiedener Art sein, ebenso wie Benzol, Acetylen und Naphthalin die größten Verschiedenheiten aufweisen. Die Kombination der Kohlenwasserstoffe, die in einer Kohlenart enthalten sind, bedingt deren Eigenart.

Versucht man solche Kohlenwasserstoffe aus Kohle zu isolieren, so erhält man stets nur chemische Bruchstücke, wie sie im Leuchtgas und Teer enthalten sind. Die eigentlichen Komponenten der Kohle kennt man nicht. Die Natur hat hier so gründlich und unergründlich gemischt, daß die gewöhnlichen analytischen

Methoden versagen. Neuere Forschungen¹ scheinen die Aufklärung anzubahnen, insbesondere ist die Feststellung wichtig, daß flüssige schweflige Säure aus Steinkohle eine Substanz herauslöst, welche das übrige verkittet. Es treten also hier zwei Hauptbestandteile der Kohle in Erscheinung. Von großem Interesse ist ferner der Abbau von Steinkohle zu einer wasserlöslichen Substanz durch Ozon. Für die Zukunft sind auf diesen Wegen noch wichtige Aufschlüsse zu erwarten, einstweilen muß man sich allerdings darauf beschränken, empirisch gewisse Merkmale festzustellen, die über die praktische Verwendbarkeit der betreffenden Kohle Aufschluß geben. Es geschieht durch die „Verkokungsprobe“, bei der man 1 g der gepulverten Kohle einige Minuten im bedeckten Platintiegel über einer Gasflamme (Bunsenbrenner) erhitzt. Hierbei spaltet sich das Gefüge der Kohlenwasserstoffe in zwei charakteristische Teile. Der eine bricht gasförmig hervor und entzündet sich, der andere bleibt als Koks zurück. Je wasserstoffreicher die Kohle ist, um so größer ist die Gasmenge. Die Länge der Flamme, die zwischen dem Tiegelrand und dem Deckel sichtbar wird, und die Menge und Beschaffenheit des Kokes führt zu Einteilungen der Kohlesorten, die in der Literatur verschieden angegeben sind, da es bis zu einem gewissen Grade auf subjektive Schätzung ankommt. Mit Berücksichtigung des allerwichtigsten lassen sich folgende Hauptklassen unterscheiden, zwischen denen es mannigfache Übergänge gibt:

1. Kesselfohlen, auch Flamm- oder Sinterkohlen genannt. Der Koks besteht aus zusammengesinterten Brocken und macht etwa 60 % des Kohlegewichtes aus. Der Rest ist ein Gasgemisch und gibt eine lange mächtige Flamme, welche die Wandungen des Dampfkessels in gewünschter Weise befeuchtet.

2. Gaskohle, zerfällt beim Erhitzen in etwa 35 % Gas und 60—68 % Koks. Man braucht sie zur Leuchtgasbereitung, wozu auch die Kesselfohlen verwendbar sind. Dagegen eignen sich Gaskohlen weniger zur Kesselfeuerung, weil sie beim Erhitzen nicht wie jene sintern, sondern mehr schmelzen und zusammenbacken und so den Durchgang der Luft durch die Feuerung erschweren.

¹ Arbeiten des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Kohleforschung in Mülheim-Ruhr. Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle, herausgegeben von F. Fischer, 1. Band, Berlin bei Borntraeger, 1917.

3. Fettkohlen, erweichen beim Erhitzen in noch stärkerem Maße als die Gaskohlen, so daß man den Eindruck von bratendem Fett hat. Wegen des Zusammenbackens spricht man auch von Backkohlen. Der hierbei entstehende Koks ist nicht wie bei der Kesselfohle pulverig, auch nicht wie bei der Gaskohle locker, sondern infolge des starken Zusammenbackens sehr fest, so daß er dem Druck der Erzäule im Hochofen standhält. Man braucht daher die Fettkohle zur Bereitung des Koks, der zur Gewinnung des Eisens dient. Die Koks menge beträgt bis zu 80 % des Kohlegewichtes. Manche Fettkohlen geben so viel Gas ab wie die eigentlichen Gaskohlen und können wie diese verwandt werden. Fast alle liefern eine besonders heiße Flamme, wie der Schmied sie braucht; man spricht darum auch von Schmiedekohlen.

4. Magerer Kohlen. Beim Erhitzen etwa 90 % Koks und nur etwa 10 % Gas. Der Koks wäre trotz der reichlichen Menge als solcher nicht verkäuflich, weil ihn der Druck im Hochofen zu Staub zermalmen würde. Die Kohle backt beim Erhitzen nicht zusammen, sie ist „mager“, man hat nicht den Eindruck von brodelndem Fett. Der Grund ist der, daß diese Kohlenart nur wenig derjenigen schmelzenden Kohlenwasserstoffe enthält, die das Zusammenbacken in der Hitze bewirken. Da auch die Menge der gasförmig austreibbaren Kohlenwasserstoffe gering ist, so brennt Magerkohle mit kurzer Flamme, die aber stark heizt. Magerkohlen eignen sich darum zum Hausbrand, ferner zur Erzeugung von Wassergas (s. Kap. 5). Am ausgeprägtesten sind die Eigenschaften der Magerkohle beim „Anthracit“, dessen Name griechisch ist und schwarz bedeutet.

Von den vielfachen Verwendungsgebieten der Kohlen ist das der Verbrennung zu Heizzwecken der Braunkohle sowie der Steinkohle gemeinsam. Insofern aber besteht ein großer Unterschied, als die Braunkohle wegen ihres hohen Wassergehaltes minderwertig ist. Zahlenmäßig kann das durch Bestimmung des Heizwertes ermittelt werden. Es geschieht durch Verbrennen von 1 g der zu untersuchenden Kohle in einer kleinen stählernen, mit Sauerstoff gefüllten „Bombe“ durch elektrische Zündung, wobei sich die Bombe zusammen mit einem Thermometer in einer genau abgemessenen Menge kalten Wassers befindet. Als Wärmeeinheit (W. E., „Kalorie“) gilt diejenige Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 kg Wasser von 0°

auf 1^o erhöht. Aus der abgelesenen Temperatursteigerung und der Wassermenge ergibt sich die entwickelte Kalorienzahl, die man auf 1 kg Brennstoff umzurechnen pflegt. Wissenschaftlich weniger genau, aber praktisch gebräuchlich ist die Wertbestimmung der Kohle durch Glühen mit Bleiglätte, einer Verbindung von Blei mit Sauerstoff. Die Kohle vereinnigt sich mit dem Sauerstoff, und das Blei wird frei. Seine Menge gestattet einen Rückschluß auf die Güte der Kohle. Eine dritte Art der Heizwertbestimmung besteht in der feststellung der „Verdampfungs-ziffer“. Das ist die in einer Stunde verdampfte Wassermenge dividiert durch das in der gleichen Zeit verzehrte Brennstoffquantum. Man erhält nach der ersten und dritten der genannten Methoden etwa folgende Zahlen:

	Kalorien	Verdampfungs-ziffer
Steinkohle	5000—9000	5,5—10,5
Braunkohle	2500—5000	2,0—4,5
trockenes Holz	3000—3600	2,5—3,4

Schließlich kann auch aus der analytischen Bestimmung von Kohlenstoff, Wasserstoff und Schwefel in der Kohle ihr Heizwert berechnet werden, da es bekannt ist, welchen Einfluß dabei die Gewichtseinheit jedes Elementes hat. Die Analyse gibt zugleich andere wertvolle Aufschlüsse: findet man einen großen Aschenrückstand, so wird die Kohle den Feuerungsrost verschlacken. Ist viel Schwefel vorhanden, welcher einer mineralischen Beimengung der Steinkohle entstammt, so entsteht beim Verbrennen Schwefeldioxyd, das die Kesselwandung schädigt.

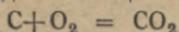
Ein Heizstoff besonderer Art sind die Bricketts. Ihre Herstellung ermöglicht eine vorteilhafte Verwendung des „Kohle-Pleins“; so nennt man die staubförmige Abfallkohle der Förderung, welche im Rohzustande durch die Stäbe der Roste fallen würde und ohne Brickettierung nur auf besonderen plattenartigen „Treppenrosten“ verbrannt werden kann.

Braunkohlenpulver brickettiert man am einfachsten durch Anfeuchten, Formen und Trocknen, ähnlich wie bei der Ziegelfabrikation. Die so hergestellten „Naßpreßsteine“ zerstäuben indessen leicht und sind darum minderwertig. Viel besser ist die Brickettierung der Braunkohle durch Trocknen und Einfüllen in eine stählerne Höhlung, in dem ein Preßstempel durch einen jedesmaligen kurzen Druck von 1200^o Atmosphären ein Brickett formt. Dieses tritt automatisch aus, die Höhlung öffnet sich,

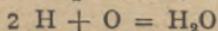
wieder fällt Kohlenpulver hinein und wieder wird es zu einem Brickett zusammengepreßt. Durch den gewaltigen Druck erwärmt sich die Masse; gewisse Bestandteile der Kohle, die man Bitumen nennt, schmelzen und verkitten die vorher losen Teilchen.

Die Heizkraft der Braunkohlenbricketts ist infolge des geringeren Wassergehaltes und des dichten Gefüges etwa doppelt so groß wie die der Rohkohle. Sie hinterlassen weniger Asche als manche Steinkohlensorten und verschlacken darum die Roste nicht. Ihr Gefüge bewirkt ein leichtes Verbrennen schon bei mäßiger Luftzufuhr. Sie sind im Kleinhandel bequem, weil sie sich abzählen lassen. Steinkohlenbricketts sind weniger wohlfeil herzustellen. Der Grund ist der, daß Steinkohle nicht wie Braunkohle Bitumen enthält; man ist darum genötigt, das Kohleklein bei 275° mit 7 % des teuren Hartpeches als Bindemittel zu verschmelzen. Letzteres ist ein Nebenprodukt der Steinkohlendestillation.

Die Wirtschaftlichkeit der Verbrennung beruht hauptsächlich auf dem geeigneten Bau der Feuerungsanlage und geschicktem Heizen. Der ideale Verbrennungsvorgang besteht darin, daß Kohlenstoff und Wasserstoff der Kohle sich nach folgenden Gleichungen mit Sauerstoff der Luft vereinigen:



1 Atom Kohlenstoff + 1 Molekül Sauerstoff = 1 Molekül Kohlendioxyd (vulgär Kohlenäure genannt).



2 Atome Wasserstoff + 1 Atom Sauerstoff = 1 Molekül Wasserdampf.

Da jedes Atom ein bestimmtes Gewicht hat, so enthalten diese, wie alle anderen chemischen Gleichungen, nicht nur eine Beschreibung des Vorganges, sondern auch genaue Angaben über die reagierenden Gewichtsmengen. Durch Berücksichtigung der Atomgewichte erfährt man, daß 11,97 Gewichtsteile Kohlenstoff 2 × 15,96 Gewichtsteile Sauerstoff, und 2 Gewichtsteile Wasserstoff 15,96 Gewichtsteile Sauerstoff brauchen, um vollkommen zu verbrennen. Leider aber ist es nicht möglich, Kohle gerade mit derjenigen Luftmenge aufzuzehren, die der Theorie entspricht. Man braucht stets etwa 90 % mehr, weil infolge der klumpigen Beschaffenheit der Kohle und der Geschwindigkeit des Luftzuges der Sauerstoff nicht so rasch seine Wirkung tun kann, um einen Luftüberschuß vermeidbar zu machen. Letzterer wirkt als unwillkommenes Kühlmittel, so daß stets 30—50 % der ent-

wirkelsten Hitze verloren gehen und in Gestalt eines heißen Luftkohlen säuregemisches zum Schornstein entweichen. Eine gewisse Menge dieser Wärme ist im Schornstein notwendig. Die Temperatur muß in ihm 200—250° betragen, damit die Feuergase rasch aufsteigen und dadurch Luft durch die Feuerung saugen. Dies ist die Hauptfunktion des Schornsteins, er ist nicht etwa nur dazu da, um den Rauch möglichst hoch in die Luft zu tragen.

Die Frage der Rauchplage hängt ebenfalls mit der Aufgabe zusammen, die Luftzufuhr am zweckmäßigsten einzurichten. Rauch entsteht, wenn Kohlenwasserstoffe unvollkommen abbrennen. Es vereinigt sich dann hauptsächlich nur ihr Wasserstoff mit dem Sauerstoff, der Kohlenstoff dagegen bleibt unverbrannt zurück. Da er hierbei aus Kohlenwasserstoffen abgeschieden wird, die gasförmig aus der Kohle hervorbrechen, so tritt er in feinsten Verteilung auf, die man als „Rauch“ empfindet. Bei der Herstellung von Ruß, aus dem man Druckerschwärze macht, wird dieser Vorgang mit Absicht herbeigeführt.

Die alte Holzkohlenfeuerung ist rauchfrei, weil die Kohlenwasserstoffe bereits im Meiler ausgetrieben werden. In welchem Grade moderne Feuerungen rauchen, hängt von der Schichthöhe der auf den Roß geworfenen Kohlen ab. Ist sie zu groß, so reicht die eintretende Luft zur Verbrennung der Kohlenwasserstoffe nicht aus; ist sie zu klein, befindet sich also die Luft im Überschuß, so kühlt letzterer die Flamme und bewirkt aus diesem Grunde mangelhafte Verbrennung. In beiden Fällen entsteht Rauch; ihn zu vermeiden, ist Sache des Heizers.

Während die Gesichtspunkte, die beim Verheizen von Braunkohle und Steinkohle in Betracht kommen, im großen und ganzen dieselben sind, tritt eine weitgehende Verschiedenheit zutage, wenn man nach den übrigen Verwendungsarten jener beiden Kohlenklassen fragt.

Charakteristisch für die Braunkohle ist, daß sie wegen ihres hohen Feuchtigkeitsgehaltes und entsprechend geringen Heizwertes durch Transportkosten ihren geschäftlichen Wert verliert. Die Tonne sächsischer Braunkohle wird an der Grube mit etwa 2 Mk. bezahlt. Steinkohle ist das fünffache und mehr wert. Man verschickt sie weit zu Wasser und zu Lande, sie ist wie das Blut, das belebend die Adern des riesenhaften industriellen Organismus durchströmt. Für Braunkohle aber lohnt sich die Verfrachtung höchstens auf kurze Strecken. Darum hat sich bei

ihr die Verwendung an der Grube entwickelt. Dieselbe ist eine dreifache.

Die Braunkohle wird am Ort der Gewinnung in Wagen gefüllt, die durch Drahtseile gezogen in ein Elektrizitätswerk wandern. Hier entleert man sie in Feuerungen, durch welche Elektromotoren getrieben werden. Der so erzeugte Strom wird in meilenweitem Umkreis verwendet. Ein anderer Teil der Braunkohle geht in die Brikettfabrik, die ebenfalls neben der Grube liegt.

Beide Verwendungsarten sind typisch für eine gewisse Art der Braunkohle, wie sie z. B. im Rheinland vorkommt. Man nennt sie „Feuerkohle“.

Die dritte Art der Benutzung ist nur bei einer sehr bituminösen Braunkohle möglich, die man hauptsächlich in der Provinz Sachsen findet und als Schweißkohle bezeichnet. Wenn letztere ohne Zufuhr von Luft erhitzt wird, dabei also nicht verbrennen kann, so entweicht etwa $\frac{1}{3}$ der Kohle in Form von Teer. Feuerkohle würde bei derselben Behandlung nur etwa 5 % Teer geben. Man gewinnt den Teer der sächsischen Kohle durch Schweißeln, d. h. durch Erhitzen in Öfen, die innen mit schuppenartig geschichteten Ringen, den „Schweißglocken“ ausgekleidet sind. Zwischen ihnen und der Ofenwandung gleiten die oben eingeworfenen Kohlen hinab, während Heizgase, von unten kommend, alles flüchtige in gekühlte Röhren überführen. Die ausgetriebenen Gase bestehen zu etwa 8 Volumprozent aus Wasserdampf; 10 Volumprozent sind Verbindungen, die sich nicht kondensieren lassen, und 2 Volumprozent schlagen sich als Teer nieder. Auf das Gewicht der Kohle berechnet macht der Teer 5—10 % aus.

Die Verarbeitung des Teers gestattet einen gewissen Wettbewerb mit dem amerikanischen und russischen Erdöl. Bei der Destillation geht zunächst ein „Rohöl“ über, dann folgen „Hartparaffin“ und „Weichparaffin“. Das Rohöl gibt bei nochmaliger Destillation eine Reihe von Fraktionen, deren wichtigste Solaröl“ und „Gasöl“ sind. Solaröl wird wie Petroleum als Leuchtöl verwendet. Gasöl dient zur Fabrikation von „Ölgas“; dies sind leicht komprimierbare Gase, die beim Zersetzen des Gasöls in glühenden Retorten entstehen. 1 kg Öl gibt etwa 550 l Gas. Man preßt es in die eisernen Behälter, aus denen die Eisenbahnwagen beleuchtet werden.

Der wertvollste Bestandteil des Braunkohlenteers ist das Paraffin: es gleicht dem pennsylvanischen aus Erdöl gewonnenen und dient zur Fabrikation von Kerzen, wobei es meistens mit Stearin gemischt wird.

Obgleich die Braunkohlenverwertung keineswegs unwesentlich ist, spielt sie doch eine geringe Rolle im Vergleich zu den mannigfachen und hochbedeutsamen Zwecken, zu denen die Steinkohle benutzt wird. Das äußert sich schon in den Produktionsziffern. Deutschland förderte im Jahre 1913:

	1000 t ¹⁾	Wert in 1000 M.
Braunkohle	87 233	191 920
Steinkohle	190 109	2 135 978

ein Verhältnis, das nur in Deutschland so günstig für Braunkohle liegt, da es Hauptbraunkohlenproduzent ist und den größten Teil der Welterzeugung beschafft.

Vor allem aber tritt die Großartigkeit der Steinkohlenverwendung zutage, wenn man sich deren Vielseitigkeit vorführt. Von den in Deutschland im Jahre 1913 geförderten rund 190 Millionen t Steinkohle

zuzüglich rund	10 „	t Einfuhr
im ganzen	200 Millionen	t

wurden verbraucht²⁾:

für Hausbrand	.....	16—18 Mill.	t
„ deutsche Bahnen	.....	17—18 „	t
„ Elektrizitätswerke	.....	5—6 „	t
„ Landwirtschaft und Nebenbetriebe	.....	7—8 „	t
„ Kokereien	.....	44 „	t
„ Gaswerke	.....	10 „	t
„ Bricketfabriken	.....	6,5 „	t
„ Ausfuhr	.....	34,5 „	t
		zusammen	145 Mill. t

so daß der Industrie rund..... 155 Mill. t
zuflossen.

Von den hier aufgeführten Einzelverwendungen steht die Kokerei und damit die Eisenindustrie an erster Stelle. Wie tief sie im Steinkohlengewerbe wurzelt, soll in den folgenden Kapiteln gezeigt werden.

¹⁾ 1 t (Tonne) = 1000 kg (Kilogramm).

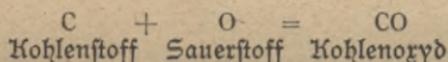
²⁾ f. Ruffig in „Die rationelle Ausnutzung der Kohle“, Technische Gutachten, herausgegeben vom Reichsschatzamt. Berlin, bei Heymann, 1918.

III. Chemisches über das technische Eisen.

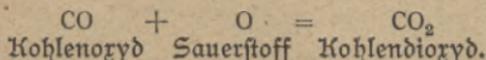
Die Kohlearten, die im vorigen Kapitel beschrieben wurden, lagen kaum gekannt und ungenutzt im Schoße der Erde, als eisernes Gerät schon seit mindestens vier Jahrtausenden bekannt war. Man verwendete bei seiner Darstellung keine andere Kohle als die künstliche aus Holz bereitete, und gewann mit ihrer Hilfe aus Eisenerzen Produkte, die besser waren als die unserer heutigen Hochöfen.

Eisenerze nennt man chemische Verbindungen des Eisens mit Sauerstoff (Magnet Eisenstein, Roteisenstein), Sauerstoff und Wasser (Brauneisenstein, Minette), Sauerstoff und Kohlensäure (Spateisenstein). Die erste Operation der Eisenindustrie besteht in der „Verhüttung“ dieser Erze, d. h. im Abtrennen des Eisens von Sauerstoff, Wasser und Kohlensäure. Die beiden letztgenannten entweichen bei starkem Erhitzen und hinterlassen Eisenoxyd, der Sauerstoff aber haftet fester und muß durch einen chemischen Eingriff entfernt werden.

Dieser Eingriff besteht im Glühen der Erze mit Luft und Kohlenstoff in Form von Holzkohle oder — in unserer Zeit — von Koks. Dabei verbrennt der Kohlenstoff in zwei Phasen. Zuerst vereinigt sich je ein Atom mit einem Atom Luftsauerstoff zu Kohlenmonoxyd, auch kurzweg Kohlenoxyd genannt:¹



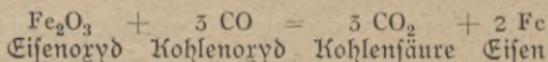
Das Kohlenoxyd ist ein Gas, das die ganze Erzmasse durchdringt. An jedem seiner Kohlenstoffatome ist noch Platz für ein zweites Sauerstoffatom, durch welches aus dem „Monoxyd“ ein „Dioxyd“ wird. Würde man die Luft im Überschuß zutreten lassen, so wäre sofort die zweite Phase der Verbrennung erreicht, indem aus dem Kohlenoxyd Kohlendioxyd entstände:



Indessen verzögert man das Eintreten dieser Phase durch Regulierung der Luftzufuhr. Die Folge davon ist, daß das Kohlenoxyd

¹ Die hier mitgeteilte chemische Gleichung gibt des leichteren Verständnisses wegen den Vorgang in seiner einfachsten Form. In Wirklichkeit verläuft er etwas verwickelter und zwar so wie beim Generatorgas auf S. 55 angegeben.

dem Eisenoxyd den Sauerstoff entreißt, und somit geschmolzenes Eisen abfließt.



Das Symbol für ein Atom Eisen, Fe, ist dem lateinischen Wort Ferrum entlehnt.

Nicht das Eisen allein, auch andere Metalle scheidet man mit Kohlenoxyd aus ihren Erzen ab. Es ist ein ganz allgemeines hüttenmännisches Verfahren. Trotzdem sind die Verhältnisse beim Eisen ganz besondere und sie verleihen ihm seine herrschende Stellung unter den Metallen. Denn während die Verhüttung von Erzen im allgemeinen zu Stoffen führt, die wie beim Zinn, Kupfer, Quecksilber oder Blei je nur in einer einzigen Handelsform, nämlich als möglichst reines Metall wesentlich sind, erhält man aus Eisenerz mehrere Warensorten, die als „Gußeisen“, „Schmiedeeisen“ und „Stahl“ je eine industrielle Welt für sich bedeuten.

Die Ursache dieser Mannigfaltigkeit liegt darin, daß Eisen vor anderen Metallen die Fähigkeit hat, in geschmolzenem Zustande einen Teil des Kohlenstoffs aufzulösen, mit dem das Erz gemischt wurde. Dadurch erhält das Eisen je nach der aufgenommenen Menge Kohlenstoff ganz bestimmte Eigenschaften: Gießbarkeit, Schmiedbarkeit, Stahlhärte, was alles dem chemisch reinen Eisen abgeht.

Ohne diese merkwürdige Rolle des Kohlenstoffs hätte demnach die Weltgeschichte einen Verlauf genommen, den man sich nur mit Erstaunen ausmalen kann. Die Menschen wären bei der Technik der Bronzezeit stehen geblieben, also bei der Verwendung einer teuren und unzulänglichen Legierung von Kupfer und Zinn. Gute und billige Geräte hätten sich nicht herstellen lassen, denn alles Eisernerne würde sich verbogen haben. Undenkbar wären unsere Schienen und Dampfmaschinen. Die Geschicke der Völker hätten sich mangels geeigneter Waffen ohne große Kriege erfüllt. Sonach hat uns der Kohlenstoff im Eisen in manchem einen Fluch gebracht wie die Erbsünde.

Die Ursache für diesen Einfluß des Kohlenstoffs ist eine dreifache:

Während jeder Flüssigkeit in chemisch reinem Zustande eine ganz bestimmte Erstarrungstemperatur zukommt, wird letztere stets erniedrigt, wenn die Flüssigkeit nicht chemisch rein ist, sondern

irgendwelche Stoffe gelöst enthält. So erstarrt reines Wasser bei 0° , löst man aber Salz in ihm auf, so sinkt der Gefrierpunkt proportional der Salzmenge und zwar bei dem erreichbaren Maximum der Salzkonzentration bis zu -22° . Nicht anders wie Wasser zu Salz verhält sich flüssiges Eisen zu Kohlenstoff. Reines geschmolzenes Eisen erstarrt bei 1540° ¹, Eisen mit 4,3 % gelöstem Kohlenstoff wird erst bei 1136° fest². Hierauf beruht die Gießbarkeit des technischen Eisens. Das reine Metall würde beim Gießen erstarren, bevor es die Formen ausgefüllt hätte; das kohlenstoffhaltige bleibt viel länger flüssig.

Zweitens werden geschmolzene Substanzen, die chemisch rein sind, beim Abkühlen fast plötzlich ganz fest. Unreine dagegen bleiben nach Verschwinden des flüssigen Zustandes noch eine Zeitlang weich. Diesem allgemeinen Gesetz gehorcht auch Eisen, in dem Kohlenstoff gelöst ist. Infolgedessen läßt es sich in der Glut schmieden, d. h. durch Hämmern oder sonstige mechanische Operationen formen.

Endlich hat der Kohlenstoff beim Eisen noch eine ganz spezifische Wirkung. Sie besteht darin, daß er sich beim Abkühlen nicht in seiner Gesamtmenge unverändert ausscheidet, wie es gelöste Stoffe sonst zu tun pflegen, sondern sich zum Teil mit Eisen zu „Eisenkarbid“, Fe_3C , verbindet. Letzteres ist hart; reines Eisen dagegen ist selbst nach vollkommenem Erkalten so weich, daß es sich mit dem Messer ritzen läßt. Das Eisenkarbid durchzieht das technische Eisen in Form feiner Kristalle. Deren Härte und die Weichheit der aus reinem Eisen bestehenden Grundsubstanz kombinieren sich zu der merkwürdigen Mischung von Härte und Biegsamkeit, durch welche sich eiserne Waffen, Geräte, Schienen und Träger auszeichnen.

Wie im einzelnen die Beschaffenheit von Eisen und Stahl vom Kohlenstoff abhängt, hat erst die „metallographische“ Forschung der letzten Jahrzehnte klargelegt.

A. Martens, E. Heyn und Andere haben das „Kleingefüge“ des Eisens sichtbar gemacht. Durch „Reliefpolieren“ auf weicher und doch etwas abschleifender Unterlage treten die härteren Gefügeteile des Eisens plastisch hervor, weil sie dem Schleifen

¹ Gürtler und Tammann, Zeitschr. für physikal. Chemie 1905, S. 177.

² v. Jüptner, Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft. Bd. 39, S. 2383 (1906). Weitere Einzelheiten s. Mathesius, Grundlagen des Eisenhüttenwesens, Leipzig 1916.

widerstehen, während die weicheren Teile vertieft werden. Unter dem Mikroskop zeigen sich dann sehr charakteristische Bilder:

Tafel I Fig. 1 veranschaulicht schmiedbares Eisen mit 0,5 % Kohlenstoff. Man sieht, wie die harten kohlenstoffhaltigen Teile bandförmig das reine Eisen durchziehen. Sie werden schon bei 0,05 % Kohlenstoff bemerkbar und geben dann denjenigen Härtegrad, wie man ihn z. B. für weichen Draht braucht.

Es könnte auffallen, daß selbst so geringe Gewichtsmengen Kohlenstoff eine Härtung verursachen. Hier muß man sich aber vergegenwärtigen, daß es nicht nur auf die Verhältnisse des Gewichtes, sondern auch auf die des Raumes ankommt. Kohlenstoff nimmt 3,1 mal so viel Raum ein wie die gleiche Gewichtsmenge Eisen, macht sich also schon deshalb im Gefüge des technischen Eisens recht breit. Außerdem aber werden bei der Bildung des Eisenkarbids gemäß der Formel Fe_3C von 1 Atom = 12 Gewichtsteilen Kohlenstoff nicht weniger als 3 Atome = 168 Gewichtsteile Eisen chemisch gebunden und damit in eine besondere Kristallform gezwungen. Denn das Atomgewicht des Eisens bezogen auf Wasserstoff als Einheit (s. o.) ist 59. Die Sphäre des Kohlenstoffeinflusses erweitert sich dadurch außerordentlich, und so kann dem Raume nach leicht mehr als die Hälfte der ganzen Masse ein Gefüge erhalten, das sich von dem des reinen Eisens unterscheidet, obwohl die Gewichtsmenge des Kohlenstoffs niemals eine große ist.

Die Schmiedbarkeit des Eisens knüpft sich an ein Intervall von etwa 0,05 bis 1,5 % Kohlenstoff. Darüber hinaus überwiegt der Kohlenstoff derartig, daß die Härte zur Sprödigkeit wird, die das Material untauglich macht.

Innerhalb jenes Intervalles hat man neben dem eigentlichen Schmiedeeisen noch eine besondere Art von schmiedbarem Eisen zu unterscheiden: den Stahl. Sein Kohlenstoffgehalt beträgt etwa 0,6 bis 1,5 % und bewirkt durch die gesteigerte Häufung des Eisenkarbids eine größere Härte, als sie unterhalb 0,6 %, also beim Schmiedeeisen möglich ist. Tafel I Fig. 2 zeigt Stahl mit 0,95 % Kohlenstoff und dem Karbidgerüst, das wesentlich dichter gefügt ist als bei der vorigen Figur.

Der Unterschied zwischen Schmiedeeisen und Stahl ist kein scharfer, wenn man lediglich den Prozentgehalt an Kohlenstoff in Betracht zieht, denn naturgemäß steigt die Härte mit zu-

nehmender Kohlenstoffmenge ganz allmählich, und bei einem gewissen Punkte kann man ebensogut von Schmiedeeisen wie von Stahl sprechen. Dennoch läßt sich dem Begriff Stahl eine ganz bestimmte Bedeutung geben, indem bei einem Kohlenstoffgehalt von etwa 0,6 bis 1,5 % die Härte dadurch gesteigert werden kann, daß man das glühende Material in kaltes Wasser taucht. Durch diese plötzliche „Abschreckung“ wird die regelmäßige Lagerung der kohlenstoffhaltigen Teile, wie sie bei langsamem Erkalten eintritt, verhindert. Sie werden in dem Zustand fixiert, der ihnen bei Rotglut eigen ist, und da in einem glühenden, fast noch geschmolzenen Material die Moleküle einen Wirbeltanz aufführen, so zeigt uns das Bild des abgeschreckten Eisens die Teilchen in den Stellungen dieses Tanzes festgebant (Tafel II Fig. 1). Sie sind gegeneinander geneigt, und das verursacht die bekannte Härte des Stahles. Das hier abgebildete Stück enthielt 1,5 % Kohlenstoff und wurde 1100° heiß in Eiswasser getaucht.

Durch diese Behandlung wird der Stahl nicht nur hart, sondern er kann auch derartig spröde werden, daß er nicht mehr zu brauchen ist. Er nimmt „Glashärte“ an. Das mikroskopische Bild einer derartigen Probe ist hier wiedergegeben, weil es die Wirkung des Abschreckens besonders deutlich hervortreten läßt. Bei richtiger Ausführung müssen die Karbidnadeln sich etwas mehr der parallelen Lage nähern, die sie im ungehärteten Stahl einnehmen. Man wählt darum die Abschreckungstemperatur, d. h. die Temperatur der glühenden Masse vor Einbringen in Wasser, weniger hoch — 800° ist das richtige — und macht außerdem die Wirkung des Abschreckens durch das „Anlassen“ zum Teil wieder rückgängig. Das Anlassen besteht im Wiedererwärmen auf 220 — 330° . Die Karbidnadeln beginnen sich zu bewegen, indem die gezwungene Lage physikalische Kräfte auflöst. Tafel II Fig. 2 zeigt eine Stahlprobe, die bei 750° abgeschreckt und dann 3 Stunden auf 275° abgelassen wurde. Die gespannte nadelige Struktur ist noch erhalten. Bei weiterem dreistündigem Anlassen auf 405° (Tafel III Fig. 1) hat sich ein gleichmäßigeres Gemenge gebildet, wie es gutem Stahl entspricht.

Scheinbar ist nichts gröber und plumper als ein Klumpen Eisen oder Stahl. Betrachtet man aber die mikroskopischen Bilder, so schwindet dieser Eindruck und macht dem der äußersten

Zartheit Platz. Schmiedeeisen und Stahl sind sogar mehr als zart, sie sind überempfindlich. Das Eisen äußert sich darum in wechselnder Gestalt je nach den Bedingungen des Entstehens aus dem Erz und der weiteren Behandlung. Die Menschheit hatte das Glück, in den ältesten Zeiten der Eisenindustrie gerade die Arbeitsbedingungen zu treffen, bei denen das lammische Material willig ist und sich in brauchbarem Zustand als Schmiedeeisen aus dem Erz abscheidet. Zudem verstand man wahrscheinlich schon im Mittelalter oder noch früher, Schmiedeeisen durch „Cementieren“ in Stahl zu verwandeln; es geschieht durch Einpacken des Eisens in kleinstückige Holzkohle oder Kohlenstoff abgebende Stoffe, wie Blutlaugensalz, und mehrtägiges Glühen unter Luftsabschluss, wobei sich Kohlenstoff im Eisen löst. Auch hierbei ging man unbewußt so zu Werke, daß gerade die richtige Kohlenstoffmenge aufgenommen wurde. Später aber, als man dem Eisen, ohne seine Empfindlichkeit zu kennen, durch Erfindung des Hochofens einen ganz anderen Zustand zumutete, zeigte es sich spröde und mußte durch die großen Erfindungen der neueren Eisenhüttentechnik wieder bezwungen werden.

IV. Der Hochofen.

Eine Grube im Erdreich, darin ein Feuer, das ein Blasebalg schürte, und darauf geschichtet ein Gemisch von Holzkohle und Erz — so dürfte es dort ausgesehen haben, wo das Eisen zu Siegfrieds Schwert entstand. Vielleicht war es auch keine Grube mehr, sondern zum Zusammenhalten der Glut ein rohes Gemäuer. Daraus wurde mit der Zeit ein regelrechter, aus behauenen Steinen gefügter SchachtOfen, in dem die Hitze noch größer war, und die Umsetzung des Erzes demgemäß vollkommener und rascher vonstatten ging. Indessen kam aus dieser Verbesserung auch eine Schwierigkeit. Es war nämlich leicht, einen kalten Ofenschacht zu füllen, schwer aber einen heißen zu leeren. Das Eisen sammelte sich an der tiefsten Stelle, es ließ sich nur schwer von oben durch die Glut hindurch mit Zangen fassen. Einfacher war es, den Ofen unten aufzubrechen und den Metallklumpen herauszuzerren. Dann mußte der Ofen neu gemauert und beschickt werden, und das wiederholte sich mit ermüdender Regelmäßigkeit. Das Umständliche dieser Arbeitsweise führte bei steigendem Bedarf dazu, die Ofen immer höher und höher zu machen, um möglich viel Erz verarbeiten zu können.

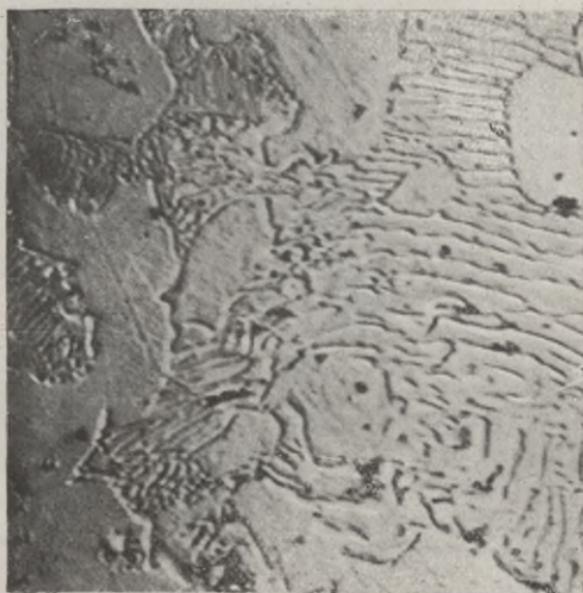


fig. 1. Schmiedbares Eisen mit 0,5 Prozent Kohlenstoff. 1650 fache lineare Vergrößerung.
Von E. Heyn (vgl. Materialprüfungsamt, Abt. für Metallographie).

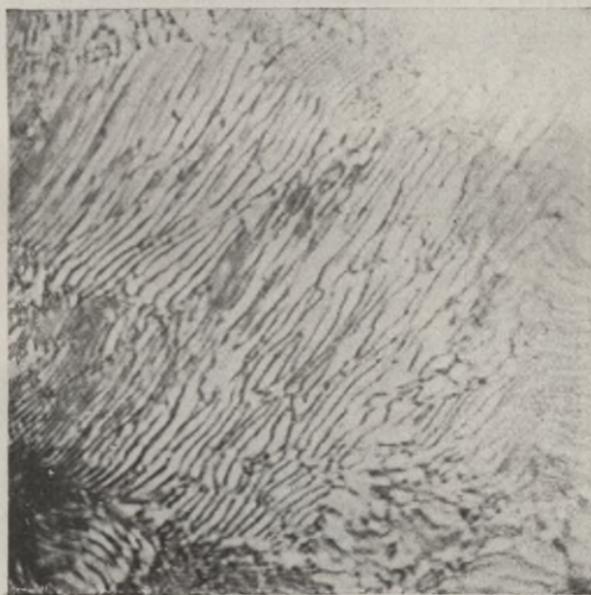


fig. 2. Stahl mit 0,95 Prozent Kohlenstoff. 1650 fache lineare Vergrößerung.
Von E. Heyn (vgl. Materialprüfungsamt, Abt. für Metallographie).



Fig. 1. Werkzeugstahl mit 1,5 Prozent Kohlenstoff. Bei 110° in Eiswasser abgeschreckt. 350fache lineare Vergrößerung.
 Von E. Heyn (vgl. Materialprüfungsamt, Abt. für Metallographie).

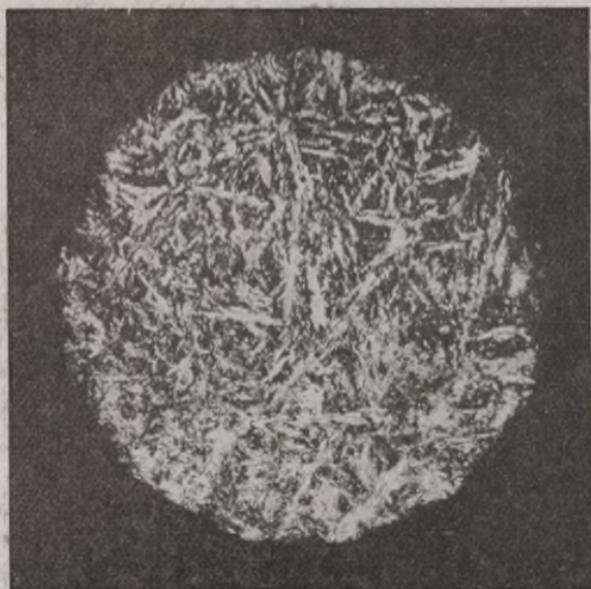


Fig. 2. Stahl mit 0,95 Prozent Kohlenstoff, bei 750° abgeschreckt, 5 Stunden bei 275° angelassen. 350fache lineare Vergrößerung.
 Von E. Heyn (vgl. Materialprüfungsamt, Abt. für Metallographie).

Aus dem gleichen Grunde verstärkte man zu Anfang des 15. Jahrhunderts die Glut, indem man die seitlich eingelassenen Gebläse nicht mehr mit der Hand oder durch Treten in Gang hielt, sondern durch Wasserkraft. Diese trieb ein Mühlrad, und dessen drehende Bewegung setzte man durch einfache Vorrichtungen in die auf- und niedergehende der Blasebälge um, deren Wirkung so eine ungleich größere war als nach der primitiven alten Methode. Auf diese Weise bildete sich allmählich der Typus des Hochofens heraus, charakteristisch nicht nur durch die Höhe, sondern vor allem durch die maschinelle Lufteinpressung. Solche Ofen hat Schiller gesehen:

Des Wassers und des Feuers Kraft

Verbindet sieht man hier;

Das Mühlrad, von der Glut gerafft,

Umwälzt sich für und für.

Einen heutigen Hochofen zeigt Tafel IV. Die Höhe beträgt 20 bis 30 m. Das Baumaterial besteht aus feuerfesten Steinen, die von eisernen Bändern umspannt sind. In der Mitte erweitert sich der Ofen, weil hier die von oben herabgleitende Beschickung durch die Hitze zu schwellen beginnt, um dann wieder infolge des Abtropfens des Eisens und des Verbrennens des Kohlenstoffs einzuschumpfen. Die Beschickung wird durch den schrägen Aufzug zugeführt und besteht aus abwechselnden Ladungen von Erz und von Brennstoff (früher Holzkohle, heute Koks), welcher letzterer mit Kalkstein oder Dolomit oder Tonschiefer gemischt ist. Diese „Zuschläge“ dienen zur Entfernung der nicht eisenhaltigen Bestandteile der Erze; sie bilden mit ihnen „Schlacken“, d. h. chemische Verbindungen, die dem Glase verglichen werden können, insofern sie leichter schmelzbar sind als ihre Komponenten und darum im Hochofen abtropfen.

Das Einfüllen der Beschickung geschieht durch die obere Öffnung des Schachtes, welche man Sicht nennt. Rund um die Sicht läuft eine Tribüne; sie ruht auf eisernen Trägern, welche mit mehreren den Ofen umlaufenden Galerien verbunden sind. Durch Heben und Senken eines konischen Verschlusses läßt sich die Sicht öffnen und schließen. Durch ein senkrecht in den Ofen hineingehängtes Rohr entweichen die Sichtgase, die durch die Einwirkung der Luft auf den Koks entstehen.

Die Luft, oder wie man sagt, der Wind, wird durch Gebläsemaschinen hineingepreßt. Diese treibt man mit Dampf oder

vorteilhafter mit Gas kraftmaschinen, seitdem es gelungen ist, die Gichtgase von Flugstaub zu reinigen und so für Gasmotoren nutzbar zu machen. Hierbei wirken die Gichtgase durch ihren großen Gehalt an Kohlenoxyd, welches brennbar ist. Der Flugstaub setzt sich zum Teil in dem rechts auf der Abbildung sichtbaren weiten Behälter („Staubsaß“) ab. Es folgt die vollkommene Entfernung des Staubes durch Benetzen mittels eingespritzten Wassers und Schleudern mit großen Flügelrädern.

Die Zuführung des Windes geschieht durch die um den unteren Teil des Ofens gelegte Ringleitung und von da schräg nach unten durch Zweigleitungen, die im Ofeninnern enden. Sie bestehen außen aus Eisen, innen aus Bronze, deren Wandung hohl und von Wasser durchflossen ist, so daß sie nicht schmilzt.

Sobald der Wind in den Ofen tritt, verbrennt er den Kohlenstoff zu Kohlenoxyd. Dieses entzieht dem Erz seinen Sauerstoff, und das Eisen tropft ab. Im Jahre 1829 fand der schottische Ingenieur J. B. Neilson, daß der Verbrauch von 8 t Koks pro Tonne erzeugten Eisens auf 5 t sank, und daß gleichzeitig die Wochenproduktion von 110 auf 162 t stieg, wenn er den Wind vor Eintritt in den Ofen auf 149°C erhitzte. Diese Erfindung entwickelte sich zur wichtigsten der ganzen Hochofentechnik, denn durch Vorerhitzung des Windes auf $700\text{--}800^{\circ}$ hat man die Reaktion im Hochofen in früher ungeahnter Weise beschleunigt. Man braucht zurzeit kaum 1 t Koks zur Herstellung von 1 t Eisen, und die Erzeugung innerhalb 24 Stunden bewegt sich zwischen 100 und 500 t.

Seit 1857 erhitzt man den Wind in den nach E. A. Cowper benannten Kuppelförmigen Türmen. Sie sind mit feuerfesten Steinen ausgefüttert und nehmen die Hitze eines Teiles der Gichtgase auf, die man in einem Turm abbrennen läßt. Nachdem das etwa zwei Stunden gedauert hat, werden die Gichtgase einem zweiten Turm zugeführt, während man durch den ersten den Wind dem Hochofen zupreßt. Nach weiteren zwei Stunden hat Turm 1 seine Hitze an den Wind abgegeben, Turm 2 ist zur Winderhitzung reif geworden. So geht es abwechselnd mit mehreren Cowpertürmen, deren drei auf der Abbildung links vom Hochofen sichtbar sind.

Die Erzeugnisse des Hochofens sind, außer den Gichtgasen, Schlacke und Eisen, die beide am Boden des Ofens,

im sogenannten Gestell sich ansammeln. Die Schlacke als das leichtere schwimmt auf dem Eisenfluß und wird von Zeit zu Zeit aus einem Stichloch abgelassen. In früheren Zeiten war die Schlacke ein lästiges Abfallprodukt, aber die Notwendigkeit jeder fortschreitenden Industrie, möglichst alles zu verwerten, führte zuerst zur Fabrikation von „Schlackensteinen“ zu Wegebauten, dann zu der einträglicheren des „Eisenportlandzementes“. Portlandzement ist das 1824 in England erfundene, heute in bester Qualität in Deutschland hergestellte Glühprodukt von Ton und Kalkstein. Es hat die merkwürdige Eigenschaft, mit Wasser zu erhärten, und dient als „hydraulischer Mörtel“ zu den entsprechenden Bauten. Insofern die Zuschläge der Hochofenbeschickungen oder die Eisenerze ton- und kalkhaltig sind, müssen auch Schlacken zementähnlich sein, und vollwertigen Zement erhält man, wenn man Schlacke außerhalb des Hochofens mit Kalkstein brennt. Zu dem Zwecke haben manche Hochofenwerke ihren Betrieb durch eine Schlackenzementfabrik erweitert, nachdem es gelungen ist, den sehr strengen Anforderungen, die man an Portlandzement stellt, zu genügen.

Unter der Schlacke sammelt sich im Hochofen das Eisen an und zwar nicht wie in den alten kleinen Öfen als zäher Klumpen, sondern flüssig wie Wasser. Es fließt darum ab, sobald man nahe dem Boden eine Öffnung durchstößt, die bis zum geeigneten Moment mit Ton verstopft war. Das Eisen muß also nicht wie ehemals mühsam herausgezerrt werden, man kann es vielmehr wie aus einem Faß abzapfen und es in Formen von Sand strömen lassen. Dann wird das Spundloch so lange wieder verschlossen gehalten, bis neue Mengen des stetig eingefüllten Erzes zu Eisen geworden sind.

Hierin liegt der große Fortschritt gegen früher, der die Massenerzeugung ermöglichte. Dennoch war die Beschaffenheit des Hochofeneisens für diejenigen, die es im 15. Jahrhundert zum erstenmal in seiner heutigen Gestalt gewannen, eine unangenehme Überraschung. In dem Maße nämlich wie man die alten kleinen Öfen vergrößerte und durch Einpressen des Windes die Glut erhöhte, änderte man, ohne es zu wollen, die Beschaffenheit des Eisens. Denn das Produkt, das aus dem Hochofen abfließt, ist nicht mehr das gute Schmiedeeisen des Altertums und des Mittelalters. Es fliegt auf dem Amboss auseinander und hat insofern scheinbar keinerlei Wert. Wo solches Eisen in der ersten Zeit der

hohen Öfen erhalten wurde, glaubte man, es liege Nachlässigkeit vor und bestrafte die Arbeiter¹.

Hätte man in jener ersten Epoche der Hochofentechnik die chemische Analyse gekannt, so würde eine Kohlenstoffbestimmung gezeigt haben, was geschehen war. Dadurch, daß man die Hitze der Öfen steigerte, erhöhte sich gleichzeitig die Löslichkeit des Kohlenstoffs im Eisen bis auf etwa 5 %, während sie früher höchstens etwa 1,6 % betragen hatte. Mit letzterer Zahl und dem, was darunter liegt, hatte man, ohne es zu ahnen, durch Altertum und Mittelalter hindurch gerade diejenige Kohlenstoffmenge getroffen, die das richtige, für Schmiedeeisen und Stahl geeignete Kleingefüge gibt. Durch die gesteigerte Kohlenmenge mußte aber das Produkt andere Eigenschaften bekommen. Zunächst sank der Erstarrungspunkt um etwa 200°, weil alle Flüssigkeiten um so schwerer fest werden, je mehr von anderen Stoffen sie gelöst enthalten. Dies war eine günstige Änderung; sie bewirkte, daß die Masse im Hochofen flüssig blieb und ohne Unterbrechung abgezapft werden konnte. Zweitens aber erfolgte die Abscheidung des Kohlenstoffs so reichlich, daß das Eisen höchst ungünstig verändert wurde. Nach dem Erkalten erwies es sich nicht nur als hart, sondern auch als spröde. Es ist die Folge einer allzu dichten Häufung der Karbidteilchen. Unter Umständen übersteigt auch die Menge des gelösten Kohlenstoffs diejenige, welche das Eisen als Eisenkarbid zu binden vermag. In diesem Falle scheidet sich der Überschuß in Form des Graphits aus. Das Kleingefüge des Hochofeneisens sieht darum anders aus, als das von Schmiedeeisen oder Stahl. Tafel III Fig. 2 zeigt, wie sich mitten durch das reine Eisen (auf dem Bilde mit F bezeichnet) ein plumptes Graphitband zieht. Daneben erscheint reichlich Eisenkarbid. Verschwunden ist damit die Schmiedbarkeit des warmen Materials, die Elastizität des erkalteten. Hochofeneisen eignet sich weder zu Waffen noch zu Geräten.

Dagegen mußte eine Eigenschaft des Hochofeneisens auffallen, welche den Ausblick auf eine neue Industrie eröffnete. Es ist seine Gießbarkeit. Schon beim Hochofenabstich kann man sehen, mit welcher Leichtigkeit das Eisen in die regelmäßig geformten Sandbetten fließt. Das allein würde indessen noch nicht zum technischen Guß genügen. Wesentlich ist außerdem, daß die

¹ H. Wedding, Zeitschr. für angewandte Chemie 20, 946 (1907).

aus Lehm, Holz, Sand oder Eisen bestehenden Gußformen scharf ausgefüllt werden und beim Erkalten des Eingegossenen auch ausgefüllt bleiben. Andere Stoffe „schwinden“, d. h. sie ziehen sich zusammen und geben darum nicht die gewünschte Form.

Der französische Gelehrte Réaumur (1683—1757) erkannte diese Vorzüge des Hochofeneisens. Auf Grund seiner Veröffentlichungen entstand eine ausgedehnte Gußeisenindustrie, die sich vorher nur in einzelnen Ansätzen bemerkbar gemacht hatte. Anfangs benutzte man direkt das aus dem Hochofen Ausfließende zum Ausfüllen der Formen, später begann man die Massen zuerst erkalten zu lassen und dann vor dem Guß noch einmal umzuschmelzen. Man erzielt dadurch gleichmäßige Mischung („Gattierung“), während die zu verschiedenen Zeiten des Tages abgestochenen Eisenmassen je nach zufälligen Vorgängen im Hochofen voneinander verschieden sind. Früher gattierte man nach äußeren Merkmalen, heute spielt beim Hochofenbetrieb die chemische Analyse eine Rolle, weil für die Beschaffenheit der Ware nicht nur der Kohlenstoff, sondern auch eine Reihe anderer Elemente wesentlich sind, die aus den Erzen stammen und im Eisen verbleiben: Silicium, Mangan, Phosphor, Schwefel. Sie beeinflussen je nach ihrem Prozentgehalt die Härte des gegossenen Eisens, seine Elastizität und Beständigkeit gegen Stoß, Druck, Hitze, Säurewirkung und anderes. Da nun Gußeisen ganz verschiedenen Schädigungen widerstehen muß, je nachdem es für Maschinenteile und Wagenräder, oder Säulen oder Wasserröhren, Ofenplatten, chemische Geräte oder sonstige Dinge dienen soll, so muß die Beschaffenheit des Materials nach erfahrungsgemäß festgestellten Regeln durch geeignete Mischung dem jeweiligen Zweck angepaßt werden.

Wesentlich ist ferner, ob die Masse nach dem Gießen langsam oder rasch erkaltet. Ersteres tritt immer ein, wenn nicht besondere Vorrichtungen getroffen werden, und führt zu graphitischer Ausscheidung des Kohlenstoffs und damit zu einer gewissen Weichheit des Materiales, die den Wert der Gußwaren im allgemeinen nicht beeinträchtigt. Will man aber durch „Hartguß“ Eisenbahnräder oder Walzen herstellen, die nicht weich sein dürfen, so muß man den Gußstücken entweder dünne Wandungen geben oder sie in „Koquillen“, d. h. in eisernen Formen erstarren lassen. In beiden Fällen wird die Wärme rasch abgeleitet. Dadurch

scheidet sich der Kohlenstoff in den äußeren Schichten ähnlich wie beim Abschrecken des Stahles als Eisenkarbid aus, welches Härte verleiht.

V. Die Entkohlung des Roheisens.

Das im Hochofen erhaltene Eisen ist ein Halbfabrikat, das man darum Roheisen nennt. Bei seiner Verarbeitung zu fertiger Ware kann man sich nicht auf das Gießen beschränken; man will außerdem Schmiedeeisen und Stahl gewinnen, also den etwa 5 % betragenden Kohlenstoff des Roheisens auf 1,6 % und noch tiefer herabsetzen. Diese Operation wird als Frischen bezeichnet.

Der älteste Frischprozeß ergab sich allmählich und von selber dadurch, daß man versuchte, ungleichmäßige Ofenerzeugnisse durch Verschmelzen zu einheitlichen Massen zu vereinigen. Da hierbei ein Teil des Kohlenstoffs verbrennt, so mußte man die Beobachtung machen, wie aus Roheisen schmiedbares Eisen wird.

Daß man dieses Verfahren in großem Maßstabe zu einer Zeit ausbilden konnte, in der es keinerlei wissenschaftliche Führung gab, ist erstaunlich; denn wenn sich Kohlenstoff in Form von Graphit im Roheisen ausscheidet, so läßt er sich nur schwer verbrennen, weil von den drei Modifikationen, amorpher Kohlenstoff, Diamant und Graphit, der letztgenannte dem Sauerstoff am meisten widersteht. Infolgedessen gelingt es in den alten Frischfeuerherden nur durch dreimaliges Verschmelzen, graphitisches Roheisen zu entkohlen.

Die Eisentechniker des 16. Jahrhunderts hätten mit einem solch umständlichen Verfahren wohl kaum eine Großindustrie schaffen können, wäre ihnen nicht der Kampf zweier Elemente zu Hilfe gekommen, die geheimnisvoll im Roheisen walten und damals noch gänzlich unentdeckt waren: das Mangan und das Silicium.

Mangan und Silicium begleiten in wechselnden Mengen das Eisen in Form von Braunstein und von Quarz in seinen Erzen und sind in diesen Mineralien gleich dem Eisen an Sauerstoff gebunden. Letzterer wird ihnen im Hochofen entrissen, und nun lösen sich im Roheisen Mangan und Silicium zugleich mit dem Kohlenstoff. Alle drei Elemente scheiden sich beim Erkalten aus, und hierbei äußern sich ihre chemischen Kräfte durch eine eigentümliche Beeinflussung des Kohlenstoffs. Dessen Verbindung

mit dem Eisen wird durch Silicium gehindert, durch Mangan befördert. Infolgedessen scheidet sich der Kohlenstoff für sich allein und zwar als Graphit aus, wenn der Hochofen ein Eisen mit viel Silicium und wenig Mangan liefert. Das betreffende Produkt wird als graues Roheisen (s. Tafel III Fig. 2) bezeichnet, weil die reichlich ausgeschiedenen Graphitblätter ihm diese Farbe geben. Es enthält 2—3 % Silicium und höchstens 1 % Mangan.

Beträgt dagegen der Gehalt an Silicium weniger als 1 %, so kommt der Einfluß des stets vorhandenen Mangans voll zur Geltung, selbst wenn dessen Menge nur Bruchteile von 1 % ausmacht, und er wird um so stärker, wenn der Mangangehalt, was oft der Fall ist, auf 3 % und noch weiter ansteigt. Der Kohlenstoff scheidet sich dann nicht als Graphit aus, sondern in derselben Weise an das Eisen gebunden wie im Schmiedeeisen. Feine Teilchen von Eisenkarbid durchziehen die Masse (Tafel V Fig. 1). An frischen Bruchstellen ist das Gefüge hell und weißkörnig, weshalb man dieses Hochofenerzeugnis weißes Roheisen nennt. Es eignet sich zwar wegen seiner Sprödigkeit nicht zum Schmieden, wohl aber, im Gegensatz zum grauen Roheisen, vortrefflich zur Verarbeitung auf schmiedbares Eisen. Denn der Kohlenstoff ist in Form des Eisenkarbids verhältnismäßig leicht entzündbar, läßt sich also durch Schmelzen der Masse unter Luftzufuhr auf dasjenige Maß reduzieren, das dem schmiedbaren Eisen entspricht.

Welche Art des Roheisens man erhält, hängt selbstverständlich zunächst von der Art der Erze ab, dann aber auch von der Hochofenführung. Zuerst wird nämlich das Eisen aus seinen Oxyden ausgeschieden, erst bei höherer Temperatur das Mangan, und zuletzt das Silicium. Verwendet man also nur so viel Brennstoff und regelt man den Wind so, daß die Hitze eine mäßige bleibt, so bildet sich nur wenig Silicium, das meiste bleibt an Sauerstoff gebunden in der Schlacke. Infolgedessen entsteht weißes Roheisen. Steigert man aber die Glut, bis auch dem Quarz sein Sauerstoff entrissen, also Silicium gebildet wird, so ist das Roheisen grau. Der Hochöfner kann also durch Ofenbeschickung und Ofenführung nach Belieben graues oder weißes Roheisen erzeugen. Durch Kombination der verschiedenen Arbeitsbedingungen entsteht ein Produkt mittlerer Zusammensetzung, das sogenannte halbierte Roheisen.

Nachdem man diese verwickelten chemischen Verhältnisse zuerst empirisch und später wissenschaftlich erkannt hatte, benutzte man das graue Roheisen vorzugsweise zum Guß.

Halbirtes Roheisen dient zweckmäßig zum „Erzglühfrischen“, d. h. zum teilweisen Entkohlen fertiger Gußwaren, deren Form man durch nachträgliches Bearbeiten vervollkommen will. Dieses Verfahren wurde 1721 von Réaumur erfunden. Es besteht im Einpacken der Gußstücke in gepulvertes Eisenerz und Erhitzen bis zu einer Temperatur, bei welcher die Ware nicht schmilzt, wohl aber so stark glüht, daß der Sauerstoff des Eisenerzes einen Teil des Kohlenstoffs verbrennt. Das Gußeisen wird dadurch zum „schmiedbaren Guß“. Es hat seine Sprödigkeit verloren und läßt sich zur Veredlung der äußeren Gestalt zurechthämmern.

Das weiße Roheisen endlich erwies sich als besonders geeignet zur Erzeugung von schmiedbarem Eisen, und so entwickelte sich neben der Gießereitechnik ein neuer Teil der Eisenindustrie: die Entkohlung des Hochofeneisens. Sie geschieht nach den Verfahren, die sich an die Namen Cort, Bessemer, Thomas, Gilchrist, Siemens und Martin knüpfen. Man ist gewohnt, mit diesen Namen die Erinnerung an Entdeckungen von der allergrößten Tragweite zu knüpfen, und schon daraus läßt sich erkennen, wie sehr die Eisentechnik der letzten Jahrhunderte bis in unsere Zeit hinein von der Frage nach der besten Methode zur Entkohlung des Hochofeneisens beherrscht wird.

Diese Frage wäre keine so schwierige gewesen, hätte nicht das 18. Jahrhundert der Eisentechnik ein neues und minderwertiges Brennmaterial aufgezwungen, die Steinkohle.

Solange die Waldbestände ausreichten, um den Bedarf an Holzkohle zu decken, entkohlte man das Eisen durch das sogenannte Herdfrischen, d. h. man entzündete Holzkohle in offenen Herden, legte darein das Roheisen und verbrannte dessen Kohlenstoff durch kräftig aufgeblasene Luft. Nach etwa drei Stunden ist die Kohlenstoffmenge soweit gesunken, daß Schmiedeeisen entstanden ist. Bei kürzerer Dauer des Frischens erhält man Stahl. Da die Holzkohle sehr rein ist und keine dem Eisen schädliche Substanz an dieses abgibt, so lassen sich durch das Herdfrischen Schmiedeeisen und Stahl von vorzüglicher Beschaffenheit erzeugen. Das Verfahren hat sich in holzreichen Ländern gehalten; darum kommen die besten Hufnägel aus Schweden.

Als sich nun mit der Zeit die Wälder lichteteten, und der Bedarf an Eisen und Stahl immer mehr zunahm, mußte man darauf sinnen, für den Hochofen sowohl wie für das Frischfeuer die Steinkohle nutzbar zu machen, die man schon seit dem frühen Mittelalter in geringem Umfange bergmännisch förderte und im Hause und in der Schmiede verwendete. Zur Eisenerzeugung aber eignete sich Steinkohle nicht ohne weiteres, da ihr die Härte und Reinheit der Holzkohle abgeht. Im Hochofen erweicht sie und verhindert dadurch den Durchgang der eingepreßten Luft. Beim Frischen gibt sie Schwefel an das Eisen ab; ein mit Stein-

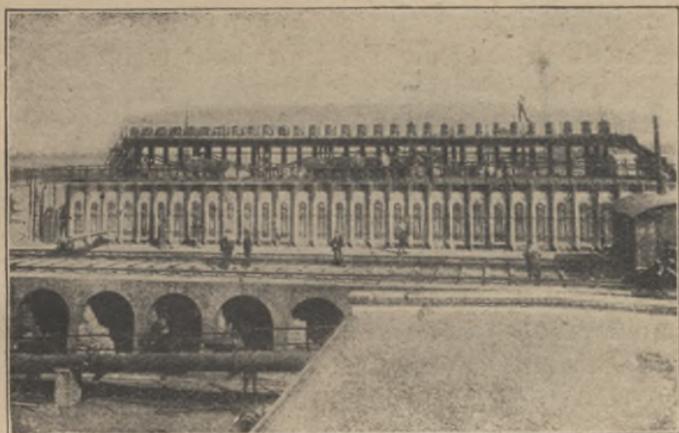


Fig. 3. Kokssofen.

kohle gefrischtes Material zeigt unter dem Mikroskop dunkle Einschlüsse von Schwefeleisen (Tafel V Fig. 2). Sie zerstören das Gefüge und veranlassen „Rotbruch“, d. h. eine Sprödigkeit, die beim Schmieden schon bemerkbar wird, wenn der Schwefelgehalt nur 0,01 % beträgt, und bei 0,04 % die Schmiedbarkeit ganz verhindert.

Somit hatte man bei der Aufgabe der Entkohlung von Roheisen zwei große Schwierigkeiten zu überwinden. Die erste betraf die Erzeugung des zu entkohlenden Roheisens mit Hilfe von Steinkohle und die zweite die Entkohlung unter Anwendung desselben Brennmaterials.

Die Verwendung der Steinkohle im Hochofen wurde erst durch ihre Umwandlung in Koks möglich, die darin besteht, daß man die Kohle ähnlich wie das Holz im Meiler von allem flüchtigen

befreit. Die zurückbleibende Masse enthält fast gar keine Kohlenwasserstoffe mehr, sondern der Hauptsache nach Kohlenstoff, welcher im Hochofen nicht erweicht und ihn darum nicht verstopfen kann.

Dieses Verfahren wurde, soweit bekannt, im Jahre 1584 auf Anregung des Herzogs Julius von Braunschweig-Lüneburg im Harz zum ersten Male ausgeführt. Es verbreitete sich dann langsam vorzugsweise in England. Man arbeitete anfangs mit bienenkorbartigen Öfen, die den Holzmeilern ähnelten, in England noch im Gebrauch sind und sich bis in die 1880er Jahre hinein auch in Deutschland gehalten haben. Seither sind durch Hüßener in Gelsenkirchen und Andere die Koksöfen so abgewandelt worden, daß die Heizkraft der ausgetriebenen Gase nicht verloren geht, sondern zur Verkokung nutzbar wird. Zu dem Zwecke schüttet man die Kohle in schmale gemauerte Ofenkammern, die zu einer langen Batterie vereinigt nebeneinander liegen (Fig. 3). Über jeder Kammer sind Öffnungen zum Einfüllen der Kohle und zum Abziehen der Destillationsgase, die so geführt werden, daß sie zum Teil wieder in die Ofenbatterie und zwar zwischen die Seitenwände von je zwei Öfen gelangen. Unter der Ofensohle tritt die Luft ein, die zum Verbrennen der Heizgase dient. Die Verkokung dauert etwa 24 Stunden. Man öffnet dann die Türen an den beiden Enden eines jeden Ofens, befördert durch den Kolben einer Stoßmaschine den noch glühenden Koks heraus und löscht ihn mit Wasser ab. Der so erhaltene Koks wird „Zechenkoks“ genannt, weil man ihn vielfach auf den Kohlenzechen, also in unmittelbarem Anschluß an die bergmännische Förderung gewinnt. Er ist hart und „klingend“, d. h. er gibt beim Anschlagen einen fast metallischen Ton; das rührt von der Festigkeit her, die ihm durch geeignete Auswahl der Kohle und den Druck infolge der Schütthöhe der Öfen verliehen wird. Im Gegensatz dazu hat der Gaskoks (s. Kap. VI) geringere Festigkeit, weil er aus anderen Kohlen und meist bei geringerer Schütthöhe hergestellt wird.

Bei der Herstellung von Zechenkoks fallen als wertvolle Nebenprodukte Leuchtgas, Teer, Benzol und Ammoniak ab. Vgl. darüber am Schluß von Kapitel VI.

Die zweite Erfindung, durch welche die Anwendung von Steinkohle bei der Eisenerzeugung ermöglicht wurde, betraf die Entkohlung des Roheisens. Hierfür war man trotz der Ent-

deckung des Koffes nach wie vor auf das Frischen im Holzkohlenfeuer angewiesen, weil bei der Verkokung nicht aller Schwefel ausgetrieben wird. Der beste Koks enthält immer noch etwa 0,8 % des lästigen Elementes. Es gelingt, dessen Übertritt in das Eisen im Hochofen bis zu einem gewissen Grade dadurch zu verhindern, daß man Kalkstein zugibt, der den Schwefel bindet und in die Schlacke führt; wollte man aber im Frischfeuer Koks verwenden, so würde dessen Schwefel nur zum Teil in die Schlacke gehen und der Hauptsache nach im Eisen bleiben. Man war also beim Erzeugen von Schmiedeeisen und Stahl selbst nach Erfindung des Koffes immer noch auf die Holzkohle angewiesen, und auf dieser Basis hätte sich eine Großindustrie des Eisens nicht entwickeln können.

Ein Londoner Kaufmann, Henry Cort, der durch seinen Handel mit Eisen zu technischem Denken angeregt wurde, gab im Jahre 1784 den Weg an, wie man beim Feuern zwecks Entkohlung des Roheisens die Holzkohle durch Steinkohle ersetzen und außerdem die Fabrikationsdauer auf ein siebentel der beim Herdfrischen notwendigen Zeit mindern könne. Cort hat dadurch dem Rade der Welt- und Wirtschaftsgeschichte einen stärkeren Schwung gegeben als irgendein Herrscher, Staatsmann oder Heerführer. Denn erst seine Erfindung schuf den großen offenen Weg zwischen Kohle und Eisen, die Nutzbarmachung von Steinkohle und Eisenerz für einander in riesenhaftem Umfang. Das wirtschaftliche Emporblühen zuerst von England und später das der anderen Industrieländer datiert seit jener Zeit; denn erst jetzt war überhaupt die Möglichkeit gegeben, rasch und billig und in ganz beliebigen Mengen gute Waffen und Werkzeuge und in der Folge Maschinen, Schiffe, Lokomotiven, Brücken und Bauten aus den Eisenerzen hervorzuzaubern. Cort war Zeitgenosse von James Watt, dem Erfinder der Dampfmaschine, und von Nikolaus Leblanc, der zuerst künstliche Soda darstellte, wodurch die Fabrikation von Glas und die von Seife sich zu Großindustrien auswachsen konnten. Von diesen drei Genies, die eine neue Zeit heraufzwangen, ist nur Watt zu Reichtum und Ehren gekommen. Leblanc verschlang die Wogen der französischen Revolution; nachdem der Staat sein Patent widerrechtlich konfisziert hatte, endete er durch Selbstmord. Cort hatte das Unglück, als Kompagnon einen Kapitalisten zu finden, der durch Veruntreuung von Staatsgeldern reich

geworden war. Als der Betrug, von dem Cort nachweislich nichts wußte, ans Licht kam, legte der Staat nicht nur auf das Betriebskapital der Firma die Hand, sondern er eignete sich auch das Cort'sche Patent an. Es ist festgestellt¹, daß diese scheinbare Rechtshandlung der Behörde ein Diebstahl war, da sich schon damals der Wert der Cort'schen Erfindung auf Millionen beziffern ließ, während die unterschlagene Summe nur nach Tausenden zählte. Cort starb in Armut, seiner Witwe gewährte man ganze 100 £ jährliche Unterstützung.

Die Erfindung von Cort, obwohl von weltumfassender Bedeutung, war doch von verblüffender Einfachheit. Sie bestand

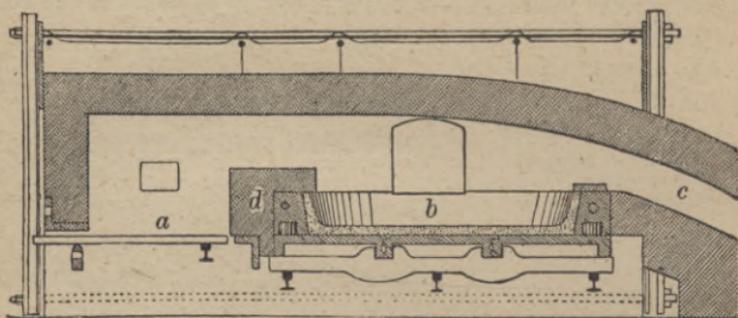


Fig. 4. Längsdurchschnitt durch einen Puddelofen.

a Rost, b Herd, c Fuchs, d Fuchsstücke zum Verhindern der seitlichen Einwirkung der Flamme.
(Aus John, Schulchemie.)

in der Anwendung eines „Flammofens“ (Fig. 4) und in der Durchrührung des Metallbades, dem Puddeln, das dem Verfahren dem Namen gegeben hat.

Flammöfen sind durch die Trennungen von Brennstoff und flamme charakterisiert. Der Brennstoff liegt im „Feuerungsraum“ auf dem Rost a. Eine niedrige Wandung d zwingt die vom Rost aufsteigenden brennenden Gase, ihren Weg zuerst nach oben zu nehmen, sich hier infolge der Verengung des Kanalquerschnittes gründlich mit der Verbrennungsluft zu mischen und von da aus auf das Metallbad hinabzuschlagen, bevor sie durch c abziehen. In den „Herdraum“ b hat man das Roheisen gebracht. Somit berührt die Kohle das Eisen nicht und letzteres bleibt darum frei von Schwefel. Die Flamme bringt das Eisen

¹ Beck, Geschichte des Eisens 1891—1899. Bd. 3, S. 695. Diefem Werke sind auch die meisten übrigen das Eisen betreffenden geschichtlichen Notizen entnommen.

zum Schmelzen; der mit der Flamme eindringende Luftsaurestoff, mehr noch der Sauerstoff von Schlacke, mit der man den Herd beschickt, verbrennt den Kohlenstoff des Roheisens. Durch Umrühren der Eisen- und Schlackenmasse mit einem langen eisernen Haken bringt der Puddler das Eisen in gründliche Berührung mit dem Sauerstoff, so daß die Entkohlung nach etwa zwei Stunden beendet ist.

So war durch die Verwendbarkeit der Steinkohle die Schranke gefallen, mit welcher die Spärlichkeit der Holzkohle und die Langsamkeit des Herdfrischverfahrens die Eisenindustrie umgeben hatten; und jetzt setzte ein früher ungeahnter Bedarf an Kohle und Eisen gleichzeitig ein. Im Jahre 1769 war Watts berühmte Patentschrift erschienen: „Eine Verbesserung in dem Verfahren, einen luftleeren Raum in einem Dampfzylinder zu erzeugen.“ Als einige Jahre später darauf die ersten Dampfmaschinen verkaufsfertig wurden, kamen sie dem Kohlenbergbau zugute. Man war nunmehr in stand gesetzt, das Wasser aus den Schächten mit Dampfkraft herauszupumpen und die Kohlenförderung in dem Maße zu steigern, wie durch die Einführung der Wattschen Maschinen in die mannigfachen Industriezweige der Bedarf anwuchs.

Bald entstanden aus dem Zusammenwirken von Kohlen- und Eisenindustrie Dampfschiff- und Eisenbahnbau. 1802 fuhr das erste brauchbare Dampfschiff auf dem Forth-Clyde-Kanal, 1838 wagte man die Fahrt von Bristol nach New-York. 1825 führte George Stephenson den ersten Bahnzug von Stockton nach Darlington.

Zu allem lieferten die Puddelwerke das Material.

Mit der Verfeinerung des Puddeleisens wurde der Weltruhm des Hauses Krupp begründet. Einem britischen Uhrmacher, Benjamin Huntsman, der übrigens von deutschen Eltern stammte, war es bereits 1740 gelungen, Cementstahl durch Umschmelzen in Contiegeln zu reinigen. Hierbei steigen etwaige eingeschlossene Luftblasen und Schlackenteilchen nach oben; durch Zusammengießen des in mehreren kleinen Contiegeln geschmolzenen Materiales erhält man große Blöcke von homogenem „Gußstahl“, auch „Tiegelstahl“ genannt. Diese ursprünglich rein britische Stahlindustrie wurde im Jahre 1811 von Friedrich Krupp aufgenommen. Es war das eine der vielen für Deutschland segensreichen Folgen der Napoleonischen Kontinentalsperre,

welche große Industriezweige auf dem Festlande entstehen ließ. Die Entwicklung der Essener Gußstahlfabrik unter Leitung von Friedrichs genialem Sohn Alfred Krupp war kurz folgende¹: 1843 Herstellung der ersten Gewehrläufe aus Tiegelstahl; 1847 das erste Geschützrohr (3-Pfünder). 1851 stellte Krupp in London einen 2250 kg schweren Gußstahlblock und eine 6-Pfünder-Gußstahl-Kanone aus. 1855 Ausstellung eines 5000 kg Gußstahlblockes und einer 12-Pfünder-Kanone in Paris. 1862 Ausstellung eines 20000 kg Gußstahlblockes und einer 22,9 cm-Kanone in London. 1867 Pariser Ausstellung, Gußstahlblock von 40000 kg und 35,5 cm-Kanone. 1876 Ausstellung einer 35,5 cm-Kanone in Philadelphia. Rohrgewicht 57500 kg, Länge 8 m. 1885 Herstellung von 40 cm-Geschützen, Rohrgewicht 57500 kg, Länge 14 m. 1902 Ausstellung einer 45 m langen, 80000 kg schweren Schiffswelle aus Tiegelstahl in Düsseldorf; der Gußstahlblock wurde aus 1786 Tiegeln mit je 45,5 kg Inhalt hergestellt.

Da Tiegel, welche eine gewisse Größe überschreiten, nicht so durchheißt werden können, daß die umzuschmelzende Stahlmasse in Fluß gerät, so erregte Krupps Ware anfangs Erstaunen, man suchte daher hinter seinem Verfahren ein besonderes Geheimnis. Dieses besteht aber lediglich in der pedantischen Pünktlichkeit, mit der viele kleine Tiegel zu bestimmten Zeiten auf die Temperatur des schmelzenden Stahles gebracht werden, so daß man sie nacheinander in eine große Form entleeren kann.

Die Gußstahlerzeugung ist quantitativ durch die Verfahren von Bessemer, Siemens und Martin übertroffen worden, qualitativ aber ist der Gußstahl nach wie vor allen anderen Stahlarten überlegen, weil er in verschlossenen Tiegeln entsteht und dabei wohl von Luftblasen gereinigt wird, nicht aber neue Luft aufnimmt. Die anderen Stahlarten dagegen werden bei starker Luftzufuhr dargestellt. Das macht die nachfolgende Entfernung der anhaftenden Luftreste durch „Desoxydationsmittel“ nötig; und da diese im Stahl verbleiben und seine chemische Zusammensetzung beeinflussen, so hat er nicht die große Reinheit des Tiegelstahles.

¹ Diese Zusammenstellung ist den Angaben im Deutschen Museum zu München entnommen. Vgl. ferner das von der Firma Krupp herausgegebene schöne Werk: „Zur Hundertjahrfeier der Firma Krupp“ und „Krupps Gußstahlfabrik“ von Prof. F. C. G. Müller, Düsseldorf, bei A. Bagel, 1911.

Indem die Schmelzung im Tiegel sich neben dem Puddeln zur Großindustrie entwickelte, begann die heute geltende Zweiteilung in der Benennung von schmiedbarem Eisen. Man versteht unter Schweißeisen und Schweißstahl die Produkte des Puddelns, weil sie in einzelnen teigigen, durch Schlacke getrennten Klumpen entstehen, die durch nachträgliches Erhitzen bis zur Weißglut und durch Hämmern oder Drücken zusammengeschoßelt werden müssen, wobei sich die rein metallischen Teile vereinigen und von Schlacke befreien. Ob dabei Schweißeisen oder Schweißstahl entsteht, hängt davon ab, wie lange das Puddeln gedauert hat, d. h. bis zu welchem Grade der Kohlenstoffgehalt des Roheisens vermindert worden ist.

Im Gegensatz zu Schweißeisen und Schweißstahl nennt man Flußeisen und Flußstahl¹ solche Schmiedeeisen- und Stahlsorten, die in vollkommen flüssigem Zustande entstehen, sich leicht gießen lassen und die von selber ihre Schlacke absondern, ähnlich wie Wasser das Öl, und darum keiner nachträglichen Schweißung bedürfen. Hierher gehört der Gußstahl, und zu ihm gesellten sich im 19. Jahrhundert die Flußeisen- und Stahlsorten, welche die Erzeugnisse des Puddelns in den Hintergrund drängten. Obgleich nämlich das Verfahren von Cort, ebenso wie das von Huntsman, nach mehr als hundert Jahren immer noch lebensfähig ist, war ihm doch ein ähnliches Schicksal beschieden wie manchen tragischen Persönlichkeiten, welche große Firmen oder Staaten geschaffen haben: ihre eigene Schöpfung wächst ihnen über den Kopf und stößt sie insollgedessen aus. Denn nachdem das Puddelverfahren die Materialmasse geliefert hatte, ohne welche der maschinelle Großbetrieb sich nicht hätte entwickeln können, kam die Zeit, wo man den Bedarf nicht mehr befriedigen konnte, insbesondere nicht den der Eisenbahnen. Es mußte ein ganz neues, ein Schnellverfahren erfunden werden, um Roheisen zu entkohlen.

Man sagt, daß Kinder und Betrunkene in kritischen Lagen Glück haben; man könnte hinzufügen, auch Laien, wenn sie den steinigten Pfad des Erfindens beschreiten. Mit der ganzen Frische der Unkenntnis gelangen sie zu Zielen, die der Fachmann vielleicht nie erreicht hätte, weil er im Bewußtsein der Schwierigkeiten und aus Furcht vor Enttäuschung den Einsatz an Arbeits-

¹ Vgl. H. Wedding, Über die Fortschritte in der Flußeisenerzeugung, Zeitschr. f. angewandte Chemie 20, 945 (1907).

Kraft, Zeit und Geld nicht wagt, den jede Erfindung erfordert. Nur ein Dilettant, ein der Schwierigkeiten Unkundiger konnte auf den Gedanken kommen, den im Jahre 1856 der Londoner Bronzefarbenfabrikant Henry Bessemer unter allgemeinem Kopfschütteln der versammelten Fachleute öffentlich aussprach. Er empfahl, geschmolzenes Roheisen in ein birnenförmiges Gefäß aus feuerfestem Ton zu gießen und in die glühende Masse Luft

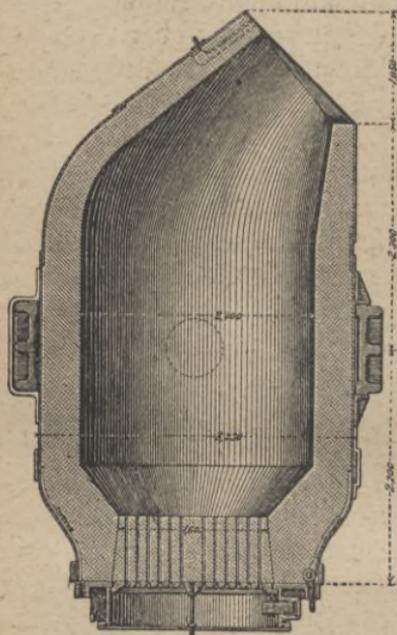


Fig. 5. Nach Simmersbach, Eisenindustrie 1906.

hineinzupressen; sie sollte den Kohlenstoff verbrennen, ähnlich wie im Hochofen der eingepresste Wind den Koks entzündet. Dabei tritt im Hochofen selbstverständlich eine Steigerung der Glut ein, weil er reichlich mit Brennmaterial versehen ist. Dagegen war bei Bessemers Versuch zu erwarten, der Luftstrom werde kühlend wirken und das Eisen zum Erstarren bringen, da die Verbrennung von je 1 % Kohlenstoff im Roheisen dessen Temperatur nur um 6° steigert und mehr als 5 % Kohlenstoff im Hochofeneisen nicht enthalten sind.

Aber dem kühnen Versuch Bessemers kamen das Silicium und das Mangan des Roheisens zu Hilfe. Man hat später festgestellt, daß die Verbrennung von je 1 % Silicium die Temperatur um 190° erhöht, die von je 1 % Mangan um 46°. Enthält also ein Roheisen von ersterem 2, von letzterem 3 %, so bedeutet das Einblasen von Luft eine Temperaturzunahme von 518°, und das ist der Grund, weshalb durchaus kein Erstarren erfolgt. Bessemer wußte nichts von diesen ihm freundlichen Naturkräften, aber er sah ihre Wirkung. Kaum hatte er durch die Öffnungen am Boden seiner Birne (Fig. 5) Luft hineingepresst, als der zähe Fluß des geschmolzenen Roheisens zu sprühen begann und so beweglich wurde wie Wasser. Selbst bei einem Einsatz von 8 t Roheisen werden im Lauf einer halben

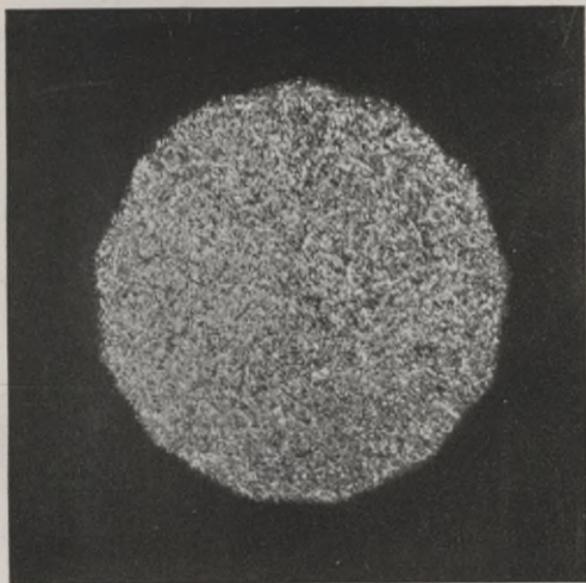


fig. 1. Stahl mit 0,95 Prozent Kohlenstoff, bei 750° abgeschreckt, 3 Stunden bei 405° angelassen. 350fache lineare Vergrößerung.
 Von E. Heyn (vgl. Materialprüfungsamt, Abt. für Metallographie).



fig. 2. Graues Roheisen mit 3 Prozent Graphit. 350fache lineare Vergrößerung.
 Von E. Heyn (vgl. Materialprüfungsamt, Abt. für Metallographie).

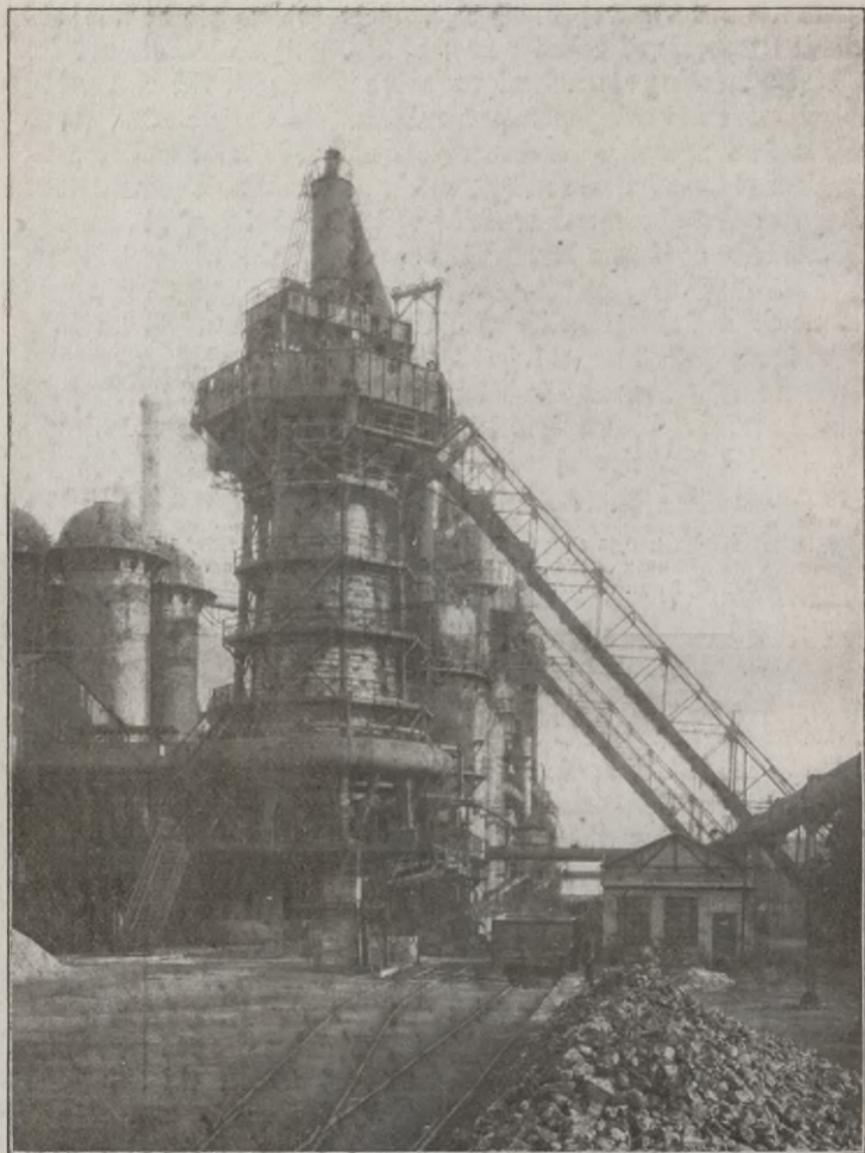


Fig. 3. Neuzeitlicher Hochofen.

(Aus „Gemeinsame Darstellung des Eisenhüttenwesens“, herausgegeben vom Verein deutscher Eisenhüttenleute, Düsseldorf 1915.)

Stunde Silicium, Mangan und Kohlenstoff fast restlos abgebrannt. Der oxydierte Kohlenstoff entweicht gasförmig aus der Birne, die übrigen Sauerstoffverbindungen gehen in die Schlacke; selbst das sprödeste Hochofeneisen ist weich, rein und schmiedbar geworden. Es wird durch Umkippen der Birne, die man darum Converter nennt, ausgegossen.

Dieses Verfahren liefert in 20 Minuten so viel Eisen wie ein Puddelofen in vier Tagen und das Herdfrischen in vier Wochen. Die heutige Eisenindustrie, insbesondere die Umspannung der Erde mit einem Schienennetz, wäre ohne Bessermers Verfahren undenkbar. Daß sich das Puddelverfahren noch gehalten hat, liegt an den geringeren Anlagekosten und an der besseren Schweißbarkeit, wie sie der Schmied bei den Arbeiten im Kleingewerbe braucht; sie scheint durch die kleinen Schlackeneinschlüsse bedingt zu sein.

Das Bessmereisen ist so kohlenstofffrei, daß man ihm wieder Kohlenstoff zuführen muß, um Flußstahl zu erhalten. Man benutzt dazu einige Prozent „Ferrömangan“ und „Spiegel-eisen“, die im Hochofen aus stark manganhaltigen Eisenerzen gewonnen werden und ein um so größeres Lösungsvermögen für Kohlenstoff haben, je manganhaltiger sie sind. Im übrigen wirkt das Mangan als „Desoxydationsmittel“; es bindet die vom Luft einpressen herrührenden Sauerstoffteilchen und führt sie in die Schlacke. Die Entfernung des Sauerstoffs geschieht, weil dieses Element anderenfalls mit dem Eisen Ferrooxyd bilden würde, und schon kleine Einschlüsse davon das Gefüge stören, indem sie Rotbruch verursachen; d. h. das Metall ist in der Hitze spröde und darum nicht verarbeitbar.

Bessemer beschickte seine Birne mit kleinen Mengen Roheisen. Chargen von 1 t galten als groß. Seither hat man sie auf 15—25 t erhöht. Eine dem ursprünglichen Verfahren ähnliche Arbeitsweise hat man in den 1890er Jahren wieder aufgenommen. Man nennt sie „Kleinbessern“. Der Einsatz beträgt $\frac{1}{2}$ bis 3 t, die Luft prallt durch seitlich angebrachte Düsen von oben auf das Bad und erhitzt durch dieses freie Anprallen und infolge der Kleinheit der Charge das Metall viel stärker als beim Arbeiten in größeren Dimensionen. Infolgedessen ist der Flußstahl, der erhalten wird, leichter flüssig als bei den großen Birnen; dadurch ist man in den Stand gesetzt, dünnwandige Stahlstücke zu gießen, ohne daß der Guß durch die Abkühlung unvollkommen wird.

Mit der Erfindung des Converterverfahrens hatte nicht nur Bessmer ein außergewöhnliches Glück, sondern vor allem auch wieder einmal England. Die Natur dieses bevorzugten Landes schien mit Sir Henry Bessmer im Bunde zu sein. Britische Erze, insbesondere die aus Cumberland, gaben eine prachtvolle Ware. Als man aber das Roheisen des Festlandes in den Converter brachte, entstand in vielen Fällen ein unbrauchbares Flußeisen, d. h. in seinem Gefüge stimmte etwas nicht, denn unvermutet brachen die stärksten Stücke während des Gebrauches. Der Grund ist folgender:

Neun Zehntel aller europäischen Eisenerze haben einen derartigen Gehalt an Phosphaten, daß bis zu 3 % Phosphor ins Roheisen übergehen. Wenn mehr als etwa 0,1 % davon im schmiedbaren Eisen bleibt, so ist auf dessen Festigkeit kein Verlaß. Phosphor erzeugt „Kaltbruch“, ebenso wie Schwefel „Rotbruch“. Nun gelingt es leicht, den Phosphor beim Puddeln zu entfernen, indem man den Herd mit Eisenoxyd ausfüttert. Letzteres hat chemisch den Charakter einer „Base“, d. h. es vereinigt sich mit „Säuren“ und verschluckt darum das Verbrennungsprodukt des Phosphors, die Phosphorsäure¹, P_5O_5 ; denn diese hat, wie die chemische Bezeichnung ausagt, die Natur einer Säure.

Ein solcher Chemismus läßt sich in Bessmers Birne nicht verwirklichen, da die Temperatur hier eine viel höhere ist als im Puddelofen, und eine Ausfütterung von Eisenoxyd schmelzen würde. Bessmer formte darum die innere Birnenwandung aus einem beständigeren Material, das der Hauptsache nach aus Kieselsäure (Quarz) besteht. Ungünstigerweise ist nun der saure Charakter der Kieselsäure stärker ausgeprägt als der der Phosphorsäure. Welche Base man darum auch zur Bindung der letzteren hinzusetzen mag, stets wird sie von der Kieselsäure und nicht von der Phosphorsäure beschlagnahmt werden. Damit verschwindet die Möglichkeit, nach dem „sauren Verfahren“ von Bessmer phosphorhaltiges Eisen zu verarbeiten. Zugleich ergibt sich ein theoretisch fast selbstverständlicher Erfindungsgedanke: man muß die Birne statt mit Quarz mit Kalk oder Magnesia ausfüttern, denn diese sind erstens recht feuerbeständig und zweitens sind sie basischer Natur, nicht saurer. Man kann

¹ Die richtigere chemische Bezeichnung ist Phosphorsäureanhydrid, was indessen hier unwesentlich ist.

also dem Eisenfluß eine beliebige Base zur Bindung der Phosphorsäure zusetzen, die Entphosphorung wird durch ein „basisches Verfahren“ nicht verhindert, im Gegenteil gefördert werden.

Wie viele Versuche in dieser Richtung gemacht wurden, läßt sich nicht feststellen. Das aber weiß man, daß sie sehr zahlreich waren und trotz der Einfachheit der Theorie zunächst alle daran scheiterten, daß basische Wandungen der genannten Art im Converter zwar nicht schmolzen, wohl aber zerbröckelten. Wieder einmal standen die Fachleute vor einem Problem, das sie lösen sollten und mußten, und das hoffnungslos unlösbar schien. Und wieder war es ein Nichtfachmann oder jedenfalls kein ausgereifter Eisentechniker, der den Ausweg fand und das „fortes fortuna adjuvat“ von neuem bewahrheitete.

Es war auf der Pariser Weltausstellung im Jahre 1878. In einer Versammlung der Eisenhüttenleute wurden Vorträge gehalten. Als sich ein 28jähriger, krank aussehender Studiosus des Bergfaches, Sidney G. Thomas aus London, zu Wort meldete, lehnte man es ab, ihn zu hören. Denn man war vor-tragsmüde, und außerdem wollte dieser Anfänger über die basische Ausfütterung des Converters reden, ein Thema, an dessen praktischen Wert eben nur ein Anfänger glauben konnte.

Nach etwa Jahresfrist wußte man, wem das Wort versagt worden war. Thomas hatte seinen Vetter Percy C. Gilchrist, einen schon in Stellung befindlichen jungen Hüttenmann, dazu angeregt, gemahlene Dolomit mit etwa $\frac{1}{5}$ seines Gewichtes Steinkohlenteer zu Ziegeln zu formen, diese zu brennen, mit ihnen die Birne auszufüttern und dann vor dem Durchblasen der Luft zugleich mit dem Roheisen Kalk hineinzugeben. Dolomit ist ein Mineral, das zwei Basen, Kalk und Magnesia, enthält. Da beim Brennen mit Teer eine Verkittung der Teilchen erfolgt, so zerbröckeln diese Ziegel im Converter nicht. Daß sie den Kalk an der Bindung der Phosphorsäure nicht hindern, ist nach dem oben Gesagten einleuchtend, und somit hatten Thomas und Gilchrist das basische Verfahren gefunden, mit dem man phosphorreiche Erze verarbeiten kann.

Thomas erlebte nur die erste Zeit seines Erfolges. Er starb 1885. Seine geniale Erfindung schlug weitere Wellen, nachdem Professor Maercker in Halle auf die Düngkraft der „Thomas-schlacke“ hingewiesen hatte. So nennt man den phosphorsauren Kalk, der sich beim basischen Verfahren auf dem Fluß-

eisen ansammelt und vor diesem aus der Birne abgegossen wird. Anfangs warf man diese Schlacke ungenutzt auf die Halde, obgleich der landwirtschaftliche Wert der Phosphorverbindungen aus der Superphosphatindustrie bekannt war. Indessen erfordert jedes Phosphat eine gesonderte Behandlung, damit die Pflanzen es aufnehmen können, und die für Thomaschlacke geeignete mußte erst durch mühsame Versuche gefunden werden. Sie besteht im Vermahlen zu dem staubfeinen „Thomasmehl“, dessen Verwendbarkeit 1887 Prof. Wagner nachwies.

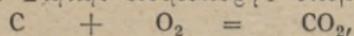
Für die Ziele, die seit Einführung der Eisenbahnen gegeben waren: Massenerzeugung von Flußeisen und insbesondere von Flußstahl, Ausnutzung auch phosphorhaltigen Roheisens im Converter — hierfür bedeutete das Verfahren von Thomas und Gilchrist einen gewissen experimentellen Abschluß. Wenn trotzdem noch ein wesentliches Verfahren zur Flußeisen- und Flußstahlerzeugung erfunden wurde, so hatte das seinen Grund hauptsächlich in dem Zuge unserer Industrie, durch den sie wie durch ein Gesetz beeinflusst wird: dem Bestreben der Verwertung von Abfallstoffen. Nichts ist so gering, nichts scheinbar so ekelerregend, was die Fabrik nicht doch noch verwenden und in verkäufliche Formen bringen könnte: Aus Fleischrückständen macht man Nährpräparate, aus wollhaltigen Lumpen Kunstwolle; der verstaubte Inhalt unserer Papierkörbe wird auf Pack- und Dütenpapier verarbeitet; Knochenabfälle werden sorgsam gesammelt und dienen als Knochenasche und Knochenkohle technischen Zwecken; Unrat fährt man als Düngemittel auf die Felder; in Frankreich hat man aus menschlichen Fäkalien Ammoniak herausdestilliert, und schließlich gehören auch die falschen Haare in dieses Gebiet. Somit folgt als selbstverständlich die Frage: Was geschieht mit dem alten Eisen?

Das ist scheinbar leicht zu beantworten. Altes Schmiedeeisen müßte sich mit Hochofeneisen zu Stahl zusammenschmelzen lassen. Denn des letzteren Kohlenstoffgehalt ist rein zahlenmäßig durch Addition der hohen Roheisenkohlung und der niedrigen des Schmiedeeisens erreichbar. Auch Stahlabfälle fügen sich anscheinend dem Zweck, da durch den Sauerstoff des Stahlrostes eine Entkohlung des Roheisens möglich erscheint.

So einfach das klingt, so schwer war die Verwirklichung. Denn je kohlenstofffreier Eisen ist, um so mehr Hitze braucht es zum Schmelzen. Der Kohlebedarf beim Verflüssigen von Eisenabfällen

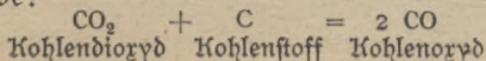
kann darum ein derartiger sein, daß die Heizung mehr kostet, als das Erzeugnis einbringt.

Auf diesem Punkte unserer Wanderung durch das Kohleisen-gebiet begegnet uns der Schatten eines der größten Chemiker, der ein fast weltfremdes Gelehrten-dasein führte und doch die Technik mächtig beeinflusst hat. Im Jahre 1830 untersuchte Professor Robert Bunsen aus Marburg die Gichtgase eines hessischen Hochofenwerkes. Man hatte bemerkt, daß diese Gase brannten, wußte indessen nichts Genaueres über ihre Beschaffenheit, denn gute Verfahren zur Gasanalyse hatte man damals noch nicht. Bunsen war es, der begonnen hatte, dieses schwierigste Gebiet der analytischen Chemie zu erobern, und so konnte er feststellen, daß 100 Raumteile Gichtgase nicht weniger als 24 Raumteile Kohlenoxyd enthielten, die Ausnutzung der Kohle im Hochofen somit durchaus unvollkommen war, denn anderenfalls dürfte neben dem Stickstoff nur Kohlensäure entweichen. War diese Feststellung schon unerwartet, so wuchs die Überraschung, als Bunsen den Heizwert des Kohlenoxyds in Rechnung zog und zu dem Resultate kam, es entweiche mit den Gichtgasen nicht weniger als 45 % der angewandten Kohle in ungenutzter Form. Den Hochöfnern eröffnete sich hiermit scheinbar eine weite Perspektive: ein bisher unbenutztes Heizmaterial ließ sich als reichliches Nebenprodukt der Eisenverhüttung gewinnen; man mußte es wie Leuchtgas auffangen und abbrennen können; dabei war es billiger als Leuchtgas. Die Mißstände der Kohlefeuerung, insbesondere die klumpige Beschaffenheit der Kohle, die Unmöglichkeit sie gründlich mit der Verbrennungsluft zu mischen, der daher notwendige Luftüberschuß und der so entstehende Wärmeverlust durch Flammenföhlung — alles das schien mit der Verwendung des Kohlenoxydgases vermeidbar. So selbstverständlich erschienen diese Erwägungen, daß man unabhängig von der Hochofentechnik Kohlenoxyd erzeugte, indem man glühende Kohle in besonders hoher Schüttung auf Roste brachte und nun wie bei normaler Feuerung Luft hinzutreten ließ, so daß in der unteren Schicht Kohlenoxyd entstehen mußte:



Kohlenstoff Sauerstoff Kohlendioxyd

in einer höheren aber aus Kohle und Kohlendioxyd Kohlenoxyd gebildet wurde:



Kohlendioxyd Kohlenstoff Kohlenoxyd

Den betreffenden Ofen hat man den wenig charakteristischen Namen Generatoren gegeben. Das Gas enthält etwa 25 Raumteile Kohlenoxyd und 69 Raumteile Stickstoff nebst geringen Mengen Kohlendioxyd, Sauerstoff und Wasserstoff. Man nennt es Generator- oder Luftgas. Es ist heute in Gasanstalten, Glashütten und in denjenigen Werken, die altes Eisen auf Flußeisen verarbeiten, unentbehrlich. Sucht man aber nach diesen scheinbar naheliegenden Verwendungen in Bunsens Schriften, so findet man nichts davon, sondern nur eine nüchterne Berechnung, wonach kaltes, mit kalter Luft verbranntes Kohlenoxydgas nur eine Temperatur von 1180° geben könne, bei der Eisen nicht schmelze, während heißes Gas und heiße Luft bei ihrer chemischen Vereinigung das Eisen zum Schmelzen bringen würden.

Wenn man sagt, das Geld liege auf der Straße, man müsse nur verstehen, es aufzuheben, so ist das nicht etwa nur ein Gemeinplatz. Es steckt die große Wahrheit darin, daß oft die wertvollsten Dinge bekannt und zugänglich sind, und daß dennoch die Fachleute an ihnen vorübergehen. Bunsen hatte mit aller Klarheit den Weg vorgezeichnet, den man einzuschlagen habe, um das Kohlenoxyd zu nutzen: Gas und Luft müssen heiß zusammentreffen, anderenfalls bleibt trotz der großen Wärmeentwicklung dennoch die Temperatur gering, weil das verbrennende Gas, die Luft und das beim Verbrennen entstehende Kohlendioxyd die Wärme aufnehmen und somit als Kühlmittel wirken.

Dieser Gedanke wurde von Bunsen nicht in die Tat umgesetzt, da er von Beruf kein Praktiker war. Die Praktiker beachteten den Wink nicht, weil er, wie es so oft geschieht, in der Flut der Literatur unterging. Erst im Jahre 1856 verstand es Friedrich Siemens, der Bruder des noch berühmteren Werner Siemens, auf Bunsens Bahnen fortzuwandeln, ohne im übrigen direkt durch Bunsens Schrift angeregt worden zu sein. Siemens schloß an den Generator einen „Regenerator“ an, den man auch Wärmespeicher nennt. Es sind zwei Paare von Räumen mit feuerfesten Steinen, in denen die Hitze der Flammengase, die sonst in den Schornstein geht, auf folgende Weise „regeneriert“ wird: man läßt das Generatorgas nach dem Abbrennen durch das eine Kammerpaar streichen, so daß die Hitze sich auf die Steine überträgt. Sind diese fast auf Weißglut erhitzt, so leitet man durch Drehen einer Klappe die Verbrennungsgase

durch das zweite Kammerpaar. Das erste wird dadurch für seinen Hauptzweck verfügbar. Man leitet das Generatorgas durch den einen vorgeheizten Raum, die Luft durch den anderen und bringt so Gas und Luft auf die Temperatur der glühenden Steine, während diese sich selber abkühlen. Dort wo eine sehr hohe Temperatur erzeugt werden soll, also im Glas- oder Stahlschmelzofen, treffen Luft und Generatorgas zusammen. Beide sind vorgeheizt, die bei ihrer Vereinigung entstehende Verbrennungswärme wird also nicht vom Gasluftgemische absorbiert, vielmehr ist die Temperatur derartig, daß selbst große und schwer schmelzbare Massen in Fluß geraten. Bei gewöhnlicher Feuerung ist das nur durch große Häufung von Brennmaterial zu erreichen, der Siemenssche Wärmespeicher gibt also nicht nur das Maximum der Temperatur, sondern er vermindert auch die Kosten, da er keine Wärme verloren gehen läßt.

Siemens arbeitete zunächst für die Industrie des Glases, und heute hat jede größere Glashütte ihren Wärmespeicher. In die Industrie des Eisens wurde die Siemenssche Erfindung von anderen eingeführt. Cowper machte sie sich beim Hochofen zunutze (s. o.), und die Brüder Emile und Pierre Martin in Sireuil bei Angoulême ließen 1864 durch Siemens einen Wärmespeicher unter einem Flammofen anlegen, um darin Roheisen mit Eisenabfällen (Schrott) zu Gußstahl zu verschmelzen, was man vordem vergebens versucht hatte. So entstand das „Martinverfahren“, auch „Schrottschmelzverfahren“ genannt. Ursprünglich war es ebenso wie das von Bessmer ein saures. Allmählich ging man immer mehr zum basischen über, weil man bei altem Eisen nie weiß, wieviel Phosphor es enthält, und deshalb gut tut, einen starken, die basische Ausfütterung verlangenden Phosphorgehalt voranzusetzen.

Der „Martinofen“ (Fig. 6) gleicht einer großen Wanne, die überwölbt ist. Luft und Generatorgas steigen in getrennten Kanälen c und d auf und vereinigen sich über dem einzuschmelzenden Metall im Herdraum a. Schaut man durch ein geschwärztes Glas in die Glut, so sieht man das Eisen in Wellen aufhäufen. Die mit der Flamme über dem Bade hinreichende Luft und der Sauerstoff des Eisenrostes bringen Silicium, Phosphor und Kohlenstoff zur Verbrennung. Das Verfahren dauert je nach Masse und Mischungsverhältnis des Einsatzes 4—10 Stunden. Zusatz von einigen Prozent Chrom

oder Wolfram gibt einen Stahl von solcher Härte, daß man mit ihm weiches Eisen bearbeiten kann. Setzt man Nickel hinzu, so wird außer der Härte auch große Zähigkeit erzielt. Auf diese

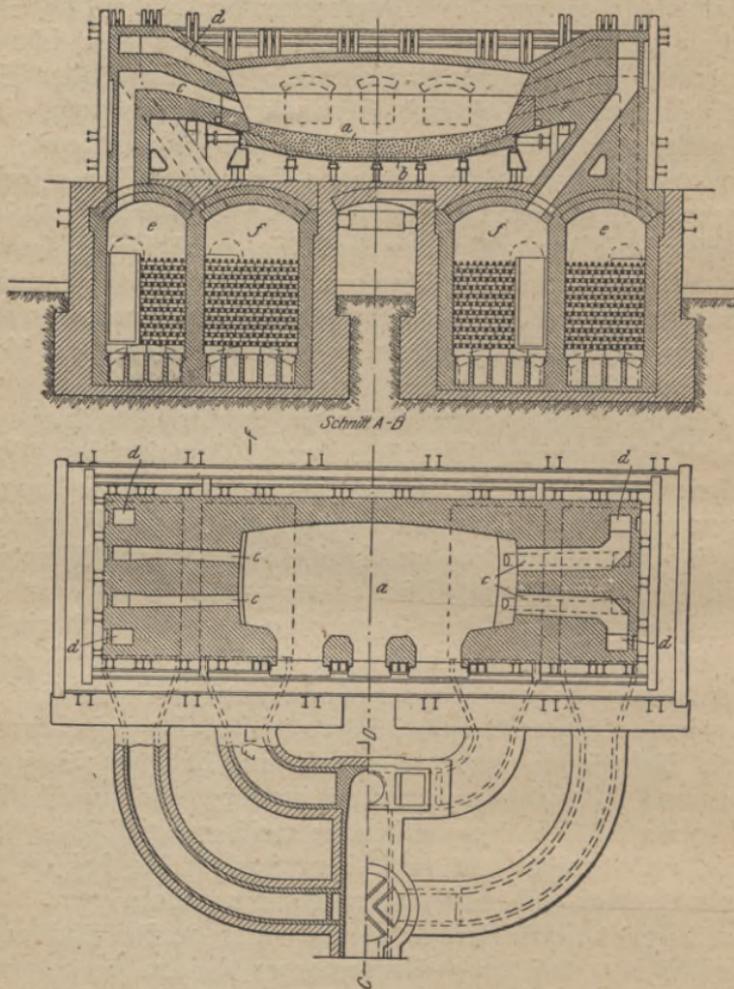


Fig. 6. Siemens-Martin-Ofen nach f. Ullmann, Enzyklopädie der technischen Chemie 1916. 4. Band, S. 1916.

Weise macht Krupp seit 1891 Panzerplatten, die dreimal so schuffest sind wie gleich dicke aus gewöhnlichem Stahl.

An Stelle des Alteisens mischte Karl Wilhelm, ein Bruder von Friedrich Siemens, auf seinem in England gelegenen Werke dem Roheisen Eisenerz bei; dieses enthält ebenso wie der

verrostete Eisenabfall Sauerstoff, der zusammen mit der Luft den Kohlenstoff des Roheisens herabmindert. Man spricht bei dieser Erfindung vom „Roheisen=Erzverfahren“, welches bei hohem Einstandspreis des Alteisens zur Anwendung kommt. Meist werden Roheisenerzverfahren und Schrottschmelzverfahren kombiniert. Hierauf bezieht sich die Bezeichnung „Siemens=Martin=Verfahren“.

Das Arbeiten nach Siemens=Martin dauert wesentlich länger als das im Converter. Trotzdem hat es letzterem gegenüber stetig an Bedeutung gewonnen; denn durch die Türe des Herdofens hindurch kann man jederzeit Schöpfproben entnehmen, deren Beschaffenheit sich durch Schmieden prüfen läßt und die Korrektur der ganzen Masse gestattet. Die gleiche Betriebskontrolle ist bei der rapid arbeitenden, vulkanisch sprühenden Birne nicht möglich. Die Erzeugnisse der letzteren dienen daher für gröbere Ware, insbesondere für Eisenbahnschwellen und Schienen. Im Martinofen dagegen erhält man die feineren Eisen- und Stahlorten. Aus diesem Grunde hat sich auch die Suche nach Vervollkommnungen hauptsächlich auf das Herdfeuerungsverfahren gerichtet. Am wesentlichsten ist das Verfahren von Benjamin Talbot in Leeds, welches einen merkwürdigen Anblick gewährt: man kippt den gewaltigen steinernen Behälter durch hydraulischen Druck wie einen Becher, so daß sich der feuerflüssige Inhalt so leicht ergießt wie das harmloseste Getränk. Auf diese Weise gewinnt man Raum für das Einbringen neuer Massen, die durch einen Rest von weißglühendem Material, das man beim Abgießen zurückließ, geschmolzen werden. Der Ofen bleibt also immer in Glut und arbeitet rascher als die alte nicht kippbare Einrichtung. Die besondere volkswirtschaftliche Bedeutung des Siemens=Martin=Verfahrens besteht in einer Schonung der Eisenerzbestände, die daher rührt, daß das schon gewonnene und benutzte Eisen immer wieder in den Kreislauf der Verwertung hineingezogen wird.

Seit 1898 sucht die Entwicklung der Flußstahlerzeugung sich die elektrisch erzeugte Hitze dienstbar zu machen, die alle übrigen Wärmequellen übertrifft und hauptsächlich aus der Aluminium- und der Karbidindustrie bekannt ist. Bis jetzt macht man davon beim deutschen Eisen nur auf einem allerdings wichtigen, aber doch verhältnismäßig kleinen Gebiet Gebrauch, auf dem der Elektrostahlerzeugung. Das zu reinigende Material läßt sich in der Hitze

-des Lichtbogens leicht umschmelzen. Auch Roheisen kann man elektrisch herstellen. Das Verfahren ist aber in kohlereichen Ländern teurer als die Hochofenarbeit und hat nur dort Bedeutung, wo, wie in Skandinavien, billige elektrische Energie aus starken Wasserläufen gewonnen werden kann.

Überblickt man die Entwicklung der Eisen- und Stahlindustrie im vorigen Jahrhundert, so sieht man, daß dem einen Verfahren zur Erzeugung von Schweißisen, dem Puddeln, eine ganze Reihe von Methoden zur Gewinnung von Flußeisen gegenüberstehen: Das von Huntsman-Krupp, von Bessemer, von Thomas, von Siemens-Martin und schließlich das elektrische Verfahren. Flußeisen und Flußstahl haben daher quantitativ Schweißisen und Schweißstahl in den Hintergrund gedrängt. Welche Entwicklung die verschiedenen Verfahren zur Darstellung von Eisen und Stahl genommen haben, ersieht man aus einem Vergleich der für die deutsche Erzeugung eines der letzten Friedensjahre (1912) geltenden Zahlen¹:

	1000 t	Wert in 1000 Mf.	Durchschnittspreis pro t in Mf.
Roheisen.....	15 221	922 878	60,64
Davon Gießereiroheisen	3 055		
Schweiß-(Puddel-)Eisen .	244	24 807	101,60
Flußeisen, Rohblöcke aus:			
Thomaspbirnen	8 860	719 021	81,15
Bessemerbirnen	187	18 910	101,10
Martinöfen (basisch)	6 652	593 046	89,15
" (sauer)	254	23 586	92,88
Tiegelöfen	76	32 249	424,40
Elektrostahlöfen	64	15 944	249,10

Die Zahlen zeigen: die große wirtschaftliche Bedeutung der deutschen Eisenindustrie; die Wertsteigerung vom Hochofenroheisen zu den verschiedenen entkohlten Eisensorten, unter denen Tiegel- und Elektrostahl nicht durch Menge, wohl aber durch den Wert der Gewichtseinheit hervorrangen; den Rückgang des Puddelverfahrens und das Vorwalten des Thomas- und des basischen Martinverfahrens. Diese letztere im Verlauf von etwa einem halben Jahrhundert erfolgte Veränderung wurde ursprünglich durch das Bedürfnis nach Menge hervorgerufen, doch hatte man dabei das nicht eben häufige Glück, auch eine Verbesserung

¹ Statistisches Jahrbuch für das Deutsche Reich. Berlin 1915, S. 115, 116.

der Beschaffenheit zu erreichen. Das zeigt sich bei den Festigkeitsprüfungen. Zum Zerreißen von Stäben braucht man bei 1 qmm Querschnitt bei

Roheisen	12 kg
Schweißeisen ..	33 "
Flußeisen	40 "
Schweißstahl ...	50 "
Flußstahl	60 "

Indem man also beim Erzeugen von Schmiedeeisen und Stahl in vollkommen flüssigem Zustand nicht nur den Kohlenstoffüberschuß des Roheisens herabmindert, sondern auch die Schlackeneinschlüsse des Schweißeisens und =Stahls vermeidet, wird das Material hervorragend einheitlich und dementsprechend fest. Industrie und Gewerbe haben davon Nutzen gezogen, der vielleicht am deutlichsten dort hervortritt, wo die Ingenieurkunst in Betracht kommt und wo sie eine der verantwortungsvollsten Aufgaben zu lösen hat, beim Brückenbau.

Die Teile der ersten eisernen Brücke wurden 1776 zu Coalbrookdale in England aus Roheisen gegossen. Sie führt mit 31 m Spannweite über den Severn. Im Jahre 1797 entstand die „eiserne Brücke“ am Kupfergraben in Berlin. 1814 wagte man bei Überbrückung der Themse Öffnungen von 73 m, aber weiter kam man nicht, denn bei anderen gegossenen Brücken erlebte man Brüche. Es zeigte sich, daß Gußeisen zwar Druck aushält, nicht aber mit Sicherheit den Zug, den die einzelnen Teile infolge ihrer Schwere aufeinander ausüben.

Inzwischen hatte Cort das Puddeln erfunden, und das dadurch gewonnene Schweißeisen erwies sich als druck- und zugleich als zugfest. Dadurch wurde eine ganz neue Brückenform möglich, die Hängebrücke, wie man sie 1839 mit einer Mittelöffnung von 183 m bei Budapest über die Donau legte.

Dieser Fortschritt war ein großer, aber er genügte nicht für den Eisenbahnbetrieb. Auf der Mitte der Pester Brücke spürt man schon beim Nahen eines Wagens die federnde Schwankung, einen Zug würde man nicht hinüberführen dürfen. Aus der Notwendigkeit der Zeit heraus erfand darum Robert Stephenson eine neue Verwendung des Schweißeisens, als er 1846 den Bau der berühmten Britanniabahnbrücke begann, die mit zwei Mittelöffnungen von je 142 m über die Menai-Meerenge führt. Das Neue lag in der Konstruktion. Es ist keine Hängebrücke, sondern eine vierkantige Röhre, wegen ihrer kastenartigen Form starr und

frei von Federung. Der äußere Eindruck ist mehr gigantisch als gefällig und verrät das noch ungelente Ringen einer neuen Zeit. Erst die gitterartige Durchbrechung der Seitenwände bei der Weichselbrücke, die 1857, und der Koblenzer Rheinbrücke, die 1861 gebaut wurde, brachte die künstlerische Ausgestaltung des neuen, auf die Verwendung von Schweißeisen gegründeten Prinzips.

In der Eisenindustrie löste jetzt das Flußeisen das Schweißeisen ab. Zögernd folgte die Kunst des Brückenbaues. Der erste in Holland mit hartem Bessemerstahl gemachte Versuch fiel ungünstig aus, weil das Material zu spröde war. Amerikanische Ingenieure wagten daraufhin die Anwendung weichen Flußstahls, dessen Kohlenstoffgehalt sich schon dem des Schmiedeeisens näherte, und hiermit hatte man das feste und doch elastische Material gefunden, das zu den neueren Brückenbauten dient. Genannt seien die Rheinbrücke bei Bonn mit einem Mittelbogen von 200 m und die Forthbrücke bei Edinburg mit zwei Hauptöffnungen von je 520 m. Nicht allein in diesen früher unerreichten Größenmaßen besteht der Fortschritt, sondern hauptsächlich auch in dem geringen Querschnitt der einzelnen Teile; derselbe wäre bei einem weniger guten Material wie weichem Flußstahl unmöglich und gibt neben gefälligem Aussehen auch Festigkeit. Denn je geringer der Querschnitt der Brückenteile, um so geringer ist die Belastung der Brücke durch ihr eigenes Gewicht. So ist es endlich gelungen, Stärke und Grazie auf diesem Gebiete zu vereinigen.

VI. Das Leuchtgas.

Die Industrie des Eisens gewann ihren heutigen Umfang wesentlich dadurch, daß man die Holzkohle durch Steinkohlenkoks ersetzte. Später entwickelten sich daraus die Industrie des Leuchtgases und die der Farbstoffe. Beide sind heute von einer derartigen Bedeutung, daß der Übergang zum Koks als einer der folgenschwersten Schritte erscheint, die je auf technischem Gebiete gemacht wurden.

Wenn man Steinkohle durch Erhitzen bei Luftausschluß in Koks verwandelt, so spalten sich aus ihrem ursprünglich festen Molekularverband je nach ihrer Beschaffenheit wechselnde Mengen flüchtiger Produkte ab, und zwar aus 1000 kg Kohle etwa 300 cbm Gas, 80 kg Wasser und 60 kg Teer. Im Rückstand

bleiben etwa 650 kg Koks. Der Rest ist Pech und eine graphitartige Kohle.

Das Gas, welches später einer Reinigung unterworfen wird, enthält in rohem Zustande der Hauptsache nach in Raumteilen ungefähr

46	Wasserstoff
32	Methan
8	Kohlenoxyd
5	Athylen, Benzol, Naphthalin
4	Kohlendioryd
1	Schwefelwasserstoff
1	Ammoniak
0,2	Cyanwasserstoff.

Von diesen Gasen brennen die drei erstgenannten mit sehr heißer, aber nur schwach leuchtender Flamme. Intensives Licht entsteht erst dadurch, daß gleichzeitig auch Athylen und Benzol anwesend sind. Der Grund liegt in deren hohem Kohlenstoffgehalt. Kohlenstoff vereinigt sich weniger leicht mit Sauerstoff, als Wasserstoff das tut. Infolgedessen geben Athylen und Benzol, welche neben viel Kohlenstoff wenig Wasserstoff enthalten, wohl die geringe Menge des letzteren der Flamme als Nahrung, ihr Kohlenstoff aber bleibt eine kurze Zeit lang in feinsten Verteilung in der Flamme, ohne zu verbrennen, gerät dabei in starkes Glühen und strahlt infolgedessen Licht aus. Die dazu nötige Kohlenstoffmenge beträgt etwa $\frac{1}{10}$ mg in 2 ccm Flammenraum.

Die leuchtende Flamme des Steinkohlengases (im Gegensatz zu der schwach leuchtenden des Bunsenbrenners, s. S. 77) entsteht also aus der vereinigten Wirkung von Gasen, von denen die einen verbrennen, um dadurch den Kohlenstoff der anderen zum Leuchten zu bringen. Länger als ein Jahrhundert hindurch beobachtete man bei der Koksdarstellung die brennenden und leuchtenden Gase, ohne in ihnen mehr zu sehen als eine gefährliche Störung des Betriebes. Lord Dundonald, der im Jahre 1786 zuerst versuchte, hinter seinen Koksöfen das Gas aufzufangen und zum Leuchten zu verwenden, scheiterte an den technischen Schwierigkeiten.

Erst der Genius loci in James Watts Dampfmaschinenfabrik zu Soho bei Birmingham half der Schwierigkeiten Herr werden. Der Schotte William Murdoch hatte Dundonalds Idee aufgegriffen; durch einen Zufall wurde ihm das Glück zu-

teil, Watt davon erzählen zu können. Die Folge war ein mehrjähriges Zusammenarbeiten, und im Jahre 1803 konnte Watt seine Fabrik mit Gas beleuchten.

In senkrecht stehende eiserne Retorten füllte man die Kohle. Darunter brannte ein Feuer. Das Gas entwich aus einem Stutzen unterhalb des Deckels. Weil das Herauskratzen des Koffes bei dieser Lage der Retorten schwierig ist, legte man

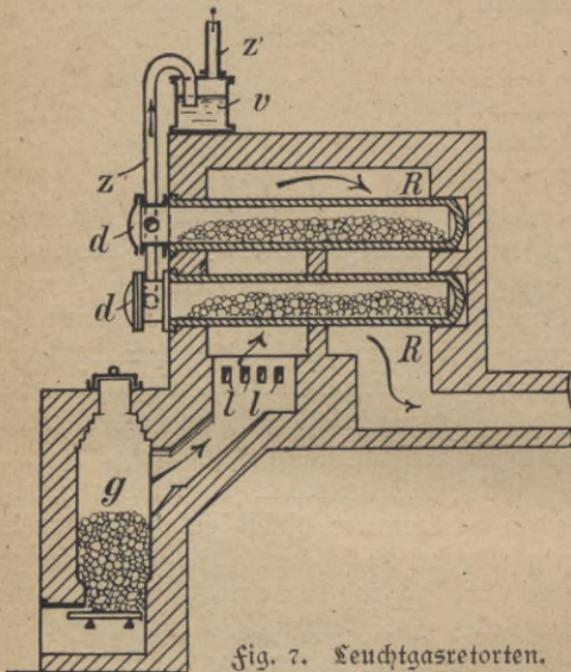


Fig. 7. Leuchtgasretorten.

sie später wagerecht, wie aus Fig. 7 ersichtlich. R sind die Retorten; vom Generator g steigt

Kohlenoxyd auf, dem durch die Öffnungen l Verbrennungsluft zuströmt. Die Flamme umspielt die Retorten im Sinne der Pfeile.

Das Gas entweicht durch die Röhren Z, gibt einen Teil seiner teerigen Bestandteile an die mit Wasser gefüllte Vorlage v ab und geht durch z' weiter. Die

Deckel d sind luft-

dicht aufgesetzt und werden nur beim Füllen und Entleeren der Retorten entfernt.

Murdoch arbeitete mit eisernen Retorten. Letztere wurden etwa im Jahre 1855 durch solche aus feuerfestem Ton ersetzt. Gleichzeitig bürgerte sich die Siemensche Generatorfeuerung ein. Man kam so zu Temperaturen, bei denen die alten eisernen Retorten erweichen würden, und dadurch zu einer bedeutenden Steigerung der Gasausbeute.

Die wagerecht liegenden Retorten müssen durch Einschaufeln der Kohle mit gewaltigem Schwung beschickt werden, was viel Arbeitskraft erfordert und wegen des Gasaustritts nicht ganz ungefährlich ist. Der scheinbar so selbstverständliche Gedanke,

schräge Retorten zu benutzen, sie automatisch von oben zu füllen und durch Öffnen der Klappe am unteren Ende den Koks einfach herausfallen zu lassen, wurde erst 1884 von A. Coze in Reims durchgeführt, und es dauerte weitere 21 Jahre, bis es J. Buëb auf dem Dessauer Gaswerk gelang, die schrägen Retorten durch die noch einfacher zu bedienenden senkrechten zu ersetzen. Der letzte Schritt in dieser Entwicklung besteht in der Einführung von „Kammeröfen“, die den Koksöfen ähneln, nur heizt man nicht wie bei diesen mit einem Teil des erhaltenen Gases, sondern mit Generatorgas (s. S. 54), das aus Koks erzeugt wird. Die zur Entgasung der eingefüllten Kohle nötige Zeit ist länger wie beim Retortenbetrieb, die Ausbeute an Gas aber größer, die Bedienung einfacher, wie sich aus folgender Zusammenstellung¹ ergibt:

Zu Erzeugung von 30000 cbm Gas sind erforderlich:

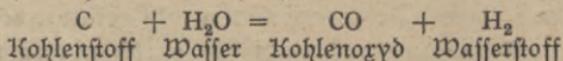
bei älteren Öfen mit wagerechten Retorten	bei Öfen mit schrägen Retorten	bei Kammeröfen
25 Öfen mit je 7 Retorten	12 Öfen mit je 9 Retorten	4 Öfen mit je 4 Kammern
Vergasungszeit 4,8 St.	6 Stunden	16 Stunden
107 t Kohle	100 t Kohle	90,9 t Kohle
50 Arbeiter	18 Arbeiter	5 Arbeiter

Der in Retorten erzeugte Koks hat nicht die Festigkeit des Zechenkokes, eignet sich darum nicht für den Hochofen, wohl aber zum Hausbrand.

Das Arbeitsverfahren der Gaswerke ebenso wie das der Kokereien wird als Entgasung der Kohle bezeichnet. Hierbei bleibt deren Hauptmenge als Koks zurück. Ein weiterer Schritt zur Ausnutzung der Kohle ist die Vergasung, d. h. die vollkommene Umwandlung in ein brennbares Gas. Soll dieses zum Heizen dienen, so geschieht die Vergasung nach dem Luftgasverfahren (s. S. 54), will man dagegen beim Vergasen zum Zwecke der Beleuchtung arbeiten, so stellt man aus einer ge-

¹ Aus der Gas-Jahrhundert-Nummer der „Illustrierten Zeitung“ 1915. Vgl. W. Scheurer, Gewinnung und Verwendung von Nebenerzeugnissen bei der Verwendung von Stein- und Braunkohle. Berlin 1915, bei F. C. Glaser.

wissen Menge des Kokes „Wassergas“ her und mischt dieses dem durch Entgasen erhaltenen Leuchtgas bei. Es geschieht, indem man über den glühenden Koks Wasserdampf leitet. Hierbei bildet sich nach der Gleichung



ein Gemisch von theoretisch gleichen Teilen Kohlenoxyd und Wasserstoff. Es enthält zwei der wichtigsten hitzeliefernden Bestandteile des Leuchtgases; durch „Karburieren“, d. h. Beimischen lichtgebender Kohlenwasserstoffe wie Benzol (s. S. 61) oder Ölgas (s. S. 25) entsteht ein vollwertiges Leuchtgas.

In Amerika hat man dieses Verfahren schon 1878 eingeführt. Anderenorts scheute man sich, weil das Kohlenoxyd giftig ist, und Wassergas wesentlich mehr davon enthält als normales Leuchtgas. In Deutschland folgte man dem amerikanischen Beispiel im Jahre 1896, als durch die Konstruktion von Dellwik und Fleischer die Wassergaserzeugung eine ausnehmend leichte und vorteilhafte wurde. Ein Schachtofen wird von oben in niedriger Schüttung mit Gaskoks beschickt. Dann preßt man in die entzündete Masse von unten Luft ein und bringt so den Koks in einer Minute in hellste Glut. Die Verbrennungsgase läßt man durch die Esse entweichen. Darauf wird der Luftstrom abgestellt, der Weg zur Esse geschlossen, und durch Einleiten von Dampf Wassergas erzeugt und dieses durch eine gesonderte Leitung aufgefangen. Das dauert 6 Minuten; nach Ablauf dieser Zeit nimmt die Glut des Kokes ab, und damit kommt auch seine Reaktion mit dem Wasser zum Stillstand. Man dreht jetzt sämtliche Hähne so, daß von neuem Luft hinzutritt. So wechseln Luft- und Dampfzuleitung in bestimmten Zeiträumen ab. Auf diese Weise lassen sich aus je 1 kg Koks 2 cbm Wassergas erzeugen.

Früher hatten die meisten Leuchtgaswerke eine derartige Anlage zur Erzeugung von Wassergas und mischten davon je nach dem Gasbedarf 10—25 % dem eigentlichen Leuchtgase bei. Heute arbeitet man einfacher in der Weise, daß man Dampf in die glühenden Retorten einleitet, in denen die Kohle entgast worden ist. Die Dellwik-Fleischerschen Gaserzeuger dienen meistens zur Erzeugung eines Wassergases, das man wegen seiner hohen Verbrennungstemperatur zum Schweißen von Eisenblechen braucht. Man kann auch im selben Generator ein Gemisch von

1 Raumteil Wassergas und 3 Raumteilen Luftgas herstellen. Man nennt es „Kraftgas“ und braucht es zum Treiben von Gasmotoren.

Die Erzeugung des Wassergases bei der Leuchtgasbereitung ist von Bedeutung, weil man dadurch in die Lage gesetzt ist, den Koks zu verwerten, dementsprechend an Kohle zu sparen und somit die kostspieligen Kohlenlager zu verkleinern; ferner weil die Wassergasbereitung rasch vonstatten geht, und darum auch bei gesteigertem Gasbedarf stets mit Sicherheit die gewünschte Menge geliefert werden kann.

Bisher war nur von dem rohen Leuchtgas die Rede, wie es unmittelbar aus der geglühten Steinkohle hervorbricht. Indessen ist es in dieser Form nicht verwendbar, vielmehr muß es zuerst noch gewisse Vorrichtungen zum Kühlen, Reinigen, Messen und Auffangen und damit einen Teil des Gaswerkes passieren, der wegen seiner Entstehung und seiner Rolle in der Kulturgeschichte merkwürdig ist.

Das Gas, dessen sich Murdoch bediente, kam ungeremigt aus den Retorten. Es enthielt also nicht nur die zum Brennen und Leuchten notwendigen Bestandteile, sondern außerdem auch noch die anderen oben angeführten, denen folgende Nachteile anhaften: die Cyanverbindungen sind giftig; Ammoniak gibt beim Verbrennen das ebenfalls giftige Stickoxyd; Schwefelwasserstoff verbrennt zu Schwefeldioxyd, das zum Husten reizt; Naphthalin verstopft die Leitungen, zudem werden letztere durch Wasser und Teer, die mit dem heißen Gas flüchtig sind, verschmiert. Obwohl es also Murdoch gelang, 1803 die Dampfmaschinenfabrik von Watt und 1804 eine Spinnerei zu beleuchten, so darf man sich diese Gasbeleuchtung nicht entfernt so reinlich und hygienisch vorstellen, wie die uns gewohnte. Das Gas wurde eben nur für Fabrikräume gebraucht, wo man in den Kinder- und Flegeljahren der Großindustrie noch keinen Wert auf gute Luft legte, und wo ferner stets Arbeiter zur Hand waren, um die Leitungen zu reinigen. Ganz ausgeschlossen war die Abgabe des Gases an Häuser, auch dachte Murdoch nicht daran, Straßen zu beleuchten, denn weder hätte er lange Leitungen rein halten noch auch den Verbrauch des Gases bemessen und geschäftlich verrechnen können. Wer Gas haben wollte, mußte seine eigenen Retorten und Röhren bauen, und Murdoch, als gewissenhafter Fachmann, beschränkte sich auf das, was er leisten konnte, näm-

lich die Installation von Gasanlagen in Fabriken. Der weitere Gedanke, Gaslicht allgemein an Stelle der Fackeln, Öllampen und Talglichter zu setzen, bei deren trübem Schein sich die Menschheit die Augen verdarb, soweit sie nicht abends auf das Lesen verzichtete, der Gedanke an diesen gewaltigen Kulturfortschritt scheint Murdoch fern gelegen zu haben.

Und hier begegnet man wieder der merkwürdigen Erscheinung beim Entstehen technischer Epochen, daß oft nicht die Fachleute, sondern irgendwelche Laien den kühnen Wurf wagen, der sie und ihre ganze Mitwelt vorwärts bringt. In diesem Fall war es nicht nur ein Laie, sondern ein Glücksritter und Gründer der bedenklichsten Art.

Ein in Mähren geborener, sich Hofrat nennender Mann namens Winzler hatte in Paris gesehen, wie im Laboratorium des Ingenieurs Lebon aus Steinkohle Gas gemacht wurde. Es waren Versuche, wie sie Murdoch zum Ziele führten; aber während diesem die Hilfsmittel der Watt'schen Maschinenfabrik zu Gebote standen, verfügte Lebon über nichts derartiges. Als er seine Versuche ins Große übertragen wollte, schlug alles fehl, und die Enttäuschung trieb ihn zum Selbstmord. Winzler dachte praktischer. Er nutzte die aufgeschnappten Kenntnisse, um als Wandereperimentator Geld zu verdienen, und kam auf einer seiner Kunstreisen nach London. Hier veranglisierte er seinen Namen zu Winsor und demonstrierte mit großem Erfolg „als eine Art von Spektakel“ wie ein Zeitgenosse sagt¹, wie schön man aus Kohle ein brennbares Gas erhalten könne. Es war das Jahr 1803. Die Kunde von dem bescheidenen Erfolg der Murdochschen Gasfabrikation gelangte von Birmingham nach London und kam auch Winsor zu Ohren. Da reifte im Kopfe dieses Mannes ein scheinbar wahnsinniger Plan. Nicht in einzelnen Fabriken wollte er, wie Murdoch es tat, Kohle entgasen, nein, die Stadt London mußte mit Gas beleuchtet werden, in Häusern und Straßen sollten die Flammen der Aktiengesellschaft brennen, die er, Winsor, gründen und leiten wollte. Es störte ihn nicht, daß er von Retorten, Röhren, Gasbehältern, von

¹ Über diese Anfangsgeschichte der Leuchtgasindustrie berichtet G. Atkins in Dingers Polyt. Journ. Bd. 21, S. 437 (1826). Atkins scheint nach persönlicher Erinnerung zu erzählen. Die Darstellung von F. Knapp in Schillings Handbuch der Gasbeleuchtung (1879) deckt sich im wesentlichen mit Atkins Bericht.

der Kunst, sie zu bauen und von Teer, Wasser und Naphthalin rein zu halten, nicht das geringste verstand, und daß das Gas beim Brennen die Luft verpestete. Gänzlich frei von den Mängeln der Sachkunde und Gewissenhaftigkeit, welche Murdoch anhafteten, dafür aber mit schamloser Beredsamkeit begabt, betrieb er bei seinen Abendvorstellungen den Aktionärefang und brachte es bald dahin, daß das Kapital der „Chartered Gaslight and Coke Company“ 50000 £ betrug. Als es aber ans Fabrizieren ging, versagte Winzlers Kunst. Das einzige Ergebnis waren einige Renommierlampen in Pall Mall und als unerwünschte Folge die im Parlament geäußerte Befürchtung der Brandgefahr. Man glaubte nämlich, das Gas sei von der Retorte bis zum Hahn glühend und müsse durch die Leitungsrohre hindurch alles Holzwerk entzünden. Zwar wurden diese Bedenken durch die Chemiker Webster und Davy zerstreut, indessen gab Davy sein Gutachten zugleich dahin ab, das Ganze sei eine nutzlose Spielerei, denn man werde nie eine Stadt beleuchten können, es sei denn, man baue Gasbehälter, so groß wie die Kathedrale von Sanct Paul — eine für Winsor scheinbar vernichtende Aussage, denn Davy, der geniale Entdecker der Alkalimetalle und des elektrischen Lichtbogens, war weltberühmt. Sein Urteil erscheint uns heute als einer von den immer wiederkehrenden Irrtümern, mit denen nicht selten gerade die erfahrensten Techniker die bedeutungsvollsten Neuerscheinungen begrüßen. So wurde Richards Rübenzucker, Solvays Soda, Auers Glühlicht von Ausstellungsjurys oder Zeitschriftkritikern als unfabrizierbar oder unbrauchbar beurteilt, Liebig sprach in seinen „Chemischen Briefen“ der Rübenzuckerindustrie jede Zukunft ab, und Werner von Siemens erwähnt in seinen Lebenserinnerungen (S. 249, 3. Aufl. 1893) unter den Erfindungsgedanken, die er für unlösbar hält, neben dem Perpetuum mobile auch das lenkbare Luftschiff.

Der Chartered Gaslight and Coke Company drohte der Zusammenbruch, da siegte Winsor durch seinen ersten geschäftlich soliden Schritt. Er gewann einen wirklichen Ingenieur und zwar den denkbar besten, Samuel Clegg, den Schüler Murdochs, und nun erst waltete in der Aktiengesellschaft ein Fachmann. Clegg war es, der das Riesenprojekt Winsors aus dem Schwindel heraushob. Er fand dafür zunächst einen Weg, um das Gas von allem Lästigen und Giftigen zu befreien, das ihm im Rohzustande anhaftet. Das Cleggsche Verfahren hat

sich im Laufe eines Jahrhunderts in Einzelheiten, nicht aber in den Grundzügen geändert und wird heutzutage folgendermaßen gehandhabt.

Das Gas wird an eisernen Röhren, die von kaltem Wasser durchflossen sind, abgekühlt, wobei Teer und ammoniakhaltiges Wasser („Gaswasser“) größtenteils abtropfen. Den Rest des Teers fängt man durch eine mechanische Vorrichtung auf. Das Gas streicht jetzt durch Teeröl, ein hochsiedendes Destillat des Steinkohlenteers, welches das Naphtalin aufnimmt. Das Teeröl befindet sich in „Wäschern“; das sind liegende Zylinder, in denen durch rotierende Scheiben die Flüssigkeit versprüht und dadurch innig mit dem Gase gemischt wird. Es folgt ein zweiter Wäscher, gefüllt mit Eisenvitriol zur Auffangung des Cyanwasserstoffs, und ein dritter, in welchem durch Wasser das noch übrige Ammoniak zurückgehalten wird. Der Cyanwasserstoff (Blausäure) hinterbleibt als Ferrocyanammonium-Niederschlag. Dieser wird von der chemischen Industrie auf Ferrocyankalium, Berlinerblau und zum Teil auch auf Cyankalium verarbeitet. Den erstgenannten Stoff führt man größtenteils ebenfalls in Berlinerblau über, einem im Jahre 1710 von einem Berliner Färber entdeckten Pigment, das der an sich farblosen Blausäure den Namen gegeben hat und das zur Herstellung von Malerfarben und blauen Lacken dient. Das Cyankalium ist das wichtigste Mittel zur Extraktion des Goldes aus dem Muttergestein; die Gasfabriken decken nur einen Teil des Bedarfes, außerdem stehen noch andere Quellen zu Gebote¹. Über die Verwendung des Ammoniaks s. Kap. VIII.

Das Gas enthält jetzt an Verunreinigungen nur noch Schwefelwasserstoff und einen Rest von Cyanverbindungen. Beide werden im Reinigergebäude an Eisenoxyd gebunden, die etagenweise in großen, vom Gas durchstrichenen Kästen liegt. Setzt man nach einiger Zeit das Eisenoxyd der Luft aus, so spaltet diese den Schwefel wieder ab, und das Oxyd kann neue Mengen Verunreinigungen aufnehmen. Dann wird wieder an der Luft unter Umschaukeln liegen gelassen, bis die Reinigungsmasse etwa 39 % Schwefel und 10 % Eisencyan enthält. In diesem Zustande wird sie verkauft und auf Cyanverbindungen und Schwefelsäure verarbeitet.

¹ s. J. Bußb im Bericht über d. 5. internat. Kongress f. angewandte Chemie, 1904 Bd. 2, S. 533.

Das Abbrennen eines so gereinigten Leuchtaases ist uns etwas Gewohntes; es bedarf einer besonderen Einstellung unserer Phantasie, um uns zu vergegenwärtigen, daß Clegg nicht nur großes Können, sondern auch großen Mut bewies, als er an dem denkwürdigen 1. April des Jahres 1814 in einem Londoner Stadtteil die mittelalterlichen Öllampen zum Verschwinden brachte und Gaslaternen anzünden ließ. Man hatte vom Wesen des Gases keine rechte Vorstellung, insbesondere erschienen die großen, von Murdoch erfundenen Gasbehälter gefährlich, in denen das Gas durch Wasser aufsteigend eine mächtige Glocke hob und sie ausfüllte. Als die Beamten der Feuerversicherungen diese „Gasometer“ beanstandeten, weil sie nicht wußten, daß Gas nur außerhalb des Behälters zusammen mit Luft brennen kann, griff Clegg zu einem drastischen Mittel. Im Beisein der begutachtenden Kommission durchschlug er das Gasometer mit einer Spitzart und entzündete das mächtig herausströmende Gas mit einer Lunte. Die Versicherungsbeamten stoben entsetzt auseinander, aber zu ihrer Überraschung gab es keine Explosion, sondern nur eine sehr lange Flamme, die sich innerhalb des Gasometers nicht fortpflanzen konnte, weil dort nur Gas und nicht zugleich auch Luft war. Einmal aber ereignete sich doch eine Explosion, indem bei einer Rohrlegung Gas entwich, und die Arbeiter die undichte Stelle mit einer Flamme suchten. Die Folge war ein Streif der Laternenanzünder, da diese für ihr Leben fürchteten. Clegg mußte eine Zeitlang eigenhändig für Straßenbeleuchtung sorgen.

Große Schwierigkeit machte anfangs das Bemessen des Gases zwecks Abrechnung mit der Kundschaft. Man mußte Lichter und Brennstunden zählen. Auf der Straße war das zur Not durchführbar, obzwar es wegen der unbestimmbaren Flammengröße zu Prozessen kam. Für die Hausbeleuchtung aber wußte man anfangs nur den lästigen Nothelfer der Komprimierung des Gases in Eisenbehälter, die man in die Häuser trug und dort an die Gasleitung schraubte. Da erfand Clegg die noch heute gebrauchte Gasuhr (Fig. 8). Das Gas strömt bei i in eine Trommel, die durch schaufelförmige Wandungen in vier Kammern eingeteilt und zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist. Durch die Schlitz e, f, g und h geht es weiter zur Leitung. Der Gasstrom drückt gleichmäßig gegen die Kammerwandungen; die untere wird vom

flüssigkeitsspiegel gebildet und kann nicht weichen; infolgedessen äußert sich der Druck nur gegen die Schaufelwandung, und diese wird gehoben, d. h. das Rad muß sich drehen und setzt dabei Zeiger in Bewegung, welche die Menge des durchgehenden Gases anzeigen.

Nachdem so Vorurteile und technische Schwierigkeiten beseitigt waren, wurde die Gasbeleuchtung von der Londoner Gesellschaft

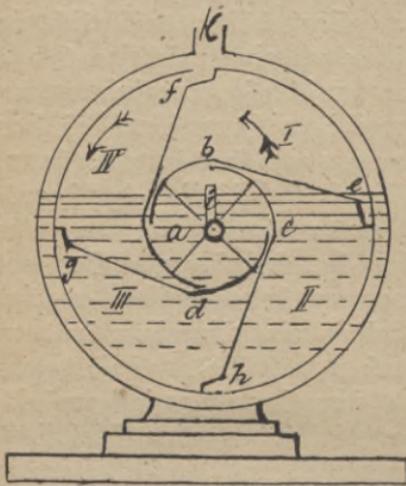


Fig. 8. Gasuhr, nach Herding, Beleuchtung und Heizung.

auch auf dem Festland eingeführt, 1817 in Paris, 1826 in Berlin, 1833 in Wien, 1841 in Köln. Vor Ablauf des halben Jahrhunderts hatte jede größere Stadt ihr Gaswerk. In Deutschland stieg der Verbrauch in den Jahren 1859—1913 von 40 auf 2700 Millionen Kubikmeter¹, trotzdem in der Kölnischen Zeitung vom 28. März 1819 eine Stimme sich hatte vernehmen lassen, welche äußerte: „Jede Straßenbeleuchtung ist verwerflich, 1. aus theologischen Gründen; weil sie als Eingriff in die Ordnung Gottes erscheint. Nach dieser ist die Nacht zur Finsternis

eingesetzt, die nur zu gewissen Zeiten vom Mondlicht unterbrochen wird. Dagegen dürfen wir uns nicht auflehnen, den Weltplan nicht hofmeistern, die Nacht nicht in Tag verkehren wollen . . .“; 2. aus polizeilichen, 3. aus staatswissenschaftlichen, 4. aus volkstümlichen, 5. aus medizinischen, 6. aus juristischen, 7. „aus sittlich moralischen Gründen, die Sittlichkeit wird durch die Gasbeleuchtung verschlimmert. Die künstliche Helle verscheucht in den Gemütern das Grauen vor der Finsternis, das die Schwachen von mancher Sünde abhält. Die Helle macht den Trinker sicher, daß er in Zechstuben bis in die Nacht hinein schwelgt, und sie verkuppelt verliebte Paare.“²

¹ Bunte, Berichte d. deutsch. chem. Gesellsch. Bd. 31, S. 5 (1898) und Schirmeister auf S. 16 der schon zitierten Schrift von Scheuer (s. S. 65).

² Nach Journ. f. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung Bd. 49, S. 879 (1906).

Die Befürchtungen dieses Autors haben also nicht gehindert, daß die Leuchtgasindustrie zu einer der größten der Welt wurde. Seit einigen Jahren hat sie noch dadurch eine Ausdehnung erfahren, daß sich auch die Kokereien, die ihr Gas früher nur so weit ausnutzten, als es zum Heizen der Koksöfen nötig war, sich an der Abgabe von Leuchtgas beteiligen. Es ist das die Folge der Auersehen Erfindung (s. u.), welche die Benutzung eines an sich schwach leuchtenden Gases, wie es das Kokereigas ist, zum Leuchten gestattet. Die Abgabe des Gases geschieht durch Fernleitungen an Städte und Dörfer in weitem Umkreise und hat große Bedeutung, da zur Zeit noch etwa die Hälfte der Einwohner Deutschlands sich außerhalb des Bereiches von Gaswerken befindet¹, der Gasverbrauch also noch beträchtlicher Steigerung fähig ist. Im Jahre 1908 wurden von den Krupp'schen Zechen 5,3 Millionen cbm Ferngas geliefert, im ganzen Ruhrgebiet 10,7 Millionen, was im Jahre 1911 auf 84,4 Millionen cbm anstieg. Im Jahre 1912 waren im Ruhrgebiet 120 km Fernleitung für Koksöfengas in Betrieb. Die Zechen der Ruhrgegend, des Saarreviers und Niederschlesiens lieferten im Jahre 1913 zusammen schon 200 Millionen cbm, das sind 8 % der gesamten deutschen Leuchtgasmenge. Solche große Gaszentralen erzeugen ein sehr billiges Gas, und das führt für die gewöhnlichen Gasanstalten zu der zur Zeit strittigen Frage, ob kleine Betriebe der alten Art auf die Dauer ebenso vorteilhaft arbeiten werden wie große Betriebe mit ihrem Ferngas.

VII. Der Kampf ums Licht.

Leuchtgas, Petroleum, Acetylen, Ölgas, Auerlicht, Spiritusglühlicht, Glühfäden, Bogenlampen, Nernstlampen, Osmium-, Wolfram-, Tantallampen, Quecksilberbogenlampen, Gräzulinicht, Millenniumlicht — sie überfluten das neue Jahrhundert mit ihren Strahlen, während man sich zu Anfang des vorigen mühsam aus der Trübe schlechter Kerzen und Öllampen herausarbeiten mußte. Alle jene Lichtspender möchten möglichst allein leuchten, so daß man den Wettbewerb der beteiligten Industrien wohl den Kampf ums Licht nennen darf.

¹ Vgl. M. Pezold, Die Gasfernleitung und ihre wirtschaftliche Bedeutung 1914, Verlag der Deutschen Bergwerks-Zeitung. 1914. Essen-Ruhr, S. 7. S. ferner W. Bertelsmann, Chemiker-Zeitung 40, 1070 (1916). Dasselbst Literatur über Ferngas.

Als erster Mitbewerber neben dem Leuchtgas trat anfangs der achtziger Jahre das Petroleum auf, nachdem man gelernt hatte, aus dem rohen Erdöl durch Destillation das leicht entzündliche und gefährliche Benzin zu entfernen. Ende der siebziger Jahre folgte Hefner-Altenecks elektrische Bogenlampe, 1889 zeigte Edison auf der Pariser Weltausstellung seine Glühbirne, in welcher der Widerstand eines Kohlesfadens gegen den elektrischen Strom Hitze und dadurch Licht erzeugt. An Stelle der Kohle setzte Nernst 1897 die Oxyde des Magnesiums, Siliciums, Natriums und Zirkons, Auer 1900 das Osmium, 1903 Just und Hanaman das Wolfram und W. von Bolton das Tantal. Stets handelte es sich darum, die alte Edisonsche Glühbirne zu übertreffen und Metalle oder Metallverbindungen zu finden, die durch möglichst wenig Strom, also durch ein Minimum von Kosten in Weißglut versetzt werden, ohne zu schmelzen oder zu zerfallen.

Ungefähr gleichzeitig mit den neueren elektrischen Lichtarten entwickelte sich die Acetylenindustrie.

Wenn man von der durch den Krieg erzwungenen Lichtersparnis absieht, so scheint es fast, als werde die Zeit kommen, wo man sich aus der neuzeitlichen Strahlenslut wieder in das behagliche Dämmerlicht unserer Väter zurücksehnt, denn die eine von Schott in Jena erfundene Beleuchtung kann unter gewissen Umständen Augenentzündung verursachen und Stubenfliegen töten, ohne sie zu verbrennen. Durch eine luftleere mit Quecksilberdampf gefüllte Glas- oder Quarzröhre geht der elektrische Strom und gibt nicht nur das gewöhnliche, sondern auch das chemisch wirksame ultraviolette Licht; daher die Abkürzung „Uviolampe“.

Die auf alle diese Lichtarten gegründeten Industrien haben dem Leuchtgas einen höchst merkwürdigen Kampf aufgezwungen, merkwürdig deshalb, weil das Leuchtgas allem Anschein nach unterliegen mußte und dennoch unentbehrlicher geworden ist als je zuvor.

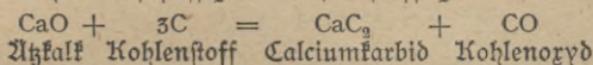
Das Leuchtgas erschien von vornherein durch die Gefährlichkeit seiner Anwendung bedroht. In einem Betrage von nur 5 % der Luft beigemischt explodiert es, wenn, wie es leider häufig geschieht, bei Gasgeruch ein Streichholz entzündet und nicht vorher für gründliche Lüftung gesorgt wird. Die Explosionswirkung nimmt mit steigender Gasmenge an Heftigkeit zu und hört erst bei etwa 30 % wieder auf, weil der Sauerstoff in einem

derartigen Gas-Luftgemisch nicht mehr zur Entzündung ausreichend. Zu dieser Gefahr gesellt sich die der Vergiftung durch Kohlenoxyd. Schon 0,1 % der Luft beigemischt, wird vom Blute aufgenommen, zerlegt es chemisch und führt bei längerem Einatmen zum Tode. Darauf gründet sich die Methode zur Tötung pestverdächtiger Ratten in Schiffen. Man läßt sie von Kohlenoxyd in Form von Generatorgas durchströmen.

Die giftige Wirkung des Kohlenoxyds auf Menschen wird glücklicherweise meist dadurch aufgehalten, daß das Leuchtgas sich durch den Geruch bemerkbar macht, falls man nicht schläft. Indessen kann es vorkommen, daß Rohre in der Erde undicht werden und das Gas in darüber befindliche Wohnräume dringt; in solchen Fällen äußert das Kohlenoxyd eine langsame und in ihrer Ursache schwer zu erkennende Wirkung, weil das Erdreich die riechenden Stoffe zurückhält, und das Kohlenoxyd selber geruchlos ist.

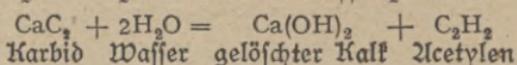
Von den genannten neuen Lichtbringern konnte zwar das Petroleum ebensowenig wie der seit einigen Jahren verwandte Spiritus ernstlich mit dem Steinkohlengas konkurrieren, da Lampen weniger bequem sind als Gashähne. Dagegen glaubte man, das Acetylen werde das Leuchtgas wenigstens teilweise verdrängen, und vom elektrischen Licht erwartete man seine endgültige Beseitigung.

Die Darstellung des Acetylens ist eine einfache. Koks und Kalk werden innig gemischt in kastenförmigen Schamotteöfen dem elektrischen Lichtbogen ausgesetzt. Bei der hierdurch entstehenden Temperatur von etwa 3000° entreißt der Kohlenstoff dem Kalk seinen Sauerstoff, und zugleich wird das dadurch freiwerdende Calcium durch überschüssigen Kohlenstoff gebunden:



Der Vorgang ist derselbe wie bei der Bildung von Eisenkarbid im Hochofen, nur mit dem Unterschiede, daß der Sauerstoff im Kalk fester haftet als im Eisenerz und darum erst bei der Temperatur des Lichtbogens, die etwa 1400° höher ist als die des Hochofens, abgespalten wird. Das entstandene Calciumcarbid ist eine unscheinbare graue Masse, aber in Berührung mit Wasser beginnt sie zu leben. Die Verwandtschaft des Calciums zum Sauerstoff macht sich wieder geltend. Letzterer wird dadurch dem Wasser entzogen, dessen Wasserstoff wird frei und bildet mit dem

Kohlenstoff des Karbids eine gasförmige Verbindung, das Acetylen, das in gewaltigem Strome aufsteigt:



Acetylen brennt mit blendender Flamme, die etwa 20 mal stärker leuchtet als eine Gasflamme gleicher Größe. Zur Darstellung braucht man keine Retorten und keine Gasanstalt, jeder kann sich in seinem Hause mit einem einfachen Apparat Acetylen machen. Nicht weniger als 300 l davon entstehen aus 1 kg Karbid; letzteres ist also scheinbar die denkbar bequemste Lichtquelle, und es ist zu verwundern, daß man nicht früher an seine Verwendung dachte, obgleich es schon 1862 vom Göttinger Professor Wöhler entdeckt und später von Borchers, Moissan und Anderen studiert wurde. Alle diese Männer der Wissenschaft überließen einen scheinbar selbstverständlichen technischen Schritt dem Amerikaner Wilson, der sich die Resultate der Forschung mit Geschick zunutze machte. Voll Zuversicht begründete er im Jahre 1892 die Acetylen-Gesellschaft, aber zum Glück für das Leuchtgas erwies sich das Acetylen mit der Zeit als ein Stoff, der nur bei besonders sorgfamer Behandlung ungefährlich ist. Zwar ist es weniger giftig als Kohlenoxyd, dagegen ist es viel explosiver als Leuchtgas. In einem Intervall von 5—80 % der Luft beigemischt gibt das Acetylen die Möglichkeit von Explosionen, während das gefährliche Intervall bei Leuchtgas viel geringer ist (s. o.). Ferner ist die Explosionswirkung des Acetylens, die man experimentell bemessen kann, sechsmal heftiger als die des Leuchtgases. Drittens enthält das Karbid Phosphorverbindungen, die beim Einwerfen in Wasser Phosphorwasserstoff geben; dieser kann sich ganz von selber entzünden und so das Acetylen zur Explosion bringen, weshalb man genötigt ist, das Gas durch Chlorkalk zu reinigen. Und schließlich läßt sich Acetylen, wenn es durch einen unglücklichen Zufall Wohnräume erfüllt hat, nicht wie das Leuchtgas rasch durch Lüften entfernen, denn sein Gewicht, auf Luft als Einheit bezogen, beträgt 0,906, ist also dem der Luft fast gleich. Wasserstoff aber und Methan, die Hauptbestandteile des Leuchtgases, haben die spezifischen Gewichte 0,069 und 0,55, steigen darum rasch in die Luft empor, wie an den Luftballons ersichtlich, und entweichen aus den geöffneten Fenstern. Aus diesen Gründen haben sich keine Acetylenfabriken an Stelle großer Gaszentralen einbürgern können. Das

Acetylen spielt bei der Beleuchtung eine verhältnismäßig bescheidene Rolle in kleinen häuslichen Anlagen, insbesondere auf dem Lande, wo es keine Gasanstalten gibt, ferner beleuchtet man Autos mit einer in Kieselgur aufgesaugten Lösung von 100 Raumteilen Acetylen in 1 Raumteil Aceton, woraus sich leicht das Gas entwickelt. Im übrigen aber hat das Leuchtgas dem Acetylen nicht weichen müssen.

Infolgedessen hat sich die Industrie des Karbids und des Acetylens nach anderen Richtungen gewandt. Karbid verwandelt man in Kalkstickstoff (s. Kapitel VIII). Das Acetylen wird benutzt: zum autogenen Schweißen, d. h. zum Aneinanderschweißen schwer schmelzender Metalle, insbesondere von Eisen, ohne Lötmetall, lediglich durch die sehr hohe Temperatur des Acetylen-Sauerstoffgebläses; zur Herstellung von Tetrachloräthan, $C_2H_2Cl_4$, und anderen gechlorten Kohlenwasserstoffen, die zum Lösen von Ölen, Lacken usw. dienen und im Gegensatz zum Benzin nicht feuergefährlich sind¹; neuerdings zur Gewinnung von Spiritus und Essigsäure, indem man Acetylen in eine saure Lösung von Quecksilbersulfat leitet und den hierbei nach der Gleichung $C_2H_2 + H_2O = CH_3 \cdot CHO$ gebildeten Acetaldehyd entweder zu Alkohol reduziert oder zu Essigsäure oxydiert.

Das elektrische Licht, in welcher Form man es auch verwenden möge, ist frei von den Nachteilen, die dem Leuchtgas und dem Acetylen anhaften. Die Brandgefahr durch Kurzschluß ist jedenfalls nicht schlimmer als bei der Gasbeleuchtung die Möglichkeit der Vergiftung und der Explosion. Außerdem hat das elektrische Licht einen großen Vorteil: es verdirbt die Luft nicht, wie es die Leuchtgasflamme tut, strahlt auch nicht wie diese zugleich mit dem Licht ein Übermaß von Hitze aus. Man kann daher beliebig viele elektrische Glühbirnen in einem Raume vereinigen, ohne die Unzuträglichkeiten zu spüren, die eine Häufung von Gasflammen stets mit sich bringt.

Abgesehen von den Fällen, wo Elektrizität aus Wasserkraft gewonnen wird, ist die Kohle das Urmaterial zu ihrer Erzeugung. Die Hitze der verbrennenden Kohle entwickelt Dampf, dieser treibt einen Motor und dadurch eine Dynamomaschine, welche den Strom liefert. Bei dem Wettkampf des Leuchtgases mit dem

¹ E. Galizenstein im Ergänzungswerk zu Muspratts Handbuch der technischen Chemie. Band III (herausgegeben von A. Binz), Braunschweig 1915, S. 325, s. daselbst S. 603 über Essigsäure aus Acetylen.

elektrischen Licht frag es sich also, wieviel Licht man in beiden Fällen bei Anwendung ein und derselben Kohlenmenge und sonstiger ungefährender Gleichheit der Unkosten bekommen könne.

Die Antwort fiel anfangs nicht zugunsten des Gases aus, und dieses hätte unterliegen müssen, wäre ihm nicht eine Erfindung zu Hilfe gekommen, die außerhalb alles zu Erwartenden lag und fast von prometheischer Ursprünglichkeit war.

Man wußte durch die Versuche eines englischen Offiziers, Thomas Drummond, daß Kalk in der Glut einer Gebläseflamme ein viel intensiveres Licht ausstrahlt als andere Substanzen, z. B. Metalle. Drummond benutzte sein „Kalklicht“ für Leuchttürme, für andere Zwecke war es wegen des Gebläses zu teuer.

Die Drummondsche Prüfung des Zusammenhanges zwischen Hitze und Licht wurde 1866 von Bunsen auf andere Substanzen ausgedehnt, und in Fortsetzung dieser Arbeiten fand 1880 Bunsens Schüler, Karl Auer v. Welsbach, daß die sog. seltenen Erden in der verhältnismäßig geringen Hitze einer Leuchtgasflamme ein fast ebenso starkes Licht aussenden wie Drummonds Kalkstifte in der außerordentlichen Glut einer Gebläseflamme.

Diese Beobachtung brachte Auer auf den Gedanken, ein Baumwollgewebe von der ungefähren Form einer Flamme mit einer Auflösung der seltenen Erden zu durchtränken, nach dem Eintrocknen das Gewebe zu verbrennen und das nunmehr starre „Erdengerüst“, das genau die Maschen des Baumwollstrumpfes zeigte, in die Flamme zu setzen.

Dieser Gedanke trug den Stempel dessen, was man als Genialität bezeichnen kann: die Unwahrscheinlichkeit des Gelingens und die denkbar größte Wirkung, nachdem es gegen Erwarten gelungen war. Bunsen glaubte nicht an die Möglichkeit, solche zarte Glühkörper zu gebrauchen. Er meinte, sie müßten zerstäuben, da kein Bindemittel die Erdensubstanz zusammenhält. Ähnlich äußerte sich die Presse, als die Öffentlichkeit von Auers Erfindung Kunde erhielt. Ein bekannter Fachmann schrieb in einem technologischen Jahresbericht: „An eine allgemeine Einführung dieses Lichtes ist wegen der leichten Zerbrechlichkeit der Glühkörper und dessen durch die schwierige Beschaffenheit der seltenen Erden bedingten hohen Preis nicht zu denken.“

Alle diese Befürchtungen haben sich als ebenso grundlos

erwiesen, wie die Wirkung des Uerlichtes überraschend war. Sie beruht wesentlich auf drei Faktoren: Erstens bietet ein jedes Gewebe eine Oberfläche dar, welche im Verhältnis zum Rauminhalt und zum Gewicht sehr groß ist. Da nun die Lichtmenge, die ein leuchtender Körper aussendet, mit dessen Oberfläche wächst, so ist die Ausstrahlung der Uerschen Glühkörper wesentlich größer als die der kompakten Drummondschen Kalkstifte. Zweitens hat eine bestimmte Erdenmischung, die Uer und sein Mitarbeiter Haitinger fanden, bestehend in 99 Teilen Thoroxyd, 1 Teil Ceroxyd und eine ganz besondere Fähigkeit zur Umwandlung von Wärme in Licht. Drittens konnte Uer eine Erfindung benutzen, die Bunsen bereits in den sechziger Jahren gemacht hatte und die damals nichts anderes bezweckte als die Schaffung einer praktischen Heizquelle für das Kochen im chemischen Laboratorium. Bunsen änderte nämlich den gewöhnlichen Gasbrenner dadurch ab, daß er den Gasaustritt mit einer Röhre umgab und in letztere etwas unterhalb der Düse, aus welcher das Gas entweicht, einige Öffnungen anbrachte. Durch diese saugt der Gasstrom eine gewisse Menge Luft hinein, und die Folge ist eine intensivere Verbrennung des Gases, als wenn die Luft lediglich von außen die Flamme speist. Das äußert sich darin, daß die „Bunsenflamme“ nur sehr schwach leuchtet, weil ein sofortiges Verbrennen nicht nur des Wasserstoffs, sondern auch des Kohlenstoffs erfolgt, der in einer gewöhnlichen Leuchtgasflamme mangels genügender Luftzufuhr zunächst nicht verbrennt, sondern glüht. Und hauptsächlich äußert sich die Wirkung der Luftzufuhr in der Temperatur, die wesentlich höher ist als bei der leuchtenden Flamme und etwa 1700° beträgt. Bei diesem Wärmegrad strahlt das Uersche Erdengemisch so viel Licht aus, daß selbst mit geringer Gaszufuhr eine blendende Helligkeit erreicht wird. Daher der wirtschaftliche Erfolg der Uerbeleuchtung.

Als Uers Entdeckung bekannt wurde, verlor der Name „seltene Erden“ seine Berechtigung, denn diese Erden hatten die Chemiker bis dahin nur deshalb selten nennen müssen, weil sie im Handel rar und kostspielig waren. In der Natur sind sie ziemlich reichlich vertreten. Man findet sie in Brasilien, Nord- und Südkarolina, Ceylon, Australien und im Ural. Brasilien ist zurzeit die Hauptfundstelle. In den Staaten Rio de Janeiro und Minas wird durch Verwitterung von Granit und Gneis ein Mineral losgelöst, das man wegen seines scheinbar ver-

einzelnen Vorkommens mit einem entsprechenden griechischen Worte Monazit benannte. Es enthält die für das Glühlicht notwendigen Erden und zwar hauptsächlich Ceriumerde, daneben etwas Thorerde; beide sind an Phosphorsäure gebunden, gerade so wie eine andere „Erde“, der Kalk, als Phosphat in der Natur vorkommt. Das Mineral wird durch die Flüsse zusammen mit Ton und Sand an die Küste geschwemmt, und, da es schwerer ist als die Begleitminerale, so hat die Meeresflut letztere zum Teil herausgewaschen, während der Monazitsand in Lagern von etwa $\frac{1}{2}$ m Mächtigkeit liegen geblieben ist. Man erkennt ihn an seiner braungelben Farbe.

Den Wert des Monazitsandes entdeckten die Brasilianer, nachdem ein kluger Unternehmer, John Gordon, weite Küstenstrecken aufgekauft und unauffällig begonnen hatte, den Sand als Ballast nach Hamburg zu verschicken, wo er die Tonne mit 5 % Monazitgehalt zu 300—400 Mk. verkaufte. Erst als man hinter Gordons Geheimnis gekommen war, entstand in Brasilien selber eine Monazitindustrie. Die Anreicherung des cer- und thorhaltigen Bestandteiles findet teils wie bei goldhaltigem Sand durch Waschen statt, teils durch Anwendung von Elektromagneten, da der Monazitsand magnetisch ist. Man erhält so einen Sand mit 96 % Monazit und durchschnittlich 3,7 % des wertvollsten Bestandteiles, des Thordioxydes. In chemischen Fabriken löst man dann das Mineral in Schwefelsäure und trennt Cer- und Thorerde an Salpetersäure gebunden ab. So entstehen Cer- und Thornitrat. Leider waltet das erstere vor, während gerade letzteres zu 99 % in jedem Glühkörper enthalten sein muß.

In den „Glühkörperfabriken“ werden röhrenförmige Gewebe gestrickt und dann sorgfältig durch Einlegen in verdünnte Salpetersäure oder andere Bleichmittel gereinigt, weil jede etwa zurückbleibende unverbrennliche Substanz später die Leuchtkraft des Glühkörpers beeinträchtigt. Man zerschneidet darauf das lange Gewebe zu einzelnen „Glühstrümpfen“, durchtränkt mit einer Lösung von Thor- und Ceritrat, trocknet und brennt die Fasern ab, wobei sich auch die in den Nitraten enthaltenen Elemente der Salpetersäure verflüchtigen. Zurück bleibt ein feines Gerüst von Thor- und Ceroyd; aus dem „Glühstrumpf“ ist so der „Glühkörper“ geworden. Er ist sehr zerbrechlich und erhält eine gewisse Festigkeit in einer Preßgasflamme, deren Temperatur hoch genug ist, um ähnlich wie beim Brennen des Porzellans

die Erdensubstanz zusammenzufritten, d. h. oberflächlich und ohne wesentliche Formänderung zu schmelzen. Der Glühkörper wird für den Transport weiter durch Eintauchen in Kollodiumlösung gefestigt, welche nach Verdunstung des Lösungsmittels eine starre Schicht von Nitrocellulose zurückläßt. Letztere verbrennt beim Einsetzen des Glühkörpers in die Flamme, und das reine Erdengerüst bleibt zurück. Beim Gebrauch bringt man es durch Einstellen des Gashahnes in den heißesten Teil der Bunsenflamme, der im äußeren Flammenkegel besteht und in seiner Form mit der des Glühkörpers zusammenfällt. Auf diese Weise wird das Maximum der Helligkeit erzielt.

Die Billigkeit dieser Beleuchtung besteht außer in dem geringen Gasverbrauch auch in den Eigentümlichkeiten der Herstellung, die auf der billigen Frauenarbeit beruht. Die Menge der verwandten Rohstoffe ist gering, da ein Glühkörper nur etwa 0,4 g Erdensubstanz erfordert.

Vereinigten sich somit schon glückliche Umstände, um das Auerlicht im Kampf mit der elektrischen Beleuchtung zu stärken, so kam dazu noch die Möglichkeit, dem Publikum durch vergleichende Lichtmessung den relativen Wert der verschiedenen Beleuchtungsarten und den besonderen Vorteil des Auerlichtes zahlenmäßig vorzuführen. Das betreffende Verfahren reicht etwa 80 Jahre zurück, weil bald nach dem Leuchtgas auch die Stearinkerze als Frucht der Arbeiten Chevreuls über die Fettchemie auf dem Markte erschien, und nun Gas und Stearin mit den alten Talg- und Wachskerzen und den Öllampen zu kämpfen hatten. Damals legte man den Grund zur Lichtmessung oder „Photometrie“.

„Das Licht kann ebensowenig wie die Wärme der Menge nach gemessen werden, so wie dort kann man nie erfahren, wie viel Licht eine Flamme ausstrahlt, wohl aber wissenschaftlich ermitteln, wie viel mehr oder weniger Licht sie ausstrahlt, als eine andere. Alle Bestimmungen der Art sind also vergleichende.“ So schrieb der Technologe Knapp im Jahre 1847, und im wesentlichen gelten diese Worte noch heute, nur mit dem Unterschiede, daß man für Licht ebenso wie für Wärme einwandfreie Einheiten festgesetzt und exakte Apparate konstruiert hat, um sich der Einheiten zu bedienen.

Als Einheit des Lichtes gilt heute die Flamme der 1887 von Hefener-Altenack vorgeschlagenen und nach ihm benannten

Hefnerkerze (H K). Richtiger würde man sagen „Hefnerlampe“ denn es ist ein kleines Lämpchen von ganz bestimmten Dimensionen, dessen Docht mit einer Schraube und einem Visier derartig einstellbar ist, daß die Flammenhöhe genau 40 mm beträgt. Man füllt die Lampe mit Amylacetat, einer aus Fuselöl fabrizierten Flüssigkeit, die wie Alkohol brennt, sich aber leichter in chemisch reinem Zustand und darum mit stets unveränderter Leuchtkraft gewinnen läßt.

Um die Helligkeit einer Lichtquelle mit der Einheitskerze zu messen, bringt man beide in solche Abstände von einem zu beleuchtenden Gegenstand, daß sie ihm gleiche Helligkeit spenden. Die Optik lehrt, daß sich dann die Lichtstärken wie die Quadrate jener Abstände verhalten; letztere werden gemessen, und die Rechnung ergibt das übrige. So einfach dieses Verfahren ist, so schwer war ihre Ausführung früher deshalb, weil es nicht ohne weiteres möglich ist, zu erkennen, bei welchen Abständen die Beleuchtungen wirklich gleich stark sind. Viel leichter ist die Stärke von Schlagschatten zu beurteilen, und man behalf sich damit, einen Stab auf weißer Tafel aufzustellen und die Lichte so zu schieben, daß beide gleich dunkle Schatten warfen. Bunsen schuf 1843 in seinem „Fettfleckphotometer“ ein besseres Verfahren. Ein Papier mit einem Ölfleck wird von der einen Seite durch die Lichteinheit, von der anderen durch das zu prüfende Licht bestrahlt. Sobald bei Verschiebung der Lichte von beiden Seiten gleich viel Licht kommt, wird der Fleck unsichtbar. Dieser Punkt läßt sich mit großer Schärfe erkennen. O. Lummer und E. Brodhun ersetzten 1889 Bunsens Vorrichtung durch eine Kombination von Glasprismen, deren geeignete Abschleifung im Prinzip gerade so wirkt wie ein Fettfleck auf Papier, nur ist das neue Photometer empfindlicher und gestattet Messungen, deren Fehler nur $\frac{1}{4}$ % beträgt. Man vergleicht mit dieser Vorrichtung die Hefnerkerze mit der zu messenden Lichtquelle auf einer graduierten Stahlschiene. Als Kosten für das einstündige Brennen von 100 H K findet man so¹ beim

Steinkohlengas Schnittbrenner	Pfennig
„ Stehendes Glühlicht	20,0
„ Hängendes Glühlicht	3,0
„	2,0

¹ W. Bertelsmann in B. Neumanns Lehrbuch der Chemischen Technologie. Leipzig 1912, bei Hirzel.

	Pfennig
Acetylen, offene Flamme	
Einzelanlage	4,4
Zentrale	11,2
Acetylenglühlicht	
Einzelanlage	1,66
Zentrale	4,0
Petroleumlampe	8,0
Spiritusglühlicht	2,0
Elektrische Kohlenfadenlampe	21,0
" Osmium- und Tantallampe	9,0
" Osram- und Wolframlampe	6,0
Elektrisches Bogenlicht mit Glode	6,6
Elektrische Flammenbogenlampe	1,5

Diese Zahlen sind nicht als feste Maße zu betrachten, da der Wert einer Beleuchtung von dem Ort, der Strahlenrichtung, den Reflektoren und dem jeweiligen Zweck abhängt. Infolgedessen hat jede Beleuchtungstechnik ihre individuelle Berechtigung, das eine Licht eignet sich vor anderen für die Straße, ein zweites für ein Warenhaus usw. Immerhin läßt obige Tabelle die Überlegenheit des Auerlichtes erkennen, die allerdings nicht so aufzufassen ist, als seien durch Abschaffung der alten Schnittbrenner unsere Gasrechnungen im Verhältnis von 20 : 3 gesunken. Das würde vielleicht zutreffen, falls wir die gleichen Helligkeitsmengen gebrauchten wie früher. Tatsächlich aber verbrauchen wir bedeutend mehr, weil uns das Auerlicht daran gewöhnt hat.

Die heutige Billigkeit des Auerlichtes hängt weiter damit zusammen, daß es gelang, die Lebensdauer der Glühkörper zu verlängern, die wegen allmählichen Sinterns und Schrumpfens in der Flamme eine beschränkte ist. Denn durch das Schrumpfen wird die Oberfläche verkleinert, und in gleichem Maße verringert sich die Fähigkeit zur Aufnahme von Hitze und zur Aussendung von Licht. Diesen Mißstand zeigten die ursprünglich mittels Baumwolle hergestellten Glühkörper in hohem Maße, weil die Baumwollfäden sehr geringen Querschnitt haben. Die nach ihrem Abbrennen verbleibenden Erdenfäden sind darum ebenfalls dünn, und dünne Gegenstände sintern in der Flamme leichter als dickere.

Im Jahre 1898 ersetzte G. Buhlmann mit Erfolg die Baumwolle durch Ramie. Dieser Faserstoff wächst in den Tropen. Er hat die Baumwollglühstrümpfe verdrängt, weil seine Fäden doppelt so dick sind wie die der Baumwolle und darum haltbarere Glühkörper liefern. Von einer großen Beständigkeit sind die Glüh-

Körper aus künstlicher Seide. Obgleich auch hier durch das Abbrennen die Fasersubstanz vollkommen verschwindet, überträgt sich doch deren Elastizität so vollkommen auf das zurückbleibende Erdengerüst, daß es selbst durch andauernde Erschütterung nicht leicht zerstörbar ist.

Weitere Verbesserungen betreffen die Erhöhung der Flammentemperatur und damit die Lichtentwicklung. Beim „Preßgas“ läßt man das Gas unter Wasserdruck austreten, wodurch die Hitze ähnlich wie bei einer Gebläseflamme, obwohl weniger stark, gesteigert wird. Das hängende Glühlicht empfängt das Gasluftgemisch von oben. Infolgedessen wird letzteres von den aufsteigenden Verbrennungsgasen vorgewärmt. Die Temperatur erhöht sich dadurch aus demselben Grunde wie beim Siemensschen Wärmespeicher. Daher das stärkere Leuchten, das in der Billigkeit zum Ausdruck kommt (s. die Tabelle). Diese Art von Beleuchtung erinnert in gewisser Beziehung an eine Lampe aus dem 2. Jahrtausend vor Christus, welche im Berliner Museum für Völkerkunde zu sehen ist. Sie besteht aus einer bronzenen Gans, die in ihrem rückwärts gewandten Schnabel einen Fisch und auf ihrem Rücken einen Ölbehälter hat, in dem sich der Docht befand. Gerade über der Flamme ist in dem Fisch eine Öffnung, welche die Flammengase aufnimmt und sie durch einen Kanal im Hals der Gans in ihren Körper und unter das Ölbecken führt. Also auch hier eine Vorwärmung des Heizmaterials. Geschah es, um ein leicht erstarrendes Öl flüssig zu erhalten, oder kannte man im alten China schon die Errungenschaften neuzeitlicher Lichtkunst? Ein Chinese würde vielleicht antworten, auch hier zeige sich wie bei Pulver und Porzellan, daß die Europäer technische Emporkömmlinge sind.

VIII. Das Ammoniak.

Sal armeniacum, armenisches Salz, ist die älteste Bezeichnung für Salmiak, welches man im Orient beim Verbrennen des als Heizstoff verwendeten Kamelmistes erhielt. Wenn man Salmiak mit Kalkmilch kocht, so entweicht ein stechend riechendes Gas, der Salmiakgeist. Seine wissenschaftlich eingebürgerte Bezeichnung ist Ammoniak. Es besteht aus Stickstoff und Wasserstoff gemäß der Formel NH_3 .

Ammoniak löst sich in Wasser und dient in dieser Form im Hausgebrauch zu Reinigungszwecken. Ammoniak benutzte man

unbewußt im Altertum in Form von faulendem Harn, in dem sich Ammoniak bildet, und mit dem die Tuchwäcker das Verfilzen der Wolle beschleunigten. Durch Überdestillieren des Ammoniaks aus seiner wässerigen Lösung und Auffangen in Salzsäure entsteht Salmiak in reinen kristallinischen Brocken; man braucht sie im Kleingewerbe, um beim Löten die Metallflächen blank zu halten.

Das waren die Quellen und Verwendungen des Ammoniaks, bevor man in der Steinkohle eine Fundgrube von ungeahnter Ausgiebigkeit entdeckte und dadurch zu neuen wichtigen Anwendungen angeregt wurde. Da die Kohle ähnlich wie Kamelmist und Harn ein Erzeugnis lebender Organismen ist, so enthält auch sie Reste des Stickstoffs, der den Hauptbestandteil des Eiweißes bildet, und an den sich die geheimnisvollen Vorgänge des tierischen und pflanzlichen Lebens anknüpfen. In den Retorten der Gasanstalten und in den Öfen der Kokereien werden die Stickstoffreste teils als Blausäure, teils als Ammoniak frei. Im sechsten Kapitel wurde beschrieben, wie man diese Stoffe auffängt.

Im Vergleich zur Kohlenmenge ist die entstehende Ammoniakmenge gering. Die Steinkohle enthält nur 1—1,6 % Stickstoff, und hiervon bleibt etwa die Hälfte im Koks gebunden. Was als Ammoniak entweicht, zerfällt zum Teil durch die Hitze der Retorten und Öfen in Stickstoff und Wasserstoff, und so kommt es, daß 100 t Steinkohle höchstens etwa 0,3 t Ammoniak liefern. Wenn letzteres trotzdem eine große Rolle spielt, so beruht das auf dem Riesenmaß der Kohlenförderung und vor allem darauf, daß das Ammoniak als richtiger Salmiakgeist die merkwürdige Eigenschaft hat, in größter Ausdehnung dienstbar zu sein, ohne dabei stofflich erheblich verbraucht zu werden. Das gilt von zweien seiner wichtigsten Verwendungsgebiete, der Sodafabrikation und der Eisgewinnung. Auf einem dritten Gebiet, dem des Kunstdüngers, verhält sich das Ammoniak wie eine gewöhnliche Ware, die sich abnutzt und verschwindet. Das gleiche gilt von der Verwendung des Ammoniaks zu einem Explosivstoff, dem sog. Ammoniaksalpeter.

In der Sodaindustrie ist das Ammoniak seit etwa 50 Jahren von großer Bedeutung. Vorher fabrizierte man Soda ausschließlich nach dem 1791 von Leblanc erfundenen Verfahren durch Erhitzen von Kochsalz mit Schwefelsäure und Glühen des ent-

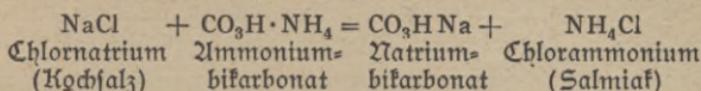
standenen Sulfats mit Kalkstein und Koks. 1863 begann Solvay die Ausarbeitung des „Ammoniakverfahrens“, durch welches der Durchschnittspreis der Tonne wasserfreier Soda in den Jahren 1868—1884 von 400 Mk. auf etwa 100 Mk. sank.

Soda ist, abgesehen von anderen Verwendungen, ein wesentlicher Hilfsstoff zum Herstellen von Seife. Die Einführung des Ammoniaks in die Fabrikation ermöglichte also die wohlfeile Herstellung eines Produktes, das nicht nur industriell, sondern vor allem kulturell wesentlich ist. Daß dem Ammoniak diese wichtige Rolle zufallen konnte, gehört zu den merkwürdigsten Fügungen in der Geschichte der Technik, denn seit Bekanntwerden des Gaswassers und des darin enthaltenen Ammoniaks, also seit Beginn des 19. Jahrhunderts, hatten nicht weniger als 18 Erfinder und Kapitalisten in England, Belgien, Osterreich, Deutschland und Frankreich mit mißlungenen Versuchen zur Fabrikation von „Ammoniak-soda“ Arbeitskraft und Geld verloren; und das Genie des jungen Belgiers Ernest Solvay konnte nur deshalb zum Ziele gelangen, weil er von all jenen Mißerfolgen keine Ahnung hatte, sondern sich für den glücklichen Entdecker eines Verfahrens hielt, das in der damaligen technischen Literatur als ebenso altbekannt wie wertlos abgetan wurde.

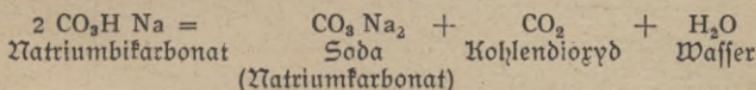
Ernest Solvay las keine chemischen Bücher. Er wußte von Chemie nur, was er bei seinem Vater, einem Kochsalzraffineur, und bei seinem Onkel, dem Leiter einer Gasanstalt gesehen hatte. Das regte ihn zu zwei Versuchen an, erstens sättigte er Ammoniakwasser mit Kohlensäure, weil ihm die Verkäuflichkeit des doppelkohlensauren Ammoniums als Backpulver bekannt war, und zweitens goß er zu der erhaltenen Flüssigkeit Salzwasser, letzteres ohne bestimmten Plan, einfach weil das Salz ein Freund seiner Kindheit war und er gutes von ihm erhoffte.

Dieser Kinderglaube wurde belohnt. Kaum hatte er die Flüssigkeiten gemischt, als prachtvolle Kristalle anschoffen. Es war doppelkohlensaures Natron. Durch gelindes Erwärmen wurde es zu Soda. Solvay hatte davon gehört, daß man Soda aus Salz herstellte, aber durch Glühen in großen Ofen, mit gewaltigem Kohlenaufwand, mit Schwefelsäure und anderen Rohstoffen, die viel Geld kosten. Und diese mühsame Fabrikation sah nun der jugendliche Erfinder durch das einfache Zusammen-gießen zweier Flüssigkeiten ersetzt. Er hatte folgende Reaktion

neu entdeckt, die schon 1808 durch den französischen Gelehrten Fresnel bekannt geworden war:



Die treibende Kraft bei dieser Reaktion ist einfach die Schwerlöslichkeit des Natriumbicarbonates. So werden die Elemente mühelos zusammengeführt, die sich bei der Sodafabrikation nach Leblanc nur durch Feuerstut zusammenzwingen lassen. Es bedarf nur sehr geringer Hitze, um in einer zweiten Operation das Natriumbicarbonat in Soda zu verwandeln:



Diese verführerisch einfachen Reaktionen hatten vor Solvays Zeit wie Irriichter alle die in den Sumpf gelockt, die ihnen nachgingen. Sie schließen nämlich zwei Verlustquellen in sich. Erstens wird das Kochsalz, im Gegensatz zum Leblancprozeß, nur zu etwa 65 % ausgenutzt. Die Reaktion verläuft nicht zu Ende, weil das Natriumbicarbonat, obwohl schwer löslich, so doch nicht ganz unlöslich ist. Zweitens ist der Verkaufswert des von den Gaswerken als Ammoniumsulfat gelieferten Ammoniaks rund viermal so hoch wie die Sodamenge, die sich daraus gewinnen läßt. Zwar kann man das Ammoniak durch Destillation des Chlorammoniums mit Kalk wiedergewinnen, indessen wird es dabei in Form eines Gases erhalten, dessen vollkommene Auffangung und Wiedereinführung in die Fabrikation wie bei jedem Gas unmöglich ist. Nun stellt bei dem hohen Einstandspreis des Ammoniaks und dem geringen Verkaufswert der Soda schon der Verlust von mehr als 4 % des angewandten Ammoniaks die ganze Fabrikation in Frage, und Solvays Vorgänger hatten es nicht vermocht, Apparate zu bauen, die das Entweichen von Ammoniak bis auf das notwendige Minimum beschränkten. „Und selbst wenn“ — so äußerte sich 1872 ein zum Gutachten über Solvays Unternehmen aufgeforderter Sachverständiger — „der Ammoniakverlust nur 5 % beträgt, woher soll dann dieser Bedarf an Ammoniak gedeckt werden? Ich kenne als Bezugsquelle für Ammoniak nur die Kohlendestillation, während eine nicht abzuschätzende Nachfrage nach Ammoniak in der Landwirtschaft vorhanden ist. Eine beschränkte Herstellung von Rohmaterial und

eine unbeschränkte Nachfrage danach bedeuten natürlich ein fortgesetztes Hinaufgehen des Preises für das Rohmaterial¹."

Solvay war, wie er selbst sagte², „ni ingénieur ni chimiste.“ „Avec la foi de l'inventeur“ begann er den Bau einer kleinen Fabrik, und dann erst dämmerte ihm allmählich das gefährliche seiner Lage: Er erfuhr, daß sein Verfahren altbekannt, und daß seine Vorgänger gescheitert waren. Sein Landsmann, der berühmte Chemiker Stas riet ihm, die Fabrikation einzustellen. Aber: „ses craintes ne parvinrent pas à m'arrêter.“

Daß Solvay das scheinbar Unmögliche durchsetzte, lag an dreierlei: Zunächst hatte er den klugen Einfall, nicht das relativ teure feste Salz zu verarbeiten, auf das die Leblanc-Fabrikation aus bestimmten Gründen angewiesen ist, sondern die viel billigere Salzsoole. Sodann vermochte er durch sein außerordentliches konstruktives Geschick die Ammoniakverluste auf ein Minimum herabzudrücken, das vor ihm keiner erreicht hatte. Und endlich hatte er das Glück, daß man gerade zu seiner Zeit die alten Kokerien in Destillationskokerien umwandelte, d. h. man begnügte sich nicht wie bisher nur mit dem Koks, sondern fing außerdem wie in den Gasanstalten die Kohlendestillate, die Teerbestandteile und das Ammoniak auf. Die Folge war ein gewaltiges Ansteigen der Ammoniakferzeugung. Die Solvay-Werke wurden also gegen Erwarten von keiner Ammoniakknappheit bedroht, und die Ammoniakfoda eroberte den Weltmarkt.

Die Erzeugung von Kälte und die Fabrikation des Eises beruhen ebenfalls auf der Anwendung von Ammoniak und haben sich aus folgendem Versuch entwickelt: Wenn man einen mit Äther beschickten Destillationskolben in ein Schälchen stellt, das etwas Wasser enthält, und bringt nun den Äther dadurch zur Verdunstung, daß man den Kolben mit einer Vacuumpumpe verbindet, so gefriert nach einiger Zeit das Wasser. Der Grund liegt darin, daß jede Flüssigkeit eine bestimmte „Verdampfungswärme“ hat, d. h. bei ihrer Umwandlung in Dampf ihrer Umgebung eine gewisse Wärmemenge entzieht. Ein allgemein bekannter Spezialfall dieses Gesetzes ist das Frösteln, das uns überfällt, wenn wir aus einem heißen Bade steigen, und das

¹ Vgl. Hasenclever, Die Entwicklung der Sodaindustrie. Berichte d. deutsch. chem. Gesellsch. Bd. 29, S. 2875.

² Bericht über den 5. internat. Kongress f. angewandte Chemie zu Berlin, 1904, 1, 108.

Wasser von unserer Haut verdunstet. Die Verdampfungswärme ist für jede Flüssigkeit eine konstante Größe, die außerdem von der Temperatur der Flüssigkeit abhängt. Man bemißt sie nach der Anzahl von Wärmeeinheiten, welche je 1 kg der betreffenden Flüssigkeit bei der jeweils herrschenden Temperatur aufnehmen muß, um vollkommen in Dampf (Gas) überzugehen. Die Verdampfungswärme beträgt für

	Wärmeeinheiten
Wasser von 0°	590
Äther von 0°	94
Bei — 10° verflüssigtes Ammoniak	322
Bei — 10° verflüssigtes Schwefeldioxyd	95
Bei — 10° verflüssigtes Kohlendioxyd	62

Diese Flüssigkeiten, ebenso wie theoretisch jede andere, kann man zur Kälteerzeugung brauchen, indem man sie zum Verdampfen bringt. Des Wassers bedient man sich in südlichen Ländern, indem man es in unglasierte Tongefäße füllt. Was von der Flüssigkeit durchsickert, verdunstet und entzieht dadurch dem zurückbleibenden Teil so viel Wärme, daß dessen Temperatur weit unter die der Luft sinkt. Man könnte auf ähnliche Weise mit Wasser im Großbetriebe Kälte erzeugen, wenn nicht die Verdunstung des Wassers zu langsam vonstatten ginge. Aus diesem Grunde muß man sich rascher verdunstender Flüssigkeit bedienen. Solche sind Äther und die zu Flüssigkeiten komprimierbaren, bei gewöhnlicher Temperatur gasförmigen Stoffe Schwefeldioxyd, Kohlendioxyd und Ammoniak.

Äther versuchte 1834 der Engländer Perkins anzuwenden; der Erfolg war nicht groß, da Äther teuer, zudem feuergefährlich ist, und man damals nicht verstand, gute Maschinen zu bauen, in denen Äther verdampft und wieder verflüssigt werden konnte. Eine Kälteindustrie entwickelte sich erst, als 1860 der Franzose Ferdinand Carré die von den Gasanstalten gelieferte wässerige Ammoniaklösung anwandte. Das hieraus durch Wärme ausgetriebene Ammoniakgas wird in geschlossene Röhren hineingetrieben, die in Kühlwasser liegen, so daß es hier durch die Kälte und durch seinen eigenen Druck zu einer Flüssigkeit verdichtet wird. Nach Öffnen eines Ventiles strömt das flüssige Ammoniak in ein zweites Röhrensystem, welches in Salzwasser liegt. Von hier läßt man das Ammoniak wieder in das Wasser hinein verdampfen, in dem es ursprünglich gelöst war; dabei wird die Verdampfungswärme der Salzlösung entzogen, und diese

läßt sich hierdurch leicht auf -10° und noch tiefer abkühlen. Da Salzlösungen geeigneter Konzentration bei dieser Temperatur nicht erstarren, so kann man sie entweder in Röhren durch die zu kühlenden Räume fließen lassen oder aber durch Einhängen von Blechgefäßen, die mit reinem Wasser gefüllt sind, dieses in Eis verwandeln.

Die nach Carré gebauten Maschinen nennt man Absorptionsmaschinen, weil das Ammoniakgas immer wieder von Wasser absorbiert wird, worauf es aufs neue in den Kreislauf der Austreibung, Verdichtung, Verdampfung und Absorption eintritt. Carrés Verfahren fand 1867 in Deutschland Eingang. Die Notwendigkeit, das Ammoniak aus Wasser auszutreiben und in ihm aufzufangen, verleiht den Carréschen Maschinen eine gewisse Schwerefälligkeit. Seit 1877 baut man auf Grund der Arbeiten von Prof. v. Einde die „Kompressionsmaschinen“, welche heute die verbreitetsten sind. Auch bei ihnen wird Ammoniakgas in Röhren verdichtet und dann in andere Röhren, die in der zu kühlenden Flüssigkeit liegen, hinübergedrückt und hier wieder verdampft. Aber dieser Kreislauf wird mit wasserfreiem Ammoniak ausgeführt, das nicht durch Austreibung aus Wasser und darauffolgende Absorption, sondern durch eine Pumpe hin- und herbewegt wird. Ein Kolbenstoß verdichtet das Ammoniakgas, der nächste, ihm entgegengesetzte, saugt das verflüssigte Ammoniak an und verwandelt es so in Gas. Dann kommt wieder die Verflüssigung und so fort, wodurch eine sehr rasche Abkühlung des Salzwassers erzielt wird, welches die Röhren mit der verdampfenden Ammoniakflüssigkeit umgibt. Neben dem Ammoniak hat man auch Kohlendioxyd und Schwefeldioxyd zur Kälteerzeugung mit Kompressionsmaschinen herangezogen. Ein grundsätzlicher Unterschied in der Verwendung dieser drei verdichtbaren Gase besteht nicht, wiewohl die betreffenden Maschinen in Einzelheiten voneinander abweichen.

Durch die Industrie der Kälte sind wir an etwas gewöhnt worden, was anfangs als Luxus gelten konnte, jetzt aber ein Erfordernis des Lebens bildet; dabei hat man zwischen der Fabrikation von Eis und der Erzeugung von Kälte zu unterscheiden.

Eis braucht man in Hospitälern, Gasthöfen, Konditoreien und im Hause. In der Industrie wird Eis hauptsächlich bei der Fabrikation der Azofarbstoffe verwendet. Nur ein Teil davon

wird fabrikatorisch gewonnen, ein anderer kommt als „Natureis“ aus Norwegen und der Schweiz. Wichtiger als die Erzeugung von Eis ist die Abkühlung von Luft, Wasser oder Salzlösungen, welche letztere selbst weit unter 0° nicht gefrieren. Kalte Luft und kalte Flüssigkeiten können in Zirkulation versetzt werden und stellen somit eine bewegliche Kühlung dar, die sich zum Eis verhält wie Luft- oder Dampfheizung zur feststehenden Feuerung. Das wichtigste Gebiet dieser Art Kühlung ist die Bierbrauerei. Die Hefen, welche das Münchener und Pilsener Bier erzeugen, gedeihen nur bei etwa $5-6^{\circ}$. Man hängt darum in die Gärbottiche flache Metallgefäße, die von entsprechend abgekühltem Wasser durchflossen werden. Die Räume, in denen das fertige Bier lagert, werden ebenfalls von Röhren durchzogen, in denen die von der Ammoniakmaschine kommende kalte Flüssigkeit fließt.

Sehr merkwürdig ist die Anwendung künstlicher Kälte im Bergbau. Es kommt vor, daß die Anlagung von Schächten dadurch unmöglich gemacht wird, daß während der Arbeit Wasser eindringt. Um das zu verhindern, treibt man eine größere Anzahl dicker Eisenrohre kreisförmig angeordnet senkrecht ins Erdreich hinein und führt durch die Rohre dünnere ein, in denen Kühlflüssigkeit hinab- und wieder heraufsteigt. Alsbald entsteht eine kreisförmige Frostmauer, welche vollkommen vor Wassereintritt schützt. Innerhalb ihrer beginnt die eigentliche Bohrarbeit.

Zu großen Fortschritten hat die Kälteindustrie im Nahrungsmittelgewerbe geführt. Fleisch, Butter, Eier und ähnliche Nahrungsmittel haben unter gewöhnlichen Umständen nur eine geringe Haltbarkeit, weil sie teils durch die allgegenwärtigen Mikroorganismen, teils durch innere chemische Vorgänge in Fäulnis übergeführt werden. Da sich durch starke Abkühlung beide Arten von Zersetzungs Vorgängen zwar nicht vollkommen verhindern, aber doch wesentlich verlangsamen lassen, so kann man die Waren in stark gekühlten Räumen lange Zeit aufbewahren. Der Ernährungsbetrieb der Städte ist dadurch vom augenblicklichen Bedarf relativ unabhängig geworden. Kühlanlagen in Schiffen und Eisenbahnen gestatten die Versendung von Nahrungsmitteln aus einem Erdteil in den anderen.

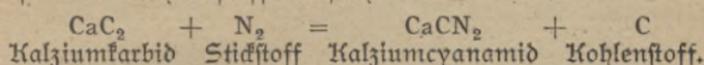
Auch Früchte und Blumenkeime lassen sich durch Kälte konservieren. Wichtig ist schließlich das Aufbewahren von Pelzen in Kühlräumen, weil das der sicherste Schutz gegen Motten ist.

Die Verwendung des Ammoniaks zu Düngezwecken ist quantitativ viel bedeutender als die für Sodafabrikation und Kälteerzeugung, weil nicht wie bei den letzteren Industrien ein und dieselbe Ammoniakmenge immer wieder benutzt wird. Das Ammoniak wird der Landwirtschaft in Form von kristallinischem Ammoniumsulfat zugeführt, welches man herstellt, indem man aus dem Ammoniakwasser („Gaswasser“) der Kokereien und Leuchtgasanstalten das Ammoniak mit Dampf bei Gegenwart von Kalk austreibt und das übergehende Gas in Schwefelsäure auffängt. Im Jahre 1913 wurden in Deutschland 550 000 t Ammoniumsulfat hergestellt, davon 85 % in den Kokereien, der Rest in den Gasanstalten. Das landwirtschaftlich wichtige in der Ware ist der Stickstoff, den die Pflanze mit dem Ammoniumsalz aus dem Boden aufsaugt. Der Stickstoff des 1913 in Deutschland erzeugten Ammoniumsulfats betrug 110 000 t; wie wenig aber diese große Menge genügt, beweist die Tatsache, daß die deutsche Landwirtschaft in demselben Jahre im ganzen 218 800 t Stickstoff verbrauchte, von denen 116 250 t durch Einfuhr von Chilesalpeter gedeckt werden mußten. Von letzterer Ware bezog Deutschland in dem genannten Jahre 774 318 t im Werte von 172 Millionen Mark. Es liegt darum im Interesse der deutschen Volkswirtschaft, den Chilesalpeter durch Ammoniumsulfat oder einen anderen einheimischen Düngestoff zu ersetzen. Das ist bis zu einem gewissen Grade nach einem Verfahren möglich, das im Jahre 1883 der deutsche, in England lebende Chemiker Ludwig Mond erfunden hat. Er arbeitet mit Generatoren nach dem Kraftgasverfahren (s. S. 65), leitet also Luft und Wasserdampf in den glühenden Brennstoff ein, nur unterscheidet sich das Verfahren von der gewöhnlichen Kraftgasdarstellung dadurch, daß die Menge des Wasserdampfes eine größere ist. Es entsteht Heizgas, und zugleich entweicht der Stickstoff der Kohle als Ammoniak. Dabei bleibt die Zersetzung fast aus, von der in den gewöhnlichen Gasretorten und in den Koksöfen etwa 75 % des entstehenden Ammoniaks betroffen werden. Mond erhält darum viermal mehr Ammoniak, wie man in jenen Betrieben aus der gleichen Kohlenmenge gewinnen kann. Man hat dieses „Mondgasverfahren“ auch in Deutschland eingeführt, indessen ist es nur bei sehr billigem Brennstoff wirtschaftlich. Seine Anwendung ist darum eine beschränkte, und es ist auf diesem Wege nicht gelungen, den Chilesalpeter auszuschalten. Dagegen war man mit zwei anderen

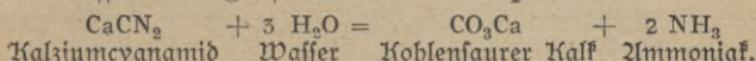
Verfahren erfolgreich, welche es gestatten, den Stickstoff der Luft, der als solcher von den meisten Pflanzen nicht aufgenommen werden kann, in die Form eines geeigneten Düngemittels zu bringen.

Das erste Verfahren erfanden im Jahre 1895 Adolf Frank, derselbe, der 1861 die Staffurter Kalisalze der Düngerindustrie zugänglich machte, und sein Mitarbeiter Nikodem Caro.

Luft wird durch Überleiten über glühendes Kupfer von Sauerstoff befreit oder nach dem Verfahren von v. Linde durch Abkühlung und Druck verflüssigt und in diesem Zustande durch Destillation in Sauerstoff und Stickstoff getrennt. Den Stickstoff leitet man über glühendes Karbid, wobei Kalziumcyanamid neben freiem Kohlenstoff entsteht:



Mit Wasser tritt Zerfall unter Bildung von Ammoniak ein:



Derselbe oder ein ähnlicher Vorgang vollzieht sich in der Feuchtigkeit der Ackererde, wenn man mit Kalziumcyanamid direkt düngt. Man nennt es im Handel „Kalkstickstoff“. Es konnte im Jahre 1901 an die Landwirtschaft geliefert werden. Die deutsche Erzeugung im Jahre 1913 betrug etwa 50000 t.

Das zweite, von F. Haber erfundene Verfahren besteht in der Vereinigung von Wasserstoff und Stickstoff zu Ammoniak bei hoher Temperatur und unter Druck vermittelt einer die Reaktion beschleunigenden Kontaktmasse. Es ist das Verdienst der Badischen Anilin- und Soda-fabrik, die außerordentlichen Schwierigkeiten überwunden zu haben, die der Einführung dieser Ammoniak-synthese in die Technik entgegenstanden. Es gelang das im Jahre 1913, und zugleich bewerkstelligte man die im Prinzip bereits bekannte Umwandlung des so gewonnenen Ammoniaks in Salpeter. Diese Art der Ausnutzung des Luftstickstoffs ist unter dem Zwange des Krieges zu einem derartig großen Industriezweig geworden, daß Deutschland für alle Zukunft auf die Einfuhr von Chilesalpeter wird verzichten können. Unsere Feinde haben also durch ihren Versuch, uns einen nach ihrer Meinung unentbehr-

¹ Vgl. Zur Geschichte des Kalkstickstoffs in „Die chemische Industrie“ 40, 55 (1917).

lichen Rohstoff zu entziehen, nur erreicht, daß unsere Industrie in einem der wesentlichsten Punkte stark und unabhängig geworden ist.

IX. Der Steinkohlenteer.

Bei der Destillation der Steinkohle in Leuchtgasanstalten und Kokereien fällt Teer als Nebenprodukt ab. Es ist eine schwarze, zähe, nicht wohlriechende Flüssigkeit, der man ihre große technische Bedeutung keineswegs ansieht. Als die Leuchtgas- und die Koksindustrie jung waren, wußte man kaum etwas mit dem scheinbar unerfreulichen Nebenprodukt anzufangen. Besonders in den Gasanstalten wurde der Teer lästig, weil man ihn hier nicht wie bei den Kokereien direkt verdampfen oder verbrennen lassen konnte, sondern gezwungen war, ihn mit dem Gas aufzufangen. Um sich seiner zu erwehren, verheizte man ihn unter den Gasretorten; man versuchte ihn als Bindemittel zum Bricketieren von Kohleklein zu verwenden; ferner zur Rußbereitung durch unvollkommenes Abbrennen, und schließlich zum Imprägnieren von Eisenbahnschwellen und Überziehen von Dachpappen, da Teer haltbar macht.

Dieser Schutz ist nicht nur ein äußerer, sondern auch ein chemischer, da gewisse Bestandteile des Teers die Fäulnis verhindern. Es scheint, daß hieraus zuerst die Anregung entstand, den Teer im Großbetrieb zu destillieren, da man die antiseptischen Substanzen zu isolieren hoffte. Dabei zeigt sich, daß Teer keineswegs nur aus schwarzen widrigen Stoffen besteht, vielmehr entweichen ihm in der Hitze schöne helle Öle, die beim Abkühlen teilweise kristallinisch schimmernd erstarren. Das zuerst übergehende Öl führte Brönnner 1846 als Fleckwasser ein, Macintosh brauchte es zur Auflösung von Kautschuk bei der Herstellung wasserdichter Mäntel. So entwickelte sich die Teerdestillation, die heute eine Industrie für sich bildet und der Industrie der Farben und anderer wertvoller Waren zugrunde liegt.

Den Weg von den Destillaten des Teers zu den Farbstoffen wies 1845 August Wilhelm Hofmann, damals Privatdozent der Chemie in Bonn. Er untersuchte den Teer wissenschaftlich und fand als einen Hauptbestandteil das Benzol, welches der schottische Gelehrte Faraday bereits als Laboratoriumspräparat aus dem Leuchtgas isoliert hatte. Der Name erinnert an Benzoeharz, aus dem ebenfalls Benzol gewonnen werden kann. Um



Fig. 1. Weißes Roheisen. 1650 fache lineare Vergrößerung.
Von E. Heyn (vgl. Materialprüfungsamt, Abt. für Metallographie).

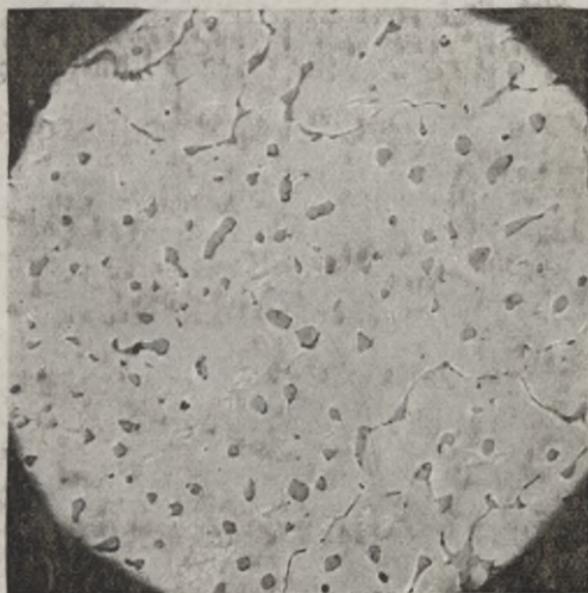


Fig. 2. Schwefeleisen in Eisen. 350 fache lineare Vergrößerung.
Von E. Heyn (vgl. Materialprüfungsamt, Abt. für Metallographie).



Eine Landschaft der Steinholzeit (H. Potonié).

das Benzol näher zu kennzeichnen, studierte Hofmann sein Verhalten gegen Salpetersäure. Er erhielt so das Nitrobenzol und aus ihm durch Reduktion das Anilin.

Das Anilin war nicht unbekannt. 1826 hatte es der Apotheker Unverdorben durch Destillation aus Indigo erhalten; daher stammt sein Name, der dem spanischen Worte Anil, d. h. Indigo entlehnt ist. Hofmanns Entdeckung schlug scheinbar unmittelbar eine Brücke zwischen dem Steinkohlenteer und dem Farbstoffgebiet, indessen gelang die Synthese des Indigos mit Hilfe des Anilins erst viele Jahrzehnte später. Die Entwicklung ging zunächst einen ganz anderen Weg.

Hofmann wurde als Professor nach London berufen. Hier lernte im Jahre 1856 sein Assistent William Henry Perkin das Anilin kennen. Am Tage half er seinem Lehrer, und hingerissen von dem wissenschaftlichen Enthusiasmus, den dieser seitene Mann auf seine Schüler übertrug, benutzte Perkin die Abende in seinem väterlichen Hause zu eigenen Versuchen. Dabei erfand der kaum 18jährige den ersten Teerfarbstoff. Eine theoretische Überlegung hatte ihn zu der durchaus unrichtigen Annahme geführt, es müsse eine technisch nutzbare Beziehung zwischen einem dem Anilin verwandten Stoff und dem Chinin bestehen. Als er diesem Gedanken folgend ein Oxydationsmittel auf Anilin einwirken ließ, erhielt er zwar nicht Chinin, wohl aber zu seiner Überraschung einen prachtvollen violetten Farbstoff, der auf Seide ein schöneres und echteres Violett gab als der damals gebrauchte Pflanzenfarbstoff, die Orseille.

Der glückliche Entdecker verließ Hofmanns Laboratorium und baute zusammen mit seinem Vater eine Fabrik. Das neue, „Mauvein“ genannte Färbematerial hatte außerordentlichen Erfolg, der viele Chemiker, darunter auch Emile Verguin, Professor in Lyon, dazu anregte, Anilin mit anderen als den von Perkin benutzten Chemikalien zu behandeln. Das Ergebnis war 1859 die Erfindung des „Fuchsin“, das in seiner roten Farbe der Fuchsiablüte ähnelte. 1861 fanden zwei andere Franzosen, Girard und de Laire, auf demselben Wege fortschreitend, ein „Anilinblau“; 1863 entdeckte Cherpin ein „Aniligrün“, und Lightfoot zeigte, wie man das tiefe und echte „Anilinschwarz“ auf Baumwolle erzeugen könne. Das Anilin entfaltete also eine Proteusnatur. „Eine neue Welt war erschlossen, voll märchenhaften Reizes; für den einen ein Goldland, für den

anderen ein aussichtsreiches Forschergebiet. Alles eilte dahin, mit unwiderstehlicher Kraft getrieben, der Fabrikant, der Gelehrte, der Kaufmann, der Abenteurer.“ So berichtet ein Chemiker, der es mit erlebt hat.¹

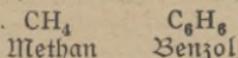
Die junge Farbenindustrie sollte scheinbar ebenso wie die des Koffees, des Puddels und des Bessmereisens eine britische werden, weil sie dort entstanden war, und man gerade dort Steinkohlenteer in Massen gewann. Ferner schien es zuerst, als werde der wissenschaftliche Ausbau der Farbenchemie Frankreich zufallen. Indessen zeigte sich bald, daß diesmal weder der praktische Sinn des britischen Volkes noch der wissenschaftliche des französischen der großen Aufgabe gewachsen war. Vielmehr verloren sie das neu erschlossene Gebiet an die deutschen Chemiker. Das wurde nachmals für England eine der Ursachen, weshalb es den Weltkrieg entfesseln half. Denn die Briten haben in dem Gefühle, daß ihnen durch ihre Rückständigkeit auf wissenschaftlich-chemischem Gebiete die großen industriellen Gewinne entgangen waren, die sich Deutschland zu verschaffen verstand, den Ausgleich in dem ungeheuerlichen Unrecht gesucht, das sie Deutschland durch die Einkreisung und den Eintritt in den Krieg zufügten.

Die deutschen Chemiker also der Hofmannschen Zeit blickten weiter und tiefer als ihre britischen und gallischen Fachgenossen, und zwar aus dem Grunde, weil sie in den Schulen von Liebig, Wöhler, Bunsen, Kolbe und anderer Professoren gelernt hatten, technische Probleme wissenschaftlich zu erfassen; und ferner hatten sie das große Glück, daß ihnen ein genialer Theoretiker erstand, der aus den damals bekannten Tatsachen der Kohlenstoffchemie auf solche schloß, die bis dahin niemand geahnt hatte, und damit ein Gebiet von unermesslicher Fruchtbarkeit auftrat.

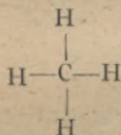
August Kekulé, 1856 Privatdozent in Heidelberg, gestorben 1896 als Professor in Bonn, hatte die Fähigkeit, eine Ansammlung anscheinend zusammenhangloser Chemismen in seinem Kopfe aufzuspeichern und so scharfsinnig zu durchdenken, daß plötzlich eine umfassende Gesetzmäßigkeit aus ihnen hervorleuchtete. Den Stoff zu seiner Gedankenarbeit lieferte die große Anzahl von Analysen, auf Grund deren man die Mannigfaltigkeit der kohlenstoffhaltigen Substanzen zu ordnen versucht hatte. Man war bereits gewöhnt, den Hauptsinn dieser Analysen nicht in den zunächst sich ergebenden Prozentzahlen zu erblicken, sondern in den daraus

¹ H. Caro, Berichte d. deutsch. chem. Gesellsch. Bd. 25, S. 1029 (1892).

berechneten Atomverhältnissen. So wußte man beispielsweise, daß im Methan 4 Atome Wasserstoff und 1 Atom Kohlenstoff, im Benzol 6 Kohlenstoff- und 6 Wasserstoffatome miteinander verbunden sind, woraus sich die Schreibweisen



ergeben. Man hatte aber aus diesen Zahlen und aus anderen, welche die Unmenge organischer Verbindungen betrafen, keine Schlüsse auf die geheimnisvollen, den Atomen innewohnenden Kräfte gezogen. Kekulé sah einen solchen Zusammenhang zwischen Atomzahl und Atomkraft. Er nannte ihn Valenz oder Wertigkeit und begriff darunter die Fähigkeit eines jeden Atoms, eine ganz bestimmte Anzahl anderer Atome festzuhalten, ähnlich wie unsere Sonne befähigt ist, eine bestimmte Anzahl anderer Himmelskörper zu fesseln. Während gewisse Atome „einwertig“ sind, „eine Valenz“ haben, sind andere mit zwei, drei und mehr Valenzen ausgestattet, und insbesondere der Kohlenstoff ist ein vierwertiges Element, er bindet darum im Methan vier Wasserstoffatome, die ihrerseits einwertig sind. Bezeichnet man die verknüpfenden Valenzen mit Bindestrichen, so ergibt sich für das Methan statt der rein analytischen Formel CH_4 die „Strukturformel“

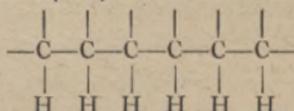


Der Unterschied dieser Schreibweisen ist scheinbar gering; welche Bedeutung ihm aber tatsächlich innewohnt, offenbart sich, wenn man eine Strukturformel für das Benzol aufzustellen sucht. Im Benzol haftet offenbar gemäß der Zusammensetzung C_6H_6 an jedem Kohlenstoffatom ein Atom Wasserstoff. Da letzteres aber nur ausreicht, um jeweils eine einzige Kohlenstoffvalenz abzufüllen, so müssen die übrigen drei Valenzen eines jeden Kohlenstoffatoms entweder ungesättigt sein oder irgendwie unter sich zum Ausgleich kommen. Von diesen Möglichkeiten ist die erstere auszuschließen, denn mit ungesättigten Atomkräften verbindet sich ein unbeständiger oder chemisch aggressiver Zustand, insofern jene Kräfte sich anderen Stoffen gegenüber äußern können. Ein Beispiel dafür ist das Kohlenoxyd, in dem der

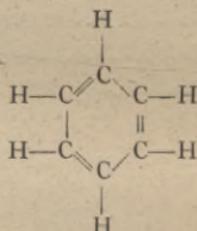
vierwertige Kohlenstoff mit dem zweiwertigen Sauerstoff verbunden ist:



woraus es sich erklärt, daß das Kohlenoxyd seine freien Valenzen am Lungenblute sättigt und somit ein Gift ist. Beim Benzol aber ist nichts derartiges zu bemerken, alle Valenzen müssen also irgendwie unter sich verankert sein, und da dazu die Wasserstoffvalenzen nicht ausreichen, so bleibt nur die Möglichkeit der Bindung von Kohlenstoff zu Kohlenstoff. Diese Bindung muß indessen besonderer Art sein, indem die einfachste Anordnung



nicht genügt. Denn auch hier bleiben noch freie Valenzen. Wohl aber ergibt sich eine vollkommene Absättigung, wenn man die offene Kette zu einem Ring schließt und die Kohlenstoffatome abwechselnd einfach und doppelt aneinander bindet:



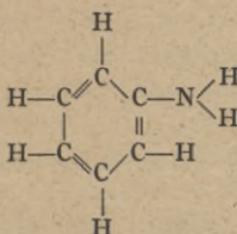
Dies ist der berühmte Kekulé'sche „Benzolring“ oder „Benzolkern“, auf den man mit Recht die Hertz'sche Charakteristik der Maxwell'schen Lichttheorie übertragen hat¹:

„Man kann diese wunderbare Theorie nicht studieren, ohne bisweilen die Empfindung zu haben, als wohne den mathematischen Formeln selbständiges Leben und eigener Verstand inne, als seien dieselben klüger als wir, klüger sogar als ihr Erfinder, als gäben sie uns mehr heraus, als seinerzeit in sie hineingelegt wurde. Es ist dies auch nicht geradezu unmöglich; es kann eintreten, wenn nämlich die Formeln richtig sind über das Maß dessen hinaus, was der Erfinder sicher wissen konnte.“

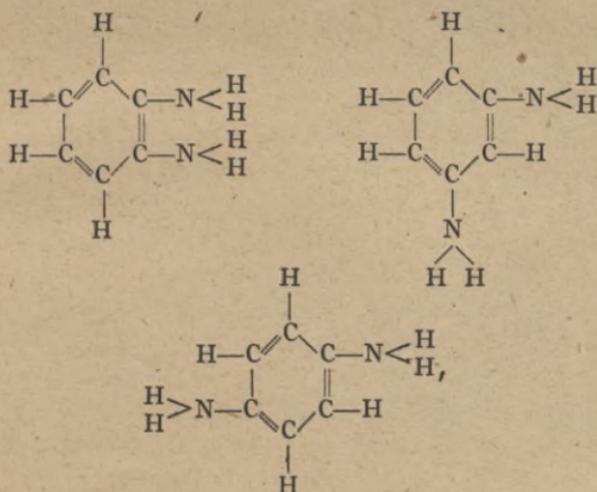
Genau so ging es mit der Kekulé'schen Benzolformel. Sie

¹ A. v. Baeyer, Berichte d. deutschen chem. Gesellsch. Bd. 23, S. 1275 (1890). Vgl. H. Hertz, Über die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität, 1889 bei Strauß in Bonn, S. 11.

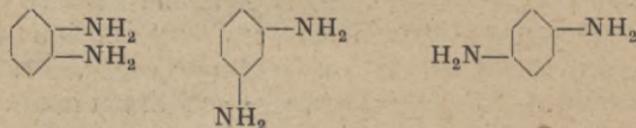
betrifft ursprünglich nur das Benzol, bald aber erweiterte sich ihre Anwendbarkeit auf eine Unzahl chemischer Verbindungen. Zunächst auf das Anilin, den Rohstoff zu Perkin's Mauvein. Die Analyse ergab die Formel C_6H_7N und daraus folgte die Struktur:



Denn das Stickstoffatom N ist dreiwertig und eine andere Gruppierung der Atome ist darum nicht möglich. Bei der Herstellung des Anilins durch Behandeln des Benzols mit gewissen Chemikalien (zuerst Salpetersäure, dann Eisen und Salzsäure) wird also ein Wasserstoffatom des Benzolkernes durch die Gruppe NH_2 „substituiert“. Wenn aber 1 H-Atom durch NH_2 ersetzbar ist, so erscheinen auch andere Wasserstoffatome als substituierbar, wobei die sechseckige Form des Benzolkernes eine ganz außerordentliche Mannigfaltigkeit zur Folge haben muß. Je nach der relativen Lage der Substituenten nämlich sind selbst bei gleicher analytischer Zusammensetzung verschiedene Produkte denkbar, z. B. beim Eintritt zweier NH_2 -Gruppen drei Stoffe der Formel $C_6H_8N_2$:

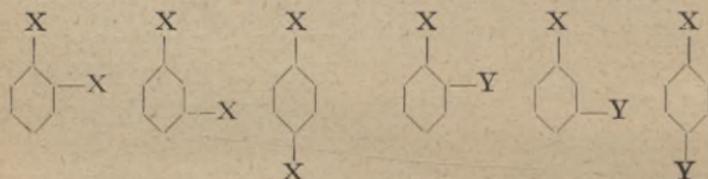


was man abgekürzt und übersichtlicher in der Weise schreibt, daß man den Benzolring nur andeutet und bei solchen Gruppen, bei denen ein Mißverständnis nicht möglich ist, hier bei den $N < \begin{smallmatrix} H \\ H \end{smallmatrix}$ -Gruppen, die Valenzstriche wegläßt:

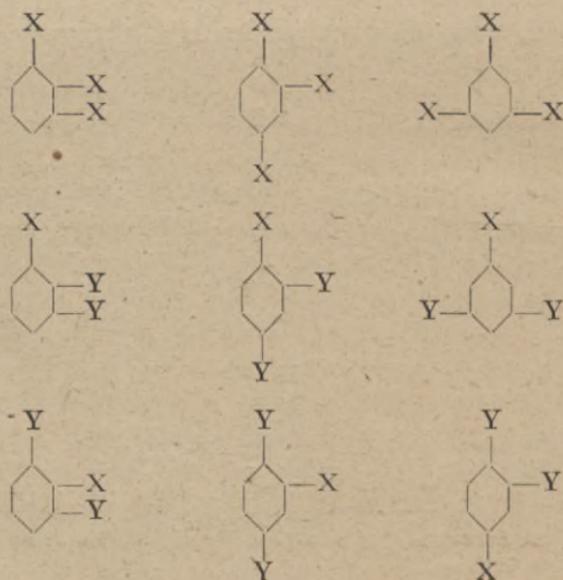


Dieselbe Mannigfaltigkeit muß sich wiederholen, wenn man Benzol mit anderen Chemikalien behandelt, als mit den zufällig von Perkin genommenen. Nennt man die substituierenden Atome oder Atomgruppen X und Y, so ergeben sich ganz allgemein folgende Möglichkeiten:

Ersetzung von 2H-Atomen des Benzolkernes durch Substituenten X, Y:

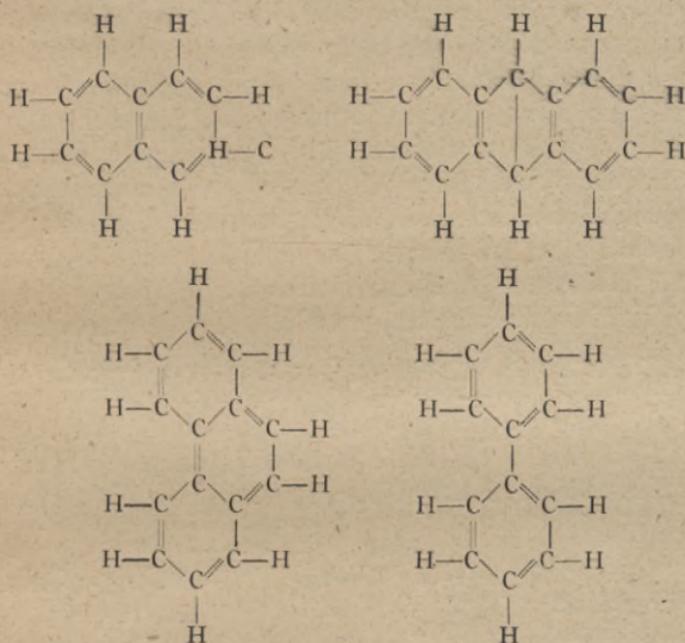


Ersetzung von 3H-Atomen des Benzolkernes durch Substituenten X, Y:

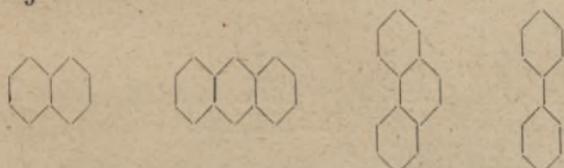


Führt man noch einen dritten Substituenten Z und noch einen vierten, fünften und sechsten ein, bis schließlich alle Wasserstoffatome des Benzolkernes verschwunden sind, so wächst die Anzahl der Kombinationen ins Ungemessene. An Substituenten X, Y, Z ist in der Chemie kein Mangel. Theoretisch kommen sämtliche Elemente in Betracht, deren man etwa 80 kennt, und selbst wenn man sich nur auf die beschränkt, die der Chemikalienmarkt billig liefert, so ist dennoch die Reihe der „Benzolderivate“ enorm.

Kekulé war Architekt, bevor er Chemiker wurde, und die Neigung zu konstruieren trieb ihn dazu, die Sechsecke zusammenzulegen:



oder abgekürzt:



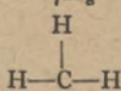
woraus sich wiederum durch Ersatz der H-Atome mathematisch vorausbestimmbare und sehr zahlreiche Substitutionsmöglichkeiten ergaben.

Existieren nun wirklich Stoffe, welche derartigen Strukturformeln entsprechen? Kann man sie synthetisch herstellen? Lassen sich die theoretisch voraussehbaren Substitutionsprodukte gewinnen? Das waren die großen Fragen, die Kekulé in die chemische Welt hineinwarf. Es entsprach dem theoretisierenden Sinn der deutschen Chemiker, diese Stoffe experimentell aufzusuchen, um damit die geistvolle Theorie Kekulé's zu prüfen. Die Aufgabe war um so reizvoller, weil die Anzahl der zu erwartenden Substanzen eine unendliche war. Denn die hier mitgetheilten Formelbilder sind ganz willkürlich, ihre Reihe läßt sich beliebig vergrößern. Entweder also Kekulé's Theorie von der Vierwertigkeit der Kohlenstoffatome und ihrer ringförmigen Verkettenbarkeit war falsch, oder aber es mußte eine unabsehbare Reihe von Benzolderivaten geben. Falls diese ebenso wie das Anilin zu Farbstoffen führten, so mußte der Steinkohlenteer eine technische Fundgrube von einer solchen Ergiebigkeit sein, daß die bisher entdeckten Anilinfarbstoffe nur die bescheidenen Vorboten einer riesenhaften Zukunftsindustrie bedeuten konnten.

Gedanken dieser Art strahlte das scheinbar lebend gewordene Benzolsechseck aus. Ihre experimentelle Prüfung geschah zunächst wesentlich dadurch, daß man den Teer durch vielfältiges Destillieren gründlich durchsuchte. So erhielt man außer dem Benzol eine Reihe von Stoffen, die teils schon bekannt, teils neu waren, die aber insofern alle als hochwillkommene Neuheiten erschienen, als ihre analytisch ermittelten Formeln ausnahmslos auch auf Kekulé'sche Strukturformeln stimmten. Es waren unter anderen:

Alte Formel:

Kekulé'sche Formel
(in abgekürzter
Schreibweise):



Toluol



Phenol
(Karbolsäure)



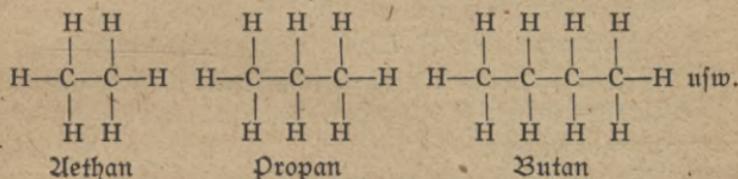
Naphthalin



Anthracen

Die Laboratoriumstechnik umfaßt weiter Verfahren, um jene Rohstoffe unter den verschiedensten Bedingungen der Zeit, der Temperatur und der Reihenfolge mit Chemikalien zu behandeln, welche geeignet erscheinen, um die Wasserstoff-

atome der Kohlenstoffringe durch andere Atome oder Atomgruppen zu ersetzen. Hierbei trat in größter Ausdehnung ein glücklicher Umstand zutage, den schon Kekulé aus Einzelfällen vorausgesehen hatte und den man als die „Beweglichkeit“ der Benzolwasserstoffatome bezeichnet. Man versteht darunter die besondere Leichtigkeit, mit der gerade diese Wasserstoffatome sich vom Kohlenstoff lösen und durch verschiedenartige Substituenten ersetzen lassen. Darin unterscheiden sich die ringförmigen Kohlenwasserstoffe von denen mit offener Kohlenstoffkette:



Letztere Substanzen, deren Kette bis zu 60 Kohlenstoffatome aufweist, bilden das Erdöl und haben den charakteristischen Namen Paraffine erhalten, vom lateinischen parum affinis = wenig verwandt, weil ihre chemischen Affinitätskräfte gering, und ihre Wasserstoffatome darum nur sehr schwer aus ihrer Lage zu bringen sind. Im Gegensatz dazu tritt chemische Kraft und Regsamkeit ein, sobald sich die Kohlenstoffatome so wie im Benzol zusammenschließen. Die tiefere Ursache davon ist unbekannt, indessen äußert sich dieses merkwürdige Spiel der Atome sofort bei der Behandlung des Benzols und der ihm verwandten Stoffe mit gewissen Chemikalien. Auf diese Weise erhielten Kekulé's Schüler eine große Anzahl von Stoffen, und aus der Kekulé'schen Theorie entsprang die Anregung zu tausendfältigem Experiment. Als sich schon bei den ersten Versuchen Substanzen ergaben, die sich ausnahmslos der Kekulé'schen Theorie einreihen ließen, da konnte deren Richtigkeit praktisch als erwiesen gelten. Damit war auch die Erklärung dafür gegeben, weshalb die junge Farbenindustrie aus dem Anilin gleich eine Reihe von Farbstoffen hatte herstellen können. Denn da im Anilin noch fünf Wasserstoffatome des Benzolkernes durch andere Gruppen substituierbar sind, so ist hier die Anzahl der möglichen Atomkonstellationen kaum weniger groß als beim Benzol. Die Folge dieser Überlegung war selbstverständlich die, daß man nun auch nicht ruhte, bis noch eine große Anzahl von Atomkombinationen verwirklicht war, die sich nicht beim ersten Casten ergeben hatten.

So entstand eine ganze Klasse von Benzolderivaten, die heute viele Tausende von Gliedern zählt.

Die technische Ernte ergab sich keineswegs von selber. Die Benzolderivate sind nämlich meistens farblos, obgleich Perkin und seine nächsten Nachfolger zufällig farbige Produkte erhalten hatten. Nur gelegentlich blühte bei der Ausarbeitung der Kekulé'schen Idee eine Farbe auf und dann meist eine sehr leuchtende; offenbar hatte man in solchen Fällen das Glück gehabt, die Elemente in ganz besondere Atomkonstellationen zu bannen. Sie mußte man erkennen, wollte man systematisch farbige Benzolderivate gewinnen. O. N. Witt wies 1876 darauf hin, daß in den durch Zufall erhaltenen Farbstoffen neben den Benzolringen gewisse Atomgruppen vorhanden sind, die chromophor, d. h. farberzeugend wirken. Es sind die Nitrogruppe, NO_2 , die Azogruppe, N_2 , die Carbonylgruppe, CO und andere.

Keine dieser Gruppen verleiht an und für sich Farbe, wohl aber werden sie zu Chromophoren, wenn sie in irgendwelcher Weise mit Benzolringen verbunden sind. Die Aufgabe der Chemiker war also, Benzolringe durch Behandlung der Teerdestillate mit geeigneten Chemikalien zu Chromophoren zu gefellen. In jedem Falle konnte man sicher sein, eine gefärbte Substanz zu erhalten. Im übrigen läßt sich nicht vorausbestimmen, welcher Art die Farbe ist, ebensowenig wie man den Grund weiß, warum die Vereinigung von Benzolringen und Chromophoren zur Farbe führt.

Die Fruchtbarkeit der Benzolchemie offenbarte sich anfangs nur in wissenschaftlichen Zeitschriften, aber sie entging dem Geschäftsgeist nicht. Eine Reihe von Häusern, die bisher nur natürliche Farbstoffe, insbesondere Indigo, Krapp, Blauholz, Cochenille und Orseille verkauft hatten, wandten ihr Interesse dem Steinkohlenteer zu. Es waren das die Firmen L. Cassella & Co. (Frankfurt a. M.), Fr. Bayer (Elberfeld), K. Wehler (Offenbach a. M.), Geigy & Co. (Basel). Neu gegründet wurden zum Zweck der Teerfarbenfabrikation: Farbwerke Meister Lucius & Brüning (Höchst a. M. 1862), Kalle & Co. (Biebrich a. Rh. 1863), Badische Anilin- u. Soda-Fabrik (Ludwigshafen a. Rh. 1865), Gesellschaft für Anilinfabrikation (Berlin 1867), Farbwerk A. Leonhardt & Co. (Mülheim a. M. 1879).

Diese Werke begannen zum Teil mit der Herstellung der ersten, in England und Frankreich erfundenen Anilinfarbstoffe, wobei

man es sich zunutze machte, daß es in Deutschland damals keinen wirksamen Patentschutz gab. Das dauerte, bis im Jahre 1877 das deutsche Patentgesetz in Kraft trat. Zwar suchten die britischen und französischen Techniker ihre Verfahren geheim zu halten; indessen gab es auf dem Farbengebiete bald kein Geheimnis mehr, dafür sorgten die Chemiker, durch deren Analysen und synthetische Versuche die Verfahren aufgeklärt wurden, nach denen Mauvein, Fuchsin und andere Anilinfarben erhältlich waren.

Zum anderen Teil begannen jene Firmen direkt mit solchen Teerfarbstoffen, die erst auf Grund der Kekulé'schen Benzoltheorie erfunden wurden. Bald überwogen diese Erfindungen in der ganzen neuen Industrie; die ersten Anilinfarbstoffe traten dadurch an Bedeutung zurück, und somit verlor das Ausland seine ursprünglich führende Stellung. Dazu kamen die kriegerischen Ereignisse, welche Deutschlands wirtschaftliche Macht aufblühen ließen. So entstand durch eine seltene Vereinigung der vorteilhaftesten wissenschaftlichen, kaufmännischen und politischen Umstände die Weltstellung der deutschen Teerfarbenindustrie.

Als Grundzug dieser Industrie kann man die Ersetzung natürlicher Produkte durch künstliche bezeichnen. Meistens handelt es sich dabei um Farbstoffe, nicht aber durchweg. Auch Heilmittel hat man aus dem Teer herausgezaubert, als deren wichtigste Salicylsäure, Aspirin, Antipyrin und Salvarsan genannt seien. Wie sich das Gebiet im einzelnen entwickelt hat, läßt sich im Rahmen dieses Buches nicht erörtern. Es können nur die allerwesentlichsten Punkte dargelegt werden.

Die Vorstufe zur Fabrikation der Farb- und Heilstoffe ist die Destillation des Steinkohlenteers, wobei Fraktionen erhalten werden, deren Menge je nach der angewandten Kohle verschieden ist, und die sich für 100 kg Teer etwa folgendermaßen darstellen:

1. 3—5 kg „Leichtöl“, geht beim Destillieren bis zu 170° über,
2. 8—10 kg „Mittelöl“, 170—230°,
3. 10—28 kg „Schweröl“, 213—270°,
4. 16—20 kg „Anthracenöl“, 270—340°,
5. Rückstand, besteht aus Pech.

Die Untersuchung der einzelnen Destillate hat eine große Anzahl verschiedener chemischer Individuen zutage gefördert. Von ihnen sind hauptsächlich wertvoll: im Leichtöl das Benzol, im

Mittelöl das Naphthalin, im Anthracenöl das Anthracen. Das Benzol wird zum Teil auch unabhängig vom Teer gewonnen, da es bei der Kokerei mit dem Gase entweicht und aus diesem herausgewaschen werden kann, indem man das Gas durch Mittelöl streichen läßt. Letzteres nimmt das Benzol auf und gibt es bei der Destillation wieder ab.

Von den zuletzt genannten Stoffen sind im Teer nur wenige Prozent enthalten, die Farbenindustrie erzeugt also aus großen Mengen Teer relativ wenig fertige Ware, was sich schon äußerlich darin zu erkennen gibt, daß der Teer aus großen Behältern entnommen, die Farbstoffe aber meist in kleinen Blechbüchsen verkauft werden. Der Grad der hierbei eintretenden Wertsteigerung ist im allgemeinen durch die Preise bestimmt worden, welche die Färber für die in der Natur vorkommenden Farbstoffe zu zahlen gewohnt waren, und äußert sich in folgenden Zahlen, die für den deutschen Handel des Jahres 1913 gelten.

	Einfuhr t	Wert 1000 Mk.	Wert in Mk. pro t	Ausfuhr t	Wert 1000 Mk.	Wert in Mk. pro t
Steinfohlenteer	15 949	558	35	93 637	3 873	42
Benzol und verwandte Stoffe.	6 710	2 013	300	41 288	9 916	240
Naphthalin	5 249	682	130	6151	648	105
Anthracen	1 286	154	120	277	20	72
Anilinfarben	2 577	5 926	2 300	64 289	142 079	2210
Alizarinfarben	603	754	1 250	11 040	21 573	1 950
Indigo	58	389	6 690	33 353	53 323	1 600
Summe:		10 476			231 532	

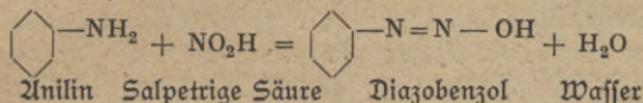
Dieses Verzeichnis ist keineswegs vollständig. Es nennt nur die allerwichtigsten Produkte, genügt aber, um zu zeigen, wie gewaltig der Wert vom Rohstoff und seinen Destillationsprodukten bis zur fertigen Ware zunimmt. Im einzelnen ist folgendes zu berücksichtigen: Alizarin und der künstliche Indigo, der die Hauptmenge des exportierten ausmacht, werden meist als 20proz. Paste verkauft und in dieser Form von der Statistik verzeichnet. Der eingeführte Indigo ist natürlichen Ursprungs und kommt in festen Brocken in den Handel, deren Reingehalt zwischen etwa 30 und 80 % schwankt. Daher der Preisunterschied in der Tonne künstlichen und natürlichen Indigos.

In eindrucksvoller Weise läßt ferner die Tabelle die Stellung der deutschen Farbenindustrie vor dem Kriege erkennen, indem

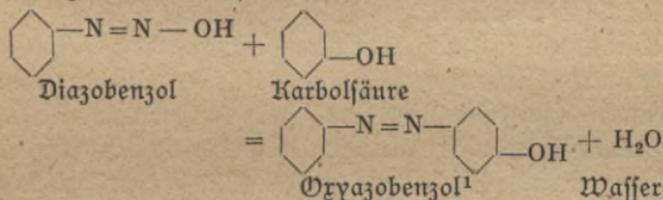
die Ausfuhr einen außerordentlichen Wert erreicht, gegen den die Einfuhr kaum in Betracht kommt.

In welcher Weise man von den Destillaten des Teers zu den Farbstoffen gekommen ist, die heute im Handel sind, soll im nachstehenden am Beispiel dreier großer Farbstoffklassen erläutert werden.

Die Azofarbstoffe, welche teilweise mit den „Anilinfarben“ der Tabelle identisch sind, entdeckte Peter Grieff, der Sohn eines hessischen Hufschmieds, Schüler von Professor Kolbe in Marburg und Assistent von Professor Hofmann in London. Er mischte Anilin mit salpetriger Säure, die man in Form von „Nitrit“ aus Chilesalpeter gewinnt. Der Stickstoff des Nitrits vereinigt sich mit dem des Anilins unter Abspaltung von Wasser und unter Bildung einer Substanz, die man wegen der aneinander gebundenen Stickstoffatome Diazobenzol (franz. Azote = Stickstoff) genannt hat:



Das Diazobenzol ist farblos und nur bei Gegenwart von Eis beständig. Haltbarkeit und Farbe treten beim „Kuppeln“ ein, d. h. beim Versetzen des Diazobenzols mit verschiedenen Substanzen wie z. B. Karbolsäure:



Auf diese Weise bildet sich zwischen Benzolkernen die chromophore Azogruppe — N = N —.

Die ersten fabrikatorischen Versuche machte man rein empirisch etwa ein Jahr vor dem Bekanntwerden der Kekulé'schen Theorie. Nachdem diese den Schlüssel zum Verständnis der Grieff'schen Reaktionen geliefert und es sich gezeigt hatte, daß die Stickstoffgruppe zwischen Benzolkernen chromophor wirkt, dehnte man die Operationen des Diazotierens und Kuppelns auf die aller- verschiedensten Benzolderivate aus. In allen Fällen erhielt man Farbstoffe, da fast alle Stoffe vom Typus des Anilins und der

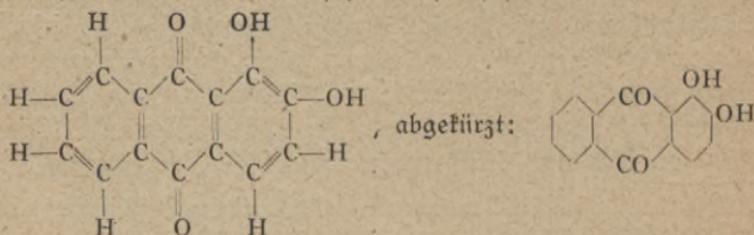
¹ Die Ursache für Wortbildungen wie „Orvazobenzol“ ist für die vorliegende Darstellung unwesentlich und wird darum nicht erläutert.

Karbonsäure in gleicher Weise die gewünschte Reaktion eingehen. Notwendig sind dabei nur die Gruppe NH_2 und salpetrige Säure zum Diazotieren und die Gruppe OH oder NH_2 zum Kuppeln; die größte Freiheit aber besteht in bezug auf die Anordnung der Benzolringe und ihrer übrigen Substituenten.

Es ist die Aufgabe der Chemiker im „Azobetrieb“, alle nur denkbaren Kombinationsmöglichkeiten durchzuarbeiten. Nicht immer ist das entstehende Produkt schön oder beständig gegen Seife und Licht oder hinreichend billig. Darum haben sich von den tausenden von Azofarben, die man im Laboratorium gewonnen hat, nur einige hunderte in der Praxis gehalten. Immerhin aber ist das eine große Zahl, die eine blendende Musterkarte der aller verschiedensten Farbtöne darstellt. Darunter sind solche, die dem Färber früher überhaupt nicht zu Gebote standen; andere gleichen in ihrem Ton den natürlichen tropischen Farbstoffen Cochenille, Curcuma, Orlean, Orseille und Quercitron. Da letztere sich nicht billiger gewinnen lassen als die Azofarben, so haben sie ihre Bedeutung fast völlig verloren. Nur die aus Spanien und Mexiko eingeführte Cochenille, ein tierischer Farbstoff, spielt noch eine bescheidene Rolle in der deutschen Einfuhrstatistik.

In größerem Maße noch als die Azofarben sind künstliches Alizarin und künstlicher Indigo an der Verdrängung der Pflanzenfarben beteiligt.

Das Alizarin findet sich in der Krappwurzel, die schon im Altertum zum Färben benutzt wurde. Der Name stammt aus dem Orient, der einen großen Teil des Krapps lieferte, bis Ludwig XIV. Samen aus Cypern kommen und damit die großen Krappkulturen im Elsaß und in der Provence gründen ließ. Robiquet und Colin isolierten im Jahre 1826 das wirksame Prinzip der Wurzel. Die weitere analytische Forschung ergab die Zusammensetzung $\text{C}_{14}\text{H}_8\text{O}_4$. Aber diese Formel war totes wissenschaftliches Material, bevor Graebe und Liebermann, zwei Chemiker der Kekulé'schen Schule, sie in die Strukturformel



auflösten. Sofort ergab sich eine Ähnlichkeit mit dem Anthracen des Steinkohlenteers, dessen Formel nach Kekulé einer Vereinigung dreier Benzole entspricht:



Wenn es gelang, Sauerstoff an richtiger Stelle in diese Kerne einzuführen, so mußte Alizarin entstehen.

Die wissenschaftliche Durcharbeitung dieses Gedankens glückte den genannten deutschen Chemikern im Jahre 1868, die technische wurde in der Folge von den deutschen Farbstofffabrikanten mit solchem Eifer aufgenommen, daß der Krappbau fast jegliche Bedeutung verlor, wie folgende Statistik¹ zeigt:

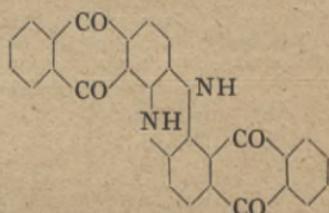
	Fabrikation von Alizarin (20% ige Paste) in Tonnen	Preis pro 1 kg in Francs	Französische Krapperte in Tonnen	Preis pro 100 kg in Francs
1870	20	34	15 900	76
1871	100	32	15 850	80
1872	250	34	25 000	75
1873	500	12	23 150	55
1874	625	11	22 000	49
1875	630	9	21 000	39
1876	2 000	6	14 750	27
1877	4 000	4	7 000	25
1878	4 500	3	2 500	15
1892	12 500	2	—	—

Bei der Preisvergleichung ist zu berücksichtigen, daß der Alizarin Gehalt der Krappwurzel sehr gering ist; 18 t davon sind färberisch gleichwertig mit 1 t 20prz. Alizarinpaste. Daraus läßt sich berechnen, daß im Jahre 1878 der im Krapp enthaltene Farbstoff ungefähr zum gleichen Preis auf den Markt gebracht wurde wie das künstliche Alizarin. Bis dahin konnten die Krapppflanze mit der Verbilligung des Fabrikproduktes gleichen Schritt halten. Damit aber hatten sie das ihnen Mögliche erreicht. Als das künstliche Alizarin infolge der Verbesserung der Arbeitsverfahren noch billiger wurde, erlahmte der Wettbewerb des Krapphandels.

Wie jede große Erfindung, so schlug auch die des künstlichen Alizarins viel weitere Wellen als man ursprünglich annehmen konnte. Denn außer dem Ersatz der Krappwurzel durch ein

¹ G. S. Jaubert, La Garance et l'Indigo, S. 55. Ohne Jahreszahl bei Gauthier-Villars, Paris. Erschien gegen 1900.

billigeres und von pflanzlichen Verunreinigungen freies Produkt erreichte man die Herstellung ganz neuer Farbstoffe, indem man das Alizarin mit gewissen Chemikalien behandelte, welche als Substituenten in die Kohlenstoffringe eintreten. Wenn dabei die Ringe selber und auch die beiden CO-Gruppen, die sich als chromophor erwiesen, erhalten bleiben, so ist das entstehende Produkt stets zum Färben geeignet. Der Farbton aber ist je nach den Substituenten verschieden von der des Alizarins. So entstanden Alizarinorange (1875), Alizarinblau (1878), Alizarinmarron (1885), Alizarin grün (1888) und viele andere. Bis zu welcher Mannigfaltigkeit dabei der Aufbau der Kohlenstoffringe gehen kann, zeigt die Formel des prachtvollen 1901 von R. Bohn entdeckten „Indanthrens“:



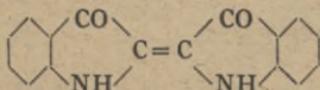
Aus dieser Strukturformel und aus der Tatsache, daß sie erst mehr als 30 Jahre nach dem Gelingen der Alizarinsynthese im Laboratorium verwirklicht wurde, trotzdem seit jener Zeit viele hunderte von Chemikern das Alizaringebiet bearbeiten, läßt sich die Eigenart der Teerfarbenindustrie erkennen. Sie besteht in der Suche nach immer neuen Kombinationen der Kohlenstoffringe, ohne daß selbst in Jahrzehnten die Kombinationsmöglichkeiten erschöpft werden. Allerdings gleicht die Durchforschung des Gebietes der mühsamen Arbeit des Goldsuchers, der aus großen Sandmengen die kleinen Körner herauswaschen muß. Denn von den vielen farbigen Stoffen, welche die chemische Retorte liefert, erweisen sich verhältnismäßig sehr wenige als brauchbare Handelsfarbstoffe. Dazu müssen bestimmte Bedingungen erfüllt sein, die außerhalb des Bereiches der Benzoltheorie liegen und sich darum nicht bewußt herbeiführen lassen; sie bestehen hauptsächlich in Schönheit des Farbtones, Beständigkeit gegen Wäsche und Sonnenlicht, Bedarf der Kundschaft, geringem Einstandspreis.

Schreitet man durch eine deutsche Farbstofffabrik, so beobachtet man besonders eines, was kennzeichnend für die bis jetzt glänzendste

Äpoche der deutschen Industrie ist. Es ist die große Anzahl der Chemiker. Etwa 200 und darüber beschäftigt ein derartiges Werk, also soviel wie manche andere Firma Arbeiter. Die letzteren zählen in der Farbenfabrik nach tausenden. Sie sind die Soldaten, die Chemiker aber sollen im technischen Wettkampf die Offiziere sein.

Man muß die Arbeitsenergie dieser wissenschaftlichen Streiter der Industrie kennen, um es zu verstehen, daß eine uralte Landwirtschaft, die ebenso unerschütterter dastehen könnte wie der deutsche Rübenbau, dem Ansturm der Teerfarbenchemie erlegen ist. In Indien erntet man seit Jahrtausenden die Blätter eines Strauches, aus denen sich beim Einlegen in Wasser Indigo abscheidet. Er macht bis zu 0,9 % des Blattgewichtes aus. Hätte man die Pflanze durch Züchtung veredelt und die Extraktionsmethoden vervollkommenet, wie es mit der deutschen Zuckerrübe im Laufe eines Jahrhunderts geschehen ist, so würde man jedenfalls ihren Ertrag ebenso gesteigert haben, wie man den Zuckergehalt der Rübe von 6 % auf das dreifache gebracht hat. Aber diese Energie des europäischen Landwirtes fehlte den Pflanzern in Britisch- und Holländisch Indien. Erst 1898, ein Jahr nach Erscheinen des künstlichen Indigos auf dem Markt, ließ die Behar-Indigo-Planters Association durch C. Rawson Verbesserungsversuche anstellen¹, trotzdem die wissenschaftliche Welt seit 1865 wußte, und die Zeitungsleser es seit etwa 1883 wissen konnten, daß die Arbeiten zur Darstellung von künstlichem Indigo im Gange waren.

Im Jahre 1865 begann Adolph v. Baeyer, ein Schüler Kekulé's, die chemische Untersuchung des Indigos. Es war sein Laboratorium, in dem bald darauf auch Graebe und Liebermann die Synthese des Alizarins in Angriff nahmen. Während aber letzterer Farbstoff in wenigen Jahren erobert wurde, erwies es sich als viel schwieriger, die analytisch gefundene Formel des Indigos, $C_{16}H_{10}N_2O_2$, nach Kekulé's Theorie zu entwirren. Die Anzahl der möglichen Strukturformeln stellte sich als eine große dar, und nur eine konnte die richtige sein und den gangbaren Weg zur Synthese weisen. Endlich nach 18jähriger, experimenteller Arbeit war v. Baeyer in der Lage, folgende Formel als bewiesen mitzuteilen:



¹ Vgl. A. Binz, Chemische Industrie Bd. 28, Nr. 12 (1905).

Zwei Ringsysteme, je mit einem Kekulé'schen sechsgliedrigen und einem fünfgliedrigen Ring, sind durch eine doppelte Bindung verknüpft.

Für die Synthese folgten daraus zahlreiche Möglichkeiten, da eine ganze Reihe von Substanzen, die sich aus Steinkohlenteer gewinnen lassen, Teile jener Atomgruppierung vorgebildet enthalten, und man nur die richtigen Chemikalien mit ihnen zu kombinieren brauchte, um Indigo zu erhalten. Infolgedessen begann eine ganze Schar von Chemikern, teils in v. Baeyers Laboratorium, teils anderenorts, die Bearbeitung des nach Auf- findung der Formel zugänglichen Gebietes. Hierbei gelang es zwar bald, Indigo herzustellen, zugleich aber stieß man auf die große Schwierigkeit, die für die chemische Arbeit charakteristisch ist: die Erzielung der „theoretischen Ausbeute“. Man versteht darunter die Ausführung einer Synthese in der Art, daß die Ausgangsmaterialien sich restlos im Sinne der theoretischen Reaktionsgleichung vereinigen, ohne daß „Nebenreaktionen“ stattfinden, die einen Teil der Stoffe in unerwünschtem Sinne beschlagnahmen und dadurch dem Einstandspreis des Erzeug- nisses eine unerschwingliche Höhe geben.

Welche Mühe es kostete, eine Ausbeute zu erzielen, die den Wettbewerb mit dem Pflanzenindigo gestattete, zeigt die Anzahl der Patentschriften und wissenschaftlichen Arbeiten, die nur den Indigo betreffen. In den Jahren 1880 bis 1900 wurden nicht weniger als 152 Patente dieser Art genommen¹, und teils von der Badischen Anilin- und Soda-fabrik, teils von den Farbwerken vorm. Meister Lucius & Brüning durch- gearbeitet.

In diesen Patenten wiederholt sich ein Naturgesetz: Zahl- reiche Keime werden ausgestreut, aber nur aus sehr wenigen entwickelt sich die Frucht. Tatsächlich sind die meisten der paten- tierten Verfahren bedeutungslos geblieben, und darin besteht die gewaltige Leistung unserer Farbenindustrie, daß sie ohne Rücksicht auf Mühe, Zeit und Kosten sämtliche Methoden sorg- samst durcharbeitete, bis schließlich diejenigen gefunden und zur Volendung ausgereift waren, die den Sieg verliehen. Dieses technische Ringen dauerte 17 Jahre. Im Juli 1897 konnte der Indigo der Badischen Anilin- und Soda-fabrik im Handel

¹ H. Brund, Entwicklungsgeschichte der Indigo-fabrikation. Berichte der deutsch. chem. Gesellschaft. Sonderheft 1901.

erscheinen, mit Naphthalin als Ausgangsmaterial. Einige Jahre später gelang es den Farbwerken vorm. Meister Lucius & Brüning, ein zweites Verfahren, das vom Anilin ausgeht, lebensfähig zu machen.

Der Erfolg des synthetischen Indigos bedeutete eine schwere Schädigung der indischen Indigopflanzungen. Da während des Krieges die Ausfuhr künstlichen Indigos aus Deutschland nach überseeischen Ländern unterbunden war, so haben die Engländer einerseits versucht, die Anpflanzung natürlichen Indigos wieder zu beleben, andererseits eine große britische Industrie zur Herstellung von künstlichem Indigo und anderen Teerfarben ins Leben zu rufen. An letzterer Bestrebung beteiligt sich fast das ganze Ausland. Unsere Teerfarbenindustrie steht demgegenüber gerüstet da, und es wird schwierig sein, sie ihrer Vormachtstellung zu berauben. Gleichzeitig geht die deutsche Steinkohlenteerindustrie neue Wege, die auf ein großes Ziel hinweisen. Es hat sich gezeigt, daß bei der Vergasung von Steinkohle bei der relativ niedrigen Temperatur des Mondgasverfahrens, d. h. bei nicht mehr als etwa 500°, ein Teer („Tief-temperaturteer“, „Urteer“) erhalten wird, der im Gegensatz zum gewöhnlichen Steinkohlenteer ähnliche Kohlenwasserstoffe enthält wie das Erdöl, und zu demselben Ergebnis führt die Destillation von Steinkohle unter vermindertem Druck¹. Es kann sein, daß der Ausbau dieser Versuche unsere Abhängigkeit von ausländischem Erdöl verringern und eine neue große heimische Industrie schaffen wird.

X. Statistisches und Schluß.

Welche Stellung Kohle und Eisen unter anderen wichtigen Handelsprodukten einnehmen, läßt sich nicht bestimmt sagen, da die Statistik der „Weltproduktionen“, d. h. der Summe der in allen Ländern erzeugten Mengen und die dazu gehörigen Werte nicht genau sein kann. Immerhin aber hat man Zahlen ermittelt, die sich der Wahrheit nähern dürften, so für das Jahr 1910 die folgenden¹:

¹ Vgl. Ost, Lehrbuch der chemischen Technologie, Leipzig 1918, S. 376. — W. Glud, Glückauf, berg- und hüttenmännische Zeitschrift, 52, 443 (1916).

¹ Nach Neumanns Lehrbuch der chemischen Technologie und Metallurgie. Leipzig 1912, S. 443. Für einzelne Waren s. neuere Zahlen in R. Calwer, Jahrbuch der Weltwirtschaft, Jena 1916, und im Statistischen Jahrbuch für das Deutsche Reich.

	Welterzeugung in 1000 t	Wert in Millionen Mf.
Stein- und Braunkohle	1 139 400	11 400
Roheisen	65 968	3 562
Gold	0,7	1 819
Kupfer	878	1009
Silber	7	512
Zinn	817	378
Zinn	111	347

Kohle und Eisen stehen also unter den Erzeugnissen des Bergbaues sowohl dem Gewichte nach als auch in bezug auf die Werte an erster Stelle. Das gilt sicher auch im Vergleich mit anderen industriell wichtigen Rohstoffen. Dagegen sind die Werte für die pflanzlichen und tierischen Nährstoffe wahrscheinlich höher.

Auf die wichtigsten Länder verteilte sich die Förderung von Kohle und die Erzeugung von Roheisen vor dem Kriege folgendermaßen:

	Förderung von Stein- und Braunkohle 1913 Millionen t	Erzeugung von Roheisen 1912 Millionen t
Verein. Staaten v. Nordamerika	517	30,2
Großbritannien	292	9,0
Deutschland	279	17,6
Österreich-Ungarn	54	2,6
Frankreich	41	4,9
Rußland	31	4,2
Belgien	23	2,3
Italien	0,6	0,4

Deutschland hat also die britische Kohlenförderung fast erreicht, die britische Eisenerzeugung dagegen überflügelt. Das tritt besonders auch in einer Zusammenstellung von O. Hübners „Geographisch-statistischen Tabellen“¹ hervor, die mit Recht überschrieben ist „Kriegsursachen“:

	Deutsches Reich	Durchschnittliche jährl. Zunahme	Groß- britannien	Durchschnittliche jährl. Zunahme
Roheisenerzeugung in Millionen Mf.:				
1870	1 391	—	6 059	—
1890	4 658	163	8 031	98
1900	8 521	386	9 103	107
1905	10 875	471	9 762	132
1910	14 794	824	10 173	85
1911	15 574	780	9 700	— 473
1912	17 617	2 043	9 031	— 669
1913	19 309	1 692	10 647	1 616

¹ Herausgegeben von F. v. Juraschek, Frankfurt a. M. 1918, S. 143.

Man sieht, wie die deutsche Eisenerzeugung ursprünglich viel geringer ist als die britische, um sie von 1905 ab immer mehr zu übertreffen. Bei uns ein stetiges Ansteigen, dort in den Jahren 1911 und 1912 sogar ein Rückgang. Dasselbe Bild ergibt die hier nicht wiedergegebene Stahlerzeugung. Man hat also hier ebenso wie bei der Teerfarbenindustrie (s. im vorigen Kapitel) eine der Ursachen für den britischen Handelsneid und damit für den Krieg.

Für den zukünftigen Wettbewerb der Völker untereinander ist die Frage von Bedeutung, auf wie lange sie noch mit Kohle und Eisenerzen versehen sind, denn diese sind im Gange der Geschichte die Hauptwegzehrung, und ihre Erschöpfung wird dereinst die Welt in einer Weise aufrütteln, daß alles andere, was jemals die Menschheit erregt hat, davor verblasen wird. Clemens Winkler hat deshalb die Leichenverbrennung beanstandet¹. Ihre Einführung auf der ganzen Erde würde immerhin 15 Millionen Tonnen Kohle jährlich verschlingen und den Toten zuliebe die Lebenden schädigen.

Wieviel Kohle und wieviel Eisenerz noch zur Verfügung stehen, hängt einmal von der Ausdehnung der Bodenschätze ab, die sich geologisch ermitteln läßt, und zweitens davon, bis zu welcher Tiefe man sie ausbeuten kann. Danach hat man geschätzt, daß an Kohle² in Milliarden t in der Erde vorhanden sind: in den Vereinigten Staaten von Nordamerika 680, in Deutschland 416, in Großbritannien 193, Belgien 20, Frankreich 19, Osterreich-Ungarn 17 und in Rußland 40. Für die Zeiträume, innerhalb deren man Steinkohle in dem heutigen Maßstabe wird fördern können, sind in bezug auf die verschiedenen Länder folgende Zahlen berechnet worden³:

Zentralfrankreich	} 100—200 Jahre
Böhmen	
Provinz und Königreich Sachsen	
Nordengland	
Die übrigen englischen Kohlenfelder	} 200—300 Jahre
Waldenburg-Schahlarer Revier (Österr.)	
Nordfrankreich	

¹ „Wann endet das Zeitalter der Verbrennung?“ Vortrag, erschienen bei Craz und Gerlach, Freiberg i. S. 1900.

² Engler, Chemiker-Ztg. 1911, S. 1062.

³ S. Frech, Über die Ergiebigkeit und voraussichtliche Erschöpfung der Steinkohlenlager. 1901.

Saarbrücken	} 600—800 Jahre
Belgien	
Nachener Revier	
Ruhrgebiet	
Nordamerika ¹	
Oberschlesien	mehr als 1000 Jahre.

Man hat geschätzt, daß die gewinnbaren Gesamtvorräte an Eisenerzen betragen:

	Eisenerz Millionen t	Darin Eisen Millionen t
Deutschland einschl. Luxemburg ...	3 878	1 360
Großbritannien	1 300	455
Frankreich	3 300	1 140
Amerika	9 850	5 154
Weltvorräte	22 408	10 192

Diese Zahlen² sind indessen unsicher. Nach neueren Forschungen³ hat Deutschland nur noch 2,3 Milliarden t, während der französische Bestand, nachdem man neue Lager in der Normandie entdeckt hat, auf 8,2 Milliarden t geschätzt wird.

Die Abhängigkeit der deutschen Eisenindustrie vom Auslande zeigt folgende für 1913 geltende Tabelle⁴:

	Millionen t Eisenerz	Darin reines Eisen, Proz.	Entspricht Mill. t reines Eisen
In Deutschland gefördert	28,61	29,5	8,44
Davon in Lothringen	21,15	28,9	6,11
In Luxemburg gefördert	6,37	32,0	2,04
Aus dem sonstigen Aus- land eingeführt	14,02	54,9	7,70
Davon aus:			
Schweden	4,56	67	3,06
Spanien	3,63	52	1,90
Frankreich	3,81	37	1,41

¹ f. Fischer, Brennstoffe Bd. 1, S. 493.

² Ergebnis des internationalen Geologenkongresses nach „Die wirtschaftlichen Kräfte Deutschlands“, herausgeg. von der Dresdner Bank, Berlin 1917.

³ Gutachten von Beyerslag und Krusch, während des Krieges als Manuskript gedruckt. Vgl. „Frankfurter Zeitung“ vom 27. März 1918, Nr. 86.

⁴ Vgl. W. Roth, Die Bedeutung der elsässisch-lothringischen Bodenschätze. Chem.-techn. Wochenschrift, Berlin 1919, S. 1.

Bei gleicher Steigerung des Verbrauches wie bisher wird in Deutschland leider schon in etwa 60 Jahren Erschöpfung der Eisenerze eintreten. Unvergleichlich länger wird man mit den Vorräten an Kohle auskommen, trotzdem aber befaßt man sich jetzt schon mit Maßnahmen zu ihrer Schonung. Ein Weg dazu besteht in der Ausnutzung von Wasserfällen, Flußläufen und Talsperren, indem man die Energie des Gefälles in elektrische Energie umsetzt. Man redet in diesem Zusammenhang von „weißer Kohle“. Eine andere und gerade in unserer Zeit eifrig bearbeitete Möglichkeit liegt im Ausbau derjenigen Verfahren, welche vergaste Kohle an Stelle von fester Kohle als Heizstoff benutzen, weil man Gase in Wärmespeichern vorwärmen, mit Luft mischen und darum ihren Heizwert, besonders seit Erfindung der Gasmotoren, besser ausnutzen kann als den des festen Brennstoffes. Dazu kommt noch die Möglichkeit, beim Vergasen Teer und Ammoniak zu gewinnen. Nur ein Bruchteil der Kohle wird in dieser Weise verarbeitet, und es könnte scheinen, als empfehle es sich, die Vergasung oder zum mindesten die Entgasung auf die gesamte Kohle auszudehnen. Es ist aber nach dem heutigen Stande der Technik in wirtschaftlicher Weise nur bei sehr niedrigem Kohlenpreis möglich, mit der Entgasung oder Vergasung über das Maß dessen hinauszugehen, was in Kokereien und Gaswerken geleistet wird¹, so daß einstweilen eine wesentlich bessere Ausnutzung der Kohle und damit eine Verringerung der Förderung nicht durchführbar ist. Indessen wird von erfahrenen Fachleuten² eifrig daran gearbeitet, die Gasfeuerung derart zu verbessern, daß man ihr eine größere Ausdehnung geben kann. Es ist das eine der wichtigsten Aufgaben der Industrie, denn sollte es gelingen, darin Fortschritte zu machen, so wäre das nicht nur für unsere gegenwärtige Volkswirtschaft, sondern auch für die Verlängerung des Zeitalters der Kohle von Bedeutung.

¹ Vgl. die auf S. 26 angeführte Veröffentlichung des Reichsschatzamtcs. S. ferner: E. Biedermann: Deutschlands Kohlenerschätze und die Bedeutung ihrer rationellen Nutzung. Berlin, bei W. Moeser. 1916.

² Vgl. Th. Grothe, Zeitschr. d. Vereins der Gas- und Wasserfachmänner in Osterreich-Ungarn 53, 495 (1913). Hierhin gehören auch die „Trigas“-Versuche der Firma Dellwik & Fleischer in Frankfurt a. M.

Namen- und Sachregister.

Abstreifen 31.
Absorptionsmaschinen 88.
Acetaldehyd 75.
Aceton 10.
Acetylen 17, 73, 81.
Aktiengesellschaft für Anilin-
fabrikation 102.
Alizarin 106.
Alizarinblau 108.
Alizarin grün 108.
Alizarinmarron 108.
Alizarinorange 108.
Alkohol 75.
Ammoniak 61, 82.
Ammonsulfat 90.
Anilin 93, 97.
Anilinblau 93.
Anilinfarben 104.
Anilingrün 93.
Anilinschwarz 93.
Anlassen 31.
Anthracen 100, 105.
Anthracenöl 103.
Anthracit 21.
Antifebrin 10.
Antipyrin 10, 103.
Aspirin 10, 103.
Athylen 61.
Atkins 66.
Atomtheorie 18.
Atomgewicht 18.
Auer v. Welsbach 71, 76.
Autogenes Schweißen 75.
Azofarbstoffe 105.

Backkohle 21.
Badische Anilin- und Soda-fabrik
91, 102, 110.
v. Baeyer 96, 109.

Basisches Verfahren 50.
Bayer, Fr. 102.
Beck 3, 7.
Benzol 17, 61, 92, 105.
Benzoltheorie 96.
Bergius 16.
Berlinerblau 68.
Bertelsmann 80.
Berzelius 10.
Bessemer 48.
Bessemerbirne 48.
Bessemer Eisen 58.
Beyschlag 114.
Binz 75, 109.
Bitumen 23.
Blausäure 68.
Bohn 108.
v. Bolton 72.
Bombe, kalorimetrische 21.
Borchers 74.
Boyle 10.
Brauneisenstein 27.
Braunkohle 16, 22, 24, 26.
Briketts 22, 26.
Brodhun 80.
Brönner 92.
Brückenbau 59.
Brunck 110.
Bueb 63, 68.
Buesgen 9.
Buhlmann 81.
Bunsen 53, 76, 80, 94.
Bunsenflamme 77.
Bunte 70.

Calciumcarbid 73.
Calciumcyanamid 91.
Calorie 21.
Carbidspirit 75.

- Carré 87.
 H. Caro 94.
 N. Caro 91.
 Cassella 102.
 Cementstahl 32.
 Ceroxyd 77.
 Clegg 67.
 Cherpin 93.
 Chilealpeter 90.
 Chrom 55.
 Chromophore 102.
 Cochenille 106.
 Colin 106.
 Converter 49.
 Cort 43.
 Cowper 34, 55.
 Coze 63.
 Curcuma 106.
 Cyanverbindungen 61, 65, 68.

 Dachpappen 92.
 Davy 67.
 Dellwik 64, 115.
 Diazobenzol 105.
 Dolomit 51.
 Drummond 76.
 Dumas 10.
 Dundonald 61.

 Edison 72.
 Eis 86.
 Eisenerze 27.
 Eisenkarbid 29.
 Eisenportlandzement 35.
 Elektrische Stahlerzeugung 58.
 Entgasung 63, 115.
 Erden, seltene 77.
 Erdöl 111.
 Erschöpfung der Eisen- und Kohle-
 lager 114.
 Erzglühfrischen 40.
 Essigsäure 10, 75.

 Saraday 92.
 Farbensabriken Bayer 102.
 Farbwerk A. Leonhardt 102.
 Farbwerke Meister Lucius & Brünning
 102, 110.
 Ferrocyanfalkium 68.
 Ferromangan 49.

 Festigkeitsprüfung 59.
 Fettflecksphotometer 80.
 Fettkohle 16, 21.
 Feuerkohle 25.
 Fischer, Franz 20.
 Flächenanziehung 11.
 Flammkohle 20.
 Fleischer 64, 115.
 Flöz 15.
 Flußeisen 45, 58.
 Flußstahl 45, 59.
 Formaldehyd 11.
 Formalin 11.
 Formeln, chemische 18.
 Frank, A. 91.
 Frech 113.
 Frischen 38.
 Fuchsin 93.
 Fuselöl 11.

 Galitzenstein 75.
 Gaskohle 16, 20.
 Gaskoks 42.
 Gasöl 25.
 Gasometer 69.
 Gasuhr 69.
 Gaswäscher 68.
 Gaswasser 68, 90.
 Gaswerke 26.
 Gattieren 37.
 Geigy 102.
 Generatorgas 51, 62, 73.
 Gesellschaft f. Anilinfabrikation 102.
 Gicht 33.
 Gichtgase 33.
 Gilchrist 51.
 Girard 93.
 Glashärte 31.
 Glühkörper 78.
 Glühstrumpf 78.
 Goldextraktion 68.
 Gordon 78.
 Graebe 106.
 Graphit 16.
 Graufalk 10.
 Gries, P. 105.
 Grothe, Th. 115.
 Gürtler 29.
 Gußeisen 37, 58.
 Gußstahl 115.

Haber 91.
 Haitinger 77.
 Hanamann 72.
 Hartpech 23.
 Hartguß 37.
 Hasenclever 86.
 Hausbrand 26.
 Hefner-Alteneck 72, 79.
 Hefnerkerze 80.
 Heizwert 21.
 Herdfrischen 40.
 Herding 15.
 Herz 96.
 Heyn, E. 29.
 Hochofen 32.
 Hofmann, A. W. v. 92.
 Holz 16, 22.
 Holzdestillation 10.
 Holzessig 10.
 Holzgeist 10.
 Holzkohle 7.
 Huntsman 45.
 Hübner 112.
 Hüfener 42.

Indanthren 108.
 Indigo 93, 104, 109.

Jaubert 107.
 v. Jüptner 29.
 Juraschek 112.
 Just 72.

Kalle & Co. 102.
 Kälteerzeugung 86.
 Kalklicht 76.
 Kalkstickstoff 91.
 Kalorie 21.
 Kaltbruch 50.
 Kalziumkarbid 73.
 Kammeröfen 63.
 Karbidspit 75.
 Karbolsäure 105.
 Karburieren 64.
 Kekulé 94.
 Kerzen 26.
 Kesselfohle 16, 20.
 Kienöl 10.
 Klein, G. 13.
 Kleinbessern 49.

Knapp 66, 79.
 Knochenkohle 12.
 Kohle, weiße 114.
 Kohlestein 22.
 Kohlendioxyd 61, 87.
 Kohlenoxyd 53, 61, 73.
 Kohlenstoff 16.
 Kohlenwasserstoffe 17.
 Kokerei 26.
 Koks 41.
 Koksöfen 41, 71.
 Kolbe 10, 94, 105.
 Kompressionsmaschinen 88.
 Konverter 49.
 Koquillen 37.
 Kraftgas 65.
 Krapp 106.
 Krupp 45, 56.
 Kusch 114.
 Kuppeln 105.

Laire, de 93.
 Leblanc 43, 83.
 Lebon 66.
 Leichtöl 103.
 Leuchtgas 60.
 Lichtmessung 79.
 Liebermann 106.
 Liebig 94.
 Lightfoot 93.
 Linde v. 88, 91.
 Lint 12.
 Luftgas 54.
 Lummer 80.

Maerder 51.
 Macintosh 92.
 Magerkohle 16, 21.
 Mangan 38.
 Martens, A. 29.
 Martin 55.
 Martineisen 58.
 Martinverfahren 55.
 Mauvein 93.
 Meiler 7.
 Metallographie 29.
 Methan 61.
 Methylalkohol 11.
 Mineralkohle 12.
 Minette 27.

- Mittelöl 103.
 Moissan 74.
 Moleküle 19.
 Monazit 78.
 Mondgas 90.
 Murdoch 61, 65.

 Naphthalin 17, 61, 100, 105.
 Nasspreßsteine 22.
 Neilson 54.
 Nernst 72.
 Neumann, B. 80.
 Nickel 56.
 Nitrobenzol 93.

 Oehler 102.
 Oligas 25.
 Organische Stoffe 16.
 Orlean 106.
 Orseille 93, 106.
 Ost 111.

 Panzerplatten 56.
 Paraffin 25.
 Pech 61, 103.
 Perkin 93.
 Perkins 87.
 Phenol 100.
 Phosphor 50.
 Photometrie 78.
 Portlandzement 35.
 Potonié 14.
 Puddeln 44, 58.

 Quecksilberbogenlampe 71.
 Quarzitrone 106.

 Ramie 81.
 Rauch 24.
 Rawson 109.
 Réaumur 37, 40.
 Regenerator 54.
 Reichsschatzamt 26, 115.
 Robiquet 106.
 Roheisen 38, 58, 59.
 — graues 39.
 — halbiertes 39.
 — weißes 39.
 Roheisenerzverfahren 57.

 Rotbruch 41, 50.
 Roth, W. 114.
 Ruß 24.
 Rußig, F. 26.

 Salizylsäure 103.
 Salmiak 81.
 Salvarsan 103.
 Saures Verfahren 50.
 Scheurer 63.
 Schilling 66.
 Schlacke 33.
 Schlackensteine 35.
 Schmiedeeisen 28.
 Schmiedekohle 21.
 Schott 72.
 Schornstein 24.
 Schrottschmelzverfahren 55.
 Schweißkohle 25.
 Schwefeldioxyd 87.
 Schwefeleisen 41.
 Schwefelwasserstoff 61, 65, 68.
 Schweißisen 47, 58.
 Schweißstahl 47, 59.
 Schweröl 103.
 Siemens, Friedr. 54, 62.
 — Karl Wilh. 56.
 — Werner 54, 67.
 Siemens-Martinverfahren 57.
 Silizium 38.
 Simmersbach 48.
 Sinterkohle 20.
 Soda 83.
 Solaröl 25.
 Solvay 84.
 Spateisenstein 27.
 Spiegeleisen 49.
 Stahl 28, 31.
 Staubsack 34.
 Steinkohle 12, 16, 22, 26, 40.
 Steinkohlenteer 92.
 Stephenson, G. 45.
 — R. 59.
 Stickstoff 91.
 Stiefelwiche 12.
 Strukturformeln 95.
 Substituenten 97.

 Tagebau 14.
 Talbot 57.

- Tammann 29.
 Teer 60.
 Teerdestillation 92.
 Terpentin 10.
 Thomas 51.
 Thomaseisen 58.
 Thomasmehl 52.
 Thomaschlacke 51.
 Thoroyd 77.
 Tiefemperaturteer 111.
 Tiegelstahl 45, 58.
 Tierkohle 12.
 Toluol 100.
 Tonne 26.
 Torf 16.

 Unverdorben 95.
 Urteer 111.

 Valenz 95.
 Verbrennung 25.
 Verdampfungswärme 22, 86.
 Verdampfungsziffer 22.
 Vergasung 63, 115.
 Verguin 93.

 Verkohungsprobe 20
 Vermoderung 13.

 Waldmoor 13.
 Wärmeeinheit 21.
 Wärmespeicher 54.
 Wagner 52.
 Wassergas 64.
 Wasserstoff 61, 64.
 Watt 43, 61.
 Webster 67.
 Wedding 36, 47.
 Welsbach, Auer v. 71, 76.
 Weltproduktionen 112.
 Wertigkeit 95.
 Wilson 74.
 Wind 33.
 Winzler, Cl. 7, 113.
 Winzler 66.
 Witt, O. A. 102.
 Wöhler 74, 94.
 Wolfram 56.

 Zechenkoks 42.
 Zementstahl 32.
 Zuschläge 33.



Karl Gjellerup

Der goldene Zweig Dichtung u. Novellen-

franz aus der Zeit des Kais. Tiberius. 9. — 13. Tauf. 339 S. Geh. M. 5. — Geb. M. 7. —

„Es sind Bilder von überwältigender Schönheit. Mit der Gestaltungskraft und der Kennerschaft des historischen Forschers und philosophischen Denkers läßt er äußeres und inneres Leben erstehen und malt in bezaubernden Farben die südlische Landschaft und den Prunk römischer Kunst und Verschwendung. Aber seinem Buche liegt die Weihe eines Bekenntnisses zur sieghaften Kraft der christlichen Heilslehre und des germanischen Wesens.“

Samburgischer Correspondent.

Die Gottesfreundin Roman. 397 S. Geh. M. 5. — Geb. M. 7. —

„Eine Reihe farbenprächtiger, tiefgründiger Bilder, die sich auf dem düstern Hintergrund des 14. Jahrhunderts mit seinem Aberglauben und seinen Hexenprozessen abspielen. Wie die Herrin der Burg Langenstein den Führer der „Ketz“ schützt, und wie der zelotische Bischof Ottmar, der die Ketz verfolgt, vom Saulus zum Paulus wird, und mit der Burgherrin, die er in fröhlicher Jugend heiß geliebt hatte, als sieghafter Besiegter in den Tod geht, das wird uns in hochdramatischer, von dichterischem Schwung befeelter Darstellung berichtet.“

Berliner Morgenzeitung.

Seit ich zuerst sie sah Roman. 430 S. Geh. M. 5. — Geb. M. 7. —

„Dieses schöne Idyll mit seinem tragischen Ausgang ist eins der wunderbarsten Werke Gjellerups. Ein ganzer Liebesfrühling ist hier in die Stimmungsbilder aus Dresden und aus der sächsischen Schweiz hineingezaubert; tiefe Wehmut, tragischer Schmerz verleihen dem Roman ein wunderbares, unvergessliches Aroma. . . Der Verfasser fesselt, mag er nun die Natur, die Kunst oder die Menschen schildern. Immer vertieft er sich in seinen Stoff.“

Markus Stifftsbende.

Das heiligste Tier Ein elhsisches Fabelbuch. ca. 390 Seiten. Geheftet

M. 5. — Gebunden M. 7. —

Nur ein Dichter von Gjellerups Gestaltungskraft, seinem sonnigen Humor, seiner tiefen, auf reichem philosophisch-historischen Wissen beruhender Weltanschauung konnte sich an einen solchen Stoff heranwagen. Im Elysium erwacht unten den in ewiger Heiterkeit auf der Asphodeluswiese wandernden Tieren der Wunsch, ein Tier möge heilig gesprochen und von allen anderen verehrt werden. Dies entfacht sofort den Ehrgeiz, die Parteibildung, den Wettkampf. Die einst im Leben berühmten Männern angehörenden Tiere übernehmen die Führerrolle und werden zu Trägern der Ideen ihrer Herren. Erhabene und groteske Szenen wechseln sich so ab, und in unterhaltendster Form tauschen die großen weltgeschichtlichen Vorgänge an uns vorüber. Eine einzigartige Dichtung.

Carl Busse

Die Schüler von Polajewo Drittes bis vier-
tes Tausend. 283 Seiten. Geheftet M. 3.—. Gebunden M. 5.50

„An diesen Bildern können wir Lehrer lernen mit der Jugend fühlen und empfinden, können wir tieferes Verständnis für sie gewinnen. . . Die kleinen Schülerkomödien und -tragödien sind in e i s t e r h a f t entworfen; einige steigern sich trotz ihrer Kürze oder gerade deswegen zu einer dramatischen Kraft, daß man den Atem anhalten muß. . . hätte ich B.'s Schüler von Polajewo schon als Schularbeitskandidat gelesen, ich hätte manchen Erziehungsfehler nicht begangen.“

Geheimr. Dr. Adolf Matthias (Zeitschr. f. höhere Schul.)

Im polnischen Wind Ostmärktische Ge-
schichten. 302 Seit.
Geheftet Mark 3.50. Gebunden Mark 5.—

„Zu erzählen versteht Carl Busse. Man hat bei ihm zum erstenmal wieder das Gefühl, gleichsam in einem zufällig zusammengekommenen Kreise von Zuhörern zu sitzen, aus denen heraus, durch das Gespräch angeregt, sich einer ganz ungezwungen löst, um den Lauschenden ringsum eine Geschichte zum besten zu geben. Etwas von der Gesellschaftsphäre wird lebendig, aus der die ersten e c h t e n Novellen zur Zeit Boccaccios geboren wurden.“

Westermanns Monatshefte.

Federspiel Westliche und östliche Geschichten. 397 Seit.
Geheftet Mark 3.50. Gebunden Mark 5.—

„Es ist eine eigenartige und bedeutende Kunst, die in den Geschichten Carl Busses ihren Ausdruck gefunden hat: wundervolle Beobachtung des Lebens und seiner Werte, Ernstes und Lachendes, Trauriges und Wahres in der irisierenden Mischung, die eben nur das Leben kennt. . . Eine Welt von feinen Dingen, von intimen Klängen, von echten Menschen- und Herzenstönen tut sich in dem Buche auf. Wer es liest, wird dankbar sein.“

Samburger Nachrichten.

Flugbeute Neue Erzählungen. 2. Auflage. 373 Seiten
Geheftet Mark 3.50. Gebunden Mark 4.70

„An Reichtum kann sich Carl Busse mit allen diesen Poeten messen, in fröhlicher Laune wie in zartem Sinnen, in Geistigkeit wie in Leidenschaftlichkeit. Vor allem auch in Lebensbeobachtung und Erfindungskraft. Er ist ein Fabulierer, der ebenso in der Vielseitigkeit wie in seiner Erzählungskunst an die italienischen Novellisten des Quattro- und Cinquecento erinnert. Stilistisch hat er sich frühzeitig zu einer feinen Reife durchgerungen, die aber, wo es sein muß, frische Säftigkeit nicht vermissen läßt.“

Velhagen & Klasing's Monatshefte.

Carl Busse

Winkelglück Ein fröhlich Buch in ernster Zeit. 57. bis 71. Tausend. 237 Seiten mit Buchschmuck von Paul Hartmann. Gebunden M. 4. —

„Die Fröhlichkeit, die das Buch kündigt, quillt aus dem Herzen, aber was mehr ist: sie strömt aus dem reichen Herzen eines echten Dichters. Und das vergoldet sie, macht sie feingliedrig, füllt sie mit still leuchtenden Farben und läßt doch tief, tief auf ihrem Grunde auch das große Herzweh der Zeit in wehmütig heimlicher Musik zitternd weiterklingen.“ Leipzig'sche Neueste Nachrichten.

Sturmvögel Kriegsnovellen. 264 Seiten. Gebunden M. 3.60

„Das alles sind Geschichten aus dem Kleinen, erzählt voll Liebe zum Übersehenen und mit einer mitleidvollen Güte für die Tiefen, für das Volk, erzählt aus frisch quellender Bildnerlaune. Wer Genuß empfindet für eine stille, von echt deutschem Humor erfüllte Dichtung, der greife zu diesem Buche und lasse sich auch durch den aufstörenden Titel nicht beirren.“ Fodor v. Zobeltitz, Tägliche Rundschau.

Gedichte Gedichte 6. u. 7. Auflage 171 Seiten Geb. M. 4. —
Neue Gedichte 3. u. 4. Aufl. 150 Seiten Geb. M. 3.50
Heilige Not 2. Auflage 149 Seiten Geb. M. 3.50

„Carl Busse steht in vorderster Reihe unter den jüngstdeutschen Lyrikern. Schon der erste Band seiner Gedichte ließ den ungewöhnlich begabten Dichter erkennen. Die Technik ist nahezu vollendet, der Zauber der Sprache wirkt schon beim stillen Lesen, die Melodie des Verses hat etwas Bestrickendes.“ Die christliche Welt.

Hermann Kurz

Das Glück in der Sackgasse Roman. 326 S. m. Buchschmuck. 6. — 10. Tausend. Geb. M. 5. —. Geb. M. 7. —

„Der Zauber geruhiger Stunden und die würdevolle Anmut und Behaglichkeit eines seligen, altväterischen Kleinstadtlebens heimein uns hinter bunten Bußenscheiben und lavendelduftigen Gardinen an . . . Die Fabel dieses, mit reifer Meisterschaft gestalteten Stück Lebens erzählt uns den wirtschaftlichen Aufstieg einer Familie. Aber über allem Irdischen, Stofflichen jubiliert die reine Heiterkeit eines Dichters, der seine Augen an Spizweg's Gemälden, seine Ohren an Mozarts Flötenchören satt trank und in der Sackgasse von Mauer zu Mauer ein Resengewinde schlang, auf dem der schelmische Amor seiltänzerhaft hin und hergaukelt, bis er in die Kammern und Herzen glücklicher Buben und Mädchen schlüpft.“ Der Tag.

Die Boberbahn Eine Dorfgeschichte aus dem Hirschberger Thal. Von Kurt Felscher. 308 Seiten. Geb. M. 6. —

„Ins Hirschberger Thal, in jenen vom Riesenz- und Boberlagbachgebirge umschlossenen lieblichen Kessel, der vom vielgewundenen Bober durchflossen wird, versetzt uns der schlesische Dichter. Es zeichnet uns des Verfassers sicherer Stilt ein Bild von tiefster Wirkung. Jeder, der Freude an echter Heimatkunst hat, der seine Menschen nicht nur in der stidigen Luft des Salons zu suchen pflegt, wird an dem Buche, seinen echten Menschen und seinen prächtigen Naturschilderungen reine Freude erleben.“
Niederschlesische Zeitung.

Der Platz an der Sonne Ein Roman aus Kurbrandenburgs See- und Kolonialgeschichte. Von Georg Lehfeld. 323 Seiten mit Buchschmuck. Geheftet M. 5. —. Geb. M. 7. —

„In einem Roman aus der Zeit des Großen Kurfürsten wird ein interessantes Stück Geschichte entrollt, mit so strenger Anlehnung an die wirkliche Geschichte, daß das Buch wohl mehr als eine unterhaltende Lektüre ist, und doch wiederum so, daß das historische den fesselnden Gang der Handlung nicht hemmt. Der temperamentvolle Erzähler weiß bis zum Schluß zu spannen und, da er auf dem Gebiete der preußischen Marine und ihrer Geschichte Fachmann ist, auch zu belehren.“
Der Tag.

Die große Woge Ein Hamburger. Roman aus der Franzosenzeit. Von Georg Lehfeld. 281 Seiten. Geb. M. 5. —. Geb. M. 7. —

In wundervoll dichterisch geschaute n Bildern gleitet das geschichtliche Geschehen einer ereignissschweren Zeit am Leser vorüber: der sinkende Glanz des Rokoko, der Aufstieg und Sturz Napoleons, Englands Rücksichtslosigkeit im Kampf um die eigenen Interessen und endlich Deutschlands Erstarkung. Man könnte treffend Lehfelds' Roman das Hohe Lied auf den Hamburger Kaufmann bezeichnen.

Meine Erlebnisse während der Kriegszeit in Deutsch-Ostafrika. Von Uda Schnee. 197 S. m. zahlr. Abb. Geb. M. 2.60. Geb. M. 3.20

„Es ist von den Erlebnissen dieser mutigen deutschen Frau — Die Gemahlin des Gouverneurs — schon viel in die Öffentlichkeit gedrungen, so sei hier nur auf diese Zusammenfassung der Tagebuchblätter hingewiesen, die alles Erlebte so unmittelbar und unverfälscht geben — alles Leid und die namenlose Bitterkeit zugleich mit dem Stolz auf die Heldenkraft, die in Lettow-Vorbeck und seinen Truppen noch einmal, wie in einen Ring gefaßt, den Glanz deutscher Waffentchtigkeit aufblitzen läßt.“
Tägliche Rundschau.

Römische Charakterköpfe Ein Welt-
bild in Biop-
graphien. Von Geh. Dr. Th. Birt. 6. bis 10. T. 369 S. Geb. M. 8.—

„Das ist ein geradezu wundervolles Buch! Ohne eigentlich die Absicht zu haben, mich gleich eingehend mit ihm zu beschäftigen, fing ich an zu lesen und ward so gefesselt, das ich jede freie Minute zum Weiterlesen benutzte. Was diese Lebensbilder so überaus reizvoll macht, ist die psychologische Kunst, mit der der Verfasser es versteht, die Gestalten zu beseelen; was er bietet, ist nicht trodene Geschichtsschreibung, sondern künstlerische Formgebung.“

Die Deutsche Schule.

Preußens Geschichte Von Rudolf Herzog.
31. bis 40. Tausend.
390 S. mit zahlr. Bildern von Prof. A. Kampf. Geb. M. 6.60

„Wie einen Roman, dessen Handlung wir mit Spannung folgen, lesen wir diese Schilderungen, die uns doch Altbekanntes in ganz neuem Lichte und Zusammenhang zeigen. Herrliche Balladen unterbrechen zuweilen den Lauf der Darstellung. Gedichte wie ‚Rheinsberger Tage‘, ‚Bei Lorgau‘, ‚Blücher zieht über den Rhein‘, ‚König Wilhelms Heldenschau‘ und andere mehr werden zu den Perlen patriotischer Dichtungen zählen. Alles ist dazu angetan, diese Geschichte Preußens zu einem Volksbuch werden zu lassen.“

Deutsche Reue.

Die Reichsgründung Von Geheimrat
Professor Dr. E.
Brandenburg. 2 Bände mit 917 S. Geb. M. 14.—

„Gerade in unseren Tagen, wo das „Neue Reich“ den schwersten Angriffen ausgesetzt ist, und wo wir sogar ein erweitertes, verjüngtes, veredeltes Reich erhoffen, werden alle Vaterlandsfreunde immer wieder zu prüfen haben, welche Kräfte das Reich aufgebaut, welche seiner Entwicklung entgegengewirkt haben, und — sie heute noch hemmen. Wer das „Neue Deutschland“ stützen will, muß die Grundpfeiler kennen, die nicht verrückt werden dürfen, ohne das Ganze in Gefahr zu bringen. So wird das schöne Buch ein sicherer Führer in das geschichtliche und politische Verständnis der Gegenwart sein!“

Der Tag.

Männer und Zeiten Von Geheimrat Prof. Dr.
E. Marcks. 12. bis 15. T.
2 Bde. zu 890 Seiten. Gebunden M. 18.—

„Dieses einzigartige Geschichtswerk des allverehrten Münchener Gelehrten Erich Marcks hat doch wieder seine ganz eigene und hat seine besonders anziehende Note. Man kommt nicht wieder los, wenn man sich einmal zu einem dieser Vorträge gesetzt hat, man verlangt immer mehr, mehr, mehr! Denn man fühlt: der hier schöpft aus dem Vollen aber aus dem Vollen der tiefsten, klarsten und stärksten Quellen, und er tut es mit glühendem Herzen für sein deutsches Volk und Vaterland.“

Der Voltserzieher.

20
Unsere religiösen Erzieher Eine Geschichte des Christentums in Lebensbildern. 5.—8. Tausend. Völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Herausgegeben von Prof. Lic. B. Bep. 2 Bände mit 695 Seiten u. 20 Taf. Geb. M. 14.—

„Wer diesen verschiedenen Erziehern und Auslegern zu folgen bereit ist, wird in eine Fülle von unvergleichlichem, in einen Reichtum des sieghaftesten Lebens hineinschauen, der das Herz mit Freude erfüllt, es aus der natürlichen Gebundenheit unseres Wesens ruft, es erquickt und erzieht.“

Evangel. protestant. Kirchenbote.

„Die ernstesten Führer auf dem Lebenswege, die den Blick zu den Sternen emporrichten, sind die großen Persönlichkeiten der Religionsgeschichte. Zu ihnen führt uns „Unsere religiösen Erzieher“.

Volksbildung.

Sexualethik B. Konsistorialrat D. Dr. G. v. Rohden 186 Seiten. Gebunden M. 5.—

„Mit diesem Werke wird uns eine vom feinsten menschlichen Verständnis, wie von gründlicher Wissenschaftlichkeit geleitete Arbeit über den Entwicklungsgang der Beziehungen zwischen den Geschlechtern und die Pflichten, die den geisteten Menschen der Gegenwart daraus erwachsen, geboten. Das Buch verdient seiner Tiefe und Bedeutung wegen besondere Hervorhebung und kann nicht warm genug empfohlen werden.“ Berl. Morg.-Zeitung.

Der Sinn und Wert des Lebens

Von Geheimrat Professor Dr. R. Cuxen. 18.—20. Tausend. 5. völlig umgearbeitete Aufl. 176 S. mit 1 Bildnis. Geb. M. 5.—

„Es ist ein für weitere Kreise berechnetes Buch, in dem die Philosophie im schönsten und tiefsten Sinne Fühlung mit dem Leben sucht, und wie wenige geeignet, seelisches Leben und Begeisterung zu wecken. Wir glauben nicht zu irren, wenn wir behaupten, es werde ein st zu den Büchern unserer Literatur gehören, welche dauern, nicht zuletzt auch um seiner hohen Genuß gewährenden Sprache willen.“

Der Saemann.

Deutsche Musik auf geschichtlicher und nationaler Grundlage. Dargestellt von Professor Dr. Freiherrn H. von der Pfordten. 340 Seiten mit Buchschmuck und Tafeln. Gebunden M. 9.—

„Dies Werk will nicht ein neues Lehrbuch zu den vielen bereits vorhandenen Musikgeschichten sein, sondern es will die Entwicklung unserer Musik als Spiegel unseres Deutschtums zeigen. Alle musikalisch besonders interessanten Erscheinungen werden hervorgehoben, vor allem aber die Grundlagen angezeigt, die das ganze Gebäude tragen, unsere Volksmusik und Kunstmusik, wie sie dem deutschen Geist entsprungen.“

Der Tag.

Biologie der Tiere Von Prof. Dr. R. v. Hanstein. 420 S. Geb. M. 9. —

„Mit vollendeter Meisterschaft, wie sie nur eine lebenslange Beschäftigung mit der Materie verleihet, sind hier die großen Richtlinien gezogen und aus der ungeheuren Fülle des Stoffes die charakteristischen Erscheinungen herausgegriffen, in feindurchdachter künstlerischer Anordnung durch die Reihe der Kapitel sich ergänzend und erläuternd. Ein klar durchdachtes, vortrefflich geschriebenes und in sich geschlossenes Werk.“

Die Naturwissenschaften.

Leitfaden für Aquarien und Terrarienfrende Von Dr. E. Zernecke. 4. gänzlich neu bearbeitete Auflage. Von E. Heller und P. Almer. 463 Seiten mit 200 Abbildungen. Geb. M. 7. —

„Jeder, der dieser Liebhaberei bis jetzt ferne stand, muß nach der Lektüre dieses trefflichen Buches der eifrigste Anhänger werden. Geben doch die knappen, aber außerordentlich verständlichen Ausführungen dem Laien genügend Aufschluß, sich ohne die Hilfe eines Fachmannes so ein Stück Natur im Hause einzurichten. Und wie der Anfänger für alle seine Sorgen und Kümmernisse Rat findet, so leitet das Buch auch den fortgeschrittenen Fachmann. Jede denkbare Frage ist behandelt.“

Fränkischer Kurier.

Lebensfragen aus der heimischen Pflanzenwelt Von Professor Dr. G. Worgisch. 311 S.

Gebunden M. 1.80

„Wie einen guten Freund nimmt das Buch den Leser an die Hand, führt ihn hinaus in Feld und Trift, in Wiese und Wald, weist ihm die verschiedenen Lebensformen der Pflanzenwelt, erklärt ihm ihre Anpassungsfähigkeit an die oft ganz verschiedenen Bedingungen, in die sie sich schicken müssen, kurz, weilt ihn in all das ein, was der wissenschaftliche Begriff „Biologie“ umschließt.“

Tägliche Rundschau.

Geologie der Heimat Grundlinien geologischer Anschauung

Von Geh. Rat Joh. Walther. 229 S. u. zahlr. Taf. Geb. M. 8. —

Das Werk gibt die Grundlagen für jede Art heimatlicher Betrachtung und beleuchtet die wichtigsten geologischen Fragen, die den Gebildeten beim Wandern durch die heimatlichen Lande oder bei seiner Arbeit entgegen treten. Der Name des durch seine Forschungen bekannten Verfassers bürgt dafür, daß dieses aus den Forderungen der Gegenwart erwachsene und für die vaterländisch-wissenschaftlichen Aufgaben nach dem Kriege bestimmte Buch die wichtigsten geologischen Tatsachen und Gesichtspunkte darbietet.

Verlagskataloge und Prospekte unentgeltlich und postfrei durch den Verlag **QUELLE & MEYER**, Leipzig, Kreuzstrasse 14.

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301733

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000296044