

Zur vertraulichen Benutzung

Rohstoffersatz



Herausgegeben vom
Verein deutscher Ingenieure

Selbstverlag des Vereines

Preis 1,25 M.

Weber

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305858



III 33469

Vorwort.

Die in den Heften 23 bis 28 dieses Jahrganges unserer Zeitschrift unter dem Titel »Ersatz für einige im Interesse der Landesverteidigung beschlagnahmte Rohstoffe« veröffentlichten Verhandlungen unseres Mannheimer Bezirksvereines haben auch außerhalb unserer Mitgliederkreise weitgehende Beachtung gefunden, so daß die von den Verhandlungen hergestellten Sonderabdrücke schnell vergriffen waren. Vor die Frage gestellt, einen Neudruck der Verhandlungen anzufertigen, haben wir es für zweckmäßig gehalten, auch die Erfahrungen bekannt zu geben, die inzwischen von der **Metall-Freigabestelle**, die in unserm Vereinshause arbeitet, sowie von den Herren gemacht worden sind, die sich an den Besprechungen in Mannheim beteiligt hatten. Das Ergebnis ist das folgende Heft, das von Herrn Dr. Keßner, Mitglied dieser Freigabestelle, auf Grundlage und unter Benutzung der Mannheimer Erfahrungen verfaßt ist.

Vom Herrn Staatssekretär des Innern ist die Verbreitung dieses Heftes unter der Voraussetzung gestattet worden, daß es nicht im Buchhandel erscheint, sondern den Mitgliedern des Vereines deutscher Ingenieure, des Vereines deutscher Eisenhüttenleute, des Vereines der deutschen Eisengießereien, des Vereines deutscher Maschinenbauanstalten sowie den auf S. 4 und 5 genannten Metall-Beratungs- und -Verteilungsstellen zur **vertraulichen** Kenntnisnahme zuge stellt wird.

Berlin, im November 1915.

Geschäftstelle
des
Vereines deutscher Ingenieure.

Akt. Nr.

2993/50

Benutzte Literatur.

Die Bezeichnungen L. 1 bis L. 12 weisen auf die zum Teil wörtlich wiedergegebenen Verhandlungen des Mannheimer Bezirksvereines deutscher Ingenieure in der Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure hin, die im März d. J. unter dem Vorsitz des Herrn B. Garlepp stattfanden; im einzelnen handelt es sich um die folgenden Berichterstatter:

- L. 1. B. Garlepp, Oberingenieur bei Mohr & Federhaff, Mannheim.
Z. d. V. d. I. 1915 S. 458.
 - L. 2. A. R. Wahl, Oberingenieur der AEG, Installationsbureau, Mannheim.
Z. d. V. d. I. 1915 S. 546.
 - L. 3. Dr. M. Buchner, Heidelberg.
Z. d. V. d. I. 1915 S. 503.
 - L. 4. Fr. Nallinger, Kgl. Baurat, Direktor bei Benz & Co. A.-G., Mannheim.
Z. d. V. d. I. 1915 S. 483.
 - L. 5. Hans Bonte, Professor an der Techn. Hochschule, Karlsruhe.
Z. d. V. d. I. 1915 S. 504.
 - L. 6. E. Kaufmann, Oberingenieur bei Heinrich Lanz, Mannheim.
Z. d. V. d. I. 1915 S. 501.
 - L. 7. Fr. Dürr, Spezial-Ingenieur, Heidelberg.
Z. d. V. d. I. 1915 S. 503.
 - L. 8. W. Staby, Kgl. Oberreg.-Rat d. bayr. Staats-Eisenbahnen, Ludwigshafen a/Rh.
Z. d. V. d. I. 1915 S. 505.
 - L. 9. Derselbe. Z. d. V. d. I. 1915 S. 478.
 - L. 10. F. Eitner, Großh. Baurat, Karlsruhe.
Z. d. V. d. I. 1915 S. 479.
 - L. 11. Heinr. Overath, Direktor der Mannheimer Gummi-, Guttapercha- und Asbestfabrik, Mannheim.
Z. d. V. d. I. 1915 S. 524.
 - L. 12. Moritz Pichler, Dipl.-Ing., Ingenieur der Badischen Anilin- und Sodafabrik, Ludwigshafen a/Rh.
Z. d. V. d. I. 1915 S. 525.
-

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	I
Benutzte Literatur	II
Inhaltsverzeichnis	III
I. Metalle	1
A) Allgemeines	1
1) Vorschriften über Entnahme von Sparmetallen aus beschlag-	
nahmen Lagern	2
2) Arbeitsgebiet der Metall-Freigabestelle	3
3) Beratungsstellen der Industrie	3
4) Vorgang bei Einreichung von Freigabeanträgen	6
B) Ersatzmetalle im Maschinenbau	6
1) Lagerschalen	6
2) Allgemeine Beispiele für Ersatzmetalle	11
C) Ersatzmetalle in der Elektrotechnik	13
1) Fernleitungen	14
2) Erdkabel	23
3) Hausinstallationen	24
4) Maschinen und Maschinenteile	25
5) Schaltvorrichtungen	26
6) Meßgeräte	26
7) Anlasser	27
II. Flüssige Brennstoffe	27
A) Allgemeines	27
B) Ersatz von Benzin für Kraftzwecke	30
1) Benzol	30
2) Spiritus	34
3) Naphthalin, Gasöl und Teeröl	36
C) Ersatz von Petroleum für Leuchtzwecke	37
1) Gas und Elektrizität	37
2) Spiritus	38
3) Azetylen	38
4) Benzol	38
5) Lichtpatronen	38
III. Schmieröle	38
A) Schmiervorrichtungen	39
B) Wiedergewinnung des verbrauchten Oeles	39
C) Ersatz der Mineralöle durch andere Schmierstoffe	40
D) Kühlung der Stähle von Werkzeugmaschinen	42
IV. Gummi	42
V. Koksverbrauch zur Gewinnung von Nebenerzeugnissen	44
A) Allgemeines	44
B) Verwendung von Koks in Kesselanlagen	44
1) Reine Koksfeuerung	44
2) Mischfeuerungen	46
C) Verwendung von Koks im Hausbrand	48
D) Koksbricketts	48



I. Metalle.

A) Allgemeines.

Einleitung.

Die vorliegende Druckschrift über den Rohstoffersatz beschäftigt sich mit der Frage, wie die für die Landesverteidigung beschlagnahmten Rohstoffe durch nicht beschlagnahmte Stoffe oder andere Bauarten ersetzt werden können.

Wenn Deutschland auch nur einen geringen Teil seines Kupferverbrauches aus eigenen Bergwerken gewinnt, so hat es doch dank seiner umfangreichen Industrie im Laufe der Jahre einen beträchtlichen Kupfervorrat angesammelt. Dieser Vorrat wird für die Bedürfnisse der Heeresverwaltung auch dann ausreichen, wenn der Krieg länger dauert, als zu erwarten ist, und auch dann, wenn der Munitionsverbrauch noch beträchtlich über den bisherigen steigen wird.

Naturgemäß aber muß für alle übrigen Metallbedürfnisse eine sorgsame Sparwirtschaft herrschen. Gesetzgebung und Organisation suchen gemeinsam dieses Ziel zu erreichen.

Um einerseits den greifbaren Kupfervorrat jederzeit festzustellen und zu mehren und um andererseits den Kupferverbrauch zu regeln und vorsichtig zu beschränken, sind folgende Gesetze erlassen worden:

Die Verfügung über Bestandsmeldung und Beschlagnahme vom 31. Januar 1915 ordnete die allgemeine Bestandsmeldung und Beschlagnahme der vorhandenen Bestände in Kupfer, Nickel, Zinn, Aluminium, Antimon und Hartblei unverarbeitet, vorgearbeitet, roh oder in Legierungen, Nickel auch in Fertigfabrikaten, an und regelte deren Verbrauch.

Die Verfügung vom 1. Mai 1915 trat an die Stelle der vorgenannten Verfügung und verschärfte sie hinsichtlich des Verbrauches der Sparmetalle.

Die Verfügung vom 20. Juli 1915 veranlaßte die Bestandsmeldung von Kupfer in Fertigfabrikaten, um im Bedarfsfalle eine Mobilisierung der zur Zeit noch immobilien Kupfervorräte zu ermöglichen.

Die Verfügung vom 31. Juli 1915 endlich ordnete die Beschlagnahme, Meldepflicht und Ablieferung von fertigen gebrauchten und ungebrauchten Haushaltsgegenständen aus Kupfer, Messing und Reinnickel an.

Die Durchführung dieser Gesetze wird durch folgende zusammenarbeitende Organisationen gesichert:

- 1) Die Kriegs-Rohstoffabteilung des Kgl. Kriegsministeriums, Sektion Metalle, bewirtschaftet die Sparmetalle im Interesse und nach den Bedürfnissen der Heeres- und Marineverwaltung und erläßt die notwendigen Verfügungen.

- 2) Die Metall-Meldestelle der Kriegs-Rohstoffabteilung des Kgl. Kriegsministeriums sammelt die zweimonatlichen Bestandsmeldungen, die der Kriegs-Rohstoffabteilung die Unterlagen für ihre Maßnahmen geben.

- 3) Die Metall-Mobilmachungsstelle der Kriegs-Rohstoffabteilung des Kgl. Kriegsministeriums sammelt die Bestandsmeldungen über Kupfer in Fertigfabrikaten und dient demselben Zweck wie unter Nr. 2.

- 4) Die Metall-Freigabestelle, die das Reichsamt des Innern eingerichtet hat, ist zuständig für alle Freigaben von Sparmetallen, die für mittelbare Kriegslieferungen und unentbehrliche Friedenslieferungen notwendig sind, und steht der Industrie in der Verwendung von Ersatzmetallen beratend zur Seite.

Die nachstehende Veröffentlichung soll einen Ueberblick über den Zusammenhang zwischen den genannten Gesetzen und Organisationen geben; ferner soll sie Aufschluß gewähren über die Erfahrungen, die bei dem Ersatz von beschlagnahmten Metallen (Sparmetallen) durch freie Metalle (Ersatzmetalle) bereits vorliegen.

Jede Ersparnis von 1 kg Kupfer bedeutet einen Granatschuß oder etwa 150 Gewehrschüsse mehr. Wer bemüht ist, Altmetall in irgend einer Form der Heeresverwaltung zuzuführen oder den Verbrauch an Sparmetallen durch geschickte Betriebsführung oder Konstruktion irgendwie zu beschränken, der hilft das Vaterland verteidigen.

Der eigene freie Wille zur Sparsamkeit hilft mehr als aller Zwang.

1) Vorschriften über Entnahme von Sparmetallen aus beschlagnahmten Lagern.

Sparmetalle sind: Nickel, Aluminium, Kupfer, Antimon, Zinn, Hartblei und deren Legierungen (Bekanntmachung der Kriegs-Rohstoffabteilung, Sektion M, vom 1. April 1915).

1. Art der Lieferung	2. Aufträge für	3. besondere Bedingungen	4. Entnahme ¹⁾ gegen
A) unmittelbare Kriegslieferungen (Erzeugnisse, die in den Besitz der unter A 2 genannten Behörden übergehen, und Erweiterungen, die von diesen Behörden bestellt und bezahlt werden).	deutsche Militärbehörden deutsche Reichsmarinebehörden deutsche Reichs- und Staats-Eisenbahnverwaltungen deutsche Reichs- oder Staats-Post- oder Telegraphenbehörden deutsche staatliche Bergämter deutsche Hafenaemter deutsche staatliche und städtische Medizinalbehörden andere deutsche Reichs- oder Staatsbehörden	ohne weiteres Vermerk seitens der bestellenden Behörde, daß die Ausführung der Lieferung im Interesse der Landesverteidigung nötig und unersetzlich ist.	amtlichen Belegschein
B) Ausbesserungslieferungen zwecks Aufrechterhaltung von Betrieben mit Kriegslieferungen.	Betriebe, bei denen Kriegslieferungen vorliegen, sofern die Vertragserfüllung ohne diese Metalle nicht möglich ist.	Nachweis der Unersetzlichkeit des Sparmetalles durch nicht beschlagnahmte Stoffe	
C) mittelbare Kriegs- und Friedenslieferungen.	Erweiterungen, die nicht unter I A fallen, sowie Ausbesserungen und Verbrauch in Betrieben mit Friedenslieferungen.	Freigabegesuch an die Metall-Freigabestelle	von der Metall-Freigabestelle geprüften Freigabeschein des Kriegsministeriums

¹⁾ Die Lagerverwaltung ist verpflichtet, über die Ausgabe in jeder Klasse getrennt für sich Buch zu führen und diese Bücher mit den Belegen bis 5 Jahre nach Friedensschluß zur Einsicht der Behörde aufzubewahren.

Die Beschlagnahme-Verfügung M. I. 4. 15 K. R. A., die allein maßgebend ist, wird durch die obenstehende schematische Darstellung nicht vollständig wiedergegeben, worauf zu achten ist.

2) Arbeitsgebiet der Metall-Freigabestelle.

Die Einzelanträge auf Freigabe von Sparmetallen für Friedenszwecke und für Einrichtungen, die nur lose mit Kriegslieferungen in Verbindung stehen, haben einen so erheblichen Umfang angenommen, daß sie mit Rücksicht auf die Heeres- und Marineinteressen in Zukunft nur noch in den dringendsten Fällen berücksichtigt werden können.

Um in Zweifelsfällen eine genaue Prüfung vornehmen zu können, ob solche Anträge mit Rücksicht auf den Heeresbedarf an Sparmetallen gerechtfertigt erscheinen, ist unter der Aufsicht des Reichsamtes des Innern und unter Beteiligung des Kriegs- und des Handels-Ministeriums eine Zentralstelle gegründet worden. Die Leitung dieser Stelle hat Geh. Reg.-Rat Prof. Kammerer übernommen, dem Ingenieure und Chemiker in größerer Zahl zur Seite stehen. Die Geschäftsräume befinden sich im Hause des Vereines deutscher Ingenieure, Berlin NW. 7, Sommerstraße 4a. Alle Anträge auf Freigabe von Metallen, die nicht unmittelbar Heeres- oder Marinelieferungen betreffen, sind dorthin zu richten und werden dort erledigt.

Die neu geschaffene Stelle hat den Zweck, die Freigabeanträge auf ihre Dringlichkeit und die Unersetzlichkeit der beschlagnahmten Metalle durch Ersatzmetalle eingehender als bisher zu prüfen und die Industrie zur Verwendung von Ersatzmetallen mehr und mehr zu erziehen. Es werden daher von vornherein alle Gesuche zurückgewiesen, die die vorstehenden Bedingungen nicht erfüllen. Demzufolge wird empfohlen, Freigabeanträge nur dann zu stellen, wenn alle Ersatzmöglichkeiten, auch auf die Gefahr der geringeren Haltbarkeit und Wirtschaftlichkeit hin, erschöpft sind; es ist ferner ratsam, eine eingehende Vorprüfung solcher Gesuche durch die Sonderverbände und Sachverständigen der einzelnen Industrien vornehmen zu lassen. Bei Anträgen an die Metall-Freigabestelle sind sowohl über die Mengen der erforderlichen Sparmetalle in kg, als auch über die Dringlichkeit des Bedarfes und die Unersetzlichkeit durch nichtbeschlagnahmte Metalle genaue Angaben zu machen.

Neben der Bearbeitung von Freigabeanträgen wird es auch Aufgabe der Freigabestelle sein, Metall-Vermittlungsstellen für ganze Industrien zu schaffen und zur Verwendung von Ersatzmetallen gegebenenfalls durch fachwissenschaftliche Gutachten anzuregen.

Alle Anträge auf Freigabe von Sparmetallen für Neuanlagen und Ausbesserungen in Betrieben, die auf Veranlassung des Reichsmarineamtes oder der Heeresverwaltung erfolgen, sind auch in Zukunft an das Kriegsministerium, Kriegs-Rohstoffabteilung, Sektion M., in Berlin SW. 48, Verlängerte Hedemannstraße 9/10, zu richten und werden dort erledigt.

3) Beratungsstellen der Industrie.

Sachgemäße Einschränkung des Verbrauches von Sparmetallen (Kupfer, Nickel usw.) durch Verwendung von Ersatzmetallen (Eisen, Zink, Blei usw.) und gerechte Verteilung der zur Verfügung stehenden Sparmetalle auf die einzelnen Werke wird sich um so besser erreichen lassen, je mehr die Industrie selbst daran teilnimmt. Die Metall-Freigabestelle unterstützt daher alle Bestrebungen die auf den Zusammenschluß der einzelnen Industriezweige zu Beratungs- und Verteilungsstellen gerichtet sind. Solche Stellen können am besten

von Industrie-Organisationen eingerichtet werden, die zu anderen Zwecken bereits bestehen. Diese Aufgabe ist bereits für mehrere Industriezweige gelöst durch folgende Stellen¹⁾:

- Metall-Verteilungsstelle der deutschen Straßenbahn- und Kleinbahn-Unternehmungen (Direktor Otto, Direktor Dr. Drewes, Direktor Stahl), Berlin SW. 11, Dessauerstr. 1.
- Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke (Direktor Meng), Dresden-A., Strehleener Str. 72.
- Vereinigung deutscher Elektrizitätsfirmen (Ing. Schüler), Berlin SW, Königgrätzerstr. 106.
- Verein zur Wahrung gemeinsamer Wirtschaftsinteressen der deutschen Elektrotechnik (Dr. Fasolt), Berlin W. 35, Steglitzer Str. 36.
- Verband der elektrotechnischen Installationsfirmen in Deutschland (Dr. Niefind), Frankfurt a. M., Schefflerstr. 1, II.
- Metall-Verteilungsstelle des Verbandes der Fabrikanten von Taschenlampenbatterien in Deutschland (Dr. Michel), Berlin NW. 7, Dorotheenstr. 8, Zimmer 24.
- Metall-Beratungs- und -Verteilungsstelle für den Maschinenbau: Verein deutscher Maschinenbauanstalten (Dipl.-Ing. Frölich), Charlottenburg 2, Hardenbergstraße 3.
- Metall-Vermittlungsstelle für die Landwirtschaftliche Maschinen-Industrie (Generalleutnant a. D. Krüger), Berlin-Westend, Kaiserdamm 67.
- Verein deutscher Fahrrad-Fabrikanten (Dr. Timpe), Brandenburg a/Havel.
- Metall-Beratungs- und -Verteilungsstelle für die Metallindustrie (Dr.-Ing. Kramer), Berlin-Tempelhof, Hohenzollern-Korso 1.
- Metall-Beratungs- und -Verteilungsstelle für Mechanik und Optik (Alfred Schmidt), Köln, Brüderstr. 7.
- Brillen-Industrie Rathenow (Landrat von Bredow).
- Metall-Vermittlungsstelle deutscher Gasmesserfabrikanten (Direktor Lempelius), Berlin N. 4, Chausseestr. 13.
- Zentrale für Gasverwertung (für Gaskocher-Vermittlungsstelle) (Direktor Lempelius), Berlin N. 4, Chausseestr. 13.
- Metall-Beratungs- und -Verteilungsstelle der Autogen-Industrie (Prof. Dr. Vogel), Berlin SW. 48, Wilhelmstr. 18.
- Verband deutscher Zinnfiguren-Fabrikanten (Wilh. Schwarz), Nürnberg, Gostenhofer Hauptstraße 59.
- Vereinigung der Spiel- und Metallwarenfabrikanten und verwandten Geschäftszweige von Nürnberg, Fürth und Umgebung (Justin Gallinger), Nürnberg, Deinstr. 16, I.
- Verein für die Bergbaulichen Interessen im Oberbergamtsbezirk Dortmund (Oberingenieure Hußmann, Schulte, Fuhrmann und Arauner), Essen, Friedrichstr.

¹⁾ Die in Klammern gesetzten Namen bedeuten die Vertrauensmänner der betr. Stellen.

- Metall-Beratungs- und Verteilungsstelle für den Braunkohlen-Bergbau (H. Beisert), Halle a. S., Schillerstr. 2 I.
- Rheinischer Braunkohlenbergbau, Verein für die Interessen der Rheinischen Braunkohlenindustrie (Bergassessor Conix), Köln, Gereonshaus.
- Metall-Beratungs- und -Verteilungsstelle für den Kali-Bergbau (Bergassessor Heberle), Berlin SW. 11, Anhaltstr. 7.
- Deutsch-österreichisches Sprenghütchen-Syndikat: Rhein.-Westf. Sprengstoff-A.-G. (Dr. Müller), Köln.
- Metall-Verteilungsstelle der Deutschen Röntgenröhrenfabriken (Dr. Fürstenauf), Berlin SW. 35, Kurfürstenstr. 146.
- Zentralstelle für wissenschaftlich-technische Untersuchungen (Geh. Reg.-Rat Will), Neubabelsberg.
- Metall-Beratungs- und -Verteilungsstelle für die Brauindustrie (Viceadmiral a. D. Funke), Charlottenburg, Kantstr. 157.
- Metall-Beratungsstelle der Zuckerindustrie (Dr. Preißler), Berlin W. 62, Kleiststr. 32.
- Verband deutscher Militär-Effekten-Fabrikanten, Berlin S., Alexandrinenstr. 14.
- Verein deutscher Zellstoff-Fabrikanten (Dr. Gottstein), Berlin W., Potsdamerstr. 122a/b.
- Metall-Vermittlungsstelle für das graphische Gewerbe (Dr. Klinkhardt), Leipzig, Deutsches Buchgewerbehaus.
- Metall-Beratungs- und -Verteilungsstelle für Druckpapier (H. Reuter)-Berlin W. 9, Potsdamerstr. 127/128.
- Vermittlungsstelle für Bezug und Ausfuhr von Metalltuch (H. Schloßmacher), Frankfurt a. Main, Hohenzollernplatz 12.
- Verband Deutscher Waren- und Kaufhäuser, E. V. (Syndikus Dr. J. Wernicke), Berlin W. 9, Potsdamerstr. 21.
- Metall-Verteilungsstelle für die Musikinstrumenten-Industrie (Martin Schuster), Markneukirchen i. Sachsen.
- Verein Deutscher Pianoforte-Fabrikanten (Kom.-Rat Schiedmayer), Leipzig.
- Verein deutscher Eisenhüttenleute (Dr.-Ing. Petersen), Düsseldorf 74, Breitestr. 27.
- Metall-Beratungs- und Verteilungsstelle für die ober-schlesische Berg- und Hüttenindustrie (Oberingenieur Vogel), Kattowitz.
- Metall-Beratungs- und -Verteilungsstelle für den Bereich der Gießereien und Verzinnereien (Prof. Dr. Leidig), Berlin, Pfalzburgerstr. 72.
- Beratungs- und Verteilungsstelle für Weißmetall und Zinnlegierungen (Dr.-Ing. Hanemann), Technische Hochschule, Charlottenburg.
- Verein Deutscher Tempergießereien (Jul. Stockey), Hagen i. W., Kaiserstr. 27.
- Verband der Seidenfärbereien (Justizrat Dr. Simon, H. Holthausen), Krefeld, Kronprinzenstr. 41.

4) Vorgang bei Einreichung von Freigabeanträgen.

1) Ehe ein Antrag eingereicht wird, ist sorgfältig zu prüfen, ob die erforderlichen Sparmetalle nicht durch Ersatzstoffe, nötigenfalls unter Aenderung der Konstruktion, ersetzt werden können. Erst dann, wenn durch diese Ueberlegung der Bedarf an Sparmetallen auf das äußerste beschränkt worden ist, soll ein Freigabeantrag gestellt werden.

2) Besteht bereits eine Beratungs- und Verteilungsstelle für den betreffenden Industriezweig, so ist der Antrag an diese zu richten; hierzu ist das Formular dieser Stelle zu benutzen.

3) Nur dann, wenn der Industriezweig noch nicht organisiert ist, wird der Freigabeantrag unmittelbar an die Metall-Freigabestelle, Berlin NW. 7, Sommerstr. 4a, gesandt, und zwar unter Beifügung von Schnittzeichnungen, in denen diejenigen Teile durch Farbstift oder sonstwie gekennzeichnet sind, die aus Sparmetallen hergestellt werden sollen. Die Unersetzlichkeit der Sparmetalle ist ausführlich zu begründen.

Eine Organisation solcher Industriezweige ist schleunigst herbeizuführen.

B. Die Ersatzmetalle im Maschinenbau.

1) Lagerschalen.

Eine der wichtigsten Fragen der Metallverarbeitung ist jetzt der Ersatz der für Lagermetalle bisher verwendeten Sparmetalle durch nicht beschlagene Rohstoffe geworden. Der Mannheimer Bezirksverein deutscher Ingenieure, der Verein deutscher Maschinenbauanstalten und der Verein deutscher Eisenhüttenleute haben sich sehr eingehend mit dieser Frage beschäftigt und einige leitende Gesichtspunkte aufgestellt, die mit den Erfahrungen der Metall-Freigabestelle hier zusammengestellt werden sollen.

Maßgebend für die Abmessungen der Lager sind Flächenpressung ($p = \frac{P}{ab}$) und Gleitgeschwindigkeit ($v = \frac{d\pi n}{60}$), gleiche oder wechselnde Druckrichtung, dauernder oder wechselnder Betrieb, natürliche oder künstliche Wärmeabfuhr¹⁾.

Für die zulässige Erwärmung eines Lagers ist die Reibungsleistung auf die Flächeneinheit ($p v \mu$) bestimmend, die einen Grenzwert nicht überschreiten darf. Für alle ermittelten Grenzwerte ist vollkommenes Aufliegen des Zapfens auf der Lagerschale Vorbedingung. Der Zapfendurchmesser muß so stark sein, daß Formänderungen infolge der Biegemomente klein bleiben.

Es ist zu berücksichtigen (L. 1), daß die Lager in der Werkstatt in unbelastetem Zustand eintuschiert werden und daß die wirklichen Auflageflächen sich ändern, sobald die Zapfen betriebsmäßig belastet werden. Bei jeder Belastung und Entlastung treten elastische Formänderungen des Zapfens auf, denen sich die Lagerschale und die Schmierschicht anpassen müssen. Die Lagerfläche wird dieser Formänderung entgegenarbeiten und sich auf eine mittlere Wölbung in der Achsrichtung einstellen, so daß die beiderseitigen Schwankungen von der Mittellinie aus geringer werden. Die Lagerschale kann sich aber solchen Form-

1) Hierin bedeutet: p die Flächenpressung in at
 P den Lagerdruck in kg
 d » Zapfendurchmesser in cm
 b die Zapfenbreite » »
 v » Gleitgeschwindigkeit in m/sk (dabei d in m)
 η » Reibungszahl

änderungen nur anpassen und als Lager brauchbar bleiben, wenn sie eine gewisse Nachgiebigkeit besitzt, die in der Dehnungszahl des Metalles zum Ausdruck kommt¹⁾. Es empfiehlt sich daher, der Dehnung des Lagermetalles erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. So haben z. B. Versuche mit Kranlagern gezeigt, daß bei annähernd gleicher chemischer Zusammensetzung, Festigkeit und Härte die Dehnung des Lagermetalls den besten Maßstab für die Beurteilung der Haltbarkeit eines Lagers abgibt.

Nach dieser Ueberlegung würde also das spröde, nicht nachgiebige Gußeisen bei allen Lagern auszuschließen sein, die wegen stark wechselnder Beanspruchung zu entsprechenden Formänderungen gezwungen werden. Die dabei auftretenden Kantenpressungen, die überall vermieden werden sollten, würden das Gußeisen zermürben, so daß dessen abgebröckelte Teilchen wie Schmirgel reibend und schließlich anfressend wirken würden.

Trotzdem läßt sich Gußeisen auch bei erheblichen Druckschwankungen im Lager verwenden, wenn man sich zu einer Konstruktionsänderung entschließt, indem man die Zapfen etwas stärker bemißt, die elastischen Formänderungen also vermindert, und nach Möglichkeit für selbsttätige Einstellbarkeit des Lagers durch Kugelpfannen oder durch Einbauen von Kugellagern sorgt.

Ueber die Flächenpressungen bei Rotguß und Gußeisen bezüglich der Abnutzung liegen Erfahrungswerte von Garlepp (L. 1) vor, die in Abb. 1 veranschaulicht sind. Als Ordinaten sind die Flächenpressungen p in kg/qcm und als Abszissen $pv = \text{Flächenpressung} \text{ mal Geschwindigkeit am Zapfenumfang}$ gewählt. Dieser Wert ist proportional der Abnutzung und steht gleichzeitig auch noch in bestimmtem Verhältnis zur Wärmeerzeugung. Wenn man darauf also den zulässigen Flächendruck bezieht, so kommt man zu einer Vereinfachung, die für die meisten Fälle praktisch ausreichend sein dürfte.

Garlepp macht ferner einen Unterschied zwischen aussetzendem Betrieb und Dauerbetrieb (z. B. für Rotguß in den Linien R und R_1). Als Gesamttragfläche ist dabei Zapfendurchmesser mal Zapfenlänge angesetzt. In Wirklichkeit darf das Lager nicht rundherum am Zapfen dicht anliegen, da sonst kein Raum für das Schmiermittel bleibt und bei der geringsten Erwärmung auch leicht Festbrennen erfolgt. Man rechnet deshalb häufig mit nur $\frac{3}{4}$ Zapfendurchmesser mal Länge, wobei sich dann eben der mittlere Flächendruck entsprechend höher herausstellt.

Für Rotguß ist bei aussetzendem Betrieb als Höchstbelastung 150 kg/qcm angesetzt; für besondere Fälle kann man noch etwas höher gehen. Die Linie R zeigt die Werte in Abhängigkeit der Belastung vom Produkt aus Flächenpressung und Geschwindigkeit am Zapfenumfang.

Für Dauerbetrieb ergibt sich die Linie R_1 . Um für verschiedene Zwecke mit besondern Erfordernissen brauchbare Werte zu erhalten, muß man eben diesen Erfordernissen bei der Wahl von p Rechnung tragen, und dafür sind unter der Abbildung eine Reihe von Verwendungsarten (L. 1) aufgestellt, die für den Gebrauch der Kurven geordnet sind. Die Gruppe 3 entspricht dem durch Kurve R vertretenen aussetzenden Betrieb, Gruppe 6 dem, was unter normalem Dauerbetrieb verstanden werden soll und im Diagramm durch die Kurve R_1 festgelegt ist.

Für Gußeisen gelten sinngemäß die Linien G und G_1 . Für Weißmetall sind leider noch keine ausreichenden Unterlagen vorhanden; es sind für Weißmetall

¹⁾ Vergl. Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1915 S. 459.

(W und W_1) etwa 65 vH der Belastung von Rotguß angenommen, was wohl ziemlich zutreffen dürfte.

Gußeiserne Lagerschalen werden bekanntlich in erster Linie des billigeren Preises wegen bei Transmissionen angewandt. Die Flächenbelastung ist dabei gering, da ja meist genügend Platz für lange Lagerschalen vorhanden ist, für die Kugelfannen vorgesehen werden können.

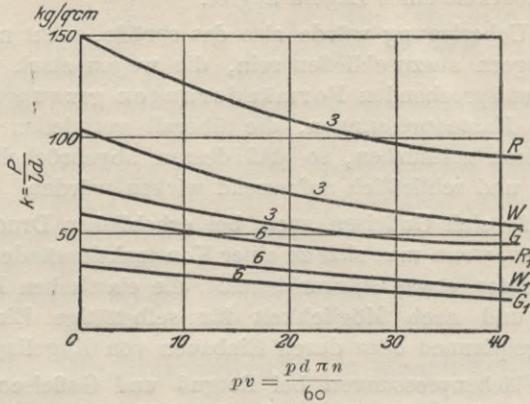


Abb. I.

- 1) Handbetrieb oder Maschinen mit kurzer Betriebsdauer
- 2) Krane, wobei Höchstlast selten
- 3) Krane, stets Höchstlast — aussetzender Betrieb
- 4) Krane, angestrenzter Betrieb, Lokomotiv-Kurbelzapfen
- 5) Lokomotiv-Achszapfen
- 6) gut beaufsichtigte Maschinenlager mittlerer Art — Dauerbetrieb
- 7) Kreuzkopfszapfen ortfester Dampfmaschinen
- 8) Schwungradwellen ortfester Dampfmaschinen
- 9) wenig beaufsichtigte Transmissionen
- 10) Maschinen mit sehr hoher Umlaufzahl oder empfindlichem Betrieb.

Nach Prof. Dr.-Ing. Schlesinger kann z. B. im Werkzeugmaschinenbau an Stelle von Rotguß und Weißmetall benutzt werden:

- | | |
|---|---|
| für Lager bis 100 mm Dmr. und 350 Uml./min | } bei kleinem spezifischem Flächendruck und sehr guter Schmierung: Gußeisen |
| für Lager bis 70 mm Dmr. und 300 bis 400 Uml./min | |
| für Lager bis 50 mm Dmr. und 800 Uml./min Dauerleistung | } reines, weiches Gußeisen, bei sehr guter Schmierung; Lager erhitzen sich nicht über 36° |
| Büchsen in den Maschinenständern der Werkzeugmaschinen | |

Die in der Industrie über diese Fragen gewiß reichlich vorliegenden Erfahrungen würden der Allgemeinheit von hohem Nutzen sein, wenn sie gesammelt und nach Industriezweigen geordnet den einzelnen Fabrikanten zugänglich wären. Die Metall-Beratungs- und Verteilungsstellen werden hierdurch angeregt, ähnliche scharf umgrenzte Fragebogen herauszugeben, wie sie Geh.Reg.-Rat Prof. Kammerer nachstehend für den Hebmashinenbau aufgestellt hat.

Fragen für den Hebeemaschinenbau.

- 1) Bronzebüchsen für geringe Umlaufzahlen (Laufrollen, Seilrollen, Trommelwellen).
Vorkommende Pressungen $\left(\frac{P}{db}\right)$ und Gleitgeschwindigkeiten $\left(\frac{d\pi n}{60}\right)$?
- 2) Bronzebüchsen für hohe Umlaufzahlen (Schneckenwellen, Vorgelegewellen).
Vorkommende Pressungen und Gleitgeschwindigkeiten?
- 3) Weißmetallager. (Vorgelegewellen, Fahrwerkswellen).
Vorkommende Pressungen und Gleitgeschwindigkeiten?
- 4) Bronze-Schneckenradkränze. (Aufzüge, Krane).
Vorkommende Zahnpressungen $\left(\frac{P}{tb}\right)$ und Gleitgeschwindigkeiten $\left(\frac{d\pi n}{60}\right)$?
wenn t die Teilung,
 b » Breite des Zahnes bedeutet.
Zähnezahl des Rades und Gangzahl der Schnecke?
- 5) Bronzemuttern. (Schraubenspindeln von Wippkranen, Stahlwerkskranen, Aufzügen).
Vorkommende Gewindepressungen $\left(\frac{P}{d_m \pi i t}\right)$ und Gleitgeschwindigkeiten $\left(\frac{d_m \pi n}{60}\right)$?
Gangzahlen der Spindel und der Mutter?
wenn d_m den mittleren Gewindedurchmesser,
 t die Gangtiefe,
 i » Zahl der tragenden Gewindegänge bedeutet.

Bei allen Fragen ist gedacht, daß beliebige Ausführungen herausgegriffen werden; je größer die Zahl der Beispiele ist, desto leichter werden Durchschnittswerte und Höchstwerte als solche erkannt werden. Um Nennung des Verwendungsgebietes (Stahlwerkskran, Greiferkran, Werkstättenkran usw.) wird gebeten. Sollten Erfahrungen mit Ersatzmetallen bereits vorliegen, so wäre deren Mitteilung besonders verdienstvoll.

Die vorstehenden Anregungen bezwecken also, für Lagerungen jeder Art nach Möglichkeit Gußeisen zu verwenden. Nur dann, wenn Gußeisen unter keinen Umständen mehr zulässig erscheint, sollen Ersatzstoffe verwendet werden. Dabei ist zu unterscheiden, ob es sich um Lagerschalen mit Futter oder ohne Futter handelt.

I. Lagerschalen mit Futter.

1) Weißmetallersatz.

Das Eisenbahn-Zentralamt macht Versuche mit folgender Legierung:

63,4 vH Zink, 21,3 vH Zinn, 12 vH Blei, 3,3 vH Kupfer.

Diese Legierung wird unter verschiedenen Namen von mehreren Firmen in den Handel gebracht.

Ferner ist in Vorschlag gebracht:

80 vH Zink, 16 vH Zinn, 4 vH Kupfer.

Versuche mit diesen Legierungen werden zurzeit ausgeführt. Es wird gebeten, alle Erfahrungen, die mit der Verwendung dieser oder ähnlicher Legierungen gemacht werden, der Metall-Freigabestelle mitzuteilen.

2) Weißmetall.

Ist die Anwendung von Weißmetall nicht zu umgehen, so darf sie auf alle Fälle nur in der Weise geschehen, daß dünne Ausfütterungen in Schalen aus Gußeisen oder Stahlguß eingebracht werden. Dabei ist zu beachten, daß bei allzu geringer Schalenstärke die der Achsbiegung entsprechende Form-

änderung der Schale sich nicht genug in die Tiefe verteilen kann und die oberen Schichten zu starke Quetschungen und Verschiebungen erleiden würden.

Ein durchaus brauchbares Weißmetall wird aus Asehen, Krätzen, Metallspähnen und untrennbaren Metallgemischen, die für Heereszwecke gegenwärtig nicht verwendbar sind, durch Verhüttung gewonnen; es lassen sich damit bis zu 80 vH Zinn erreichen.

Größere Mengen dieses Weißmetalles werden durch Vermittlung der Beratungs- und Verteilungsstelle für Weißmetall und Zinnlegierungen, Kgl. Technische Hochschule, Charlottenburg 2, Berliner Str. 172, an Metallhüttenwerke freigegeben.

Um die Deckung des Bedarfs an Weißmetall auf genügende Zeit sicher zu stellen, muß den Verbrauchern auch bei Verwendung dieser Legierung äußerste Sparsamkeit zur Pflicht gemacht werden.

II. Lagerschalen ohne Futter.

1) Gußeisen.

Bei schwach belasteten Lagern und Büchsen ($p \leq 20$ at), bei nicht zu hoher Umfangsgeschwindigkeit ($v \leq 2$ msk) und bei sorgfältiger Bearbeitung (Schleifen) dürfte die Anwendung von Gußeisen überall zulässig sein. Bei höheren Belastungen muß versucht werden, die Lager so zu ändern, daß der Flächendruck innerhalb der zulässigen Grenze bleibt.

2) Weißbronzen.

Bei hochbelasteten Lagern ist man genötigt, Zinklegierungen mit etwas größerem Kupferzusatz zu verwenden. Als solche Legierungen kommen in Betracht:

89,5 vH Zink, 3 vH Aluminium, 8,5 vH Kupfer.
82 vH Zink, 4 bis 5 vH Blei, 8 vH Zinn, 4 bis 5 vH Kupfer, etwas Antimon und Aluminium.

3) Stahl.

Für hochbelastete Büchsen mit Druckwechsel eignet sich bei nicht zu großen Abmessungen gehärteter Stahl auf gehärtetem Stahl. Diese Ausführung eignet sich u. a. für die Steuerungszapfen der Dampfmaschinen u. dergl.

4) Holz.

In Walzwerksbetrieben haben sich Pockholzlager an fast allen Stellen bewährt, wo es nicht auf höchste Genauigkeit ankommt. Selbst bei Fertigerüsten von Drahtstraßen sind stellenweise mit Holzlagern gute Erfahrungen gemacht worden. Versagt haben Holzlager bei den ungewöhnlich hoch beanspruchten Poliergerüsten für Band Eisen sowie an den Stellen, die sehr starken Schlägen ausgesetzt sind. Die Holzlager sind so aus dem Stamm herauszuschneiden, daß die Welle in der Hauptbelastungsrichtung auf Hirn läuft¹⁾.

III. Ersatz der Gleitreibung durch Rollreibung.

1) Kugellager.

In vielen Fällen wird man sich mit Kugellagern helfen können. Bei hohen Belastungen ist darauf zu achten, daß die Kugeln reichlich groß genommen werden.

2) Walzenlager.

Bei geringen Umlaufzahlen (Laufräder, Seilrollen) haben sich auch sorgfältig hergestellte Walzenlager bewährt.

¹⁾ Näheres ist aus den Technischen Berichten über die Ersetzbarkeit von Sparmetallen (Verein deutscher Eisenhüttenleute) zu entnehmen.

Neuere Versuche von Professor Bonte, Karlsruhe, haben bewiesen, daß durch Hochglanzpolitur der Zapfen und Lagerschalen die Reibungszahl wesentlich herabgesetzt wird, so daß für sehr viele Fälle, in denen es bisher nicht möglich erschien, Gußeisen als Lagermetall verwendet werden kann.

Weitere Versuche über Lagermetalle werden in den Versuchsfeldern der Professoren Geh. Reg.-Rat Kammerer und Dr.-Ing. Schlesinger in der Kgl. Technischen Hochschule Berlin ausgeführt. Vorschläge über neue Lagermetalle werden dorthin erbeten.

2) Allgemeine Beispiele für Ersatzmetalle.

In welcher weitgehenden Art die Sparmetalle sonst noch durch nicht beschlagnahmte Rohstoffe ersetzt werden können, zeigen die folgenden Beispiele, die nach den Erfahrungen der Metall-Freigabestelle zusammengestellt sind.

Gegenstand	früher benutzter Rohstoff	Ersatzstoff
kleinere Ventilgehäuse für Wasser	Messingguß	Preßzink oder Temperguß
Ventile und Sitze für Wasser und Sattedampf	beide Teile aus Rotguß	entweder beide Teile aus Zink oder 1 Teil Gußeisen, 1 Teil Rotguß
kleine Zahnräder	Messing	Spritzmetall oder Zink
Kränze von Schneckenrädern	Phosphorbronze	Gußeisen
Spindelmuttern bei mäßiger Pressung	Rotguß	Gußeisen
Kreuzkopfschuhe mit mehr als 3 at mittlerer Pressung	Rotguß	Weißmetall
Kreuzkopfschuhe mit weniger als 3 at mittlerer Pressung	Rotguß oder Weißmetall	Gußeisen
Büchsen	Rotguß	Gußeisen
kleinere Handräder, Böcke usw.	Bronze	Stahlguß oder Temperguß
Saug- und Druckleitungen im Schiffbau	Kupfer	verzinktes Flußeisen
Drehschieber im Schiffbau	Rotguß	Küken: Messing, Gehäuse: Gußeisen
Drosselventile	Rotguß	Gehäuse: Gußeisen. Spindel und Ventilteller: Messing
Dichtungslinsen für Heizrohre	Rotguß	gepreßtes Zink
Gas- und Wasserhähne	Rotguß oder gußeisernes Gehäuse und Rotgußküken	Gußeisen oder Temperguß, gute Einfettung erforderlich; bei großer Rostgefahr Küken aus Preßzink oder Zinklegierung

Gegenstand	früher benutzter Rohstoff	Ersatzstoff
Wasserschleber	gußeisernes Gehäuse mit Rotgußspindel	Spindel aus Eisen, nur Stopfbüchensbrille u. Spindelmutter aus Rotguß; das Gewicht des Sparmetalle ist dadurch etwa auf den achten Teil ermäßigt worden.
Ueberflurhydranten 40 bis 80 mm Dmr.	Spindel, Führung, Schlauchanschluß aus Rotguß	Eisen; das Gewicht der Sparmetalle ist von 4 kg auf 0,650 kg ermäßigt worden.
Gasmesserschälwerke	Messing	Zink
Lagerschalen für Dynamos und Elektromotoren	Bronze	zweiteilige gußeiserne Schalen oder Kugellager
Ritzel der Zahnradvorgelege von Dynamos usw.	Phosphorbronze	Stahl, Rohhaut oder gepreßte Baumwolle
Freileitungen für Elektrizitätswerke	Kupfer	verzinkte Eisenleitungen oder Stahlseile (Normalien des V. D. E. vorhanden)
isolierte Drähte für Installationen	Kupfer	Zinkleitungen (Normalien des V. D. E. vorhanden)
Sammelschienen und Verbindungsschienen in Schaltanlagen	Kupfer	Leitungen aus Flachzink und Rundzink
Anschlußbolzen und Durchführungsbolzen	Kupfer oder Messing	verzinktes Eisen oder Elektron
Widerstände für Anlasser und Regulatoren	Nickelin, Rheotan usw.	Eisendrahtspiralen
Kontaktstücke an Schaltern, Walzensaltern usw.	Kupfer	Kohle auf Kohle oder auf verzinktem Eisen
Anschlußstücke von Apparaten	Kupfer	verzinktes Eisen
Federn an Schaltern, Kontaktfingern usw.	Messing, Neusilber	Federstahlblech
elektrische Lampenfassungen: Mantel und Nippel Kontaktträger und Gewindehülsen	Messing	Eisen
	Messing	Zink
stehende Gasglühbrenner	Messing	Eisen, Düsen aus Weißbronze
hängende Gasglühbrenner	Messing	Eisen, Düsenmäntel aus keramischem Material
Brennerköpfe für Preßgas	Nickel	Magnesia und Silundum mit darunter gelegten Drahtsieben aus Eisen
Spiritusglühbrenner	Messing	Eisen
Reibflächen für Zündhölzer	Schwefelantimon	Schwefelblei
Wasserkannen, Oelkannen	Kupfer, Bronze oder Messing	Weißblech

Gegenstand	früher benutzter Rohstoff	Ersatzstoff
Türgriffe und Beschläge aller Art	Rotguß oder Messing	Schmiedeisen oder Temperguß, lackiert oder galvanisiert
Linoleum- und Treppenschienen	Kupfer, Bronze oder Messing	Eisen, verzinkt
Knöpfe, Beschläge, Verzierungen	Messing, Kupfer, Nickel	verzinktes Eisen
Lampen, Hupen und Schrauben (besonders im Automobil- und Wagenbau)	Messing, Kupfer, Nickel	Zink oder verzinktes Eisen
Karbidbehälter, Taschenlampen, Feuerzeuge	Weißblech	Schwarzblech, verzinktes oder verbleites Eisenblech
Zeltbahnösen	Kupfer oder Messing	Zink
Kühlschlangen für Bierdruckapparate	Zinnrohr	Bleirohr, innen verzinkt
Rohrleitungen, wenn die Möglichkeit einer Vergiftung ausgeschlossen ist	Zinn	Eisen, verzinkt oder verbleit
Verpackung für Genußmittel	Zinn und Aluminium	wasserbeständiges Papier, Schachteln, lackierte Schwarzblechdosen oder dergl.

C. Beispiele für Ersatzmetalle in der Elektrotechnik.¹⁾

Auf keinem industriellen Gebiete ist der Ersatz des Kupfers so schwierig wie in der Elektrotechnik. Nur wenige Metalle können in gewissen Fällen als Ersatz für Kupfer dienen, da an dessen elektrische Eigenschaften, an Festigkeit und Widerstand gegen Witterungseinflüsse besonders hohe Ansprüche gestellt werden müssen.

Die eigene Rohkupferförderung Deutschlands steht im grellen Mißverhältnis zu seinem Bedarf. Unser heimatlicher Boden kann nur etwa 10 vH unseres Kupferbedarfes abgeben. Wenn auch unsere eigene Förderung von Jahr zu Jahr etwas wächst, so bleibt sie doch hinter dem gewaltig zunehmenden Kupferbedarf immer mehr und mehr zurück. Im Jahre 1913 haben wir 27 600 t Rohkupfer in Deutschland erzeugt und 225 400 t — also das Zehnfache! — im Werte von etwa 325 Mill. *M* aus dem Auslande, meist aus den Vereinigten Staaten von Amerika, bezogen. Da uns diese Zufuhr jetzt abgeschnitten ist, müssen wir auch in der Elektrotechnik alles daransetzen, einen geeigneten Ersatz für Kupfer zu finden. Unsere Betrachtungen (L. 2) sind auszudehnen über:

- 1) Fernleitungen,
- 2) Erdkabel,
- 3) Hausinstallationen,
- 4) Maschinen und Maschinenteile,
- 5) Schaltapparate,
- 6) Meßgeräte,
- 7) Anlasser.

¹⁾ Vergl. Elektrotechnische Zeitschrift 1914 S. 1109, 1122, 1132 u. 1915 S. 9, 44, 117 128, 305, 502, 517.

1) Fernleitungen (L. 2).

Die Elektrizität steht im Begriff, mittels der Fernleitungen von leistungsfähigen Zentralen aus Gemeingut des ganzen Volkes zu werden. Gewaltige Mengen Kupfer sind in Fernleitungen bereits festgelegt; eine große Menge wird aber noch nötig, wenn sich weiterhin Großindustrie, Kleinindustrie und jedes Haus den Vorteil des elektrischen Stromes zunutze machen wollen, nicht zuletzt zu dem Zweck, sich vom Petroleumankauf in fremden Ländern unabhängig zu machen.

Als erster Ersatzstoff für Kupfer in Fernleitungen käme Eisen in Betracht. Es war daher notwendig, das Eisen auf seine elektrischen Eigenschaften zu untersuchen, bevor es zur Anwendung empfohlen werden konnte. Unzählige Versuche mußten über alle Einzelheiten Aufschluß geben, und es ist ein Verdienst des Verbandes Deutscher Elektrotechniker und der mit ihm zusammenarbeitenden Kabelwerke, hier schnellstens Ordnung durch Normalien für die Anwendung von Eisen-Starkstromleitungen geschaffen zu haben. Um für die weiteren Ueberlegungen Unterlagen zu haben, werden in Würdigung dieser Verdienste die Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen hier mitgeteilt.

Die Eigenschaften von Eisen und Stahl sind in Zahlentafel 1 zusammengestellt und mit Kupfer, Aluminium und Zink in Vergleich gebracht. Für Fernleitungszwecke, d. h. also für Freileitungen, hat Zink zu wenig mechanische Festigkeit und kommt daher nicht in Frage.

Zahlentafel 1. Materialkonstanten.

	Kupfer	Aluminium	Eisen	Stahl	Zink
Festigkeit . . kg/qmm	25/40	25	40	80	15
Leitfähigkeit	57	34,8	7,9	4,9	17
spezifischer Widerstand .	0,0175	0,029	0,126	0,204	0,059
spezifisches Gewicht . .	8,9	2,7	7,7	7,9	7,2
Temperaturkoeffizient .	0,004	0,0037	0,0046	0,0046	0,00365

Zahlentafel 1 zeigt, daß man lediglich zum Vergleich der absoluten Leitfähigkeiten Eisen vom etwa $7\frac{1}{2}$ fachen Querschnitt gegenüber Kupfer anzuwenden hat; ferner, daß man bei Eisendraht praktisch mit demselben Temperaturkoeffizienten rechnen kann wie bei Kupfer. Bei der Widerstandserhöhung spielt der Temperaturkoeffizient keine allzu große Rolle, so daß man sich mit der Gedächtnisregel zufriedengeben kann, wonach 2° C Temperaturerhöhung bei Eisen-Starkstromleitung 1 vH Widerstandszunahme entspricht.

Nun wird man nicht in jedem Fall einfach das $7\frac{1}{2}$ fache des Kupferquerschnittes in Eisen-Starkstromleitung verlegen, vielmehr kommt es stets auf einen Ausgleich zwischen dem äquivalenten Eisenquerschnitt, dem verlegbaren Eisenquerschnitt und der Wirtschaftlichkeit der Stromübertragung heraus. Die verlangte, für die nächste Zukunft auf ein bescheidenes Maß zurückgedrängte Wirtschaftlichkeit wird auch gerade bei der Verwendung von Stahldraht für Weitspannsysteme maßgebenden Einfluß üben, da dieses harte Material nur etwa den zehnten Teil der Leitfähigkeit von Kupfer hat.

Solange es sich nur um Gleichstrom handelt, bleibt nun nach Auswahl des richtigen Querschnittes alles beim alten, d. h. man befolgt einfach das Ohmsche Gesetz, setzt indessen die Leitfähigkeit des Eisens an Stelle derjenigen des Kupfers in die Formel ein.

Kommen aber für die Eisen-Starkstromleitung Wechselströme in Frage, so treten zu dem reinen Ohmschen Widerstand noch weitere Eigenschaften

hinzu: der dem Stromdurchfluß unterworfenen Eisenleiter läßt sich vom Strome, je nach seinen besonderen Materialeigenschaften, mehr oder weniger magnetisieren. Es entsteht die im Dynamobau so unangenehm empfundene Hysterisis, der ebenso unangenehme Einfluß durch die Wirbelströme, die beide arbeitserstörend, widerstandserhöhend und wärmeerzeugend wirken. Eine weitere Eigenschaft, die an und für sich jedes Metall in geringem, Eisen und Stahl aber in starkem Maße aufweist, ist die Erhöhung des Widerstandes durch die Hautwirkung. Man versteht darunter die Eigentümlichkeit, daß der Wechselstrom sich über den Leiterquerschnitt ungleich verteilt, derart, daß die dem äußeren Umfange benachbarten Schichten verhältnismäßig mehr Strom leiten als die inneren. Es findet also eine Verdrängung des Stromes aus dem Kern des Drahtes heraus gegen die Oberfläche statt.

Die Summe dieser unerwünschten Einwirkungen kennzeichnet man heute durch die Bezeichnung »Hautwirkung«. Wegen dieser Hautwirkung können z. B. Eisenleitungen im Telephonbetrieb nicht verwendet werden, denn die Schwingungen, d. h. die Periodenzahl des pulsierenden Stromes, sind so hoch, daß eine gute Uebertragung nicht zustande kommt.

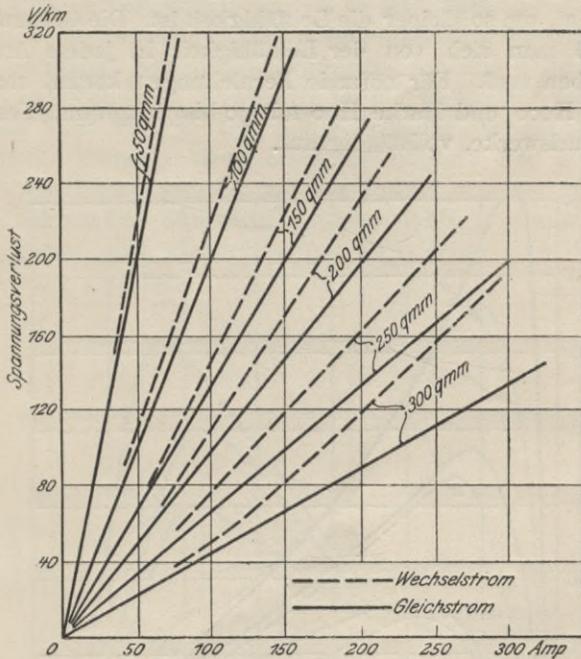


Abb. 2.

Stahldrahtseile. Festigkeit 120 kg/qmm. $\cos \varphi = 1$.

Eine rechnerische Ermittlung des durch die Hautwirkung verursachten Widerstandes erweist sich trotz wissenschaftlicher Formeln als geradezu unmöglich, so daß man noch vor kurzem darauf angewiesen war, einen besonderen Versuch anzustellen, wollte man ausnahmsweise eine Eisen-Starkstromleitung für Wechselstrom verwenden. So zeigt Abb. 2 das Ergebnis der Messungen, welche zur Anwendung von Stahldrahtseilen bei der Ueberspannung eines breiten Flusses führten. Die ausgezogenen Linien zeigen den Widerstand oder Spannungsverlust auf 1 km Länge, wenn auf Stahldrahtseile vom angegebenen Querschnitt Gleichstrom geschaltet wurde. Wurde Wechselstrom durchgeleitet, so

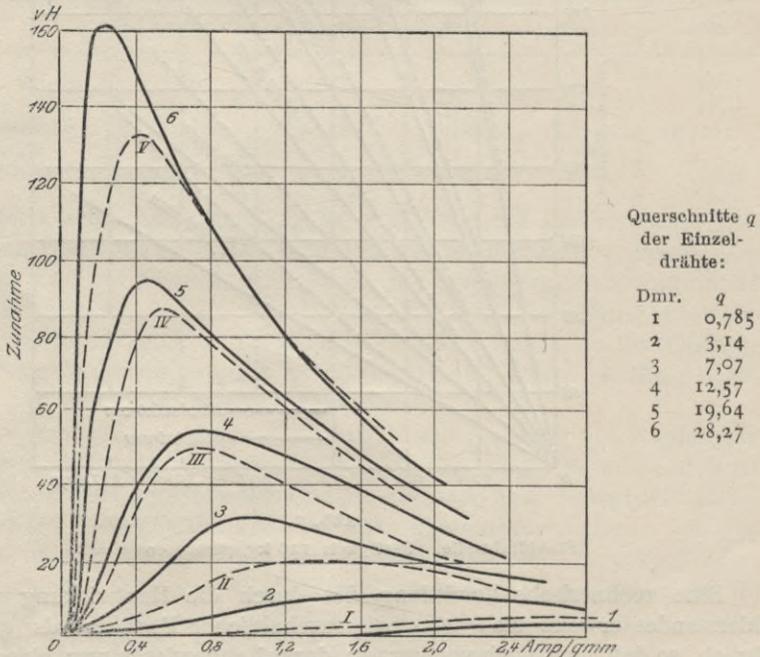
erhöhte sich der Widerstand bis zur punktierten Linie. Die Differenz war demnach durch die Hautwirkung verschuldet.

In Zahlentafel 2 sind die charakteristischen Zahlen für Flußeisen und Stahldraht verschiedener Marken zusammengestellt. Aus der Reihe der Festigkeitszahlen (37 bis 120 kg/qmm) ersieht man, daß bei zielbewußter Auswahl des Materials ausgesprochene Weitspannsysteme zur Ausführung kommen können.

Zahlentafel 2. Materialkonstanten.

	Flußeisen						Bessemerstahl		
	GS weich	H 000 weich	H 000 hart	H 00 weich	H 00 hart	HF1 hart	HTIVr blau hart		
Festigkeit kg/qmm	37	40	70	40	70	70	95	120	
Leitfähigkeit	9,98	8,87	8,81	7,77	7,34	6,11	5,61	5,95	
spezifischer Widerstand	0,1	0,112	0,123	0,128	0,135	0,16	0,177	0,167	
spezifisches Gewicht	7,6	8,0	8,0	8,0	8,0	8,2	7,3	7,9	
Temperaturkoeffizient				je rd. 0,0046					

Bezüglich der Leitfähigkeit sehen wir im großen und ganzen, daß, je härter das Material, um so kleiner die Leitfähigkeit ist. Die Grenzwerte 9,98 und 5,61 zeigen, daß man sich von der Leitfähigkeit in jedem Anwendungsfalle Rechenschaft geben muß. Für normale Fernleitungen kommt man mit Eisen, wie z. B. Marke H 000 und Marke H 00 mit 40 bis 70 kg/qmm Festigkeit, einem Erzeugnis der Carlswerke, vollständig aus.



Querschnitte *q*
der Einzel-
drähte:

Dmr.	<i>q</i>
1	0,785
2	3,14
3	7,07
4	12,57
5	19,64
6	28,27

1 bis 6 massive Drähte von 1 bis 6 mm Dmr.
I bis V Drahtseile von 1 bis 5 mm Dmr.
H 00 blank, verzinkt, 70 kg/qmm

Abb. 3. Widerstand massiver und verseilter Drähte.

Abb. 3 zeigt uns das Ergebnis neuerer Versuche für massive Eisen-Starkstromleitungen von 1 bis 6 mm Dmr. bei Wechselstrom mit 50 Perioden

und mit einer Stromstärke von 0 bis etwa 3 Amp/qmm belastet. Eine spezifische Beanspruchung über 1,5 Amp hinaus kann kaum in Frage kommen, da sich sonst die Eisen-Starkstromleitungen zu sehr erhitzen und allzu viele Sprünge an Isolatoren erzeugen würden. Bei geringer Strombelastung zeigt also massiver Draht eine sehr wesentliche Widerstandszunahme, und zwar eine um so größere, je größer sein Durchmesser ist. Ein massiver 6 mm starker Draht mit $q = 28,27$ qmm Querschnitt hat bei 0,25 Amp/qmm für Wechselstrom bereits den 2,6 fachen Widerstand gegenüber Gleichstrom. Ein 8,6 mm-Draht (in Abb. 3 nicht eingezeichnet) hat schon den 3,6 fachen Wert des Gleichstromwiderstandes. Allerdings hat man es in der Hand, den Gleichstromwiderstand durch die Wahl eines großen Querschnittes klein zu halten, so daß man die Widerstandszunahme bei Wechselstrom nicht allzusehr zu fürchten braucht.

Die gestrichelten Kurven I bis V (Abb. 3) beziehen sich auf Messungen an Drahtseilen, die aus 1 bis 5 mm starken Drähten geflochten sind. Durch Verseilen erhält man große Querschnitte, hat dabei aber nur eine etwas größere Widerstandszunahme in den Kauf zu nehmen, die dem Einzeldrahtdurchmesser entspricht (nicht dem Seildurchmesser). Beispielsweise könnte man 19 Drähte von 2 mm Dmr. zu einem Querschnitt von rd. 60 qmm zusammenschlagen und hätte dann nach Kurve II zwischen 1 und 2 Amp durchschnittlicher Strombelastung auf 1 qmm Querschnitt nur mit einem Aufschlag von rd. 20 vH zu rechnen. Nach später vorgenommenen Messungen ist die Widerstandszunahme allerdings etwas höher als nach Abb. 3. Durch die Verseilung allein ist also schon wesentlich geholfen. Wünschenswert erscheint indessen eine noch feinere Unterteilung des Drahtseilquerschnittes, um die Drähte weniger steif, also leichter verlegbar zu bekommen; außerdem ist nach Abb. 3 vor auszusehen, daß die Widerstandszunahme noch kleiner werden wird, wenn man den Drahtseilquerschnitt noch weiter unterteilt.

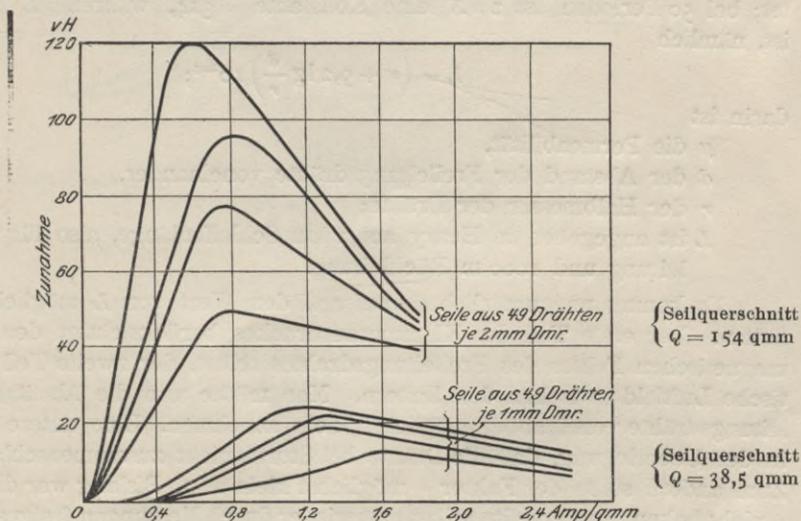


Abb. 4.
H00 blank, hart, verzinkt, 70 kg/qmm, verschiedener Seilschlag.

Weitere Versuche mit Drahtseilen für Eisen-Starkstromleitungen haben dann die Notwendigkeit gezeigt, den Querschnitt so weit wie möglich zu unterteilen und die Drahtlagen übereinander möglichst unregelmäßig bezüglich des Seilschlages zu gestalten. So wurden z. B. Messungen an Drahtseilen angestellt,

bei denen um den Kerndraht herum die erste Lage nach links, die zweite Lage darüber nach rechts gewickelt war. Die einzelnen Drähte berühren sich dann nicht auf längeren Linien, sondern nur an einzelnen Punkten, wodurch die Durchlaßfähigkeit für Kraftlinien sehr gering wird. Abb. 4 stellt den Widerstand solcher verschieden geschlagener 49 drähtiger Seile hoher Festigkeit dar; die unteren Drähte haben je 1 mm Dmr., das Seil also 38,5 qmm Querschnitt und die oberen Drähte haben je 2 mm Dmr., das Seil also 154 qmm Querschnitt. Ein Vergleich mit Abb. 3 zeigt die geringere Widerstandszunahme bei vielfach unterteilten Drahtseilen im Vergleich zum massiven Draht.

Bei Berechnung des Spannungsabfalles in Eisen-Starkstromleitungen bei Wechselstrom ist also stets der erhöhte Widerstand nach den vorgeführten Kurven in Rechnung zu setzen. Der Spannungsabfall $J \times R$ wird unmittelbar der verlangten Spannung am Gebrauchsort zngerechnet, um die Spannung am Erzeugungsort zu erhalten. Die Rechnung in so einfacher Form ist jedoch nur richtig, solange am Ende der Leitung eine induktionsfreie Belastung hängt, wie z. B. Glühlampen.

Ist die Belastung am Ende der Leitung induktiv, d. h. hat sie eine Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung zur Folge, wie es z. B. für die üblichen Asynchronmotoren zutrifft ($\cos \varphi$, das Maß für die Induktanz, liegt bei 0,8 bis 0,9), so nimmt auch die Leitung selbst wegen dieser Phasenverschiebung eine gewisse Induktanz an, die ihrerseits spannungsvermindernd und phasenverschiebend zurückwirkt. Die Leitung ist jetzt also selbst eine zusätzliche induktive Belastung.

Außer für den Spannungsabfall durch den höheren Wechselstromwiderstand ist nun auch für den Spannungsabfall aus der induktiven Beanspruchung der Leitung Deckung zu schaffen. Die Höhe dieses Spannungsverlustes ist proportional $2\pi N L$, wenn N die Periodenzahl, L die Selbstinduktionszahl bedeutet; bei 50 Perioden ist $2\pi N$ eine Konstante = 314, während L veränderlich ist, nämlich

$$L = \left(\mu + 9,2 \lg \frac{d}{r} \right) 10^{-4};$$

darin ist

μ die Permeabilität,

d der Abstand der Freileitungsdrähte voneinander,

r der Halbmesser der Drähte;

L ist angegeben in Henry auf 1 km Schleifenlänge, also für 1000 m Hinleitung und 1000 m Rückleitung.

Es kommt nun natürlich darauf an, den Wert von L möglichst klein zu halten. Der erste Teil des Klammerausdruckes berücksichtigt den Einfluß des magnetischen Feldes des Freileitungsdrahtes selbst, der zweite Teil das magnetische Luftfeld zwischen den Leitern. Man müßte nun die Abstände der Freileitungsdrähte voneinander möglichst klein annehmen. Eine untere Grenze liegt in der Ueberlegung, daß die Drähte bei Sturm nicht zusammenschlagen dürfen. Zum andern sollte der Faktor μ möglichst klein sein. Bislang war die Größe von μ nicht bekannt und mußte selbst erst wieder durch Messungen festgestellt werden.

Abb. 5 zeigt das Ergebnis einer solchen Messung an einem Drahtseil von 19 Einzeldrähten von je 2 mm Dmr. = rd. 60 qmm Gesamtquerschnitt von 60 m Schleifenlänge und 20 cm Abstand der beiden Leiter voneinander. Die jeweils erforderliche Spannung und die Wattverluste bei Stromstärken bis rd. 120 Amp, also bis zu einer durchschnittlichen Stromstärke von 2 Amp/qmm, wurden sowohl bei Wechselstrom von 50 Perioden wie auch bei Gleichstrom genau gemessen

und die wirksamen Widerstände berechnet. Die Widerstände brachte man auf einheitliche Grundlage durch Umrechnung des Widerstandswertes auf gleiche Temperatur, nämlich 15° C.

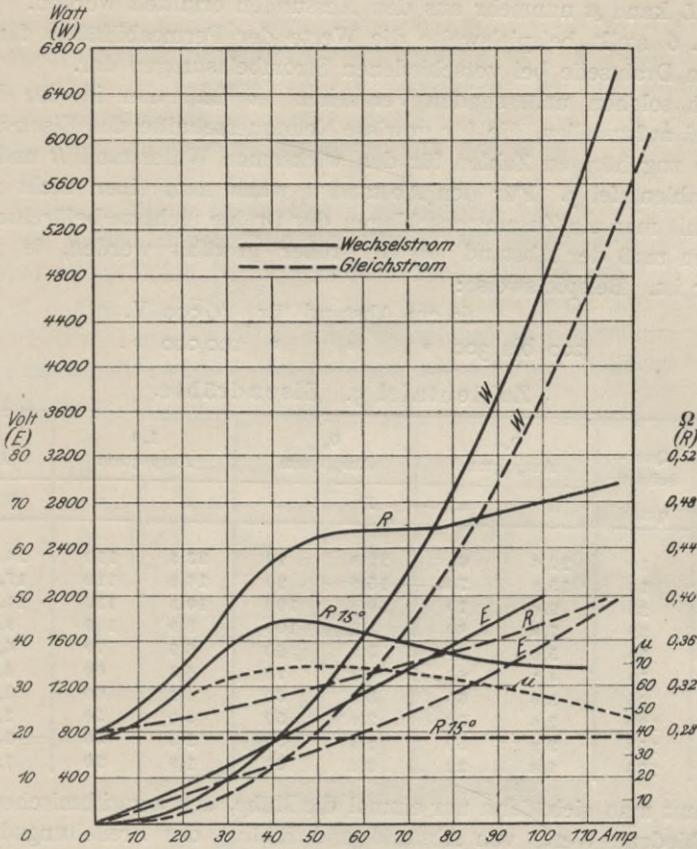


Abb. 5.

Kurzschlußmessung an einem Drahtseil von 59,7 qmm Querschnitt
(19 Drähte von je 2 mm Dmr.).

Leitfähigkeit 7,3 bis 7,6, Zugfestigkeit 43 bis 45 kg/qmm.

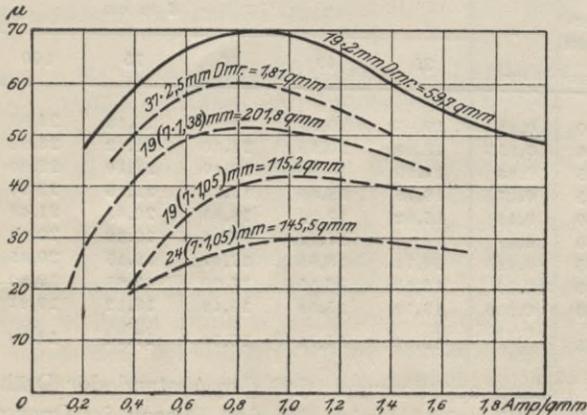


Abb. 6. Permeabilität.

Die bei dieser Kurzschlußmessung aufgedrückte Spannung diene zu bekanntem Teil zur Ueberwindung des wirksamen Widerstandes, zum andern Teil zur Deckung des induktiven Spannungsabfalles $2\pi N L J$. Bei bekanntem d , r und L kann μ nunmehr aus den Messungen ermittelt werden.

Abb. 6 stellt beispielsweise die Werte der Permeabilität μ für die verschiedenen Drahtseile bei verschiedenen Strombelastungen dar.

Nach solchen umfassenden Versuchen ist man nun in der Lage, eine Zahlentafel aufzustellen, die für gewisse Nennquerschnitte des Eisen-Starkstromleiters die zugehörigen Zahlen für den wirksamen Widerstand R und für μ angibt, s. Zahlentafel 3. Für den Abstand d wählt man einen nicht zu kleinen Wert, damit man ein Zusammenschlagen der Drähte nicht zu befürchten braucht; im übrigen muß der Abstand um so größer gewählt werden, je größer die Spannung ist. Beispielsweise:

60 cm Abstand für 6 000 V,
200 bis 300 » » » 100 000 ».

Zahlentafel 3. Eisendrähte.

Zahl der Drähte mal Dmr. in mm	Querschnitt qmm	0,4 Amp/qmm		0,7 Amp/qmm		1,0 Amp/qmm		1,3 Amp/qmm	
		R	μ	R	μ	R	μ	R	μ
		$7 \times 1,4$	10	22,6	60	22,8	90	23,3	110
$7 \times 1,7$	16	15,3	70	15,5	90	16,2	110	17,4	120
$7 \times 2,2$	25	9,6	70	10,0	100	10,5	110	11,5	110
$7 \times 2,5$	35	7,8	80	8,4	100	8,9	100	9,5	100
$19 \times 1,8$	50	5,6	50	5,8	60	6,5	70	6,5	70
$19 \times 2,2$	70	4,1	60	4,4	70	4,8	60	4,7	60
$19 \times 2,5$	95	3,6	60	3,9	60	4,1	60	3,9	60
$37 \times 2,0$	120	2,5	50	2,9	50	3,0	50	2,9	50
$37 \times 2,3$	150	2,2	50	2,5	50	2,4	50	2,3	40
$7 \times 7 \times 2,2$	185	1,8	20	2,0	20	1,9	20	1,9	30

Nimmt man sich dann nur einmal die Mühe, den logarithmischen Ausdruck für verschiedene Werte von Abstand und Radius des Freileitungsdrahtes auszurechnen, wie in Zahlentafel 4 geschehen, so hat man für die weitere Rechnung alle Unterlagen geordnet beisammen.

Zahlentafel 4. Werte für $9,2 \lg \frac{d}{r}$.

Zahl der Drähte mal Dmr. in mm	Querschnitt qmm	r cm	d in cm						
			25	40	50	75	100	150	200
$7 \times 1,4$	10	0,21	19,05	20,94	21,80	23,43	24,56	26,55	27,41
$7 \times 1,7$	16	0,255	18,31	20,15	21,10	22,72	23,82	25,44	26,66
$7 \times 2,2$	25	0,33	17,25	19,15	20,10	21,70	22,80	24,42	25,58
$7 \times 2,5$	35	0,375	16,75	18,65	19,55	21,15	22,30	23,90	25,10
$19 \times 1,8$	50	0,45	16,02	17,92	18,85	20,43	21,60	23,20	24,35
$19 \times 2,2$	70	0,55	15,18	17,12	18,05	19,60	20,78	22,43	23,55
$19 \times 2,5$	95	0,625	14,72	16,55	17,47	19,15	20,45	21,95	23,00
$37 \times 2,0$	120	0,70	14,25	16,15	17,00	18,65	19,80	21,45	22,55
$37 \times 2,3$	150	0,805	13,72	15,58	16,49	18,12	19,27	20,85	22,03
$7 \times 7 \times 2,2$	185	0,99 bis 1	12,85	14,72	15,63	17,24	18,40	20,00	21,25

Es war bislang angenommen, daß der Abstand der Drähte d voneinander bei Drehstrom gleich sei, daß also die drei Phasen im Querschnitt ein gleichseitiges Dreieck bilden. Liegen die Leitungen aber in einer Ebene, wie z. B.

bei Schleifleitungen, so hat man den mittleren Wert des Abstandes d in die Rechnung einzuführen. Der Spannungsabfall vergrößert sich bei dieser Anordnung etwas; man kann sich eine besondere Berechnung ersparen, man rechnet einfach wie sonst, also wie für Dreieckanordnung, und schlägt rd. 5 vH zu.

Besteht eine Fernleitung insgesamt nicht nur aus drei Drähten, sondern einem Vielfachen davon, so muß man die Phasen nach Möglichkeit gemischt führen, um größere Spannungsabfälle zu vermeiden. Bei den Leitungsführungen sollte man es natürlich vermeiden, daß sie irgend welchen eisernen Trägern, Brücken usw. in kurzen Abständen und auf längere Strecken parallel laufen.

Der Ausdruck für L ist in Henry aufzufassen als Wert der Selbstinduktion für 1 km Schleifenlänge, also für 1000 m Hinleitung und 1000 m Rückleitung. Man nimmt daher bei Drehstromberechnungen für R und L den halben Wert von L und multipliziert ihn mit $\sqrt{3}$, um diesen Wert im richtigen Verhältnis zur Betriebsspannung (verketteten Spannung) zu bekommen. Der induktive Spannungsabfall $2\pi NLJ$ darf indessen nicht direkt, sondern nur geometrisch aufgerechnet werden, wie Abb. 7 zeigt.

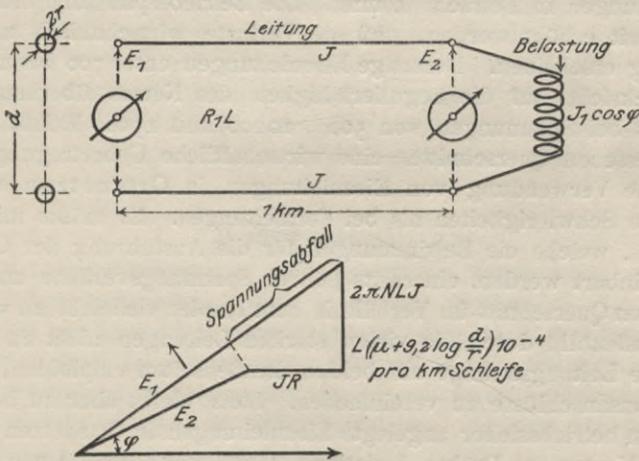


Abb. 7.

Bisher hat man sich mit Eisen-Starkstromleitungen für 50 Perioden vertraut gemacht. Ueber den erhöhten Widerstand R und die Permeabilität μ von Eisenleitern mit anderem als rundem Querschnitt ist man noch nicht eindeutig unterrichtet.

So kommen z. B. als Schleifleitungen für Laufkrane, Verladeanlagen usw. Wulstisen, schwache T-Eisen und Profileisen in Betracht, von denen nur die Werte R und μ für T-Eisen aus dem Wechselstrombahnbau für 16 bis 25 Perioden bekannt sind; diese Werte können aber durch einfache Umrechnung auf 50 Perioden nicht übertragen werden¹⁾. Die Ansichten über die Querschnittsformen solcher Schleifleitungen gehen daher noch auseinander. Vorgeschlagen werden z. B. Eisendrahtseile, an denen des besseren Kontaktes wegen 2 Rollen des Stromabnehmers gleiten sollen. Die dagegen geäußerten Bedenken könnten vielleicht durch eine Unterteilung der Schleifleitung beseitigt werden, wenn neben dem Speisedrahtseil eine Kontaktbahn (Rundeisen, Flachisen, T-Eisen oder dergl.) von geringem Querschnitt verlegt und ab und zu

¹⁾ Vergl. Elektrotechnische Zeitschrift 1907 und 1911.

für eine Verbindung zwischen beiden gesorgt wird; die Kontaktbahn würde dann blank bleiben und eine gute Kontaktfläche für den Stromabnehmer geben.

In der Zwischenzeit ist es gelungen, durch ein besonderes Herstellungsverfahren auch Zinkleitungen als Schleifleitungen anzuwenden, so daß dadurch ein Kupfer-Ersatzstoff, insbesondere für Drehstromleitungen gefunden ist. Bei der Montage dieser Zinkschleifleitungen ist in mancher Hinsicht Vorsicht zu gebrauchen, z. B. ist je nach Stärke des Querschnittes der Draht beim Abwickeln von der Trommel oder vom Bund etwas anzuwärmen. Insbesondere steht eine Zinkschleifleitung mit kreuzförmigem Profil von 250 qmm Querschnitt zur Verfügung, die in Stangen von je 5 m Länge geliefert wird. Der Querschnitt reicht bei intermittierendem Betrieb für etwa 600 Amp aus. Die Aufhängung dieses kreuzförmigen Zinkleiters geschieht an Grubenisolatoren, und die Stoßstellen werden durch eine längere Klemmenöse überbrückt. Die Schleifleitung ist nicht als Freileitung aufzufassen, sie ist vielmehr etwa alle 3 m zu unterstützen.

Ueber Fernleitungen läßt sich allgemein sagen, daß Eisen nur bei kleinen spezifischen Belastungen, verhältnismäßig kurzen Entfernungen und hohen Spannungen in Betracht kommt. Die Betriebsspannung muß unter Umständen soweit erhöht werden, daß die Verluste wirtschaftlich und praktisch noch zulässig erscheinen. Derartige Eisenleitungen unter 700 bis 1000 V lassen sich mit Rücksicht auf die Regulierfähigkeit des Netzes überhaupt nicht betreiben; erst bei Spannungen von 5000, 10000 und 15000 V läßt sich mit den richtig bemessenen Querschnitten eine wirtschaftliche Uebertragung erzielen.

Für die Verwendung von Eisenleitungen in Ortsnetzen ergeben sich noch größere Schwierigkeiten als bei Fernleitungen. Es müßte mit den Ueberlandzentralen, welche die Bestimmungen für die Ausführung der Ortsnetze aufstellen, vereinbart werden, einerseits höhere Spannungsverluste zuzulassen und andererseits den Querschnitt im Verhältnis zum Kupfer vielleicht zu verdreifachen. Um das Straßenbild durch die vielen starken Leitungen nicht zu stören, werden doppelte Leitungsstränge auf beiden Straßenseiten empfohlen, um dadurch auch die Hausanschlüsse zu vereinfachen. Stets bleibt aber zu beachten, daß einigermaßen betriebssicher angelegte Eisenleitungen in Ortsnetzen auch wesentlich höhere Kosten für Drähte, Isolatoren, Gestänge, Montage usw. verursachen werden als entsprechende Anlagen mit Kupferleitungen. Damit müssen wir uns aber in der Kriegszeit abfinden und ausdrücklich betonen, daß Wirtschaftlichkeit und Wirkungsgrad bei allen Ersatzstoffen etwas in den Hintergrund treten müssen¹⁾.

Grundsätzlich ist bei Verlegung blanker Eisenleitungen für Starkstrom folgendes zu beachten:

Die Verbindungsklemmen müssen aus gleichem Material bestehen, weil sonst unter Einwirkung des Regens die Verbindungsstelle elektrolytisch zerstört wird. Beim Abzweigen einer Eisenleitung von einer Kupferleitung muß die Abzweigungsklemme durch Ueberschrauben einer Schutzkapsel vor Nässe geschützt werden, oder man verwendet ähnliche Abzweigungsklemmen, wie sie bereits bei Verbindungen zwischen Aluminium und Kupfer gebräuchlich waren.

Es empfiehlt sich, bei Eisen-Starkstromleitungen stets den nächst größeren Isolator zu verwenden, da Eisendrahtseil wesentlich härter als Kupferdrahtseil ist. Letzteres kann sich im Laufe der Zeit an die Form des Isolators etwas anschmiegen, beim Eisendrahtseil ist das weniger der Fall, und die Flächen-

¹⁾ Näheres über den Meinungsaustrausch s. Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1915 S. 567—570.

pressung ist entsprechend höher; ihr wird nur ein kräftiger Isolator widerstehen können.

Bei ausgesprochenen Hochspannungsleitungen ist der Energieverlust durch Ausstrahlung (Büschelentladung und Koronaverlust) besonders zu beachten. Die Verhältnisse liegen dabei so, daß ein Kupferdraht von kleinem Durchmesser größere Koronaverluste aufweist als ein stärkerer Draht. Da Eisendrähte im Durchmesser stets größer als Kupferdrähte ausfallen, so ist die Eisenleitung in dieser Beziehung im Vorteil; inwieweit die Koronaverluste, die durch die Stromverdrängung im Eisendraht erhöht werden, diesen Vorteil wieder aufheben, ist noch eine offene Frage.

Es soll aber nicht unerwähnt bleiben, daß die Koronaverluste überhaupt, ob Kupferdraht oder Eisendraht, noch nicht auf einheitlichen Grundlagen berechnet werden können, denn sie hängen außer von der Frequenz des Wechselstromes noch ab von der Temperatur, von der Feuchtigkeit der Luft, vom Klima überhaupt, ferner davon, ob der Freileitungsdraht rau oder glatt ist usw. Mathematische Formeln, die das alles berücksichtigen, sind vorhanden; die Kraftübertragungsanlagen der Lauchhammerwerke mit 110000 V Spannung zeigen indessen geringere Koronaverluste, als die Berechnung ergibt.

Bei der Berechnung des Spannungsverlustes, der durch die Selbstinduktion der Eisenleitung hervorgerufen wird, haben wir gesehen daß der Abstand der Drähte voneinander recht klein genommen werden soll. Demgegenüber verlangt ein möglichst kleiner Koronaverlust größere Abstände der Drähte voneinander, so daß zwischen diesen beiden entgegengesetzten Forderungen ein Ausgleich zu suchen ist.

2) Erdkabel. (L. 2.)

Erdkabel mit Kupferseelen sind in großer Menge noch auf Lager; sie können zu jedem technischen Zweck verwendet werden.

Erdkabel mit Eisenleiter sind ebenfalls schon in Anwendung. Der Hautwirkung beugt man sehr wirksam durch besonders weitgehende Unterteilung des Eisenquerschnittes in jeder Ader vor. Dem Zuwachs des Spannungsabfalles durch Selbstinduktion ist kein Wert beizulegen, da der Abstand der Adern voneinander sehr klein ist.

Entgegen den Verhältnissen bei Freileitungen lassen sich Erdkabel auch bei stärksten Querschnitten leicht verlegen; hier kann man also — bei teuern Gestehungskosten für 1 kW-st — etwa den 7- bis 8fachen Kupferquerschnitt im äußersten Falle verwenden; der äquivalente Eisenquerschnitt verträgt etwas höhere Belastung als der entsprechende Kupferquerschnitt, da die kühlende Oberfläche des Eisen-Erdkabels größer ist als beim Kupferkabel.

Bis etwa gegenteilige Erfahrungen vorliegen, hat der Verband deutscher Elektrotechniker für Erdkabel mit Eisenadern den 2,8ten Teil der Strombelastung zugelassen, die für Kupferkabel in den Normalien angegeben ist.

Erdkabel mit Papier- statt Gummiisolation sind seit Jahren in Verwendung; hier hat man sich frühzeitig vom teuern Gummi abgewandt.

Ueber Erdkabel mit Zinkleitern stehen besondere Angaben nicht zur Verfügung. Es liegt kein Grund zu der Annahme vor, daß man hier Schwierigkeiten begegnen werde, vielmehr werden sich Zink-Erdkabel ordnungsgemäß zwischen Kupfer- und Eisen-Erdkabel einreihen.

Inzwischen sind Erdkabel mit Zinkleitungen in normalen Gebrauch gekommen, und zwar einphasig und mehrphasig. Schlechte Erfahrungen mit Zinkleiterkabeln liegen nicht vor.

3) Hausinstallationen. (L. 2.)

Gummiisolierte Kupferleitungen, alte und neue Normalien, sowie gummi-
bandisolierte Drähte sind noch in großer Menge auf Lager. Um die Vorräte
an solchen einstweilen zu schonen und sie für eine gewisse Zeit überhaupt zu
ersetzen, sind Eisendrähte mit Papierisolation in Fabrikation genommen worden.

Diese sogenannten MP-Drähte kommen bei Hausinstallationen für trockene
Räume in Betracht; für feuchte Räume sind MPB-Drähte bestimmt, die über der
Papierisolation noch mit Bleimantel versehen sind. Bis 2,5 qmm sind sie massiv,
darüber hinaus nur verseilt zulässig, und zwar bis 16 qmm. Die Widerstands-
erhöhung bei diesen dünnadrächtigen Querschnitten kann vernachlässigt werden
und man braucht auch nicht gleich den 7,5fachen Eisenquerschnitt zu verlegen,
da die staatlichen und städtischen Elektrizitätswerke bereits das Doppelte des
bisherigen Spannungsabfalles als zulässig erklärt haben.

Leicht zu verarbeiten ist dieser MP- und MPB-Draht gerade nicht; er stellt
besondere Anforderungen an die Geschicklichkeit des Monteurs. In einem
Merkblatt des Verbandes deutscher Elektrotechniker wird auf die richtige Be-
handlung des MP-Drahtes aufmerksam gemacht.

Ob es notwendig ist, den verzinkten Eisenleiter erst noch mit Isolierlack
zu überziehen, um eine ungünstige Einwirkung auf die Papierisolation zu ver-
meiden, wird die Praxis noch zeigen müssen; ebenso, ob es notwendig werden
wird, die Papierisolation mit Baumwolle zu überflechten. Die höchstzulässigen Strom-
stärken für diese Installationsdrähte sind in Abb. 8 und Zahlentafel 5 angegeben.

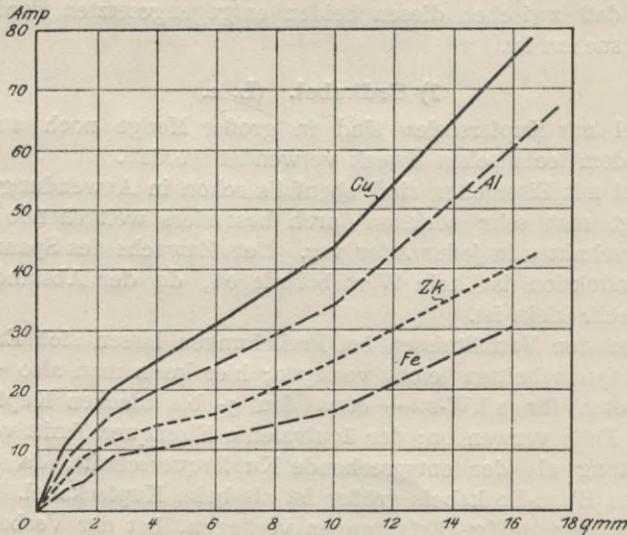


Abb. 8.
Höchste dauernd zulässige Stromstärke in Installationsdrähten.

Zahlentafel 5. Höchste dauernd zulässige Stromstärke in Amp.

Querschnitt qmm	Kupfer	Aluminium	Eisen	Zink
1	11	8	4	—
1,5	14	11	5	9
2,5	20	16	8	11
4	25	20	10	13
6	31	24	12	16
10	43	34	17	23
16	74	60	30	40

Neben Kupfer, Aluminium und Eisen ist auch Zinkleitung berücksichtigt, die man mit regeneriertem Gummi isoliert und hauptsächlich in Isolierrohr verlegt. Zink liegt bezüglich seines Leitvermögens etwa in der Mitte zwischen Aluminium und Eisen. Mit Gummi isolierte Zinkleitungen sind in neuerer Zeit mit bestem Erfolge für Innen-Installationen in Anwendung gekommen; es erwies sich jedoch als erforderlich, volle Drähte nur bis 4 qmm Querschnitt zu verwenden und den Leiter etwa von 6 qmm Querschnitt an aus dünnen Drähten zu verseilen. Es ist vorgesehen, Zink in Seilen und Kabeln bis zu 150 qmm (für 170 Amp) herzustellen. Wegen seiner geringen Festigkeit ist Zink von der Verwendung für Freileitungen ausgeschlossen, ist aber für Kabelleitungen durchaus geeignet.

4) Maschinen und Maschinenteile. (L 2.)

Die Frage, ob man Dynamos und Elektromotoren auch mit anderem Stoff als Kupfer bewickeln kann, ist vorerst eine rein akademische und von diesem Standpunkt aus zu bejahen; mindestens trifft dies für Gleichstrommaschinen zu. Wir würden damit freilich zum eisernen Kollektor, wie ihn Siemens & Halske zu Anfang im Dynamobau verwendet haben, zurückkehren. Die Ankerwicklung würde mit Zinkdraht wahrscheinlich nicht auszuführen sein, denn es ist zu vermuten, daß Zink in verhältnismäßig kurzer Zeit brüchig wird. Für die Ankerwicklung käme also Eisenlitze und für die Magnetwicklung Zinkdraht in Frage. Es ist natürlich ausgeschlossen, daß man eigens neue Modelle schaffen würde, vielmehr würde man eine bestimmte Type, z. B. den bisherigen 10 PS-Motor, daraufhin untersuchen, was er bei Eisenlitzen-Bewicklung für den Anker und Zinkdraht-Bewicklung für das Magnetfeld noch leisten kann. Genauere Berechnungen lassen noch eine Leistung von etwa 4 PS bei einer Umlaufzahl von rd. 1000 erhoffen. Ist dabei das Magnetgehäuse zweipolig, so hat man es nur mit 16 Perioden im Gleichstromanker zu tun, so daß von der Hautwirkung nicht mehr die Rede ist. Letztere allerdings käme wohl zur Wirkung für die Statorwicklung von Drehstrommotoren von 50 Perioden. Eine dünnadrätige Eisenlitze als Wickelmaterial kann auch hier zum Ziele führen. Der Kurzschlußankermotor mit Eisenstäben im Rotor würde günstige Anlaufverhältnisse zeigen; denn während der Anlaufperiode käme uns die Hautwirkung und die Vergrößerung des Widerstandes sehr zustatten, indem bei mäßigem Anlaufstrom ein großes Drehmoment entwickelt würde. Bei dieser Betrachtung kommen wir ganz von selbst auf das von Boucherot angewandte Anlaufverfahren.

Welche Leistung die jetzigen Modelle bei Eisenlitzen- oder Zinkdraht-Bewicklung noch aufweisen würden, ist natürlich auch eine Frage der Temperatur, die die Maschine annehmen wird. An Hand der bisherigen Erfahrungen an normalen Maschinen lassen sich aber die einschlägigen Verhältnisse leicht berechnen. Jedenfalls kämen wir von den in der deutschen Industrie verlangten hohen Wirkungsgraden weit ab.

Zurzeit ist zu solchen Ueberlegungen auch noch kein Anlaß vorhanden; denn der noch ganz gewaltige Vorrat an elektrischen Maschinen bei den Elektrizitätsfirmen wird noch lange ausreichen. Lediglich muß man sich dazu verstehen, die Maschine zu benutzen, wie sie eben vorrätig ist; Abänderungen, Neuherstellung von Maschinen ist eben nur möglich, wenn eine Kriegslieferung in Frage kommt. Mit einiger Annäherung kann man den Lagerbestand bei den Elektrizitätsfirmen auf 35000 Stück in den Größen von etwa 0,5 bis 100 PS schätzen. Nicht mit eingerechnet ist der große Bestand an ausgesprochenen Kleinmotoren, sowie der ebenfalls ansehnliche Bestand an großen Maschinen, die, ehemals für das feindliche Ausland bestimmt, jetzt zur Verfügung stehen.

Hierzu kommen dann noch die Vorräte bei Händlerfirmen, in Reparaturwerkstätten usw. Ferner ist naturgemäß der Zeit entsprechend das Angebot gebrauchter Maschinen sehr umfassend. Es erscheint ausgeschlossen, daß in absehbarer Zeit ein Mangel an elektrischen Maschinen vorliegen wird.

An Stelle der Bronzelagerschalen können bei der Neuherstellung jetzt zweiteilige gußeiserne Lagerschalen verwendet werden, auch Kugellager werden ihren Zweck erfüllen, wenn man sie reichlich groß wählt. Bei Zahnradvorgelegen besteht das kleine Rad, das Ritzel, aus Phosphorbronze; diese kann ohne weiteres durch Stahl ersetzt werden, oder, um das Oel zu sparen, auch durch Rohhaut. Rohhautritzel allerdings bewähren sich in heißen oder auch feuchtwarmen dämpfehaltigen Räumen nicht gerade gut und weisen ein gewisses Abschiefern oder auch ein großes Schwindmaß auf. Schon vor einigen Jahren hat man daher versucht, statt dessen Baumwolle für die Ritzel zu verwenden, und zwar mit vollem Erfolg, wie dies inzwischen durch Versuche, die sich über 2 Jahre erstrecken, nachgewiesen ist.

Was den Bau von Transformatoren anbelangt, so wendet man sich bereits einfach dem früheren Aufbau des Transformators mit Luftkühlung wieder zu, um vom Kühlöl unabhängig zu werden. Der Preis für Transformatoröl ist schon von etwa 40 *M* auf 225 *M* gestiegen.

In neuerer Zeit sind von einigen Firmen auch Transformatoren bis 250 KVA mit Zinkdrahtbewicklung ausgeführt worden.

5) Schaltvorrichtungen. (L. 2.)

Hebelschalter ohne Verwendung von Kupfer erscheinen im ersten Augenblick allerdings unmöglich; es wird sich aber fragen, ob man die kupfernen Schaltmesser nicht durch Tastbürsten aus Stahlblechen von 1 mm Stärke ersetzen kann. Die Stahlbleche werden aufeinander geschichtet und durch etwa 1 mm dicken Isolationsstoff zwischen je 2 Blechen getrennt, so daß Hysteresis und Wirbelströme keinen großen Einfluß haben und eine starke Erwärmung nicht herbeiführen können. Für Gegenkontakte müßte man nicht etwa zum weichen Zink, sondern zum härteren Eisen greifen, und wiederum müßte man die Eisenkontaktplatte mit Rücksicht auf Wirbelströme entsprechend unterteilen.

Die Oberfläche des Eisens ist natürlich gegen Rost zu schützen. Die Anschlußbolzen werden ebenfalls aus Eisen hergestellt, und die zulässige Stromstärke ist bereits im Januar dieses Jahres vom Verband deutscher Elektrotechniker festgelegt worden. Bei Gleichstrom ist die zulässige Stromstärke natürlich viel größer als bei Wechselstrom. Man kann wohl bei Wechselstrom von 50 Perioden die zugelassene Stromstärke etwas erhöhen, wenn man den Schraubbolzen so tief, wie mechanisch zulässig, schlitzt, so daß den rundlaufenden Kraftlinien der Weg abgeschnitten ist. Durch ähnliche Maßnahmen kann man auch der Erwärmung von Schraubenmüttern und Unterlagscheiben vorbeugen. Man wird bei Schraubenmüttern auf jeder ihrer sechs Flächen einen radialen Schlitz einsägen, um den sonst geordneten Weg der Kraftlinien zu stören; zu dem gleichen Zwecke kann man Unterlagscheiben an einer Stelle radial aufschneiden.

6) Meßgeräte. (L. 2.)

Für den Bau von Meßgeräten, wie z. B. Elektrizitätszählern, ist die Anwendung eines andern Stoffes als Kupfer ausgeschlossen. Für Meßgeräte dagegen, bei denen die Bewicklung bezüglich des Kostenpunktes nicht allzusehr in den Vordergrund tritt, könnte Silberdraht verwendet werden, der besonders für elektro-medizinische Apparate in Frage käme.

Durch Eisenbewicklung würde man Vorrichtungen erhalten, die an allen möglichen Krankheiten leiden (wie z. B. allzu großer Erwärmung) und die falsche Angaben machen, da das beabsichtigte Meßfeld durch Streufelder und Wirbelströme gestört werden würde.

7) Anlasser. (L. 2.)

Von den Oelanlassern mit ihren vorteilhaft kleinen äußeren Abmessungen und ihren sonstigen günstigen Eigenschaften wird man sich auf einige Zeit trennen müssen; dafür kommt der altbekannte Flüssigkeitsanlasser wieder zu größerer Bedeutung. Nach wie vor stehen aber auch die durchaus bewährten Anlasser mit Gußeisenspiralen zur Verfügung.

Die Kontaktbahnen, bislang aus Kupfer und Messing, lassen sich aus federnden Kohlenkontakten und Kohlengegenkontakten herstellen; man kehrt also zu der früheren Bauart zurück, wie sie insbesondere beim Antrieb von Hebezeugen und Buchdruckpressen üblich war.

II. Flüssige Brennstoffe.

A) Allgemeines.

Von den für Kraftzwecke bisher am häufigsten benutzten flüssigen Brennstoffen kommen in erster Linie Benzin und Petroleum in Betracht. Beide sind Destillationserzeugnisse des Erdöles, die aus einer großen Anzahl von Kohlenwasserstoffen zusammengesetzt sind und sich im wesentlichen nur durch das spezifische Gewicht und die Flüchtigkeit (Siedepunkt) unterscheiden, während die Zusammensetzung, der Heizwert, der Sauerstoffbedarf und die Verbrennungserzeugnisse wenig veränderlich sind.

Bei dem großen Bedarf an Erdöl sind wir fast ausschließlich auf das Ausland angewiesen, und da dessen Zufuhr uns jetzt während des Krieges ziemlich abgeschnitten ist, so müssen wir nach geeigneten Ersatzstoffen suchen.

Es sei hier auf die Äußerungen und Veröffentlichungen des Prinzen Heinrich von Preußen verwiesen, die darauf hinielten, Deutschland in bezug auf Brennstoffe für Kraftzwecke, besonders für den Betrieb der im Kriege so bedeutsamen Kraftfahrzeuge, vom Ausland unabhängig zu machen. Der jetzige Krieg zwingt uns, das in dieser Beziehung bisher Versäumte schleunigst nachzuholen. Die Rohstoffe sind uns von der Natur gegeben, es handelt sich nur darum, daß sich auch die Industrie, im besonderen die Feuerungstechnik, der Forderung, hier Wandel zu schaffen, anbequem (L. 3).

An der Herstellung von künstlichem Benzin (L. 3) wird in verschiedenen deutschen Fabriken gearbeitet. Die Gewinnung dieser Verbindung auf synthetischem Wege ist ebensowenig ausgeschlossen wie die des Petroleums. Petroleum kann bekanntlich nach der Englerschen Synthese durch Erhitzen von Fettsäuren unter hohem Druck hergestellt werden. Vielleicht geht die Zukunft den Weg, daß man vor allem einmal den Aufbau ölgebender Pflanzen in größtem Maße betreibt, um vegetabilische Oele zu billigem Preis erhalten zu können. Abgesehen davon, daß die vegetabilischen Oele sehr hochwertige Verbrennungsprodukte wären, könnte man auch auf dem erwähnten Wege Petroleum unmittelbar aus Kohle und Wasserstoff unter dem Einfluß von Katalysatoren synthetisch erzeugen, so gut man jetzt aus Stickstoff und Wasser unter dem Einfluß von Katalysatoren

lysatoren künstliches Ammoniak herstellt. Natürlich sind das alles Aufgaben für die Zukunft, zurzeit können Benzin und Petroleum kaum synthetisch zugänglich gemacht werden.

Als Ersatzstoffe für Benzin kommen in Betracht:

- 1) Benzol,
- 2) Spiritus,
- 3) Naphthalin, Gasöl, Teeröl.

Ueber die Wertigkeit der Benzinersatzstoffe gibt ihr spezifisches Gewicht und besonders ihre Destillations- oder Siedekurve Aufschluß.

In Abb. 9 (L. 4) sind die Erhitzungsgrade des untersuchten Brennstoffes als Ordinaten und die bei den verschiedenen Temperaturgraden sich verflüchtenden Volumteile des Brennstoffes als Abszissen aufgetragen.

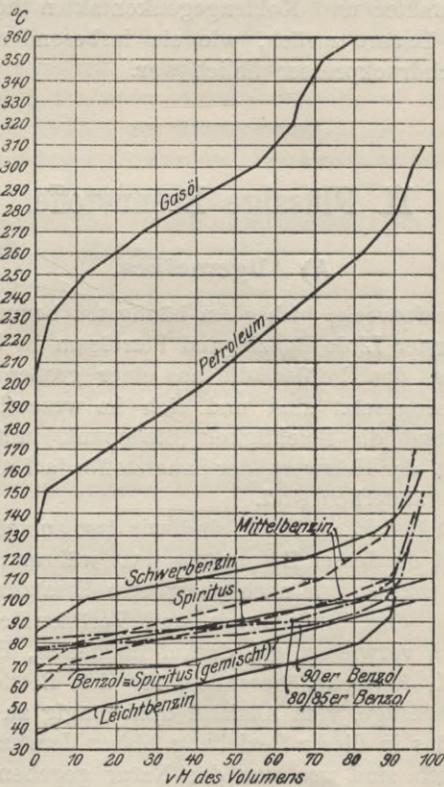


Abb. 9.

Aus dem Schaubilde ist zu ersehen, daß auch bei Brennstoffen von annähernd gleichem spezifischem Gewicht die Siedekurve recht verschieden verläuft.

Die Siedekurve ist für 10 verschiedene Brennstoffe aufgezeichnet:

Zunächst für ein Leichtbenzin von 0,680 bis 0,700, ein Mittelbenzin von 0,705 bis 0,725, ein Mittelbenzin von 0,725 bis 0,735 und ein Schwerbenzin von 0,735 bis 0,755 spez. Gew.

Der Siedepunkt liegt bei

- 37,5⁰ für Leichtbenzin,
- 57,0⁰ » Mittelbenzin,
- 67,0⁰ » »
- 86,0⁰ » Schwerbenzin.

Bei 100° sind überdestilliert:

90	Vol.-vH	bei	Leichtbenzin,
74,5	»	»	Mittelbenzin,
54,5	»	»	»
12,5	»	»	Schwerbenzin.

Das sind recht erhebliche Unterschiede, und wir sehen aus der Abbildung, daß die Siedekurven der Ersatzbrennstoffe Benzol und Spiritus innerhalb derjenigen der gebräuchlichen Benzinsorten liegen, daß also diese Brennstoffe ohne weiteres mit denselben Hilfsmitteln vergast werden können.

Wir finden zunächst die Siedekurven der gewöhnlich im Handel vorkommenden Benzolsorten, nämlich 90er Benzol vom spezifischen Gewicht 0,883 und 80/85er Benzol vom spezifischen Gewicht 0,873. Der Siedebeginn beträgt beim 90er Benzol 78°, beim 80/85er 81° C; beim ersteren destillieren bei 100° C rd. 90, beim letzteren rd. 80/85 Teile. Endlich finden wir die Siedekurve von 95 prozentigem Spiritus und von einem Benzol-Spiritus-Gemisch 1:1. Das spezifische Gewicht des Spiritus ist 0,817, das des Gemisches 0,846. Der Siedepunkt des ersteren liegt bei 78°, des letzteren bei 67° C. Bei 100° destillieren 79,0 Vol.-vH bzw. 95 Vol.-vH über.

Abb. 9 zeigt dann noch die Siedekurven für Petroleum und Gasöl, mit denen wir uns hier nicht weiter zu befassen haben.

Wir entnehmen aus den Kurven, daß der Brennstoff um so homogener ist, je flacher die Kurve verläuft, je näher also Anfangs- und Endsiedepunkt beieinander liegen. Für die Vergasung des Brennstoffes in den gebräuchlichen Vergasern ist diese Eigenschaft von hoher Wichtigkeit, weil bei sehr weit auseinander liegenden Siedepunkten die leichten Teile zuerst vergasen und die schweren zurückbleiben. Dieser Nachteil kommt selbstverständlich beim Oberflächenvergaser am meisten zur Geltung, beim Spritzvergaser weniger und bei der Brennstoffpumpe am wenigsten.

Will man also die schweren flüchtigen Ersatzbrennstoffe ebenso restlos vergasen und verbrennen wie die leichteren, so ist auf diese Eigentümlichkeiten Rücksicht zu nehmen.

Brennstoffe mit hohen Siedepunkten erfordern eine stärkere Vorwärmung der Mischluft als solche mit niedrigen Siedepunkten. Es ergibt sich daraus die Notwendigkeit, für Benzol und Spiritus sehr stark angewärmte Verbrennungsluft und wohl auch einen stark gewärmten Vergaser zu verwenden; andernfalls scheidet sich der schwere Brennstoff auf dem Wege vom Vergaser zum Motorzylinder wieder als Flüssigkeit aus der Luft aus, und der Motor ist nicht in Gang zu bringen. Noch schlimmer ist es beim Gas- und Teeröl mit den sehr hoch liegenden Siedepunkten. Bei diesen Brennstoffen muß statt des Spritzvergasers eine Brennstoffpumpe zu Hilfe genommen und das Oel mittels Preßluft dem Zylinder in sehr fein verteiltem Zustande zugeführt werden.

Wenn wir nun auch aus den Siedekurven ersehen, daß das spezifische Gewicht des Brennstoffes nicht maßgebend für seine Vergasungsfähigkeit ist, so muß doch auch dem spezifischen Gewicht insofern Rechnung getragen werden, als beim Spritzvergaser mit einem gewissen Flüssigkeitspiegel im Schwimmergehäuse gerechnet werden muß. Dieser Flüssigkeitspiegel wird durch den Schwimmer hergestellt, der bei Verwendung von spezifisch schwererem Brennstoff mehr oder weniger belastet werden muß, um den Spiegel auf der bestimmten Höhe zu halten.

Allerdings sind nicht alle Motoren gleich empfindlich für die genaue Einhaltung dieses Flüssigkeitspiegels, und es hat sich herausgestellt, daß bei den rasch laufenden Verbrennungsmotoren, wie z. B. den Automotoren, die mit hohem Unterdruck im Ansaugerohr arbeiten, beim Uebergang von Benzin auf Benzol oder Spiritus das Schwimmgewicht kaum geregelt zu werden braucht, während das bei den langsam laufenden ortfesten Motoren geschehen muß.

Von ganz wesentlicher Bedeutung beim Wechsel des Brennstoffes ist aber dessen Gehalt an Wärmeeinheiten. Will man keine Beeinträchtigung der Leistung des Motors haben, so ist bei einem Brennstoff mit geringerem Wärmeinhalt die Zufuhr etwas reichlicher zu gestalten, d. h. beim Spritzvergaser die Weite der Benzindüse zu vergrößern. Es enthält:

Benzin . . .	rd. 10000 kcal
Benzol . . .	» 9600 bis 10000 kcal
Spiritus . . .	» 6000 » 7000 »

Die Erfahrung hat nun gelehrt, daß der Düsenquerschnitt proportional dem Wärmeinhalt der zur Verwendung gelangenden Brennstoffe gemacht werden muß. Selbstverständlich muß dann unter Umständen auch die Luftdüse etwas verändert werden, wenn der Motor bei allen vorkommenden Belastungen einwandfrei arbeiten soll.

Ein weiteres Augenmerk ist auf die inneren Verhältnisse der Maschine zu richten. Wie allgemein bekannt ist, arbeiten die Explosionsmotoren mit einem Kompressionsraum, der beim Benzinmotor $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{4,5}$ des Zylinderinhaltes beträgt. Bei Benzol und Spiritus kann dieser Raum mit Vorteil für die Leistung des Motors kleiner gemacht werden, und zwar bis $\frac{1}{6,5}$ und $\frac{1}{7}$, ohne daß das gefürchtete Klopfen des Motors bei Volleistung eintritt. Handelt es sich aber nur um eine vorübergehende Benutzung des Ersatzbrennstoffes, so kann man auch das bisherige Kompressionsverhältnis des Benzins ohne Schaden bestehen lassen.

B) Der Ersatz von Benzin für Kraftzwecke.

1) Benzol.

Benzol ist ein Erzeugnis der Steinkohlenteer-Destillation, also ein Inland-erzeugnis. Je mehr Koks hergestellt werden, um so mehr Benzol bekommen wir. Im Jahre 1911 (L. 4) hat Deutschland rd. 70 000 t Benzol hergestellt, das zum größten Teil für Kraftzwecke und für die chemische Industrie im Inland verbraucht, zum Teil auch ausgeführt wurde, insbesondere nach Frankreich. Die jährliche Erzeugung an Benzol beträgt also nur den dritten Teil des Verbrauches an Benzin, und wir müssen sie daher ganz erheblich steigern, wenn wir den Ausfall an Benzin dadurch ersetzen wollen.

Dieser Steigerung ist aber durch den möglichen Verbrauch an Koks eine Grenze gesetzt. Die Einschränkung der industriellen Betriebe durch den Krieg, die Unmöglichkeit, die bisher für Steinkohlen oder sonstigen Brennstoff eingerichteten Feuerungen ohne weiteres in solche mit Koksfeuerung umzuwandeln, lassen eine Steigerung des Koksverbrauches zugunsten einer Erhöhung der Benzolerzeugung unter den gegenwärtigen Verhältnissen nicht erwarten, wenigstens nicht ohne Aufwendung bedeutender Geldopfer für die Landesverteidigung.

Benzol (L. 5) hat ein spezifisches Gewicht von 0,88 und einen theoretischen Luftbedarf von 10,2 cbm/kg, d. h. zur Verbrennung von 1 ltr Benzol sind 8,96 cbm

Luft erforderlich, also fast genau dieselbe Menge wie bei Benzin. Da nun aber Benzol ein etwas höheres spezifisches Gewicht hat als Benzin (rd. 0,72), so wird es bei ungeändertem Schwimmer im Vergaser etwas niedriger stehen als Benzin, und bei derselben Saugkraft der an der Düse vorbeistreichenden Luft wird infolge des höheren spezifischen Gewichtes etwas weniger Benzol mitgerissen: das Gemisch wird also etwas mehr Luftüberschuß aufweisen als bei Benzin. Dieser etwas größere Luftüberschuß, der sich von selbst ergibt, schadet aber nicht im geringsten, denn erstens ist er so klein, daß er kaum merkbar sein dürfte, und zweitens müssen alle Verbrennungskraftmaschinen, besonders aber bei Benzolbetrieb, mit Luftüberschuß arbeiten, damit eine vollkommene, d. h. rußfreie Verbrennung stattfindet.

Hieraus erkennt man, daß bei Verwendung eines guten Vergasers, der ein gleichmäßiges Gemisch von Benzoldampf und Luft herstellt, aus theoretischen Gründen keine Abänderung bezüglich der Düsen und des Schwimmers erforderlich ist. Tatsächlich fand Professor Bonte, Karlsruhe, (L. 5) bei seinen ersten Versuchen mit Benzol, als er auf Anraten des Automobilhändlers eine engere Düse für Benzol eingesetzt hatte, daß der Motor »patschte«, ein Zeichen dafür, daß das Gemisch zu wenig Brennstoff enthielt und infolgedessen so langsam verbrannte, daß sich das neue Gemisch beim Ansaugen an dem noch fortbrennenden alten entzündete und die Explosion daher zum Ansaugerohr hinaus-schlug. Nachdem die ursprüngliche Düse wieder eingesetzt war, versuchte er die empfohlene stärkere Vorwärmung der Ansaugeluft. Der Betrieb an und für sich war gut, es zeigte sich aber ein bedeutend höherer Brennstoffverbrauch. Um diesen genau messen zu können, wurde an dem Versuchsauto ein besonderer kleiner Brennstoffbehälter angebracht, der nach jedem Versuch vollständig entleert werden kann.

Die Versuche wurden auf einer wagerechten Strecke von 3000 m Länge vorgenommen, und zwar wurde die Strecke zum Ausgleich des Windeinflusses jedesmal hin und zurück mit derselben Geschwindigkeit (36 km/st) durchfahren. Um eine genauere Kenntnis des Einflusses der Vorwärmung zu erhalten, wurden drei Versuchsgruppen ausgeführt, deren Ergebnisse hier aber nur im Auszug mitgeteilt werden können.

Bei der ersten Versuchsgruppe wurde der Laufmantel um das Auspuffrohr genau so gelassen, wie er von der Fabrik geliefert war (mittlere Vorwärmung); bei der zweiten Versuchsgruppe wurde noch ein bedeutend vergrößerter Vorwärmmantel um das Auspuffrohr angebracht und die Zuströmöffnung für die kalte Luft am Vergaser durch einen Schieber geschlossen (verstärkte Vorwärmung). Bei der dritten Versuchsreihe wurde der Vorwärmmantel entfernt, so daß mit kalter Luft gearbeitet wurde (ohne Vorwärmung).

Von den gefundenen Verbrauchszahlen seien folgende angeführt:

	Benzolverbrauch		
	ccm/km	g/km	mit 1 kg fährt der Wagen: km
1) mittlere Vorwärmung, wie von Benz geliefert	88	77	12,9
2) verstärkte Vorwärmung	117	103	9,7
3) ohne Vorwärmung	99	87	11,5

Diese Versuchszahlen beweisen, eine wie ungünstige Wirkung die Verstärkung der Luftvorwärmung hervorgebracht hat. Der Grund hierfür wird ohne weiteres durch folgende Betrachtung klar:

Durch die starke Vorwärmung dehnt sich die Luft aus und enthält daher in 1 cbm dem Gewichte nach weniger Sauerstoff. Da nun aber die Menge des mitgerissenen Benzols für 1 cbm annähernd unverändert bleibt, so findet das Benzol nicht mehr die erforderliche Menge Sauerstoff zur günstigsten Verbrennung, und der Erfolg ist, daß es nicht mehr so gut wie vorher ausgenutzt wird; mit andern Worten: der Verbrauch steigt ganz bedeutend, im obigen Beispiel um 33 vH. Eine Erklärung für die Tatsache, daß auch bei zu kalter Ansaugeluft der Verbrauch steigt, kann darin gefunden werden, daß dann das Benzol nicht genügend schnell vergast, sondern in Form von Tröpfchen in den Zylinder gelangt und hier infolge ungenügender Mischung mit Luft nur unvollkommen verbrennt. Diese Erscheinungen treten übrigens nicht nur bei Benzol auf, sondern, wie Professor Bonte (L. 5) durch entsprechende Versuche festgestellt hat, in ganz gleicher Weise auch bei Benzin, das also auch in dieser Beziehung dem Benzol nicht überlegen ist.

Das günstigste Ergebnis, das bei diesen Versuchen mit Benzol und mittlerer Vorwärmung überhaupt erzielt wurde, war ein Verbrauch von nur 7,2 kg auf 100 km, d. h. der Wagen lief mit 1 kg Benzol 13,9 km, brauchte also für 1 km nur für 2 $\frac{1}{2}$ Brennstoff.

Bezüglich der mit dem Wagen (Benz & Co. 8/20 PS) erreichbaren Höchstgeschwindigkeiten ergab sich nur ein sehr geringer Unterschied zwischen Benzin- und Benzolbetrieb, und zwar als Mittelwert aus Hin- und Rückfahrt bei Benzin 68 km/st und bei Benzol 66,5 km/st. Wenn auch in dieser Beziehung Benzol etwas hinter Benzin zurückbleibt, so ist dieser Umstand doch belanglos, denn der verständige Automobilist wird mit einem verhältnismäßig kleinen Wagen doch nie solche Geschwindigkeiten fahren.

Um Vergleiche über die Zugkraft des Wagens beim Betrieb mit Benzol und Benzin zu gewinnen, wurde in folgender Weise vorgegangen:

Auf einer möglichst gleichmäßig geneigten Bergstrecke wurde der Wagen mit dem dritten Gang an einem bestimmten Punkte des Weges auf 30 km/st Geschwindigkeit gebracht und dann auf den vierten Gang umgeschaltet. Der Wagen verlangsamte sich, und es wurde der Punkt des Weges bestimmt, an dem der Wagen nur noch 10 km/st Geschwindigkeit hatte. Beim Vergleich des Betriebes mit Benzin und Benzol zeigte sich nun trotz vielfach wiederholter Versuche kein deutlicher Unterschied, es sei denn, daß man eine kleine Mehrleistung bei Benzol feststellen konnte.

Eine gefürchtete Erscheinung beim Automobilbetrieb ist das Verrußen der Zylinder, das sowohl bei Benzin als auch bei Benzol eintreten kann, vielleicht bei Benzol noch etwas leichter als bei Benzin, denn Benzol enthält 91 vH Kohlenstoff gegen 85 vH bei Benzin. Dieser Unterschied ist an und für sich schon gering und spielt vollends keine Rolle, wenn das Gemisch richtig zusammengesetzt ist. Das Benzol-Luft-Gemisch wie auch das Benzin-Luft-Gemisch verbrennt vollständig rußfrei, wenn nur die Luft im üblichen Ueberschuß vorhanden ist und der Vergaser ein gleichmäßiges Gemisch herstellt. Wenn aber durch ungeeignete Maßnahmen, z. B. zu starke Vorwärmung der Ansaugeluft, die für 1 Hub angesaugte Sauerstoffmenge vermindert wird, so kann weder bei Benzin noch bei Benzol Rußbildung ausbleiben. Bei richtig eingeregelter Vergaser dagegen hat sich bei diesen Versuchen mit Benzol, die sich bis jetzt auf rd. 10000 km erstrecken, noch keinerlei schädliche Rußbildung gezeigt. Um einer solchen beizeiten vorbeugen zu können, wurden die Ventile des Motors mehrfach herausgenommen, aber immer mit dem Ergebnis, daß keine Rußablagerungen in dem sichtbar gewordenen Zylinderteil zu sehen waren.

Da man dem Benzol vorgeworfen hat, daß es das Ankurbeln des Motors erschwere, so wurden auch darüber regelmäßige Versuche angestellt. Der Gashebel wurde stets auf dieselbe Stelle gestellt, und die Versuche wurden morgens bei ganz kaltem Kühler vorgenommen. Es wurden jeweils die Wassertemperatur des Kühlers und die Anzahl der Umdrehungen vermerkt, die nötig waren, bis Zündung eintrat und der Motor von selbst weiterlief. Der ungünstigste Versuch bei nur $6,5^{\circ}\text{C}$ Kühler Temperatur ergab 9 Umdrehungen an der Handkurbel, während bei Kühler Temperaturen von über 10° etwa 6 Umdrehungen genügten.

Wenn der Motor noch betriebswarm ist, kann äußerst leicht angekurbelt werden; es genügt stets, die wagerecht gestellte Handkurbel ein einziges Mal kräftig nach oben zu ziehen, also nur eine Viertelumdrehung.

Zum Vergleich wurden entsprechende Versuche mit Benzin angestellt, und es hat sich dabei unter genau denselben Bedingungen gezeigt, daß das Ankurbeln schwieriger ist als bei Benzol; z. B. waren bei einer Kühler Temperatur von 10°C 12 Umdrehungen der Handkurbel nötig. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Erfahrungen anderer; insbesondere ist bekannt, daß die Einfahrer einer großen Automobilfabrik immer ein Fläschchen Benzol bei sich führen, um die Probewagen, die mit Benzin eingefahren werden, leicht ankurbeln zu können.

Wenn aus dem Vorstehenden hervorgeht, daß Benzol ein für den Automobilbetrieb sehr geeigneter Brennstoff ist, dessen Anwendung bei gutem Willen keine Schwierigkeiten bereitet und sehr viel erspart, so sei doch auf eine Eigenschaft desselben hingewiesen, die beachtet werden muß, wenn man voll zufrieden sein will.

Es zeigt sich nämlich, daß die Leistung des Wagens nicht die Höchstgrenze erreicht, solange der Kühler noch kalt ist. Man kann wohl sagen, je wärmer der Kühler, desto angenehmer der Betrieb und desto höher die Leistung des Motors. Im praktischen Automobilbetriebe kommt diese Eigenschaft des Benzols zur Geltung, wenn man morgens bei kaltem Kühler eine Fahrt antritt. Während der ersten 500 bis 1000 Meter leistet der Motor nur wenig, und man kann nicht mit voller Geschwindigkeit fahren. In Wirklichkeit ist dieser Umstand belanglos, denn die meisten Automobile werden doch erst eine langsam zu befahrende Stadtstrecke zurücklegen müssen; wenn aber dennoch diese Eigenschaft des Benzols irgend jemanden stören sollte, so möge er den Motor vor der Ausfahrt rd. 3 Minuten lang leer laufen lassen, bis das Kühlwasser 40° hat. Die Höchstleistung des Motors ist allerdings auch bei dieser Temperatur noch nicht zu erreichen, sondern beginnt erst, wenn das Kühlwasser 70 bis 80° Temperatur überschritten hat; am angenehmsten wird der Betrieb bei einer Temperatur über 90° . Bezüglich des Benzinbetriebes ist noch zu bemerken, daß die Motoren mit diesem Brennstoff bei Vollast leicht klopfen, besonders wenn das verwendete Benzin eine schlechte Siedekurve hat, wie z. B. das sogenannte rote Benzin, und wenn die Zylinder Oelkrusten enthalten.

Bei dem Versuchswagen waren die Lager nicht mehr ganz in Ordnung, und daher hörte man das Laufen des Motors ganz deutlich, sobald man mit Benzin arbeitete; wenn man aber während der Fahrt von Benzin auf Benzol umstellte, so verschwand das Ticken des Motors vollständig, und er lief so leise wie eine Taschenuhr.

Der Vorschlag, beim Uebergang von Benzin auf Benzol keine Veränderungen am Motor vorzunehmen, bezieht sich nur auf solche Motoren, deren Vergaser auch schon für Benzin auf einen richtigen und sparsamen Betrieb eingeregelt sind, wie bei den genannten Benzwagen mit Zenitvergaser.

Aus diesen umfangreichen und wertvollen Versuchen des Professors Bonte geht hervor, daß Benzol als ein vollwertiger Ersatz für Benzin zu betrachten ist.

2) Spiritus.

Als nächster Ersatzstoff für Benzin kommt Spiritus in Betracht (L. 4). Auf die Wichtigkeit dieses Brennstoffes als Ersatz für Benzin hat schon vor mehreren Jahren unser Kaiser hingewiesen und Spiritus für den Betrieb seiner Automobile vorgeschrieben. Auf diese Anregung des Kaisers sind eine große Anzahl Spiritusmotoren entstanden, die lange gearbeitet haben und später zum größten Teil nur deshalb für andere Brennstoffe umgeändert worden sind, weil Spiritus zu teuer wurde. Heute tritt jedoch die bittere Notwendigkeit an uns heran, Spiritus trotz gewisser Unbequemlichkeiten für Kraftzwecke verwenden zu müssen.

Der Rohstoff für Spiritus ist vegetabilischen Ursprunges, der hauptsächlich die Kartoffel. Doch läßt sich zur Herstellung von Spiritus jeder andere vegetabilische Stoff verwenden, in welchem Stärke oder ein Zuckerstoff enthalten ist. Hiernach wäre die Spirituserzeugung vom Ausland unabhängig. Leider ist der hauptsächlichste Rohstoff für den Spiritus, die Kartoffel, heute noch ein viel gesuchteres Nahrungsmittel geworden als bisher, und so sind wir auch in bezug auf den Brennstoff Spiritus etwas knapp gehalten. Immerhin bleibt der deutschen Industrie der Weg offen, die Herstellung von Spiritus aus anderen vegetabilischen Stoffen (z. B. Holz) zu steigern, und der gegenwärtige Krieg wird auch hierin den Weg weisen, um uns bezüglich der Benzinersatzmittel vom Ausland unabhängig zu machen.

So werden in Schweden bereits 25 Mill. ltr Spiritus in 100prozentiger Form aus den Abwässern der Zellstoffabriken gewonnen (L. 6). Dieser Spiritus kostet trotz der staatlichen Steuer von 7 bis 8 Kronen nur 25 Oere/ltr und wird in Hamburg mit 25 Pfennig/ltr angeboten. Die dabei entstehenden Nebenerzeugnisse sind als Staubbindemittel für die Straßenreinigung gut zu verwenden.

Deutschland stellt jährlich etwa 550000 t Zellstoff her, auf je 1 t entfallen 10 cbm Abwässer, von denen jeder 60 ltr 100prozentigen Spiritus ergibt. Wir können also allein aus diesen Abwässern 330 Mill. ltr Spiritus in 100prozentiger Form gewinnen.

Der Grund für die bisherige Nichtausnutzung dieser Abwässer liegt in unseren Steuerverhältnissen. In Deutschland kostet 1 hl unvergällter Spiritus 37 *M* und vergällter (denaturierter) 19 *M* Steuer. Der aus den Abwässern hergestellte Spiritus kostet ohne Nutzzuschlag (Löhne, Verzinsung und Tilgung der Anlage) rd. 10 *M*/hl, also einschließlich Steuerzuschlag 29 *M*/hl, ein Preis, der für Friedenszeiten zu hoch ist. Für die Zellstoffabriken lag also bei diesem hohen Steuersatz kein Grund vor, große Geldmittel für die Anlagen für Abwässerverwertung auszugeben. Sobald jedoch Spiritus für die Automobilindustrie und für andere Motoren freigegeben oder mit einer sehr geringen Steuer belegt wird, werden sich diese Anlagen für die Zukunft wohl lohnen.

In betriebstechnischer Beziehung ist für den Spiritus, als Ersatz für Benzin, folgendes zu bemerken (L. 6):

Spiritus kann in einem normalen Benzinmotor höher ausgenutzt werden als Benzin. Benzin gestattet eine Ausnutzung von ungefähr 19 bis 20 vH des Wärmegehaltes, während der Spiritus oder auch das Benzol-Spiritus-Gemisch eine Ausnutzung von 25 vH ohne weiteres zuläßt. Das ist ein Unterschied von rd. 20 vH, den wir beim Vergleich dem Wärmewert des Spiritus zugute schreiben müssen.

Spiritus enthält 6000 bis 7000 kcal; bei 100 prozentiger Ware können wir im Mittel mit 6500 kcal rechnen. Setzen wir zur Vergällung und zur Vermeidung des Anrostens und anderer Unannehmlichkeiten 20 vH Benzol zu, so ergibt das einen Wärmegehalt von $\frac{4 \cdot 6500 + 10000}{5} = 7200$ kcal für das Gemisch.

Schreiben wir diesem Gemisch die um 20 vH höhere Ausnutzung zugute, so kommen wir zu einem für uns recht beträchtlichen Wärmewert von rd. 8600 kcal. Wir hätten also gegenüber Benzin dem Motor nur ungefähr 15 vH Gemisch mehr zuzuführen, um auf dasselbe Ergebnis zu kommen.

Die bei Spiritus zulässigen höheren Kompressionen und seine leichtere Verbrennung gestatten uns, ein viel günstigeres Diagramm zu erhalten als bei Benzin. Wenn wir noch weiter gehen und den Spiritus mit etwas Wasser versetzen, werden wir ein Diagramm bekommen, das dem der Dampfmaschine ähnlich ist, und haben dann ein viel weiches Arbeiten als mit Benzin und Benzol.

Das beim Spiritusmotor, besonders beim Stillstand, häufig beobachtete Anrosten der Kolben und Ventile scheint mit dem Wassergehalt des Spiritus nichts zu tun zu haben, sondern eine Folge der bei nicht vollkommener Verbrennung des Spiritus entstehenden Essigsäure zu sein. Die Essigsäure ist eine Vorstufe der Verbrennung zur Kohlensäure; sobald Spiritus unvollkommen verbrennt, bildet sich Essigsäure, die zu Anrostungen im Motor führen kann. Bei Luftüberschuß dagegen tritt vollkommene Verbrennung zu Kohlensäure ein, und die Bildung der den Rost verursachenden Essigsäure wird verhindert. Sie wird schon zum Teil durch einen Zusatz von Benzol verdampft und weiter durch einen Zusatz von Wasser verdünnt. Durch kurzes Arbeiten mit Benzol allein läßt sich die Essigsäure und damit das Anrosten ganz beseitigen.

Der dem Spiritusmotor bisweilen anhaftende Nachteil, bei kaltem Wetter nicht anzulaufen, läßt sich durch Zerstäuben des Brennstoffes beseitigen (L. 7). Es kommt für die Verbrennung darauf an, den Brennstoff in lauter kleine Teile aufzulösen — zu zerstäuben —, die je in eine Lufthülle eingebettet sind, so daß jedes Molekül mit Sauerstoff in Berührung steht. Die bei Automobilmotoren dadurch entstehenden konstruktiven Schwierigkeiten lassen sich wohl beseitigen.

Als Mischungen für den Automobilbetrieb werden neuerdings vorge schlagen¹⁾:

1) Benzol-Spiritus.

- a) 70 Teile Spiritus (95 vH vergällt), 30 Teile Benzol. Man gießt das Benzol langsam in den Spiritus unter Umschütteln, nicht umgekehrt.
- b) 50 Teile Spiritus (90 vH vergällt), 20 Teile technisches Azeton, 30 Teile Benzol. Man mischt erst Spiritus und Azeton und fügt allmählich Benzol hinzu.

2) Benzin-Spiritus.

- a) 70 Teile Spiritus (95 vH vergällt), 30 Teile Benzin. Man gießt das Benzin in den Spiritus.
- b) 50 Teile Spiritus (90 vH vergällt), 20 Teile technisches Azeton, 30 Teile Benzin. Man mischt erst Spiritus und Azeton und fügt dann Benzin hinzu.

3) Spiritus-Aether.

- a) 90 Teile Spiritus (95 vH vergällt), 10 Teile Schwefeläther.
- b) 90 Teile Spiritus (95 vH vergällt), 10 Teile Schwefeläther, 1 Teil Naphthalin. Das Naphthalin löst sich in der Mischung beim Umschütteln.

¹⁾ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1915 S. 731.

4) Azeton-Spiritus.

- a) 70 Teile Spiritus (95 vH vergällt), 30 Teile technisches Azeton.
- b) 50 Teile Spiritus (90 vH vergällt), 50 Teile technisches Azeton.

5) Petroleummischung.

Petroleum und Benzin im Verhältnis 2:1 oder 3 Teile Petroleum, 1 Teil Azeton, oder 90 Teile Petroleum, 10 Teile Aether, hierin 1 Teil Naphthalin gelöst.

Ferner kommen nach Prof. Dr. Hempel¹⁾ in Betracht:

- 1) 4 Teile 95 vH-Spiritus mit 1 Teil 90 vH-Benzol gemischt; in 1 ltr Benzol 200 g Naphthalin gelöst.
- 2) 4 Teile 95 vH-Spiritus mit 1 Teil Rohbenzol; in 1 ltr Rohbenzol 200 g Naphthalin gelöst.
- 3) 4 Teile 95 vH-Spiritus mit 1 Teil rohes Leichtöl, wie es bei der Destillation des Roh-Steinkohlenteers bei seiner Trennung in Leichtöl, Mittelöl und Schweröl erhalten wird; in 1 ltr Leichtöl 200 g Naphthalin gelöst.

3) Naphthalin, Gasöl und Teeröl (L. 4).

Als weitere Ersatzstoffe für Benzin kommen Naphthalin, Gasöl und Teeröl in Betracht. Sie können ohne weiteres in Benzinmotoren nicht verwendet werden, da sie eine ziemlich umfassende Aenderung der Benzinvergaser bedingen.

Naphthalin ist ein Erzeugnis der Steinkohlenteer-Destillation, das bei gewöhnlicher Temperatur feste Form hat, also bei der Verwendung in Benzinmotoren vorher geschmolzen werden muß. Hierzu sind besondere Einrichtungen nötig, die aber keineswegs schwierig anzubringen sind und im wesentlichen aus einem Schmelztopf bestehen, für den die nötige Wärme durch das Kühlwasser des Motors oder aber durch die Auspuffgase geliefert wird. Benzin oder Benzol ist hierbei als Anlaßbrennstoff für den Motor nötig, weil sonst die Gefahr besteht, daß das durch äußere Wärme flüssig gemachte Naphthalin auf dem Wege zum Vergaser bei kaltem Motor erstarrt. Ebenso muß vor dem Stillstellen des Motors das im Vergaser befindliche Naphthalin durch Zutritt von Benzin oder Benzol nach und nach ersetzt werden, so daß bei völligem Stillstand des Motors der Zutritt des Naphthalins völlig abgesperrt ist und die Vergaserräume mit Benzin oder Benzol angefüllt sind. Hieraus ergibt sich ohne weiteres, daß Naphthalin für Kraftfahrzeuge nicht verwendet werden kann, dagegen für industrielle und landwirtschaftliche Motoren Bedeutung hat.

An Naphthalin werden jährlich etwa 50000 t erzeugt.

Gasöl ist zwar der Hauptsache nach ein Bestandteil des Erdöles, doch wird es auch als Destillat des Braunkohlenteers gewonnen und heißt im allgemeinen Paraffinöl. Infolge seines hohen spezifischen Gewichtes (0,905 bis 0,920) und seiner schweren Verdampfbarkeit kann Gasöl nicht mehr in den gebräuchlichen Benzinvergasern vergast werden, sondern bedarf besonderer Einrichtungen in Form einer Brennstoffpumpe, um in feiner Zerstäubung mit der Verbrennungsluft gemischt und entzündet zu werden.

Die gleichen Verhältnisse bestehen für die Verwendung des Teeröles, das ein spezifisches Gewicht von 1,0 bis 1,1 hat und nur unter Verwendung einer Brennstoffpumpe in feiner Zerstäubung mit der Luft gemischt werden kann.

¹⁾ Zeitschrift für angewandte Chemie 1915 Nr. 72/73.

Wenn auch die beiden letztgenannten Brennstoffe, Gasöl und Teeröl, heute als unmittelbare Ersatzmittel für Benzin nicht in Betracht kommen, so ist es doch auf Grund der im Gange befindlichen Bestrebungen nicht ausgeschlossen, daß die weitere Vervollkommnung der Explosionsmotoren auch hierin Wandel schafft.

C) Der Ersatz von Petroleum für Leuchtzwecke (L. 8).

In Deutschland wird jährlich etwas über 1 Mill. t Petroleum verbraucht, das sind rd. 15 kg auf den Kopf der Bevölkerung. 75 vH des ganzen Verbrauches beziehen wir aus Amerika, 15 vH aus Oesterreich und je 5 vH aus Rumänien und Rußland.

Da Petroleum als unbedingtes Banngut gilt, ist uns die Zufuhr aus Amerika abgeschnitten; die geringen Mengen, die wir jetzt aus Oesterreich und Rumänien erhalten, sind nicht von Bedeutung. Wir sind also gezwungen, mit Petroleum aufs äußerste zu sparen, oder Ersatzstoffe für die Beleuchtungsindustrie zu schaffen.

Der Petroleumverbrauch für Leuchtzwecke hat in den letzten Jahren schon erheblich abgenommen und läßt sich durch besondere Sparmaßnahmen, z. B. durch Niederschrauben der Lampen oder Beschneiden der Dochte, noch weiter einschränken. So sind z. B. die badischen und später viele andere deutsche Bahnen dazu übergegangen, bei den vielen Laternen an den Zügen, bei den Lampen der Weichen und Bahnhöfe, die Hälfte des Doctes oben wegzuschneiden. Dadurch wird allerdings die Leuchtstärke auf die Hälfte gegen früher vermindert, was aber noch ausreichend ist, und der Petroleumverbrauch sinkt ebenfalls auf die Hälfte. Das Beschneiden der Dochte dürfte sich also für den Hausgebrauch auch empfehlen.

Als Ersatz von Petroleum kommen für Leuchtzwecke in Betracht:

- 1) Gas und Elektrizität,
- 2) Spiritus,
- 3) Azetylen,
- 4) Benzol,
- 5) Lichtpatronen.

1) Gas und Elektrizität.

Gas und Elektrizität stehen an größeren Orten fast immer zur Verfügung. Wegen der bei der Leuchtgasherstellung entstehenden wertvollen Nebenerzeugnisse sollte man nach Möglichkeit die Gasbeleuchtung vorziehen und damit die Gewinnung der Nebenprodukte fördern. Die Anschlüsse an die Elektrizitätswerke und an die Gaswerke haben sich im letzten Jahre außerordentlich vermehrt, und das wäre wohl in noch höherem Maße geschehen, wenn nicht die Beschlagnahme von Kupfer der Ausdehnung des Leitungsnetzes einige Hindernisse bereitet hätte.

In einigen Hüttenwerken¹⁾ mit weit verzweigten Gleisanlagen ist z. B. an Stelle der Petroleumbeleuchtung von Signal- und Weichenlaternen die Gasbeleuchtung eingeführt; als Gas wird Koksofengas der eigenen Zechen verwendet. Ferner wurde die offene Handlampe in den Eisen- und Stahlgießereien durch die elektrische Handlampe ohne Kabel verdrängt.

¹⁾ Vergl. Verein deutscher Eisenhüttenleute: Technische Berichte über Ersetzbarkeit von Sparmetallen.

2) Spiritus.

Spiritusbeleuchtung wird im Hausgebrauch bisweilen verwendet. Bei den geringen und immer teurer werdenden Mengen Spiritus, die uns zurzeit zur Verfügung stehen, ist aber von Spirituslampen für den Hausbedarf abzuraten. Dagegen wird sich Spiritus als Ersatz für Benzin bei den Grubenlampen einführen. So haben einige Bergbaubehörden Versuche mit einer Mischung von 75 vH Spiritus und 25 vH Benzol gemacht, die so gute Ergebnisse hatten, daß das Benzin in den Grubenlampen durch diese neue Mischung entbehrlich wird. Zur Streckung noch vorhandener Benzinvorräte hat sich eine Mischung von 50 vH Spiritus, 20 vH Benzol und 30 vH Benzin besonders brauchbar erwiesen.

3) Azetylen.

Azetylen wird in ortfesten Anlagen und Handlampen (z. B. für Montagezwecke) schon lange mit gutem Erfolge für Leuchtzwecke verwendet; auch in den Grubenlampen Skandinaviens ist es zum Teil im Gebrauch. Neuerdings hat man dieses Gas auch als Kraftstoff für den Explosionsmotor vorgeschlagen; Versuche darüber scheinen aber noch nicht vorzuliegen. Wir erzeugen Azetylen auf bekannte Weise aus Kalziumkarbid, das jetzt etwa 120 *M/t* kostet.

4) Benzol.

Leuchtbenzol läßt sich bei einiger Vorsicht auch in Petroleumglühlampen verwenden, es ist nur eine geringe Aenderung des Brenners erforderlich. Das Leuchtbenzol ist allerdings erheblich feuergefährlicher als Petroleum.

5) Lichtpatronen.

Als Ersatzbeleuchtung in Eisenbahnwagen werden in großem Umfange Lichtpatronen benutzt. Sie bestehen aus kleinen Blechkapseln, die mit einem Gemisch von Paraffin, Stearin und Wachs gefüllt sind, aus dem ein kleiner Docht hervorragt. Die Brenndauer beträgt etwa 6 Stunden, bei einer Lichtstärke von 2 NK, und die Brennstunde kostet rd. 2 Pf., ist also sechsmal teurer als die Brennstunde einer Petroleumlampe mit gleicher Kerzenstärke.

III. Schmieröle.¹⁾

Der größte Teil der in der Industrie verbrauchten Schmierstoffe wurde bisher aus dem Auslande bezogen. So steht einer jährlichen Einfuhr (L. 9) von 300000 t im Werte von etwa 40 Millionen Mark eine eigene Erzeugung von nur 50000 t gegenüber, die sich nur auf 2 Stellen, Lüneburger Heide und Elsaß, verteilt. Nach den in diesen Mineralölgebieten neuerdings angestellten Bohrversuchen läßt sich die Oelgewinnung zunächst um weitere 10 bis 12000 t jährlich steigern. Nach Schätzung von Prof. Eitner (L. 10) könnten wir wohl mit der Hälfte des jetzt verbrauchten Schmieröles auskommen. Nachdem die Einfuhr von Mineralöl fast vollständig gesperrt ist, wird die Industrie gezwungen, alles anzubieten, um an Schmiermitteln zu sparen. Da Schmieröl kein

¹⁾ Vergl. Reichelt, Dingl. Polytechn. Journal 1915 S. 303. — K. Schmidt, Zeitschrift des Bayerischen Revisions-Vereins 1915 S. 109, 115, 126, 131, 139, 150, 160, 166. — Verein deutscher Eisenhüttenleute: Technische Berichte über Ersetzbarkeit von Sparmetallen.

Verbrauchstoff ist, wie etwa Brennöl, wird besonders das Sammeln und Reinigen des benutzten Oeles anzustreben sein. Eine ständige Ueberwachung des Maschinenpersonals ist die Vorbedingung für einen dauernden Erfolg.

Eine Oelersparnis läßt sich durch folgende Mittel erreichen (L. 9 u. 10):

- 1) Verwendung sparsam arbeitender Schmiervorrichtungen,
- 2) Wiedergewinnung des benutzten Oeles,
- 3) Ersatz der Mineralöle durch andere Schmierstoffe.

A) Schmiervorrichtungen.

Ueberall sind sparsam arbeitende Schmiervorrichtungen zu verwenden, deren Oelverbrauch ständig zu überwachen ist. Grundsätzlich ist während der Betriebspausen die Schmierung abzustellen. Trotzdem dürfen die Lager nicht heißlaufen, da unter Umständen dadurch mehr Sparmetall verloren wird, als an Oel gespart werden kann. Bei den einzelnen Vorrichtungen ist besonders zu beachten:

1) Dochtschmierung: Während der Betriebspausen ist durch Hochziehen der Dochte die Schmierung zu unterbrechen.

2) Tropfenschmierung: Der Oelverbrauch ist bei sichtbarer Tropfenbildung (Glasgefäße oder Blechgefäße mit Schauloch) der Eigenart des Lagers anzupassen. Bei Betriebspausen ist die Schmierung abzustellen.

3) Preßschmierung: Zuführung des Oeles durch Preßpumpen (Oeldruckapparate) für abgeschlossene, unter Druck stehende Räume (Zylinder) und für hochbeanspruchte Lager schnelllaufender Maschinen. Die zu den einzelnen Verwendungsstellen führenden Schmierrohre sind grundsätzlich aus gezogenem Eisenrohr (nicht Messing) herzustellen.

4) Umlaufschmierung: Zuführung großer Oelmengen nach den Verbrauchstellen, sorgfältiges Sammeln des verbrauchten Oeles, das nach erfolgter Reinigung und Kühlung der Sammelstelle im Kreislauf wieder zugeführt wird.

Die Umlaufschmierung hat sich wirtschaftlich und betriebstechnisch am besten bewährt und ist überall anzustreben. Kleine Umänderungen dürfen mit Rücksicht auf die zu erwartende Oelersparnis nicht gescheut werden. In vielen Fällen genügen die einfachsten Formen der Umlaufschmierung, z. B. Schutzbleche zum Auffangen des abgeschleuderten Oeles (Abdecken von Kurbeln, Kreuzköpfen u. dergl.), Rohrleitung nach einer Oelsammelstelle, von der das Oel durch eine kleine Pumpe zu einem Hochbehälter und von dort nach der Verbrauchsstelle zurückgeführt wird. Für Wellenleitungen sind grundsätzlich Ringschmierlager zu verwenden.

B) Wiedergewinnung des benutzten Oeles.

Das in den Lagern, Zylindern usw. benutzte Schmieröl kann nach erfolgter Reinigung genau so verwendet werden wie frisches Oel und soll niemals ungereinigt an anderen Stellen verbraucht werden.

Für die Wiedergewinnung des benutzten Oeles kommen in Betracht:

- 1) Schleudermaschinen zur Vorreinigung,
- 2) Oelfilter mit Salzfüllung zur Nachreinigung,
- 3) Abdampfentöler verschiedener Bauart, die bei Auspuffmaschinen rd. 80 vH des Oeles wiedergewinnen können,

4) Einrichtungen zur Abscheidung des Oeles von der Oberfläche der Abwässer und Kondensate,

5) Entölen der gebrauchten Putzwolle.

Die ölgetränkte Putzwolle wird in luftdicht schließenden Blechkasten gesammelt und einer Zentralstelle zur Entölung zugeführt. So sind z. B. auf Veranlassung von Geh. Rat Engler und Professor Eitner, Karlsruhe, eine Anzahl von Sammelstellen in Baden eingerichtet worden, die Putzwolle mit 10 \mathcal{M} /100 kg bezahlen und daraus große Mengen von Oel wiedergewinnen (L. 10).

C) Ersatz der Mineralöle durch andere Schmierstoffe.

Als Ersatz für Mineralöle kommen in Betracht:

1) Gewöhnliches Mineralschmieröl (Achsenöl) mit einem Zusatz von 5 vH Talg zur Schmierung von Dampfzylindern. Reichliche Schmierung ist dabei erforderlich.

2) Zusatz von Graphit zum Oel. Durch Zusatz von 1 bis 2 vH Graphit sollen sich 50 bis 70 vH Oel ersparen lassen. Die Wirkung des Graphits besteht darin, daß er in die mikroskopisch kleinen Vertiefungen der Lagerfläche eindringt und sie glättet, ferner darin, daß er durch seine Anwesenheit in der Lagerfuge die unmittelbare Berührung der gleitenden Teile verhindert. Ein Zusatz von grobem Graphit zum Oel hat sich nicht bewährt, weil der Graphit sich leicht aus dem Oel wieder abscheidet. Wichtig ist, daß bei allen Graphit-Oel-Mischungen der Graphit frei von schädlichen mineralischen Bestandteilen ist und in feiner Körnung angewandt wird. Der auf elektrischem Wege hergestellte Flockengraphit, der sich wegen seiner äußerst feinen Verteilung im Oel schwebend erhält, hat sich besser bewährt als natürlicher Graphit. Auch der in den Gasanstalten entstehende Retortengraphit besitzt gute Schmierfähigkeit, wenn er äußerst fein gemahlen ist. In den deutschen Gasanstalten werden jährlich 200000 t Retortengraphit im Werte von etwa 133000 \mathcal{M} gewonnen, von denen ein kleiner Teil als Zusatz zum Schmieröl genügen würde, um erhebliche Ersparnisse an Oel zu machen.

Eine fertige 10 prozentige Graphit-Oel-Mischung, aus künstlichem, äußerst fein verteiltem Graphit hergestellt, kommt unter dem Namen »Oeldag« in den Handel.

Für Zylinderschmierung kann zu einem Graphitzusatz nicht geraten werden. Dagegen bewirkt ein Graphitzusatz an denjenigen Stellen, wo das Oel leicht abgeschleudert wird (z. B. an Gleitbahnen von Dampfmaschinen, Hobelmaschinen, Stoßmaschinen usw.) ein besseres Haften des Oeles, wodurch eine Verringerung des Verbrauches möglich wird. Der Graphit muß hierbei unmittelbar auf die schmierende Fläche gebracht werden.

3) Reine Graphitschmierung (ohne Oelzusatz). Bei geringer Flächenpressung und langsam laufenden Lagern (z. B. Förderrollen, Förderschnecken) hat sich diese Schmierung gut bewährt.

4) Zusatz von etwa 5 vH Ruß zum Oel. Die Wirkung ist ähnlich wie die des Graphits zu erklären.

5) Konsistente Fette (Starr- oder Fettschmierer), deren Anwendung besonders zu empfehlen ist, da sie eine sehr sparsame Schmierung ermöglichen.

So sind z. B. bei sämtlichen Zechenanlagen der Gutehoffnungshütte die Triebwerks- und Steuerungsteile der Betriebsmaschinen in weitgehendem Umfange für die Fettschmierung eingerichtet und nur wenige Stellen haben Oelschmierung erhalten. Alle Fördermaschinen, selbst an den Hauptlagern, sind

mit Staufferschmierung versehen worden. Auch in den Walzwerken konnte an sehr vielen Stellen zur Fettschmierung übergegangen werden. Dabei wurde das Fett durch einen im Handloch des Lagerdeckels eingehängten Blechtrichter mit untem schmalem Schlitz eingeführt und mittels eines aufgelegten Gewichtes nachgedrückt. Für die Walzenzugmaschinen wurde nur »Kalypsol« gebraucht, das sich auch in Transmissionslagern gut bewährt hat.

Weiter bietet sich für die Zukunft noch eine ganze Reihe von Ersatzschmierstoffen, über deren Brauchbarkeit die Praxis bald entscheiden wird. Bemerkenswert sind folgende Versuche:

6) Gewinnung von Schmieröl aus Fischtran. In Heidelberg vorgenommene Versuche, aus Fischtran Ersatzstoffe für Benzin, Petroleum und Schmieröl zu gewinnen, sind gelungen und werden fortgesetzt.

7) Verdickung der aus dem Braunkohlenteer gewonnenen dünnflüssigen Oele. Die Versuche des Geh. Rat Engler in Karlsruhe und der Badischen Anilin- und Sodafabrik haben zu befriedigenden Ergebnissen geführt. Dadurch sollen sich bis zu 20000 t Schmieröl erzeugen lassen.

8) Gewinnung von Schmieröl aus dem Steinkohlenteer (L. 10). Durch dieses »Kriegsöl« soll die Schmierölerzeugung um weitere 60000 t gesteigert werden können. Versuche der badischen Bahnen, kaltlaufende Teile (Achsen, Gestänge von Lokomotiven) mit solchem Teerfettöl zu schmieren, haben bei Anwendung eines die Schmierfähigkeit erhöhenden Zusatzes (z. B. Mineralöl) gute Ergebnisse gehabt. Dieses »Kriegsöl« wird aus dem Teeröl nach zwei verschiedenen von Geh. Rat Engler und von Professor Eitner angegebenen Verfahren hergestellt, welche die Schmierfähigkeit der Teeröle erhöhen. Neuerdings wird Teerfettöl auch ohne Zusatz von deutschen Bahnen in großen Mengen verwendet.

Für Zylinder- und Stopfbüchenschmierung ist dieses Oel nicht geeignet.

9) Gewinnung von Schmieröl aus bituminösem Schiefer (L. 10). Große Mengen Schieferöl werden bereits in Schweden gewonnen. In Deutschland gibt es in der Grube Messel bei Darmstadt eine Anlage zur Destillation von Schieferöl, die aber nur 13000 t Rohöl erzeugt, wovon wieder nur der kleinere Teil zu Schmieröl verarbeitet werden kann. Die Ausbeute würde sich bei einem Aufwand von etwa 31 Millionen Mark in 10 Monaten auf annähernd 50000 t Schmieröl steigern lassen. Durch Ausbeutung der großen Schieferlager bei Reutlingen könnten sehr beträchtliche Mengen von Schmieröl gewonnen werden.

10) Gewinnung von Schmieröl aus Klärschlamm. H. Bechhold¹⁾ berechnet, daß für den Kopf der Bevölkerung in Deutschland täglich mindestens 10 g Fett mit den Abwässern davonfließen; das macht bei 67 Millionen Einwohnern täglich 670000 kg Fett aus. Setzt man den Preis dieses Rohfettes vor dem Kriege zu 24 *M* für 100 kg an, so ergibt sich eine tägliche Vergeudung von 160800 *M*, oder ein jährlicher Verlust von 58,69 Millionen *M*.

Im Trockenschlamm mittlerer und großer Städte sind 12 bis 17 vH Fett enthalten. In dem Abwasserschlamm von Elberfeld-Barmen ist wegen der zahlreichen Färbereien und Wäschereien ein Fettgehalt von 22 vH festgestellt worden. Die dort errichtete Versuchsanlage erzeugt aus dem Schlamm ein schwarzbraunes Rohfett, aus dem schließlich zur Hälfte Olein und Stearin gewonnen werden. Das Olein eignet sich als Spinnöl, für flüssige Putzmittel, Putzpomade und für Schleifereizwecke. Das Stearin dient als Zusatz bei der Kerzenherstellung und bei der Ledergerberei. Der pechartige Rückstand soll als Schmierstoff für Walzenstraßen verwendet werden.

¹⁾ Chemiker-Zeitung 1915 S. 283. Dinglers Polyt. Journal 1915 S. 297.

D) Kühlung der Stähle von Werkzeugmaschinen¹⁾.

Zum Kühlen der Stähle von Werkzeugmaschinen werden verwendet: Schmalzöle, Mineralöle, wasserlösliche Oele, Wasser und Druckluft.

Für Revolverdrehbänke und für alle Arbeiten, die einen glatten Schnitt verlangen, wird man zu einem ziemlich reinen Mineralöl greifen müssen. Bei groben Arbeiten, wie z. B. beim Ausschuppen von Granaten, auch in der Fräselei und Bohrelei genügt meist Wasser oder stark verdünntes wasserlösliches Bohrol.

Bei Gußeisen ist eine Kühlung durch Oel oder ölähnliche Stoffe nicht nötig, dagegen Wasser- oder Luftkühlung vorteilhaft, besonders in der Fräselei. Falls bei Messing eine Kühlung nötig ist, kann auch reines Wasser verwendet werden.

Die größte Kühlfähigkeit besitzt Wasser. Oele haben eine weit geringere Kühlfähigkeit, halten aber doch die Schneide scharf. Bei Bohrölen wird eine stark verdünnte Lösung das Werkzeug gut kühlen; eine konzentrierte Lösung wird die Schneide länger scharf erhalten.

Ein wirksames Kühlmittel ist Druckluft, die sich bei Fräsarbeiten, besonders bei Gußeisen, recht gut bewährt hat und dringend empfohlen werden kann.

Von Oelmischungen empfiehlt sich für die besten Arbeiten, wie für Gewindeschneiden, Revolverdreherei usw., Mineralöl mit 10 vH Schmalzöl oder Lardöl. Die Mischung ist billiger als Lardöl und hat einen höheren Flammpunkt; Rauchbildung tritt also erst bei höherer Erwärmung ein.

Als weitere Mischung kommt in Betracht: Mineralöl und Fischtran. Ein Zusatz von Petroleum zum Oel ist nicht zu empfehlen, weil der Flammpunkt dadurch sehr erniedrigt wird.

Um einen sparsamen Verbrauch von Oel zu erzielen, empfiehlt sich die Ausgabe von Marken, ohne die kein Oel vom Werkzeuglager abgegeben werden darf.

IV. Gummi.

Der in großen Mengen in den verschiedensten Industriezweigen — besonders im Automobilbau — verarbeitete Gummi ist ein aus den Tropen stammendes Naturerzeugnis, das aus dem Milchsaft zahlreicher Pflanzen gewonnen wird. Der beste Rohgummi, der Paragummi, stammt aus Brasilien und anderen südamerikanischen Ländern; Plantagengummi kommt aus Englisch- und Holländisch-Indien. Ohne diesen Plantagengummi würden wir wahrscheinlich heute sehr teure Rohgummipreise haben, so daß die Entwicklung des Automobils und seiner Gebrauchsmöglichkeiten wohl nicht den großen Aufschwung hätte nehmen können. Ferner kommen große Mengen Rohgummi, meist die geringeren Sorten, aus Afrika, zum Teil aus unsern Kolonien Kamerun, Togo und Deutsch-Ostafrika.

Die Hauptmärkte für Rohgummi sind Liverpool, London und Antwerpen (L. 11). Hamburg ist zwar auch Rohgummimarkt, aber bis zum Kriege hat es nicht die Bedeutung gehabt wie die genannten Märkte. Mit Ausbruch des Krieges war nun jede weitere Zufuhr an Rohgummi unterbunden. Es wurde zu Anfang des Krieges alles, was auf dem holländischen Markt und in den neutralen

¹⁾ Nach Direktor Huhn, Monatsblätter des Berliner Bezirksvereines deutscher Ingenieure, Juli 1915 S. 90.

Staaten verfügbar war, zusammengekauft, und zwar teilweise zu Preisen, die bis zu 300 vH über dem Preise vor Kriegsbeginn lagen.

Es stellte sich aber bald heraus, daß der noch in Deutschland befindliche Rohgummi in keinem Verhältnis zu dem deutschen Bedarf stand, besonders nicht im Verhältnis zu dem durch den Krieg gesteigerten Bedarf an Autoreifen und Massivreifen für Lastwagen.

Als unsere Heere Antwerpen eingenommen hatten, kamen große Mengen Rohgummi in unseren Besitz, die bei sparsamstem Verbrauch für längere Zeit ausreichen dürften.

Ende November 1914 wurden vom Kriegsministerium sämtliche Vorräte der Gummifabriken mit Beschlag belegt, da sie nur noch für Heereszwecke verwendet werden sollten; nur ganz geringe Mengen konnten von Monat zu Monat für andere Zwecke freigegeben werden.

Diese freigegebenen Mengen sind mit Rücksicht auf die große Knappheit in Rohgummi nach und nach immer geringer geworden, so daß die Gummiindustrie gezwungen war, ihre Fabrikation vollständig umzustellen und immer mehr zu Ersatzstoffen in Form von entsprechend präparierten resp. regenerierten Gummiabfällen zu greifen. — Es ist den Gummifabriken auf diese Weise gelungen, fast alle Gummiwaren aus diesen Ersatzstoffen herzustellen, und selbst Autoreifen werden heute aus guten Gummiabfällen unter Zuhilfenahme geringer Mengen Rohgummi angefertigt.

Wenn man an diese Ersatzstoffe natürlich nicht die gleichen Ansprüche stellen darf wie an die früheren normalen Sorten, so ist es der Gummiindustrie doch immerhin gelungen, über die gummiarme Zeit in bester Weise hinweg zu kommen.

Eine außerordentlich wichtige technische Aufgabe ist die Herstellung des synthetischen Gummis. Die Badische Anilin- und Sodafabrik hat darüber in großem Maßstabe Versuche angestellt, über die der Berichterstatter, Dr. Holt, sagt: »Neun Zehntel des Weges sind gemacht, das letzte Zehntel des Weges zum synthetischen Kautschuk ist bei dem heutigen Stande der Wissenschaft nicht zu machen.«

Die Frage nach einem Ersatzstoff für Gummi ist im Automobilbau am brennendsten geworden, und man hat versucht, ihrer Lösung durch Verwendung der »elastischen Räder« näher zu kommen.

Bei den vorhandenen Ausführungen der elastischen Räder¹⁾ befinden sich die eigentlichen elastischen Organe am Radumfang, in der Radmitte oder zwischen Radnabe und Radfelge. Bisher scheint sich ein elastisches Rad bewährt zu haben, bei dem die elastische Aufhängung durch staubdicht eingebaute Schraubenfedern erreicht wird, die die äußeren Teile der Speichen mit der Radnabe verbinden und nur in ihrer Achsrichtung beansprucht werden. Bei einer anderen Bauart hat man die Radspeichen ganz fortgelassen und durch zwei endlose, gegeneinander versetzte Stahlbandfedern in Kleeblattform ersetzt, die nach den Versuchsberichten¹⁾ ausreichende Elastizität und geringe Abnutzung gezeigt haben sollen.

Die Ansichten über »elastische Räder« sind jedoch sehr geteilt, und man scheint durch Verbesserung der Federung denselben Zweck auf billigerem Wege erreichen zu können. Jedenfalls ist für den Gummireifen noch kein brauchbarer Ersatz gefunden.

¹⁾ Allgemeine Automobil-Zeitung 1915 S. 34.

V. Koksverbrauch zur Gewinnung von Neben- erzeugnissen.

A) Allgemeines.

Unmittelbar nach Kriegsausbruch wurde vom Reichskanzler an die Zentrale für Gasverwertung ein Erlaß gerichtet, der den Gaswerken zur Pflicht machte, ihren bisherigen Betrieb aufrecht zu erhalten und mit Rücksicht auf die Wichtigkeit der Teergewinnung für Kriegszwecke nach Möglichkeit noch zu erweitern. Die Petroleumknappheit würde den Gaswerken Gelegenheit zu größerem Absatz geben.

Nachdem jetzt die Heeresverwaltung die gesamte Menge des in den Kokereien und Gaswerken entstehenden Ammoniakwassers mit Beschlag belegt hat, liegt es im vaterländischen Interesse, die weitere Gewinnung dieser Neben-erzeugnisse durch erhöhten Koksverbrauch zu steigern. Neben den schweren Teerölen, die in großer Menge für die Marine gebraucht werden, ist der Bedarf an Toluol recht erheblich. Da die Ausbeute an Toluol aber nur ungefähr 1 vT der vergasteten Kohle beträgt, so müssen sehr große Mengen von Kohlen vergast werden, um nur diesen Bestandteil der Heeresverwaltung in bescheidenem Maße liefern zu können, (L. 12).

Steinkohlenkoks werden überwiegend in den Kokereien der Zechen und Hüttenwerke gewonnen, die beide Koks als Haupterzeugnis liefern; außerdem liefern die Gasanstalten Koks als Nebenerzeugnis.

Die gesamte Koksherstellung Deutschlands betrug 1914 27,3 Millionen t und hatte gegen 1913 um rd. 15 vH abgenommen; auf Gaskoks (das sind die aus den Gasanstalten gewonnenen) entfallen davon etwa 3,9 Millionen t.

B) Die Verwendung von Koks in Kesselanlagen (L. 12).

Die Frage, ob Koks in den Kesseln vorteilhaft verfeuert werden können, wird verschieden beurteilt. Tatsache ist, daß in Friedenszeiten fast keine Kessel mit Koks geheizt werden, sondern daß man fast immer Kohlen vorzieht. In Friedenszeiten wird in der Regel nur dort mit Koks geheizt, wo diese aus eigenen Gasanstalten oder Kokereien bezogen werden.

Nach den bisher gemachten Erfahrungen und nach Veröffentlichungen der letzten Zeit kann man die Sache wohl kurz folgendermaßen zusammenfassen: Es ist ohne weiteres möglich, fast in jedem Kessel ohne wesentliche Aenderungen an Stelle von Kohle Koks allein oder in Mischung mit Kohle zu verfeuern; die Kostenfrage wollen wir später behandeln.

In letzter Zeit sind in den Elektrizitätswerken zu Dresden und Wiesbaden Versuche über Kesselheizung mit Koks ausgeführt worden, deren Ergebnisse hier verwertet werden sollen¹⁾.

1) Reine Koksfeuerung.

Bei reiner Koksfeuerung (Grobkoks oder Nußkoks) geht die Dampfleistung der Kessel um 20 bis 30, sogar bis 40 vH zurück, je nach der Konstruktion des Kessels. Dieser Rückgang erklärt sich durch den etwas geringeren Heizwert der Koks gegenüber Kohle (6500 bis 7000 kcal bei Koks gegen 7500 und mehr kcal bei Kohle), ferner daraus, daß der Aschengehalt der Koks bekanntlich

¹⁾ Vergl. auch Volk, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1915 S. 445.

größer ist als der der Kohle (etwa 10 bis 15 vH gegen 6 bis 10 vH); dieser größere Aschengehalt der Koks bedingt ein öfteres Schlacken der Feuerung, was natürlich die Dampferzeugung wiederum zurückbringt. Wenn der Kessel für die herzugebende Dampfleistung schon bei der Kohlenfeuerung zu klein war, wird der Uebergang zur reinen Koksheizung bedenklich, wenn nicht ganz unmöglich sein. Ein Vorteil der Koksfeuerung ist dagegen die rauchfreie Verbrennung; es werden also alle diejenigen Verluste vermieden, die bei der Kohlenfeuerung durch die Vergasung der Kohle im Feuer entstehen, ohne daß die Gase mitverbrennen.

Man kann nun die bei dieser reinen Koksfeuerung in vielen Fällen entstehenden Schwierigkeiten wieder beseitigen, wenn man den Zug etwas erhöht oder Dampf unter den Rost bläst. Das Einblasen von Dampf hat den Vorteil, daß die Roststäbe kühl gehalten werden, und daß nebenbei Wassergas erzeugt wird, welches die Flamme verlängert. Bei reiner Koksfeuerung ist es notwendig, die Schütthöhe auf dem Rost größer zu machen als bei Kohlenfeuerung.

Die alte Leistung der Kessel kann durch raschere Verbrennung der Koks wieder hergestellt werden, also durch Zuführung größerer Luftmengen unter den Rost; hier kommen die verschiedenen Konstruktionen, wie Unterwindfeuerung, Gebläse, Saugzuanlagen usw., in Betracht. Da es sich in der nächsten Zeit darum handeln wird, die einfachste Einrichtung mit größter Beschleunigung zu treffen, dürfte das Gebläse das geeignetste Mittel sein.

Beim angespannten Betrieb der Feuerung durch Gebläse entstehen aber große zusammenhängende Schlackenkuchen, die den Rost zusetzen und deren Beseitigung oft Schwierigkeiten bereitet, wobei oft auch gute, unverbrannte Teile mitgerissen werden. Der Heizer hat also die Feuerung ganz besonders aufmerksam zu behandeln, damit Verluste vermieden werden.

Diese Schlackenkuchen wirken auch ungünstig auf den Rost ein. Man kann dem wieder abhelfen, indem man Dampf zuführt oder wassergekühlte Roststäbe verwendet. Es sind in letzter Zeit bessere Konstruktionen auf dem Markt erschienen, z. B. Hohlroste, die allerdings auch sehr teuer sind.

Ein Nachteil der angespannten Koksfeuerung liegt auch in der Anhäufung von übermäßig großen Mengen von Flugasche in den Zügen, was natürlich höhere Unterhaltungskosten wegen öfterer Reinigung, vermehrter Arbeiten am Kesselmauerwerk usw. bedingt. Auch die mechanischen Transporteinrichtungen werden bei der Beförderung von Koks mehr in Anspruch genommen als bei Kohle.

Bei einem zu Anfang 1915 gemachten Versuch wurden die Koks ungemischt in einem Wasserrohrkessel von 416 qm Heizfläche verfeuert. Die normale Verdampfung von 22 kg/qm fiel schon in einigen Stunden auf 11 kg. Die großen Schlacken waren schwer zu beseitigen. Der Rost (Wanderrost) war früher mit Braunkohlen betrieben worden; durch Beimischen von Koks und Absperrern der Zuführung von Kohle wurde zur Beschickung mit reinen Koks übergegangen. Dann wurden Schichthöhe und Luftmenge verstärkt oder verringert, aber vergebens, der Versuch mißlang nach 5 Stunden vollständig.

Bei einem Wasserröhrenkessel von 300 qm Heizfläche mit Planrost bildete sich bei unvermischtem Koks schnell eine undurchlässige Schicht, die die Verbrennungsluft nicht mehr durchließ und daher das weitere Verbrennen verhinderte. Bei der Bedienung der Feuerung und der Beseitigung der Schlacken standen die Feuertüren lange offen und ließen viel kalte Luft eintreten. Der Brennstoff wurde wegen des Luftüberschusses schlecht ausgenutzt, der Betrieb mit unvermischtem Koks war nicht durchzuführen.

Nach den von Kaufmann¹⁾ angestellten Versuchen erscheint es wohl möglich, bei Kesseln unter 20 kg Dampferzeugung auf 1 qm Heizfläche mit Koks auszukommen, wenn bei gleichbleibenden Rostverhältnissen der Zug entsprechend vergrößert wird, z. B. durch Unterwindgebläse oder Saugzug. Bei stärker beanspruchten Kesseln wird auch eine Vergrößerung des Rostes nichts nutzen.

2) Mischfeuerungen.

Mit einer Mischung von Koks und Kohle hat man bessere Erfahrungen gemacht als mit reiner Koksfeuerung. Einige Versuchsberichte²⁾ werden darüber Auskunft geben.

a) Mischungen von Koks mit Braunkohle.

Nach dem mißlungenen Versuch mit reiner Koksfeuerung an dem oben erwähnten Wasserrohrkessel von 416 qm Heizfläche wurde auf demselben Rost eine Mischung von $\frac{3}{4}$ böhmischer Braunkohle von 4200 kcal und $\frac{1}{4}$ Koks von 6500 kcal verfeuert. Der Versuch hatte etwas bessere Ergebnisse. Die Braunkohle entzündete die Koks mit, die Feuerzone wurde genügend lang, und es trat eine normale Verdampfung ein. Als Nachteil ergab sich nur die starke Abnutzung der Schlackenabstreifer.

Ein weiterer Versuch wurde an einem Hartmann-Steilrohrkessel von 520 qm Heizfläche mit Wanderrosten, Bauart Placzek-Ideal, gemacht. Dabei sind die Abstreicher durch einen schrägliegenden, in seinen Teilen schwingenden Planrost für die Nachverbrennung der Schlacke ersetzt. Verfeuert wurde ein Gemisch von 25 Teilen Koks und 75 Teilen böhmischer Braunkohle, sowie ein Gemisch von 25 Teilen Koks und 75 Teilen Briketts. Die Briketts hatten einen Heizwert von 4800 kcal. Beide Versuche gelangen gut, allerdings bei nur kurzer Dauer. Ganz besonders gut verbrannte das Gemisch von Koks und Briketts.

Die Ergebnisse dieser Versuche können dahin zusammengefaßt werden, daß bei richtiger Mischung von Braunkohlenbriketts kleinen Formats mit gebrochenen Koks ein guter Brennstoff für Wanderroste unter Steilrohr- oder Schrägrohrkesseln entsteht.

b) Mischungen von Koks mit Steinkohle.

An einem Wasserröhrenkessel von 300 qm Heizfläche mit einem Kettenrost von 7,4 qm Rostfläche wurden 3 Versuche ausgeführt, deren Ergebnis war:

	unvermischte Kohlen	3 Teile Kohlen, 1 Teil Koks	2 Teile Kohlen, 1 Teil Koks
Brennstoffverbrauch auf 1 qm Rostfläche und Stunde kg	85,6	91,2	90,1
Aschenmenge vH	6,83	7,03	9,3
Verdampfung	8,25	7,55	6,9
Brennstoff-Mehrverbrauch bei gleicher Dampferzeugung	—	9,3	19,5
Dauer des Versuches Stunden	24	24	12

Aus diesen Versuchen ist der Vorteil des Wanderrostes gegenüber dem Planrost bei Verwendung eines Gemisches zu erkennen. Beim Planrost bleiben

¹⁾ Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1915 S. 544.

²⁾ Vergl. Volk, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1915 S. 445.

die einzelnen Brennstoffteilchen ruhig auf dem Roste liegen, so daß die entstehenden Lücken sich immer mehr vergrößern können, wenn nicht von Zeit zu Zeit eine Verteilung mit der Schürstange vorgenommen wird. Beim Kettenrost werden dagegen die einzelnen Teilchen durch das ruckende Vorwärtsschreiten gegeneinander verschoben, wodurch ein natürlicher Ausgleich stattfindet.

Bei einer Kohlen-Koks-Mischung von 1:1 auf dem Kettenrost war schon nach einer Stunde das Feuer soweit zurückgegangen, daß im Kessel kaum noch Dampf entwickelt wurde. Als Grund wird angegeben, daß die Feuergewölbe nicht genügend heiß geworden sind.

Weitere Versuche mit unvermischten Kohlen und einer Mischung von 3:1 wurden an 2 Wasserröhrenkesseln von je 450 qm Heizfläche mit Ueberhitzer und gemeinschaftlichem Vorwärmer von 732 qm Heizfläche durchgeführt.

Die Kessel hatten Wanderoste von je 13,67 qm Rostfläche; die Versuche dauerten in jedem Falle 24 Stunden.

	unvermischte Kohlen		3 Teile Kohlen, 1 Teil Koks	
	I	II	III	IV
Aschenmenge vH	6,1	6,7	7,25	7,75
Verdampfung	9,0	9,0	8,4	8,2
Mehrverbrauch im Mittel >	—	—	8,5	8,5

Bei früheren Versuchen waren Ruhr-Gasnußkohlen III verwendet worden. Eine gute Verbrennung dieser gasreichen Kohlen wurde bei einem Gemisch von 1:1 erzielt. Der Versuch wurde mehrere Tage hindurch an einem Kessel von 300 qm Heizfläche durchgeführt. Genaue Ergebnisse liegen hierüber nicht vor; annähernd ließ sich feststellen, daß der Mehrverbrauch bei diesem Gemisch gegenüber unvermischten Kohlen rd. 9 vH betrug. Auf die Dauer ließ sich diese Mischung von Gaskohlen und Koks im Verhältnis 1:1 nicht durchführen, weil die Roststäbe wesentlich stärker angegriffen wurden. Dagegen war bei Mischungen von 3:1 eine größere Beschädigung der Roststäbe nicht zu erkennen.

Das Elektrizitätswerk Wiesbaden hat in der erwähnten Veröffentlichung eine Zahlentafel aufgestellt, die zwar nicht allgemein gültig, aber doch von großem Wert ist, weil sie Verhältniszahlen bezüglich der Preise enthält.

Wenn der Kohlenpreis gleich 1 gesetzt wird, darf der Kokspreis betragen:

bei einer Mischung von	gegenüber Ruhr-Fettnußkohlen	gegenüber Ruhr-Gasnußkohlen
3:1	0,58	0,91
4:1	0,74	0,96
5:1	0,86	1,0
6:1	0,95	1,0
7:1	1,0	1,0

Das Elektrizitätswerk Wiesbaden kommt also zu dem Ergebnis, daß man unter den gemachten Voraussetzungen bei einer Mischung von 6:1 oder 7:1, also bei $\frac{1}{7}$ bzw. $\frac{1}{8}$ Koks Zusatz, tatsächlich seine Kohlenvorräte um die gleiche Menge strecken kann.

Wenn nun aber auch die Betriebskosten heute keine sehr große Rolle spielen, so wird man sich doch fragen, ob die jetzt getroffenen Einrichtungen dauernden Wert haben, ob es also wahrscheinlich ist, daß wir auch fernerhin Koks mit verheizen werden. Im Frieden war es bislang nicht üblich, Koks an Stelle von Kohlen in Dampfkesseln zu verheizen, denn die Preise ließen das nicht zu. Nur dort, wo Koks unter den normalen Verkaufspreisen angeboten werden, können Dampfkessel auch mit ihnen vorteilhaft betrieben werden.

Bemerkenswert ist noch die Korngröße der zugemischten Koks und die Art, wie sie dem Kessel zugeführt werden. Die Korngröße der Koks soll die der beigemischten Kohle nicht überschreiten. Die Koks selbst sollen am besten mit der Hand auf den Rost gebracht werden, weil fertige Mischungen von Kohle und Koks auf dem Wege zum Kessel sich zum Teil wieder entmischen.

Die Erfahrungen haben ferner gezeigt, daß sich Gasflammkohlen (Gaskohlen) zur Mischung besser eignen als Kesselkohlen.

C) Die Verwendung von Koks im Hausbrand.

Ueber die Verwendung von Koks im Hausbrand sind die Ansichten sehr geteilt. In Füllöfen und Dauerbrandöfen können Koks ohne weiteres verfeuert werden, wenn man für eine regelmäßige Entschlackung des Rostes sorgt. Oft wird sich auch hier eine Mischung von Koks und Kohle empfehlen.

In den Arbeiterfamilien, die in der Küche wohnen und den Küchenherd auch als Ofen benutzen, haben sich Koks noch nicht eingeführt. Es sollte angestrebt werden, auch in den kleinsten Wohnungen Zentralheizung einzuführen, damit auch das ausschließliche Kochen mit Gas in der Küche durchgeführt werden kann.

D) Koksbricketts.

Nach vielen vergeblichen Versuchen ist auch die Brikettierung des Koks-kleins unter Zusatz von 6 bis 8 vH Hartpech gelungen.

Diese Koksbricketts¹⁾ sollen sich bei einer Schütthöhe von mindestens 20 bis 25 cm verwenden lassen, guter Schornsteinzug vorausgesetzt. Die alten Kachelöfen eignen sich wegen der geringen Schütthöhe nicht für Koksbricketts, jedoch werden neuere Kachelöfen auch für Koksheizung eingerichtet. Die besten Erfolge sind bisher in eisernen Füllöfen und Zentralheizungsöfen erzielt worden, in denen 50 bis 100 vH des früheren Heizmaterials durch Koksbricketts ersetzt werden konnten.

¹⁾ Vergl. Behr, Zeitschrift für Dampfkessel und Maschinenbetrieb 1915 S. 204.



WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

33467

Kdn., Czapskich 4 — 678. I. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000305858