

ZEITSCHRIFT DES VEREINES DEUTSCHER INGENIEURE

SCHRIFTFLEITER: C. MATSCHOSS VDI

Bd. 78

SONNABEND, 16. JUNI 1934

Nr. 24

Ergebnisse neuer Versuche mit Dampflokomotiven

Von Reichsbahnoberrat Prof. Dr.-Ing. E. h. H. Nordmann VDI, Berlin

Schwierigkeiten mit außergewöhnlichen Lokomotiven, die eine starke Erhöhung des thermischen Gütegrades zum Ziel hatten, haben in Verbindung mit der Erkenntnis von dem verhältnismäßig kleinen Anteil der Brennstoffkosten an den gesamten Betriebskosten zu gesteigerter Wertschätzung guter Regel-lokomotiven geführt. Deren Verbrauchszahlen werden behandelt und die neueren Erkenntnisse über Mehrzylinder- und Verbundlokomotiven erläutert, wobei der thermische Vorteil der Verbundwirkung recht beschränkt und bedingt ist. Der Wirkungsgrad: Zughaken- zu Kolbenleistung wird erörtert, gezeigt, wie er für Hochgeschwindigkeiten durch Annähern an die Stromlinienform erheblich verbessert werden kann, und endlich der Erfolg von Schnellfahrten auch mit einfachen Zwillingslokomotiven beschrieben.

Wärmewirtschaftliche Entwicklung der Dampflokomotiven

Wenn man die Lokomotivversuche der Deutschen Reichsbahn aus der letzten Zeit überblickt, so zeigt sich die zunächst vielleicht auffällige Erscheinung, daß sie sich nur noch auf Lokomotiven der Regelbauart beziehen, wobei unter Regelbauart die Auspuff-Kolbenlokomotive mit Feuerbüchskessel verstanden ist. Es handelt sich dabei um mehr als einen Zufall. Es ist ein Haltepunkt, und die Versuche geben auch nicht etwa nur einen Querschnitt durch die neuzeitlichen Anschauungen über den Lokomotivbau wieder, sondern sie haben sie wesentlich mit herbeigeführt.

Vor etwa einem Jahrzehnt konnte man zwei Entwicklungsreihen im Lokomotivbau unterscheiden. Die eine betraf die Regellokomotive. Die Verreichlichung der Länderbahnen, die Aussicht auf die Anwendbarkeit eines Achsdruckes von 20 t auf vielen Hauptstrecken und nicht zuletzt die Typisierung und Normung gaben Anlaß zu einer Reihe von neuen Entwürfen, von denen die Schnellzug- und schweren Güterzuglokomotiven zuerst verwirklicht wurden. Wohl sahen die Entwürfe der Einheitslokomotiven, zu denen sich bald noch die für kleinere Achsdrücke gesellten, gut abgestimmte Kessel mit großen Überhitzern vor, aber die Erwartungen gingen eigentlich mehr aus auf den Erhalt künftiger guter Betriebslokomotiven, als auf ungewöhnliche wärmewirtschaftliche Erfolge. Nun stand aber damals die Wärmewirtschaft, und zwar, wie wir heute sagen könnten, eine etwas isoliert betrachtete Wärmewirtschaft, allgemein, auch im ortfesten Maschinenbau, im Blickpunkt. Und so sehen wir eine zweite Entwicklungsreihe, angewandt natürlich zunächst nur auf einzelne Versuchlokomotiven, die durch Erweiterung des Temperatur- oder Druckgefälles bewußt auf eine wesentliche Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades abzielte. Gemeint sind die Turbinen- und Hochdrucklokomotiven¹⁾, und zu ihnen gesellte sich außerhalb des Rahmens des Dampfbetriebes noch die Diesellokomotive²⁾, während die Kohlenstaublokomotive³⁾ den gewöhnlichen Kessel, nur mit Staubbrenner und ungewöhnlichem Tender, aufwies. Neben der Hoffnung auf einen etwas verbesserten Gütegrad des Kessels lag hier eine andere Entwicklungslinie der Wärmewirtschaft zugrunde, nämlich das Streben nach Verwendung minderwertiger Brennstoffe (fein gemahlener, getrockneter Braunkohle oder von gleichfalls gepulvertem Halbkoks aus dem Schwel-

verfahren). Man muß der Deutschen Reichsbahn das Zeugnis ausstellen, diese Versuche in großzügigster Form unternommen, also keine Entwicklungsarbeit versäumt zu haben. Auf dem internationalen Eisenbahnkongreß in Madrid 1930 spielte die Behandlung der Lokomotiven gesteigerter Wärmewirtschaftlichkeit noch eine erhebliche Rolle, und der deutsche Bericht⁴⁾ war der umfassendste, ja war damals eigentlich allein in der Lage, umfängliche Versuchsergebnisse zu bringen.

Aber die reife Frucht blieb doch bisher aus, und auch in den wirtschaftlichen Anschauungen vollzog sich ein Wandel. Die Berücksichtigung der Wärmewirtschaft allein machte, wie ebenfalls bei ortfesten Maschinenanlagen, einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung Platz. In einem der deutschen Berichte⁵⁾ für die Zweite Weltkraftkonferenz, Berlin 1930, brachte F. Fuchs die Lokomotivkosten-Statistik der Reichsbahn (nach dem Stand von 1929), und die bemerkenswerteste Tatsache in diesem Zusammenhang war, daß die Kohlenkosten nur 23 % der Gesamtkosten des Lokomotivdienstes ausmachten; neben einigen kleinen Anteilen wie Speisewasser und Öl erschienen drei große andere Anteile: Kapitaldienst, Unterhaltungs- und Ausbesserungskosten sowie die Ausgaben für das Lokomotivpersonal. Der Kohlenanteil hat sich inzwischen noch auf rd. 21 % gesenkt, d. h. wärmewirtschaftliche Erfolge gehen anteilmäßig nur mit $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ in die Gesamtkosten ein. In einem zweiten Bericht⁶⁾ für diese Konferenz wies ich weiter darauf hin, daß wärmewirtschaftliche Vorteile sich nur dann in derselben Höhe auf die Gesamtwirtschaft der Lokomotive auswirken, wenn sie nicht durch eine Vergrößerung der übrigen Kostenanteile erkauft werden müssen, wenn sie also nicht durch Verteuerung der Beschaffung und Unterhaltung infolge verwickelterer Bauart wieder aufgehoben werden.

Hier lag aber gerade der wunde Punkt, und darüber kann auch die Tatsache, daß es sich zweifellos um sehr geistreiche und wohlgedachte Entwürfe handelte, nicht hinweghelfen. Najork und Wichtendahl⁷⁾ zeigten, daß bei Hochdrucklokomotiven die reine Wärmeersparnis Beträge zum Ausgleich der gestiegenen Beschaffungs- und Unterhaltungskosten annehmen müßte, die durch die Versuche noch nicht erreicht wurden.

¹⁾ H. Nordmann, Mschr. int. Eisenbahn-Kongr.-Vereinig. Bd. 1 (1930) (Deutsche Ausgabe) S. 505.

²⁾ F. Fuchs, Die Entwicklung des Dampflokomotivparks der Deutschen Reichsbahn, Gesamtbericht 2. Weltkraftkonferenz Bd. 17, Berlin 1930, S. 53.

³⁾ H. Nordmann u. R. P. Wagner, Druck- und Wärmegefälle der Dampflokomotiven in ihrem Einfluß auf bauliche Durchbildung und Wärmewirtschaft, Gesamtbericht 2. Weltkraftkonferenz Bd. 17, Berlin 1930, S. 66.

⁴⁾ E. Najork u. R. Wichtendahl, Z. VDI Bd. 74 (1930) S. 1645.

¹⁾ Vgl. H. Nordmann, Z. VDI Bd. 74 (1930) S. 173; Fr. Witte und R. P. Wagner, Z. VDI Bd. 74 (1930) S. 1073 u. 1141.

²⁾ Vgl. M. Mayer, Z. VDI Bd. 76 (1932) S. 705.

³⁾ Vgl. H. Nordmann, Z. VDI Bd. 73 (1929) S. 951.

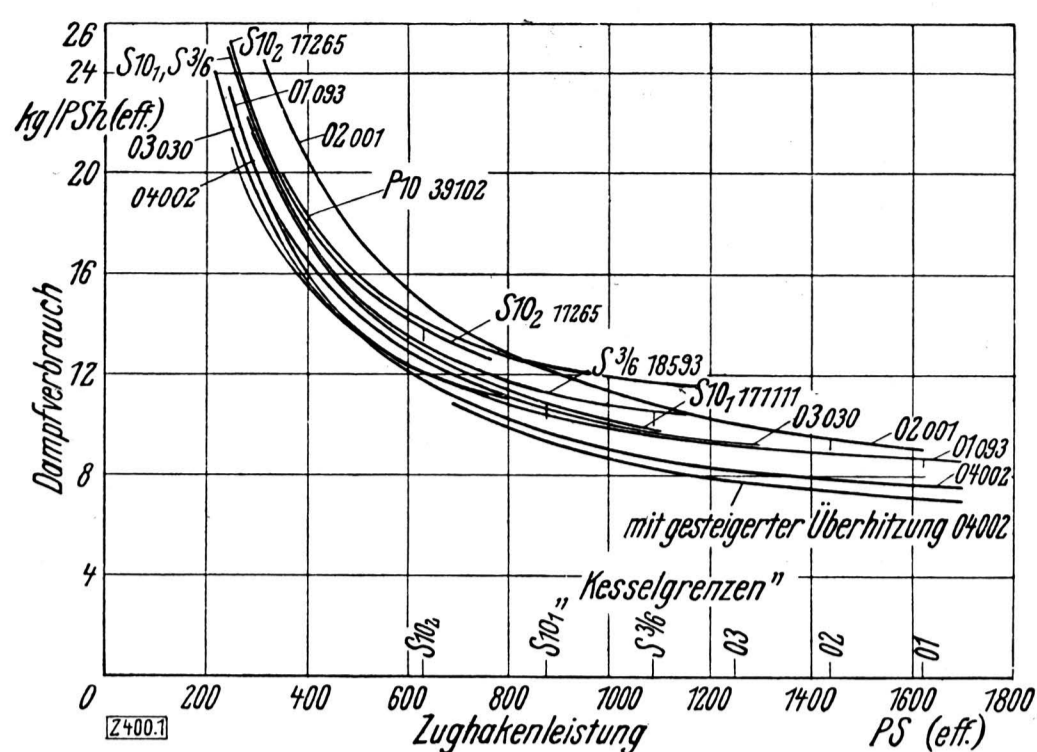


Abb. 1. Dampfverbrauch verschiedener Lokomotiven, auf die effektive Leistung bezogen, 57 kg/m²h Dampferzeugung

bei 100 km/h Fahr- geschwindigkeit in Abhän- gigkeit von der Leistung am Zughaken. Der „Kesselgrenze“ ent- spricht eine Leistung bei 57 kg/m²h Dampf- erzeugung. Die zugrunde liegenden Lokomotiv- gattungen sind in An- merkung 8 erläutert.

Dazu kam die bisherige Anfälligkeit der neuartigen Maschinen, wobei nicht nur jeder unbeabsichtigte, bei einer zuverlässigen Lokomotive vermeidbare Betriebsausfall durch Abkühlung und Wiederaufheizen des Kessels eine Verschlechterung der Wärmewirtschaftlichkeit mit sich bringt, sondern außerdem auch zum Einsatz einer Bereitschaftslokomotive zwingt. Betriebliche Erschwernisse wären aber heute bei dem starken Wettbewerb anderer Fahrzeuge und Verkehrsmittel besonders unerwünscht. Aus all diesen Gründen ist auch der gedankliche oder Systemwert der neuartigen Lokomotiven, der trotz ihrer geringen Anzahl vor einigen Jahren noch als recht hoch angeschlagen werden konnte, stark gesunken. Wenn auch die Entwicklung nicht abreißen wird, in der bisherigen lebhaften Art wird sie nicht weitergehen, und der wirkliche Betrieb wird zunächst nicht mit solchen Lokomotiven rechnen. Nur die Kohlenstaablokomotiven haben sich bisher glatt bewährt und tun dauernd Dienst; nicht umsonst haben sie Regelkessel und -maschinen.

Unter diesen Umständen mußte der Wert der Regellokomotiven noch erheblich zunehmen, und die Bestrebungen, die altbewährte zuverlässige Grundform der Lokomotiven eben unter Beibehaltung ihres Aufbaus in einer gewissen Kleinarbeit weiterzuentwickeln, sind — auch im Versuchswesen — in den Vordergrund getreten. Denn, was hier etwa an thermischen Erfolgen erreicht wird, ist wirklich zugleich zum großen Teil ein gesamtwirtschaftlicher Vorteil, weil wesentliche Verteuerungen in Beschaffung und Unterhaltung fehlen. Daneben dient die Forschungsarbeit naturgemäß auch rein betrieblichen Zielen, wie der Eignung für höhere Geschwindigkeiten oder genauerer Erkenntnis der zweckmäßigen Trennungslinie zwischen Zwei- und Mehrzylindermaschinen. Und die Erfolge sind, da es sich dabei meist um bekannte Elemente handelt, an sich oft sofort auf ganze nächste Lieferungen übertragbar, während bei ungewöhnlichen Lokomotiven sich an die Erforschung des Idealverhaltens im Grunewalder Versuchsbetrieb erst noch die Prüfung der einen Probelokomotive in längerem, praktischem Betrieb anschließen müßte, ehe der Entschluß zu einer größeren Beschaffung und also einem fühlbaren Einsatz der erzielbaren Vorteile berechtigt wäre.

Von solchen neuen Erkenntnissen über die Regellokomotive auf Grund von Grunewalder Versuchen der letzten Zeit soll also im nachfolgenden in einem gewissen Querschnitt die Rede sein.

Die Verbrauchszahlen und ihre Beeinflussung durch Dampfdruck und -temperatur

Wir haben also hier die Frage zu erörtern, wie die Verbrauchszahlen der neuzeitlichen Regellokomotiven⁸⁾

⁸⁾ Die dem Text und den Abbildungen vorwiegend zugrunde liegenden Lokomotivgattungen sind die folgenden: 01, schwere 2C1-Einheits-Schnellzuglokomotive, Zwillingsbauart, 20 t Achsdruck, 16 at; 02, schwere 2C1-Einheits-Schnellzuglokomotive, Vierzylinderverbund, 20 t Achsdruck, 16 at; 03, leichtere 2C1-Einheits-Schnellzuglokomotive, Zwillingsbauart, 17 t Achsdruck, 16 at; 04, 2C1-Vierzylinder-Verbund-Schnellzuglokomotive, 25 at (Versuchslokomotive); 17 (265), S10, 2C-Schnellzuglokomotive (Preußische), Drilling, 14 at; 17 (1111), S10, 2C-Schnellzuglokomotive, Vierzylinder-Verbund, 15 at; 18 S³/₆, 2C1-Schnellzuglokomotive (Bayern), Vierzylinder-Verbund, 18 t, 16 at; 38 P8, 2C-Personenzuglokomotive (Preußen), Zwillingsbauart, 12 at; 39 P10, 1D1-Personenzuglokomotive (Preußen), Drilling, 14 at; 43, 1E-Einheitsgüterzuglokomotive, Zwillingsbauart, 20 t, 14 at; 44 (25 at), 1E-Einheitsgüterzuglokomotive, Vierzylinder-Verbund, 20 t, 25 at (Versuchslokomotive); 85, 1E1-Einheitsgüterzugtenderlokomotive, Drilling, 20 t, 14 at.

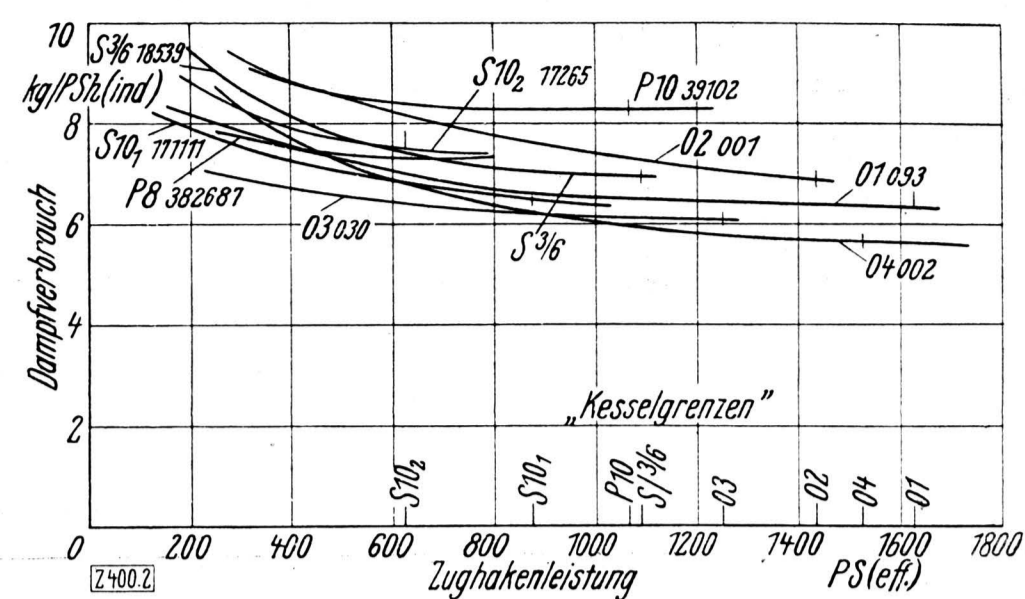


Abb. 2. Dampfverbrauch für die indizierte Leistung in kg/PS(ind.) verschiedener Lokomotiven bei 100 km/h.

Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Leistung am Zughaken.

aussehen und wie weit eine Steigerung der Wärmewirtschaftlichkeit möglich ist, wenn diejenigen Druck- und Temperaturgrenzen nicht überschritten werden, die mit der Regelbauart, namentlich des Kessels, noch vereinbar sind. Nachdem bereits die Maffei-Turbinenlokomotive⁹⁾ einen Regelkessel von 22 at, sogar mit kupferner Feuerbüchse, erhalten hatte, hofft man heute auf die Anwendbarkeit von 25 at bei einem einschließlich der Feuerbüchse aus Sonderstählen hergestellten Kessel. Von den sechs gebauten deutschen Versuchslokomotiven, die auch Unterschiede im Kesselbaustoff aufweisen, liegen bereits wärmewirtschaftliche Ergebnisse vor, so für die auch in der Presse¹⁰⁾ mehrfach erwähnte Vierzylinder-Verbund-Schnellzuglokomotive 04002. Ein abschließendes Gesamtbild vom Verhalten der 25 at-Lokomotiven geben zu wollen, wäre allerdings noch verfrüht, weil die Werkstofffrage zunächst noch einige Schwierigkeiten bereitet.

Wie sehen nun die Verbrauchszahlen aus? Abb. 1 stellt als Beispiel zunächst für 100 km/h den gemessenen, gewichtsmäßigen Dampfverbrauch für die Leistung am Zughaken dar. Eine Bezugnahme auf die Geschwindigkeit ist besonders deshalb unerlässlich, weil der Eigenverbrauch der Lokomotive, also der Wirkungsgrad vom Kolben zum Zughaken, sehr stark von der Geschwindigkeit abhängt. Es können also im Rahmen einer kürzeren Abhandlung nur einige Beispiele gegeben werden. Dennoch bleiben die gewichtsmäßigen Zahlen von erheblicher Bedeutung, weil sie den Urmessungen — Gesamtdampfverbrauch und Zughakenleistung — unmittelbar entspringen, von denen die erstgenannte unter der bewährten Voraussetzung einer bestimmten größten Daueranstrengung des Kessels über die auf längere Zeit verfügbare Zughakenleistung und also die Fahrzeitenbestimmung entscheidet. Die Streuung des ganzen Verbrauchskurvenbündels, das im einzelnen hier nicht erörtert werden soll, ist gegeben durch die verschiedene thermische Güte der Lokomotive. Die Einzelkurve unterliegt dabei noch gewissen Toleranzen neben denen der Meßeinrichtungen, so z. B., ob die Fahrten im Sommer oder Winter, also mit etwas verändertem Luftwiderstand infolge der veränderten Luftdichte, oder mit mehr oder weniger eingelaufenem Triebwerk stattgefunden haben. Im übrigen steckt noch eine Unbestimmtheit des Vergleichs in dem je nach Druck und Überhitzung verschiedenen Wärmewert von 1 kg Dampf. An sich verbrauchen die besten bisherigen Schnellzuglokomotiven bei 100 km/h i. M. an Dampf für die Leistungseinheit am Zughaken rd. 9 kg/PSH(eff.) bei Volleistung. Die 25 at-Lokomotive Reihe 04 hat 7,6 und bei behelfsmäßig durch Verwendung von Rauchrohrein-sätzen sehr hoch getriebener Überhitzung 7 kg/PSH(eff.) erreicht.

Besser vergleichsfähig werden — bis auf die Toleranz des Indikators — die Verbrauchszahlen für die indizierte Leistung $d_i = \eta d_e$, Abb. 2, bei versuchsmäßig ermitteltem d_e ; denn hier haben wir den eigentlichen Arbeitsprozeß im Dampfzylinder vor uns; der starke Ein-

⁹⁾ Vgl. K. Imfeld, Z. VDI Bd. 70 (1926) S. 1565.

¹⁰⁾ Vgl. VDI-Nachr. Bd. 13 (1933) Nr. 11 S. 1; Fr. Witte, Ztg. Ver. Mitteleurop. Eisenb.-Verw. Bd. 73 (1933) S. 431.

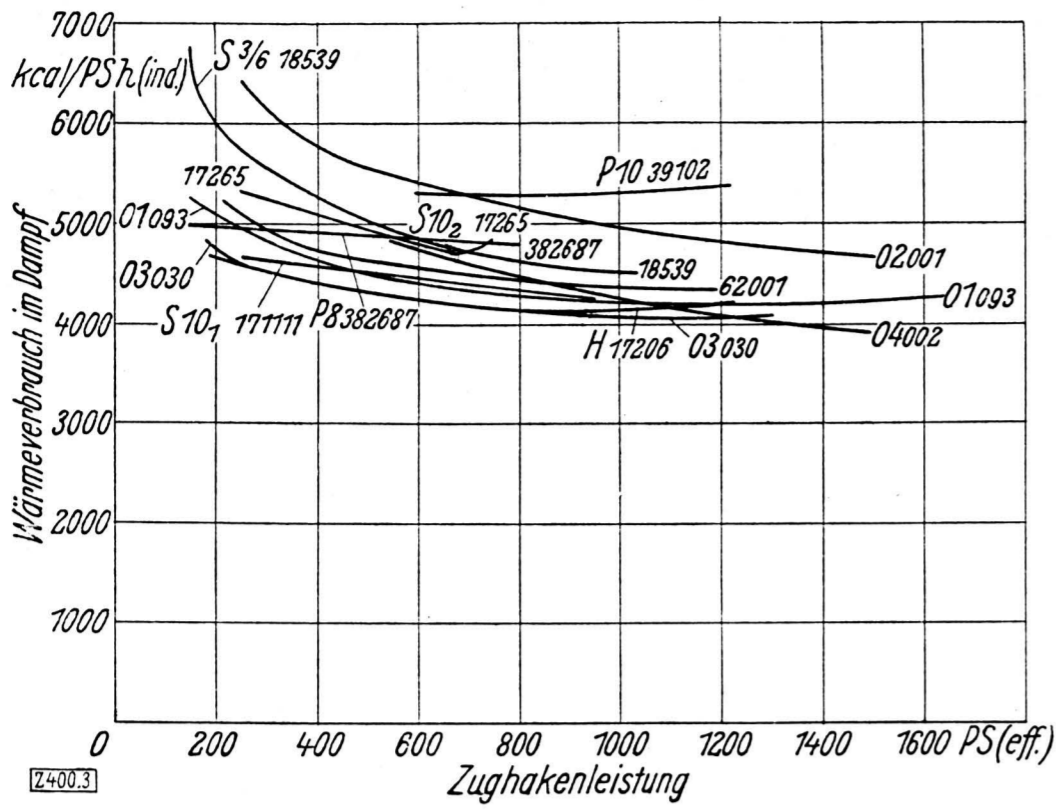
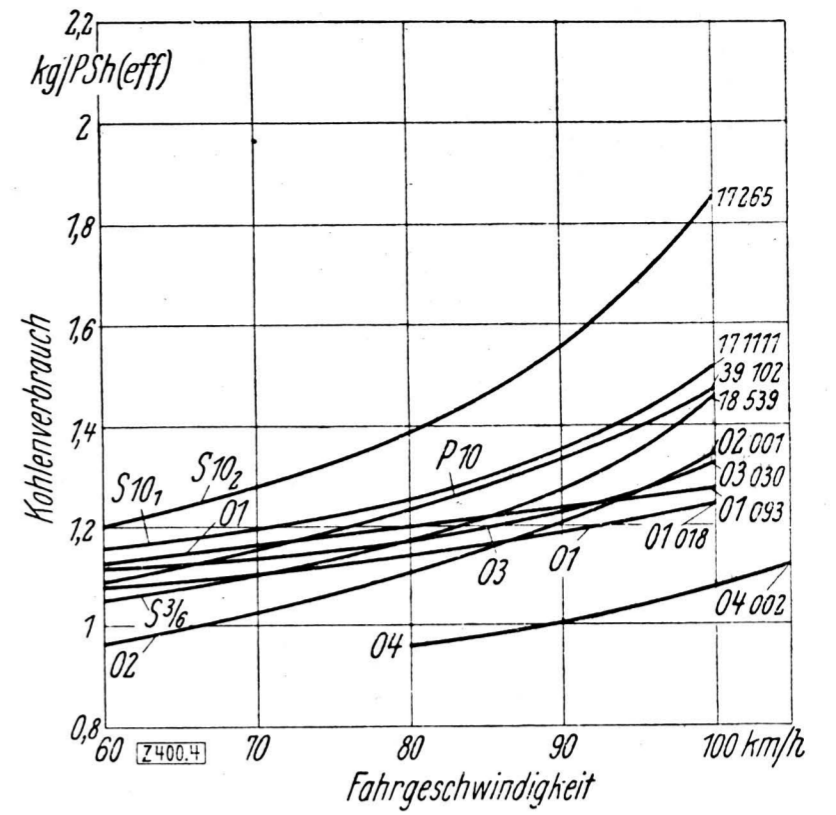


Abb. 3 (links)
Wärmeverbrauch im Dampf für die indizierte Leistung in kcal/PS h (ind.), abhängig von der Zughakenleistung. Der Wärmeverbrauch wird von der Vorwärmer-temperatur ab gerechnet. Fahrgeschwindigkeit 100 km/h.

Abb. 4 (rechts)
Kohlenverbrauch an der „Kesselgrenze“ (57 kg Dampf/m²h) in kg/PS h (eff.) (am Zughaken) für verschiedene Fahrgeschwindigkeiten.



fluß des mechanischen Gesamtwirkungsgrades ist fast ausgeschaltet. Dieser Einfluß ist letzten Endes der der Geschwindigkeit, und wenn er nicht ganz ausscheidet, so deshalb, weil der Drosselverlust durch die Steuerung mit der Geschwindigkeit zunimmt, der Undichtigkeitsverlust mit den kleineren Durchschnittsdampfdrücken bei großer Geschwindigkeit und also kleiner Füllung aber abnimmt, ebenso wie der unerwünschte Wärmeaustausch mit den Wandungen, weil die Zeit des einzelnen Kolbenhubes geringer ist. Diese Einflüsse haben verschiedene Vorzeichen und heben sich also zum Teil auf, mit der Wirkung, daß bis zu oft schon beträchtlichen Geschwindigkeiten der Wert d_i noch etwas fällt. Aber die Veränderlichkeit ist nicht übermäßig, und so kann man hier Verbrauchszahlen geben, die in ihrer Größenordnung für einen weiten Geschwindigkeitsbereich gelten. Abb. 2 zeigt, daß 6,1 bis 6,3 kg/PS h (ind.) die Bestwerte unserer Lokomotiven mit 16 at und bis rd. 400° darstellen. Die 25 at-Schnellzuglokomotive zeigte rd. 5,6 kg/PS h (ind.) bei rd. 410° und im Fall besonders gesteigerter Überhitzung nur 5,1 kg/PS h (ind.). Die schwere 1 E-Versuchslokomotive für Güterzüge mit 25 at, ebenfalls eine Vierzylinder-Verbundmaschine, hat es sogar auf 5 kg/PS h (ind.) gebracht. Freilich leiden auch diese Werte, eben als Gewichtswerte, noch etwas unter der Veränderlichkeit ihres Wärmewertes mit der Dampftemperatur. Man kann deshalb den gewichtsmäßigen Dampfverbrauch durch Verbindung mit dem Wärmewert jedes kg Dampf bei der durch Messung bekannten Heißdampftemperatur in kcal/PS h (eff.) als einen eindeutigen, unmittelbar mit der Wärmemenge aus der Kohle vergleichbaren Wert umrechnen. Hier erreichen nun die neueren Lokomotiven, übrigens auch die gute alte S 10₁-Lokomotive, einen Verbrauch zwischen 6500 und 6000 kcal/PS h (eff.), wohlgernekt bei 100 km/h; nur die 01-Lokomotive sinkt noch ein wenig darunter, während die 25 at-Lokomotive 5500 kcal/PS h (eff.) unterschreitet. Sie liegt dabei schon günstiger als die 60 at-Hochdrucklokomotive (Zweidrucklokomotive Schmidt-Henschel)¹¹⁾ in ihrer Erstlingsform, die, wie zuzugeben ist, durch Umbau aus der nicht günstigen Urform der S 10₂-Lokomotive entstanden war und bei Volleistung durch die noch unvollkommene Kesselabstimmung nur mit 50 % eigentlichem Hochdruckdampf arbeitete. Sie liegt weiterhin ebenso günstig wie die jetzt vor einem verbessernden Umbau stehende Turbinenlokomotive mit ihrem Beharrungsverbrauch, ein Zeichen, daß die verwickelte Turbinenlokomotive bisher einen zu kleinen, auch mit einer hochgezüchteten Regellokomotive erreichbaren Vorsprung vor den Einheitslokomotiven besaß, zumal wenn man bedenkt, daß manche notwendigen vom Beharrungszustand abweichenden Betriebsvorgänge sich wesentlich ungünstiger abspielten als bei der Regellokomotive.

Abb. 3 zeigt den Wärmeverbrauch im Dampf für die indizierte Leistung, und zwar von der Vorwärmer-Temperatur ab gerechnet, also unter Abzug der aus dem Abdampf dem Kessel zurückerstatteten Wärme. Der indizierte Wärmeverbrauch hat wieder den Vorteil, nur wenig von der Geschwindigkeit beeinflusst zu sein und also mehr allgemein gültige Werte zu ergeben, im Ge-

gensatz zu den durchaus geschwindigkeitsgebundenen kcal/PS h (eff.). Die besten Lokomotiven, darunter wieder die S 10₁, aber bei dieser Geschwindigkeit nicht mehr die große 02-Verbundlokomotive, unterschreiten 5400 kcal/PS h (ind.) zum Teil beträchtlich. Die 01-Lokomotive 01093 kommt auf 4200 kcal/PS h (ind.), eine der untersuchten 03-Lokomotiven (03030) liegt wegen wahrscheinlich etwas zu klein erhaltenem η (vgl. später) bei 4050 kcal/PS h (ind.), die andere (03001) ergab 4190 kcal/PS h (ind.). Die Hochdrucklokomotive H 17206 liegt mit 4150 kcal/PS h (ind.) kaum günstiger als die 01-Lokomotiven; die neuen Mitteldruck-Schnellzuglokomotiven bleiben mit 3900 kcal/PS h (ind.) unter allen übrigen. Die noch günstigere 25 at-Güterzuglokomotive, die wegen der abweichenden Geschwindigkeit in diese Abb. aber nicht hineinpaßt, kommt sogar auf 3610 kcal/PS h (ind.) herunter. Betrieblich wichtiger ist indes zunächst der beträchtliche Minderverbrauch der Einheitslokomotiven gegenüber den älteren Gattungen mit 12 und 14 at und niedrigerer Dampftemperatur. Der Verbrauch von 5000 kcal/PS h (ind.) wird hier von den P 8- und S 10₂-Lokomotiven nicht sehr unterschritten, von den P 10-Lokomotiven (nach unten hin) gar nicht erreicht.

Bei dem wirtschaftlich ausschlaggebenden Kohlenverbrauch in kg/PS h (eff.), in den also noch der Kesselwirkungsgrad eingeht, bleibt für 100 km/h der spezifische Wert meist etwas über 1,3 kg Kohle für 1 PS Zughakenleistung; nur derjenige der 01-Lokomotive liegt mit 1,27 kg/PS h etwas darunter. Die 25 at-Lokomotive 04 wies nur 1,05 kg/PS h auf, immer bezogen auf eine Normalkohle von $h_u = 7000$ kcal/kg unterem Heizwert. Übrigens erhalten, um den Anschluß an die Verbrauchszahlen ortfester Maschinen zu gewinnen — die Verbrauchszahlen für den Zughaken wären etwa den Schacht-PS der Fördermaschinen zu vergleichen —, die genannten Zahlen durch Multiplikation mit $\eta = 0,7$ für 100 km/h (vgl. später) ein anderes Gesicht, nämlich 0,9 bzw. 0,72 kg/PS h (ind.). Die dampftechnisch vorzügliche 25 at-Güterzuglokomotive sinkt sogar auf 0,67 kg/PS h (ind.) bei 60 km/h. Auch bei den 01- und 03-Schnellzuglokomotiven gibt es von 100 km/h und der Kesselgrenze abweichende Arbeitslagen, wo der Kohlenverbrauch der Beharrungsleistung unter 0,9 kg/PS h (ind.) noch etwas herabgeht (auf 0,87, bzw. 0,85 kg/PS h (ind.)).

Betrachten wir endlich den Kohlenverbrauch für den voll beanspruchten Kessel („Kesselgrenze“) in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, Abb. 4, so werden hier auch für die Zughakenleistung 1 kg/PS h stellenweise unterschritten, so bei 60 km/h von der 02 mit 0,97 kg/PS h, mit 0,94 kg/PS h bei 80 km/h von der „Mitteldruckschnellzuglokomotive“ (25 at) und mit sogar nur 0,84 kg/PS h bei der 25 at-Güterzug- und Personenzuglokomotive. Deutlich erkennt man das stärkere Steigen der Kurven für die Verbundlokomotiven, die sich zudem auch bei Überschreitung der 90 km/h etwas mehr aufbiegen — abgesehen von der wenig günstigen, weil in den Zylindern stark überbemessenen S 10₂-Lokomotive, die dasselbe auch als Lokomotive mit einfacher Dampfdehnung tut. Bei den kleineren Geschwindigkeiten sind die neueren Verbundmaschinen 02 und S 3/6 mit besserem

¹¹⁾ P. Wagner, Z. VDI Bd. 72 (1928) S. 1521.

Kesselwirkungsgrad sonst die besten der bisherigen Lokomotiven. Die beiden 01-Lokomotiven verschiedener Lieferungen unterscheiden sich teils infolge des etwas verschiedenen Kessels und der Zylinder, teils wohl auch durch die Meßtoleranzen etwas voneinander. Unerreicht günstig sind wieder die 25 at-Lokomotiven.

Es entstehen noch mehrere Fragen für die wärme-wirtschaftliche Weiterentwicklung der Regelbauart, so, ob man nicht bei der 25 at-Lokomotive mit der Überhitzung noch höher hinaufgehen soll, um bei der weitgetriebenen Dehnung in der Verbundlokomotive während des Auspuffs sicher noch nicht in das Gebiet der Dampf-nässe zu geraten, nachdem frühere Versuche die thermische Unbedenklichkeit noch überhitzten Auspuffdampfes ergeben haben¹²⁾. Weiter, ob, auch bei einfacher Dehnung, also aus dem Wunsche der Vermeidung der Verbundwirkung, ähnlich günstige Verbrauchszahlen schon mit niedrigeren Drücken, vielleicht 20 at, aber ebenfalls sehr hoher Überhitzung zu erhalten sind. Das hätte den Vorteil geringerer Mitteltemperatur im Zylinder (Kolbenringe) gegenüber derjenigen im Hochdruckzylinder einer Verbundmaschine und, bei den noch bestehenden Schwierigkeiten, auch den Vorteil geringerer Ansprüche an den Kesselbaustoff. Angesichts der Berichte¹³⁾ über die Verbrauchszahlen einiger neuer französischer Lokomotiven mit 20 at Kesseldruck verlockt dieser Weg sehr. Ein Vorwurf gegen die bei uns gleich gewagte höhere Drucksteigerung soll darin mit nichten liegen.

Mehrzylinder- und Verbundlokomotiven

Die beiden, übrigens teilweise verketteten Themen der Mehrzylinder- und Verbundlokomotiven gestatten trotz — oder vielleicht auch gerade wegen — weiterer Durchforschung keineswegs immer eine eindeutige Gebietsabgrenzung zwischen Zwei- und Mehrzylinderanordnung oder einfacher und doppelter Dampfdehnung.

An mehr als zwei Zylinder wird man denken, wenn die Zugkraft so groß wird, daß man glaubt, den gesamten Kolbendruck mit nur zwei Treibzapfen nicht mehr aufnehmen zu können. Und bei sehr hohen Drehzahlen wird man geneigt sein, bei einem Zweizylindertriebwerk zu starke „störende Bewegungen“ voraussetzen, also nicht mehr genügend ruhigen Lauf, zu starke Erzitterungen der Lokomotive, und sich also zu einem wesentlich ausgeglichenen, praktisch zuckfreien Triebwerk mit drei Kurbeln unter 120° oder vier Kurbeln unter 90° veranlaßt glauben.

Die erste Grenzbedingung liegt, für sich betrachtet, zweifellos sehr hoch, wie die großen, einem Reibungsgewicht von 95 bis 98 t zugeordneten Zugkräfte der Zweizylinderlokomotiven der Baureihen 95 (T 20) und 43 beweisen. Die Kolben- und also waagerechten Zapfendrucke der großen Zylinder von 700 und 720 mm erreichen hier bei 14 at Dampfdruck die Größe von 53 bis 56 t. Die Zweizylinderbauform ist in Gestalt der Reihe 43 der dreizylindrigen, zunächst in gleicher Anzahl beschafften Reihe 44 bei der zweiten Beschaffung vorgezogen worden; sie ist einfacher und dabei im Dampfverbrauch etwas sparsamer. Dennoch können die Zuckbewegungen des schweren Einzelgestänges in manchen Fällen zur Bevorzugung der mehrzylindrigen Form führen. Ein Beispiel dafür ist die neue Höllentalbahn-Lokomotive, Reihe 85¹⁴⁾. Hier hatte die Aufgabe dahin gelautet, für eine Steilrampe, bisher Zahnradbahn, eine vorwiegend im Reiseverkehr verwendete Lokomotive großer Zugkraft zu schaffen. Die Beförderung sollte für einen hochwertigen Touristenverkehr mit dem Wettbewerb des Kraftwagens häufig neben dem Gleis recht angenehm gestaltet werden, und dazu wollte man auch vermeiden, daß Zuckbewegungen sich in die ersten Wagen fortpflanzen und dem Reisenden als unerwünschte kleine rhythmische Zusatzbewegungen zum Bewußtsein kamen. Vorgegangen war noch eine Untersuchung der Tangentialdruckdiagramme für Zwei- und Dreizylindertriebwerke in An-

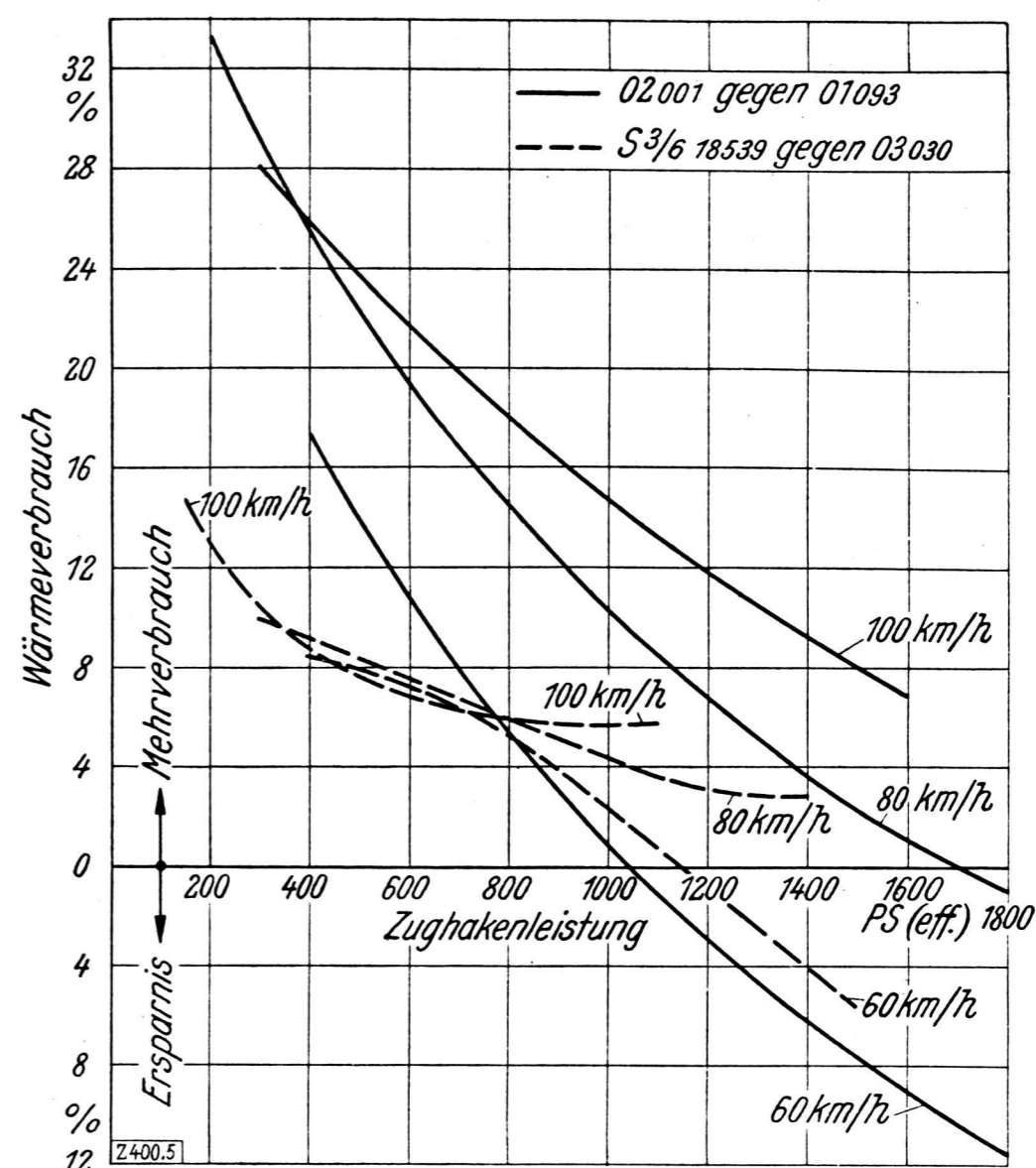


Abb. 5. Unterschiede im Wärmeverbrauch für die PSh (eff.) von Verbundlokomotiven 02 bzw. S^{3/6} und Zwillingslokomotiven 01 bzw. 03 bei verschiedenen Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Zughakenleistung.

lehnung an die wirklichen Dampfdiagramme der Reihen 43 (Zwilling) und 44 (Drilling) sowie auch für das erste Anziehen. Die größere Gleichmäßigkeit, also die etwas größere Durchschnittszugkraft bei gleichen, Schleudern in demselben Maße noch verhütenden Größtwerten der Zugkraft führte dann gleich der ersten Bedingung zum Dreizylindertriebwerk. Die Versuche mit der fertigen Lokomotive haben die Erwartungen voll gerechtfertigt; der Lauf der Dreizylinderlokomotive befriedigt außerordentlich. Auch die mit dem gleichen Meßwagen aufgenommenen Schaulinien zeigen die nur geringfügig schwankende Zugkraft gegen die stark pendelnde der T 20. Der spezifische Dampfverbrauch der Dreizylinderlokomotive ist nur wenig höher, der Leistungsverlust für gleiche Kesselanstrengung so klein, daß er durch eine geringe zulässige Erhöhung der Verdampfung ausgleichbar ist, die Höchstzugkraft infolge des höheren Reibungsgewichts und der gleichmäßigen Umfangskraft fühlbar höher.

Und nun ein anderes Bild: Die zweizylindrige 03-Lokomotive war zunächst für 120 km/h Höchstgeschwindigkeit bestimmt, und es entsprach zunächst auch dem Gefühl, daß hier etwa, entsprechend 320 U/min, die Geschwindigkeitsgrenze nicht voll ausgeglichener Triebwerke läge. Für höhere Drehzahlen würde ein Drei- oder Vierzylindertriebwerk nicht zu vermeiden sein, wenn man einen nicht mehr angenehmen Aufenthalt auf der Lokomotive und eine schnellere Ausbesserungsbedürftigkeit durch die quadratisch wachsenden Zuckbeschleunigungen verhüten wollte. Wie die weiter unten behandelten Schnellfahrten nach Hamburg gezeigt haben, läuft aber die sorgfältig gepflegte, vor allem gegen Lagerspielraum geschützte 03-Lokomotive bei 140 km/h noch recht gut.

So ist also in einem Falle schon für kleine Geschwindigkeiten das Zweizylindertriebwerk, allerdings für sehr große Zugkräfte und also schwere Einzeltriebwerke verlassen worden, während andererseits das zweizylindrige Triebwerk sich für hohe Geschwindigkeiten bei kleineren Zugkräften an sich freilich schwerer Lokomotiven als viel besser geeignet erwiesen hat, als man früher glaubte. Der Trennungsstrich, zwei oder mehr Zylinder, ist also eigentlich unsicherer geworden, was freilich unter Umständen auch die Entscheidung über die Bauart durch Fortfall vermeintlich notwendiger Rücksichten erleichtern kann.

Die Verbundwirkung steht insofern mit der Mehrzylinderfrage in einer gewissen Verkettung, als

¹²⁾ H. Nordmann, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. Bd. 67 (1930) S. 241.

¹³⁾ Vgl. u. a. M. A. Parmantier, Rev. gén. Chem. de Fer Bd. 51 (1932) 2. Teil S. 187

¹⁴⁾ Vgl. E. Wohllebe, Z. VDI Bd. 77 (1933) S. 904.

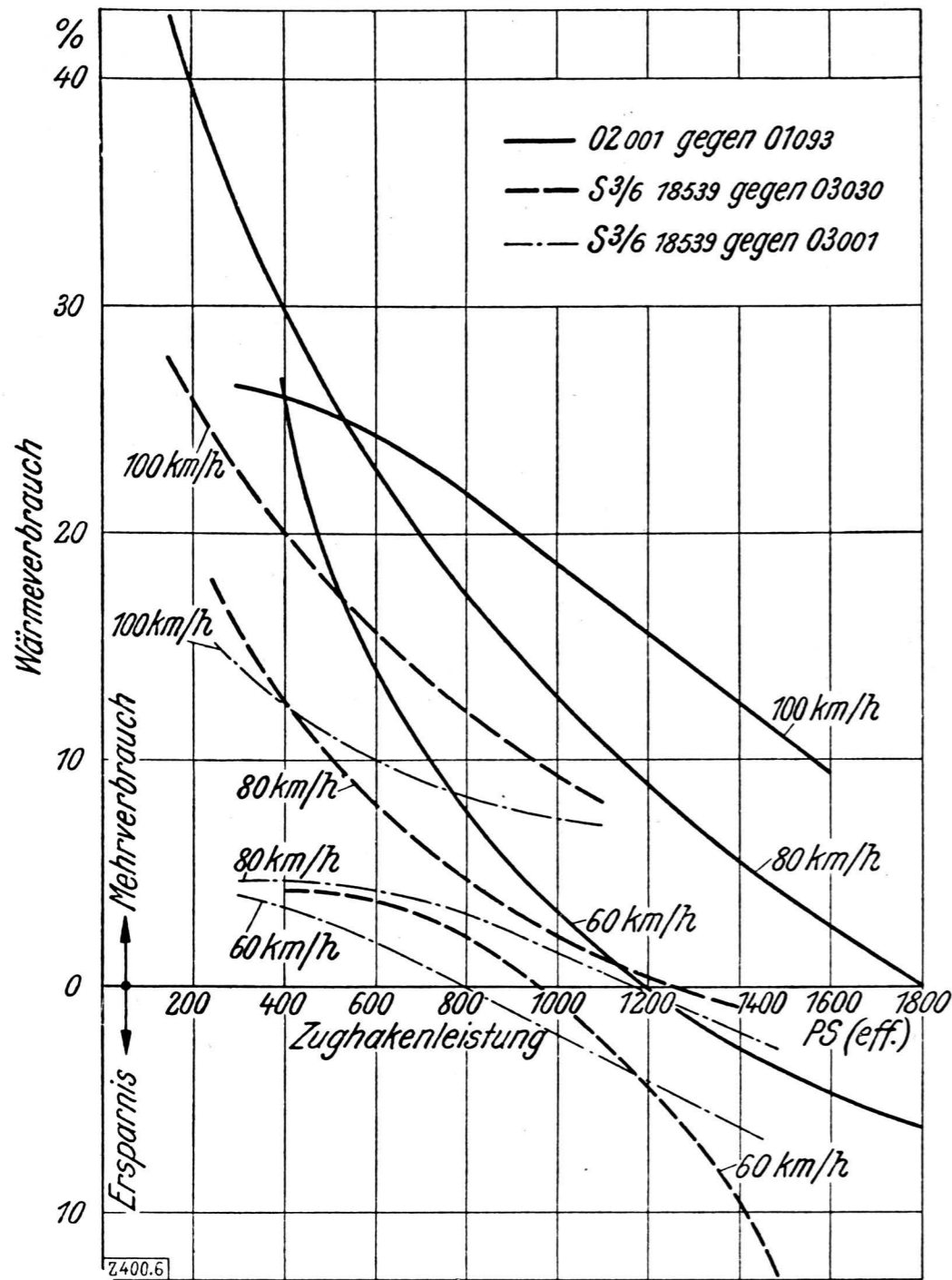


Abb. 6. Unterschiede im Wärmeverbrauch für die PSh (ind.) von Verbundlokomotiven und Zwillingslokomotiven 01 bzw. 03, 02 bzw. S^{3/6} bei verschiedenen Geschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Zughakenleistung.

Die Kurven zeigen den prozentualen Mehr- oder Minderverbrauch an Wärme in kcal/PSh (ind.).

man mit seltenen Ausnahmen beim Heißdampf an eine zweizylindrige Verbundlokomotive nicht mehr denkt. Eine solche Ausnahme kann nur in Betracht kommen bei leichten Lokomotiven mit stark erhöhtem Kessel- druck, z. B. 25 at, wo eine befriedigende Möglichkeit genügender Abspannung des hohen Drucks bei einfacher Dehnung nicht mehr vorliegt, während die kleine Leistung ein Vierzylindertriebwerk noch nicht rechtfertigt. Dagegen tritt der Verbundgedanke sogleich hervor, wenn man bei größeren Leistungen und Geschwindigkeiten sich, sei es zur Kleinhaltung der Zapfendrucke, sei es für einen besonders ruhigen Lauf, einem Mehrzylinder- triebwerk zuwendet. Hier liegen nun wichtige neue Erkennt- nisse vor.

Die Verbundwirkung würde in einer theoretisch voll- kommenen Maschine keinerlei Wärmeersparnis bringen; aber bei wirklichen Naßdampfmaschinen ließen sich die Abkühlungsverluste, namentlich die Eintrittskonden- sation, sehr stark herunterziehen, und ebenso nahmen Undichtigkeits- und Wärmeübergangsverluste durch die Wandungen unter Umgehung des Arbeitskolbens ab, wenn das Druck- und Temperaturgefälle durch zwei hintereinander geschaltete Zylinder aufgeteilt wurde. Die damit gegebene Ersparnis war, wenn auch in der Höhe schwankend, bei jeder Arbeitslage vorhanden. Die Übertragung der Verbundwirkung auf hoch über- hitzten Dampf mußte zu einer starken Verminderung der Ersparnis führen, da dieser eine Eintrittskondensation nicht mehr kennt. Aber eine Ersparnis an sich wurde zunächst noch immer über das ganze Arbeitsgebiet an- genommen. Die Erkenntnis, daß dem nicht so ist, ergab sich zum ersten Mal durch etwa fünf Jahre zurück- liegende Versuche für die beiden Spielarten der Einheits- Schnellzuglokomotive 01 und 02 bei 80 km/h. Bis zu mitt- leren Leistungen herauf war die Zwillingslokomotive sparsamer, und erst bei hohen Leistungen stieg die Er- sparnis der Verbundmaschine auf den mäßigen Betrag von 3,5 %. Die Frage blieb offen, wie sich die Erschei- nung bei anderen, in der Wirklichkeit oft vorkommenden Geschwindigkeiten, z. B. bei 60 und 100 km/h abspielte. Andere zwingende Versuche traten indes dazwischen, und erst in der letzten Zeit gestattete die nochmalige Unter-

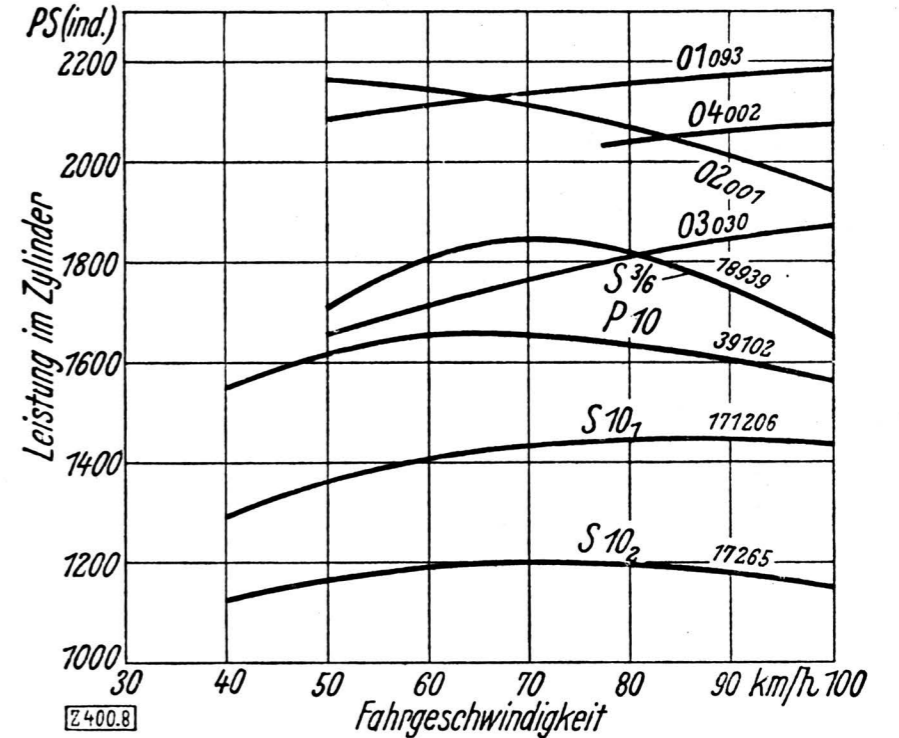
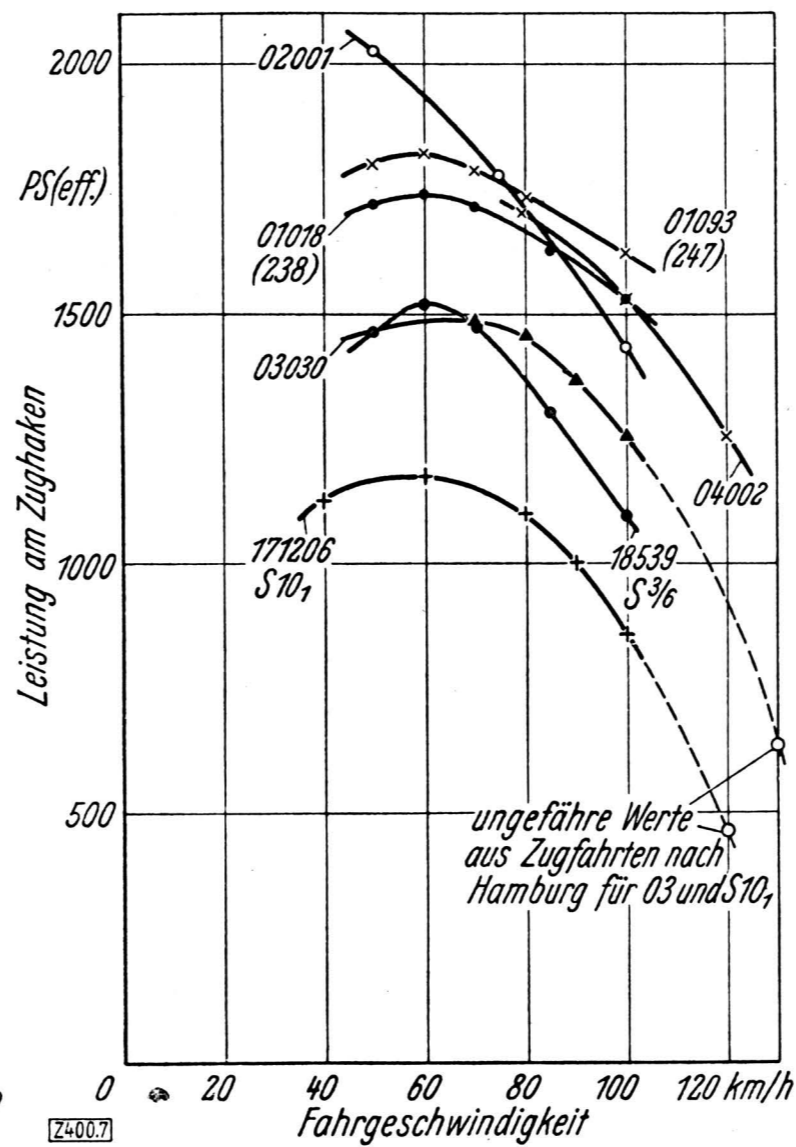


Abb. 8. Leistung im Zylinder in PS (ind.) bei voller Kesselanstrengung für verschiedene Fahrge- schwindigkeiten.

Abb. 7 (links). Zughakenleistung in PS (eff.) verschiedener Schnellzug- lokomotiven bei voller Kesselan- strengung (57 kg Dampf/m²h) für ver- schiedene Fahrgeschwindigkeiten.

suchung der 02-Lokomotive über ihr ganzes Leistungs- und Geschwindigkeitsgebiet im Vergleich zu der gleich- falls gründlich bekannten 01 eine erschöpfende Antwort. Ja, daneben liegt in Gestalt der eingehenden Kenntnis der etwas leichteren Zweizylinder-Einheitslokomotive Reihe 03 und der in der Kesselgröße fast genau damit übereinstimmenden Vierzylinder-Verbundlokomotive S 3/6 eine zweite Vergleichsmöglichkeit zwischen der thermi- schen Güte einfacher und doppelter Dampfdehnung vor.

In der Tat tritt nun zu dem Einfluß der Leistung auf die positive oder negative Ersparnis der Verbundwirkung noch der der Geschwindigkeit hinzu. Betrachten wir zu- nächst wieder die (neueren) 01- und 02-Lokomotiven, Abb. 5, die ja sonst außerordentlich ähnlich sind, und wo- bei die kleinen Verschiedenheiten des Kessels durch Wie- dergabe der Dampf-Verbrauchszahlen in kcal/PSh (eff.) ausgeschaltet, diese also in reinem Wärmewert aus- gedrückt sind, so bleibt bei 60 km/h ein Gebiet wirt- schaftlicher Überlegenheit der Verbundmaschine oberhalb 1050 PS (eff.) oder einem Äquivalentwert von 1200 PS (ind.). Bei den kleineren Leistungen zeigt sich dagegen ein Mehrverbrauch bis zu etwa 20 %, wenn man von den kleinen, im Mißverhältnis zu der Größe der Lokomotive stehenden Leistungen absieht. Bei 80 km/h endet das Gebiet des Mehrverbrauchs bei 1700 PS (eff.), also bereits bei „Kesselgrenze“, und bei 100 km/h ist die Verbund- maschine durchweg erheblich ungünstiger.

Nicht anders sieht es grundsätzlich zwischen der 03- und S 3/6-Lokomotive aus, bei denen die Heizflächen und Dampfspannungen übereinstimmen, die etwas verschie- dene, bei der S 3/6 um 20 bis 25 ° kleinere Überhitzung aber wieder der Anlaß ist, den Energieverbrauch als reinen Wärmewert in kcal/PSh (eff.) auszudrücken. Auch hier gibt es also bei 60 km/h Zonen, in denen eine wirt- schaftliche Überlegenheit noch besteht, nämlich oberhalb 1150 PS (eff.), sonst treten nennenswerte Mehrverbräuche bei kleinen Leistungen auf. Bei den PS (eff.) fehlt der Verbundmaschine sogar schon bei 80 km/h die Fähigkeit, die Verbrauchswerte der Zwillingslokomotive noch zu er- reichen. Eine Betrachtung der indizierten Verbrauchs- werte, Abb. 6, worin neben der 03030 auch eine zweite 03-Lokomotive herangezogen ist, ändert das Bild nur wenig, insofern bei 80 km/h noch eine geringfügige Besser- stellung der leichteren Verbundmaschine an der Kessel- grenze erreicht wird. Die Unterschiede bei 100 km/h sind aber durchweg zu groß, um sie durch Angleichung der Überhitzung zu überbrücken. Der zum Teil etwas eigen- artige Verlauf der Kurven dürfte auf die Meßtoleranzen zurückgehen.

Untersucht man die Verhältnisse im i-S-Diagramm, so zeigt sich die eigenartige Erscheinung, daß die Unter- stufe des Wärmegefälles, der Auspuffpunkt i_2 , bei kleinen Leistungen bei Zwillings- und Verbundmaschine etwa

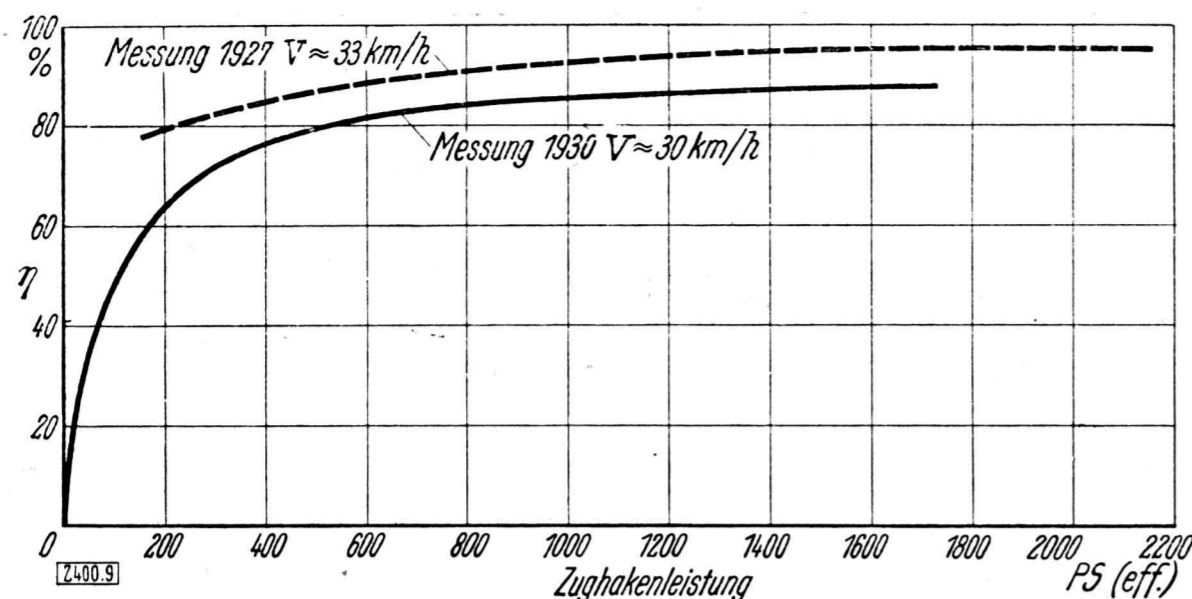


Abb. 9. Mechanischer Wirkungsgrad η bei kleiner Fahrgeschwindigkeit einer 1 E-Güterzuglokomotive 43001.

Die untere genauere Kurve ist das Ergebnis der neueren Indizieretechnik. Die Zughakenleistung bezieht sich auf waagerechte Strecken.

übereinstimmt. Mit zunehmender Leistung wird dann der Auspuffdampf der Zwillingslokomotive immer hochwertiger; der Wärmewert i_2 des Auspuffdampfes der Verbundmaschine steigt zwar auch, aber langsamer. Bei irgendeiner bestimmten Geschwindigkeit steigt also der Wärmeverlust durch den Auspuffdampf bei der Zwillingslokomotive stärker mit der Leistung, so daß damit unter Umständen noch eine Überlegenheit der Verbundmaschine zustande kommt. Das ist freilich noch keine endgültige Erklärung, denn weshalb es so ist, ist nicht ersichtlich, aber es ist doch schon eine anschauliche Darstellung der Tatsachen.

Der Befund lautet also dahin, daß es wenigstens bei den größeren Lokomotiven mit 16 at nur bei mittleren Geschwindigkeiten eine mehr oder weniger schmale Zone günstigeren Dampfverbrauchs bei den höheren Leistungen gibt, die bei großen Geschwindigkeiten ganz verschwindet. Im Betriebsdurchschnitt ist also die Zwillingslokomotive durchweg günstiger, zumal, wenn man die großen Geschwindigkeiten betont, auf die ja das ausgeglichene Vierzylindertriebwerk hinweist. Eine Verbesserung wäre nur in Richtung einer derartigen Durchbildung des Zylindersystems möglich, daß dem Dampf durchweg schlanke Wege mit recht großen Strömungsquerschnitten geboten werden.

Das äußert sich denn auch in den Leistungscharakteristiken — $N_e = f(V)$ oder $N_i = \varphi(V)$ — für eine bestimmte Daueranstrengung des Kessels, Abb. 7 und 8. Immer gehört der Leistungsscheitel der großen Verbundmaschinen mit 16 at einer kleineren „günstigsten“ Geschwindigkeit (also der für N_{max}) an; die Leistungskurven fallen eher und haben dann über der gleichen Geschwindigkeitsabszisse erheblich weniger PS als die vergleichbare Zwillingslokomotive. Bei der N_e -Kurve für die Zughakenleistung kommt z. B. bei der 02-Lokomotive ein Scheitel gar nicht mehr zustande, die Kurve fällt schon in statu nascendi, denn 50 km/h ist hier auch die Reibungsgeschwindigkeit. Wählt man N_i als richtigere, den Zylinderprozeß wiedergebende Größe, Abb. 8, so zeigen die 02- und S 3/6-Lokomotiven günstigste Geschwindigkeiten von nur 50 und 70 km/h, während die der Zwillingslokomotiven 01 und 03 offensichtlich noch jenseits 100 km/h liegen.

Man muß daher — vielleicht nicht ohne Bedauern — feststellen, daß die altvertraute Anschauung, die Vierzylinderverbundmaschine sei in jedem Falle das Ideal einer Dampfschnellzuglokomotive, nicht zu Recht besteht. Rein mechanisch ist sie gewiß mit ihrem ausgeglichenen Triebwerk ein ausgezeichnetes Läufer, aber dampftechnisch gelingt es bei hohen Geschwindigkeiten nicht mehr so gut, den Dampf mit gleicher Arbeitsleistung wie bei einfacher Dehnung durch die hintereinandergeschalteten Zylinder zu treiben. Die größere Zahl der Drosselstellen verlangt einen Ausgleich durch Abmessungen aller Kanäle über das relative Maß der Zwillingslokomotive hinaus und daneben schlanke Führung des Dampfstromes, Bedingungen, die bei den Zylinderblöcken unserer großen Ma-

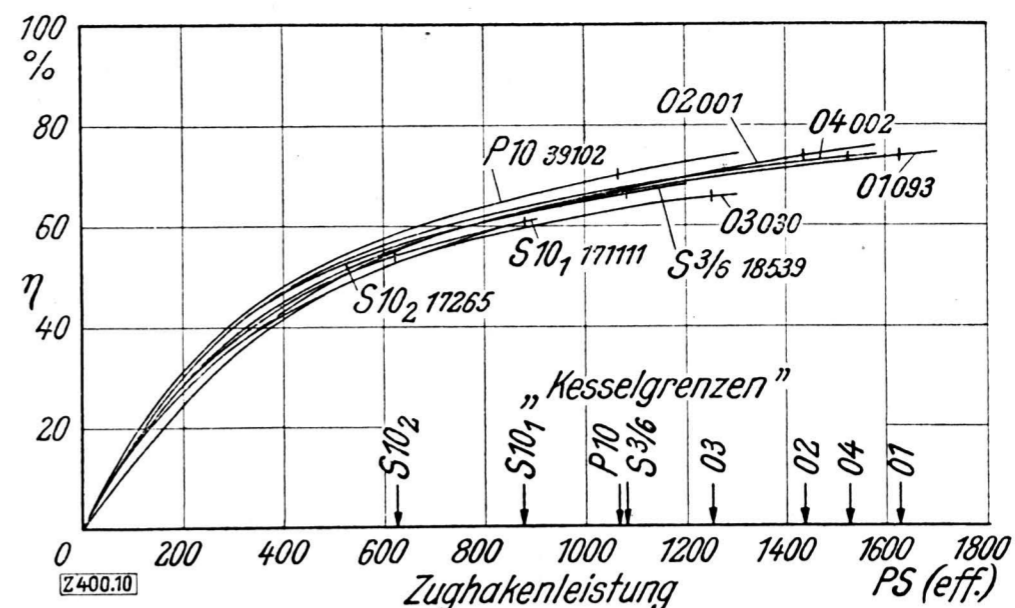


Abb. 10. Mechanischer Wirkungsgrad η für 100 km/h Fahrgeschwindigkeit bei verschiedenen Schnellzuglokomotiven.

Die Zughakenleistung bezieht sich auf waagerechte Strecken.

schinen im verfügbaren Raum nicht leicht möglich sind. Das günstigere Verhalten der alten S 10₁-Lokomotive beruht ganz offenbar darauf, daß in dem verfügbaren Blockraum nur kleinere Zylinder im engeren Sinne unterzubringen waren, die relativ weitere und schlankere Kanäle gestatten. Und vor allem beruht hierauf der Umstand, daß auch die größere 04-Lokomotive ihre günstigste Geschwindigkeit bei reichlich 100 km/h hat, weil nämlich bei dem hohen Dampfdruck von 25 at die Zylinder gleichwohl verhältnismäßig klein sind. Aber für höhere Drehzahlen, also für künftige Schnellfahrlokomotiven, wird man sehr ernstlich daran denken müssen, daß an sich der Durchtrieb des Dampfes durch die Arbeitszylinder bei einfacher Dehnung vorteilhafter erfolgt; ein ausgeglichenes Triebwerk mit drei oder vier Zylindern ist ja gleichwohl möglich¹⁵). Eine Verbundmaschine würde man sonst u. U. gerade dann beeinträchtigen, wenn sie mit der hohen Geschwindigkeit, die im Produkt von Zugwiderstand und Geschwindigkeit auftritt, die hohe Leistung am nötigsten hat. Dagegen kann eine Güterzug-Verbundmaschine für den Betrieb langer Rampen vorteilhaft sein, weil die große Leistung, die immer die Bedingung einer Kohlenersparnis der Verbundlokomotive ist, hier durch die große Zugkraft in Verbindung mit einer mäßigen Geschwindigkeit gegeben ist. Die einfache Dampfdehnung gibt aber nicht nur in den meisten Fällen die sparsamere, sondern in jedem Fall die elastischere Maschine.

Der Wirkungsgrad

Der mechanische Wirkungsgrad $\eta = \text{Zughakenleistung} : \text{Zylinderleistung}$ würde an sich nach den Darlegungen des Verfassers¹⁶) kaum neuer Ausführungen bedürfen, wenn es nur auf eine Charakterisierung seines Verlaufs ankäme. Bei kleinen Geschwindigkeiten ist η , über der Zughakenleistung aufgetragen, eine Kurve mit deutlichem Knie, ähnlich einer Magnetisierungskurve, Abb. 9, bei großen Geschwindigkeiten mit erheblichem Luftwiderstand ist das Knie weniger ausgeprägt und geht mehr in einen flachen Bogen über, Abb. 10. Zu erwähnen ist in Abb. 9 der Erfolg der neueren Indizieretechnik gegen die ältere, also die Verkleinerung des Indikatorfehlers: es kam ja schon früher zur Sprache¹⁶), daß $\eta = 0,95$ für eine fünffach gekuppelte Güterzuglokomotive unwahrscheinlich sei, und der neue Endwert von 0,88 ist denn auch eine einleuchtende Bestätigung dieses Gefühls. In Abb. 10 fällt für 100 km/h die gute Deckung der meisten Lokomotiven auf. Wenn gerade die vierfachgekuppelte P 10 mit den kleinsten Rädern zu oberst liegt, so ist das in dem Umstand begründet, daß sie noch vor der Vervollkommnung der Indizierung untersucht ist; die ältere Meßart mit größeren trägeren Massen und sich längender Schnur ergab bei großen Drehzahlen etwas zu große η -Werte. Die 03-Lokomotive 03030 liegt etwas unter dem Bündel, dagegen deckt sich die 03001

¹⁵) Die Wahl für den endgültigen Entwurf einer Schnellfahrlokomotive ist inzwischen auf die Dreizylinderanordnung gefallen.

¹⁶) H. Nordmann, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. Bd. 67 (1930)S. 245.

(in Abb. 10 nicht eingezeichnet) mit dem dichten Kurvenbündel. Da bei 60 km/h die η -Kurven der 03030 und 03001 sich völlig, bei 80 km/h und großen Leistungen ebenfalls fast ganz decken, ist die mäßige Abweichung der 03030 bei 100 km/h wohl zufällig, da ja sonst kein Grund vorliegt, weshalb sie sich ungünstig von den übrigen, gleichfalls dreigekuppelten Schnellzuglokomotiven unterscheiden sollte. Wenn die S 3/6 und 04002 trotz ihres vierzylindrigen Triebwerks nicht schlechter liegen als die Zwillinglokomotiven, so bietet sich in der geringeren Kompression wegen der größeren Füllungen der einzelnen Zylinder eine Erklärung dar. Im übrigen ist festzustellen, daß, je höher die Leistung für die übliche Vollaustrengung des Kessels liegt, desto größer auch der zugehörige η -Wert ist; wegen Ausfüllung der Umgrenzungslinie macht sich der nahezu gleiche Luftwiderstand bei den größeren Maschinen weniger bemerkbar. Er liegt übrigens, wenn man von der zweifellos etwas zu tiefen Lage der Kurven für die Lokomotive 03030 absieht, für die größeren Lokomotiven bei 100 km/h zwischen 67 % und 74 %, so daß man sich als runden Mittelwert 70 % merken kann.

Hervorgehoben sei, daß bei der Mitteldrucklokomotive 04 zum ersten Mal mit der Bremslokomotive die Leistungsreihe für 120 km/h planmäßig durchgeführt worden ist; auch die nun noch flacher gestreckte η -Kurve wurde hierbei gewonnen und für sie ein Wert von 0,61 bei voller Kesselanstrengung festgestellt. Bei dieser Geschwindigkeit — oder eigentlich der zugehörigen Drehzahl, aber die verglichenen Schnellzuglokomotiven haben bis auf eine Ausnahme denselben Raddurchmesser von 2000 mm — scheint die Grenze einer leidlich sicheren Indizierung zu liegen; Versuche, bei den Schnellfahrten mit der 03-Lokomotive bei 135 km/h systematisch zu indizieren, scheiterten bisher am häufigen Reißen der dünnen Stahlseile (an Stelle der früheren Schnur).

Nach einem Annäherungsverfahren wurden noch in Abb. 11 für die S 10₁ und die 03-Lokomotive, bei 120 km/h bzw. 130 km/h η -Werte von rd. $\frac{1}{3}$ vermutet; und die Werte für hohe Geschwindigkeiten sind es gerade, die angesichts des heutigen Strebens nach Fahrzeitverkürzung zur Erörterung des Wirkungsgrades in dem der Lokomotive eigentümlichen Sinne anregen. Die Schnellfahrten mit der S 10₁-Lokomotive, die auch zeitweise bis 140 km/h mit 3-D-Zugwagen hinaufgingen, sind allerdings mit höheren Kesselbeanspruchungen und also größerem η gefahren. Die an die Lokomotive 03030 angelehnte Ermittlung ist durch die kürzlich eingegangenen Meßergebnisse der Schnellfahrten etwas überholt, die schon bei erheblich kleinerer Kesselanstrengung (< 57 kg/m²h) die in Abb. 7 vermutete Leistung ergeben; das η der 03-Lokomotive an der „Kesselgrenze“ erscheint danach etwas höher. Dieser Fall wird weiter unten noch behandelt; eine gewisse Vorsicht im Urteil ist dadurch bedingt, daß ein reiner Beharrungszustand

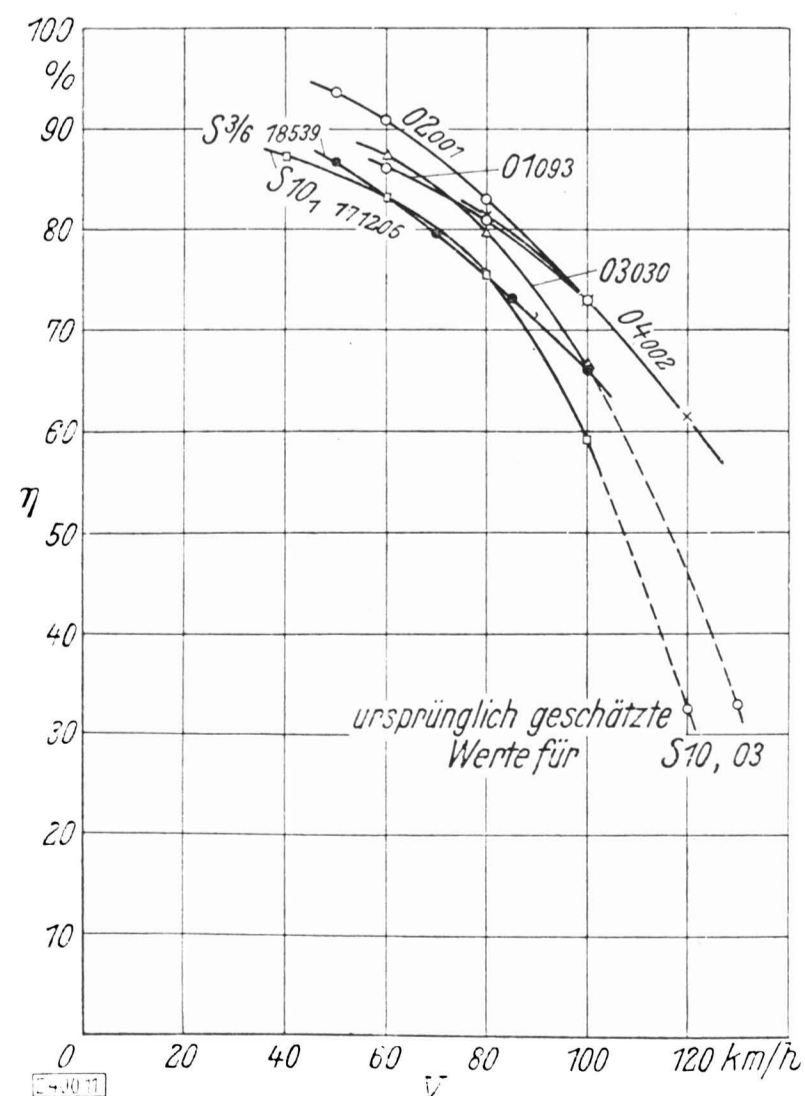


Abb. 11
Mechanischer Wirkungsgrad η an der „Kesselgrenze“ abhängig von der Fahr- geschwindigkeit V.

durch verschiedene Umstände (verringerte Höchstgeschwindigkeit im Vorortgebiet und durch Bahnhof Wittenberge, Baustellen) nicht mehr vorlag, wohl auch auf Strecken derartiger Länge (287 km) kaum einmal vorkommen wird. Aber beträgt der Wirkungsgrad bei 130 km/h auch 0,40 oder selbst 0,45 — die wirkliche Bestimmung wird erst nach Gelingen hochtouriger Indizierungen möglich — so erscheinen solche Werte doch auf den ersten Blick recht gering.

Man muß freilich eins gleich bemerken: Bei hohen Geschwindigkeiten und also großem Luftwiderstand kann man Lokomotive und Wagenzug nicht mehr so scharf trennen. Man darf nicht vergessen, daß ja die Lokomotive dem Zuge den eigentlichen Stirnwiderstand wegfängt und nur infolge dieser Deckung die Stahl-D-Wagen, von Sog abgesehen, die kleine Äquivalentfläche von rd. 1,5 m² gegen etwa 12 bis 14 m² der Lokomotive haben¹⁷⁾. Man sollte daher hier lieber, um nicht ungerecht gegen die Lokomotive zu sein, verkehrswirtschaftlich mit dem Begriff PS für den angebotenen Platz rechnen.

Aber das entbindet nicht von dem Streben, das an sich logisch richtig definierte η zu verbessern. Und hier liegt die neue Gedankenrichtung, die äußere Gestalt der Lokomotive für hohe Geschwindigkeiten der Stromlinienform anzunähern. Ein sehr ernstlicher Anlauf dazu wurde von Borsig beim Entwurf der 150 km/h-Lokomotive gemacht, und zwar unter Stützung auf Modellversuche, allerdings in dem kleinen Maßstab 1 : 33 $\frac{1}{3}$, den der Windkanal der Technischen Hochschule Berlin leider nur ermöglichte. Infolge der kleinen Modellausführung waren die zur turbulenten Luftströmung um die Lokomotive beitragenden Bauteile, wie das Triebwerk, die Pumpen u. dgl. nicht mehr recht ausführbar und jedenfalls weggelassen. Die Versuche mit Modellen 1 : 20, die in musterhafter Ausführung von Borsig bezogen wurden, und die nun alle Anbauten im strömungstechnischen Sinne, selbst Fensterkappen, Laternen, Druckausgleicher usw. aufwiesen, wurden deshalb im Frühjahr 1933 als Reichsbahnversuche im großen Göttinger Windkanal wiederholt. Wir haben mit den drei Geschwindigkeiten 30, 40 und 50 m/s geblasen, um durch je drei Punkte eine — annähernd parabolische — Kurve für den Luftwiderstand als Funktion der Geschwindigkeit legen zu können. Sie erscheinen mir so aufschlußreich und wichtig, daß ich sie einer besonderen Veröffentlichung vorbehalten möchte. Es sei aber kurz erwähnt, daß im Luftwiderstand zu oberst natürlich das Gebiet der Regellokomotive mit kleinen Varianten liegt, wie gewöhnliche oder halbkuglige (ellipsoidische) Rauchkammertür, gerades oder zugeschärftes Führerhaus. Wesentlich tiefer liegt die verkleidete Lokomotive, noch immer mit hinterem Führerhaus, aber vorderer, an den Schnelltriebwagen erinnernder Stromlinienform, durch große oder kleine Schürze verdecktem Triebwerk usw. Die tiefste Lage endlich hat die umgekehrte, völlig eingekapselte Tenderlokomotive. Bei 150 km/h ist der Leistungsunterschied der beiden extremen Formen durch den Luftwiderstand bei Windstille schon 570 PS, so daß sich selbst durch die Mittelformen schon beträchtliche Ersparnisse ergeben. Im Zusammenhang damit wurden noch durch besondere Versuche die günstigste Form der Windleitbleche für große Geschwindigkeiten ermittelt; es ist eine an den Kessel neben dem Schornstein heran- gerückte Bauart.

Schnellfahrten mit Dampflokomotiven

Einige Ausführungen sollen noch den Schnellfahrten von 1933 auf der Berlin – Hamburger Strecke gewidmet werden, deren Thema gegen das Vorjahr 1932 stark verschoben war. Damals handelte es sich um Fahrten mit der 01-Lokomotive vor schweren „Sommerschnellzügen“ bis zu 600 t Wagenlast mit bis zu 120 km/h auf ebenen Strecken, eine Aufgabe, welche die Lokomotive etwa an der üblichen Kesselgrenze (bei einem Wirkungsgrad von

¹⁷⁾ Vgl. Sauthoff, Die Bewegungswiderstände von Eisenbahnwagen, Dissertation Berlin 1933; O. Fogelpohl, Z. VDI Bd. 78 (1934) Nr. 5 S. 159.

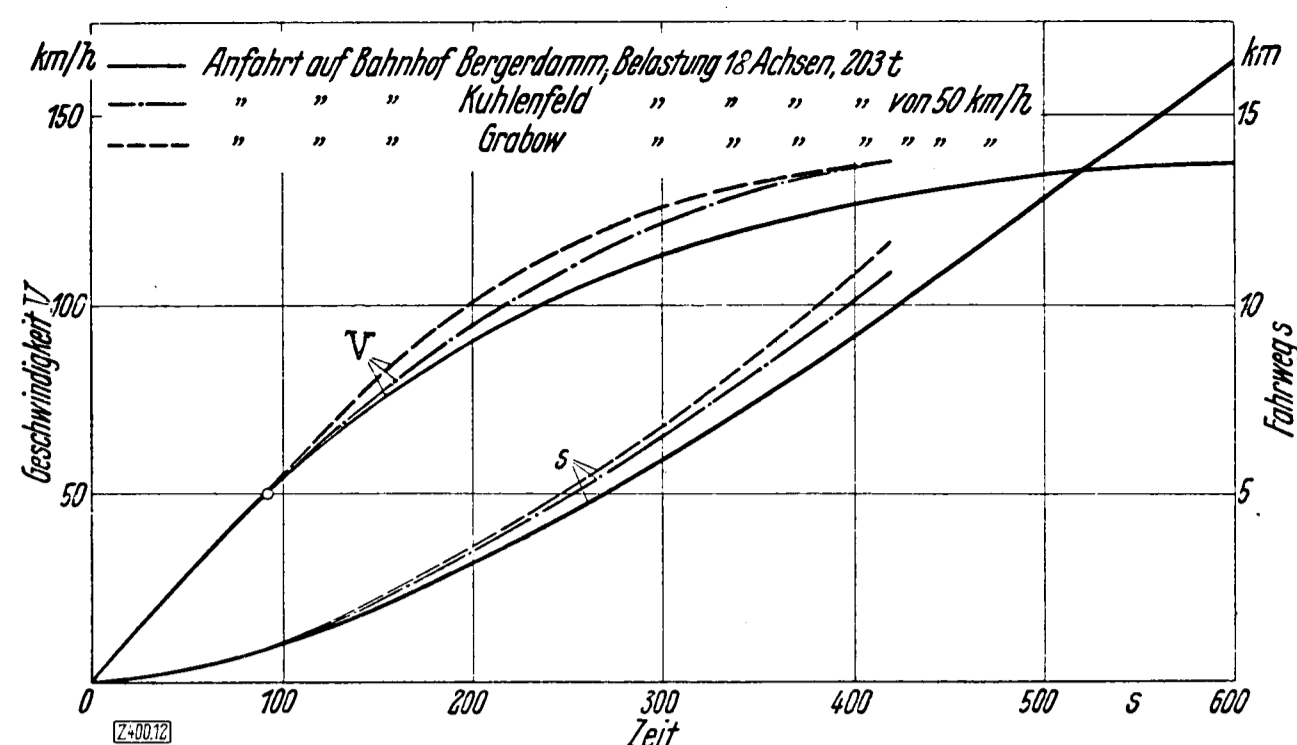


Abb. 12. Anfahrwege s und Anfahrgeschwindigkeiten v einer 03-Zwillinglokomotive über der Zeit.

60 %) mit 600 t bis 115 km/h und 500 t bei 120 km/h erfüllte. Bei der 04-Lokomotive waren 120 km/h zum ersten Male schon eine systematische Erprobungsgeschwindigkeit mit der Bremslokomotive, und nunmehr handelte es sich darum, die Verhältnisse eines Ersatzzuges üblicher Form für den Schnelltriebwagen bei dessen Ausfall mit der Maßgabe zu untersuchen, daß die Fahrzeit nur wenig größer sei; dazu wurde eine Beharrungsgeschwindigkeit von 130 km/h in der Waagerechten vorgesehen. Diese Aufgabe bot aber eine weit umfassendere Nutzenanwendung, nämlich die Brauchbarkeit der Regellokomotive überhaupt für leichtere, sehr schnelle Züge zu studieren.

Als Lokomotivgattungen wurden die $S10_1$ und 03 vorgesehen. Die $S10_1$ -Lokomotive erwies sich jedoch als zu zierlich; wohl leistete sie bei ungewöhnlich hoher Kesselanstrengung längere Zeit auch 140 km/h mit Meßwagen und zwei D-Zugwagen (vorübergehend bei den Versuchen über den Lauf der leichten Eilzugwagen — drei Wagen — auf der Hannoverschen Strecke sogar 152 km/h); der Kessel war unermüdet, aber die Stangenlager gaben durch die übersteigerten Flächendrücke häufig zu Heißbläufeln Anlaß, und ein zuverlässiger Betrieb mit der zu kleinen, an sich ruhig laufenden $S10_1$ -Lokomotive ist daher nicht zu gewährleisten.

Aber die 03-Lokomotive hat ihre Sache recht gut gemacht. Bei den ersten Fahrten, für die eine Lokomotive durchschnittlichen Unterhaltungszustandes herausgegriffen war, traten allerdings zunächst einige Mißerfolge auf. Kleine Spielräume in Achs- und Stangenlagern, die bis 110 km/h noch ohne Nachteil gewesen waren, führten im Geschwindigkeitsbereich von 130 bis 140 km/h schon zu Störungen. Daß ein guter Lagerzustand — durch sorgfältige Pflege aufrechtzuerhalten — die Bedingung des Gelingens war, ergab sich damit eindeutig. Nachdem die Lager entsprechend hergerichtet waren, gelangen die Fahrten mit der Lokomotive 03037 ohne jede Störung. Eine Fahrt der Lokomotive 03038 mußte abgebrochen werden, weil durch Schraubenbruch der Schmiergefäßdeckel und damit das Öl des rechten Hauptkuppelstangenlagers verloren ging. Das war aber kein Schaden grundsätzlicher Art. Ebenso beruhte eine Störung am Lager des rechten Treibzapfens der Lokomotive 03073 nur auf dem großen Alter des Eingusses mit 140 000 Laufkilometern. Ein solcher Schaden ist durch sorgfältige Lagerpflege und Verhüten des Brüchigwerdens durch zu große Lauflängen des Lagereingusses zu vermeiden. Von diesen beiden, ohnehin also nicht grundsätzlichen Störungen abgesehen, verliefen die übrigen 34 Schnellfahrten mit den drei verschiedenen 03-Lokomotiven völlig glatt. Das Zuggewicht betrug für die ersten vier Fahrten 153 t, von da ab wurden in der Regel 200 t gefahren; bei fünf Fahrten war die Last auf 240 t erhöht. In der Mehrzahl der Fälle wurde dabei der Lokomotivmeßwagen mitgeführt,

auf eine Messung des Wasserverbrauchs, also der stündlichen Heizflächenanstengung, wurde nur in einigen Fällen verzichtet.

Die mittleren Geschwindigkeiten waren angesichts der mannigfachen Langsamfahrstellen (Bauarbeiten zum Sommerfahrplan) und der Einbeziehung oder Auslassung der Vorortstrecke Berlin — Nauen, auf der dem Dampfzug nur 100 km/h gestattet wurden, erheblich verschieden und schwankten zwischen 103,5 und 118,7 km/h. Die kleinste Geschwindigkeit bezog sich auf eine besonders umfängliche Baustelle mit Halt und vorübergehender Fahrt auf falschem Gleis. Zum Vergleich sei übrigens erwähnt, daß der Schnelltriebwagen eine planmäßige mittlere Geschwindigkeit von 124 km/h im Winterfahrplan 1933/34 besitzt. In der Beharrung wurde meist mit 130 bis 135 km/h gefahren; die Höchstgeschwindigkeiten lagen von 135 bis 144 km/h, beim 240 t-Zug bis 139 km/h hinauf. Dabei lief die einfache Zwillinglokomotive recht gut. Besonders bemerkenswert ist, daß bei keiner Fahrt die übliche „Kesselgrenze“ (57 kg Dampf/m²h) annähernd erreicht wurde; die Lokomotive war also keineswegs übermäßig angestrengt; 40 bis 50 kg/m²h war das Hauptgebiet; die Schwankung lag in den verschiedenen Geschwindigkeiten, der Zahl der Beschleunigungsperioden und auch im Wetter begründet. Die Zughakenleistungen schwankten beim 200 t-Zug zwischen 547 und 700 PS, doch waren die kleineren Leistungen um 600 PS herum die häufigeren. Selbst bei 700 PS war mit 51,6 kg Dampf/m²h die Kesselgrenze noch keineswegs erreicht. Da bei den hohen Drehzahlen das Optimum von 1900 PS(ind.) der 03-Lokomotive bei „Kesselgrenze“ vielleicht schon ein wenig unterschritten wäre, die Kesselgrenze und damit die 1900 PS(ind.) aber gar nicht vorlagen, ist der Wirkungsgrad η für die Durchschnittsgeschwindigkeiten unter Dampf sicher größer als $700 : 1900 = 0,36$, wie oben schon

erwähnt wurde. Anzunehmen wären höchstens $\frac{51,6}{57} \cdot 1900 = 1720$ PS(ind.) und also mindestens $\eta = 700 : 1720 = 0,407$. Bei rd. 15 kg/PS h(eff.) Dampfverbrauch würde sich also ein bester Verbrauch von etwa $0,407 \cdot 15 = 6,1$ kg/PS(ind.), also sogar ein sehr guter Wert ergeben, so daß also eine Verschlechterung des Dampfverbrauchs durch die hohen Drehzahlen nicht eintritt. In einigen Fällen wurde die Beschleunigungsperiode des 200 t-Zuges genauer untersucht; Abb. 12 zeigt 3 Anfahrten nach der Aufzeichnung des Meßwagens; eine anfängliche Anfahrt und zwei Beschleunigungsperioden ab 50 km/h nach Langsamfahrstrecken, die im Bild an den 50 km/h-Punkt der ersten Kurve angeschlossen sind. 130 km/h Geschwindigkeit wird danach in 330 bis 440 s erreicht auf 8 bis 10,5 km Weg, doch tritt man in das Geschwindigkeitsgebiet über 100 km/h schon nach 200 bis 240 s und nach 3,5 bis 4,2 km Weg ein. Die Abzüge von der Gesamtstreckenlänge für die Beschleunigungsperiode sind also für die selten haltenden FD-Züge noch recht bescheiden; es bleibt für Flachbahnen mit wenig Langsamfahrstellen immer der ganz überwiegende Teil der Strecke für die Vollgeschwindigkeit übrig.

Niemand wird das Kunstwerk des Schnelltriebwagens herabsetzen wollen; aber nach der sehr lebhaften Werbung für ihn darf hier zum Schluß noch einmal betont werden, daß selbst mit einer einfachen Zwilling-Schnellzuglokomotive schon ein hochwertiger Schnellzugdienst geleistet werden kann. Man sollte nicht die altjunge Dampflokomotive, die solange den Eisenbahnbetrieb ganz allein geleistet hat und noch heute seinen überwiegenden Teil bestreitet, undankbar in den Hintergrund drängen wollen, vielmehr wirklich paritätisch aus ihr herausholen, was an Fähigkeiten in ihr steckt¹⁸⁾. B 400

¹⁸⁾ In den Winterfahrplan 1933/34 ist übrigens auch, ohne daß es freilich in der Presse irgendwie erwähnt wäre, das regelmäßig verkehrende Dampf-FD-Zugpaar 23/24 Berlin — Altona bereits mit 110 km/h Reisegeschwindigkeit eingeführt worden.

Der Marx-Stromrichter

Praktische Durchbildung

Von Dr.-Ing. Herbert Buchwald, Braunschweig

Die Arbeitsweise der Lichtbogen-Stromrichter wurde in dieser Zeitschrift schon früher erläutert¹⁾. Die Entwicklung hat inzwischen unter Leitung von Herrn Professor Dr.-Ing. Erwin Marx im Hochspannungsinstitut der Technischen Hochschule Braunschweig weitere wesentliche Fortschritte gemacht.

Im folgenden werden die neuen Elektrodenformen beschrieben, die grundsätzlichen Gesichtspunkte für die konstruktive Durchbildung der Ventile erörtert und Zahlen für die Bemessung angegeben. Ausführungsbeispiele zeigen, mit wie einfachen Mitteln die kräftigen Ventile in verschiedener Weise gebaut werden können.

Wirkungsweise

Der Lichtbogen-Stromrichter ist ein gesteuertes Ventil zum Umformen von Wechselstrom in Gleichstrom und Rückumformen von Gleichstrom in Wechselstrom¹⁾. Die Umformung erfolgt durch periodisch auftretende Lichtbögen, die zwischen Metall-elektroden brennen. In der Mitte der Elektroden befinden sich düsenförmige Öffnungen, durch die das den Lichtbogen umspülende Gas abströmt. Die einzelnen Elektrodenteile sind mit Kühleinrichtungen versehen; außerdem sind Magnete eingebaut, durch deren Feld eine schnelle Bewegung der Lichtbogenfußpunkte auf der Metalloberfläche und damit geringer und gleichmäßiger Abbrand erreicht wird.

Der von Erwin Marx angegebene, periodisch auftretende Vorgang²⁾ ist folgender:

Der Lichtbogen wird zwischen den am engsten einander gegenüberliegenden Elektrodenteilen gezündet und wandert, durch die Luftströmung getrieben, sehr schnell zur Mitte. Die heißen Fußpunkte werden dabei durch die Düse hindurch mitgerissen, so daß sie sich beim Verlöschen des Lichtbogens in einem Gebiet außerhalb des elektrischen Feldes befinden. Die Luftströmung muß so eingestellt sein, daß sie den Lichtbogen ruhig und ohne starke Verlängerung brennen läßt und nur durch Umspülung für die Wärmeabfuhr sorgt. Dieser Grundsatz hat sich auch bei der weiteren Entwicklung als richtig gezeigt, obwohl die Formen der Luftströmung und der Elektroden verschiedene Änderungen erfuhren: Die Strömungsgeschwindigkeit wurde herabgesetzt; der der Strömung in der Düsenmitte entgegengesetzte „Gegenpol“ verhindert eine starke Verlängerung des Lichtbogens³⁾.

Ein weiterer Entwicklungsschritt führte zu einer Formgebung, die die Lichtbogenfußpunkte zwang, auf der Gegenpolspitze zu verbleiben, Abb. 1. Der Lichtbogen entsteht bei der Zündung zwischen den Elektroden *a* und *b* an der Stelle 1. Die Luftströmung, deren Richtung mit Pfeilen angedeutet ist, treibt ihn in die Lage 2. Die Fußpunkte gehen auf die Elektroden *c* und *d*, die der Strömung entgegengesetzten „Gegenpole“, über. In der Stellung 3 wird der Lichtbogen nicht mehr gestört; die Luft strömt fast parallel zum Lichtbogen. Durch die Eisenteile *e* und *f* bzw. *g* und *h* entsteht ein radiales Magnetfeld, das den Lichtbogen zum schnellen Umlauf um die Mittelachse des Mantels treibt. Die Elektrodenteile *c* und *d* sind jetzt also zu „Hauptelektroden“ geworden. Die früher allein vorhandenen Teile *a* und *b* dienen nur noch zur Führung des Luftstromes und zur richtigen Ausbildung des elektrischen Feldes; sie schirmen die durch die Lichtbogenfußpunkte erhitzten Stellen ab und sollen demgemäß als „Schirmelektroden“ bezeichnet werden.

Die Luftströmung, deren Richtung mit Pfeilen angedeutet ist, treibt ihn in die Lage 2. Die Fußpunkte gehen auf die Elektroden *c* und *d*, die der Strömung entgegengesetzten „Gegenpole“, über. In der Stellung 3 wird der Lichtbogen nicht mehr gestört; die Luft strömt fast parallel zum Lichtbogen. Durch die Eisenteile *e* und *f* bzw. *g* und *h* entsteht ein radiales Magnetfeld, das den Lichtbogen zum schnellen Umlauf um die Mittelachse des Mantels treibt. Die Elektrodenteile *c* und *d* sind jetzt also zu „Hauptelektroden“ geworden. Die früher allein vorhandenen Teile *a* und *b* dienen nur noch zur Führung des Luftstromes und zur richtigen Ausbildung des elektrischen Feldes; sie schirmen die durch die Lichtbogenfußpunkte erhitzten Stellen ab und sollen demgemäß als „Schirmelektroden“ bezeichnet werden.

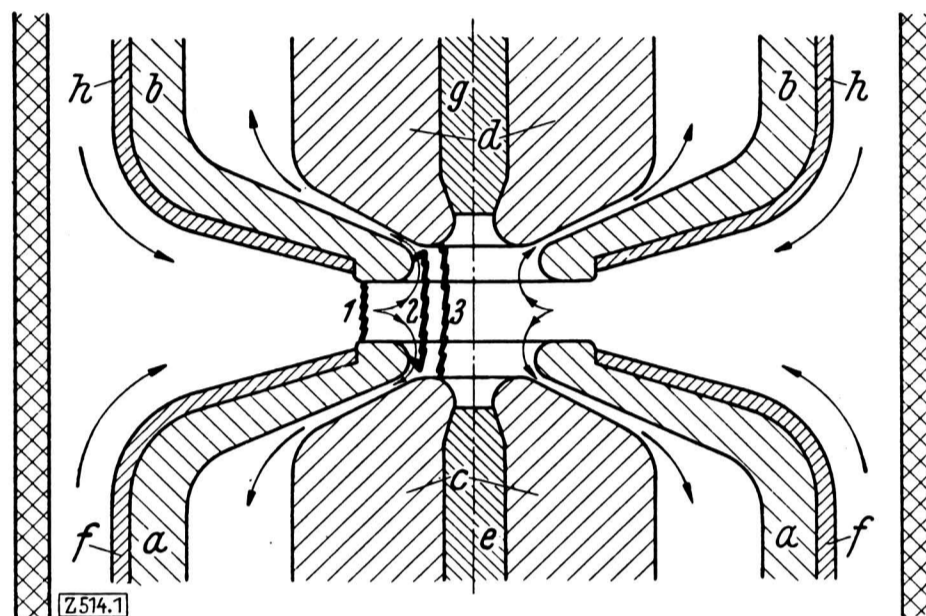


Abb. 1. Grundsätzliche Form der Elektroden in der Lichtbogenkammer.

- a* und *b* Schirmelektroden
- c* und *d* Hauptelektroden
- e*, *f*, *g* und *h* Eisenteile (Magnetpole)
- 1 Stelle der Zündung
- 2 Vor dem Übergang des Lichtbogens auf die Haupt-Elektroden
- 3 Lichtbogen brennt ungestört zwischen den Hauptelektroden und läuft schnell um

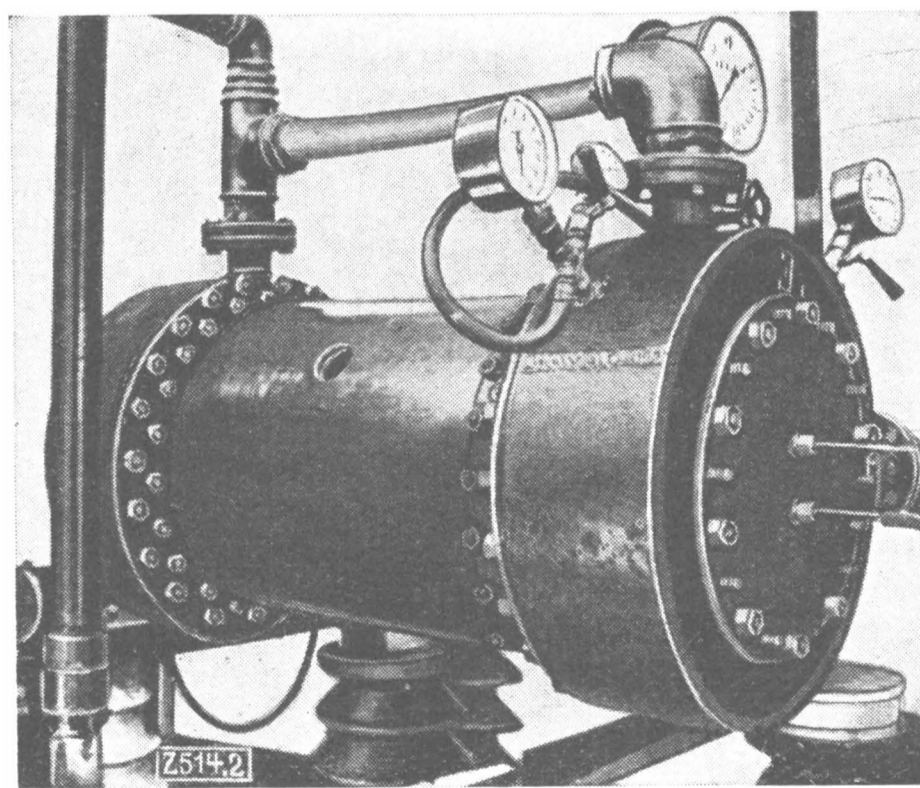


Abb. 2. Lichtbogenventil für 200 kV Sperrspannung und 125 A Scheitelwert.

Untersuchungen über Sperrspannung und Lichtbogenspannung

Mit dieser Elektrodenform wurden eingehende Untersuchungen über die Sperrspannung (Spannung, die vom Ventil während der Sperrzeit ausgehalten wird, ohne Strom durchzulassen) und über die Lichtbogenspannung (Höhe des Spannungsabfalls am Lichtbogen während der Durchlaßzeit) vorgenommen⁴⁾. Die hauptsächlichsten Ergebnisse sind zum Verständnis des Folgenden wichtig; sie sollen deshalb kurz angegeben werden:

Sperrspannung

Um eine hohe Sperrspannung zu erzielen, ist ein gewisser Mindestwert der Luftgeschwindigkeit zwischen den Elektroden, also eine Mindestgröße des in der Sekunde durchfließenden Luftvolumens nötig. Ist diese Mindestluftmenge überschritten, so gilt

$$U_{Sp} \approx 25 p a,$$

wobei U_{Sp} die Sperrspannung in kV, p den Druck in at abs, a den Abstand in cm bedeutet. (Im homogenen Feld,

bei Atmosphärendruck und ohne vorherige Anwesenheit eines Lichtbogens beträgt die Durchschlagspannung bei 1 cm Abstand etwa 32 kV.) Die Untersuchungen haben ergeben, daß es in den meisten Fällen nicht zweckmäßig ist, den Elektrodenabstand größer als 2 cm zu wählen. In diesem Fall kann eine Sperrspannung bis etwa 50 kV ohne wesentlichen Überdruck erzielt wer-

¹⁾ Vgl. H. Göschel, Z. VDI Bd. 77 (1933) S. 291.

²⁾ E. Marx, Lichtbogen-Stromrichter für sehr hohe Spannungen und Leistungen, Berlin 1932; ETZ Bd. 53 (1932) S. 737. H. Buchwald, Elektrotechn. u. Maschinenb. Bd. 50 (1932) S. 553.

³⁾ E. Marx, ETZ Bd. 54 (1933) S. 396.

⁴⁾ Nähere Angaben enthalten die demnächst erscheinenden Dissertationen an der Techn. Hochsch. Braunschweig von Dipl.-Ing. Hans W. Meyer und Dipl.-Ing. Hermann Philippi, die die Untersuchungen vorgenommen haben.

den. Von dieser Grenze an ist der nötige Druck $p = U_{Sp}/50$. Z. B. ergibt sich bei 3 at abs schon eine Sperrspannung von 150 kV. An dem Ventil, Abb. 2, wurde mit der vorhandenen Versuchsanlage eine Sperrspannung von 200 kV erreicht bei einem Stromscheitelwert von 125 A. Experimentell konnten Grenzkurven für die Luftmengen bestimmt werden. Sie zeigen eine Abhängigkeit vom Elektrodenabstand und von der Höhe des Stromes. In dem genannten Falle betrug die Mindestluftmenge $50 \text{ m}^3/\text{h}$ bei 3,4 at abs und einem Elektrodenabstand von 2,3 cm (Druckabfall am Ventil 170 cm WS).

Lichtbogenspannung

Die Lichtbogenspannung U_{Lb} in V ist eine Funktion der Lichtbogenlänge L in cm und des Spannungsgradienten \mathcal{E} in V/cm. $U_{Lb} = L\mathcal{E} + U_f$, wobei U_f ein annähernd konstanter Wert für die Spannungen am Anoden- und Kathodenfall bedeutet⁵⁾. \mathcal{E} beträgt je nach den Abkühlungsverhältnissen und Stromstärken⁶⁾ etwa 5 bis 50 V/cm, U_f liegt etwa bei 25 V. Wenn durch die Formgebung erreicht worden ist, daß der Lichtbogen ohne verlängernde Ausbuchtungen zwischen den Hauptelektroden brennt, so hängt die Höhe der Lichtbogenspannung fast nur noch von den Abkühlungsverhältnissen durch die Luft, also vom vorbeiströmenden Luftvolumen ab. Die niedrigsten Spannungsabfälle U_{Lb} betragen etwa 40 V. Bei Luftmengen von $40 \text{ m}^3/\text{h}$, wie sie bei größeren Strömen zur richtigen Wärmeabfuhr nötig sind, und bei normalen Elektrodenabständen von 1,0 bis 1,5 cm ist mit 80 bis 90 V zu rechnen. Die Lichtbogenspannung sinkt in bekannter Weise mit wachsendem Strom; bei Werten über 30 A ist der Einfluß aber unbedeutend.

Die Gegenüberstellung der Spannungsabfälle in den verschiedenen Entwicklungsstufen der Lichtbogenventile wird in diesem Zusammenhange besonders interessant sein, weil sie die Entwicklung scharf kennzeichnet. Bei den ersten Versuchsarbeiten traten Spannungsabfälle von 500 bis 800 V auf; bei der in Zschornowitz den ersten Dauerversuchen unterworfenen Lichtbogenkammer⁷⁾ waren es noch 300 bis 350 V. Bei der ersten Anwendung der Gegenpole sank sie auf 150 V. Infolge der günstigeren Gestaltung der Hauptelektroden liegt jetzt die Lichtbogenspannung bei Schirmelektrodenabständen von 1 cm bei etwa 80 V, und dies braucht auch noch nicht die untere Grenze darzustellen. Hierdurch werden besonders günstige Wirkungsgrade erreicht; ein wichtiger Vorteil liegt ferner darin, daß die im Lichtbogen erzeugte Wärmemenge klein wird, so daß keine Schwierigkeiten für deren Abfuhr bei großen Stromstärken bestehen. Es konnten Elektrodenanordnungen, die ursprünglich auf Grund ihrer Kühleinrichtungen für Ströme bis 130 A bestimmt waren, mit Strömen bis zu 1000 A Scheitelwert belastet werden. Es wird weiterhin verständlich, daß die benötigten Luftmengen so außerordentlich klein geworden sind. 50 oder $100 \text{ m}^3/\text{h}$ sind Luftmengen, die bei dem vorliegenden Druckabfall von etwa 100 cm WS von sehr kleinen Gebläsen geliefert werden können.

Konstruktive Ausbildung der Elektroden⁸⁾

Der laboratoriumsmäßige Aufbau der Ventile ist denkbar einfach. Die Elektrodenkörper, deren Form Abb. 1 zeigt, wurden aus vollem Werkstoff, z. B. Elektrolytkupfer, hergestellt; oft wurde sogar der Magnetkreis fortgelassen. Wichtig ist nur, daß die Trägeranordnungen genau zentrierbar und stetig verstellbar sind und daß für gleichmäßige Luftführung gesorgt wird. Anders liegen die Verhältnisse bei der Dauerbenutzung im praktischen Betriebe. Hier sind zwei Erscheinungen besonders zu berücksichtigen, die den konstruktiven Aufbau beeinflussen: Die Lichtbogenwärme und der Elektrodenabbrand.

Zur Abfuhr der Wärme sind Kühleinrichtungen für die Elektroden so einzubauen, daß zu große Elek-

trodenwärme vermieden wird, denn die Luftströmung durch den Lichtbogenraum kann nur einen Teil der Wärme direkt an die Außenluft abführen. Andererseits müssen die dem Abbrand ausgesetzten Teile der Elektroden nach Ablauf einer bestimmten Betriebsdauer durch neue ersetzt werden. Gute Kühlung und leichte Austauschbarkeit sind ja allein verhältnismäßig leicht zu erfüllen; schwierig ist aber, beide Forderungen gleichzeitig zu erfüllen. Die einzelnen Teilstücke müssen ohne störende Veränderung der Kühleinrichtungen, Magnetanordnungen und Führungskörper für die Luftströmungen in kurzen Betriebspausen leicht auswechselbar sein.

Die Kühlung der Elektroden kann durch eine Flüssigkeit (am besten Wasser) oder durch eine zusätzliche Gasströmung (am einfachsten Luft) erfolgen. Einen Überblick über die abzuführenden Wärmemengen gibt folgende Wärmebilanz, die bei einem Versuchsventil im Dauerbetriebe mit 150 A Scheitelwert ermittelt wurde: Die Gesamtverluste ohne Berücksichtigung der Strahlung betragen 5,75 kW. Hiervon wurden 2,14 kW (37 %) durch die Luft direkt abgeführt. 3,61 kW (63 %) wurden durch das Kühlmittel aufgenommen, und zwar 1,2 kW durch die Schirmelektroden und 2,41 kW durch die Hauptelektroden.

Wasserkühlung

Bei Belastungen durch hohe Ströme kommt nur Wasserkühlung in Frage. Ausschlaggebend für guten Wärmeübergang ist dabei eine möglichst hohe Strömungsgeschwindigkeit an den Übergangsfächen. Da die abzuführende Wärmemenge, also auch die erforderliche Wassermenge, gering ist, müssen die Strömungsquerschnitte an den Kühlflächen klein sein. Es lag deshalb nahe, dünne Kupferrohre auf die Rückseite der Elektrodenbleche (das sind die dem Abbrand ausgesetzten Teile der Elektroden) in vielen Windungen aufzuwickeln und anzulöten, Abb. 3. Diese Anordnung ist sehr teuer und außerdem nicht völlig zuverlässig. Ist an einer Stelle kein Lötkontakt vorhanden, so brennt dort das Elektrodenblech durch, wie dies auf Abb. 3 zu sehen ist. Wesentlich günstiger ist die Anordnung nach Abb. 4. Das Wasser wird durch die Rillen eines über dem Elektrodenblech angeordneten Körpers in engen Spiralen abgeführt. Der Querschnitt der spiralförmigen Kanäle ist klein, die Übergangsfäche am Kupfer infolge der Form des Kanalquerschnittes groß. Die Oberfläche der zu ersetzenden Teile ist völlig glatt; sie wird ohne Zwischenschaltung eines anderen Metalles von der Kühlflüssigkeit unmittelbar bestrichen. Diese Teilung des Elektrodenkörpers in zwei Teile, von denen nur der eine dem Abbrand ausgesetzt ist, stellt eine sehr einfache Lösung für den Bau von Elektroden für Dauerbetrieb dar. Es werden drei Aufgaben zugleich gelöst: Die zu ersetzenden Teile sind einfache Einsatzstücke, sie sind unmittelbar gekühlt. Alle Armaturen sowie die Zu- und Abflüsse sind an den nicht auszuwechselnden Führungskörpern angebracht. Die Führungskörper können ganz oder zum Teil aus Eisen bestehen, so daß auch das magnetische Feld richtig geführt wird.

Abb. 5 zeigt den Schnitt durch eine Lichtbogenkammer mit Wasserkühlung, bei der diese Gesichtspunkte berücksichtigt sind. Die Kühlflächen sind besonders bei der Hauptelektrode wesentlich größer als die Lichtbogenbrennflächen, so daß die Wärme auch bei hohen Strömen

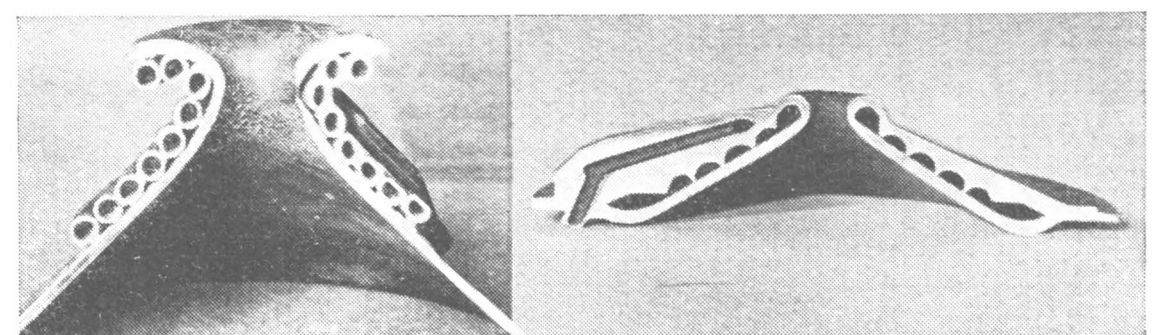


Abb. 3. Angelötete Kühlschlange. Die Kühlschlange sitzt ungünstig. Folge war Durchbrennen der Elektrode.

Abb. 4. Angesetzter Führungskörper. Das Wasser wird unmittelbar über die Kühlfläche des Elektrodenbleches geleitet.

Abb. 3 und 4. Elektrodenteile mit Wasserkühlung.

⁵⁾ Die Spannung der Fallgebiete ist nur in geringem Maße vom Absolutdruck abhängig. Vgl. L. Duncan, A. J. Rowland u. R. J. Todd, ETZ Bd. 14 (1893) S. 602.

⁶⁾ A. v. Engel, Z. techn. Physik Bd. 10 (1929) S. 505.

⁷⁾ Vgl. E. Marx, ETZ Bd. 54 (1933) S. 396/97.

⁸⁾ Die Arbeiten wurden zusammen mit Dipl.-Ing. Krahl, Dipl.-Ing. Robbel, Ing. Klingenberg und Ing. Tegtmeyer durchgeführt.

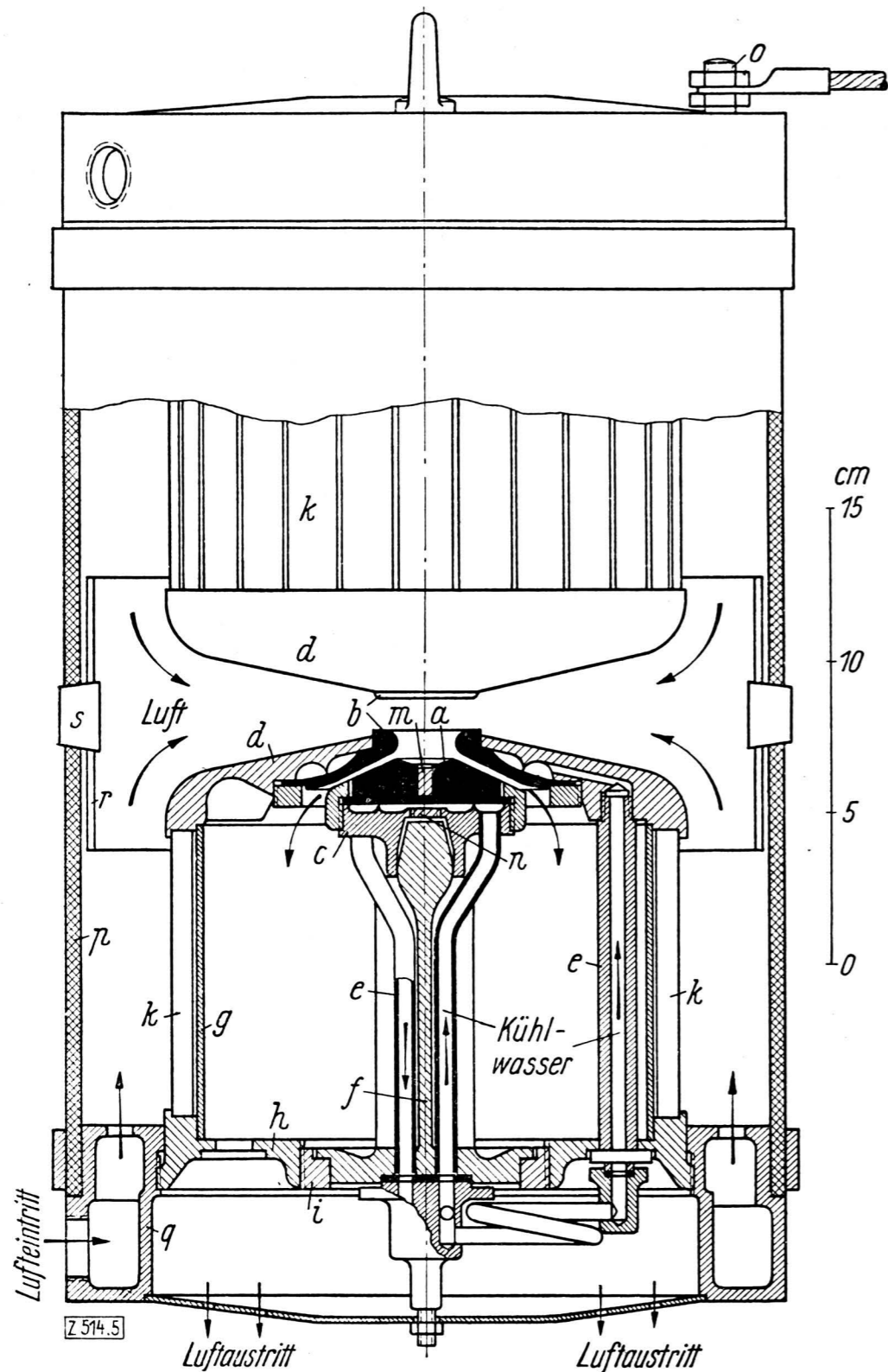


Abb. 5 (links)
Schnitt durch ein Lichtbogen-
ventil für 100 kV Sperr-
spannung und 130 A
Scheitelwert.

- a und b auswechselbare Elek-
troden
- c und d Wasserführungskörper
- e Wasserleitungsrohre
- f und g Elektrodenträger
- h und i Verbindungsringe
- k Dauermagnete (25 Stab-
magnete)
- m und n Eisenteile
- o Anschlußklemme
- p Isolierzylinder
- q Luftverteiler
- r Wärmeschutz-Zylinder aus
Asbeststoffen
- s Glasfenster

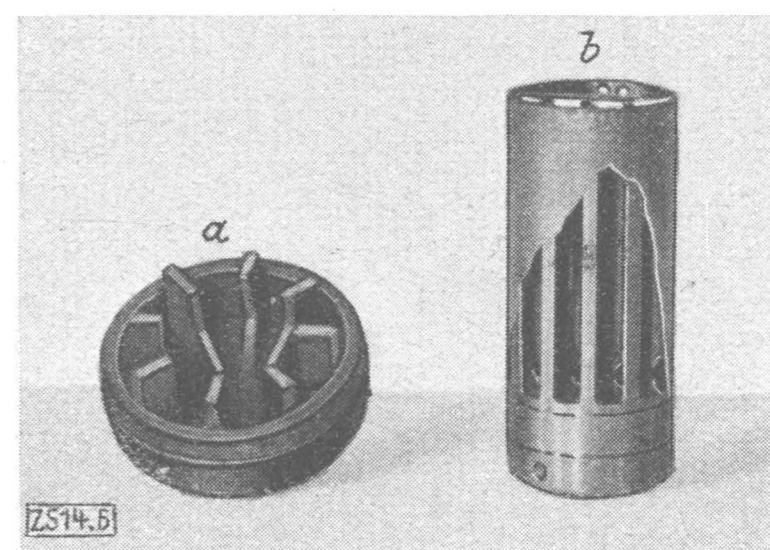


Abb. 6. Hauptelektroden mit
Luftkühlung.

- a Elektrode mit Kühlrippen aus
Kupferguß in e i n e m Stück
- b Elektrode und Kühlkörper aus
zwei Teilen zusammengesetzt

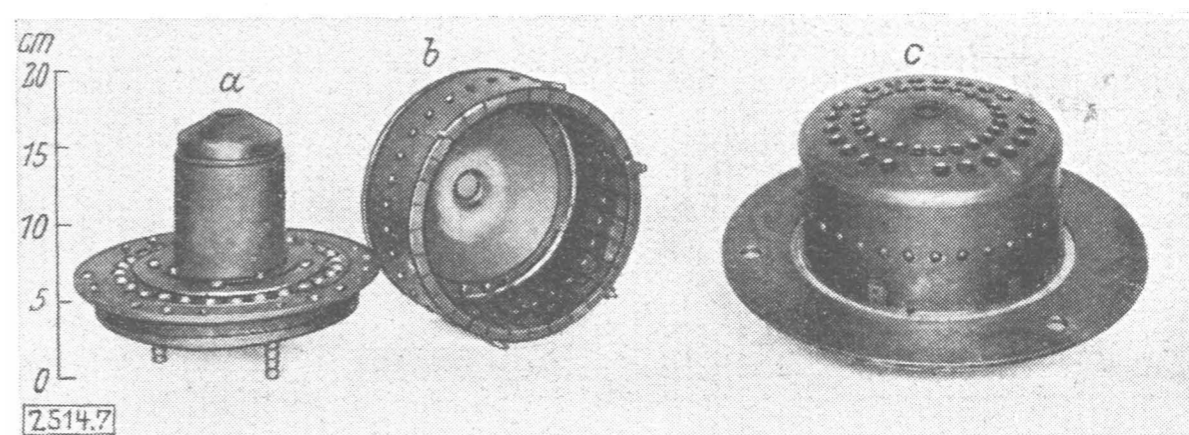


Abb. 7. Elektroden eines Ventils mit Luftkühlung und
Dauermagneten.

- a Hauptelektrode
- b Schirmelektrode
- c Elektroden zusammengesetzt

ohne starken Temperaturabfall in der Elektrode gut abgeführt werden kann. Die auszuwechselnden Einsatz-
teile *a* und *b* der beiden Elektroden werden durch die
Führungskörper *c* und *d* getragen. Die wasserdichte Ver-
bindung ist auf verschiedenen Wegen (Löten, Drücken,
Verschrauben, Dichtungsringe usw.) möglich. Hier ist
Verschraubung durch Überwurfring und Dichtung durch
Pressen der weichen Einsatzstücke über scharfe Kanten
gewählt. Das Wasser durchfließt die Elektroden nicht
auf spiralförmigen, sondern labyrinthartigen Wegen, so
daß die Zu- und Ableitungsrohre *e* symmetrisch ange-
ordnet werden können. Durch die Elektrodenträger *f*
und *g* und die Verbindungsringe *h* und *i* sind die Haupt-
und Schirmelektroden miteinander verbunden, zentriert
und zusammen in den Boden der Lichtbogenkammer ein-
gesetzt. Alle diese Teile zusammen bilden eine gemeinsam
auswechselbare Einheit. Dadurch ist die Aufgabe, Elek-
troden in Betriebspausen schnell wechseln zu können, er-
füllt. Die Ersatzteile *a* und *b*, die sorgfältig gedichtet
sein müssen, können in die Ersatzeinheit in Ruhe ein-
gesetzt werden.

Bei der Zu- und Abführung der Flüssigkeit ist zu be-
achten, daß die Elektroden hohe Spannung gegen Erde
besitzen. Die Leitungsrohre müssen also aus Isolierstoff
bestehen und die Flüssigkeitssäulen müssen einen sehr
hohen elektrischen Widerstand haben (große Länge,
geringste Querschnitte). Kesselspeisewasser hat sich wegen
der geringen Leitfähigkeit sehr gut bewährt. Andererseits
kommt auch die Anordnung getrennter, isoliert auf-
gestellter Kreisläufe für jede Elektrode in Frage.

Luftkühlung

Die Verwendung von Luft als Kühlmittel hat gegen-
über Wasser wesentliche Vorzüge. Die Dichtungss-
chwierigkeiten sind geringer, da Luftaustritt unschäd-
lich sein würde. Die Zusatzanlagen für die Stromrichter-
ventile werden einfacher, da Druckluft an sich schon
vorhanden ist. Die Ventile sind, das ist besonders wich-
tig, von der Außentemperatur völlig unabhängig.

Folgende Bedingungen, die an sich für jede Küh-
lungsart gelten, sind bei der Luftkühlung besonders
scharf einzuhalten: Große Kühlfläche und gute
Wärmeleitfähigkeit von den vom Lichtbogen berührten
Stellen zu den Kühlflächen. Diese werden erfüllt durch
Anbringen von Kühlrippen. Abb. 6 zeigt zwei verschiedene

Ausführungsformen: *a* ist eine Hauptelektrode, die aus
Kupfersandguß, der mittels Beryllium desoxydiert ist,
hergestellt ist. Elektrode und Kühlkörper können aus
e i n e m Stück bestehen. Da Guß verwendet werden kann,
ist die verwickelte Form des Ersatzstückes nicht be-
sonders nachteilig. Abb. 6 *b* zeigt einen Rippenkühlkörper,
auf den der auszuwechselnde Elektrodenteil so aufge-
schraubt ist, daß bei der im Betriebe eintretenden Er-
wärmung eine große Pressung entsteht. Trotzdem ist
natürlich nicht ganz die gute Wärmeleitfähigkeit wie im
ersten Falle zu erreichen. Der Vorteil dieser Anordnung
liegt aber darin, daß die Kühlflächen wesentlich größer
gestaltet werden können. Welche Anordnung zweck-
mäßiger ist, müssen spätere Betriebserfahrungen ent-
scheiden. Abb. 7 zeigt die Elektroden einer luftgekühlten
Lichtbogenkammer. Die Luft strömt beiden Elektroden
getrennt zu, durchläuft erst die Kühler der Hauptelek-
troden, dann die der Schirmelektroden und tritt zuletzt
durch die großen Löcher in den Schirmelektroden, die
deutlich zu sehen sind, in den Lichtbogenraum ein. In
anderen Fällen wird es zweckmäßiger sein, den Kühlluft-
strom der Strömung durch den Lichtbogenraum parallel-
zuschalten. Die gesamte Luftmenge wird dann zwar
größer, der Gegendruck für das Gebläse aber kleiner.

Da für die Kühlfläche nur ein beschränkter Raum
zur Verfügung steht, ist die Anwendbarkeit der Luft-
kühlung begrenzt. Diese Grenze liegt nach den bishe-
rigen Versuchsergebnissen bei etwa 50 A Scheitelwert
für die vorliegenden Konstruktionen. Besonders auf die-
ses Ziel gerichtete Entwicklungsarbeiten werden sicher-
lich die Grenze noch wesentlich verschieben können, so
daß man für alle Anlagen kleiner und mittlerer Leistung
mit Luftkühlung arbeiten wird. Für Anlagen großer
Leistung ist der durch Anwendung der Wasserkühlung
entstehende größere Aufwand vertretbar.

Der magnetische Kreis

Zur Erzeugung des magnetischen Flusses wurden
zuerst Magnetspulen benutzt. Der Einbau in die Elek-
troden ist sehr einfach, Abb. 8, da hinter der Haupt-
elektrode um den Trageil herum genügend Platz vor-
handen ist. Zur Erregung ist aber eine besondere Gleich-
spannungsquelle erforderlich, die die Anlage vergrößert
und verteuert. Würde der Hauptstrom dazu benutzt, so
entsteht ein pulsierendes Feld, das die ringförmigen

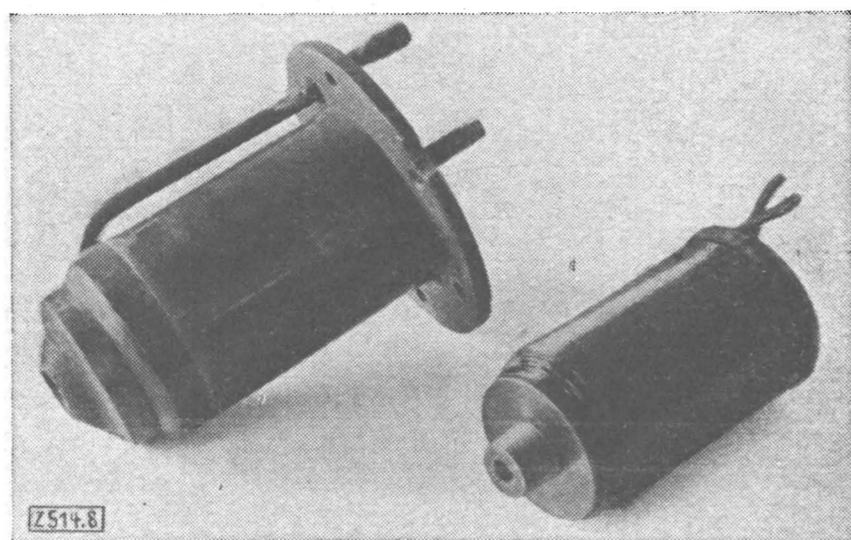


Abb. 8. Wassergekühlte Hauptelektrode mit eingebauter Magnet-spule für Gleichstromerregung.

Rechts die Magnet-spule allein.

Elektroden schwer durchdringen kann⁹⁾. Es wurden deshalb neuerdings in mehreren Fällen Dauermagnete verwendet, in einer Form, die auf Abb. 5, Teile *k*, zu sehen ist. 25 einzelne Stabmagnete sind im Kreise um das Messingrohr *g* herum angeordnet; sie sind nur festgeklemmt, da der Magnetstahl nicht bearbeitbar ist. Die aus Stahlguß bestehenden Teile *d*, *h*, *i*, *f*, *n*, *m* führen den Fluß von beiden Enden der Magnete so zu den Elektroden, daß das Streufeld der Magnete klein bleibt. Die Eisenstückchen *m* und *n* dienen dabei zur besonderen Verstärkung des Feldes über der Hauptelektrode.

Die Lichtbogenkammer

An der Abb. 5 sollen weiterhin die Gesichtspunkte für den Aufbau und die Bemessung der Lichtbogenkammer betrachtet werden. Der Raum zwischen den beiden Elektroden, der Lichtbogenraum, muß abgeschlossen sein, damit sich die Luftströmung richtig ausbilden kann. Da bei hohen Sperrspannungen außen auf der Lichtbogenkammer große Überschlagwege nötig sind, kann man die Abschlußwand aus Isolierstoff nicht an den Wasserführungskörpern *d* befestigen. Deshalb werden die beiden Elektroden in einen Isolierbehälter, die „Lichtbogenkammer“, eingebaut. Da die Elektroden Rotationskörper sind, ist die geeignetste Form für die Lichtbogenkammer ein Hohlzylinder, dessen Wandung *p* aus Isolierstoff besteht und in dessen Böden *q* die Elektroden eingesetzt sind.

Die Länge des Zylinders ist gegeben durch die Höhe der Sperrspannung des Ventils. Sie muß so groß gewählt werden, daß keine Außenüberschläge von einem Boden zum anderen eintreten können. Die elektrische Feldverteilung auf der Oberfläche wird durch die im Innern befindlichen Elektrodenkörper sehr günstig gestaltet. Schon bei einer Zylinderlänge von 40 cm wird eine Überschlagspannung von etwa 400 kV Scheitelwert erreicht.

Der Innendurchmesser der Lichtbogenkammer ist zunächst bestimmt durch den Durchmesser der Elektroden. Da die Luft dem Lichtbogenraum sehr gleichmäßig ohne Wirbelungen und Stauungen zufließen muß, ist es zweckmäßig, den Durchmesser so groß zu wählen, daß der Raum zwischen den Elektroden und der Kammerwand die Wirkungen eines Ausgleichwindkessels übernehmen kann. Das erforderliche Luftvolumen wächst mit der Größe des Lichtbogenstromes; dadurch wird der Durchmesser der Lichtbogenkammer auch stromabhängig. Er wurde bei Ventilen für kleine Stromstärken zu 10 cm, im vorliegenden Falle bei 130 A Scheitelwert zu 17 cm gewählt.

Als Baustoff für das Isolierstoffgehäuse kommt bei Anlagen in geschützten Räumen Hartpapier, als Freiluftausführung Porzellan mit Außenrippen in Frage. Um schädliche Einwirkungen der Wärmestrahlung des Lichtbogens auf die Isolierstoffwand zu vermeiden, ist bei großen Stromstärken die Anbringung eines Schutzzyllinders *r* zweckmäßig.

Die Druckgasanlagen

Die erforderlichen Luftmengen und Druckabfälle sind im Laufe der Entwicklung außerordentlich gering geworden. Zuerst waren Verdichter nötig, jetzt genügen im allgemeinen einfache kleinere Gebläse. (Bei einigen

⁹⁾ In den Schirmelektroden können auch durch das Feld des Lichtbogenstromes zusätzliche Erwärmungen auf Grund von Kurzschlußströmen auftreten. Dies ist unter Umständen durch Erhöhung des Widerstandes bzw. durch Aufschneiden der Elektroden zu beiseitigen.

Versuchsanlagen sind sogar Staubsaugergebläse ausreichend!) Für eine sechsphasige Stromrichteranlage sehr großer Durchgangsleistung sind 500 bis 600 m³/h Luft erforderlich, die bei einem Gegendruck von 100 bis 200 cm WS, entsprechend dem Druckabfall in den Ventilen, ohne Schwierigkeit von kleinen Gebläsen gefördert werden.

Bei Lichtbogenventilen für sehr hohe Sperrspannungen hat die durch den Lichtbogenraum strömende Luft außer der Wärmeabfuhr und Entionisation noch den Zweck, durch entsprechend hohen Druck die elektrische Festigkeit des Elektroden-Zwischenraumes zu erhöhen. Die oben angeführten Sperrspannungsuntersuchungen haben ergeben, daß es meist nicht zweckmäßig ist, den Elektrodenabstand größer als 20 mm zu wählen. Wenn bei diesem Abstand z. B. die Sperrspannung der Ventile 300 kV betragen soll, so muß die Luft zwischen den Elektroden einen Absolutdruck von 6 at besitzen. Für die Ausführung dieser Druckluftanlage bestehen zwei Möglichkeiten: Am nächsten liegt die Erzeugung durch einen Verdichter. Dies ist aber sehr unwirtschaftlich, da nur der Druckabfall von 6,0 at abs auf etwa 5,7 at abs ausgenutzt wird, und betriebstechnisch ungünstig, weil die Öl- und Wasserbeimischungen auch durch Abscheider nur mit großem Aufwand genügend entfernt werden können. Die Erfahrungen im Laboratorium und bei den Versuchen im Kraftwerk Zschornowitz haben dies des öfteren gezeigt.

Viel günstiger werden die Verhältnisse, wenn man sich entschließt, von der Frischluftzuführung abzusehen und eine Umlaufeinrichtung nach Abb. 9 anzuwenden. Der Lichtbogenkammer *a* wird durch die beiden an den Enden angebrachten Luftverteilerkörper *b* und *c* und die teilweise aus Isolierstoff bestehenden Rohre *d* und *e* die Luft aus dem Gebläse *h* zugeführt. Nach dem Durchströmen der Elektroden fließt die Abluft aus den Verteilerkörpern durch die Isolierstoffrohre *f* und *g* und dann durch den Rückkühler *i* wieder in das Gebläse *h* zurück. An diese Leitung ist eine Druckanlage, z. B. die Druckflasche *k*, anzuschließen. Diese braucht nur kleine Leistung zu besitzen, da sie nur die Aufgabe hat, den Kreislauf dauernd unter Druck zu halten und die Gasverluste zu decken. Das Gebläse besorgt die Umwälzung der Luft in dem Kreislauf gegen einen Druck, der dem Abfall in der Lichtbogenkammer, in dem Rückkühler¹⁰⁾ und den Rohrleitungen entspricht. Der Lichtbogensvorgang verlangt, daß bei gegebener Elektrodenform und Stromstärke das Mindestvolumen der durchströmenden Luft gleich bleibt, unabhängig vom Absolutdruck. Bei Stromrichteranlagen für hohe Sperrspannung, bei denen der Absolutdruck hoch ist, ist also ein großes Luftgewicht umzuwälzen. Der Druckabfall bleibt aber trotz der größeren Reibung in solchen Grenzen, daß er durch Gebläse noch zu schaffen ist.

¹⁰⁾ Die Erhöhung des Druckabfalles durch den Einbau des Kühlers kann vermieden werden, wenn man den Kühler in eine Umgehungsleitung vom Druck zum Saugstutzen des Gebläses legt. Wenn die Leitungen so eingestellt werden, daß durch den Kühler die 3- bis 5fache Luftmenge des Hauptlaufes fließt, wird mit genügender Kühlung der Hauptluft bei der Mischung im Gebläse zu rechnen sein. Die bei dieser Anordnung nötige größere Fördermenge ist für den Betrieb des Gebläses nur angenehm.

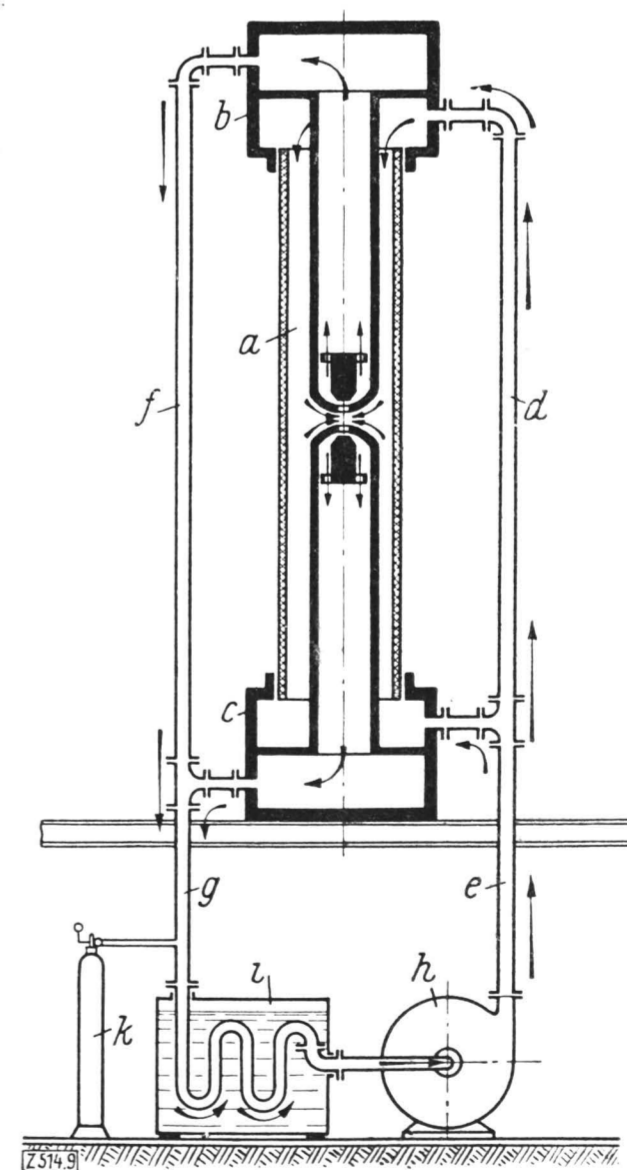


Abb. 9. Gasumlauf-Einrichtung.

- a* Lichtbogenkammer mit eingesetzten Elektroden
- b* und *c* Luftverteiler
- d*, *e*, *f* und *g* Leitungsrohre aus Isolierstoff
- h* Gebläse
- i* Rückkühler
- k* Gasflasche

Beherrschung des Elektrodenabbrandes

Die Umlaufanordnung hat außer ihrer Einfachheit noch den besonderen Vorteil, daß auch ein anderes Gas als Luft verwendet werden kann, ohne daß die Gesamtanlage dadurch verwickelter wird. Bei den bisherigen Erörterungen wurde immer nur Luft erwähnt, weil die Anordnungen dadurch besonders einfach gestaltet werden können. Für die Verringerung des Elektrodenabbrandes ist die Wahl des Gases im Zusammenhange mit der Wahl des Elektrodenwerkstoffes von ausschlaggebender Wichtigkeit. Bei Verwendung von Stickstoff und Argon¹¹⁾ entsteht z. B. gegenüber Luft der Vorteil, daß Oxydation des Elektrodenmetalles vermieden wird, so daß ein Werkstoffverlust nur durch Verdampfung eintreten kann. Eingehende Untersuchungen hierüber sind im Gange. Auf Grund der bisherigen Erfahrungen bei den Lichtbogenventilen und bei anderen Anordnungen, die mit Lichtbögen arbeiten¹²⁾, kann schon jetzt gesagt werden, daß auch für große Stromstärken ununterbrochene Betriebszeiten von über 1000 h ohne Schwierigkeiten zu erreichen sind. Diese Betriebszeit wird sicherlich, wenn längere Erfahrungen im praktischen Betriebe vorlagen, noch sehr zu vergrößern sein. Da außerdem die Auswechslung der Elektroden sehr einfach ist und keine wesentlichen Kosten verursacht, ist die Verwendung der Lichtbogenventile auch dort, wo fast ununterbrochener Dauerbetrieb vorliegt, ohne Schwierigkeiten möglich. Man braucht die Ventile nur in Zeitabständen von etwa 6 Wochen auf einige Minuten zur Auswechslung der dem Abbrand ausgesetzten Elektrodenteile abzuschalten.

Die Lichtbogenzündung

Über die periodische Einleitung der Lichtbögen sei hier nur kurz folgendes gesagt: Die Zündung des Lichtbogens erfolgte bisher durch hochfrequente Überspannungen, die der normalen Wechselspannung überlagert wurden. *E. Marx* hat jetzt ein neues Zündverfahren angegeben¹³⁾. Der Lichtbogen wird dabei eingeleitet durch einen Hilfslichtbogen, der zwischen die Elektroden geblasen wird und so die Überbrückung herstellt. Für den Hilfslichtbogen ist eine Spannungsquelle von nur 300 bis 400 V bei geringer Leistung nötig. Die Länge des Hilfslichtbogens richtet sich nur nach dem Elektrodenabstand, nicht nach dem Druck im Lichtbogenraum. Dadurch wird die Größe der Zündanlage von der Höhe der Sperrspannung des Ventils fast unabhängig. Auch für Stromrichteranlagen höchster Sperrspannung entstehen durch die Zündung des Lichtbogens keine Schwierigkeiten mehr. Ein Ventil für 700 kV ist zurzeit im Versuchsbetrieb.

Praktische Anwendungen

Es ist selbstverständlich, daß die hier behandelten Konstruktionen und Ausführungseinzelheiten nur Beispiele darstellen und daß für die Ausführung noch sehr viele andere Möglichkeiten bestehen, die hier nicht erwähnt werden können. Man muß natürlich bei der Durchbildung der Kühlanlagen, der Gebläseanlagen, der magnetischen Ablenkung und sämtlicher anderen Teile der Stromrichteranlagen alle die Erfahrungen und wissenschaftlichen Erkenntnisse sinngemäß anwenden, die bisher bei anderen Gebieten des Maschinenbaues gewonnen worden sind.

Die Anwendungsgebiete für die Lichtbogenstromrichter sind sehr vielfältig. Die wichtigsten sind wohl die bei elektrischen Bahnen und bei Gleichstrom-Fernübertragungen. Außerdem kommen noch Gleich- und Wechselrichteranlagen für die verschiedensten Zwecke in Frage, z. B. für die Anodenspannung großer Sendeanlagen, für Prüfanlagen usw. Es wurden bisher Ventile für Spannungen von einigen 100 V bis zu 700 000 V und für Stromstärken von 0,2 A bis zu 1000 A in Laboratoriums-Ausführung gebaut, wobei große Stromstärken auch bei hohen Spannungen auftreten können. Es werden sich auf Grund dieses großen Bereiches noch viele neue Anwendungsmöglichkeiten ergeben auf Gebieten, auf denen heute noch

¹¹⁾ Bei Argon ist die Lichtbogenspannung besonders klein (vgl. *H. Kohn* u. *M. Guckel*, *Z. Physik*, Bd. 27 (1924) S. 305).

¹²⁾ z. B. Birkeland-Eyde-Verfahren, vgl. *B. F. Halvorsen*, Bericht für Verdenskraft-Konferenzen i London 1924, Oslo 1926, S. 217/247.

¹³⁾ Vgl. eine demnächst in der *ETZ* erscheinende Veröffentlichung von *E. Marx* und *H. Buchwald*.

ohne Stromrichter gearbeitet wird. Die Ventile sind auch starken mechanischen Beanspruchungen gewachsen und von der Außentemperatur unabhängig. Für jede Spannungshöhe ist ohne Reihenschaltung nur ein Ventil nötig. Für die Gleichstrom-Fernübertragung stellen deshalb die Lichtbogenstromrichter heute die allein mögliche Umformungsart dar.

Die Mittel für die geschilderten Entwicklungsarbeiten wurden zum größten Teil von der Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft und der Helmholtz-Gesellschaft zur Förderung der physikalisch-technischen Forschung zur Verfügung gestellt, wofür ihnen auch von dieser Stelle aus gedankt sei.

B 514

Der Unfall am Pumpspeicherwerk des Schwarzen Sees in den Vogesen¹⁾

Einzelheiten der Anlage

Das Pumpspeicherwerk am Schwarzen See in den Vogesen verwertet allnächtlich die Überschußenergie des Laufkraftwerkes Kembs am Isteiner Rheinkanal, indem aus dem Schwarzen See 1,4 bis 1,6 Millionen m³ in den etwa 1 km entfernten und rd. 115 m höher gelegenen Weißsee gepumpt werden. Das dort gespeicherte Wasser wird im Maschinenhaus am Schwarzen See zur Energieerzeugung bei Spitzenzeiten ausgenutzt.

Der erforderliche Speicherraum im Untersee hat eine Spiegelschwankung von 18,5 m zur Folge; der gesamte maschinelle Teil des Krafthauses muß also in einer tiefen, gut isolierten Betonwanne liegen. Turbinen und Pumpen sind fest gekuppelt und sitzen gemeinsam mit den Stromerzeugern auf senkrechter Welle. Das Spurlager belastet das Stromerzeugerkreuz. Von den vier Maschinensätzen leisten alle Spiralturbinen 18 000/30 000 PS bei 85/120 m Fallhöhe, während drei Pumpen je 20 000 kW bei 13 m³/s und die vierte 12 500 kW bei 8 m³/s aufnehmen können.

Die Zuleitung vom oberen See her bilden zunächst zwei geschweißte Druckrohre von 3,2 m Dmr. Jedes ist durch zwei Drosselklappen gesichert, deren eine vom Maschinenhaus aus gelöst werden kann. Anschließend führt bis zum Wasserschloß ein Stollen von 5,5 m Dmr. und sodann — zunächst in einem Stollen — ein einziges Rohr von 4,6 m Dmr. bis zur Verteilung, an die sich die Abzweigungen zum Krafthaus anschließen. Auch dieses Rohr ist geschweißt und vom Austritt aus dem Stollen an mit einem Betonmantel versehen.

Der Unfall und seine Ursache

Die Anlage war mit zwei Maschinensätzen seit November 1933 in Betrieb. Während des Pumpbetriebes in der Nacht des 4. Januar 1934 riß etwa 30 m oberhalb des Krafthauses der Anschlußwinkel des Mannloches der Verteilung, die von einer französischen Firma geliefert war. Hierdurch entstand auch in der Verteilung — und zwar nirgends in der Schweißnaht — ein Riß von 7,5 m Länge und 2,5 m Breite. Ein Teil des Betonmantels wurde fortgeschleudert und durchschlug das Dach des Krafthauses. Der emporsteigende Wasserstrahl berührte die von Kembs kommende Hochspannungsleitung, der Kurzschluß machte die gesamte Anlage sofort stromlos. Unglücklicherweise stürzte der Strahl sodann durch die Lücke im Dach des Krafthauses und füllte dessen Wanne in kürzester Zeit. Von elf im Innern befindlichen Personen ertranken neun.

An den Drosselklappen der Rohreinlässe am oberen See, deren Fernsteuerung noch nicht in Betrieb genommen war, befand sich keine Wache, so daß erst 30 min nach dem Unglück die Verriegelung von zwei der vier Klappen gelöst werden konnte. Infolge der ungeheuren Wassergeschwindigkeit schlugen die Klappen blitzschnell zu, verklemmten sich aber, so daß ein voller Abschluß nicht erzielt werden konnte. Durch die Wucht des Zuschlagens der Klappen wurde in die Blechleitung unmittelbar hinter dem Klappengehäuse ein Loch von 0,20 m Dmr. geschlagen, durch das das Wasser sofort in den Bedienungsschacht einbrach; dabei entging der bedienende Arbeiter knapp dem Erstickungstod. Der obere See entleerte sich nun weniger stürmisch, und Füllung und Überlauf des unteren verursachten keinen weiteren Schaden.

Der Bruch des Anschlußwinkels des Mannloches war, wie die inzwischen abgeschlossenen Untersuchungen ergeben haben, durch zwei Werkstofffehler verursacht (Lunker), die, obwohl man probeweise 10 h lang die Rohre mit dem 1,8 fachen Wert des größten statischen Druckes abgepreßt hatte, nicht entdeckt worden waren.

Das Unglück zeigt aufs neue, wie notwendig es ist, Prüfverfahren zu entwickeln, mit deren Hilfe nicht sichtbare Werkstofffehler rechtzeitig festgestellt werden können. *Me.*

¹⁾ Vgl. Bulletin d. Schweizer Elektrotechn. Ver. Bd. 25 (1934) Nr. 2; vgl. ferner *Wasserkraft u. Wasserwirtsch.* Bd. 29 (1934) Nr. 4 S. 45, Nr. 5 S. 59.

Die Strömung durch Flügelgitter¹⁾

Von Dr.-Ing. F. Weinig VDI, Berlin-Charlottenburg

Mitteilung aus dem Institut für technische Strömungsforschung der Technischen Hochschule Berlin

Die Behandlung der Strömung durch Schaufelgitter füllt den Bereich zwischen Stromfadentheorie und Tragflügeltheorie aus. Für die Strömung durch Gitter aus Streckenprofilen werden Formeln gegeben, welche die Kräfte und die Ablenkung in einfacher Weise zu berechnen gestatten. Es wird gezeigt, daß diese Beziehungen auch für Gitter aus beliebigen Profilen gültig sind. Ferner wird ein Verfahren angedeutet, welches gestattet, Gitter zu berechnen, die vorgeschriebenen Bedingungen genügen.

Die Gitterströmung als Grundlage der Turbinentheorie

Zur Erforschung der Strömungsvorgänge und der Kräfte in Strömungsmaschinen hat die ältere Turbinentheorie den Raum zwischen je zwei Schaufeln als einen Kanal aufgefaßt, in dem jedes Flüssigkeitsteilchen parallel zu den Schaufeln geführt wird. Diese Annahme wird unzulässig, wenn die Schaufelabstände größer werden. Jede Schaufel muß dann als ein Tragflügel angesehen werden, der durch alle übrigen Schaufeln beeinflusst wird.

Da sich die Theorie der idealen Flüssigkeit beim einzelnen Tragflügel als brauchbar erwies, durfte sie auf Gitter und Sterne aus Flügelprofilen ausgedehnt werden. Die hier zu erzielenden Ergebnisse sind ebensogut mit den Vorgängen in der wirklichen Strömung vergleichbar wie beim einzelnen Tragflügelprofil; insbesondere muß auch das abweichende Verhalten hier die gleichen Ursachen haben wie dort: Zu große Verzögerung muß ebenfalls zu Wirbelablösungen und damit zu Verlusten führen, Einflüsse der Nichtraumbeständigkeit in Luft bei Annäherung an die Schallgeschwindigkeit bzw. bei deren Überschreiten oder im Wasser bei Erreichen des Verdampfungsdruckes schließen auch hier die Anwendung der einfachen Theorie aus. In gewissen Fällen ist sogar zu erwarten, daß aus den bei der Untersuchung von Tragflügeln gewonnenen Ergebnissen sinngemäß auch auf die Strömungswirkungen an Flügelgittern geschlossen werden kann. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Gitterteilung genügend groß und die Profilwölbung und -dicke genügend klein sind.

Die Notwendigkeit der Behandlung der Strömung durch Schaufelgitter mit Hilfe der Potentialtheorie ergibt sich aus der Entwicklung, welche die Konstruktion der Turbomaschinen genommen hat. Früher verwandte man verhältnismäßig engstehende Schaufeln, für deren Berechnung die *Eulersche* Stromfadentheorie nebst einigen Erfahrungskorrekturen ausreichte. Wegen der verhältnismäßig hohen Reibungsverluste und wegen der Langsamläufigkeit genügen aber solche Maschinen im allgemeinen heute nicht mehr den gestellten Anforderungen. Vergrößerung der Teilung war der Ausweg. Nun genügte aber die Erfahrungskorrekturen zur Stromfadentheorie nicht mehr, zumal sich auch die Ansprüche bezüglich des Einhaltens von Betriebsbedingungen bei verlangten Wirkungsgraden gesteigert hatten. Die Tragflügeltheorie allein reicht aber auch nicht aus; denn hierzu sind die vorkommenden Schaufelabstände meist schon zu klein. Nur die Behandlung der Strömung durch Schaufelgitter selbst kann den Bereich zwischen Stromfadentheorie und Tragflügeltheorie schließen.

Die geringsten mathematischen Schwierigkeiten bietet die ebene Strömung durch ein Flügelgitter. Solche geraden Gitter entstehen durch Abwicklung eines coaxialen Zylinderschnitts einer axial beschaufelten Strömungsmaschine. Die Strömung kann als eben behandelt werden, wenn die axiale Geschwindigkeit vor und hinter der Maschine gleich groß ist, was im wesentlichen nur bei Maschinen mit Gehäuse der Fall ist. Die Übertragung auf andere axial durchströmte Maschinen, wie z. B. Propeller,

ist aber nicht allzu schwierig. Größere praktische und mathematische Schwierigkeiten bieten die Strömungsvorgänge in radial durchströmten Laufrädern. Jeder Punkt eines Schaufelprofils dieser Laufräder hat eine andere Umfangsgeschwindigkeit. Die Relativströmung unterliegt dann keinem Strömungspotential, so daß man also auf die wesentlich schwierigere Behandlung der Absolutströmung angewiesen ist.

Die radiale Strömung durch umlaufende Schaufelsterne ist zwar schon im wesentlichen behandelt worden, doch ist ihre Theorie so schwierig darzustellen, daß hier eine Beschränkung auf die Strömung durch gerade Flügelgitter gegeben erscheint. Die hierbei gefundenen Ergebnisse lassen sich ohne weiteres auf radial durchströmte feststehende Leitapparate, festgebremste Laufräder und im Grenzfall $r_1/r_2 \rightarrow 1$ (Eintrittshalbmesser : Austrittshalbmesser $\rightarrow 1$) auch auf radial durchströmte bewegte Laufräder übertragen.

Berechnungsgrundlagen

Randbedingungen

Wie bei der Strömung um Tragflügel ist auch die Aufgabe, eine Strömung durch ein gegebenes Flügelgitter bei gegebener Anströmung zu bestimmen, vieldeutig. Es wird ja zunächst nur verlangt, daß die Flügelprofile Stromlinien sind. Eindeutig wird auch hier die Lösung erst durch Hinzunahme der *Kuttaschen* Abflußbedingung: Für jede beliebige Durchströmung hat der hintere Zusammenflußpunkt die gleiche Lage. Bei einem hinten spitz oder eckig zulaufenden Profil ist diese Endkante der Zusammenflußpunkt, bei einem hinten abgerundeten Profil fällt der Zusammenflußpunkt ungefähr mit dem Krümmungsscheitel zusammen. Durch diese Bedingung wird die Größe der Zirkulation um jedes Profil eindeutig festgelegt.

Geschwindigkeiten

Während bei der ebenen Strömung um ein einzelnes Profil die Strömung weit vor und weit hinter dem Profil immer die gleiche Richtung hat, ist das Auftreten einer endlichen Kraftwirkung der Strömung auf ein Flügelprofil eines Gitters immer mit einer endlichen Ablenkung der Strömung verbunden. Das aus der relativen Zuströmgeschwindigkeit w_1 weit vor, der relativen Abströmgeschwindigkeit w_2 weit hinter dem Gitter und der Geschwindigkeitsänderung $w_2 - w_1$ gebildete Dreieck heiße das Ablenkungsdreieck, Abb. 1. Das Mittel aus w_1 und w_2 ist die Anströmgeschwindigkeit $w_\infty = \frac{1}{2}(w_1 + w_2)$.

Eine zweckmäßig ausgewählte Gerade in Richtung des Gitters heißt die Gitterachse, eine Senkrechte dazu die Gitternormale. Den Abstand t der Profile in Richtung der Gitterachse nennt man Teilung. Ist der Radius des Zylinderschnitts r , die Schaufelzahl z , so ist $t = 2r \pi/z$. Die größte Projektion l' eines Gitterprofils heißt Profilsehne. Im Gegensatz zu der sonst gebräuchlichen Messung der Winkel von der Gitterachse aus seien im folgenden aus Zweckmäßigkeitsgründen die Winkel von der Gitternormalen gemessen. Wir bezeichnen die Richtung von w_1 , w_∞ , w_2 mit σ_1 , σ_∞ , σ_2 und nennen sie Zuström-, Anström- und Abströmrichtung. Die Komponenten w_m von w_1 , w_∞ , w_2 in Richtung der Gitternormalen sind entsprechend der Kontinuitätsbedingung bei der ebenen Strömung einander gleich. Die Komponenten der Geschwindigkeiten in Richtung der Gitterachse sind w_{u_1} , w_{u_∞} , w_{u_2} .

Kräfte

Die Anwendung des Impulssatzes liefert für jedes Profil den Axialschub

$$dS = \rho/2 (w_{u_2}^2 - w_{u_1}^2) t dr \dots \dots \dots (1)$$

und die Tangentialkraft

$$dT = \rho w_m (w_{u_2} - w_{u_1}) t dr \dots \dots \dots (2).$$

¹⁾ Auszug aus einer größeren Arbeit über „Strömung um Turbinenschaufeln“.

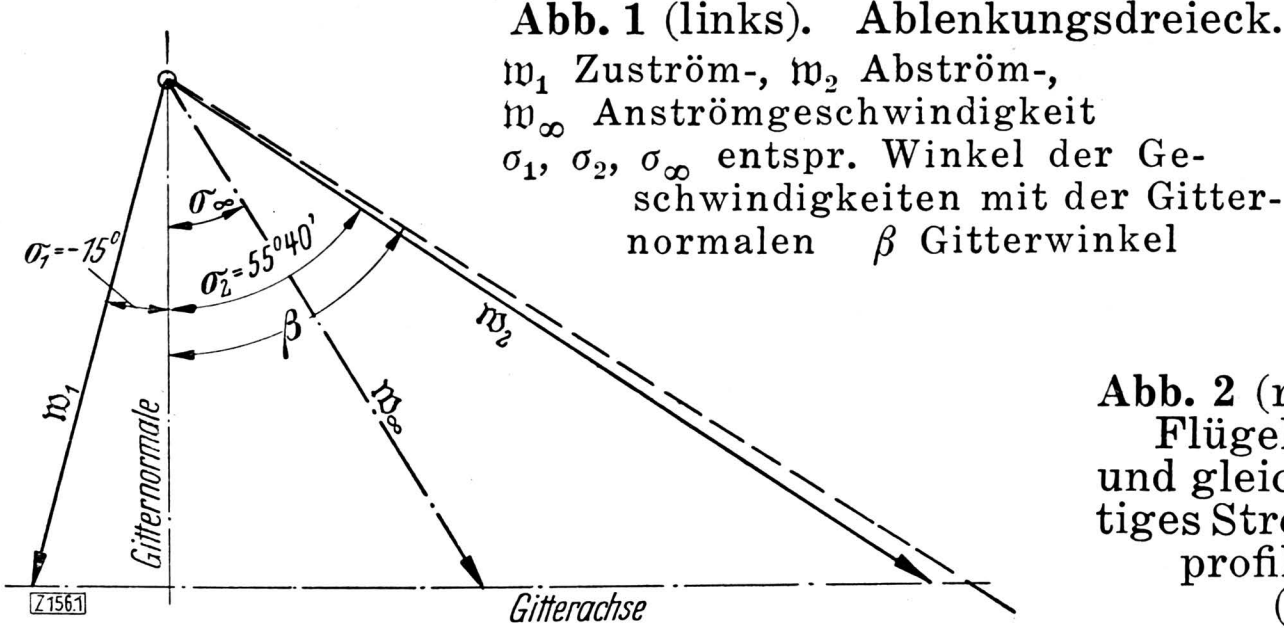


Abb. 1 (links). Ablenkungsdreieck.
 w_1 Zuström-, w_2 Abström-,
 w_∞ Anströmgeschwindigkeit
 $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_\infty$ entspr. Winkel der Geschwindigkeiten mit der Gitternormalen β Gitterwinkel

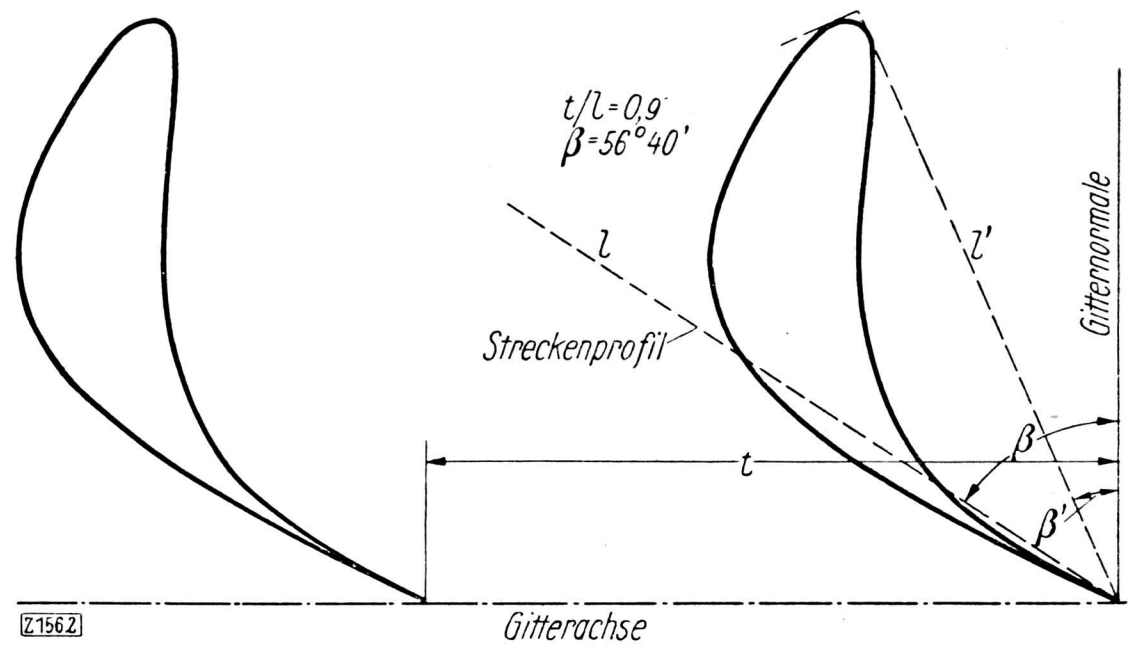


Abb. 2 (rechts)
Flügelgitter
und gleichwertiges Streckenprofilgitter
($t/l, \beta$).

Hierin bedeuten ρ die Dichte des Strömungsmediums, t die Teilung und $d r$ die Ausdehnung des Schaufelelementes senkrecht zur Strömungsebene. Mit Einführung der auf ein Profil entfallenden Zirkulation $\Gamma = (w_{u1} - w_{u2}) t$ wird die Resultierende $d P$ aus $d S$ und $d T$:

$$d P = \rho \Gamma w_\infty d r \dots \dots \dots (3);$$

sie steht senkrecht auf der Richtung von w_∞ . Die Anwendung dieses Satzes von Kutta und Joukowski auf ein Einzelprofil ist also nur die Ausdehnung auf den Grenzfall $t = \infty$, wofür bei endlicher Zirkulation $\Gamma w_1 = w_\infty = w_2$ wird.

Gleichwertigkeit eines beliebigen Profilgitters mit einem Streckenprofilgitter

Für jedes Profilgitter gibt es eine Strömung, welche die Kuttasche Abflußbedingung erfüllt und bei der gleichzeitig die Zirkulation verschwindet bzw. Zuström- und Abströmrichtung einander gleich sind ($w_1 = w_\infty = w_2$). Es werde dann die Richtung $\sigma_1 = \sigma_\infty = \sigma_2$ mit β bezeichnet. Der Potentialunterschied $D\varphi$ zwischen dem vorderen und hinteren Verzweigungspunkt ist bei einer solchen Strömung wegen des Fehlens der Zirkulation auf Druck- und Saugseite der Profile der gleiche. Ein solches Profilgitter läßt sich dann auf ein Gitter gleicher Teilung aus Streckenprofilen, Abb. 2, abbilden, wobei diese Strecken den Gitterwinkel β mit der Gitternormalen einschließen und die Länge $l = \frac{D\varphi}{w_\infty}$ haben. Dieses Streckenprofilgitter ist zum gegebenen Profilgitter bei jeder Anströmung bezüglich der Gesamtkraft auf die einzelnen Profile gleichwertig.

Der Quertriebsbeiwert ζ_a ist, auf die Länge l der gleichwertigen Streckenprofile bezogen,

$$\zeta_a = \frac{d P}{\rho/2 w_\infty^2 l d r} \dots \dots \dots (4);$$

zwischen dem Teilungsverhältnis t/l , dem Quertriebsbeiwert ζ_a und den Größen des Ablenkungsdreiecks besteht dann die für die praktische Bemessung wichtige Beziehung

$$t/l = \zeta_a 2 \left(\frac{w_\infty}{w_{u2} - w_{u1}} \right) \dots \dots \dots (5).$$

Unter dem Anstellwinkel δ werde der Unterschied zwischen β und σ_∞ verstanden: $\delta = \beta - \sigma_\infty$. Für das Streckenprofilgitter und damit unter seiner Zuhilfenahme für beliebige Gitter gilt dann:

$$\zeta_a = 2 \pi k \sin \delta \dots \dots \dots (6).$$

Der Quertriebsbeiwert ist also dem sinus des Anstellwinkels proportional.

Die Beziehungen am Streckenprofilgitter

Die Größe der Konstanten k hängt ab von der Gitterstellung, die durch das Teilungsverhältnis t/l und den Gitterwinkel β bestimmt ist. Die Konstante k stellt das Vielfache der Kraft dar, die ein Streckenprofil im Gitterverband bei gleichem Anstellwinkel δ erfährt wie ein alleinstehendes Streckenprofil. Zur Berechnung von k ist die konforme Abbildung der Strömung durch das Streckenprofil auf eine bekannte Strömung zweckmäßig. Als besonders übersichtlich ergab sich die Abbildung eines Gitterstreifens auf das Äußere des Einheitskreises, Abb. 3. Dieser Einheitskreis ist also das

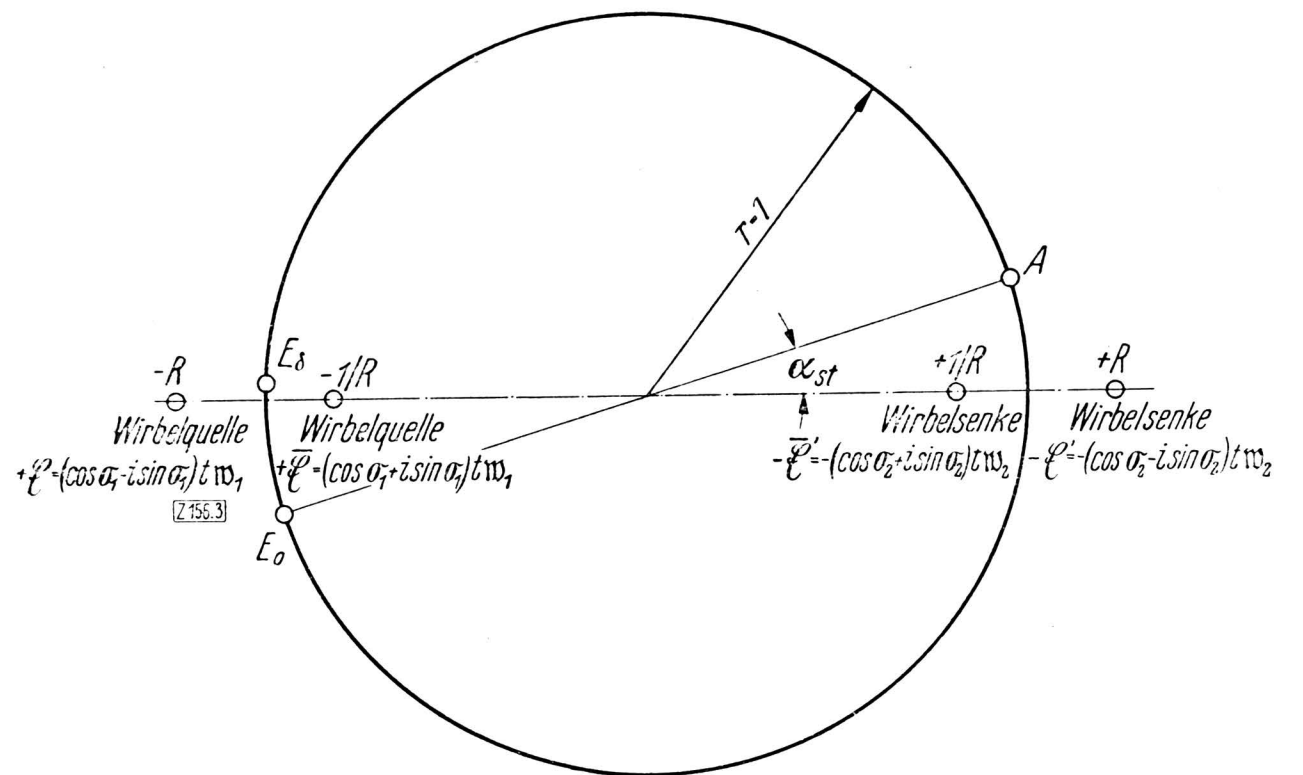


Abb. 3. Abbildung eines Streckenprofilgitters auf einem Kreis.

A und E hinterer und vorderer Verzweigungspunkt, $+R$ Wirbel-Senke, $-R$ Wirbel-Quelle, $+1/R$ gespiegelte Wirbel-Senke, $-1/R$ gespiegelte Wirbel-Quelle. Die Werte der Ergiebigkeit ζ sind in die Abbildung eingetragen. Die Winkel σ_1, σ_2 und die Geschwindigkeiten w_1, w_2 sind aus Abb. 1 zu ersehen. t Teilung.

Bild der Ober- und Unterseite des Streckenprofils. Ursprung und Abfluß der Strömung läßt man zweckmäßig symmetrisch zum Bildkreis nach $-R$ bzw. $+R$ fallen. Die Verzweigungspunkte E_0 und A entsprechen den Endpunkten des Streckenprofils. Der Bildkreiswinkel des hinteren Verzweigungspunktes A sei α_{st} . Zwischen der Konstanten k , den Gitterparametern t/l und β und den Bildparametern R und α_{st} bestehen folgende Beziehungen²⁾:

$$\operatorname{tg} \alpha_{st} = \operatorname{tg} \beta \frac{R^2 - 1}{R^2 + 1} \dots \dots \dots (7a)$$

$$t/l = \frac{1}{\pi} \left\{ \cos \beta \ln \frac{R^2 + 2 R \cos \alpha_{st} + 1}{R^2 - 2 R \cos \alpha_{st} + 1} + 2 \sin \beta \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{2 R \sin \alpha_{st}}{R^2 - 1} \right\} \dots \dots (7b)$$

$$k = \frac{4}{\pi} \frac{t}{l} \frac{R}{R^2 + 1} \frac{\cos \alpha_{st}}{\cos \beta} \dots \dots \dots (7c).$$

Die Abhängigkeit zwischen $k, t/l$ und β ist in Abb. 4 graphisch dargestellt. Für die Grenzwerte von β fanden Kutta und Grammel für $\beta = 0^\circ$

$$k_{(\beta=0^\circ)} = \frac{2 t}{\pi l} \operatorname{tg} \frac{\pi l}{2 t} \dots \dots \dots (7b_1);$$

ferner erhielt Grammel für $\beta = 90^\circ$

$$k_{(\beta=90^\circ)} = \frac{2 t}{\pi l} \operatorname{tg} \frac{\pi l}{2 t} \dots \dots \dots (7b_2).$$

Für kleine Teilung — praktisch bis $t/l \approx 0,70$ — gilt in naturgemäßer Übereinstimmung mit der Stromfadentheorie

$$k_{(t/l < 0,70)} \sim \frac{2 t}{\pi l} \frac{1}{\cos \beta} \dots \dots \dots (7c_3).$$

²⁾ J. Sydow, Dipl.-Arbeit T. II, Berlin (unveröffentlicht).

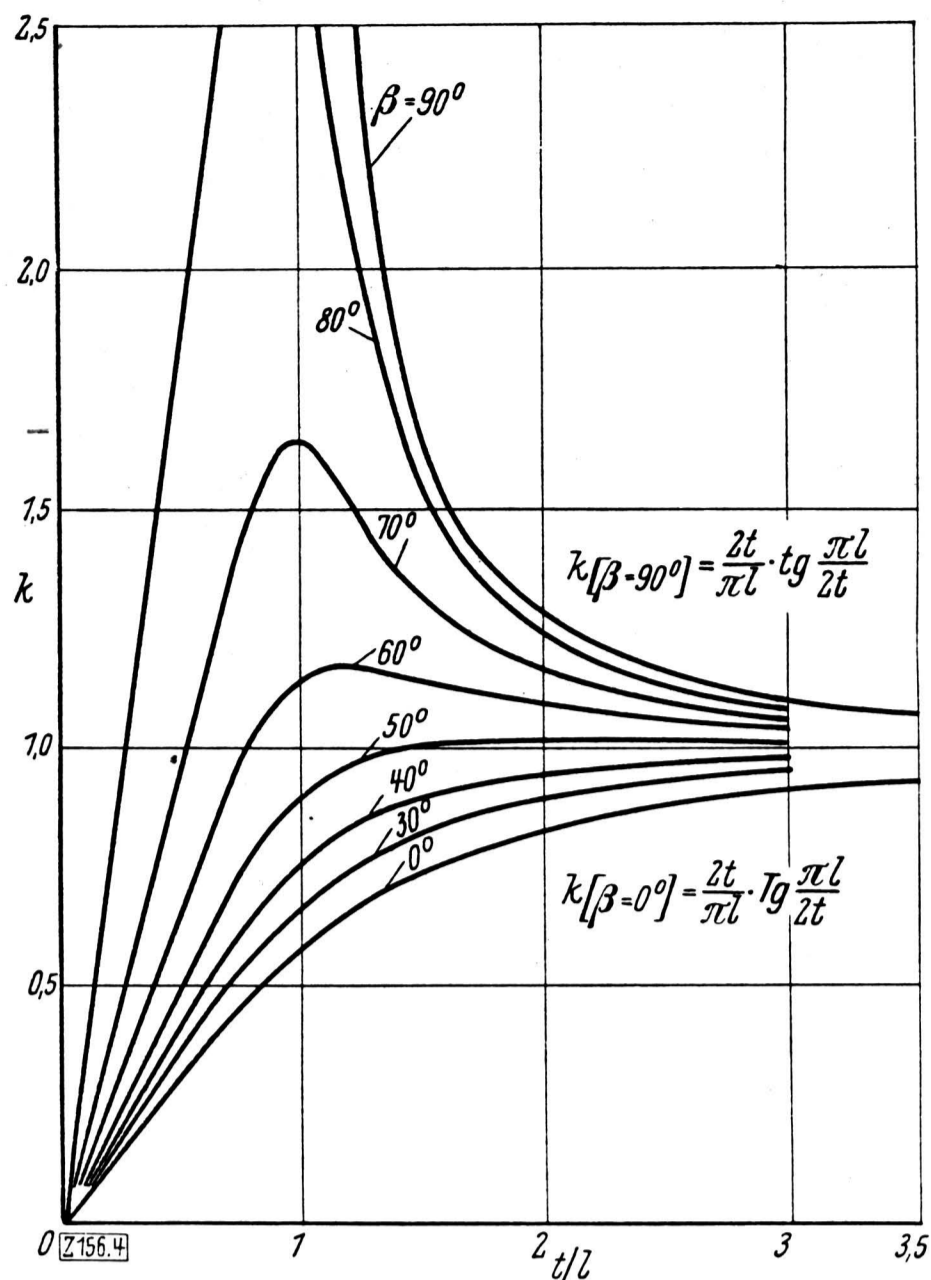


Abb. 4. Beiwert k des Gittereinflusses auf den Quertrieb.

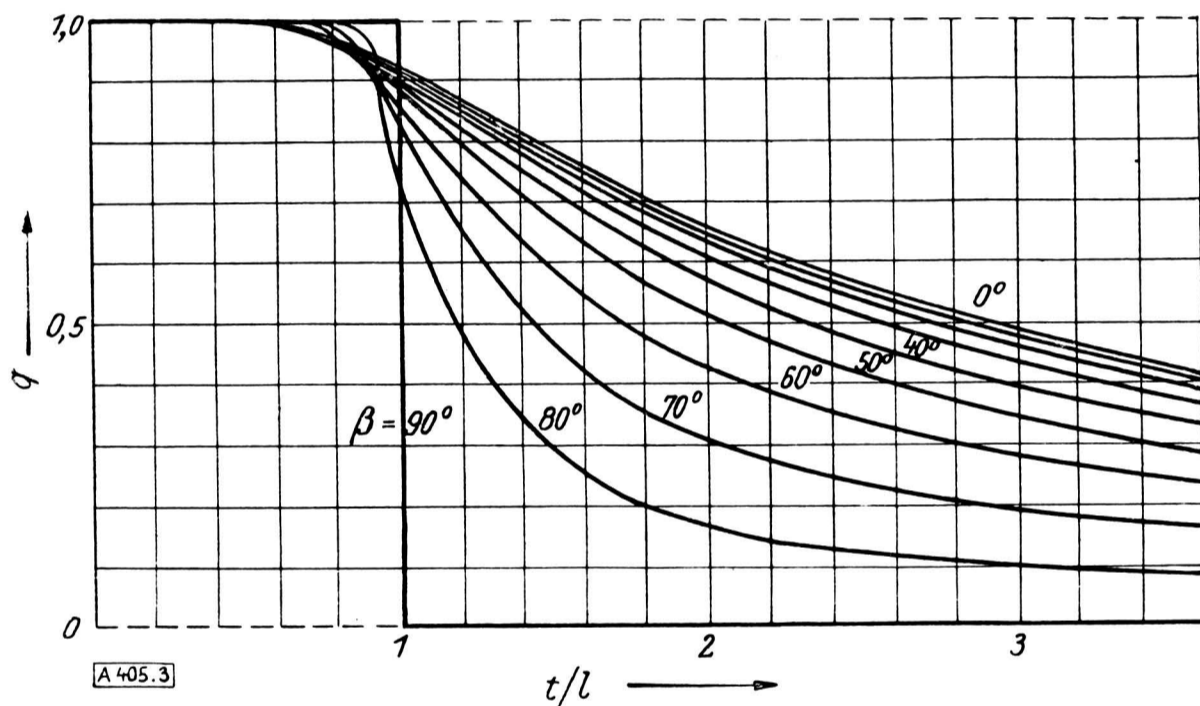


Abb. 5. Beiwert q für den Zusammenhang zwischen Zu- und Abströmrichtung. (Zu Abb. 4 und 5) t/l Teilungsverhältnis des Streckenprofilgitters, β Gitterwinkel.

Ähnliche Lösungen fanden König, Pantell, Numachi, Kawada, Manea, Schilhansl.

Beziehungen zwischen Zu- und Abströmrichtung und Gitterteilung und Staffelung

Bei der praktischen Berechnung einer Turbine wird zweckmäßig vom Ablenkungsdreieck, Abb. 1, ausgegangen. Mit Hilfe der Formeln für k kann man nach Wahl eines Auftriebsbeiwertes, von dessen Größe ja z. B. Verluste und Kavitationsgefahr abhängen, das einem gegebenen Ablenkungsdreieck entsprechende Streckenprofilgitter ($t/l, \beta$) finden. Dieses Streckenprofilgitter ist dann durch ein gleichwertiges Gitter aus praktisch brauchbaren Profilen zu ersetzen.

Vielfach interessiert auch die Richtungsänderung, der die Abströmgeschwindigkeit w_2 unterliegt bei Richtungsänderung der Zu- und Abströmgeschwindigkeit w_1 . Für ein gegebenes Gitter besteht zwischen der Zu- und Abströmrichtung σ_1 und σ_2 bei Zugrundelegung des Parameters q folgender Zusammenhang:

$$\frac{\text{tg } \sigma_2 - \text{tg } \sigma_1}{\text{tg } \beta - \text{tg } \sigma_1} = \frac{2q}{q+1}$$

Hierbei ist

$$\left. \begin{aligned} q(t/l, \beta) &= \frac{k}{2t} \frac{1}{\cos \beta} = \frac{2R}{R^2+1} \cos \alpha_{st} \\ q(\beta=0^\circ) &= \text{tg } \frac{\pi l}{2t} \end{aligned} \right\} \dots (8)$$

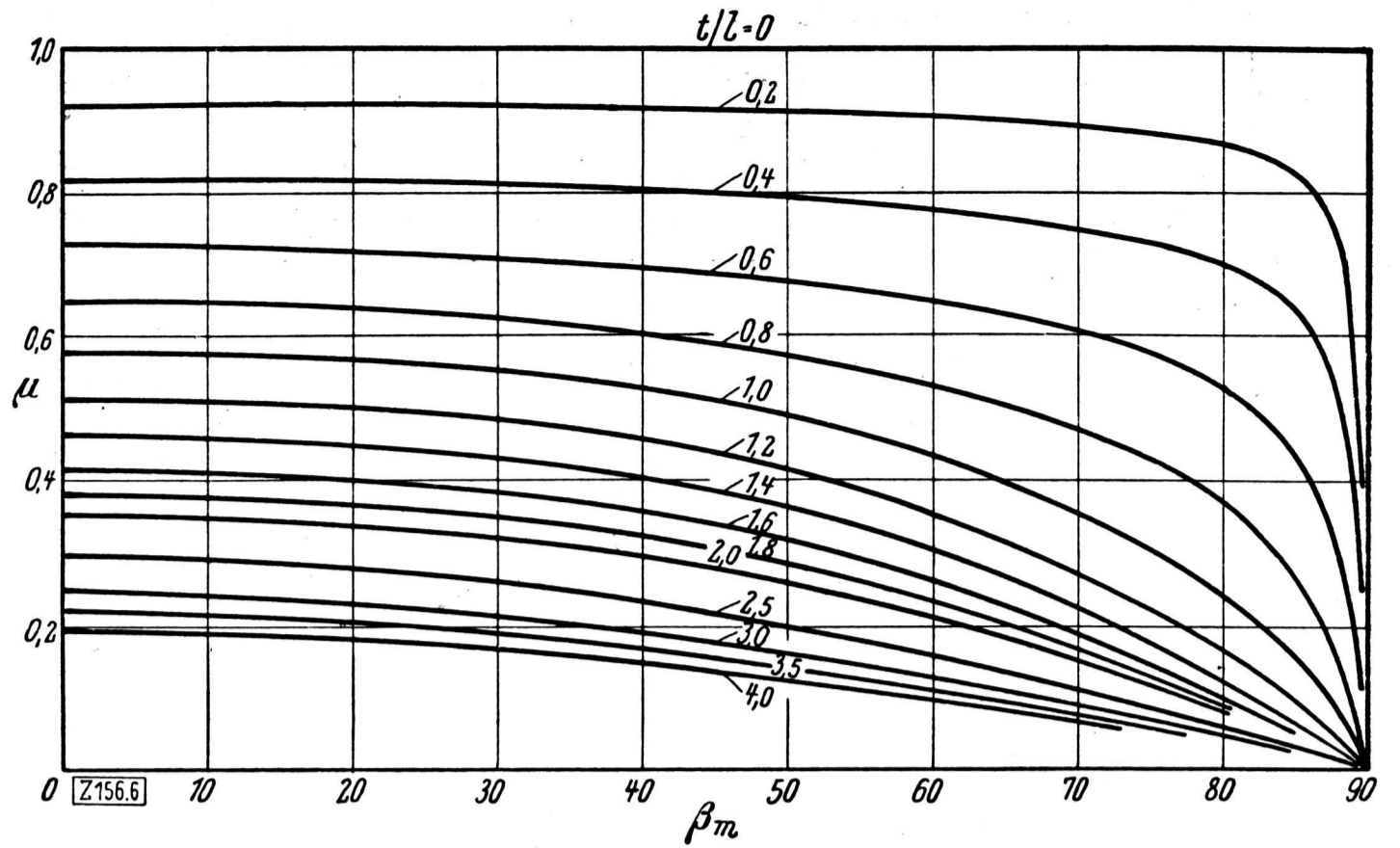


Abb. 6. Beiwert μ der Winkelübertreibung bei glatter Durchströmung eines Gitters aus Kreisbogenprofilen. β_m Mittel zwischen Eintritts- und Austrittsrichtung, t/l Teilungsverhältnis.

Die Beziehung zwischen q und t/l sowie β ist in Abb. 5 dargestellt. Aus dieser Abhängigkeit ergeben sich einfache graphische Verfahren zur Ermittlung der Abströmrichtung für eine gegebene Zu- und Abströmrichtung, wenn $t/l, \beta$ bzw. q bekannt sind. Ferner folgt daraus die lineare Momentencharakteristik auch für axiale Turbinen mit beliebig großer Schaufelteilung und entsprechend die parabolische Leistungscharakteristik.

Bei der Eulerschen Stromfadentheorie ist die Abströmrichtung der Richtung des Austrittsendes der Turbinenschaufel gleich. Mit Hilfe der obigen Formel ist der Vergleich zwischen den Ergebnissen der Stromfadentheorie und der Gittertheorie leicht durchzuführen. Zum Vergleich zwischen Tragflügeltheorie und Gittertheorie kann man die Formel für k benutzen. Man muß aber dabei beachten, daß die Lage und Größe der gleichwertigen Streckenprofile gegenüber der Profilschneide von der Anordnung des Profils im Gitterverbande abhängig sind.

Winkelübertreibung

Solange man sehr enge Teilungen benutzte, konnte man, da die Voraussetzungen zur Anwendung der Stromfadentheorie gegeben waren, die Anfangs- und Endrichtung der Schaufeln den Zu- und Abströmrichtungen der im Hauptbetriebszustand zu verwirklichenden Strömung gleich machen. Bei größeren, aber immer noch sehr mäßigen Teilungen genügte dies nicht mehr. Entsprechend dem von Föttinger eingeführten Begriff der Winkelübertreibung mußte man die Eintritts- und Austrittsrichtungen der Schaufeln im Sinne einer vergrößerten Ablenkung übertreiben. Die Übertreibung der Eintrittsrichtung war notwendig, wenn man glatten Eintritt der Strömung in das Schaufelgitter erreichen, d. h. eine Umströmung der Zu- und Abströmrichtungen vermeiden wollte. Unter den Anfangs- und Endrichtungen einer Schaufel kann man die Anfangs- und Endrichtungen der Profilmittellinie verstehen. Es ist aber bisher nicht gelungen, exakte Angaben über die jeweils nötige Größe der Winkelübertreibung zu machen, mit Ausnahme von zwei, allerdings sehr instruktiven Fällen:

1. Für Gitter aus schwach gewölbten Kreisbogenprofilen und nicht zu enger Teilung wird die Winkelübertreibung bei glattem Durchströmen, wenn man mit β_m das Mittel zwischen der Eintrittsrichtung β_e und der Austrittsrichtung β_a bezeichnet,

$$\sigma_2 - \beta_a = \beta_e - \sigma_1 = (1-\mu) (\beta_e - \beta_m) = (1-\mu) (\beta_m - \beta_a) \quad (9)$$

hierbei ist

$$\mu = \frac{t/l}{\pi/2} \cos \beta_m \ln \frac{R^2+1}{R^2-1} \dots (10)$$

In Abb. 6 ist diese Beziehung graphisch dargestellt. Praktisch scheint aber diese Formel auch für große Wölbungen und verhältnismäßig enge Teilung brauchbar zu sein.

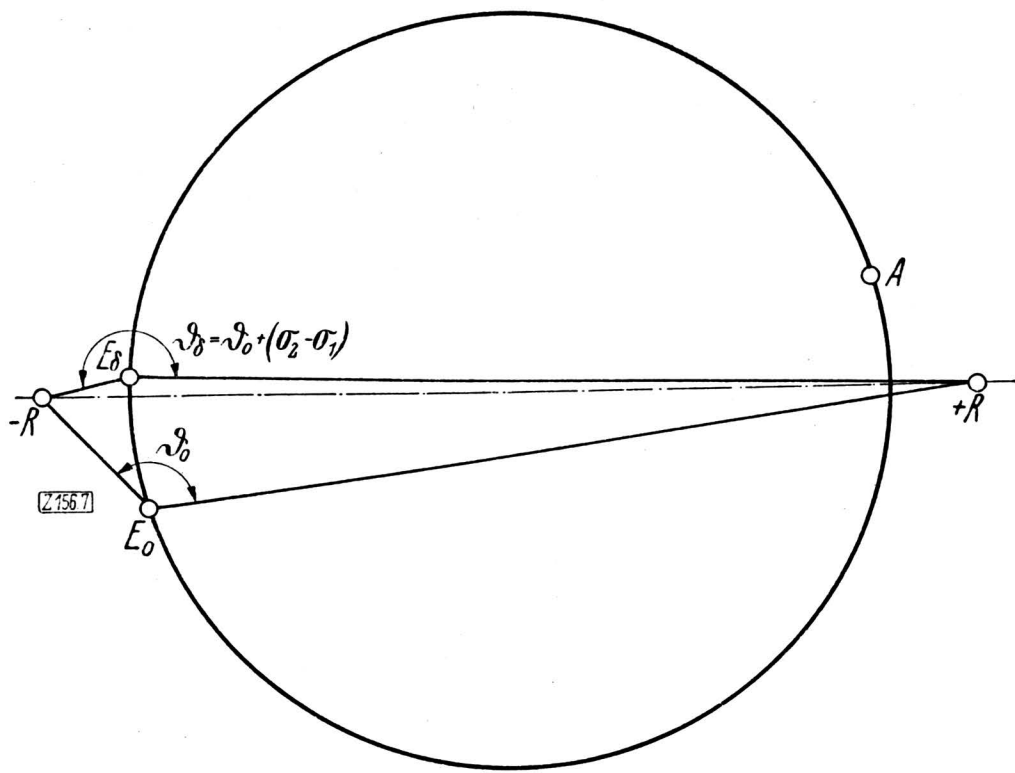
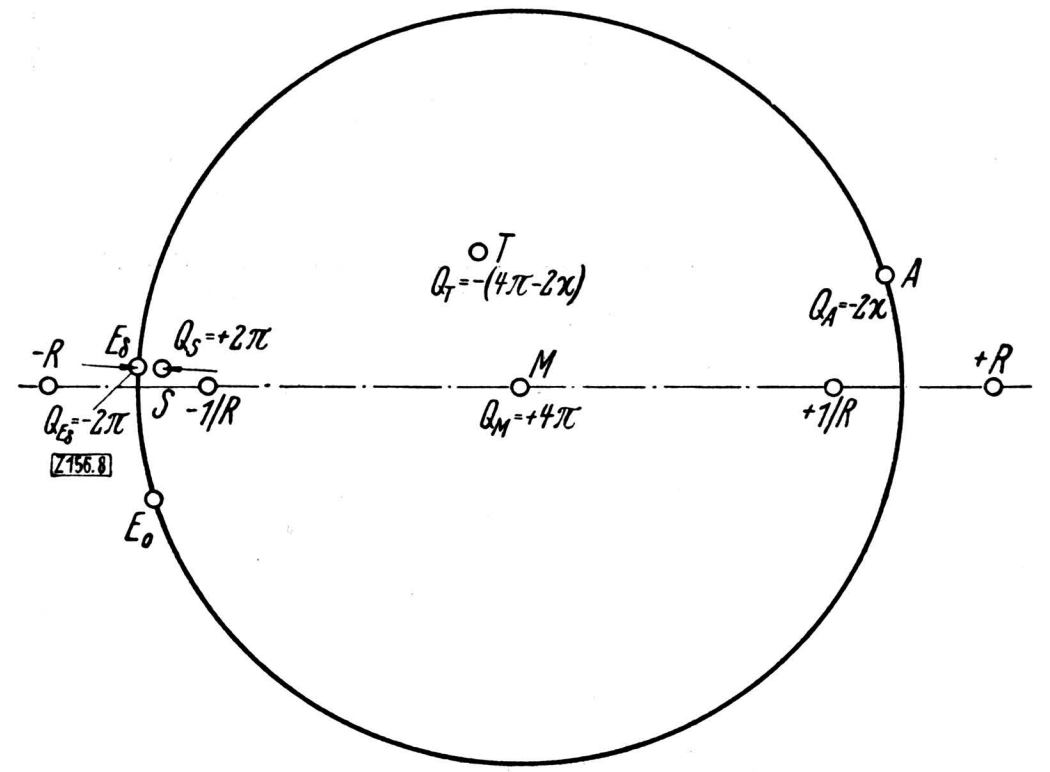


Abb. 7 (links)
Verlagerung des vorderen Verzweigungspunktes E_0 für quertriebsfreie Umströmung nach E_δ für Umströmung mit der Ablenkung $\sigma_1 - \sigma_2$.

Abb. 8 (rechts)
Ermittlung eines Profilgitters mit vorgeschriebenen Eigenschaften. A hinterer Verzweigungspunkt, E_δ Staupunkt, entsprechend der Ablenkung. M , S und $-1/R$ Orte von symbolischen Quellen, A , E_δ , T und $+1/R$ Orte von symbolischen Senken.



2. Bei Gittern sehr enger Teilung kann es vorkommen, daß die anfängliche Krümmung der dünnen Schaufel (bzw. ihrer Mittellinie) nicht verschwindet, da der Krümmungsradius r von gleicher Größenordnung wie die Teilung t wird. Die für glatten Eintritt nötige Winkelübertriebung wird dann

$$\beta_e - \sigma_1 = \frac{1}{\pi} \frac{t}{r} (\cos \sigma_1 \ln 2 \cos \sigma_1 + \sigma_1 \sin \sigma_1) \quad (11).$$

Entsprechendes gilt für den Austritt. Diese Formel ist praktisch für nicht zu großes t/r und für Teilungsverhältnisse $t/l < 0,70$ mit guter Genauigkeit anwendbar. Sie hat besondere Bedeutung auch für die Beurteilung von Abänderungen, wie sie durch Befleilen oder Umbiegen der Schaufelenden vorgenommen werden.

Formgebung und Dimensionierung

Die angegebenen Ergebnisse der Anwendung der Potentialtheorie auf die geraden Gitter haben eigentlich nur Gültigkeit für ideale Flüssigkeiten. Eine nähere Untersuchung der Potentialströmung bezüglich der Geschwindigkeitsverteilung der Strömung auf der Berandung der Profile läßt aber unter Zuhilfenahme der Erfahrung Rückschlüsse auf das Verhalten der wirklichen Strömung zu. Bei weiter Teilung und mäßiger Wölbung und Dicke der Profile sind am Profil im Gitterverband ungefähr gleiche Geschwindigkeitsverteilungen an den Profilen zu erwarten wie bei gleicher Belastung am einzeln stehenden Profil und somit eine quantitativ ebenso gute Übereinstimmung der wirklichen Strömung mit der idealen. Dennoch lassen sich die Versuchsergebnisse an Tragflügelmodellen nicht ohne weiteres auf entsprechende Profilgitter übertragen. Ist nämlich die Abströmgeschwindigkeit w_2 größer als die Zuströmgeschwindigkeit w_1 , was im allgemeinen bei Turbinengittern der Fall ist, so ist im Mittel die Strömung beschleunigt; daraus kann auch an den Gitterprofilen selbst auf der Saugseite gegen das Austrittsende zu auf eine geringere Verzögerung als bei entsprechender Belastung am Einzelprofil geschlossen werden.

Ist $w_2 < w_1$, was z. B. bei Pumpengittern vorkommt, so ist das Umgekehrte zu erwarten. Bei Verwendung in Beschleunigungsgittern sind also geringere Verluste und insbesondere eine Ablösegefahr erst bei größeren Belastungen zu erwarten als beim gleichen Tragflügelprofil. Bei Verzögerungsgittern sollte an sich das Umgekehrte auftreten. Doch wird ein Teil dieser ungünstigen Einflüsse durch die allgemein in Gittern bessere Führung der Strömung wahrscheinlich aufgehoben.

Während nun bei Tragflügelprofilen nicht nur gute Strömungseigenschaften, sondern neben der Bedingung geringer Lageänderung des Druckpunktes gutes Verhalten in einem großen Bereiche von möglichen Zuständen wegen der Verschiedenheit der Belastungen beim Starten, Fliegen und Landen verlangt werden, ist bei Profilgittern vielfach nur ein kleinerer Bereich für Änderung des Betriebszustandes in Betracht zu ziehen. Hieraus ergibt sich wiederum die Möglichkeit, größere Quertriebswerte insbesondere bei Turbinen anzuwenden, als sie bei Tragflügeln zur Verwendung kommen. Für die sich er-

gebenden Profile größerer Wölbung müssen besondere Versuche im Gitterverbande durchgeführt werden.

Die Potentialtheorie gibt die Möglichkeit, sowohl Gitter aus gegebenen Profilen zu untersuchen als auch Profilgitter mit verlangten Eigenschaften zu konstruieren. Man kann z. B. vorschreiben

das zu glatten Umströmungen gehörige Ablenkungsdreieck,

das Teilungsverhältnis bzw. die Belastung, die Dicke bzw. Krümmung der Profilnase, den Kantenwinkel des Austrittsendes,

daß die Geschwindigkeitsverteilung bei glattem Umströmen möglichst glatt und die maximale Übergeschwindigkeit möglichst klein sein soll.

Der Lösungsgedanke sei kurz skizziert:

Aus dem gewünschten Ablenkungsdreieck, Abb. 1, und dem vorgeschriebenen Quertriebsbeiwert ζ_a erhält man nach Gl. (5) das Teilungsverhältnis t/l und nach Gl. (6) und (7c) (Abb. 4) die Staffelung β des gleichwertigen Streckenprofilgitters. Nach Gl. (7a) und (7b) lassen sich dann die Bildparameter R und α_{st} bestimmen. Das gesuchte Gitter denkt man sich auf den hierdurch gegebenen Einheitskreis abgebildet, Abb. 3.

Durch α_{st} liegt der hintere Verzweigungspunkt A fest. Der vordere Verzweigungspunkt liegt aber nur im Falle quertriebsfreier Umströmung an der Stelle E_0 (dem Punkte A diametral gegenüber). Der Ablenkung entspricht eine Staupunktswanderung nach E_δ , wie Abb. 7 andeutet. Die Strömung durch das gesuchte Gitter in der

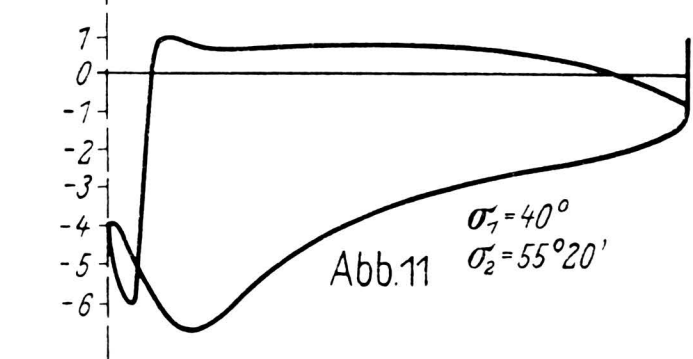
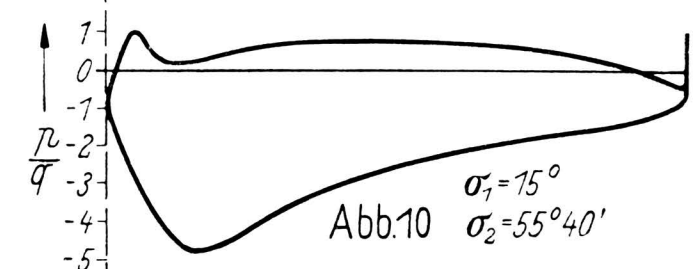
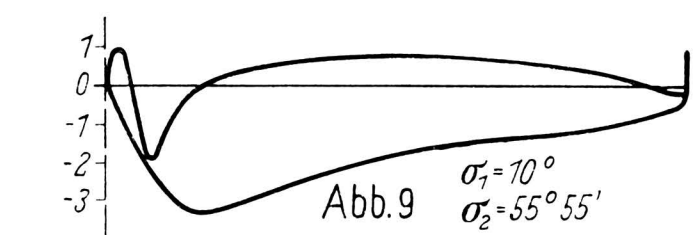
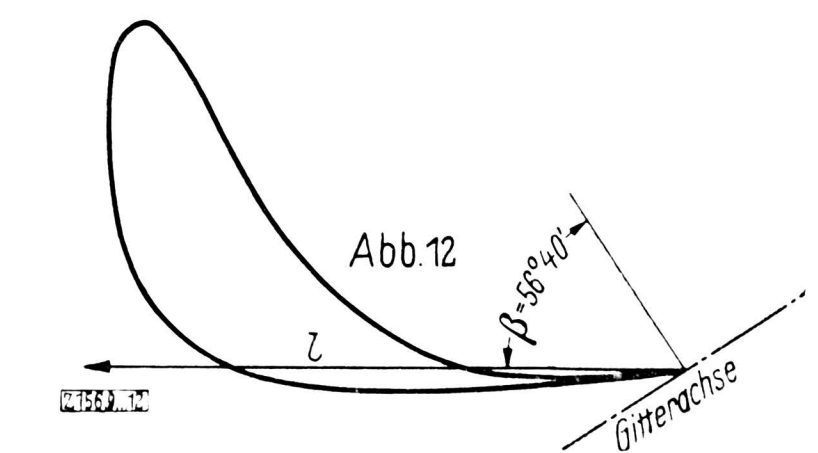


Abb. 9 bis 12
Druckverteilung p/q an einem Gitterprofil bei Rückenstoß, Abb. 9, bei glattem Durchströmen, Abb. 10, und bei Bruststoß, Abb. 11.

$$\left(q = \frac{\rho}{2} w_\infty^2 \right)$$

Abb. 12. Das Abb. 8 entsprechende Gitterprofil ρ Dichte des Strömungsmediums, w_∞ Anströmgeschwindigkeit, σ_1 und σ_2 Zuström- und Abströmwinkel.



Strömungsebene $z = x + iy$ läßt sich durch die Gleichung $\chi(z) = \varphi + i\psi$ darstellen. φ ist der reelle und ψ der rein imaginäre Teil des komplexen Strömungspotentials. Die Strömungsgeschwindigkeit ist $d\chi/dz$. Logarithmieren ergibt $\bar{\chi}(z) = \ln d\chi/dz = \ln w + i(\pi - \nu)$. w stellt den Absolutwert der Geschwindigkeit und ν deren Richtung dar. In der Bildebene ζ läßt sich $\bar{\chi}$ wie eine Strömung durch Quellen und Senken auf der Bildkreisberandung bzw. im Innern des Bildkreises darstellen. Die Verteilung der Quellen und Senken innerhalb des Einheitskreises bestimmt die Form der aus ihnen durch Integration

$$z = \int \frac{d\chi/d\zeta}{-e^{\bar{\chi}(\zeta)}} d\zeta,$$

hervorgehenden Profile, wobei für den Bildkreis $\zeta = e^{ia}$ ist. Dem vorderen Staupunkt E_δ entspricht in $\bar{\chi}$ eine Senke $Q_{E_\delta} = -2\pi$ der Abflußkante eine Senke $Q_A = 2\pi$, wobei κ der verlangte Kantenwinkel ist, Abb. 8. Die übrige Verteilung der Singularitäten ist willkürlich. Eine brauchbare Verteilung ist folgende: Die größte Krümmung erhält man z. B. entsprechend der Forderung glatten Umströmens in Nähe von E_δ des gesuchten Profils durch Anbringen einer Quelle $Q_S = 2\pi$ in einem Punkt S auf dem Durchmesser durch E_δ . Der Abstand zwischen E_δ und S selbst ist ein Maß für den Krümmungsradius der Profilnase bzw. für die Profildicke. Weiter ist die Anbringung einer Quelle $Q_M = 4\pi$ im Bildkreismittelpunkt M und einer Senke $Q_T = -(4\pi - 2\pi)$ in einem Punkt T zweckmäßig. Die Lage von T ergibt sich daraus, daß der Unterschied der Richtungswerte in den Punkten $-R$ und $+R$ gerade der Ablenkungswinkel sein muß. Eine solche Verteilung ergibt glattes Umströmen und verhältnismäßig kleine Übergeschwindigkeiten nebst einer gleichmäßigen Druckverteilung für das vorgeschriebene Ablenkungsdreieck und auch noch gute Verhältnisse bei geringem Brust- und Rückenstoß.

In Abb. 9 bis 11 sind einige Druckverteilungskurven dargestellt, die für das in Abb. 12 bzw. 2 dargestellte Profilvergitter ermittelt wurden. Dieses Profil ist durch graphische Integration aus der Quellenverteilung nach Abb. 8 entstanden. Die Druckverteilungskurven sind für verschiedene Zuströmrichtungen σ_1 ermittelt, die gemäß Gl. (8) die Abströmrichtung σ_2 beeinflusst. Abb. 9 gilt für den Fall des Rückenstoßes, Abb. 10 für glattes Durchströmen, während Abb. 11 die Druckverteilung beim Bruststoß zeigt. Aus dem Beispiel ist zu ersehen, daß man auf die angegebene Weise tatsächlich brauchbare, den vorgeschriebenen Bedingungen entsprechende Profilvergitter erhalten kann.

Aus bisher gewonnenen Druckverteilungskurven ließen sich wichtige Schlüsse ziehen: Bei Verringerung der Teilung nimmt zwar die mittlere Belastung im gleichen Verhältnis ab, nicht dagegen der maximale Unterdruck; dieser erreicht vielmehr seinen Bestwert offenbar bei einem mittleren Teilungsverhältnis, wenigstens bei der glatte Umströmung ergebenden Durchströmung. Aber auch bei mäßigem Stoß verändern sich diese Verhältnisse nur unwesentlich. Verringerung der Teilung unter eine gewisse Grenze hinunter hat demnach keine Verringerung des größten Unterdruckes mehr zur Folge, also auch keine Verringerung der Kavitationsgefahr. Da-

gegen wird dann die Völligkeit der Druckverteilung verringert und damit der Verlauf des Druckanstiegs bezüglich der Ablösegefahr ungünstiger. Es scheint somit eine dankbare Aufgabe zu sein, Gitter für große Umlenkungen noch in größerer Anzahl zu untersuchen sowohl durch Rechnung als durch Versuch. Auf diesem Gebiet dürften sich praktische Fortschritte noch erreichen lassen.

Zusammenfassung

Durch das Zusammenwirken einer Reihe von Flügelprofilen sind die Kräfte gegenüber denen an einem Einzelprofil geändert. Die Wirkung der Profile auf die Strömung ist aber ähnlich wie beim Einzelprofil, so daß hier der Behandlung der idealen Strömung die gleiche Bedeutung zukommt. Es wird gezeigt, wie man Gitter mit günstigen Druckverteilungen erhalten kann.

Schrifttum-Verzeichnis

Nachstehende Angaben beziehen sich nur auf Strömung durch Gitter und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

- A. Busemann, Das Förderhöhenverhältnis radialer Kreiselpumpen mit logarithmisch-spiraligen Schaufeln. Z. angew. Math. u. Mech. Bd. 8 (1928) S. 372.
- F. Busmann, Arbeitsströmung einer Propellerturbine, VDI-Forschungsheft 349, Berlin 1931.
- W. Bauersfeld, Die Grundlagen zur Berechnung schnellaufender Kreisellräder. Z. VDI Bd. 66 (1922) S. 461.
- E. Braun, Zur Gittertheorie der Propellerräder. Escher-Wyss Mitt. 1932, S. 64.
- K. Christiani, Experimentelle Untersuchung eines Tragflügelprofils bei Gitteranordnung. Luftf.-Forsch. Bd. 2 (1928) S. 91.
- H. Föttinger, Über die phys. Grundlagen der Turbinen- und Propellerwirkung. Z. Flugtn. Motorluftsch. Bd. 3 (1912) S. 233.
- R. G. Harris u. R. A. Fairthorne, Aeron, Research Comm. (London). Reports and Memoranda Nr. 1206.
- E. König, Potentialströmung durch Gitter. Z. angew. Math. Mech. Bd. 2 (1922) S. 422.
- Lindner, Beitrag zur Bestimmung der Winkelübertreibung bei Axialturbinen. Wasserkr. u. Wasserwirtsch. Bd. 25 (1930) S. 76.
- G. Manea, Ermittlung des Geschwindigkeits- und Druckverlaufs längs beliebig geformter Schaufeln eines zellenlosen Turbinenrades. Diss. T. H. Berlin 1932.
- K. Pantell, Die Laufradberechnung für Kaplan-Turbinen. Wasserkr. u. Wasserwirtsch. Bd. 28 (1933) S. 241 u. 256.
- ders. Tragflächenantrieb und Turbinentheorie. Wasserkr. u. Wasserwirtsch. Bd. 21 (1926) S. 183.
- F. Prasil, Verschiedene Strömungserscheinungen. Verh. 2. Internat. Kongr. Techn. Mech. Zürich 1926, S. 473.
- M. Schilhansl, Rechnerische Untersuchungen zum Kavitationsproblem. Wasserkr.-Jb. 1928/29 S. 394.
- F. Seewald, Die Strömung um Flügelprofile und deren Anwendung bei Strömungsmaschinen. Z. VDI Bd. 77 (1933) S. 573.
- E. Sörensen, Potentialströmungen durch rotierende Kreisellräder. Z. angew. Math. Mech. Bd. 7 (1927) S. 89.
- W. Spannhake, Anwendung der konformen Abbildung auf die Berechnung von Strömungen in Kreisellrädern. In: Hydraulische Probleme, Berlin 1926, S. 180, u. Z. angew. Math. u. Mech. Bd. 5 (1925) S. 481.
- F. Weinig, Berechnung von Axialturbinen durch Streckenprofilgitter. Z. angew. Math. Mech. Bd. 13 (1933) S. 448.
- ders. Über die Winkelübertreibung von Turbinenschaufeln. Wasserkr. u. Wasserwirtsch. Bd. 29 (1934) Heft 3 S. 25.

Höhenprüfstand für Flugmotoren

In dem Höhenprüfstand für wassergekühlte Flugmotoren des Flugmotorenwerks Isotta-Fraschini, Mailand, wird der Luftzustand der Höhe für die äußeren und inneren Betriebsbedingungen des Motors hergestellt, d. h. die gekühlte und verdünnte Luft strömt auch mit einer dem Flug entsprechenden Geschwindig-

keit um den Motor. Die Luft wird in zwei übereinander angeordneten Kanälen, die einen rechteckigen Querschnitt von $2 \times 2,5 \text{ m}^2$ haben, in geschlossenem Kreislauf geführt und mittels Rippenrohre und gekühlter Sole auf eine Temperatur von -18° gebracht. Die gesamte Kälteleistung der Anlage beträgt 250 000 kcal/h.

Es können Motoren bis zu 800 PS Leistung bei einem Luftzustand geprüft werden, der einer Höhe von 10 km entspricht. Die Verbrennungsluft für den Motor wird aus dem Prüfraum angesaugt und vor Eintritt in den Motor nachgekühlt. [Luftwissen Bd. 1 (1934) Nr. 5 S. 135.] Bdt.

Die Adolf-Hitler-Brücke über die Mosel

Die zweite feste Straßenbrücke bei Koblenz

Von o. Prof. Dr.-Ing. Franz Dischinger, Berlin

Am 22. April 1934 wurde in Koblenz die zweite feste Moselbrücke dem Verkehr übergeben und auf den Namen des Führers getauft. Diese in Eisenbeton ausgeführte Dreigelenk-Bogenbrücke stellt die kühnste Massivbogenbrücke dar, die bisher auf der Welt gebaut wurde. Im folgenden werden die konstruktiven Einzelheiten der Brücke besprochen — die Konstruktion der Gewölbe erfolgte nach Angaben und unter Leitung des Verfassers. Anschließend wird kurz auf die Gründung eingegangen sowie über die wichtigsten Einzelheiten des Bauvorganges berichtet¹⁾.

Die Adolf-Hitler-Brücke bei Koblenz, Abb. 1, überspannt die Mosel und ihr Vorland in drei Öffnungen von 100, 105,03 und 118,63 m. Der Spannweite nach wird diese Eisenbeton-Bogenbrücke von rd. 10 Massivbogenbrücken übertroffen, nach ihrer Kühnheit dagegen überragt sie sämtliche Massivbrücken der Welt.

Der beste Maßstab für die Kühnheit eines Gewölbes ist gegeben durch die Größe des Halbmessers R_0 der Scheitelkrümmung;

dieser vermittelt auch zugleich ein klares Bild des Gewölbeschubes H , der sich aus der Beziehung $H = R_0 (g_0 + p)$ ergibt, wobei g_0 das Eigengewicht der Brücke im Scheitel und p das Gewicht der über die ganze Brückenlänge verteilten Verkehrslast ist. In Zahlentafel 1 ist der Krümmungshalbmesser der Stromöffnung der neuen Moselbrücke mit 176 m den weit geringeren Krümmungshalbmessern von vier besonders bedeutenden Massivbrücken der letzten Jahre gegenübergestellt. Dieser Vergleich läßt es als durchaus berechtigt erscheinen, daß die besonders bemerkenswerte Brücke den Namen des Führers erhalten hat.

Vorgeschichte des Brückenbaues

Die erste feste Straßenbrücke über die Mosel bei Koblenz, die Balduin-Brücke, die schon

im 14. Jahrhundert erbaut wurde und nach ihrem Erbauer, dem Kurfürsten *Balduin* von Trier benannt wurde, genügte schon lange nicht mehr zur Überleitung des starken Nord-Süd-Verkehrs auf der linken Rheinseite, insbesondere da der Zugang zu dieser Brücke durch die engen Gassen der Altstadt — des alten Festungsbezirkes — führt. Deshalb wurde schon im Jahre 1927 von seiten der Stadt Koblenz ein Wettbewerb zur Erlangung baureifer Entwürfe ausgeschrieben²⁾, dem nach Klärung der Finanzierung im Herbst 1930 ein zweiter und im Sommer 1931 ein dritter Wettbewerb folgten³⁾.

Auf Grund dieses letzten Wettbewerbes wurde dann im Januar 1932 den Firmen: Ph. Holzmann, A.-G., Frankfurt a. M., H. Butzer, Dortmund, Dyckerhoff & Widmann, A.-G., Berlin, und Grün & Bilfinger, A.-G., Mannheim, der Auftrag für den Brückenbau erteilt. Die Firmen haben in den Jahren 1932 bis 1934 die Brücke in technisch vollendeter Weise ausgeführt.

Die vom gegenüberliegenden Ehrenbreitstein aus aufgenommene Abb. 2 zeigt im Hintergrund die neue Brücke; im Vordergrund ist die alte Balduin-Brücke mit ihren vielen kleinen, die Schifffahrt behindernden Bogen zu erkennen, dazwischen liegt die Eisenbahnbrücke in Stahlfachwerk.

Genauere Einzelheiten der verkehrstechnischen Lage der neuen Brücke zeigt der Lageplan, Abb. 3.

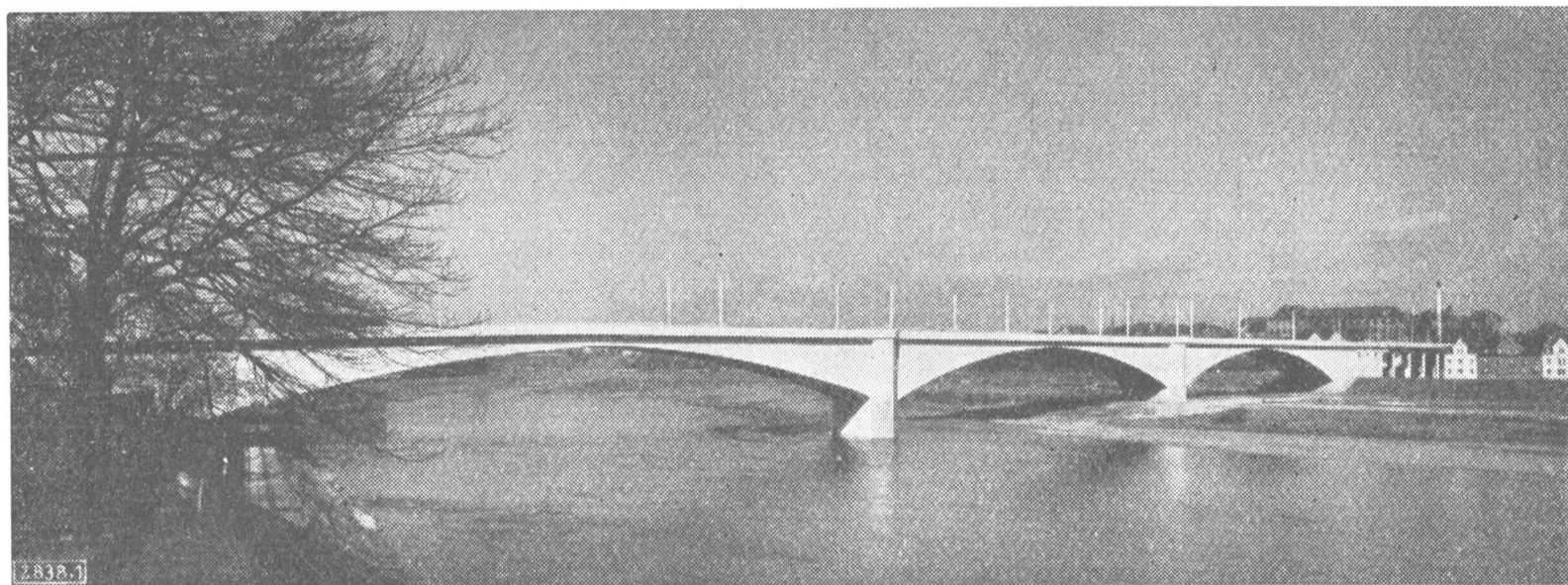


Abb. 1. Die Adolf-Hitler-Brücke über die Mosel bei Koblenz. Ansicht der Brücke von Unterstrom.

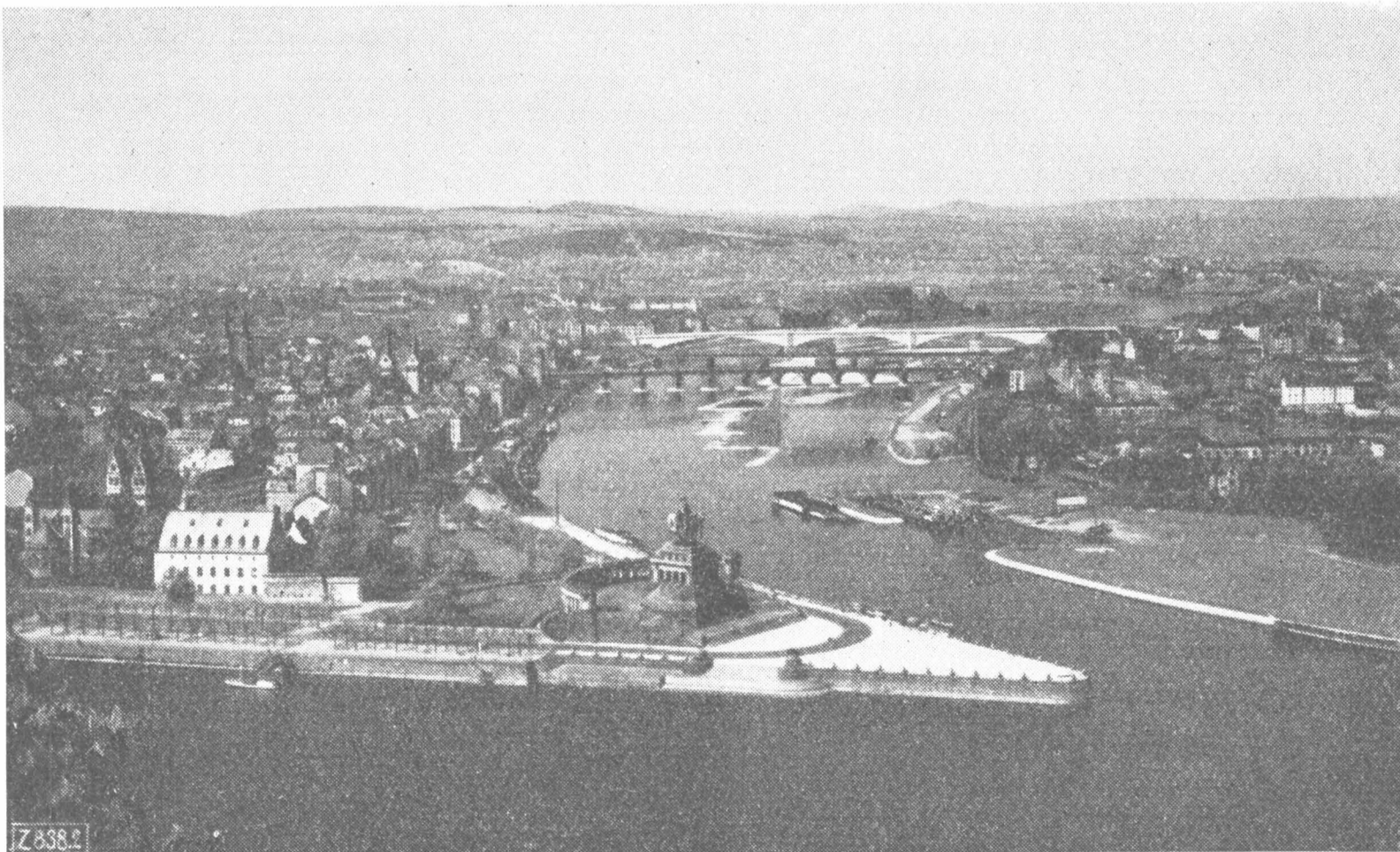


Abb. 2. Blick vom Ehrenbreitstein auf die Stadt Koblenz mit ihren drei Moselbrücken.

Im Vordergrund das Deutsche Eck. Die vorderste Brücke ist die alte Balduin-Brücke, die hinterste die neue Adolf-Hitler-Brücke; dazwischen die Eisenbahnbrücke in Stahlfachwerk.

¹⁾ Vgl. hierzu a. die ausführliche Veröffentlichung: *F. Dischinger*, Bautechn. Bd. 12 (1934) Nr. 12 u. f. — Abb. 3 bis 14 des vorliegenden Aufsatzes sind der vorgenannten Veröffentlichung mit freundlicher Genehmigung des Verlages Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, entnommen. — Vgl. ferner die Festschrift „Adolf-Hitler-Brücke, Koblenz, zweite feste Straßenbrücke über die Mosel“, verfaßt im Auftrage der bauausführenden Firmen von *M. Woltmann*, *F. Dischinger* und *W. Gehler*, Berlin 1934.

²⁾ *H. Kayser*, Beton u. Eisen Bd. 27 (1928) S. 185; — ferner *H. Spangenberg*, Bauing. Bd. 9 (1928) S. 676.

³⁾ *W. Weber*, Zement Bd. 21 (1932) S. 490

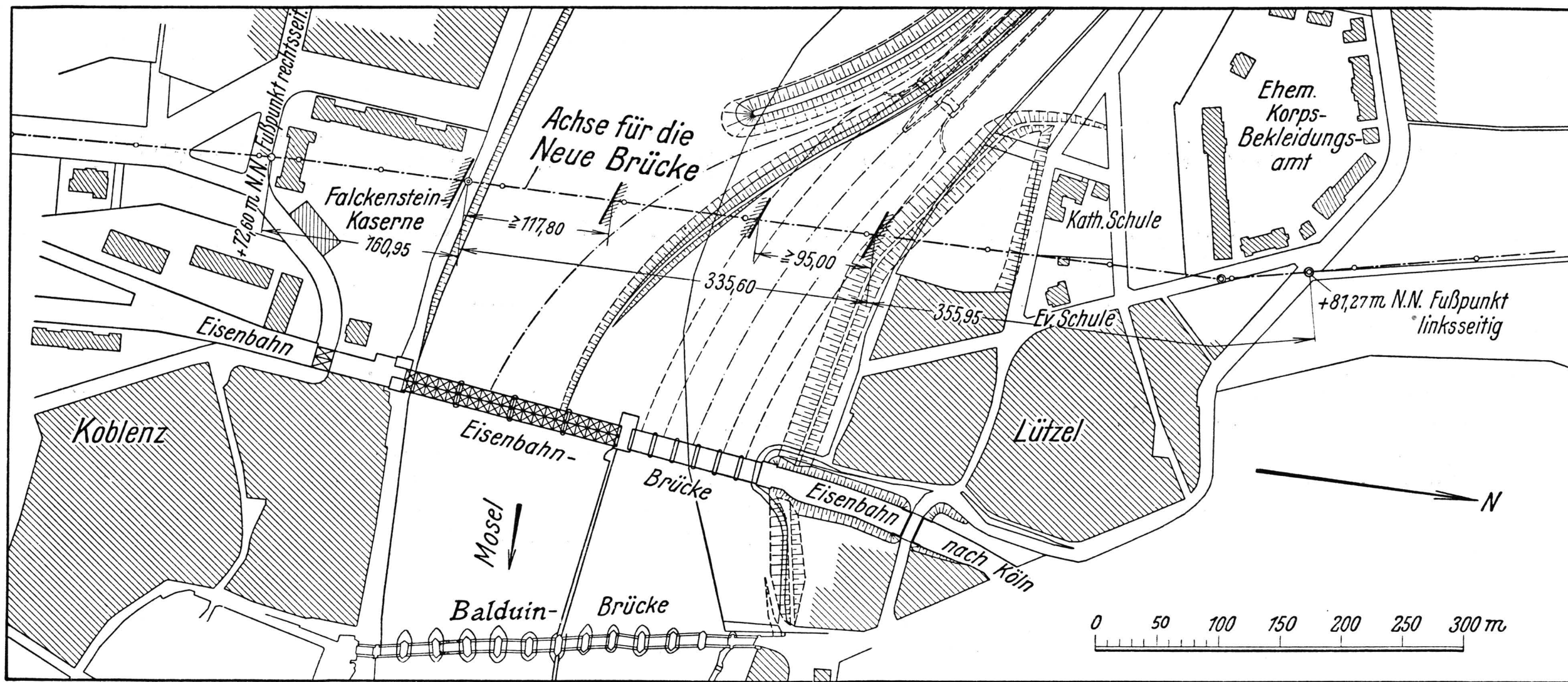


Abb. 3. Lageplan der Adolf-Hitler-Brücke.

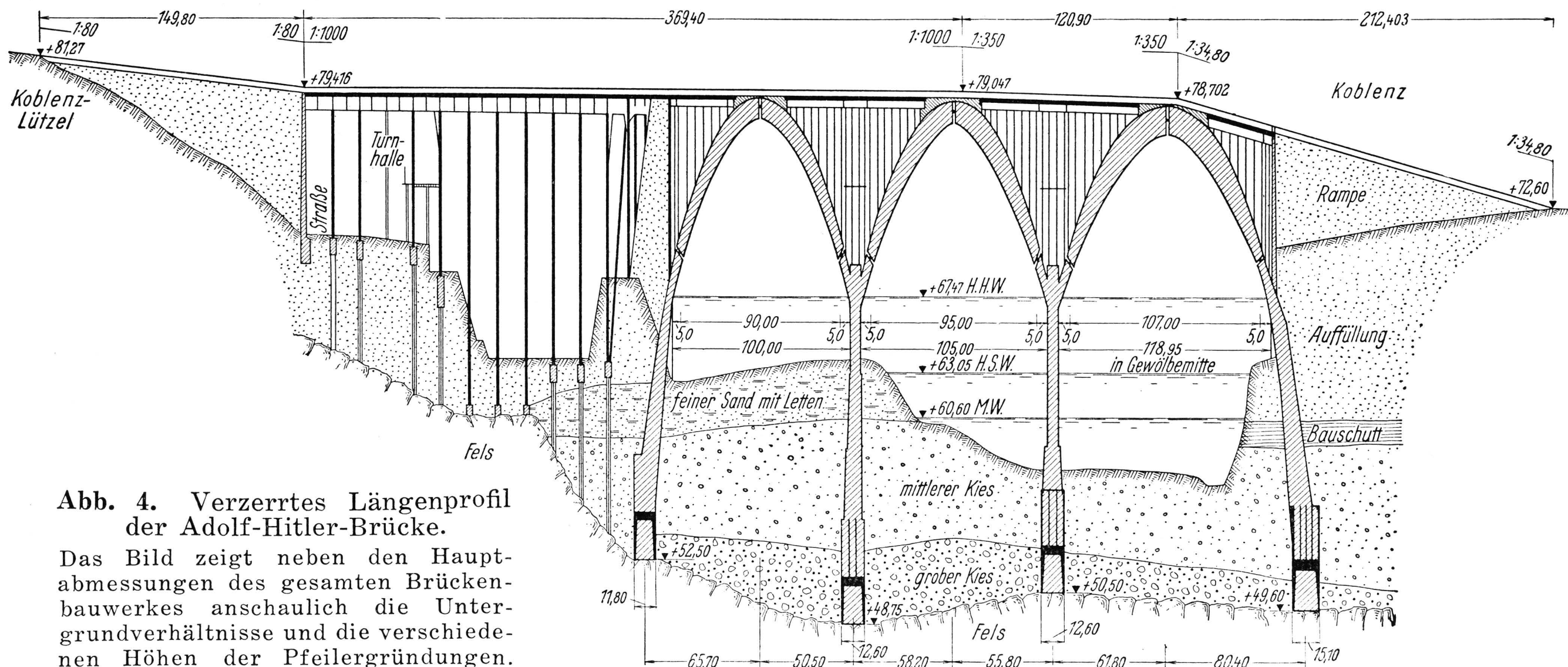


Abb. 4. Verzerktes Längenprofil der Adolf-Hitler-Brücke.

Das Bild zeigt neben den Hauptabmessungen des gesamten Brückenbauwerkes anschaulich die Untergrundverhältnisse und die verschiedenen Höhen der Pfeilergründungen.

Die wichtigsten baulichen Einzelheiten

Der Entwurf des neuen Fernstraßenzuges mit der neuen Moselbrücke stammt von dem damaligen Beigeordneten, Stadtbaurat Rogg; die Bauleitung von seiten der Stadt wurde von Oberbaurat Woltmann ausgeübt.

Die Bearbeitung der Konstruktionen und ihre statische Berechnung war unter die einzelnen Firmen wie folgt verteilt:

- Gründung und Rampenanlage: Ph. Holzmann, A.-G.,
- Sonderaufgaben und Gestaltungsfragen: H. Butzer,
- Gewölbe und Aufbauten: Dyckerhoff & Widmann, A.-G.,
- Lehrgerüste und Ausrüstungsvorgang: Grün & Bilfinger, A.-G., und Dyckerhoff & Widmann, A.-G.

Die Federführung lag in den Händen der Firma Ph. Holzmann. In Anbetracht des ungewöhnlichen Bauwerkes wurde als besonderer Sachverständiger mit der Prüfung der statischen Berechnungen Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. W. Gehler VDI, Dresden, betraut. Die Konstruktion der Gewölbe und der Aufbauten durch Dyckerhoff & Widmann erfolgte nach meinen Angaben und unter meiner Leitung.

Zahlentafel 1. Vergleich der bedeutendsten in den letzten Jahren erbauten Betonbrücken.

	Vollendungsjahr	Lichtweite w m	Stützweite l m	Pfeilhöhe f m	Pfeilverhältnis l/f	Krümmungshalbmesser m
Neckarbrücke Heilbronn	1932	107,2	112,8	13,7	8,2	116
Oise - Brücke bei Conflans	1929	126,0	—	16,6	7,6	120
Elorn - Brücke bei Plougastel	1929	180,0	—	33,6	5,4	120
Tranebergsund-Brücke Stockholm	1932	—	181	26,2	6,9	156
Adolf-Hitler-Brücke Koblenz (drei versch. Bogen) .	1933	100,0 105,03 118,63	90 95 107	8,36 8,40 8,12	10,77 11,30 13,18	121 134 176

Die Hauptabmessungen der Überbauten

Wie das verzerkte Längenprofil, Abb. 4, zeigt, werden das Strombett der Mosel und ihr Vorland durch drei Gewölbe mit 118,63, 105,03 und 100 m Spannweite überbrückt; daran schließt sich auf dem linksseitigen Vorland auf der Lützeler Seite der Mosel eine Rampenbrücke von rd.

Zahlentafel 3. Die Pressungen der drei Gewölbe der Adolf-Hitler-Brücke unter den verschiedenartigen Belastungen in den maßgebenden Querschnitten.

Maßgebende Gewölbefuge (Ungünstigster Querschnitt), Abstand vom Scheitel	Rechter Bogen		Mittlerer Bogen		Linker Bogen	
	25,90 m		34,70 m		34,57 m	
	unterer Rand	oberer Rand	unterer Rand	oberer Rand	unterer Rand	oberer Rand
	kg/cm ²		kg/cm ²		kg/cm ²	
Spannungen aus Eigengewicht	- 57,72	- 64,18	- 39,77	- 46,23	- 37,86	- 44,54
„ „ Verkehr	- 29,10	- 22,64	- 28,85	- 22,40	- 29,70	- 23,00
„ „ Temperatur, Schwinden und Bogenverdrückung	+ 15,10	+ 12,85	+ 19,27	+ 19,70	+ 20,00	+ 20,20
	± 2,19	± 2,19	± 2,15	± 2,15	± 1,85	± 1,85
σ_{min}	- 39,01	- 89,01	- 70,77	- 70,77	- 69,41	- 69,41
σ_{max}	- 40,43	- 49,14	- 18,35	- 24,38	- 16,01	- 22,49

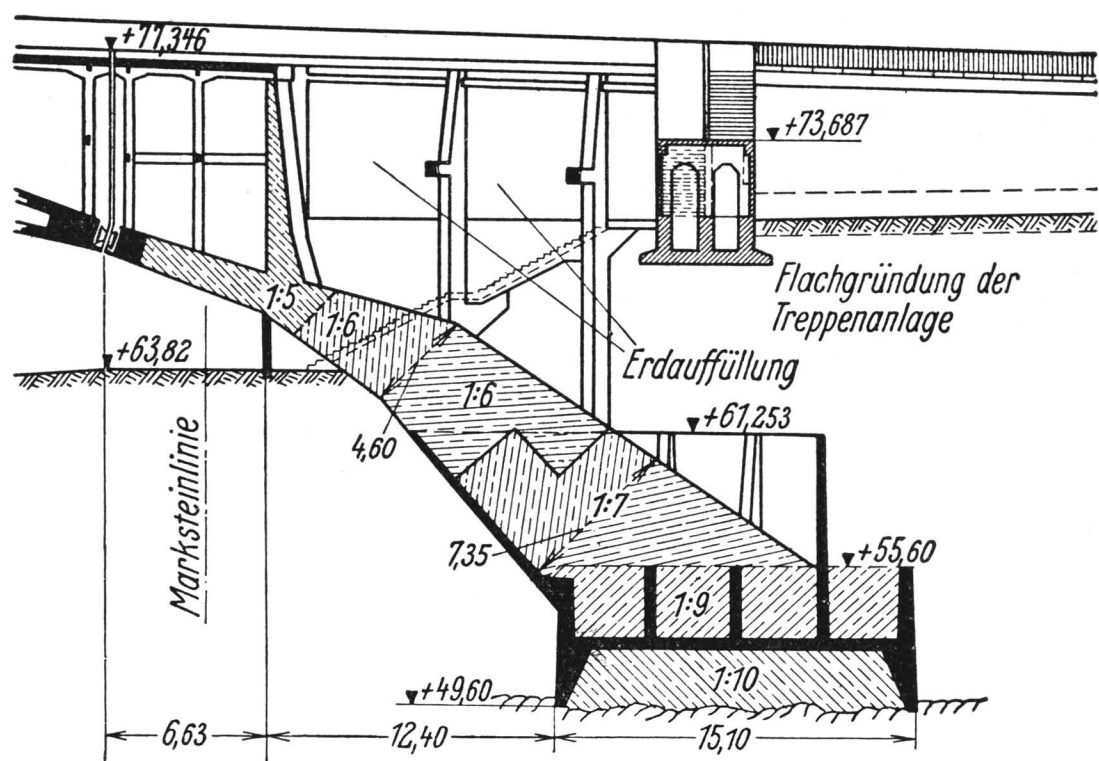


Abb. 14.

Konstruktive Durchbildung des rechten Widerlagers. Infolge großer Höhe des Widerlagers sehr große Vorkragung der Kämpfergelenke.

gung ließ sich eine wesentliche Verringerung der Gewölbestärken und damit auch der Gewölbeschübe erreichen.

Gemäß DIN 1075 beträgt die zulässige Spannung für die Gewölbe 90 kg/cm². Diese hohe Spannung konnte aber nur bei dem Hohlbogen voll ausgenutzt werden; bei den beiden Massivgewölben ließ sich mit Rücksicht auf die Knicksicherheit nur eine Spannung von rd. 70 kg/cm² erreichen, obwohl bei der Berechnung der Knicksicherheit die Veränderlichkeit des Trägheitsmomentes berücksichtigt und dadurch gegenüber der üblichen Rechnung unter Zugrundelegung eines mittleren Trägheitsmomentes eine Verbesserung von 20 % erzielt wurde.

Die konstruktive Durchbildung des Hohl Bogens zeigen Abb. 11 und 12. Die Abmessungen des Gewölbes und der Wandungen des Hohl Bogens bestimmte man so, daß in allen Querschnitten zwischen Scheitel und Kämpfergelenk die Höchstspannung von 90 kg/cm² voll ausgenutzt wurde. Bei diesem Gewölbe kann man also von einer Bruchfuge nicht mehr sprechen, weil jeder Ausschnitt gleich hoch beansprucht wird. Die Längsbewehrung des Gewölbes beträgt durchschnittlich rd. 1 %. Die Anordnung der Querbewehrung zeigt Abb. 13.

Die verhältnismäßig starke Längsbewehrung war notwendig, damit man bei den gewählten Gewölbequerschnitten mit der Höchstspannung von 90 kg/cm² auskommen konnte. Bei den beiden Massivgewölben dagegen, bei denen die zugelassene Druckspannung nicht ausgenutzt werden konnte, wurde nur die für Eisenbetongewölbe in der Längsrichtung vorgeschriebene Mindestbewehrung von 0,1 % eingelegt.

Zahlentafel 3 zeigt, daß die geringsten Druckspannungen beim rechten Strombogen immer noch 40 kg/cm², bei dem mittleren Bogen 18 kg/cm² und bei dem linken 16 kg/cm² betragen. Die Größe der geringsten Druckspannung eines Gewölbes ist auch zugleich ein Maß für die vorhandene Sicherheit gegenüber der Verkehrslast, denn die Betongewölbe gehen im allgemeinen nicht durch zu große Druckspannungen, sondern durch Überschreiten der zulässigen Zugspannungen zugrunde.

Eine Nachrechnung zeigt, daß bei den Hohlbogen erst bei sechsfacher, bei den Massivgewölben dagegen schon bei dreifacher Verkehrslast der Bruch eintreten kann. Selbstverständlich ist die dreifache Sicherheit vollständig hinreichend. Ich wollte damit nur zeigen, daß das Maß der Sicherheit gegenüber den Verkehrslasten einerseits von der Größe der geringsten Druckspannungen und andererseits vom Bewehrungsanteil der Längseisen abhängig ist.

Fahrbahnkonstruktion

Abb. 12 zeigt auch die Ausbildung der Fahrbahn. Nachdem das Gewölbe aus den schon angegebenen Gründen in zwei Gewölbestreifen von 6,6 m Breite zerlegt wurde, war es mit Rücksicht auf die verschiedenartigen Bewegungen der beiden Gewölbe auch notwendig, die Fahrbahnkonstruktion zu teilen. Die Verbindung, bei der eine lichte Weite von 1,04 m Breite verbleibt, wird hergestellt durch eingehängte Platten.

In der Brückenkonstruktion waren zwei große Rohre von 600 mm l. W. zu überführen. Diese wurden in den Zwischenraum zwischen den beiden Gewölben untergebracht, während zwei kleine Rohre von 300 mm l. W. ebenso wie die verschiedenartigen Kabel unter den Fußwegen untergebracht werden konnten.

Die Gründung

Eine derartig kühne und flache Bogenbrücke mit rd. 1000 t Horizontalschub auf 1 m Gewölbebreite konnte selbstverständlich nur auf bestem Baugrund gegründet werden. Die Bohrungen, die bei Baubeginn durchgeführt wurden, zeigten, daß bei allen Pfeilern und Widerlagern gesunder Fels zur Aufnahme der Lasten und Gewölbeschübe vorhanden war. Die Tiefenlage der Gründung war für jedes Bauwerk verschieden, wie Abb. 4 zeigt. Die Höhe der Fahrbahn liegt durchschnittlich auf Höhe 78,50. Man ersieht daraus, daß sehr hohe Pfeiler und Widerlager erforderlich waren. Besonders auffällig ist dies beim rechten Widerlager, Abb. 14. Entsprechend der großen Höhe des Widerlagers ergab sich auch eine sehr große Vorkragung der Kämpfergelenke gegenüber der Fundamentmitte. Diese Auskragung beträgt 26,9 m. Die ganz ungewöhnlich starke Auskragung machte eine sehr genaue statische Untersuchung und sorgfältige Bewehrung dieser Hälse notwendig. Um hinreichende Sicherheit zu erhalten, führte man die Berechnung unter verschiedenartigen Annahmen für das Gewicht der Auflast und den Erddruck durch. Berechnet man die Spannweite des rechten Bogens aus der Entfernung des Scheitels von Mitte Widerlager, dann ergibt sich die halbe Spannweite des rechten Bogens zu $l/2 = 80,4$ m (s. a. Abb. 4).

Sämtliche Pfeiler und Widerlager wurden mittels Druckluft gegründet. Dadurch war es möglich, für eine einwandfreie Verbindung von Fels und Arbeitskammerbeton zu sorgen. Die zulässige Felspressung betrug bei allen Fundamenten unter Berücksichtigung der wechselnden Pressungen aus Verkehrslast 15 kg/cm². Bei der Bemessung der Grundfläche in Parallelogrammform wurde darauf geachtet, daß bei ungünstigster Belastung und bei Berücksichtigung des vollen Auftriebes an keiner Kante

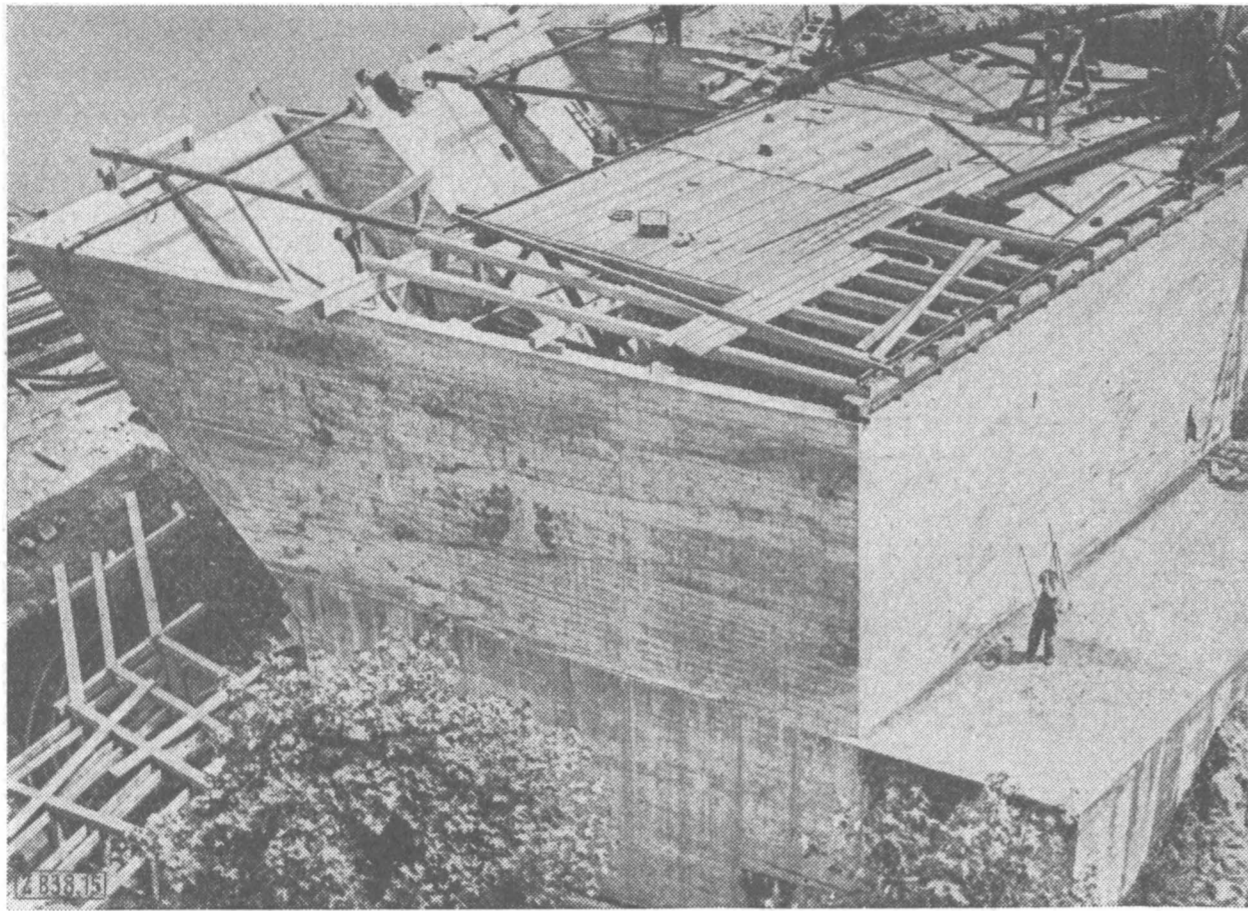


Abb. 15. Der fertiggestellte Senkkasten des rechten Widerlagers vor dem Absenken.
Man sieht links den vorkragenden Hals (s. a. Abb. 14).

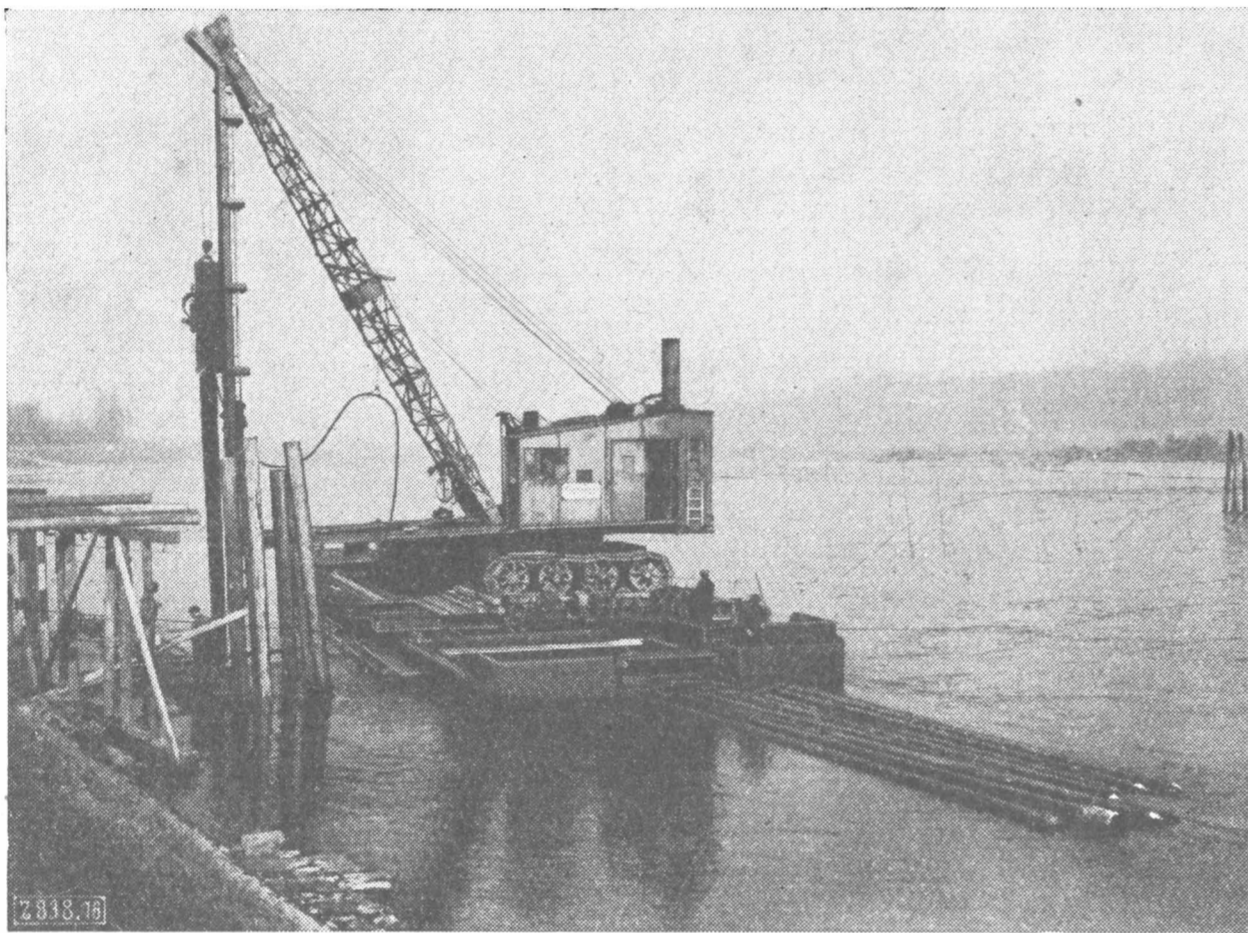


Abb. 16. Rammen des Untergerüsts der Brücke.
Demag-Hammer an einem auf Schwimmer gesetzten Raupenbagger.

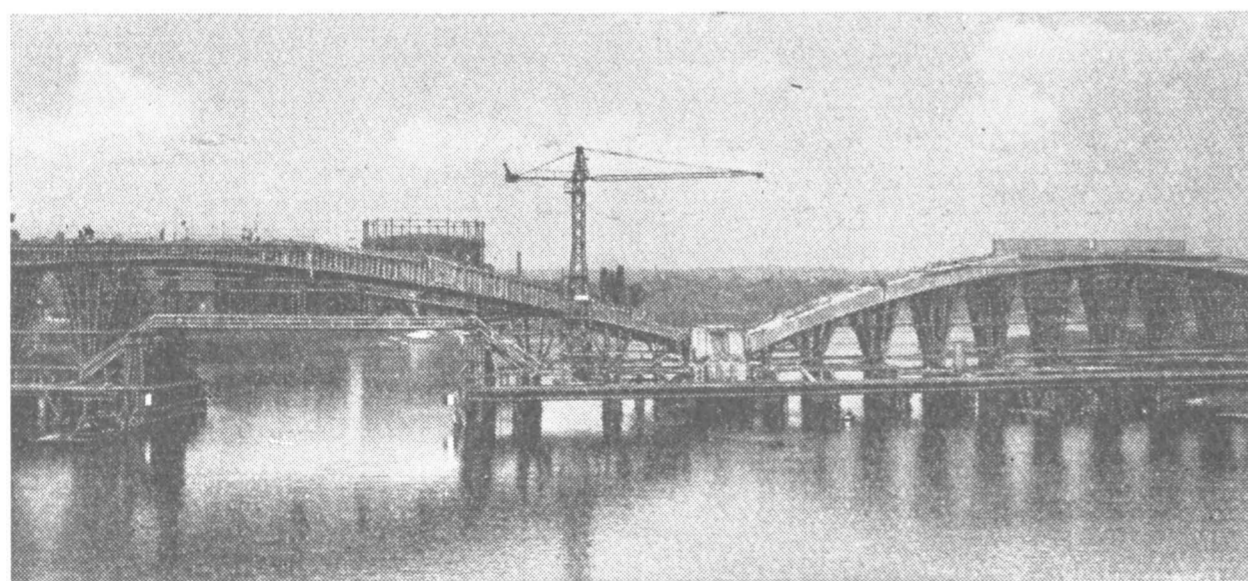


Abb. 17. Die Lehrgerüste der rechten und der mittleren Stromöffnung.
Bei der rechten Öffnung ist eine Breite von 30 m für die Schifffahrt freigelassen. Zum Abstützen des Gerüsts dient hier ein eiserner Fachwerkträger.

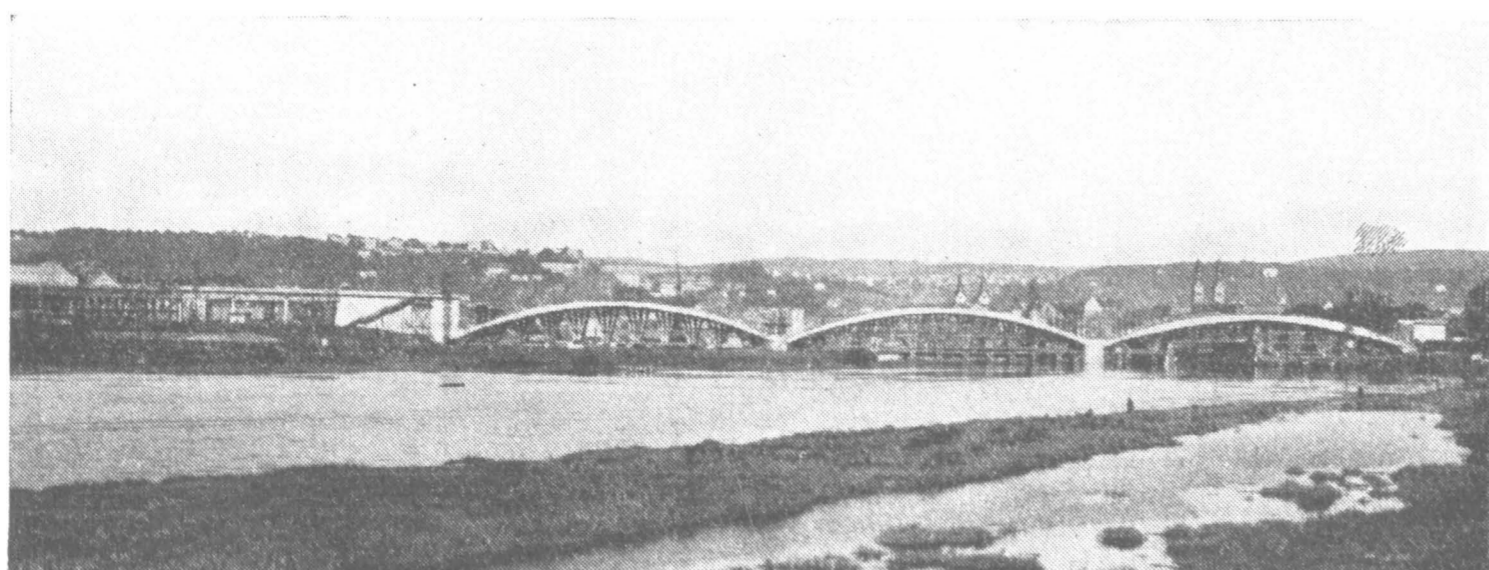


Abb. 18 (links)
Die drei fertig betonierten und ausgerüsteten Gewölbe der Oberstromseite.
Ansicht von Oberstrom.

Zugspannungen auftraten. Dies ist bei derartigen Gründungen sehr wichtig, weil eine Überbeanspruchung in der Fundamentfläche immer dadurch eingeleitet wird, daß die Zugspannungen, die bei einer späteren Vergrößerung der Verkehrslast auftreten, nicht mehr aufgenommen werden können. Die Größe des erforderlichen Widerstandsmoments hängt vor allem von der Größe der in Kraft- richtung, also parallel zur Brückenachse, liegenden Seite der Grundfläche ab. Um trotzdem eine gute Ausnutzung der Grundflächen zu erreichen, hielt man die Senkkästen mit nur 15,6 m schmaler als die Brückenbreite (18 m). Dies bedingte bei den beiden Strompfeilern eine sehr große Auskragung der Pfeilervorköpfe, wie z. B. Abb. 9 (Schnitt $L-L$) zeigt.

Bauausführung

Gründung

Nachdem am 27. Januar 1932 der Vertrag unterzeichnet und der Baubeginn mit dem ersten Spatenstich eröffnet war, wurde sofort mit der Baustelleneinrichtung begonnen. Für das erste Baujahr war die Herstellung der beiden Strompfeiler und der Widerlager mittels Druckluftgründung und die Gründung der Rampenanlagen vorgesehen. Die Arbeiten mußten so eingeteilt werden, daß bis zum 15. November sämtliche Gerüste aus dem Strombett und dem Vorland entfernt waren. Dies war nur möglich durch Einsetzen von vier Druckluftschleusen. Damit gelang es ohne weiteres, dieser Forderung zu entsprechen.

Besondere Schwierigkeiten machte die Absenkung des rechten Widerlagers mit seinem weit vorkragenden Hals, da entsprechend der Absenkung der Boden unter dem Hals entfernt werden mußte. Nach Eintauchen des Halses in das Grundwasser wurde der Boden mittels Spülpumpe und teils mittels Schrapper entfernt. Im letzten Abschnitt des Absenkens versagten diese Hilfsmittel, da sich außerhalb der Senkkastenschneide sehr viele Felsblöcke ansammelten, die in den Arbeitsraum geschafft und von da mit den Schleusen gefördert werden mußten.

Die Abb. 15 zeigt den fertiggestellten Senkkasten des rechten Widerlagers mit seinem vorkragenden Hals. Zum Ausgleich des Gewichtes dieses Halses setzte man die rückwärtige Abschlußwand des Senkkastens im oberen Teil nach außen ab. Die beim Absenken einfallende Erdböschung hielt dem Hals das Gleichgewicht.

Überbauten nebst Gerüstkonstruktionen

Im zweiten Baujahr 1933 mußten die Gewölbe mit ihren Aufbauten sowie die Eisenbeton-Rampenbrücke ebenfalls bis zum 15. November fertiggestellt werden. Die hierfür zur Verfügung stehende Zeit war sehr kurz, insbesondere weil erst nach Abgang des Eises mit den Rammarbeiten begonnen werden konnte. Um Zeit zu ersparen, wurden die Obergerüste schon in den Wintermonaten im Schwarzwald abgebunden. Hierdurch wurde es ermöglicht, das Gerüst für das linke Gewölbe schon bis Ende März fertigzustellen. Die Gerüste wurden entsprechend der Einteilung des Gewölbes in zwei Streifen zweimal verwendet. Um nun trotz der schrägen Brücke die Gerüste verschieben zu können, mußte man die einzelnen Joche stromrecht stellen (Winkel zwischen Jochachse und Brückenachse 70°). Hierdurch ergaben sich sehr schwierige Holzverschnitte, insbesondere an den Kranzhölzern.

Sämtliche Tragpfähle, auch die im Strombett, wurden mittels eines an einem Raupenbagger aufgehängten Demag-Dampfhammers gerammt. Der Raupenbagger mußte zu diesem Zweck im Strombett auf Schwimmer gesetzt werden, s. Abb. 16. Diese Rammeinrichtung hat sich sehr bewährt. In Abb. 17 ist das Gerüst der Mittelöffnung und ein Teil der rechten Öffnung mit der 30 m

breiten Schiffahrtsöffnung, die durch einen eisernen Fachwerkträger überbrückt wurde, zu sehen.

Am 20. April 1933 wurde mit dem Betonieren der nach Oberstrom liegenden Gewölbe begonnen, und schon in den ersten Tagen des Juni waren alle drei Gewölbe fertiggestellt, so daß am 22. Juni die Ausrüstung vorgenommen werden konnte. Abb. 18 zeigt die fertigen Gewölbe nach dem Ausrüsten, jedoch vor Verschieben der Lehrgerüste von Oberstrom aus. Nach dem Ausrüsten wurden die Gerüste sofort verschoben, und es wurde mit der Herstellung der nach Oberstrom zu liegenden Gewölbe begonnen. Schon am 18. August, also nicht ganz zwei Monate nach dem Ausrüsten der nach Oberstrom zu liegenden Gewölbe, konnten die nach Unterstrom zu liegenden Bogen ausgerüstet werden, so daß die gesamten Betonarbeiten schon einen Monat vor dem vorgeschriebenen Termin vollendet waren. Zugleich mit den Gewölben wurden auch die Arbeiten für die Rampenbrücke auf der linken Seite durchgeführt. Das Ausrüsten wurde sehr sorgfältig vorbereitet, so daß es ohne Schwierigkeiten und unter

Vermeidung jeglicher Risse durchgeführt werden konnte⁴⁾.

In den Wintermonaten 1933/34 wurden dann noch die restlichen Nebenarbeiten durchgeführt und die Fahrbahndecke aufgebracht.

Arbeitsleistungen

An Baustoffen wurden verarbeitet: Beton- und Monier-Kies 33 000 m³, Rundeisen 1450 t, Zement 6840 t, Holz 4600 m³.

Für den eigentlichen Brückenbau waren erforderlich: Eisenbeton 10 500 m³, Stampfbeton 9000 m³, Druckluftaushub 8500 m³.

Die Gesamtkosten der von der Arbeitsgemeinschaft übernommenen Arbeiten stellten sich auf 2 950 000 *RM*. Das reibungslose Zusammenarbeiten sämtlicher Beteiligten ermöglichte es, ein in jeder Beziehung zufriedenstellendes und kühnes Brückenbauwerk in kürzester Zeit herzustellen und dem Verkehr zu übergeben. B 838

⁴⁾ Der Ausrüstungsvorgang sowie das angewandte Meßverfahren sind in meiner Veröffentlichung in der „Bautechnik“ s. Fußanm. ¹⁾ ausführlich beschrieben.

Wilhelm Riehm †



geb. 12. Juli 1885
gest. 25. Mai 1934

Am 25. Mai 1934 verschied nach kurzem Krankenlager der Direktor des Werkes Augsburg der Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, Dr.-Ing. *Wilhelm Riehm VDI*. Er wurde am 12. Juli 1885 in Neustadt a. d. H. geboren und besuchte die Realschule seiner Vaterstadt und dann die Industrieschule in Kaiserslautern. Zum weiteren Studium des Maschinenwesens bezog er darauf die Technischen Hochschulen in Hannover und in München. Hier bestand er im Jahre 1907 die Diplom-Hauptprüfung mit Auszeichnung.

Seine erste Stellung in der Praxis bot ihm der Stettiner Vulkan, wo er vom 1. Oktober 1907 bis zum 30. März 1909 als Konstrukteur tätig war und u. a. mit den interessanten Erstlingsversuchen am Föttinger-Getriebe beschäftigt wurde. Gelegentlich einer Besichtigungsfahrt der Mechanischen Abteilung der Dresdner Technischen Hochschule lernte er als einer der Ingenieure, die die Führung der Gruppen durch die Werft übernommen hatten, mehrere Dresdner Professoren kennen. Diese Bekanntschaft veranlaßte ihn, sich am Maschinenlaboratorium in Dresden um eine Assistentenstelle zu bewerben, die ihm vom 1. April 1909 an eingeräumt wurde und die er bis Ende Januar 1913 bekleidete. Hier hat er unter der wissenschaftlichen Führung von Geheimrat Professor Dr. *R. Mollier* gemeinsam mit *Nägel*, *Neumann*, *Nußelt*, *Ludwig Richter* u. a. eine außerordentlich anregende und vielseitige wissenschaftliche Tätigkeit auf dem Gebiet der Verbrennungsmotoren entfaltet. In diese Zeit fällt auch seine Promotion, für die ihm die Dissertation über „die experimentelle Bestimmung des Ungleichförmigkeitsgrades“ das Prädikat der Auszeichnung eintrug.

Auf eine Anfrage des Werkes Augsburg der M. A. N. nach einem jüngeren Ingenieur, der besonders für die experimentelle Forschung am Dieselmotor beanlagt und ausgebildet sei, wurde *Riehm* namhaft gemacht und nach

kurzer Frist verpflichtet. Im Dienste des Augsburger Werkes, den er am 1. Februar 1913 begann und in ununterbrochener Folge bis zu seinem frühen Tode in hingebender Treue versah, hat er der deutschen Technik durch mehr als 20 Jahre stolze Erfolge erringen helfen, bei denen der auf seine persönliche Mitwirkung entfallende Anteil einen bedeutenden Raum einnimmt.

Während des Krieges bildeten die Unterseebots-Dieselmotoren den Hauptgegenstand seines Schaffens. In der Nachkriegszeit galt seine Kraft zunächst der Ausbildung des M. A. N.-Zweitakt-Dieselmotors in einfach- und doppelwirkender Anordnung. Die Entwicklung des neuartigen Spülverfahrens, das seitdem in seiner Anwendung auf Dieselmotoren der verschiedensten Größe und Drehzahl bemerkenswerte Triumphe zu verzeichnen hat, verdankt der zielsicheren Forschungsgabe *Riehms* einen großen Teil ihrer Fortschritte.

In neuester Zeit hat vor allem die Beherrschung hoher Drehzahlen bei geringstem Eigengewicht die Triebfeder seines Wirkens gebildet. Von den hierbei erzielten Erfolgen legen die Ergebnisse ein beredtes Zeugnis ab, die mit der Dieselmotoren-Ausrüstung der neuen deutschen Panzerkreuzer erzielt wurden. In den zahlreichen Verhandlungen mit Behörden und Firmen, ebenso wie in den wissenschaftlichen Ausschüssen, in die *Riehm* als Träger einer ungewöhnlich reifen und umfassenden Erfahrung auf dem Gebiete des Dieselmotors berufen wurde, wurde seine Teilnahme und Mitwirkung von allen Seiten geschätzt und als großer Gewinn empfunden. Hierbei bewährte sich stets neben den fachlichen Fähigkeiten der durch Schlichtheit und Gerechtigkeit ausgezeichnete Charakter dieses Mannes, der allen seinen ihm näherstehenden Fachgenossen zugleich ein aufrichtiger Freund war.

Dem Verein deutscher Ingenieure gehörte *Riehm* seit 25 Jahren an, davon 21 Jahre lang dem Augsburger Bezirksverein. Sowohl im Gesamtverein wie im Bezirksverein hat er eifrig an den Arbeiten des Vereines mitgewirkt. Durch seine Vorträge auf den Hauptversammlungen und seine Veröffentlichungen in der Zeitschrift des Vereines ist er weiten Kreisen bekannt geworden.

Riehms früher Tod bedeutet für alle diese Fachgenossen einen schmerzlichen Verlust, für die deutsche Technik den Ausfall einer geistigen Kraft und eines Schatzes reichster Erfahrung auf einem Gebiete, dessen führende Stellung zu behaupten ihr eine durch die geschichtliche Entwicklung vorgezeichnete Pflicht ist. *Riehm* war einer der Ingenieure, die das Vertrauen rechtfertigen, daß uns die Erfüllung dieser Pflicht gelinge.

Volk und Wirtschaft

Eine Lehrausstellung des VDI

Die Lehrausstellung „Volk und Wirtschaft“ beim Verein deutscher Ingenieure, die zum erstenmal im Rahmen der großen Ausstellung „Deutsches Volk — Deutsche Arbeit“ vom 21. April bis 5. Juni 1934 in Berlin gezeigt wurde, soll wie ein auch ohne volkswirtschaftliche Studien verständlich wirkendes Lehrbuch sein, das in großen Zügen durch klare Darstellungen das Verständnis und die Einsichten des schaffenden Volkes in die wirtschaftlichen Zusammenhänge erhöht.

Oskar von Miller, der Meister belehrender Ausstellungen, hat schon bei der Errichtung des Deutschen Museums von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik erkannt, daß die Darstellung der wissenschaftlichen und technischen Errungenschaften allein nicht genügt, um dem Volk zu zeigen, welche einschneidenden Wirkungen alle großen Entdeckungen und Erfindungen auf die Lebenshaltung jedes einzelnen ausgeübt haben. Um neben den naturwissenschaftlichen und technischen Kenntnissen auch die Volksbelehrung über wirtschaftliche Fragen zu verbreiten und zu vertiefen, hat er die Schaffung der Lehrausstellung „Volk und Wirtschaft“ angeregt. Das deutsche Volk soll in allen seinen Kreisen wenigstens mit den Grundbegriffen seiner Wirtschaft vertraut sein, damit jeder einzelne am Aufbau der Wirtschaft so einsichtsvoll und zielbewußt mitarbeiten kann, wie man es beim vorgebildeten Handarbeiter bei der Ausführung der Konstruktionen des Ingenieurs gewohnt ist.

Der Verein deutscher Ingenieure hat diese Anregung aufgegriffen, und in langwieriger Arbeit ist eine Sammlung von rd. 200 bildlich-plastischen Darstellungen und Modellen, ergänzt durch Gegenstände aus den täglichen Wirtschaftsvorgängen, entstanden, die bereits nach ihrer ersten Vorfüh-

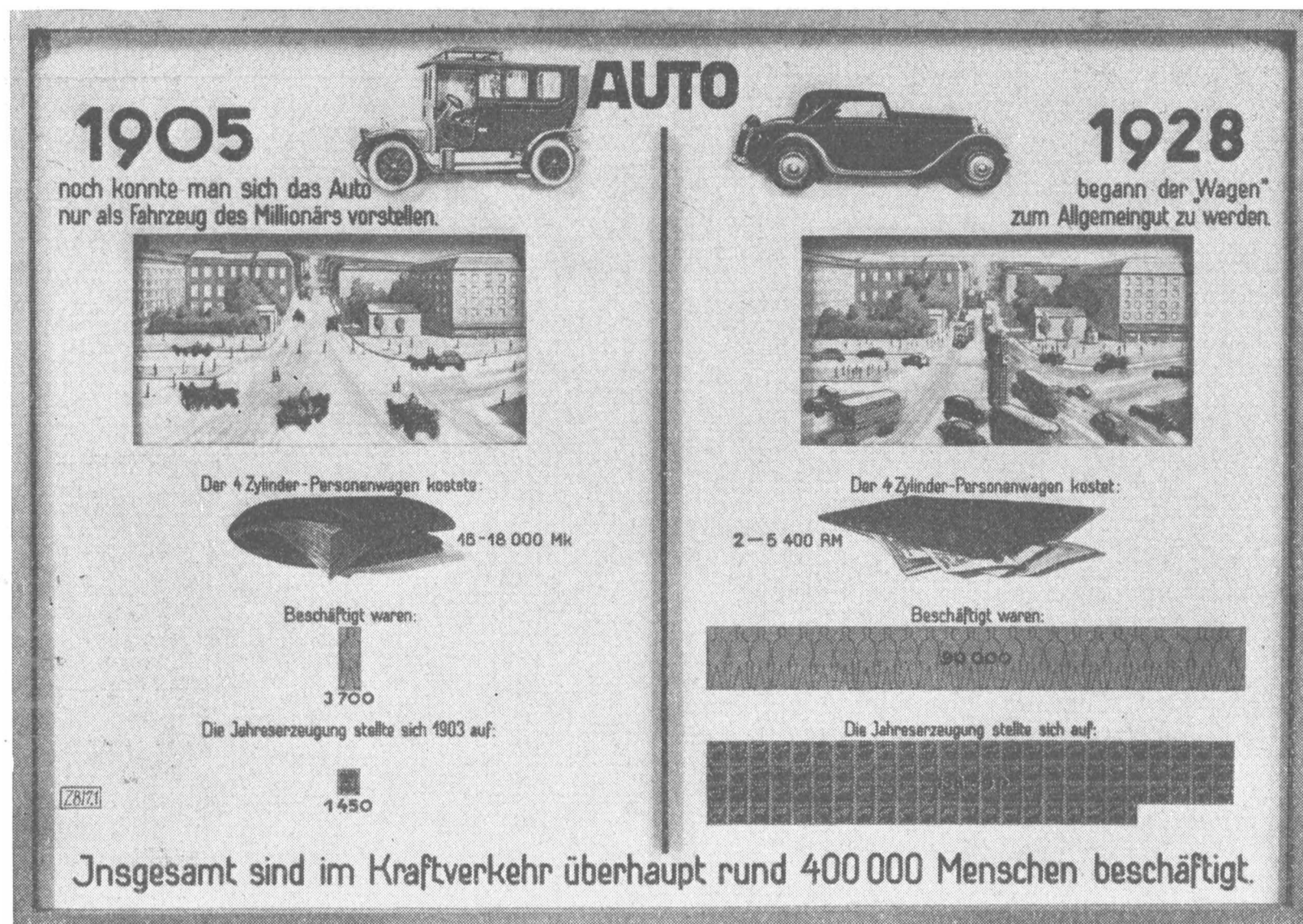


Abb. 1. Aus der Gruppe „Bedarfssteigerung“: Wirkung der Bedürfnissteigerung, dargestellt am Beispiel des Kraftwagens.



Abb. 2. Aus der Gruppe „Gütertausch“: Darstellung der Abnahme des Devisenvorrats infolge verringerten Auslandabsatzes und der sich daraus ergebenden Folgen für die Schuldentrückzahlung und Zinszahlung.

Abb. 1 u. 2. Zwei Lehrbildtafeln aus der Wanderausstellung „Volk und Wirtschaft“ des Vereines deutscher Ingenieure.

rung die Anerkennung namhafter öffentlicher Stellen gefunden haben.

Die Lehrausstellung umfaßt folgende Gruppen:

I. Allgemeine Einführung:

Die Erde mit ihren Schätzen und der Mensch

Entwicklung des Wirtschaftsgebahrens

Wirtschaftszustand in Deutschland um 1800

Die wichtigsten Fortschritte in der Naturwissenschaft und Technik seit 1800

Das deutsche Volk von heute.

II. Der Mensch und seine Bedürfnisse:

Nahrung
Kleidung
Wohnung

Körperliche Ausbildung

Geistige Ausbildung

Bedarfssteigerung

III. Anwendung der Ergebnisse von Naturwissenschaft und Technik:

Erzeugung

Gütertausch.

IV. Die volkswirtschaftlichen Maßnahmen der Reichsregierung zur Neugestaltung und Stärkung der deutschen Wirtschaft: Die Familie nordischen Blutes im Mittelpunkt der Aufbauarbeit

Bannung der Massenarbeitslosigkeit durch die Arbeitsbeschaffung

Bauernpolitik

Förderung der Eigenproduktion wichtiger Rohstoffe

Unterstützung der mittelständischen Betriebe

Gesundung der Gemeindefirtschaft

Politische Gleichschaltung.

Abb. 1 und 2 zeigen zwei Beispiele der Art der Darstellung, die in Zusammenwirken von rein bildmäßig-lehrhaften Darstellungen mit bildhafter Statistik auch dem Laien verständlich sind.

Nach Schluß der Ausstellung „Deutsches Volk — Deutsche Arbeit“ wird die Lehrausstellung als Wanderausstellung in vielen Städten Deutschlands gezeigt werden. Bis jetzt haben sich die Städte Essen, Zwickau, Bielefeld, Stuttgart und Darmstadt darum beworben.

Aus der Ingenieurarbeit

Die Schwelung von Braunkohlen und Steinkohlen¹⁾

Der gegenwärtige Stand des Braunkohlen-Schwelofenbaues

Außer den allgemein bekannten und in Betrieb befindlichen Schwelöfen von *Rolle*, *Geißen*, *Seidenschmur*, der Deutschen Erdöl-A.-G., der Lurgi-Gesellschaft und der J. Pintsch, A.-G., erwähnte *A. Thau*, Berlin, auch den Dünnschicht-Schwelofen von *Bartling*, der aber bisher keinen Eingang in die Technik gefunden hat. Erstmals wurde von einem Schwelofen nach *Wiedemann* auf der Grube Kleinwelzow in der Niederlausitz berichtet. Der Ofen, der noch nicht in Betrieb gesetzt ist, soll auf einer kreisförmigen Heizplatte die Schwelkohle durch Rührarme bewegen und in der Bewegung ausschwelen.

Die Kupplung von Braunkohlenverschmelzung und Stromerzeugung

Den Weg zur Lösung der Schwelkoksfrage und zur Steigerung der Mineralölerzeugung betrachtet *A. Petereit*, Wölfersheim, unter dem Gesichtspunkt der Kupplung von Braunkohlenverschmelzung und Stromerzeugung²⁾. Im Schwelwerk Wölfersheim mit 14 Geißenöfen, in der größten Schwelanlage auf dem Festland, werden täglich 2000 t Rohkohle verarbeitet und die daraus gewonnenen 155 000 t Schwelkoks im Jahr zuzüglich einer vorher von der Trockenkohle abgießten Staubmenge in Höhe von 25 000 t im Jahr zur Hochdruckdampferzeugung von 35 at für ein Großkraftwerk mit einer Jahreserzeugung von 125 Millionen kWh verwandt. Das Brennstaubgemisch von rd. 4330 kcal/kg Verbrennungswärme ergibt eine Verdampfungsziffer von rd. 5,5. Im Sinne einer deutschen Mineralölversorgung wird es für richtig erachtet, wenn auch an anderen Stellen statt wertvoller bitumischer Rohbraunkohle besser der durch Schwelung gewonnene Koks, also nach Entzug der Mineralölgrundstoffe, unter den Kesseln von Kraftwerken verbrannt wird; kleinere Kraftwerke sollen die Grundlast, Großkraftwerke jedoch die Spitzenleistungen decken. Der in Wölfersheim gewonnene Braunkohlenschwelteer wird heute nach Leuna geliefert und soll künftig nach einem vorliegenden Plan in einer Druckwärmespaltanlage deutscher Bauart verarbeitet werden.

Braunkohlenschwelgas als Stadtgas

A. Jahn, Köthen, berichtete ausführlich über die Entwicklung der Schwelgas-Verwertungsanlage auf der Schwelerei Edderitz mit fünf Geißenöfen, sowie über die physikalisch-chemischen Grundlagen der Druckwasserbehandlung von rohen Braunkohlen-Schwelgasen. In Edderitz wird etwa die Hälfte dieses Gases durch Druckwasser von Kohlensäure befreit, dann unter Druck von Schwefelwasserstoff gereinigt und schließlich in einer Jahresmenge von rd. 3 Millionen m³ als hochwertiges Verschnittgas mit etwa 6100 kcal/m³ nach Dessau fernversandt. Es ist das erste und bisher einzige Beispiel einer praktischen Verwendung von Braunkohlenschwelgas als Stadtgas.

Schwelkoksverfeuerung

Die wichtige Frage der Großverwendung des gewonnenen Braunkohlen-Schwelkokes wurde von *A. Jahn* in einem weiteren Vortrage über Schwelkoksverfeuerung auf dem Pilz-Wanderrost behandelt. Dieser von *Geißen* entwickelte Rost ist auf der Grube Edderitz, im Kraftwerk Breitung sowie im Leunawerk in erfolgreichem Dauerbetrieb. Die Verwendung von Schwelkoks hat sich in wasserrohrgekühlten Staubfeuerungskammern, im besonderen auf dem Kraftwerk Süd der Stadt Leipzig, gut bewährt.

Die Steinkohlenschwelung von einst

In England sind seit 44 Jahren Bestrebungen zur Herstellung eines rauchlosen Brennstoffes auf dem Wege über die Schwelung im Gange, jedoch ging dort die technische Entwicklung der Schwelanlagen nur sehr langsam vor sich. Zur Zeit werden dort etwa 400 000 t Steinkohle verschwelt. In Deutschland waren Steinkohlen-Schwelanlagen in der Zeit von

1919 bis 1925 bzw. bis 1929 (Drehofen auf der Zeche Mathias Stinnes) in Betrieb; sie arbeiteten unter Bewegung des Schwelgutes, hauptsächlich in Drehtrommeln. Die Anlagen waren bei unzureichenden Durchsatzleistungen und den üblichen Öl- und Teerpreisen unwirtschaftlich, zumal die Veredelungserzeugnisse des Urteers, wie die Gewinnung von Schmierölen und von Phenolen für Kunstharzherstellung oder die Erzeugung von Dieseltreibstoffen, die darauf gesetzten Hoffnungen enttäuschten, wenngleich Urteer als solcher heute als geeigneter Ausgangsstoff für die Hydrierung angesehen werden kann. Nach den Ausführungen von *A. Pott*¹⁾, Essen, wird heute im Gegensatz zu früher ein guter Schwelkoks von bester Beschaffenheit als Träger der Wirtschaftlichkeit einer Steinkohlen-Schwelanlage angesehen. In Deutschland liegen daher die Verhältnisse gegenüber der Absatzmöglichkeit von Schwelkoks als rauchlosen Brennstoff in England ganz anders.

Das Coalite-Schwelverfahren

Über die geschichtliche Entwicklung der Schweltechnik in England berichtete *H. Schröder*, Essen, in Verbindung mit dem Coalite-Schwelverfahren der Low-Temperature-Carbonisation-Gesellschaft. Die ersten englischen Schwelversuche gehen auf das Jahr 1656 zurück. Ein englisches Patent von 1781 umfaßt bereits die wesentlichen Merkmale der heute noch geltenden Schwelgrundsätze. Durch die um 1800 ersehende Leuchtgasindustrie traten die Schwelfragen in den Hintergrund, um erst mit wachsender Industrialisierung gegen Ende des vorigen Jahrhunderts wieder aufzuleben. *Th. Parker* ermittelte bereits 1890 die Eigenschaften eines rauchlosen Brennstoffes („Coalite“) zur Behebung der Ruß- und Rauchplage in englischen Städten. Erst seit 1927 konnte das Coalite-Verfahren im wirtschaftlichen Großbetrieb durchgeführt werden. Nach diesem Verfahren werden in England zur Zeit etwa 320 000 t Steinkohle bei etwa 600° verschwelt. Es gewährleistet einen zuverlässigen und störungsfreien Betrieb. Coalite ist ein rauchfreier Brennstoff von niedriger Entzündungstemperatur, großer Stückigkeit und Festigkeit. Der gewonnene Urteer wird von der Marine, das Schwelbenzin von der Luftflotte abgenommen. In der anschließenden Aussprache berichtete *Ihlder*, Duisburg-Meiderich, über den *Dobbelstein-Plassmann*-Ofen, der mit drei Einheiten in England vertreten ist. In Deutschland war bis 1928 ein Ofen dieser Art auf der Zeche Prosper in Betrieb. Auch diese Öfen haben sich betrieblich gut bewährt.

Das Schwelen von Steinkohlen in Koksöfen

Weitenhiller, Dortmund, sprach anschließend über das Schwelen in Koksöfen. Die wirtschaftliche Notlage hatte seinerzeit dazu gezwungen, stillliegende Kokereien versuchsweise auf die Verschmelzung von Steinkohlen umzustellen. Da jedoch Koksöfen auf ganz andere Wärmeübertragungsverhältnisse und andere Abführung der Entgasungserzeugnisse eingerichtet sind als bei Schwelöfen erforderlich, so mußten Versuche dieser Art praktisch erfolglos bleiben, ganz abgesehen von der geringen Leistung. Eine gangbare Vereinigung von Verkokung und Verschmelzung in Kokereiöfen stellt das Kopperskohle-Verfahren dar, von dem später die Rede ist. Der Vortragende ist der Ansicht, daß die heute noch unbefriedigende Schwelleistung in Öfen aus Steinen bei Verwendung von Eisen als Baustoff verbessert werden kann. In der Aussprache wies *A. Pott* ebenfalls darauf hin, daß aus heizungstechnischen Gründen ein Koksöfen mit 1200° Arbeitstemperatur nicht als Schwelofen, der eine Arbeitstemperatur von rd. 600° erfordert, benutzt werden kann.

Gewinnbringende Steinkohlenschwelung

Über die Verwendung von Eisen als Baustoff für Steinkohlen-Schwelapparate beim sog. BT-Verfahren berichtete *F. Puening*, Essen. Dieses Verfahren sieht unter Anwendung geeigneter Heizverfahren, Umwälzheizung mit Richtungswechsel, im Eisen den geeigneten Baustoff für Schwelretorten, wobei sich eine Überschreitung von 600° als Schweltemperatur von selbst verbietet. Es ist ferner notwendig, den Koks nach der Ausschmelzung leicht und bequem aus den schmal gehaltenen Schwelkammern zu entfernen, um hohe Durchsätze zu erzielen. Daher werden auch bewegliche Heizkammerwände vorgesehen, die eine rechtzeitige, schnelle Entleerung der Schwelräume ermöglichen.

¹⁾ Nach Vorträgen in der Hauptversammlung 1934 der Deutschen Gesellschaft für Mineralölforschung in Berlin.

²⁾ Vgl. *P. Rosin*, Z. VDI Bd. 73 (1929) S. 9.

Die großindustrielle Destillation der Steinkohle bei mittleren Temperaturen

Eine Mittelstellung in der Frage der Verwendung steinerner Koksöfen für Schwelzwecke nimmt *H. Koppers*, Essen, ein, dessen Beitrag von *W. Fitz* vorgetragen wurde. Es handelt sich hier um das sog. Carbolux- oder Kopperskohle-Verfahren. Als Baustoff werden feuerfeste Steine verwendet; außerdem wird bei Temperaturen oberhalb 600° und zwar von 650 bis 700° gearbeitet. Minderwertige Gasfeinkohle kann auf diese Weise neben der Gewinnung wertvoller Mineralölgrundstoffe zu einem absatzfähigen Brennstoff von leichter Verbrennlichkeit und hoher Stückfestigkeit veredelt werden. Die in Bruay (Frankreich) seit 1931 befindliche Anlage verarbeitet täglich 480 t Steinkohle. Nach Fertigstellung der im Ausbau befindlichen bzw. in Auftrag gegebenen Carbolux-Anlagen in England und in der Türkei werden jährlich etwa 350 000 t Steinkohle nach diesem Verfahren verarbeitet werden.

Stofflicher Aufbau und Schwelwürdigkeit von Steinkohlen

Auf Grund kohlenpetrographischer Untersuchung, bei denen sechs Bestandteile, Vitrit, Clarit, Durit, Übergangsstufen, Fusit und Brandschiefer unterschieden werden müssen, können nach den Ausführungen von *Kühlwein* die Beziehungen zwischen mikroskopisch erkennbarem Gefüge, Aufbau der Kohle und ihrem chemischen Verhalten aufgedeckt werden. Wertvolle Dienste leistet hierbei die auswählende Kohlenextraktion nach *Wheeler*. Durch die Bestimmung von Kennziffern über Erweichungsvermögen, Entgasungsverlauf, Bereich der Verformbarkeit sind keine unbedingten Aussagen über die zu erwartende Koksbeschaffenheit möglich, weil hierfür in erster Linie das Mengenverhältnis von backenden zu verkokungsträgen Bestandteilen maßgeblich ist.

Die Struktur des deutschen Brennstoffmarktes und die Absatzmöglichkeiten für Steinkohlenschwelkoks

Da der Absatzmarkt für feste Brennstoffe durch den gesteigerten Bedarf an flüssigen Treibstoffen bedroht ist, und da bei der Verkokung der Steinkohle flüssige Treibstoffe nur in sehr geringen Gewichtsanteilen gewonnen werden, haben zur Zeit die Bestrebungen zur Steinkohlenverschmelzung größte Bedeutung, wie abschließend zur *Nedden*, Berlin, ausführte. Neben etwa 8% Schwelgas werden 6 bis 8% Mineralölgrundstoffe gewonnen. Haupterzeugnis mit 70 bis 80% bleibt mengen- und wertmäßig der Schwelkoks, der notwendigerweise in Wettbewerb mit stückiger Hausbrandkohle oder Briketts treten muß. Eine rasche und schlagartige Entwicklung der Steinkohlenschwelerei liegt daher gegenwärtig nicht im Gesamtinteresse des Volkes, falls nicht neue Verwendungsmöglichkeiten für Schwelkoks, wie die Vergasung in Gaserzeugern, insbesondere in ortsbeweglichen Gaserzeugern, erschlossen werden. N 804/841

Berlin

Dr. R. Heinze

Streichen auf taufeuchten Flächen¹⁾

Rostschutzanstriche auf Eisenbauten im Freien werden dadurch sehr erschwert und verteuert, daß diese Bauten oft bis in die Mittagsstunden hinein vom Tau oder Regen feucht sind. Im Frühjahr und Herbst ist dies besonders oft der Fall. Im Gebirge gibt es sogar im Hochsommer nur wenige Tage, an denen selbst in den Mittagsstunden mit unbedingter Zuverlässigkeit gestrichen werden kann.

Zwar bemerkt man die Schäden meistens nicht sogleich, weil der Anstrich zunächst äußerlich zufriedenstellend aussieht; nach einigen Monaten aber beginnt durch das eingeschlossene Wasser die Unterrostung und Zerstörung des Farbfilms. Der Farbfilm hängt dann später oft in großen Stücken herunter. Bei Brücken kann man vielleicht — wenn auch mit größeren Kosten — Zeit und Bedingungen auswählen, unter denen der Anstrich wirklich trocken aufgebracht werden kann. Bei Masten, die an den verschiedensten Orten und unter den verschiedensten atmosphärischen Bedingungen stehen, ist dies dagegen nicht möglich; denn unter den zu streichenden Masten sind immer solche, die noch vom Tau feucht sind. Infolgedessen haben gerade die Überlandwerke alle möglichen Auswege gesucht und so z. B. teilweise die Gittermasten verzinkt.

Schon seit Jahren wird auch von der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft, der Reichsmarine und den Werften nach einer Möglichkeit gesucht, haltbare Anstriche auf feuchten Flächen zu erzielen. Durch Zusätze zur Farbe ist es jetzt der Lack- und Farben-Fabrik Halle-Nietleben, G. m. b. H., gelungen, diese Aufgabe zu lösen. Das Wasser wird beim Streichen

aufgenommen und emulgiert, und zwar derart, daß der Farbfilm später durchaus homogen aufliegt und nicht durch Wassertropfen unterbrochen wird. Dies bewirken entsprechende Emulgatoren, die — selbst in ganz geringer Menge der Farbe beigegeben — beim Streichen eine Emulsion zwischen der Ölfarbe und dem Wasser herbeiführen. Das emulgierte Wasser verdampft dann daraus infolge des geringeren Teildruckes verhältnismäßig schnell.

Ein gewöhnlicher, wasseremulgierender und -bindender Zusatz hätte aber an sich einen großen Nachteil für die Anstriche; denn ebenso wie er das Wasser von der Streichfläche wegnimmt, würde er auch Wasser von außen (Regen, Tau) wieder aufnehmen, so daß Unterrostung eintritt. Es muß deshalb dafür gesorgt werden, daß sich der Emulgator nach dem Anstrich zersetzt und verflüchtigt. Auch dies ist gelungen.

Bei sehr nassen Flächen kann nur mit dem Pinsel lackiert werden, weil nur durch kräftige Hin- und Herbewegung des Pinsels größere Mengen Wasser in Emulsion gebracht werden können; ist die Fläche aber nur leicht betaut, so kann auch spritzlackiert werden. Man spritzt dann mit starkem Luftdruck und schräg — in der Richtung wechselnd — auf die Fläche.

Ein besonderer Vorteil des neuen Verfahrens liegt darin, daß ein Zusatz von rd. 1% zu allen üblichen Farben genügt, um sie „taufeucht“ streichbar zu machen. Ferner wird dieser geringe Zusatz von nur 1% kaum einen merklichen Einfluß auf die Güte der Farben ausüben können, da er zu $\frac{9}{10}$ aus flüchtigen Verdünnungsmitteln und nur zu $\frac{1}{10}$ aus dem wirksamen Mittel besteht. Mithin beträgt der eigentliche Zusatz, der irreversible Emulgator, nur $\frac{1}{100}$. Davon besteht wieder rd. $\frac{1}{10}$ aus einer Base, die an sich schon rostverhindernd wirkt. Der Rest des Zusatzes fördert, soweit es bei seiner kleinen Menge möglich ist, die für den Rostschutz außerordentlich wichtige Metallseifenbildung im Anstrich.

Was die Haftfestigkeit anlangt, so haben vergleichende Dehnproben mit Anstrichen auf Blechen ergeben, daß auch in der Haftfestigkeit des Farbfilms auf der Unterlage keine Unterschiede bestehen. N 850

Halle-Nietleben

Dr. Egon Meier

Hydraulische Tiefziehvorrichtung

Beim Ziehen kleiner Blechteile auf einfachen Exzenterpressen bringt man, um Faltenbildung zu verhindern, in dem Ziehwerkzeug einen ringförmigen Blechhalter unter, der durch Federn belastet wird. Diese Feder und die schädliche Zunahme ihres Druckes bei größeren Ziehtiefen war ein Nachteil dieser Anordnung, und daher hat man mit Erfolg Druckluft-Blechhalter und lufthydraulische Zieheinrichtungen¹⁾ entwickelt, die jedoch stets einen kleinen Luftverdichter erforderlich machen. Eine Neuerung stellt nun eine rein hydraulische Tiefziehvorrichtung²⁾ dar, Abb. 1 und 2.

Unterhalb des Tisches *a* einer Presse ist mittels kräftiger Stangen *b* der Blechhalter fest an die Presse angebaut. In dem Zylinder *c* befindet sich Kolben *d* mit Kolbenstange *e*, deren Hub nach oben durch den Deckel *f* begrenzt ist. Auf der Kolbenstangenverlängerung ist ein Federteller *g* angebracht, mit dem die Spannung der Feder *h* eingestellt wird. Diese drückt gegen einen auf der Kolbenstange längsbeweglichen zweiten Kolben *i*.

Am Zylinder *c* sind zwei Ventilgruppen vorgesehen, die Druckventile *k* und die Saugventile *l*, alle federbelastet. Die Federn der Druckventile werden mittels kegelförmiger Zwischenstücke *m*, die in einem glockenförmigen Gehäuse *n* untergebracht sind, durch Drehen des Schraubzylinders *o* mehr oder weniger angespannt, so daß die Flüssigkeit nur unter Überwindung dieses Federdruckes aus dem Zylinderraum austreten kann. Der Flüssigkeitsdruck wird durch den Teller *p* und die Stangen *q* auf den Blechhalter übertragen.

Beim Niedergang des Pressenstößels gehen die Stangen *r* und der Bügel *s* zunächst ein Stück leer nach unten. Beim Aufsetzen des Oberwerkzeuges auf das Werkstück und den Blechhalter werden auch die Stangen *q* und der Kolben *d* nach unten gedrückt, die Flüssigkeit im Zylinderraum kommt unter Druck und strömt in den Raum *t* über, wobei der durch die Feder *h* belastete Kolben *i* ohne wesentlichen Widerstand ausweicht. Beim Rückgang des Stößels schließen sich die Druckventile; die Stangen *r* mit dem Bügel *s* gehen um den Ziehweg leer zurück, bis Pfanne *u* gegen die Kolbenstangenverlängerung stößt; dann erst bewegen sich Kolben *d* und damit auch die

¹⁾ Nach einem Vortrag auf einem Sprechabend des VDI-Fachausschusses für Anstrichtechnik.

¹⁾ Werkst.-Techn. Bd. 23 (1929) S. 556 und Masch.-Bau Bd. 10 (1931) S. 389.

²⁾ DRP angemeldet, Aktennummer B 162 877.

Stangen q nach oben und das Werkstück wird ausgeworfen. Kolben i drückt dabei durch die Saugventile l die Flüssigkeit (Öl oder Glycerin mit Wasser) aus Raum t in den Druckzylinder zurück. M 460

Hamburg

H. Haake VDI

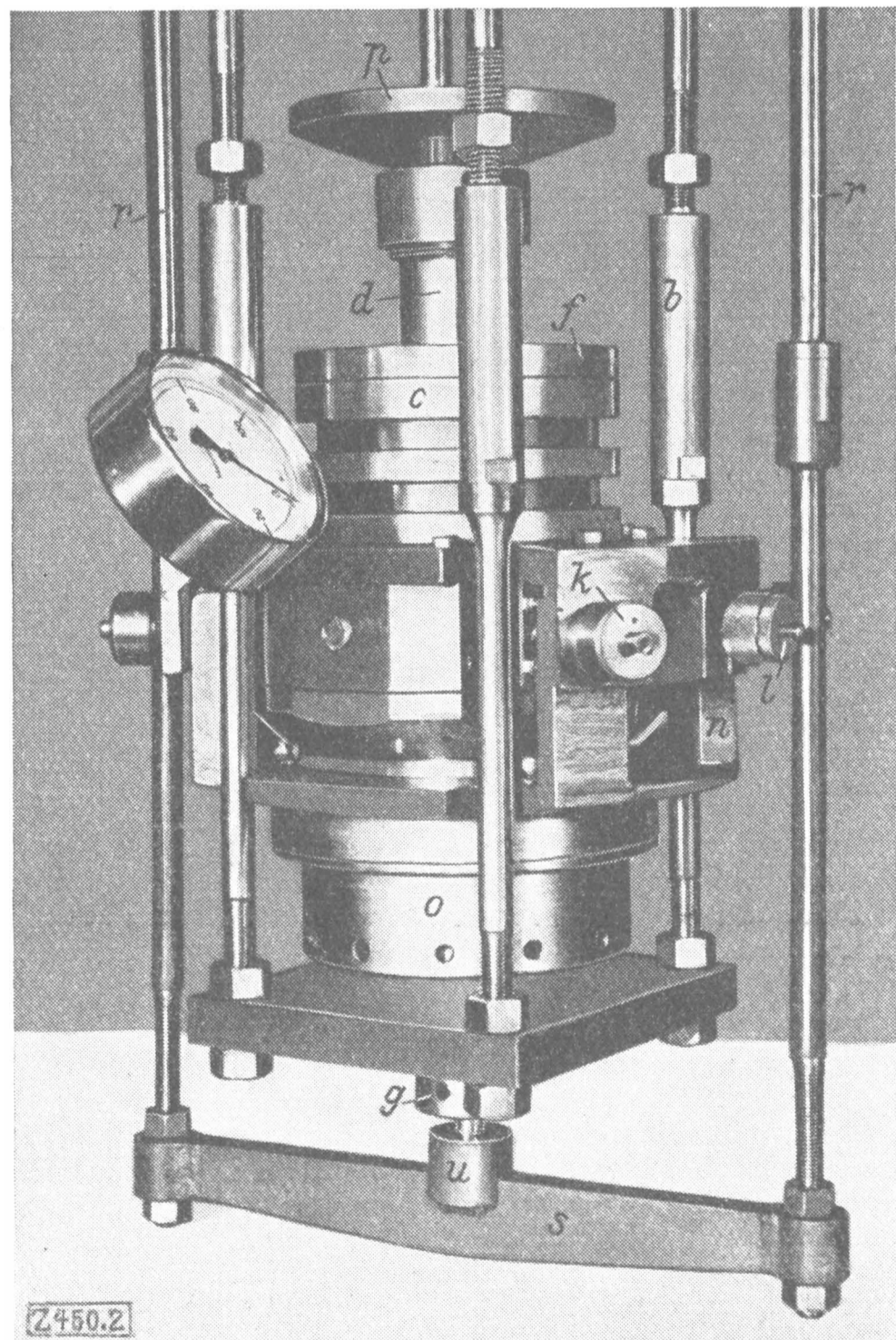
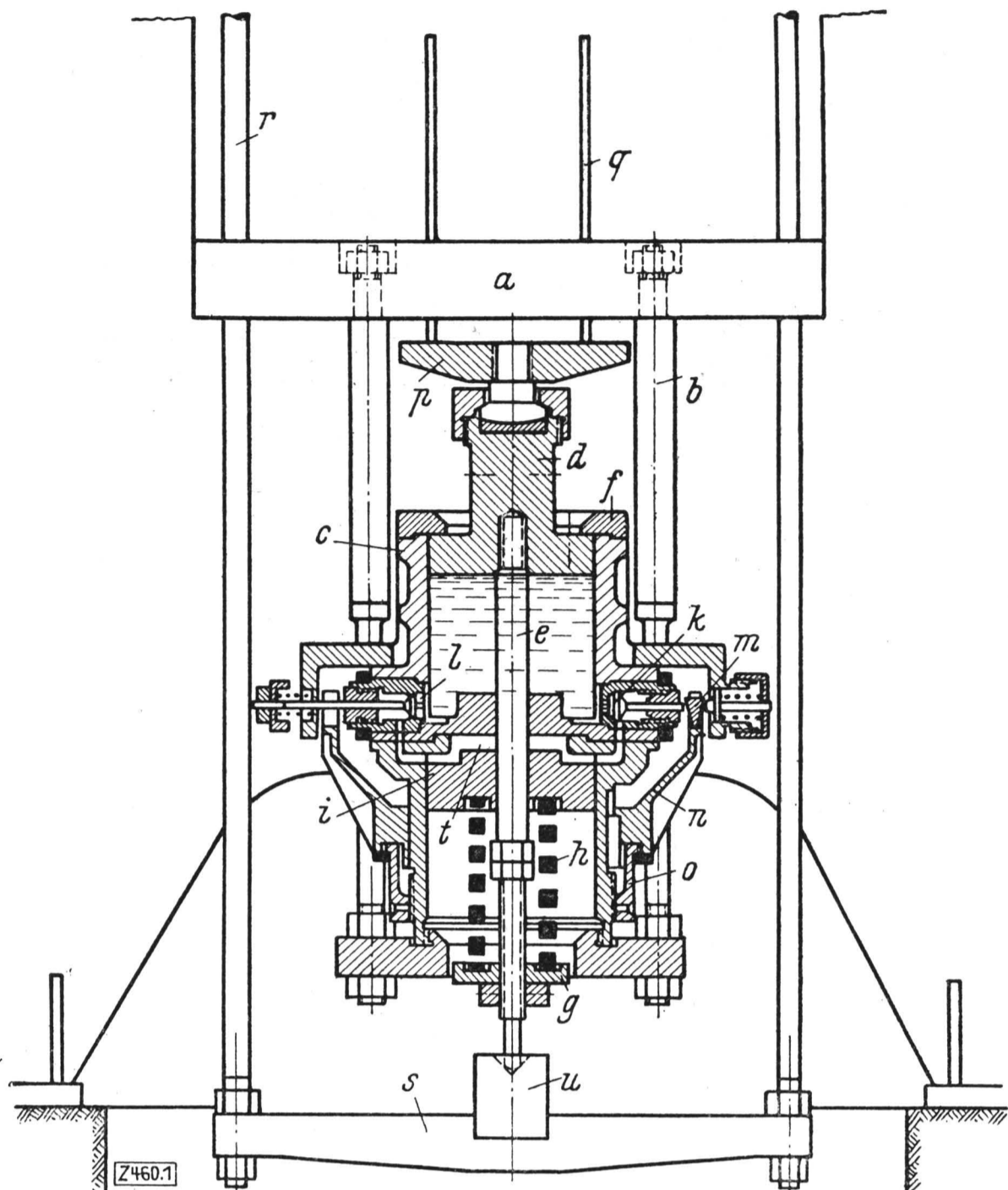


Abb. 1 und 2. Hydraulische Tiefziehvorrichtung (Blechhalter)

der Berlin-Erfurter Maschinenfabrik
Henry Pels & Co., A.-G., Berlin.

- | | |
|--------------------|---------------------------|
| a Tisch der Presse | l Saugventile |
| b Haltestangen | m kegelige Zwischenstücke |
| c Zylinder | n Gehäuse |
| d Kolben | o Schraubzylinder |
| e Kolbenstange | p Druckteller |
| f Deckel | q, r Stangen |
| g Federteller | s Bügel |
| h Feder | t Flüssigkeitsraum |
| i Kolben | u Pfanne des Bügels s |
| k Druckventile | |

Schichtglas als Sicherheitsglas für Fahrzeuge Anforderungen an Sicherheitsglas

„Sicherheitsglas ist ein Schutzglas mit einer gegenüber gewöhnlichem Glas beseitigten oder stark verminderten Splitterwirkung“ lautet die Begriffsbestimmung des Deutschen Normenausschusses. Bekanntlich ist diese Verminderung der Splitterwirkung bei gehärtetem Glas und Verbundglas¹⁾ verwirklicht. Glas mit einer Einlage aus Drahtgewebe, sog. Drahtglas, wird vorzugsweise als Bauglas und nicht für Fahrzeuge verwendet; es soll darum hier nicht behandelt werden.

Vor allem für Kraftwagen werden neben den gehärteten Gläsern Schichtgläser als Sicherheitsgläser hergestellt, die aus meist zwei Glasscheiben und einer Zwischenschicht aus organischer Substanz, die mit den Glasscheiben innigst verbunden sein soll, bestehen. Die erhöhte Splittersicherheit beruht darauf, daß einerseits dieser Schichtenverband gegen Schlag und Stoß widerstandsfähiger ist als gewöhnliches Glas, und daß andererseits bei eintretendem Bruch die Glasbruchstücke fest an der Zwischenschicht haften bleiben und damit bei Unfällen keine Schnittverletzungen bewirken sollen. Nun sind allerdings Bruchfestigkeit, Durchschlagfestigkeit und Splittersicherheit nicht die einzigen guten Eigenschaften, die von der Fahrzeugverglasung verlangt werden. Das Schichtglas muß klar und hell sein und soll unverzerrte Bilder liefern, es soll das Licht möglichst wenig schwächen und seine Eigenschaften möglichst lange bewahren. Es ist noch heute die große und schwierige Aufgabe, alle diese geforderten Eigenschaften in einem Erzeugnis in möglichster Vollendung zu vereinen²⁾.

Arten der Schichtgläser und ihre Herstellung

Es werden in der Hauptsache drei Arten von Schichtgläsern hergestellt:

- Gläser mit Zellhorn-(Zelluloid-)Zwischenschicht,
- Gläser mit Azetylzellulose-(Cellon)-Schichten,
- Gläser mit Zwischenschichten aus Kondensations- und Polymerisationserzeugnissen ungesättigter organischer Verbindungen.

Die Herstellverfahren für Zellhornglas haben sich im Laufe der Zeit in Einzelheiten geändert und unterscheiden sich bei verschiedenen Herstellern. Die Aufgabe ist, eine etwa 0,5 mm dicke polierte Zellhornplatte (70 % Nitrozellulose, 30 % Kampfer) mit den Glasscheiben zu verkleben. Man überzieht die Glasscheiben einseitig mit einer dünnen Gelatineschicht; entweder trägt man dann eine hauchdünne Zellhornschicht auf, die ein Lösungsmittel für Gelatine enthält und nach dem Trocknen fest haftet, weicht die Oberfläche der Zellhornplatte durch Eintauchen in ein Bad mit einer Anlöseflüssigkeit, z. B. Alkohol, Azeton, Azetamid, Amylalkohol usw. auf, oder man bestreicht die Gelatineschicht oder die Zellhornplatte unmittelbar mit einer Flüssigkeit, die beide Körper gleichzeitig anlöst. In beiden Fällen verpreßt man anschließend in hydraulischen Pressen oder im Autoklaven. Dabei ist darauf zu achten, daß keine Luftblasen zwischen den Schichten bestehen bleiben und daß das überschüssige Lösungsmittel völlig entweicht, um ein nachträgliches Entstehen von Dampfblasen zu verhüten. Beim Gebrauch von hydraulischen Pressen schreitet der Druck am besten von der Mitte aus nach außen hin fort; es werden meistens 5 bis 15 at Druck und Temperaturen bis 120° während 5 bis 10 min angewandt. Vor dem Verpressen im Autoklaven wird die Luft ausgepumpt (der Schichtenverband befindet sich in einem dichten Gummibeutel), um Luft- und Dampfblasen zwischen den Schichten zu entfernen. Das überschüssige Lösungsmittel wird dabei häufig wiedergewonnen. Um die Schichten vor Witterungseinflüssen zu schützen, müssen die Ränder gas- und wasserdicht versiegelt werden mit englischem Pech, Bienenwachs, Harzen usw., oder mit Metall. Darum werden diese Sicherheitsgläser meistens nach Maß hergestellt.

Auch die Azetylzellulose-(Cellon-)Zwischenschicht wird in Form von dünnen Tafeln mit den Glasscheiben verpreßt. Cellon besteht zu 70 bis 80 % aus Zelluloseazetaten, zu 20 bis 30 % aus Weichmachungsmitteln. Es gelingt, die Cellontafeln auch ohne besondere Klebemittel direkt mit dem Glas zu verpressen, nachdem die Oberflächen der Tafeln genügend angelöst sind. Auch hier müssen die Ränder verklebt werden, da die Schicht witterungsempfindlich ist.

Die Polymerisations- bzw. Kondensationserzeugnisse ungesättigter organischer Verbindungen wie Vinyl- oder Akrylsäureester können sowohl als Klebemittel in Verbindung mit Zellhorn benutzt werden, wie zum Teil auch als Zwischenschicht selbst. Die Akrylsäurederivate haben bisher die größte Bedeutung erlangt. Sie bedürfen keiner Klebemittel, sondern sind unmittelbar mit den Glasplatten zu vereinigen. Man kann auch aus ihnen Filme herstellen. Vielfach werden sie indessen in gelöster Form auf beide Glasplatten aufgetragen, die, sobald die organische Schicht den richtigen Zähigkeitsgrad erlangt hat, vereinigt und bei geringem Druck und etwa 90° ver-

¹⁾ Vgl. L. von Reis, Z. VDI Bd. 77 (1933) S. 615.

²⁾ Vgl. H. G. Bodenbender, Sicherheitsglas, Berlin 1933.

preßt werden. Die Zwischenschicht ist widerstandsfähig gegen Witterung, eine Randsicherung ist nicht erforderlich.

Bei der Herstellung aller Arten der Sicherheitsgläser sind genaue Arbeitsbedingungen einzuhalten. Beim Trocknen der Klebeschichten ist auf genauen Feuchtigkeitsgehalt zu achten, beim Anlösen der Filme auf richtige Zusammensetzung und Temperatur der Bäder und richtige Zeitdauer der Einwirkung. Da die Stoffe sich verschieden verhalten, muß der Erweichungsgrad der

Oberflächen jeweils versuchsmäßig festgestellt werden. Die Preßdrücke müssen sehr gleichmäßig sein. Es muß unbedingte Staubfreiheit im Arbeitsgang verlangt werden, da Einschlüsse Güte und Sicherheit der Gläser in Frage stellen. Außerdem ist die Beschaffenheit der Ausgangsstoffe von ausschlaggebender Bedeutung für die Güte der Sicherheitsgläser. Die Sprung- und Durchschlagfestigkeit, die Dehnbarkeit der Zwischenschichten müssen groß sein, das Wasseraufnahmevermögen, die Quell- und Schrumpffähigkeit klein. Die Filme müssen gleichmäßig dick und planparallel sein. Selbstverständlich müssen die Gläser selbst planparallel, spannungsfrei und optisch einwandfrei sein. Man sollte auch auf eine größere Witterungsbeständigkeit der Gläser Wert legen.

Vor- und Nachteile der verschiedenen Arten

Über den Wert der drei Sicherheitsglasarten sind die Ansichten geteilt. Nach planmäßigen Versuchen verschiedener Verfasser zeigt das Zellhornglas wie das Cellonglas nach der Herstellung sehr günstige Eigenschaften, die jedoch nicht sehr beständig sind. Durch Feuchtigkeit, Licht und Wärme verändern sich die Zwischenschichten. Besonders die Nitrocellulose zersetzt sich, färbt sich dabei gelb, wird blasig und spröde, d. h. Festigkeit und Splittersicherheit nehmen ab, zuweilen löst sich die Schicht auch vom Glase ab. Die Cellongläser sind hinsichtlich der Verfärbung und Blasenbildung weniger stark gefährdet, die Selbstzersetzung ist gering, dagegen ist die Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit infolge der größeren Wasseraufnahmefähigkeit größer. Von großer Bedeutung für die Haltbarkeit der beiden Glassorten ist indessen die Beschaffenheit der Stoffe (Säuregehalt, Zähigkeit usw.) und die Art der Herstellung. Auch jetzt noch beherrschen die Zellhorngläser den Markt, während die vielleicht etwas haltbareren Cellongläser weniger verwandt werden. Es ist nicht leicht, für diese passende Weichmachungsmittel zu finden, die Festigkeit und Elastizität ist geringer, der Preis höher. Die Sicherheitsgläser mit Polymerisationsprodukt-Zwischenschichten sind beständiger als die Cellongläser gegenüber Licht und Feuchtigkeit, haben also eine länger andauernde Splittersicherheit. Auch ist die Bruchfestigkeit und vor allem die Elastizität und damit das Bremsvermögen bei Stößen größer. Unter Bremsvermögen versteht man die Fähigkeit des Glases, Stöße elastisch aufzunehmen. Dagegen sind diese Gläser sehr empfindlich gegen niedere und sehr hohe Temperaturen. Unter 0° läßt die Splittersicherheit und Bruchfestigkeit infolge abnehmender Elastizität sehr zu wünschen übrig.

Ausblick

Anregungen für neuartige Versuche der Sicherheitsglasherstellung gibt *F. Ohl*³⁾, der auf die Möglichkeit verweist, drei Glasplatten und zwei Filme zu einem Fünffachverband zu verarbeiten, der große Splittersicherheit und Festigkeit verspricht. Als Filme werden bisher nicht benutzte Zellulose-derivate (Äther und Ester höherer Fettsäuren oder z. B. Benzylzellulose) empfohlen. Ferner wird auf die Verbindung Hartglas—Zwischenschicht bzw. Hartglas—Zwischenschicht—Maschinenglas hingewiesen. Da das Bremsvermögen möglichst groß sein soll, werden hier die sehr elastischen Polymerisationserzeugnisse als Zwischenschicht empfohlen. Dann sind Verbindungen von verschiedenen Zwischenschichten mit verschiedenen günstigen Eigenschaften möglich.

Um indessen in der Entwicklung der Sicherheitsgläser wirklich weiter zu kommen, ist eine Normung erforderlich für die Festsetzung von Untersuchungsverfahren auf optische Eigenschaften, Festigkeit, Splittersicherheit, Temperatur-, Licht- und Witterungsbeständigkeit und eine Angabe der Mindestanforderungen an Sicherheitsglas.

Sodann wäre größeres Interesse seitens der deutschen Kraftwagenindustrie erwünscht. In England, Frankreich und

³⁾ *F. Ohl*, *Glastechn. Ber.* Bd. 11 (1933) S. 208, Bd. 12 (1934) Nr. 2 S. 50 u. *Sprechsaal Keramik usw.* Bd. 66 (1933) S. 21 u. 820.

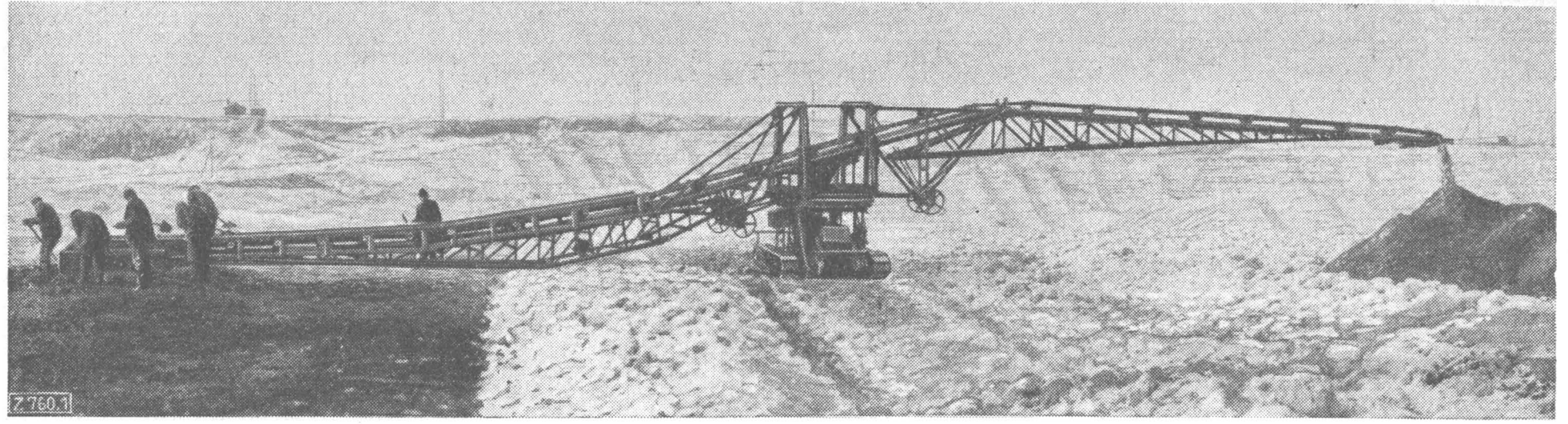


Abb. 3. Auf Raupen fahrbares Förderband für Abraumförderung im Braunkohlentagebau. 30 m Länge zwischen den Achsen der Gurtumlaufscheiben. Um 360° auf Drehgestell drehbar. Beide Enden können durch Handradbetätigung verstellt werden.
A. W. Mackensen, Maschinenfabrik u. Eisengießerei G. m. b. H., Magdeburg.

den Vereinigten Staaten von Amerika ist die Verwendung von Sicherheitsglas ungleich ausgedehnter und teilweise sogar Vorschrift. Nur durch Erproben im praktischen Gebrauch, durch Sammeln reichhaltiger Erfahrungen ist eine fruchtbare Weiterentwicklung gewährleistet. N 708

Berlin-Dahlem

M. Heckter

Auf Raupen fahrbares Förderband für Abraumbetriebe

Ein großes Arbeitsgebiet für Hilfsgeräte der Braunkohlenförderung im Tagebau ist das Säubern des freigelegten Kohlenflözes und das Heransetzen stehengebliebener oder abgerutschter Reste an benachbarte Abraumabschnitte. Neben Löffel- und Eimerkettenbaggern, Schrapfern und sonstigen Geräten verschiedener Bauart werden hier fahrbare Bandförderer mit Handbeschickung der Abraummassen benutzt. Ein solches Gerät stellt der auf Raupen verfahrbare Bandförderer, Abb 3, dar.

Der Bandförderer ist zwischen den Achsen der beiden Umlaufscheiben 30 m lang. Im Fahrgestell ist ein Dieselmotor von 10 PS Leistung eingebaut. Der Antrieb des umlaufenden endlosen Gummigurtes erfolgt über drei Walzen, um die der Gurt schlingenförmig geführt ist. Die Walzen selbst werden über eine Rollenkette vom Hauptgetriebe, welches in einem Gehäuse unter Öl läuft, angetrieben. Auch das Raupenband erhält seinen Antrieb gleichfalls über eine Rollenkette von diesem Hauptgetriebe.

Das Traggerüst des Bandes ruht auf dem Raupenfahrgerüst und ist um 360° schwenkbar. Den Antrieb der Raupen vermitteln Kettenräder, die einzeln durch Klauenkupplungen ein- und ausgerückt werden können. Das Beladende des Förderbandes kann so weit gehoben werden, daß es beim Verfahren an Bodenhindernisse nicht anstößt. Das Abwurfende kann bis auf 6 m über die waagerechte Stellung angehoben werden. Die Höhenverstellung geschieht durch zwei Schraubspindeln, die von Hand durch Kurbel und Zwischengetriebe bewegt werden. M 760

Magdeburg

R. Asbrand VDI

Der erste amerikanische Stromlinien-Dampfzug

Die Baltimore-Ohio-Bahn hat eine Staatsanleihe von 900 000 \$ zur Beschaffung zweier Stromlinienzüge erhalten, von denen der eine dieselelektrischen Antrieb mit 1800 PS, der andere Dampftrieb besitzen wird. Die 2B2-Dampflokomotive weist 97 t Dienstgewicht, 45 t Reibungsgewicht, 2134 mm Treibraddurchmesser und 24,6 at Kesselüberdruck auf. Jeder Zug wird aus Lokomotive, Packwagen und fünf Personenwagen bestehen. Jeder Wagen läuft auf je zwei zweiachsigen Drehgestellen, ist also einzeln auswechselbar. Zum Ersatz dienen vier weitere mitzubeschaffende Personenwagen. [*Rly. Age Bd. 96 (1934) Nr. 18 S. 663*] N 861 M.

Fahrplanmäßige Schnellfahrten Paris—Lyon

Wie im deutschen Sommerfahrplan 1934 so finden sich auch im französischen wesentliche Verkürzungen der Reisezeit. Die Paris-Lyon-Mittelmeerbahn wird einige Schnellzüge fahrplanmäßig von Paris bis Lyon, d. h. über 512 km, ohne Lokomotiv- oder Mannschaftswechsel in 5 h 20 min, also mit 96 km/h Reisegeschwindigkeit, befördern. Diese Leistung ist um so bemerkenswerter, als die Strecke lange Steigungen 1:125 enthält. Verwendet werden 2C1(h4v)-Lokomotiven mit 2000 mm Treibraddurchmesser, Reihe 231 G. Diese unterscheidet sich von Reihe 231 F durch den Einbau von Doppelblasrohr und Doppelschornstein, Windleitblechen neben der Rauchkammer nach deutschem Vorbild und vergrößerten Schmierpumpen mit 18 l Ölinhalt. N 860

M.

Bücherschau

Der Telegraph von Gauß und Weber im Werden der elektrischen Telegraphie. Von *E. Feyerabend*. Herausgeg. vom Reichspostministerium. Berlin 1933, in Komm. beim VDI-Verlag. 221 S. m. 86 Abb. Preis 10 RM.

Daß 100 Jahre vergangen sind, seitdem die Professoren *Gauß* und *Weber* in Göttingen zum erstenmal mit Hilfe elektromagnetischer Apparate eine telegraphische Verbindung eingerichtet hatten, die ihnen den Austausch ihrer Beobachtungen bei Versuchen und die Übermittlung sonstiger Nachrichten zwischen dem Physikalischen Institut der Universität und der Sternwarte ermöglichte, hat das Reichspostministerium veranlaßt, der grundlegenden Bedeutung dieser großen deutschen Erfindung für die Entwicklung der elektrischen Telegraphie ein besonderes Gedenken zu widmen. Staatssekretär i. R. Dr.-Ing. E. h. *E. Feyerabend* hat für diesen Zweck die vorliegende Schrift verfaßt, in der er aus dem Archiv der deutschen Reichspost und der Universität Göttingen und aus allen sonstigen Sammlungen das zusammengetragen hat, was uns Deutschen notwendig und willkommen ist zu wissen über jene ersten Versuche und was der Welt deren Bedeutung für die Entstehung der allgemeinen elektrischen Telegraphie in Erinnerung bringt. Selbst ein Fachmann in Organisation und Technik des Nachrichtenwesens, durch reiche eigene Arbeit persönlich an den Fortschritten beteiligt, ist uns der Verfasser ein kundiger Führer in die technischen Zusammenhänge und zeichnet uns das Bild der beteiligten Persönlichkeiten, wie sie in ihrer Zeit standen und zur Schaffung

der Grundlagen und Anfänge zusammenwirkten, aus denen das weltumspannende Nachrichtennetz entstanden ist. Des Verfassers Liebe zum Inhalt seiner Lebensarbeit und seine künstlerische Begabung spüren wir, wenn wir seinen fesselnden Schilderungen folgen und die vielen guten Abbildungen von Dingen und Personen und die zahlreichen Reproduktionen aus Briefen und Berichten durchblättern, die hier zum ersten Male einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden und uns den Anteil deutscher Männer an jener bedeutsamen Entwicklung offenbaren. E 663
O. Arendt VDI

Abwasserfachgruppe der Deutschen Gesellschaft für Bauwesen e. V. Schriftenreihe, I. H.: *Wollen, Werden und Wirken*. München und Berlin 1933, Kommissionsverlag von R. Oldenbourg. 68 S. m. 11 Abb. Preis 3,50 RM.

Das vorliegende erste Heft der Schriftenreihe gibt, wie schon der Titel erkennen läßt, ein Bild von der bisherigen Tätigkeit der Abwasserfachgruppe und ihrer fünf Arbeitsausschüsse und umreißt die Aufgaben, deren Lösung sich die Fachgruppe zum Ziel gesetzt hat. Im wesentlichen enthält es Berichte über die bis Mitte 1933 von der Abwasserfachgruppe veranstalteten Tagungen sowie die dort gehaltenen Vorträge.

Der Leser erhält ein gutes Bild von den zahlreichen Arbeitsgebieten der Fachgruppe, die sich nicht nur auf rein technische, sondern auch auf öffentlich-rechtliche Fragen erstrecken. E 449
Sd.

Angelegenheiten des Vereines

Wahlen und Beschlüsse der Versammlung des Vorstandsrates am 9. Juni 1934 zu Trier

Geschäftsstelle

Der Vorstandsrat hat dem Vorschlag des Vorstandes, Herrn *Garbotz* als Geschäftsführer in die Geschäftsstelle aufzunehmen, zugestimmt.

Wahl des Ältestenrates

Als Mitglieder des Ältestenrates für die Amtszeit des Herrn Dr.-Ing. *H. Schult* als Vorsitzender des VDI wurden gewählt die Herren: *Röchling*, Saarbrücken, *Schulte*, Essen, *Pohlhausen*, Danzig, *Meyer*, Augsburg.

Antrag des Bodensee-Bezirksvereines:

Änderung der Leitsätze für die Prüfung der Aufnahmesuche für ordentliche und besuchende Mitglieder

Von einer Änderung der Leitsätze für die Prüfung der Aufnahmesuche wurde Abstand genommen, da durch die weitere organisatorische Entwicklung Änderungen möglich sind.

Bildung eines Auslandverbandes in Uruguay

Der Bildung eines Auslandverbandes des VDI in Uruguay wurde zugestimmt.

Ingenieurhilfe und Ingenieurdienst

Für das Jahr 1935 wurde der freiwillige Mindestbeitrag für die Ingenieurhilfe auf 3 RM je Mitglied festgesetzt.

Rechnung 1933 der Ingenieurhilfe. Entlastung des Kuratoriums

Der Vorstandsrat nahm Kenntnis von dem Bericht über die Rechnung 1933 der Ingenieurhilfe und der IH-Sterbekasse und erteilte dem Kuratorium der Ingenieurhilfe Entlastung.

Festsetzung des Beitrages 1935

Da zur Zeit ein endgültiger Beschluß über die Beitragshöhe noch nicht gefaßt werden konnte, bevollmächtigte der Vorstandsrat den Vorsitzenden, zu gegebener Zeit den Beitrag festzusetzen. Den Bezirksvereinen wird Gelegenheit gegeben werden, sich zu den Vorschlägen zu äußern.

Überweisungsanteil an die Bezirksvereine

Der Vorstandsrat gab seine Zustimmung, die Überweisungen an die Bezirksvereine für das Jahr 1934 nach denselben Grundsätzen wie für das Jahr 1933 durchzuführen.

Haushaltsplan 1934

Der Vorstandsrat genehmigte den vom Vorsitzenden aufgestellten Haushaltsplan.

Ort der nächsten Hauptversammlung

Die 73. Hauptversammlung 1935 findet in Breslau, und zwar in Verbindung mit der 25-Jahrfeier der Technischen Hochschule Breslau, statt.

Wahlen und Beschlüsse der 72. Hauptversammlung am 10. Juni 1934 zu Trier

Rechnung des Jahres 1933

Die Hauptversammlung genehmigte die Rechnung des Jahres 1933 und erteilte dem Vorsitzenden Entlastung.

Wahl zweier Rechnungsprüfer und ihrer Stellvertreter

Die Hauptversammlung wählte für die Rechnung des Jahres 1934

zu Rechnungsprüfern die Herren *Schulte*, Essen, *Wildegans*, Lübeck;

zu Stellvertretern die Herren *Fröber*, Mannheim, *Rütten*, Magdeburg.

Ehrungen

Grashof-Denk Münze

Die Hauptversammlung verlieh die Grashof-Denk Münze Herrn Kommerzienrat Dr. rer. pol. h. c. Dr.-Ing. E. h. *Hermann Röchling VDI*, Völklingen.

Ehrenring des VDI

Die Hauptversammlung beschloß, in dankbarer Erinnerung an die 23 jugendlichen Gründer des VDI, die in der Liebe zum großen

deutschen Vaterland, in begeisterter Hingabe an den Beruf und in dem Glauben an die eigene Kraft den VDI am 12. Mai 1856 geschaffen haben, sowie in der Erkenntnis, daß gerade heute im neuen Deutschland wieder die Jugend berufen ist, getragen von nationaler Begeisterung, in treuer Pflichterfüllung und Hingabe an den Beruf Großes für den Aufbau unseres deutschen Vaterlandes zu leisten,

die

„Stiftung des goldenen Ehrenringes des VDI für Arbeit und Leistung“

zu errichten.

Dieser Ring soll jährlich bei Gelegenheit der Hauptversammlung durch den Vorsitzenden des Gesamtvereins an junge Ingenieure verliehen werden, die sich in ihrer Arbeit ausgezeichnet haben.

Die Auswahl der durch den VDI-Ring zu ehrenden Ingenieure soll unter Mitwirkung der Vorsitzenden aller Bezirksvereine erfolgen. Zu dem Zweck werden drei Monate vor einer Hauptversammlung die Vorsitzenden der Bezirksvereine aufgefordert, geeignete Vorschläge mit eingehender Begründung dem Vorsitzenden des Gesamtvereins einzusenden. Die Entscheidung steht dem Vorsitzenden des Gesamtvereins nach Anhören von Vorstand und Vorstandsrat zu.

Die Festsetzung der Stiftungsbestimmungen wird dem Vorsitzenden überlassen.

Der Ehrenring wurde verliehen an die Herren:

Hanns Benkert VDI, Berlin,

Siegfried Kießkalt VDI, Frankfurt a. M.-Höchst,

Ernst Mahle VDI, Stuttgart-Cannstatt,

Otto Mayr, Berlin.

Zusammenarbeit in der deutschen Technik

Die Anordnungen des Stellvertreters des Führers und seines Stabsleiters, die dem Textteil des vorigen Heftes nur noch als Bleiblatt angefügt werden konnten, geben wir nachstehend nochmals im Wortlaut wieder.

Der Stellvertreter des Führers hat folgende Anordnung erlassen:

I.

1. Die Unterkommission für Wirtschaftstechnik der Politischen Zentralkommission (U. III der P.Z.K. der N.S.D.A.P.) wird hiermit aufgelöst.

2. Ihre Aufgaben werden übernommen vom „Amt der Technik“.

3. Die Oberleitung des Amtes der Technik liegt in Händen des Pg. Gottfried Feder, dessen Stellvertreter Pg. Dr. Todt ist. Zum Amtsleiter des Amtes der Technik, das seinen Sitz in München hat, ernenne ich Pg. Seebauer.

4. Das Amt der Technik ist der Stabsleitung der P.O. bei der Reichsleitung unterstellt.

5. Die Gebietsbeauftragten und Gaufachberater der aufgelösten U.IIIb werden vom Amt der Technik personell und mit ihrem bisherigen Arbeitsbereich übernommen.

II.

Der Kampfbund der Architekten und Ingenieure (K.D.A.I.) wird mit Zustimmung des Pg. Alfred Rosenberg hiermit aufgelöst. Seine Aufgaben übernimmt der „Nationalsozialistische Bund Deutscher Technik“ (N.S.B.D.T.), der der Stabsleitung der P.O. bei der Reichsleitung untersteht. Zum Vorsitzenden des N.S.B.D.T. ernenne ich Pg. Gottfried Feder. Zum stellvertretenden Vorsitzenden des N.S.B.D.T. ernenne ich Pg. Dr.-Ing. Todt. Pg. Seebauer übernimmt kommissarisch die Geschäftsführung des Nationalsozialistischen Bundes Deutscher Technik.

Die Mitglieder des bisherigen K.D.A.I., die Parteigenossen sind, werden in den Nationalsozialistischen Bund Deutscher Technik überführt. Die Mitglieder des K.D.A.I., die nicht Parteigenossen sind, gelten vorläufig als außerordentliche Mitglieder des Nationalsozialistischen Bundes Deutscher Technik. Mitglieder für den Nationalsozialistischen Bund Deutscher Technik dürfen in Zukunft nur aus den Reihen der Parteigenossen geworben werden.

gez. Rudolf Heß.

Dazu gibt der Stabsleiter des Stellvertreters des Führers, Reichsleiter Martin Bormann, nachstehende Anordnung heraus:

Die vorstehende Verfügung des Stellvertreters des Führers liegt im Sinne der Arbeiten des vom Stellvertreter des Führers ernannten Ausschusses zum Aufbau einer Reichskammer der Technik. Es besteht als weitere Aufgabe die allseitig erwünschte und als notwendig erkannte Zusammenarbeit des „Nationalsozialistischen Bundes Deutscher Technik“ und der „Reichsgemeinschaft der technisch-wissenschaftlichen Arbeit“ (RTA). Pg. Dr. Todt übernimmt daher die Leitung der Reichsgemeinschaft (RTA) und tritt als Vertrauensmann für alle Fragen der Technik und deren Organisationen zum Stabe des Stellvertreters des Führers.

Mit der Vertretung des Pg. Dr. Todt in der Reichsgemeinschaft der technisch-wissenschaftlichen Arbeit wurde Pg. Dr. Schult beauftragt.

gez. Bormann,

Stabsleiter des Stellvertreters des Führers.

Ein großer Schritt auf dem Wege zu gemeinsamer Arbeit ist mit dieser Anordnung getan. Alle drei Komponenten des Zusammenschlusses der Technik, das Amt der Technik, der N.S.B.D.T. und die RTA, sind in eine Hand gelegt.

Herr Dr.-Ing. Todt, der Vertrauensmann des Stellvertreters des Führers für alle Fragen der Technik und deren Organisationen, hat die Leitung der RTA übernommen. Der Weg für planvolle Aufbauarbeit ist frei. Jeder einzelne hat jetzt die Pflicht, alle kleinlichen Bedenken beiseite zu stellen und sich opferbereit einzuordnen in das große Aufbauwerk deutscher Technik.

Schluß des Textteiles

Inhalt

	Seite	Seite	
Ergebnisse neuer Versuche mit Dampflokomotiven. Von <i>H. Nordmann VDI</i>	729	kohlen und Steinkohlen — Streichen auf taufeuchten Flächen — Hydraulische Tiefziehvorrichtung — Schichtglas als Sicherheitsglas für Fahrzeuge — Auf Raupen fahrbares Förderband für Abraumbetriebe — Der erste amerikanische Stromlinien-Dampfbzug — Fahrplanmäßige Schnellfahrten Paris—Lyon . . .	755
Der Marx-Stromrichter; Praktische Durchbildung. Von <i>H. Buchwald</i>	737	Bücherschau: Der Telegraph von Gauß und Weber im Werden der elektrischen Telegraphie. Von <i>E. Feyerabend</i> — Abwasserfachgruppe der Deutschen Gesellschaft für Bauwesen e. V.	759
Der Unfall am Pumpspeicherwerk des Schwarzen Sees in den Vogesen	741	Angelegenheiten des Vereines: Beschlüsse des Vorstandsrates und der 72. Hauptversammlung — Zusammenarbeit in der deutschen Technik	759
Die Strömung durch Flügelgitter. Von <i>F. Weinig VDI</i>	742		
Höhenprüfstand für Flugmotoren	746		
Die Adolf-Hitler-Brücke über die Mosel; die zweite feste Straßenbrücke bei Koblenz. Von <i>F. Dischinger</i>	747		
Wilhelm Riehm †	753		
Volk und Wirtschaft; eine Lehrausstellung des VDI	754		
Aus der Ingenieurarbeit: Die Schwelung von Braun-			