Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 119/120 (1942)
Heft: 20

Artikel: Die erste Gasturbinen-Lokomotive
Autor: Meyer, Ad.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-52362

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

INHALT: Die erste Gasturbinen-Lokomotive. — Technische Fragen der Baustoffbewirtschaftung. — Zum Splügener Stauseeprojekt. — Die organische Erneuerung unserer Städte. — Mitteilungen: Gelenktes Klima? 2. Schweiz. Ausstellung für Neustoffe. Bituminöse Abdichtung unter dem Schotterbrett des Bahngeleises. Bauverbote zur Freihaltung schöner Waldränder. Behebung der Wohnungsnot ohne Zementverbrauch. Titelschutz im Kanton Waadt. Kunstgewerbemuseum der Stadt Zürich. — Nekrologe: Alphons Daverio. Max Bebi. — Literatur.
Mitteilungen der Vereine.
Vortragskalender.

Band 119 Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet Nr. 20

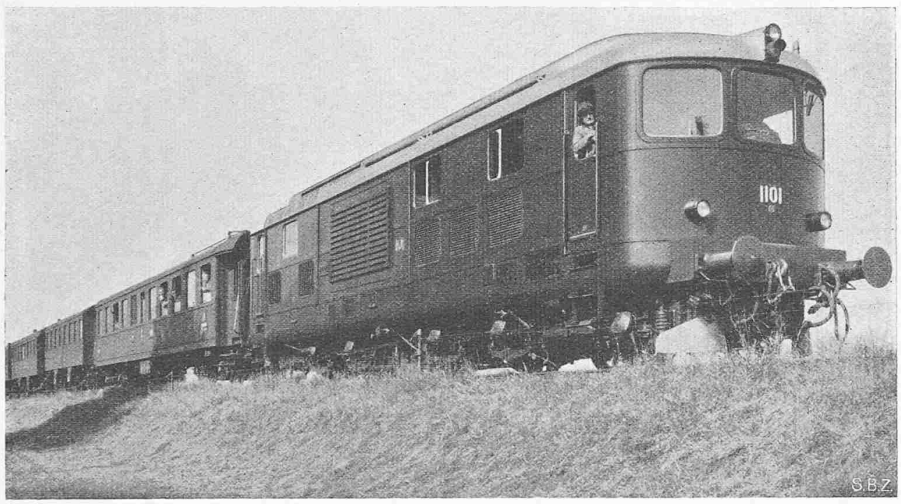

Abb. 7. Gasturbinen-Lokomotive von Brown Boveri, für 2200 PS, Typ 1 A_0-B_0-$A_0$1, auf Probefahrt

Die erste Gasturbinen-Lokomotive

Von Ing. Dr. h. c. AD. MEYER, Baden

Wenn immer eine neue Kraftmaschine erfunden wurde, erwachte auch bald der Wunsch, sie dem Verkehr dienstbar zu machen. So entstanden die ersten Dampfwagen fast gleichzeitig mit den ersten ortsfesten Dampfmaschinen; ihre Misserfolge waren weniger der treibenden Maschine als dem nach heutigen Begriffen unglaublich schlechten Zustand der damaligen Strassen zuzuschreiben. Erst etwa 30 Jahre nachdem der erste Dampfwagen der Welt mit seinem Erfinder Cugnot und seinem viel zu kleinen Kesselchen mühsam durch die Strassen von Paris keuchte, kam Trevithik 1804 auf die Idee, seinen Dampfwagen auf den schon seit dem Mittelalter bekannten Schienenweg, die Eisenbahn, zu setzen und damit die erste Lokomotive zu schaffen. Durch ihn und die beharrliche Arbeit der Stephenson, Vater und Sohn, wurde in der Folge eine Entwicklung eingeleitet, die zu einem wahren Siegeslauf der Dampfmaschine im Dienste des Verkehrs führte und der ganzen Welt ein neues Gepräge gab.

Diese bis dahin beispielslose Entwicklung auf dem Gebiete des Verkehrs ist nur durch diejenige übertroffen worden, die die Erfindung der Brennkraftmaschine durch Otto und Diesel zur Folge hatte. Auch hier war der schienenunabhängige Selbstfahrwagen das erste Ziel der Erfinder, die den Verbrennungsmotor in den Dienst des Verkehrs spannten. Im Gegensatz zur Entwicklung des Dampffahrzeuges ist jedoch der Brennkraftwagen oder Kraftwagen schlechthin (das Automobil) in weitüberwiegendem Masse der Strasse treu geblieben. Die Strassen waren bei seinem Erscheinen schon unvergleichlich häufiger und besser als zur Zeit von Cugnot und Trevithik und förderten in hohem Masse die beispiellose Entwicklung des Kraftwagens, wie später dieser hinwieder in noch grösserem Ausmass und in nicht vorauszusehender Weise die Entwicklung unserer Strassen und Strassennetze gefördert hat.

Wenn heute die Dampflokomotive nicht nur den Dampfkraftwagen, sondern auch die stationäre Kolbendampfmaschine der Zahl sowohl als der Gesamtleistung nach bei weitem übertrifft, so ist es bei der Brennkraftmaschine nicht die Lokomotive, sondern der Kraftwagen, das Automobil, das in unerhört raschem Lauf alles andere überholt und sich an die Spitze gesetzt hat, sodass es heute der Zahl nach wie nach seiner Gesamtleistung alle Wind-, Wasser-, Dampf- und auch die ortsfesten Brennkraftmaschinen der Welt übertrifft.

Die Brennkraftlokomotive ist noch verhältnismässig jung und kommt hauptsächlich in der Form der Diesel-Lokomotive und diese wieder im Gegensatz zur Dampflokomotive fast nur mit mittelbarer Uebertragung der Leistung als Diesel-Elektro-Lokomotive vor. Dass die technisch einwandfreie und in vielen Beziehungen so vorteilhafte elektrische Uebertragung bei Dampflokomotiven bisher nur ganz vereinzelt angewandt wurde, ist wohl neben ihren wirtschaftlichen Nachteilen (grosses Gewicht und hoher Preis infolge dreimaliger Uebertragung der Leistung) vor allem auf den Umstand zurückzuführen, dass zur Zeit, als die junge Elektrotechnik in der Lage war, für das Problem gangbare Lösungen vorzuschlagen, die Dampflokomotive mit mechanischer Uebertragung schon auf eine fast hundertjährige Entwicklung zurückschauen konnte, die bereits zu einer recht erfolgreichen Typisierung für fast alle Anwendungszwecke geführt hatte.

Und doch ist die erste elektrische Uebertragung der Leistung einer Kraftmaschine auf die Räder eines Fahrzeuges für eine Dampf-Lokomotive geschaffen worden. Es handelt sich dabei um die nach ihrem französischen Erfinder und Promotor benannte *Heilmann-Lokomotive*, deren elektrische Uebertragung im Jahre 1896 von der damals noch ganz jungen Firma Brown Boveri und ihrem ebenfalls noch sehr jungen Gründer und technischen Leiter Charles Brown gebaut wurde. Da dieser Urahne[1]) aller Lokomotiven mit elektrischer Uebertragung verschiedene Lösungen enthielt, die auch heute noch Technikern Interesse bieten dürften, sei es gestattet, diese kurz zu erwähnen und die Lokomotive im Bild zu zeigen (Abb. 1).

Zum Antrieb diente eine Sechszylinder-Willans & Robinson-Dampfmaschine von 1350 PS. Man sieht hier wohl zum ersten Mal die später für den Fahrzeugkolbenmotor so charakteristisch gewordene Vermehrung der Zylinderzahl, um höhere Drehzahlen und damit kleinere Gewichte und Preise möglich zu machen. Die so erreichte Drehzahl von 400 U/min gestattete je eine Gleichstrom-Dynamo von 450 kW bei 450 V Spannung mit den beiden Wellenenden fest zu kuppeln. Eine besondere Zweizylinder-Dampfmaschine trieb eine 15 kW Compounddynamo für die Fremderregung der Hauptgeneratoren an. Diese ganze Kraftanlage war auf einen gemeinsamen Rahmen aufgebaut, der seinerseits auf zwei vierachsige Drehgestelle abgestützt war, deren sämtliche Achsen mit Hohlwellen-Seriemotoren von 125 PS angetrieben wurden, die dem Fahrzeug bei 450 U/min die ebenfalls modern anmutende Geschwindigkeit von 100 km/h erteilten.

Allgemeines

Und nun zur Gasturbinen-Lokomotive. Ob bei dieser die elektrische Uebertragung, die sich bei grösseren Diesel-Lokomo-

[1]) Vor der im Bild gezeigten und beschriebenen Lokomotive wurde noch eine wesentlich kleinere gebaut, die jedoch wegen ihrer Kleinheit nicht als Betriebsmaschine gelten kann. Bei dieser war nicht nur der elektrische, sondern auch der Dampfteil von Brown, Boveri & Cie. unter der Leitung von Charles Brown Vater durch Eric Brown als gegenläufige Kolbenmaschine gebaut worden.

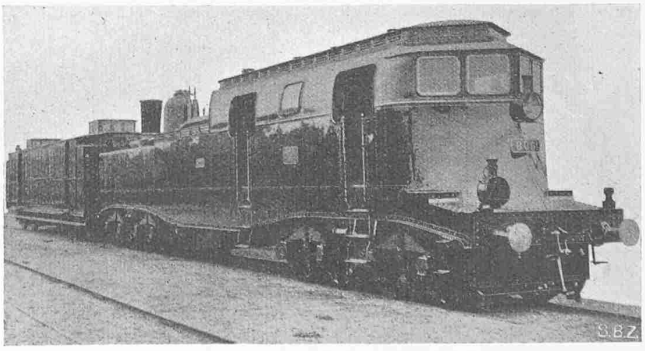

Abb. 1. Dampf-elektrische Heilmann-Lokomotive aus dem Jahre 1896

tiven überwiegend eingebürgert hat, auch angewandt werden solle oder müsse, war eine der ersten Fragen, mit der sich Brown Boveri und der Verfasser beschäftigten, nachdem der Bau und Betrieb einiger stationärer Anlagen die Eignung der Gasturbine für Lokomotivantrieb an und für sich als wahrscheinlich erscheinen liess. Es waren für die Entscheidung sowohl Zweckmässigkeitsgründe, als auch solche technischer Natur massgebend.

Zu den erstgenannten gehörte der Wunsch, bei der Gasturbinen-Lokomotive keinerlei Neuerungen konstruktiver Art einzuführen, die nicht durch den Gasturbinen-Antrieb selbst unvermeidbar bedingt sind, um diesen selbst nicht durch allfällige Störungen an solchen Teilen zu kompromittieren. Anderseits lag die Anwendung der elektrischen Uebertragung deshalb nahe, weil sich die von Brown Boveri entwickelten, bei Dieselfahrzeugen schon hundertfach ausgeführten Konstruktionen und Regelverfahren, wie eine Untersuchung zeigte, ohne Zwang sinngemäss auf den Gasturbinen-Antrieb übertragen liessen. Ein weiterer Grund, der für die elektrische Uebertragung spricht, ist die Frage des Adhäsionsgewichtes. Da das Gewicht pro PS bei der Gasturbinenlokomotive erheblich kleiner ist als bei der Diesel- oder Dampf-Lokomotive, liegt ein Bedürfnis vor, viele Achsen an der Leistungsübertragung zu beteiligen, was bei der elektrischen Uebertragung ohne weiteres möglich ist, da man im Grenzfall alle Achsen antreiben kann.

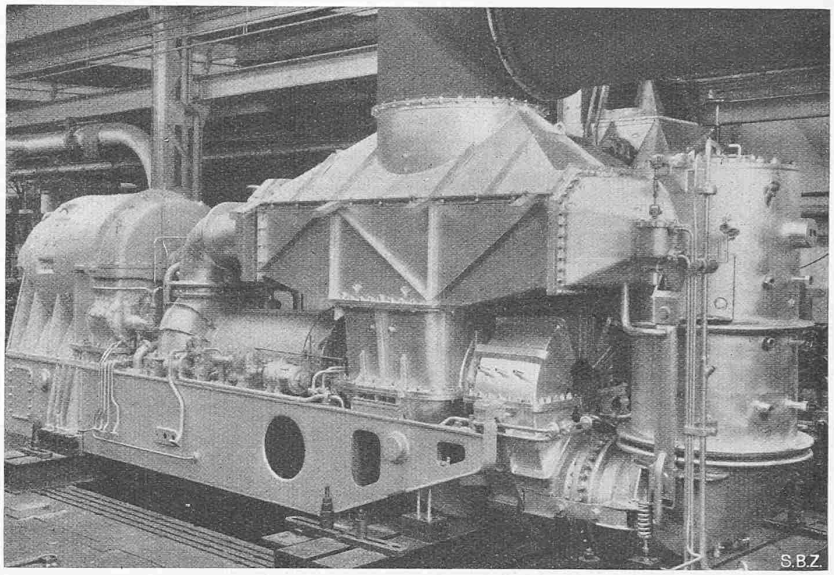

Abb. 3. Gasturbogruppe auf dem Prüfstand. Brennstoff- und Oel-Behälter im Sockel

Um die technischen Gründe zu würdigen, müssen wir uns noch einmal das Prinzip der Gasturbine und zwar besonders dasjenige der Verbrennungsturbine, früher fälschlicherweise meist Gleichdruckturbine genannt, vergegenwärtigen. Wir tun dies an Hand der Abb. 2, die schematisch die Kraftanlage einer Gasturbinen-Lokomotive ohne die Uebertragung auf die Räder darstellt. In der Brennkammer A wird durch stetige Verbrennung von Oel im Brenner 3 die vom Kompressor C in grossem Ueberschuss gelieferte Druckluft erhitzt. Diese Druckluft dient gleichzeitig der Verbrennung und zur Abkühlung der Verbrennungsprodukte, des Gases, auf eine für die Gasturbinen-Schaufeln erträgliche Temperatur. Hierauf strömt das Gas aus der Brennkammer, rd. 500 bis 600° C heiss, in die Gasturbine B, wo es expandiert, Wärme für die Erzeugung mechanischer Arbeit abgibt und sich entsprechend abkühlt. Alsdann strömt es durch den Luftvorwärmer D, in dem es Wärme an die verdichtete, zur Brennkammer strömende Luft abgibt, über das Dach ins Freie.

Dabei muss die Gasturbine für 2000 PS an der Kupplung verfügbare Nutzleistung rd. 8000 PS entwickeln, da der Kompressor für die Drucklufterzeugung rd. 6000 PS verbraucht. Die Ueberschussleistung muss nun auf geeignete Weise auf die Räder der Lokomotive übertragen werden, sei es mechanisch, pneumatisch, hydraulisch, elektrisch oder durch eine Kombination dieser vier Möglichkeiten.

Die direkte mechanische Uebertragung von der Welle der Gasturbinen-Kompressorgruppe auf die Radachsen kommt aus verschiedenen technischen Gründen nicht in Frage: Erstens wäre damit die Drehzahl von Gasturbine und Kompressor an die Geschwindigkeit des Fahrzeuges gebunden, was bei der starken Drehzahlabhängigkeit des Wirkungsgrades dieser Turbomaschinen sich selbst bei Stufenschaltung verbietet. Zweitens müsste das mechanische Uebersetzungsgetriebe von etwa 10:1 auch eine Zu- und Abschaltung der Gruppe während der Fahrt erlauben, da diese wie beim Automobil vor dem Anfahren aus dem Stillstand angeworfen und nachher zugeschaltet werden müsste. Solche Getriebe und Kupplungen sind aber für Leistungen von 2000 PS und mehr noch nicht erprobt. Das gleiche gilt für die pneumatische und hydraulische Uebertragung, die geeignet wäre, diese Schwierigkeiten zu beheben. Es sind zwar hydraulische Uebertragungen in grosser Zahl mit Erfolg für Leistungen bis 400 PS für Lokomotiven gebaut worden, dagegen liegen über grössere Leistungen meines Wissens keine befriedigenden Erfahrungen vor. Trotzdem beabsichtigt die Allis-Chalmers Manufacturing Co., Milwaukee, als Lizenznehmer von Brown Boveri eine Gasturbinen-Lokomotive von 5000 PS mit hydraulisch-mechanischer Uebertragung zu bauen und man darf den Ergebnissen dieser Lokomotive mit Interesse entgegensehen.

Als uns im Frühjahr 1939 die Schweiz. Bundesbahnen in fortschrittlicher Weise eine 2200 PS Gasturbinen-Lokomotive bestellten, um damit ihrerseits einen Anteil an die Abklärung dieser technischen Aufgabe beizutragen, wurde aus den vorerwähnten Gründen beschlossen, diese Lokomotive mit elektrischer Uebertragung zu bauen. Die Lokomotive, Typ $1 A_0$-B_0-$A_0 1$, wurde zum Betrieb auf Nebenlinien bestellt, deren Verkehrsfrequenz die Elektrifizierung nicht rechtfertigt. Die Hauptdaten für diese SBB-Gasturbinen-Elektrolokomotive sind:

Garantie-Dauerleistung des thermischen Aggregates, am Generator-Kupplungsflansch gemessen	2200 PS	bei	5200/812 U/min
Zugkraft am Radumfang:			
während der Anfahrt	13000 kg	von 0 bis	26 km/h
während einer Stunde	7600 kg	bei	50 km/h
dauernd	4840 kg	bei	70 km/h

Der Brennstoffbedarf bei Vollast ist etwa 450 g/PSh am Radumfang, d. h. es sind, bei 2000 PS Leistung am Radumfang, stündlich etwa 900 kg Rohöl erforderlich.

Höchstgeschwindigkeit	110 km/h
Dienstgewicht mit kompl. Vorräten:	
bei Betrieb auf Nebenlinien	92 t
bei Betrieb auf Hauptlinien durch Zuladung von Brennöl	93,5 t
Zulässiger Triebachsdruck auf Nebenlinien	16 t
Zulässiger Triebachsdruck auf Hauptlinien	18 t

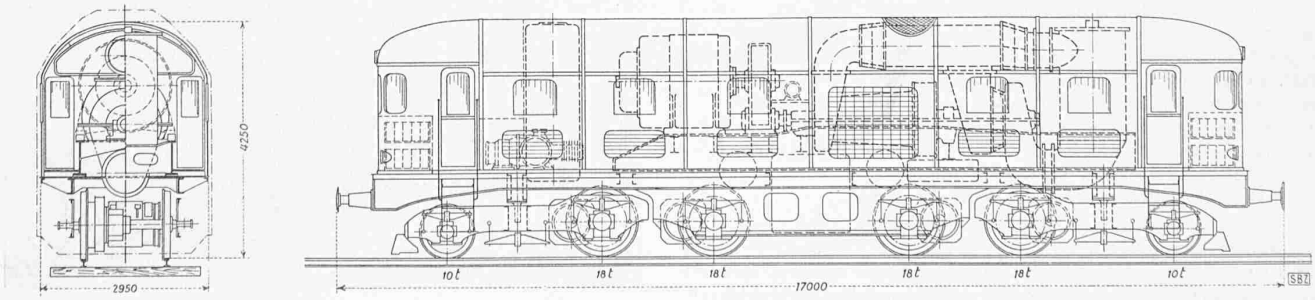

Abb. 4. Gasturbinen-Lok. mit elektr. Kraftübertragung, gebaut von BBC (mit SLM) für die SBB, Leistung a. d. Generatorkupplung 2200 PS.

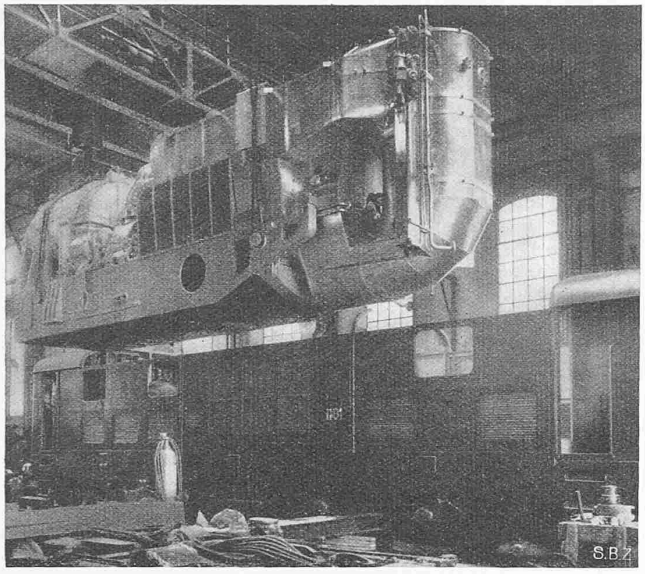

Abb. 6. Einheben der verschalten Gasturbogruppe in die Lokomotive

Die ganze thermische Anlage wurde im Badener Werk auf einem gemeinsamen, geschweissten Hilfsrahmen montiert, der auch die Behälter für Brennstoff und Schmieröl enthält, mit einem Inhalt von 4,2 m³ bzw. 0,85 m³. Abb. 3 und 4.

Abnahme. An dieser Gruppe wurden in Baden durch den Schweiz. Verein von Dampfkesselbesitzern in Zürich und den Schweiz. Elektrotechnischen Verein mit dem Besteller, den Schweiz. Bundesbahnen, eingehende Versuche vorgenommen, deren Messpunkte im Kurvenblatt, Abb. 5, eingetragen sind und eine sehr schöne Uebereinstimmung mit den vorausberechneten Werten ergaben. Nachher wurde die Gruppe in die Werkstätten von Brown Boveri in Münchenstein bei Basel überführt und dort als Ganzes in die Lokomotive hineingehoben (Abb. 6); Abb. 7 zeigt die leider etwas banale Aussenansicht der fertigen Lokomotive.

Fahrt. Nachdem wir nun die Wirkungsweise der Gasturbinen-Lokomotive im allgemeinen nochmals rekapituliert haben, können wir ihre interessanten Einzelheiten am besten verfolgen, wenn wir in Gedanken den Lokomotivführer auf einer seiner Fahrten begleiten. Wir sprechen in der Einzahl, weil es sich um Einmannbedienung handelt. Seine erste Handlung, wenn er am Morgen seine Lokomotive bestiegen hat, ist die Inbetriebsetzung eines Hilfsdieselmotors mit Generator, der dazu dient, die Kraftgruppe auf eine Drehzahl zu bringen, bei der der Kompressor genügend Luft liefert, um das Oel zünden und verbrennen zu können. Bei diesem Anfahren der Kraftgruppe läuft deren Generator, der seinen Strom vom Dieselgenerator erhält, als Motor. Vom Anlassen des Dieselmotors bis zur Zündung vergehen etwa 4 Minuten, die der Lokomotivführer benützt, um seine Ueberkleider anzuziehen. Hierauf zündet er vermittelst eines elektrisch geheizten Zündstabes das Heizöl hinter dem Brenner, worauf die Gruppe, von der Verbrennung unterstützt, sich rascher beschleunigt. Nun begibt er sich in den Führerstand, Abb. 8, schaltet den Generator des Dieselmotors vom Generator der Hauptgruppe ab und auf die Motoren der Lokomotive um und kann so seine Maschine mit etwa 10 km/h zum Zug fahren, ohne Benützung der Gasturbinengruppe, die sich inzwischen selbst weiter beschleunigt, bis sie nach weiteren rd. 4 Minuten die normale Leerlaufdrehzahl erreicht hat. Während die Lokomotive an den Zug gekuppelt wird, stellt der Führer die Hilfs-Dieselgruppe ab und schaltet die Motoren auf den Hauptgenerator um. Eine kleine Batterie, die auch für das Anwerfen des Dieselmotors diente, versah bis dahin die Hilfsdienste. Ursprünglich war beabsichtigt, diese Batterie so gross zu machen, dass sie auch das Anlassen der Gasturbinen-Gruppe hätte besorgen können. Bei eingehendem Studium kam man jedoch wieder von dieser Idee ab, da der Dieselmotor für öfteres Anlassen doch eine grössere Garantie bietet als eine Batterie.

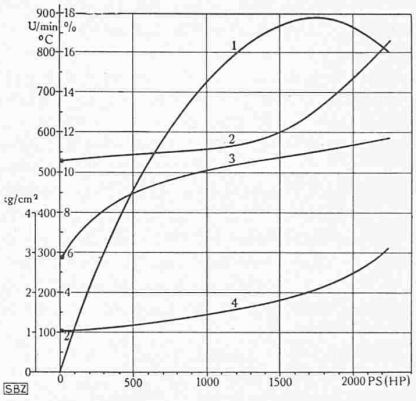

Abb. 5. Betriebsgrössen lt. Versuchen in Baden

1 Thermischer Wirkungsgrad in %
2 Drehzahl des Generators in U/min
3 Gastemperatur vor der Turbine in °C
4 Luftdruck nach dem Gebläse in kg/cm² abs.

Nun kann die Fahrt beginnen. Der Lokomotivführer tritt auf den Totmannshebel, der, losgelassen, das Brennöl abstellt und die Luftdruckbremse in Tätigkeit setzt und so den Zug zum Stillstand bringt, eine Sicherung, die auch bei elektrischen Lokomotiven in ähnlicher Weise vorgesehen ist. Hierauf setzt er durch schrittweise Drehung des Stufenschalters die

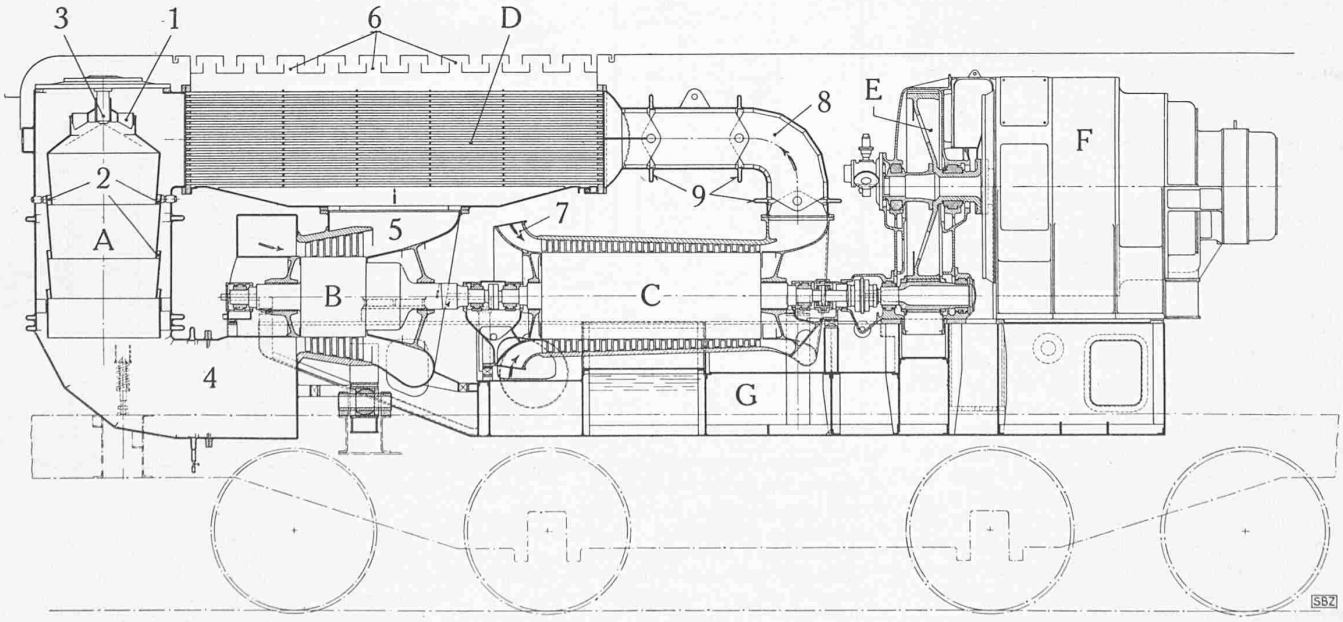

Abb. 2. Längsschnitt (etwa 1 : 50) durch die Gasturbinengruppe der Lokomotive von Brown, Boveri & Cie. A. G., Baden

A Brennkammer, B Gasturbine, C Verdichter, D Vorwärmer, E Getriebe, F Generator, G Maschinen- oder Hilfsrahmen. — Die verdichtete und vorgewärmte Luft wird zum Teil als Brennluft durch den Drallkörper 1, zum Teil als Kühlluft durch die Schlitze 2 und der Brennstoff durch die Einspritzdüse 3 in die Brennkammer eingeführt. Brenngas und Kühlluft mischen sich im Raum 4 und bilden das Treibgas. Die noch heissen Abgase gehen bei 5 in den Vorwärmer, den sie durch die Schlitze 6 im Dach des Lokomotivgehäuses verlassen. Der Lufteintritt erfolgt bei 7; das Luftaustrittrohr 8 ist mit mehreren Falten 9 versehen, um den verschiedenen Ausdehnungen von Gasturbinengruppe und Vorwärmer zu entsprechen

Lokomotive in Bewegung, wobei er uns besonders auf die gleichmässige, rucklose und doch rasche Beschleunigung aufmerksam macht, die wohl der grossen Trägheit der rotierenden Masse der Kraftgruppe zuzuschreiben ist. Nach und nach erreicht der Zug seine volle Geschwindigkeit, wobei der ruhige Gang der Lokomotive angenehm auffällt, selbst auf dem verhältnismässig schlechten Geleise der Nebenbahn, die wir befahren. Ausser der guten Federung des von der Schweiz. Lokomotiv- und Maschinenfabrik Winterthur gebauten mechanischen Teiles trägt hierzu wahrscheinlich die Lagerung der Kraftgruppe bei, deren Grundplatte, die allen Teilen: Brennkammer, Gasturbine, Kompressor und Generator gemeinsam ist, eine elastische Dreipunktlagerung aufweist, wie ein moderner Automobil-Motor. Auch die Kreiselwirkung der Kraftgruppe spielt vielleicht eine gewisse Rolle. — Nun kommt eine Steigung, für die eine höhere Leistung erforderlich ist. Der Lokomotivführer hat nur das Stufenhandrad weiter zu drehen, das übrige macht die Regulierung selbsttätig. Es ist deshalb an der Zeit, uns mit dieser Regulierung zu befassen.

Die Regulierung der Leistung einer Lokomotive mit elektrischer Uebertragung, erfolge der Antrieb durch einen Dieselmotor oder eine Gasturbine, setzt eine Koordinierung der Antriebsleistung mit der Leistungsaufnahme der Motoren bzw. der stromliefernden Dynamo voraus. Diese wird durch Feldregelung der fremderregten Dynamo durch einen Servofeldregler 24 bewirkt, der durch die in Abb. 9 dargestellte Oelsteuerung betätigt wird.

Die Pumpe 9 liefert Drucköl in das allen Steuerapparaten gemeinsame Druckleitungsnetz, das über die Drosselstelle 31 beim Anfahren auch die Schmierung aller Lager sicherstellt, während dies beim Normalbetrieb die Schmierölpumpe 8 besorgt. Das Hauptsteuerrad 14, das der Führer bedient, regelt gleichzeitig über die Leitungen 18 und 19 die Zufuhr des von Pumpe 7 dem Brenner 12 in der Brennkammer 2 gelieferten Brennstoffes mittels des Steuerkolbens 20, sowie die Stellung der Muffe des Drehzahlreglers 21 über den Steuersektor 22, durch dessen Form Oelzufluss und Drehzahl dadurch gesetzmässig gekuppelt sind, dass der Drehzahlregler seinerseits den Servofeldregler 24 und damit die elektrische Leistung über Leitung 23 beeinflusst.

Wird beispielsweise bei einer Steigung eine Mehrleistung verlangt, so öffnet der Führer den Zufluss zu Leitung 18 und 19 durch Drehung des Stufenschalters 14, wodurch sich der Druck in dem von diesen Leitungen bedienten System vergrössert. Kolben 20 lässt mehr Heizöl in die Düse 12 der Brennkammer 2 treten; Regelsektor 22 wird durch das unter ihm befindliche Kölbchen gedreht und verstellt die Muffe des Drehzahlreglers 21 so, dass dieser eine höhere Drehzahl anstrebt. Wegen der grossen Trägheit der rasch rotierenden Massen von Turbine 3, Gebläse 1 und Generator 6 bleibt aber vorläufig die effektive Drehzahl hinter der Solldrehzahl zurück. Dieser Zustand entspricht demjenigen, der sonst bei Ueberlast entsteht; der Servofeldregler schaltet über Leitung 23, vom Drehzahlregler beeinflusst, Last ab, obschon eine Leistungserhöhung angestrebt wird und eingeleitet ist.

Diese scheinbar falsche Handlung des Feldreglers ist aber, wie wir sehen werden, durchaus richtig und dem angestrebten Zwecke sehr förderlich, indem diese Verminderung der elektrischen Leistung erlaubt, die ganze durch die erhöhte Oelzufuhr eingeleitete und bei dem riesigen Luftüberschuss sofort erzielbare Zunahme der Leistung für die Beschleunigung der Gruppe zu verwenden, dadurch die Dauer der unvermeidlichen, vorübergehenden Erhöhung der Gastemperatur nach Möglichkeit abzukürzen, und die Solldrehzahl, bei der der Kompressor die der eingeführten Oelmenge entsprechende Luftmenge liefert, möglichst rasch zu erreichen. Diese Tendenz wird noch dadurch unterstützt, dass mit dem Feldregler ein Kolbenschieber 26 gekuppelt ist, der bei seiner Ueberlaststellung eine weitere Zufuhr von Heizöl durch Drucksteigerung in Leitung 32 bewirkt.

Sobald infolge der geschilderten Massnahmen die effektive Drehzahl die Solldrehzahl überschreitet, wird über Leitung 23 der Feldregler durch den Drehzahlregler zurückgeführt und belastet die Dynamo, bis zwischen ihrer Leistung und der Nutzleistung der Gasturbine Gleichgewicht herrscht. — Bei einer Entlastung spielen sich die Vorgänge in umgekehrter Reihenfolge ab.

Der Hebel 15 stellt in Nullage das Steueröl zum Führerstand A ab, wenn beispielsweise der Stand B gebraucht werden soll. Er schaltet ferner bei Stellung «vorwärts» und «rückwärts» die Motoren auf die betreffende Fahrrichtung. Am Knopf 16 kann die sonst durch den Kurvensektor fest gekuppelte Beziehung zwischen Heizölmenge bzw. Leistung und Drehzahl der Kraftgruppe gelöst und verändert werden, wenn dies beispielsweise wegen starken Aenderungen der Aussentemperatur und entsprechender Aenderung der Nutzleistung erwünscht ist. Der Hebel 17 endlich erlaubt eine solche Aenderung vorübergehend vorzunehmen, wenn man beispielsweise bei einem kurzen Halt die Leerlaufdrehzahl hochhalten will, um beim Wiederanfahren die Beschleunigungszeit für die Kraftgruppe abzukürzen und möglichst rasch das höchstmögliche Anfahrmoment zu bekommen.

Man sieht hieraus, dass die Automatik alles in einer Weise besorgt, wie es der Führer selbst nicht besser könnte, dass ihm jedoch die Mittel für ein Eingreifen in den Reguliervorgang zur Verfügung stehen, sofern ein solches wünschenswert erscheint.

Zur Steuerung gehören auch noch *Sicherheitsvorrichtungen*. Hat beispielsweise unser Führer statt *vor* einer Steigung Oel zu geben, dies erst getan, wenn er *in* der Steigung ist und schon Geschwindigkeit verloren hat, wird er leicht versucht sein, das Versäumnis dadurch nachzuholen, dass er einige Stufen auf einmal schaltet. Da jedoch die Trägheit der rasch rotierenden Massen unter Umständen eine genügend rasche Anpassung der Drehzahl und damit der Luftmenge an die zu rasch vergrösserte Oelmenge verhindert, entsteht eine zu hohe Temperatur, die auf die Dauer den Schaufeln gefährlich werden könnte. Plötzlich leuchtet vor dem Führer eine rote Lampe auf: Warnung! zu hohe Temperatur. Falls er dieses Zeichen übersieht und nicht, wie sichs gehört, mit dem Schalter um eine bis zwei Stufen zurückgeht, schaltet der gleiche Thermostat, der die rote Lampe aufleuchten liess, nach einer weiteren Temperatursteigerung um 30° ein Relais ein, das die Brennstoffpumpe abstellt und so die Entstehung eines Schaufelsalats verhütet, gleichzeitig aber auch

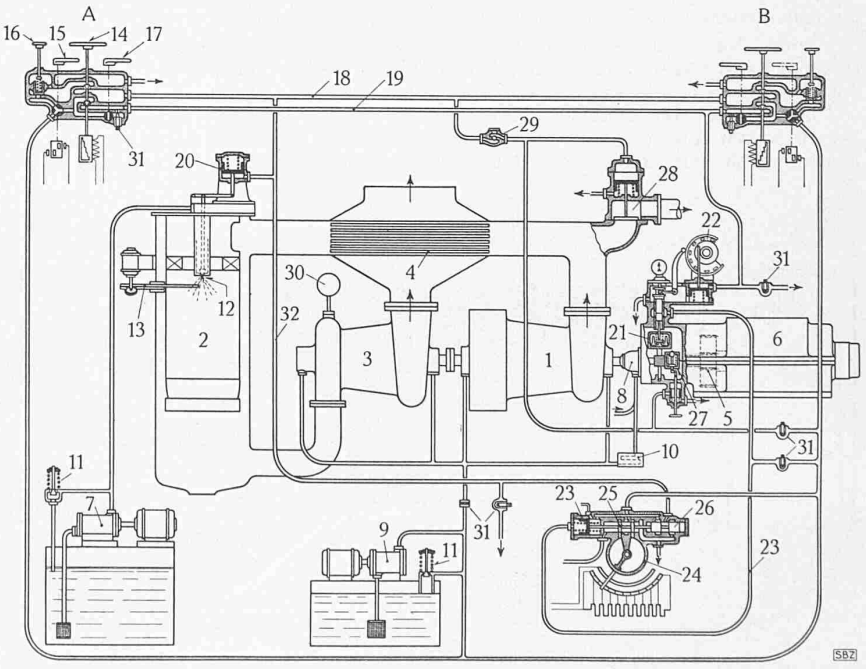

Abb. 9. Druckölsteuerung einer Gasturbinenanlage für Traktionszwecke

A, B Führerstände, 1 Verdichter, 2 Brennkammer, 3 Gasturbine, 4 Luftvorwärmer, 5 Getriebe, 6 Generator, 7 Brennstoffpumpe, 8 Steuer- und Schmierölpumpe, 9 Hilfspumpe, 10 Oelkühler, 11 Druckbegrenzer, 12 Brennstoffdüse, 13 Zündstab mit Fernbetätigung, 14 Hauptsteuerrad mit Doppelventil und Erregerwiderstand, 15 Wendeschalter mit Oelabsperrhahn und wegnehmbarem Schlüssel, 16 Temperatur-Versteller, 17 Hebel zur Einstellung tiefer oder hoher Leerlaufdrehzahl (Betriebsbereitschaft), 18 Brennstoff-Steuerölsystem, 19 Drehzahl-Steuerölsystem, 20 Kraftkolben zur Brennstoffdüse, 21 Drehzahlregler, 22 Kurvenscheibe zur Verstellung der Drehzahl vom Führerstand aus (verstellt die Muffe des Reglers 17), 23 Hydraulische Uebertragung des Steuerimpulses von 17 auf den Feldregler, 24 Feldregler mit Drehschieber, 25 Steuerschieber zu 24, 26 Steuerschieber zur zusätzlichen Beeinflussung der Brennstoffmenge während der Regel-Vorgänge, 27 Sicherheitsregler gegen Ueberdrehzahl, 28 Sicherheitsventil, 29 Rückschlagventil, 30 Sicherheits-Temperaturregler, 31 Oelblende, 32 Oelleitung zum Brennstoffsteuersystem

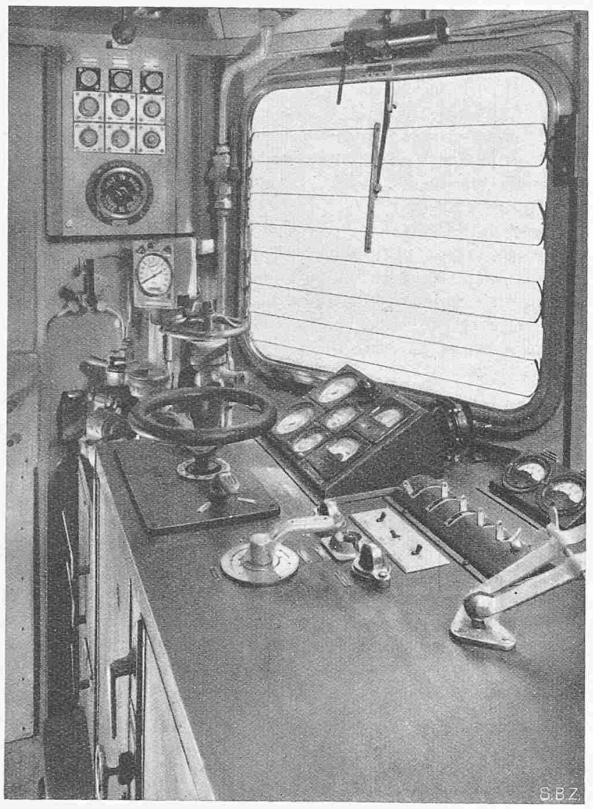

Abb. 8. Führerstand für Einmannbedienung der BBC-Gasturbolokomotive der Schweiz. Bundesbahnen
Neben den bahntechn. Apparaten kann der Führer auch die den Betrieb der Gasturbine überwachenden Instrumente gut überblicken

einen, wenn auch kurzen, doch unangenehmen Betriebsunterbruch bewirkt, da bis zur Wiederzündung trotz der infolge der Beharrung weiterlaufenden Kraftgruppe doch etwa 1 bis 2 Minuten vergehen. Ein zweites Mal passiert das dem gleichen Führer kaum.

Falls, beispielsweise durch Kabelbruch oder dergleichen, die Leistungsabnahme durch die Motoren unterbrochen würde, könnten die Versuche des Feldreglers und des Drehzahlreglers, die Oelzufuhr zu vermindern, in diesem Ausnahmefall zu spät kommen, um eine unzulässige Drehzahlsteigerung zu verhindern. In diesem Falle greift der Sicherheitsregler 27 ein, der bei einer Ueberschreitung der höchst zulässigen Betriebsdrehzahl um 10 % das Regelöl aus Leitung 29 entleert und dadurch das Luft-Auspuffventil 28 öffnet, den Kompressor überlastet und die Luftmenge zur Brennkammer so vermindert, dass die steigende Temperatur das vorerwähnte Relais zum Ansprechen bringt, das die Oelpumpe 7 abstellt und so die Gruppe stillsetzt.

Es könnte auch der umgekehrte Fall eintreten, nämlich, dass die Flamme aus irgend einem Zufall (Wasser im Oel oder dergl.) erlischt. Es würde dann weiter Oel in die Brennkammer strömen, das nicht verbrennt. Dies wird durch einen Thermostaten verhindert, der nur von der Strahlung, d. h. durch die Flamme betätigt wird und beim Wegfall der Flamme zuerst den Zündstab einschaltet und wenn die Wiederzündung nicht gelingt, nach 5 Sekunden die Brennstoffpumpe stillsetzt. Ein weiterer automatischer Wächter ist ein Druckrelais, das bei zu grosser Verminderung des Oeldruckes in den Lagern den Brennstoff abstellt.

Kraftbremsung. Inzwischen haben wir die Bergstrecke überwunden und rollen nach Ueberschreitung der Wasserscheide auf der anderen Seite zu Tal. Hier wird es nun erwünscht sein, statt der vorhandenen Druckluftbremsung, die sowohl die Bremsklötze wie auch die Räderbandagen stark in Anspruch nimmt, eine Kraftbremsung zu haben. Diese war bei unserer Gasturbinen-Lokomotive nicht von Anfang eingerichtet, wird jedoch noch gemacht. Wie erwähnt, ist die Leistung der Gasturbine bei Volllast rd. 8000 PS, die Kraftaufnahme des Kompressors rd. 6000 PS, sodass noch 2000 PS als Nutzleistung übrig bleiben. Wird nun bei der Talfahrt die Oelzufuhr abgestellt, oder in dem Mass gedrosselt, dass die Flamme gerade noch brennt, und werden die Motoren durch entsprechende Erregung in Gleichstrom-Generatoren verwandelt, die ihre Leistung an die Haupt-Dynamo abgeben, die dabei zum Motor wird, so treibt dieser den Kompressor und die Gasturbine an. Durch Oeffnen des normalerweise vom Sicherheitsregulator der Gasturbinengruppe gesteuerten Ausblaseventils der Druckleitung des Kompressors wird die von diesem angesaugte Luft zum grössten Teil direkt ins Freie geblasen, sodass nur ein kleiner Teil durch die Brennkammer, Turbine und Vorwärmer strömt, gerade genug, um den Brenner mit kleiner Flamme brennen zu lassen, sofern man nicht vorzieht, das Oel ganz abzustellen. Auf diese Weise ist man in der Lage, die volle Motorenleistung als Bremsleistung aufzunehmen, ohne dass dafür grössere zusätzliche Apparaturen nötig sind.

Heizung. Kommen wir bei unserer Fahrt in grössere Höhe, z. B. über den Gotthard, so kann es sein, dass wir die Heizung brauchen. Hier ist nun der Gasturbinenantrieb ideal, indem er uns in die Lage setzt, ohne Mehrölverbrauch den zusätzlichen Heizstrom zu liefern, der bis 25 % der Nutzleistung am Radumfang betragen kann. Zu diesem Zwecke ist im Gehäuse des Gleichstrom-Generators ein Einphasen-Wechselstrom-Heizgenerator von 400 kW passender Spannung und Frequenz eingebaut, der die elektrische Energie zur Heizung des Zuges liefern kann. Da (nach Abb. 13) mit abnehmender Lufttemperatur der Arbeitsaufwand für die Verdichtung der Brenn- und Kühlluft weniger, die Leistung der Gasturbine dagegen stärker zunimmt, wächst der Ueberschuss, die Nutzleistung, in solchem Masse, dass der Wärmeverbrauch für die Heizung vollständig gedeckt werden kann und zwar für alle Aussentemperaturen, da bei abnehmender Temperatur Heizbedarf und Mehrleistung in ähnlicher Weise zunehmen.

Abstellen. Wenn der Führer im Gefälle oder auf den Stationen das Stufenrad in die Nullage bringt, so schaltet er damit den Brennstoff nicht völlig aus, sondern nur so weit, dass er für den Leerlauf genügt, wobei die Steuerung automatisch die dazugehörige niedrige Drehzahl von etwa 2800 U/min, statt 5200 U/min wie bei Vollast, einstellt. Erst wenn wir von unserer Fahrt zurück und mit der Lokomotive wieder im Depot sind, stellt der Führer den Brennstoff ganz ab, indem er die Brennstoffpumpe abschaltet. — Nun ist für ihn die Arbeit beendet und wir können nach Hause. Nicht so für die Lokomotive; sie hat noch etwas zu tun, macht das aber ganz allein:

Drehvorrichtung. Es ist von den Dampfturbinen her bekannt, dass deren Rotor sich nach dem Abstellen infolge der vorzugsweise nach oben steigenden Eigenwärme sich nach oben verkrümmt, den bekannten Katzenbuckel macht und je nach Grösse und Temperatur der Maschine bis zu sechs Stunden braucht, bis er wieder gerade ist. Um dies zu vermeiden, wird bei unserer Lokomotive der Rotor durch eine elektrische Drehvorrichtung (die ihren Strom von der Batterie erhält) während sechs Stunden alle Halbstunden um 180° gedreht, und erst dann stellt das Zeitrelais ab und die Maschine erhält endgültig ihre verdiente Ruhe.

Nachdem nun die Bauart der Lokomotive und die für ihre Fahreigenschaften massgebenden Details dargelegt sind, wollen wir noch etwas in die Zukunft schauen und uns überlegen, wie es mit ihren wirtschaftlichen Aussichten steht. (Schluss folgt)

Technische Fragen der Baustoffbewirtschaftung

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen aus dem im Auftrage der Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich im März 1942 erstatteten Gutachten von Arch. G. LEUENBERGER und Prof. Dr. M. ROS

BAUSTOFFBEWIRTSCHAFTUNG

TECHNISCHE ERGEBNISSE

Qualität der Erzeugnisse ist einer der Grundsätze der materiellen Existenz der Schweiz; sie muss auch in Zeiten schwerster Krisen erhalten bleiben. Materialprüfung und Materialforschung sind unerlässlich.

Bewährte Bau- und Werkstoffe müssen rationell und äusserst sparsam verwendet werden. Die Stoffersparnis steht im Vordergrund.

Wohlüberlegte Abwägung und Verteilung auf einzelne Bauweisen und Zweige der Industrie, des Bauwesens und des Gewerbes, im Rahmen des Ganzen, um den notwendigsten Bedürfnissen gerecht zu werden, ist Gebot.

Nicht Ersatz, vielmehr die Erkenntnis des technisch und wirtschaftlich Richtigen im Einzelfall bildet die Hauptaufgabe.

Qualität und Stoffersparnis bedingen erhöhten Lohnanteil, wodurch die Arbeitsbeschaffung auch im Sinne volkswirtschaftlich nützlicher Werte gefördert wird.

*

Die Möglichkeiten rationellerer Ausnützung sofort greifbarer wie auch neuer Bau- und Werkstoffe und damit sehr beachtenswerte, zum Teil ganz bedeutende Materialersparnisse lassen sich wie folgt präzisieren.