

AEG

Die
AEG-Kohlenstaub-Lokomotive

Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft

Die AEG-Kohlenstaub-Lokomotive.

Von W. Kleinow, Fabriken Hennigsdorf I.

1. Entwicklung der Kohlenstaub-Feuerung.

Der Gedanke, Kohlenstaub mit Luft gemischt in Feuerungen zu verbrennen, ist nicht neu. In Deutschland wurden schon 1890 Versuche mit Kohlenstaub-Feuerungen aufgenommen, ohne jedoch zu dem erhofften Erfolge zu führen. Die praktische Anwendung der Kohlenstaub-Feuerungen erfolgte viel später, und zwar zunächst für industrielle Öfen, insbesondere der Zementindustrie, erst dann für Dampfkessel.

Die Verbreitung der Kohlenstaub-Feuerung nahm ihren Ausgang von den Vereinigten Staaten von Amerika, wo im Jahre 1916 bereits über 9 Millionen t Kohlenstaub verheizt wurden, hiervon nur 0,1 bis 0,2 Millionen t für Dampferzeugung. Von 1916 ab wuchs die Anwendung für Dampfkessel jedoch sehr schnell. Bild 1 zeigt die Steigerung der mit Kohlenstaub beheizten Heizflächen der Dampfkessel in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika nach einem Bericht des Ausschusses für Kraftanlagen der National Electric Light Association, New York,*) der bis zum Jahre 1924 reicht. Seitdem ist die Anwendung der Kohlenstaub-Feuerung noch riesenhaft gewachsen.

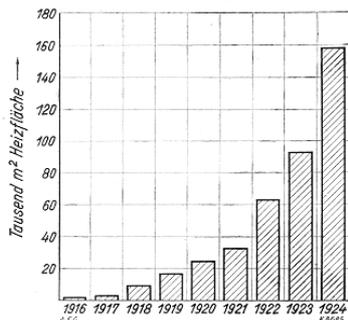


Bild 1.
Steigerung der mit Kohlenstaub beheizten Kesselheizflächen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika.

Für Deutschland hat der Kohlenstaub-Ausschuß des Reichskohlenrates eine Statistik über die arbeitenden und im Bau begriffenen Kohlenstaub-Feuerungen angelegt, die den Stand vom

*) Vgl. „Kohlenstaubfeuerung in den Vereinigten Staaten“, Archiv für Wärmewirtschaft 1925 Heft 3, Seite 75.

1. April 1926 kennzeichnet.***) Bild 2 zeigt auszugsweise die wichtigsten Daten dieser Statistik. Hier-nach waren 1926 über 600 Kohlenstaub-Feuerungen

Zahl der Öfen	441
Zahl der Dampfkessel	180
Heizfläche der Dampfkessel	45 106
Kohlenstaub t/Jahr	2 473 710
davon	zusammen: 4 021 640
für industrielle Öfen	Steinkohle 59 790
	Braunkohle 180 790
	28 300
für Dampf-kessel	Steinkohle 494 045
	Braunkohle 1 067 690
	123 800
	392 150
1. 4. 1926	zusammen: 4 021 640

AEG KASST

Bild 2.

Statistik der Verfeuerung von Kohlenstaub in Deutschland.

in Betrieb, die jährlich 2,5 Millionen t Kohlenstaub, und zwar ganz überwiegend Steinkohlenstaub, verbrauchten. Von diesem Verbrauch entfiel mehr als die Hälfte auf die Zementindustrie. Die weitere Entwicklung wird dieses Verhältnis stark verschieben; die Zunahme entfällt sowohl bei Steinkohle als auch bei Braunkohle zum überwiegenden Teil auf die Dampfkessel-Feuerungen. Im ganzen zeigt die Statistik eine überaus rasche Entwicklung.

Die Lokomotivfabrik der AEG hat sich seit 1918 mit Kohlenstaub-Feuerungen beschäftigt und nach dem Umbau einiger Kessel-Feuerungen im Jahre 1923 für das eigene Werk eine große Anzahl solcher Feuerungen an Kunden geliefert. Heute beträgt die Zahl solcher, von der AEG gebauten Kessel 64, die Summe der Heizflächen über 41 000 m². Die größten Kessel sind die des Klingenberg-Kraftwerkes mit 1750 m² Heizfläche.

2. Wesen der Kohlenstaub-Feuerung.

Das Wesen der Kohlenstaub-Feuerung besteht in der Verbrennung eines Stoffes von mehrlartiger Feinheit in der Schwebelage ohne Rost. Feingemah-

**) „Gesichtspunkte zur Beurteilung der Kohlenstaub-Feuerung nach ihrem derzeitigen Entwicklungszustand“, Dezember 1926.

lener Staub verbrennt schneller und vollkommener als ein festes Kohlenstück, da er dem Luftangriff eine verhältnismäßig viel größere Oberfläche bietet.

Um den restlosen Ausbrand aller brennbaren Teile zu gewährleisten, wird die Flamme so geführt, daß der Verbrennungsvorgang beendet ist, ehe die Flamme mit den kälteren Kesselteilen in innige Berührung kommt. Andernfalls werden die noch nicht verbrannten Teile des Brennstoffes als Koks ausgeschieden. Ferner müssen die flüssigen Ascheteilchen so schnell wie möglich abgeschreckt werden, damit sie erstarrt sind, ehe sie mit dem Mauerwerk der Aschetrichter oder den Heizflächen der Rohrbündel in Berührung kommen.

Zur ordnungsmäßigen Abwicklung dieser Vorgänge sind natürlich Zeit und Raum notwendig.

darf, wenn die Abwicklung des Verbrennungsvorganges in der geschilderten Weise vor sich gehen soll. In den heutigen Feuerräumen ortsfester Kessel werden etwa 150 000 bis 180 000 kcal je m³ und h entwickelt. Die Bemühungen sind darauf gerichtet, diesen Wert zu erhöhen, um den Platzbedarf der Kohlenstaub-Feuerungen zu verringern.

3. Kohlenstaub - Feuerung für Lokomotiv - Kessel.

Betrachtet man einen Lokomotiv-Kessel der üblichen Stephenson-Bauart (Bild 3), so kommt als Feuerraum für die Kohlenstaub-Feuerung im wesentlichen nur die Feuerbüchse in Betracht. Berechnet man den Rauminhalt der Feuerbüchse und setzt ihn ins Verhältnis zum Heizwert des Brennstoffes, so ergibt sich, daß man diesen Raum stündlich etwa mit 1 200 000 bis 1 800 000 kcal belasten muß.

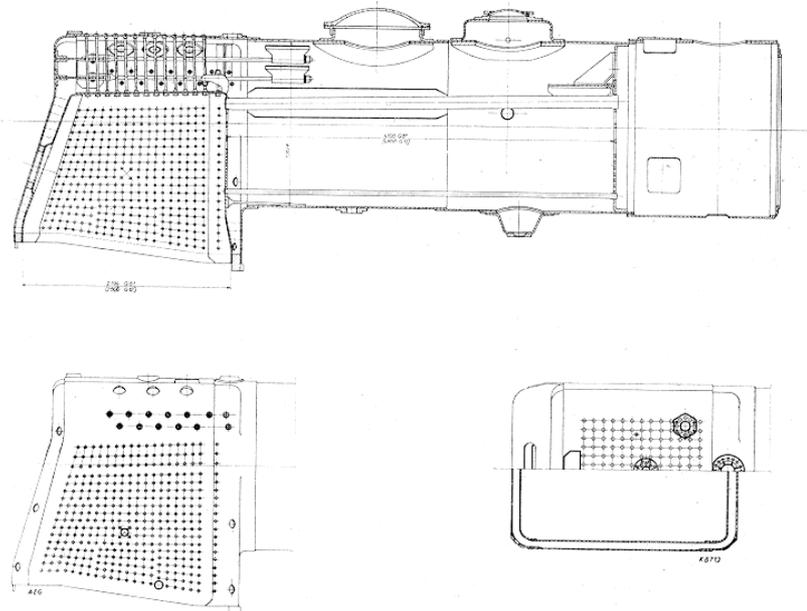


Bild 3. Dampfkessel der G 8₂-Heißdampf-Güterzug-Lokomotive.

Die Kennzeichen der Staubfeuerungen sind daher die großen Feuerräume mit Verbrennungszeiten von durchschnittlich 1 bis 3 s.

Der Feuerraum muß eine Mindestgröße haben, die durch die Menge des Staubes, seine Mahlfeinheit und seine Brennzeit bestimmt wird. Die Menge des Brennstaubes ist durch die Dampfmenge gegeben. Die Mahlfeinheit ist aus wirtschaftlichen Gründen begrenzt. Um die Brennzeit nach Möglichkeit abzukürzen, muß zunächst die Zündung sehr energisch bewerkstelligt werden. Man umgibt zu diesem Zwecke die Zündstelle mit heißem Mauerwerk und sorgt für innige Durchmischung des entzündeten Brennstoffes mit der möglichst vorgewärmten Verbrennungsluft.

Aus diesen Erwägungen ergibt sich, daß man die Brennkammer nur mit einer bestimmten Wärmemenge je Raum- und Zeiteinheit belasten

um die bei Rostfeuerung mit guter Lokomotiv-Kohle übliche Verdampfung zu erreichen. Die Belastung beträgt also rund das Zehnfache des bei ortsfesten Kohlenstaub-Feuerungen bisher üblichen Betrages. Ferner ist zu berücksichtigen, daß die Feuerbüchse mit ihren meist aus Kupfer bestehenden wassergekühlten Wänden sehr große Wärmemengen durch Strahlung aufnimmt und an das Kesselwasser abgibt. Diese Wärme wird der Flamme während des Verbrennungsvorganges entzogen. Würde man einen Teil der Feuerbüchse mit Mauerwerk auskleiden, so würde man nicht nur die Verbrennungskammer noch weiter verkleinern, sondern auch den wertvollsten Teil der Heizfläche unwirksam machen.

Man erkennt aus diesen einfachen Überlegungen, wie außerordentlich schwierig das Problem des mit Kohlenstaub gefeuerten Lokomotiv-Kessels ist,

auch dann noch, wenn man sich mit einem erheblich niedrigeren Kessel-Wirkungsgrad begnügt als bei ortsfesten Dampfkesselanlagen. Gerade von Kennern der Kohlenstaub-Feuerungen wurde daher der mit Kohlenstaub gefeuerte Lokomotiv-Kessel mit größter Skepsis beurteilt. So hat Bleibtreu noch in einem Vortrage auf der Hauptversammlung der Wärmestelle Düsseldorf*) am 19. Januar 1927 die Kohlenstaub-Lokomotive für nicht spruchreif erklärt und es als verfehlt bezeichnet, derartig schwierige Arbeitsfelder zu beackern.

Kohlenstaub-gefeuerte Lokomotiven sind bisher nur in Nord-Amerika und Schweden gebaut worden. In Schweden beschränkten sich die Versuche auf die Verfeuerung von Torfstaub in ziemlich primitiver Form. In Amerika hat die „Loco-

Für die Arbeiten wurde eine Güterzug-Lokomotive der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft, Gattung G 8₂, gewählt, weil Teile dieser Gattung gerade vorrätig waren. Der Kessel dieser Lokomotive (Bild 3) hat eine vom Feuer berührte Gesamtheizfläche von rund 167 m². Hiervon entfallen 12,75 m² auf die Feuerbüchse, 100 m² auf die Heizröhren, 54 m² auf die Rauchröhren. Die Überhitzerheizfläche beträgt 53 m².

Wie sich im Laufe der Versuche herausstellte, ist der Kessel ungünstig bemessen. Er ist aus dem Kessel einer größeren Lokomotive, Gattung G 12, dadurch entstanden, daß die Feuerbüchse und der Langkessel bei sonst gleichen Abmessungen etwas gekürzt wurden, und zwar der Langkessel um 700 mm = 15 % und die Feuer-

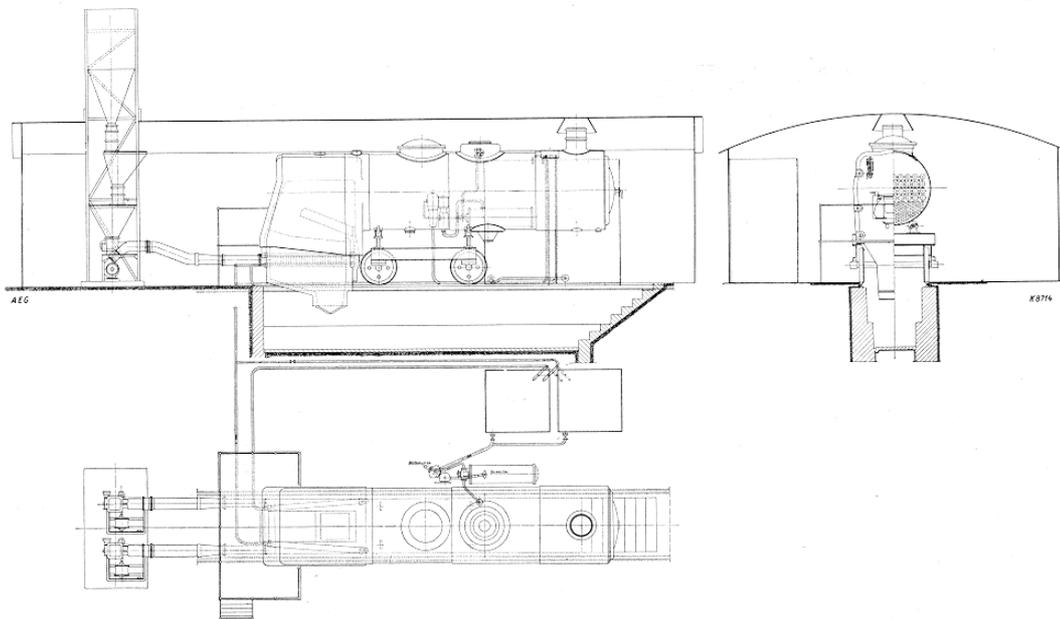


Bild 4. Ortsfeste Versuchsanlage für den Lokomotiv-Kessel in der AEG-Lokomotivfabrik Hennigsdorf.

motive Pulverized Fuel Corporation“, abgekürzt Lopulco, im Jahre 1916 die erste Lokomotive gebaut. Während des Weltkrieges haben fünf amerikanische Eisenbahn-Gesellschaften Versuche mit solchen Lokomotiven ausgeführt. Am bekanntesten geworden sind die in den Jahren 1917 bis 1919 gelieferten 12 Lokomotiven der Brasilianischen Staatsbahn. Da von weiteren Lieferungen nichts verlautet, muß man annehmen, daß die Erfahrungen nicht befriedigen.

4. Entwicklung der AEG - Kohlenstaub - Feuerung für Lokomotiven.

Die Lokomotivfabrik der AEG hat die Frage der Kohlenstaub-Lokomotive im September des Jahres 1924 in Angriff genommen.

*) Vgl. „Entwicklungsrichtungen in der Kohlenstaub-technik“, Mitteilungen der Wärmestelle, Heft 99 vom 16. Mai 1927.

kiste um 306 mm = 12 %. Infolgedessen ist der Querschnitt der Rohre zu groß, ihre Länge zu gering. Die Abgase verlassen den Kessel mit zu hoher Temperatur. Die Abgasverluste werden unverhältnismäßig groß und der Kesselwirkungsgrad infolgedessen schlecht. Dieser Gesichtspunkt ist bei der Beurteilung der erreichten absoluten Werte des Kessel-Wirkungsgrades zu berücksichtigen (Bild 11).

Von der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft (DRG) wurde uns mitgeteilt, daß bei Rostfeuerung mit guter Lokomotivkohle von dem Kessel eine Verdampfung von 45 kg/m²h im Dauerbetrieb (3 h ununterbrochen) und eine solche von 60 kg/m²h im Höchsthalle vorübergehend verlangt und erreicht würde. Die stündlichen Dampfmengen betragen demnach 7500 bzw. 10 000 kg.

Der Lokomotiv-Versuchskessel wurde nun ohne bauliche Veränderungen in einem Schuppen

über einer Arbeitsgrube aufgestellt. Die allgemeine Anordnung, die Lage und Größe der Staubbunker und die Anordnung der Brenner ist aus Bild 4 zu ersehen.

Der Austrittsquerschnitt war durch 4 Stege unterteilt.

Der Aschkasten und die Feuerbüchse wurden, die letztgenannte bis etwa zur Hälfte ihrer Höhe,

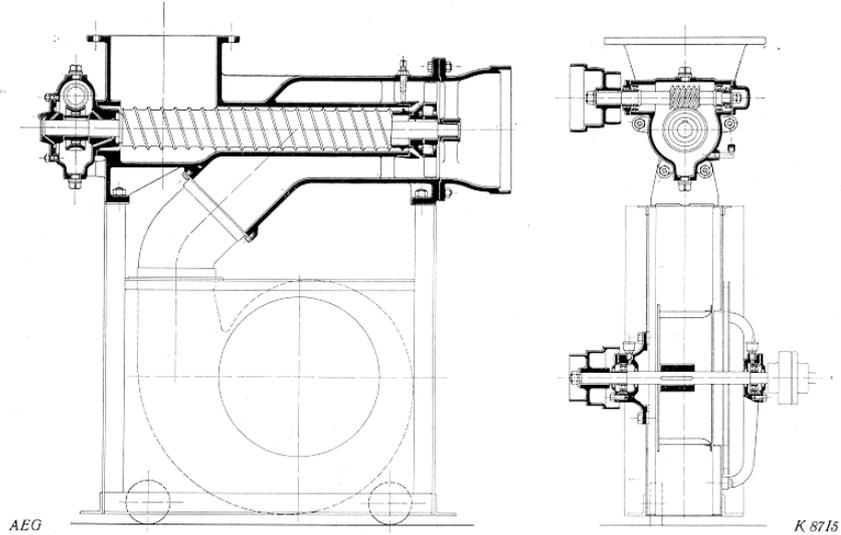


Bild 5. AEG-Kohlenstaub-Aufgabevorrichtung, Type B.

Kohlenstaub wurde von zwei normalen B-Brennern der AEG-Bauart mit elektrischem An-

trieb mit feuerfesten Steinen ausgemauert, um oben den in üblicher Weise angebrachten Feuerschirm auf-

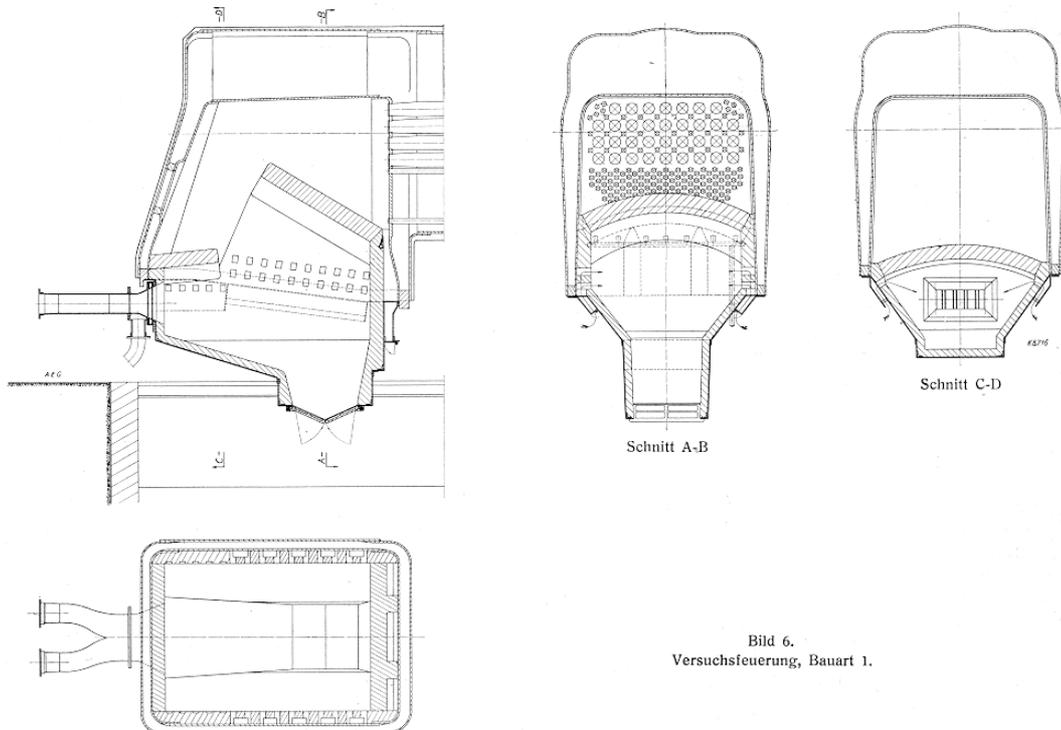


Bild 6.
Versuchsfeuerung, Bauart 1.

trieb (Bild 5) dem Feuerraum zugeführt. Das brennfertige Gemisch gelangte durch eine gemeinsame Düse von hinten in den Feuerraum (Bild 6). Die Düse hatte die Form eines flachen Kastens.

zunehmen. Die Flamme sollte bis zur Vorderwand des Aschkastens streichen, unter dem Feuerschirm zurücktreten und endlich über dem Feuerschirm zur Rohrwand und durch die Rohre zur Rauch-

kammer gelangen. Für die Absaugung der Verbrennungsgase aus der Rauchkammer wurde der gewöhnliche Lokomotivbläser benutzt.

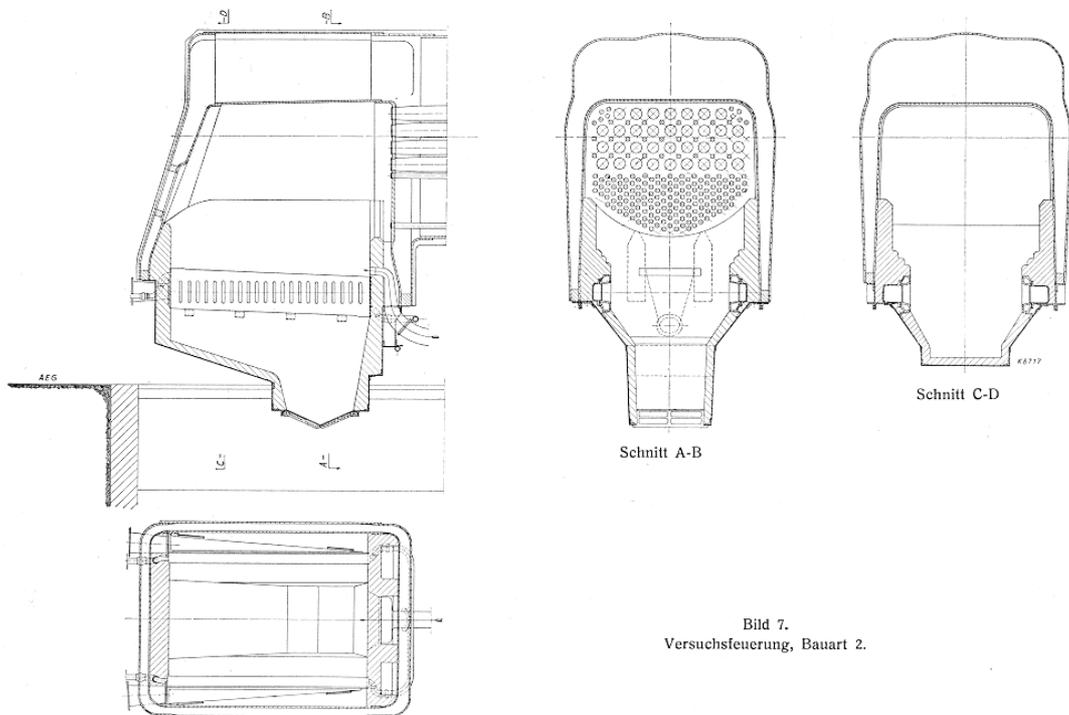
Mit den B-Brennern werden etwa 30% der Primärluft mit dem Kohlenstaub eingeblasen. Die übrige, sogenannte Sekundärluft, sollte durch Öffnungen im Mauerwerk an beiden Längsseiten der Feuerkiste angesaugt werden.

Der erste Vorversuch fand am 23. Oktober 1924 statt. Es konnten stündlich nur 2800 kg Wasser verdampft werden, entsprechend einer Verdampfung von 17 kg/m²h. Die Schlacke fiel in flüssigem Zustande in der Feuerkiste an. In einer längeren Reihe von Versuchen während der Monate November 1924 bis Januar 1925 konnte allmählich die Verdampfung auf 25 kg/m²h gesteigert werden.

Düsen mit zahlreichen, einander zugekehrten, senkrechten Schlitzen angeordnet. Ein Feuerschirm war nicht mehr vorhanden. Die Zuführung der Sekundärluft erfolgte durch ein besonderes Gebläse. Diese Anordnung ist aus Bild 7 zu ersehen.

Im Januar 1926 wurde zum ersten Male eine Verdampfung von 5000 kg/h oder 31 kg/m²h erreicht. Der Kessel-Wirkungsgrad wurde hierbei zu 70% bestimmt. Der Verlust an Unverbranntem betrug immer noch 12%.

Bei der Zuführung größerer Kohlenstaubmengen reichte der Bläserzug nicht aus, um die erzeugten Heizgase zum Schornstein hinauszubefördern. Es wurde daher auf Blasrohrbetrieb übergegangen, indem, wie beim Lokomotivbetrieb, Dampf geringer Spannung in das Blasrohr geleitet wurde.



Der Kessel-Wirkungsgrad blieb jedoch schlecht; er betrug nur 67%, da 17% des Brennstoffes unverbrannt blieben.

Zweifellos war in Anbetracht des kurzen Brennweges bzw. der kurzen Brennzeit die Mischung von Luft und Staub bei weitem nicht vollkommen genug. Außerdem war die Haltbarkeit des Mauerwerks und besonders des Feuerschirms schon auf dem Prüfstand sehr gefährdet, und es erschien ratsam, weitere Versuche ohne Feuerschirm auszuführen.

Es mußte also zu anderen Mitteln gegriffen werden, um das erstrebte Ziel zu erreichen. Als ein solches Mittel erschien die weitgehende Aufteilung des Kohlenstaub-Luftgemisches in zahlreiche einzelne Strahlen geeignet. Es wurden zu diesem Zwecke unter dem Hinterkessel zwei lange

Der notwendige Dampf wurde durch Herabdrosseln des erzeugten Kesseldampfes geschaffen.

Nach einigen unwesentlichen Änderungen wurde am 9. Februar 1926 ein Versuch ausgeführt, der über 7¹/₂ h ausgedehnt wurde. Die Dampfbildung wurde auf 6700 kg/h mit 1030 kg/h Steinkohle gesteigert. Die Verdampfung betrug also 40 kg/m²h. Die verwendete Kohle hatte einen unteren Heizwert von 7075 kcal bei 9,3% Aschegehalt. Die Bilanz ergab einen Kessel-Wirkungsgrad von 69%, 14% des Brennstoffes blieben unverbrannt.

Eine große Anzahl weiterer Versuche zeigte, daß mit Steinkohle der angegebenen Beschaffenheit eine höhere Verdampfung nicht zu erreichen war. Manche Änderungen brachten sogar Rückschläge und Verschlechterungen. Die Absicht, mit wenig Ausmauerung und ohne Feuerschirm zu

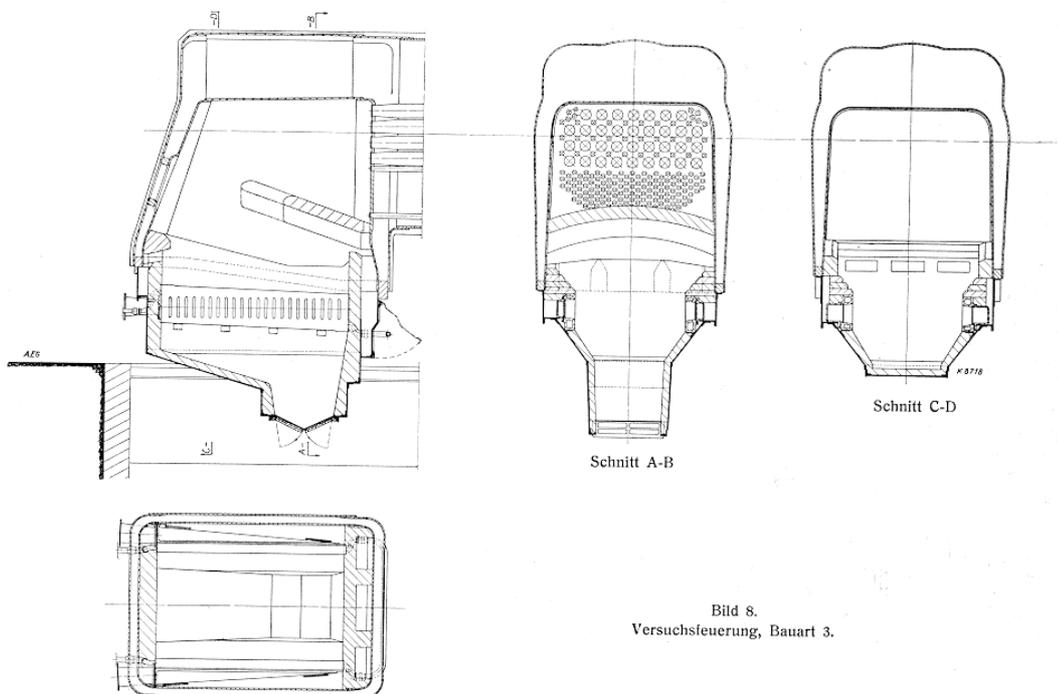
fahren, mußte hiernach aufgegeben werden, so groß auch die Bedenken gegen seine Lebensdauer waren.

Es wurde nun der Versuch gemacht, die Sekundärluft mittels des Unterdruckes im Aschkasten durch einen Kanal anzusaugen, der zwischen der vorderen Feuerbüchswand und einer senkrechten Mauer im Aschkasten gebildet wurde. Dieser Kanal wird nach oben durch den Feuerschirm abgeschlossen. Da die Mauer nicht ganz bis zum Feuerschirm hochgeführt ist, ergibt sich hier eine über die ganze Breite der Feuerbüchse sich erstreckende Öffnung, durch welche die Sekundärluft in den Feuerraum eintritt. Sie bewegt sich mit großer Geschwindigkeit am Feuerschirm entlang, wärmt sich stark an und kühlt da-

muten lassen, daß infolge der sehr viel größeren Widerstände der Schlitzdüsen gegenüber normalen Düsen ortsfester Kesselanlagen unsere B-Brenner bei den jetzigen hohen Leistungen nicht genügend Primärluft fördern konnten. Um die normalen Verhältnisse wieder herzustellen, mußte die Umlaufzahl der Ventilatoren heraufgesetzt werden.

Bei einem Versuch am 12. Mai 1926 wurden in 1 h 50 min 17 200 kg Wasser verdampft. Auf die Stunde umgerechnet, betrug die Verdampfung 9400 kg oder 56 kg/m²h. Die Verbrennung war gut. Der Versuch mußte aber abgebrochen werden, weil die Rohrwand sich vollständig mit Schlackennestern versetzt hatte.

Es folgte nun eine Reihe von Versuchen, die bezweckten, die Schlacken-Schwierigkeiten zu be-



bei gleichzeitig den Feuerschirm. Diese Anordnung zeigt Bild 8.

Für die weiteren Versuche wurde noch der Vorwärmer in Betrieb genommen, um den wirklichen Betriebsverhältnissen nahe zu kommen, und zwar wurde nach Bedarf gedrosselter Frischdampf (Naßdampf) zugeleitet.

Am 9. April 1926 wurde mit der neuen Anordnung gefahren. Die Besserung war erheblich. Während 1 1/2 h konnte eine stündliche Verdampfung von 8600 kg entsprechend 51 kg/m²h erzielt werden. Die verwendete Steinkohle hatte einen unteren Heizwert von 6930 kcal bei 11 % Asche und 80 % Durchsatz durch das Normalsieb. Die Wärmebilanz ergab einen Kessel-Wirkungsgrad von 68 %.

Überlegungen über die zweckmäßige Menge der Primärluft hatten schon seit einiger Zeit ver-

seitigen. Bei diesen Versuchen wurde es aber immer klarer, daß man grundsätzlich dieses Übel nicht abstellen kann. Nachdem es gelungen war, die Verdampfung nahezu auf das gewünschte Maß zu steigern, mußte bei Verwendung aschereicher Kohle diese Schwierigkeit auftreten. Bei der Verbrennung großer Kohlenmengen in der außerordentlich geringen Zeit von 0,3 s und weniger in dem engen Feuerraum war es nicht möglich, die Gase vor dem Erreichen der Rohrwand so stark abzukühlen, daß die in ihnen enthaltenen flüssigen Schlackenteilchen erstarrt auf die Rohrwand prallten. Erreichten sie sie aber in flüssigem oder teigigem Zustand, so setzten sie sich fest und bildeten die bekannten Nester.

Die Schwierigkeit, die noch zu überwinden war, blieb also die Beseitigung der Schlacken. Bei den

hohen Leistungen und den dadurch bedingten sehr hohen Gas-Geschwindigkeiten war eine Ausscheidung der flüssigen Schlackenteilchen nach dem Aschkasten zu unter dem Einfluß der Schwerkraft unmöglich. Im Aschkasten fällt so gut wie keine Asche an. Das Problem blieb also: die Verbrennung auf das Äußerste zu beschleunigen und zu beenden, damit der Temperaturabfall bis zur Rohrwand möglichst groß wird; zweitens mußte versucht werden, die Schlackenteilchen an Heizflächen erstarren zu lassen, die nicht, wie die Rohrwand, durch Schlackenansatz die Betriebsführung erschweren oder gar unmöglich machen konnten. Das dritte Mittel blieb dann: Reinigung der Rohrwand während des Betriebes.

abkühlen, daß sie schon hier anhafteten oder aber erstarrt weiter mitgerissen würden.

Am 8. Juni 1926 wurde der erste Versuch mit langem Feuerschirm gemacht. Die Erwartungen wurden vollkommen erfüllt. Die Verbrennung war ausgezeichnet, die entweichenden Rauchgase schienen dauernd fast farblos. Während der Meßdauer von $3\frac{1}{4}$ h wurden stündlich 7300 kg/h Wasser verdampft, entsprechend einer Heizflächen-Beanspruchung von $44 \text{ kg/m}^2\text{h}$ mit einer besonders schlechten Steinkohle von 6040 kcal und 16% Aschegehalt. Die Rauchrohre blieben vollkommen, die Heizrohre nahezu von Schlackenansatz frei, obgleich weder mit Dampf noch mechanisch eine Säuberung der Wand versucht war.

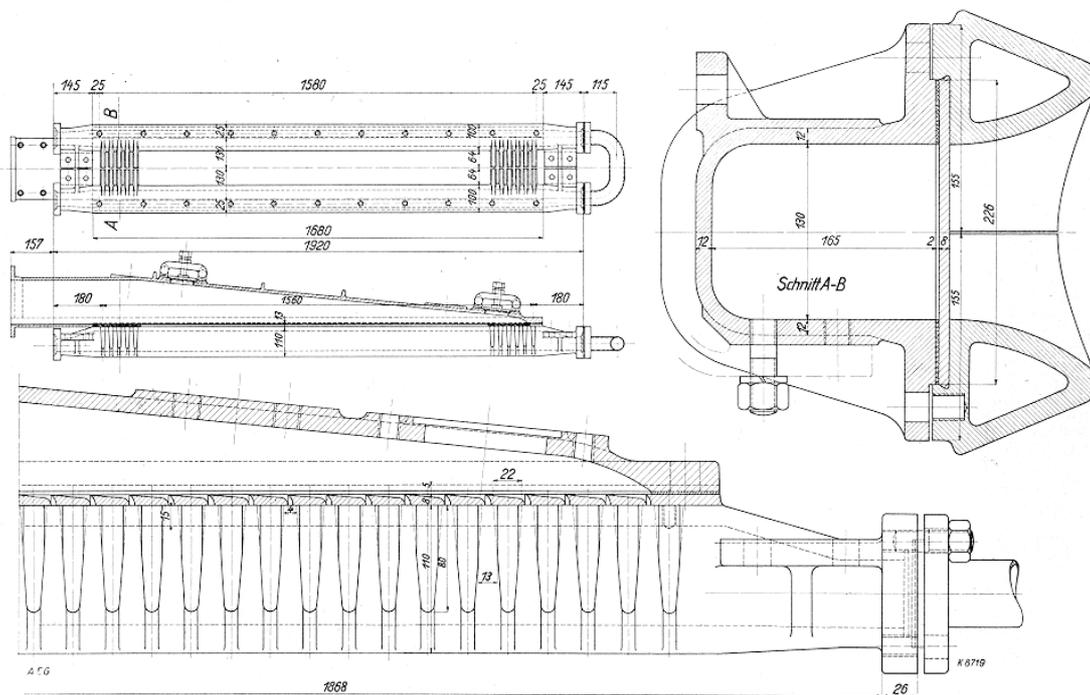


Bild 9. Neue Schlitzdüse mit Kühlkörper.

Alle drei Mittel sind in den folgenden Versuchen angewandt worden.

Zunächst das zweite: die Granulierung der Schlacke an den Feuerbüchsenwänden.

Zu diesem Zwecke wurde, wie in Bild 8 punktiert gezeigt ist, in die Feuerbüchse ein um 400 mm längerer Feuerschirm eingebaut. Die Absicht war, die größte Heizgas-Geschwindigkeit beim Durchgang zwischen freiem Feuerschirm-Ende und Feuerbüchsen-Rückwand zu erhalten. Es wurde erhofft, daß an dieser Stelle die Schlacke in flüssigem Zustande bereits frei war und beim Umlenken der Flamme aus der senkrechten in die wagerechte Richtung auf die Rohrwand zu durch das Beharrungsvermögen gegen die Feuerbüchsen-Decke geschleudert würde. Diese wasserbedeckte Fläche sollte dann die Schlackenteilchen so weit

Das vorher erwähnte erste Mittel zur Besserung: die Anstrengung einer möglichst schnellen Verbrennung, wurde inzwischen vorbereitet, nämlich die Ausführung neuer Düsen, die der Feuerung weniger Wärme entzogen und noch eine weitergehende Aufteilung des Kohlenstaub-Luftstromes ergaben. Jede Düse (Bild 9) besteht aus dem nach einer Seite offenen Düsenrohr, dessen Querschnitt nach dem Ende zu abnimmt, ferner aus den die offene Seite des Düsenrohres abschließenden Leitschaufeln, die das Kohlenstaub-Luftgemisch in schmale Streifen zerlegen und umlenken, und schließlich aus dem vor den Leitschaufeln angeordneten Kühlkörper. Jeder Kühlkörper ist der Länge nach in zwei Teile zerlegt, so daß er sich nach Belieben verformen kann (Bild 9). Die sehr einfachen Wasserkammern sind so ausgebildet, daß nur noch der halbe Quer-

schnitt der Strahlung ausgesetzt ist. Die Leitschaufeln sind aus Kupferstreifen hergestellt, die durch ihr gutes Wärmeleitvermögen die Wärme sofort an die Wasserkammern abgeben sollen. Die einzelnen Leitschaufeln werden ohne weitere Befestigung zwischen Düsenrohr und Kühlkörper gepreßt.

Das letzte Mittel war eine einfache mechanische Kratzvorrichtung, die von Zeit zu Zeit bei kurzen Betriebsunterbrechungen betätigt werden sollte.

Während die neuen Düsen im Bau waren, wurden noch weitere Versuche mit der alten Anordnung ausgeführt. Um der DRG zu beweisen, daß nur die bisher verfeuerte schlechte Steinkohle mit dem hohen Aschengehalt den Dauerbetrieb bei

einfachster Weise von Hand jede halbe Stunde flüchtig abgekratzt. Der Versuch hätte auch weiter fortgesetzt werden können.

Die Wärmebilanz ergab einen Kessel-Wirkungsgrad von 66%; 14% des Brennstoffes blieben unverbrannt.

Mitte Juli 1926 endlich waren die neuen Düsen fertiggestellt. Sie wurden in den Kessel eingebaut, wie es Bild 10 zeigt, d. h. so, wie es später mit Rücksicht auf den durch den Rahmen und die Räder der Lokomotive beengten Platz möglich ist. Bei einem Vorversuch ergab sich, daß die Wärmeaufnahme der Düsen von 250 000 auf unter 100 000, also um 60% zurückgegangen war. Zündung und Flammenbildung waren ausgezeichnet. Der Nachteil der eng zusammengedrängten Düsen war

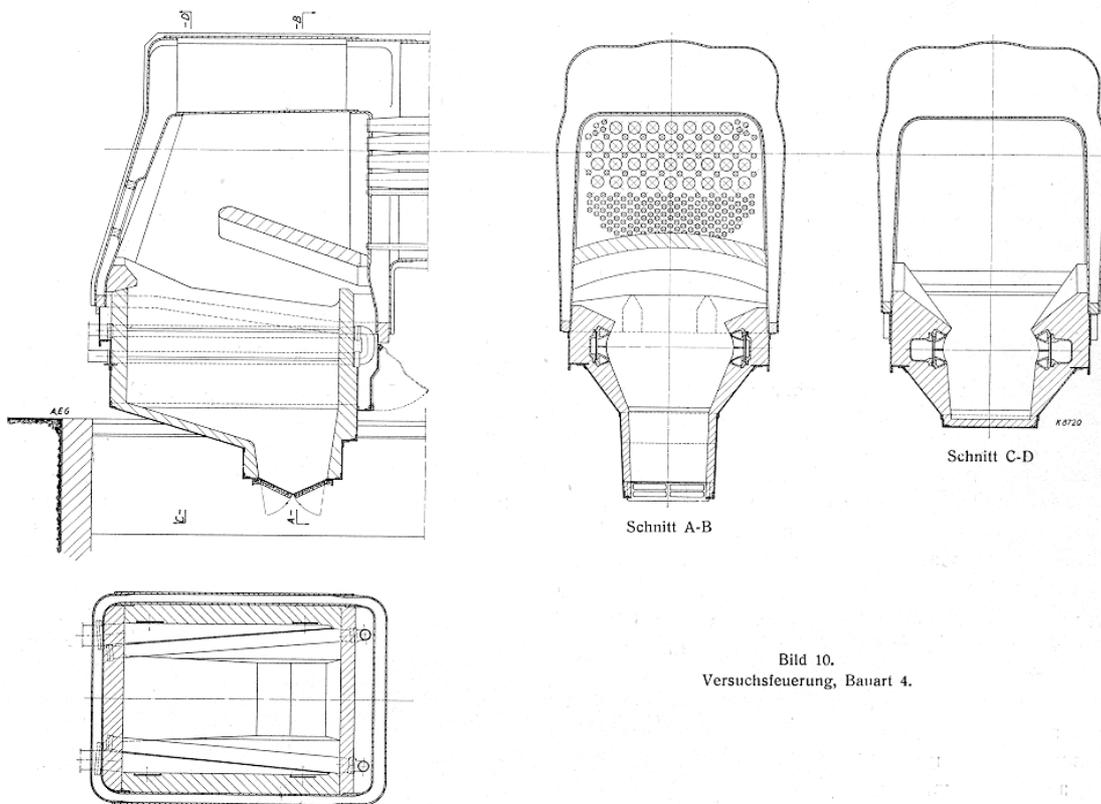


Bild 10.
Versuchsfeuerung, Bauart 4.

hohen Leistungen unmöglich mache, wurde am 1. Juli 1926 im Beisein maßgebender Herren der DRG ein Versuch mit Lokomotiv-Kohle angestellt. Die verwendete Kohle besaß 7355 kcal und 7% Asche, war also immer noch bezüglich des Schlackengehalts als schlechte Lokomotiv-Kohle anzusprechen. Der Durchsatz durch das Normalsieb betrug 84%. Während der Meßdauer von 4½ h wurden insgesamt 45 000 kg Wasser verdampft, d. h. je Stunde 10 000 kg mit 1412 kg Kohle. Die Heizflächen-Beanspruchung war also 60 kg/m²h.

Durch diesen Versuch wurden die Anforderungen an den Kessel also weit übertroffen. Während des Versuchs wurde die Rohrwand in

durch die weitgehende Unterteilung der Flamme mehr als wettgemacht.

Die DRG hatte großen Wert auf die Verwendung von Braunkohlenstaub gelegt. Sie hatte eine mitteldeutsche Braunkohle als Brennstoff für Lokomotiven empfohlen. Die Untersuchung des brennfertigen Kohlenstaubes ergab einen Gehalt an Wasser von 8%, Asche 9%, flüchtigen Bestandteilen 50%. Der untere Heizwert wurde zu 5720 kcal ermittelt. Der Durchsatz durch das Normalsieb von 4900 Maschen je cm² betrug 79%. Der Brennstoff ist also als besonders geeignet für Kohlenstaub-Feuerungen zu bezeichnen.

Am 31. Juli 1926 wurde ein längerer Versuch angestellt. Während der Meßzeit von 4 h wurden

insgesamt 36 400 kg Wasser mit 6160 kg Kohle in Heißdampf von 371° verwandelt. Die stündliche Verdampfung betrug also 9100 kg, die Heizflächen-Beanspruchung 55 kg/m²h. Die Wärmebilanz ergibt einen Kessel-Wirkungsgrad von 74,5 %.

Der Versuch hätte ohne weiteres weiter ausgedehnt werden können. Eine größere Dampfleistung

Verhältnis der gesamten, dem Kessel in Form von Dampf nutzbar entnommenen Wärme zur Verbrennungswärme der verfeuerten Kohle. Der entnommene Dampf ist im vorliegenden Falle also nicht nur der Heißdampf zum Betriebe der Lokomotiv-Maschine, sondern auch der Naßdampf zum Betriebe der Vorwärmer-Speisepumpe und der

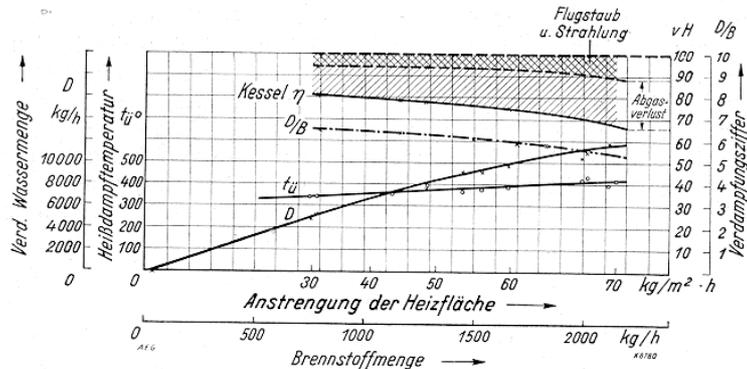


Bild 11. Verdampfung und Kessel-Wirkungsgrad des AEG-Kohlenstaub-Versuchskessels bei Feuerung mit mitteldeutscher Braunkohle (5720 kcal).

war nicht zu erreichen, da die Förderschnecken nicht mehr Kohlenstaub zu fördern vermochten. Der Schornstein zeigte eine kaum sichtbare Färbung.

Um auch mit Braunkohlenstaub die geforderte Leistung von 60 kg/m²h Heizfläche zu erreichen, wurden die Schnecken tiefer geschnitten, und am 4. August 1926 wurde ein weiterer Versuch angestellt. Leider reichte der Kohlenstaubvorrat nur noch für einen Versuch von 1½ h Dauer. Während dieser Zeit wurde eine Kohlenstaubmenge von stündlich 2110 kg gefördert; hiermit wurden stündlich 11 700 kg Wasser in Heißdampf von 392° verwandelt.

Durch diesen Versuch ist nicht nur das erstrebte Ziel einer Verdampfung von 60 kg/m²h Heizfläche, sondern sogar eine solche von 70 kg erreicht worden. Während der Versuchsdauer von 1½ h wurde an der Rohrwand keinerlei Handhabung vorgenommen. Einige Rauch- und Siederohre hatten an den Bördeln Ansätze von Schlacke, die jedoch mit Hilfe des mechanischen Kratzers ohne weiteres hätten beseitigt werden können.

Es wurde für diesen Brennstoff noch eine ganze Reihe von Dauer Versuchen ausgeführt mit dem Ziele, über den Belastungsbereich von 5000 bis 11 700 kg stündliche Dampfleistung (entsprechend 30 bis 70 kg/m²h Heizflächen-Beanspruchung) Klarheit zu erzielen. Die Ergebnisse dieser Versuche sind aus Bild 11 zu ersehen. Die eingezeichneten Kreuze und Punkte sind die Ergebnisse der durchgeführten Versuche. Man erkennt, daß die erzielten Werte von einem gesetzmäßigen Verlauf nur wenig streuen. Der Kessel-Wirkungsgrad sinkt von 81 % bei 30 kg/m²h bis 67,5 % bei 70 kg/m²h Verdampfung. Unter dem Kessel-Wirkungsgrad ist hierbei verstanden das

gedrosselte Naßdampf zum Betriebe des Vorwärmers. Als Anfangstemperatur des Speisewassers ist die Temperatur hinter dem Vorwärmer betrachtet, denn der Vorwärmer erhöht nicht die Wirkung des Kessels, sondern die der Lokomotive, und zwar insofern, als bei Vorwärmung des Speisewassers der Kessel infolge des kleineren Wärmegefälles mehr Dampf zu liefern vermag als ohne Vorwärmung. Lediglich die Vorwärmung des Speisewassers durch die Düsenkühlung ist dem Lokomotiv-Kessel gutgeschrieben, und zwar mit Recht, da die Düse ein Teil der Feuerung und somit des Kessels ist. Im Überhitzer wurde ferner eine Dampfnässe von 3% angenommen. Die Auffassungsweise des Kessel-Wirkungsgrades ist auch aus Bild 12 zu ersehen,

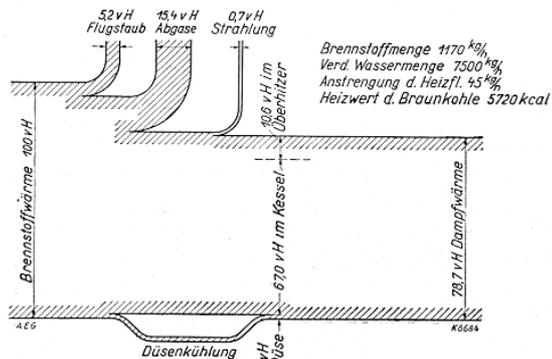


Bild 12. Verlauf des Wärmestromes am Kohlenstaub-Lokomotiv-Kessel.

das den Verlauf des Wärmestromes im Kessel darstellt.

Im Sonderheft zu Glasers Annalen vom 1. Juli 1927 (S. 13) gibt Nordmann in einer Abhandlung

über „Neue theoretische und wirtschaftliche Ergebnisse aus Versuchen mit Dampflokomotiven“ in Bild 7 Lokomotiv-Kessel-Wirkungsgrade für verschiedene Lokomotiven mit Rostfeuerung unter

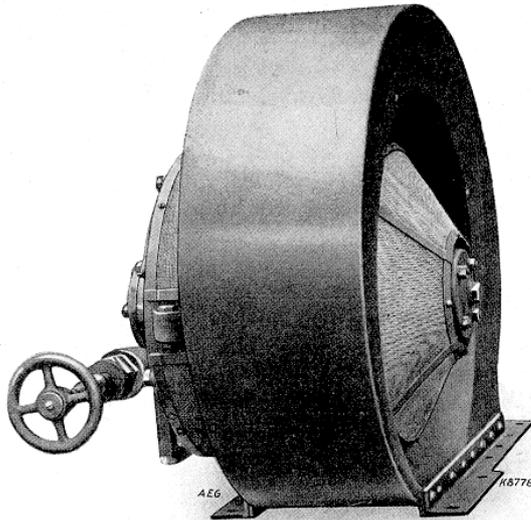


Bild 13. Dampf-Turbogebläse.

den gleichen Voraussetzungen hinsichtlich der Auffassung des Kessel-Wirkungsgrades an. Leider sind die Werte des G 8₂-Kessels nur bis 40 kg/m² stündliche Verdampfung angegeben. Verlängert man die Kurven entsprechend dem Verlaufe bei anderen Lokomotiven, so erhält man folgende Kessel-Wirkungsgrade bei Rost- bzw. Kohlenstaub-Feuerung:

Beanspruchung der Heizfläche kg/m ² h	Kessel-Wirkungsgrad bei		Kohlensparnis bei Kohlenstaub- gegenüber Rost-Feuerung %
	Rost-Feuerung	Kohlenstaub-Feuerung	
35	0,66	0,805	18,0
40	0,64	0,795	19,5
45	0,62	0,785	21,0
50	0,60	0,775	22,5
60	0,56	0,750	25,0
70	0,52	0,675	23,0

Zur Gewinnung einer bestimmten Nutzwärme benötigt man bei Rostfeuerung eine Kohlenmenge K₁, bei Kohlenstaub-Feuerung eine Kohlenmenge K₂.

Bei einer Beanspruchung der Kesselheizfläche mit 35 kg/m²h ist dann 0,66 K₁ = 0,805 K₂.

Die Kohlensparnis bei Kohlenstaub-Feuerung beträgt

$$\frac{K_1 - K_2}{K_1} = 1 - \frac{K_2}{K_1} = 1 - \frac{0,66}{0,805} = 0,18.$$

Im Mittel ist also beim G 8₂-Kessel mit Braunkohlenstaub-Feuerung eine Kohlensparnis, bezogen auf Wärmeeinheiten, von über 20% gegenüber der Rostfeuerung mit Steinkohle erreicht.

Durch die geschilderten Versuche war das Problem des mit Kohlenstaub gefeuerten Lokomotiv-Kessels im wesentlichen gelöst; dabei sind an dem alterprobten Kessel keine Änderungen vorgenommen worden. Nun war der Zeitpunkt gekommen, den Bau einer Lokomotive selbst in Angriff zu nehmen und die Versuche auf den Fahrbetrieb auszudehnen. Die AEG stellte bei der DRG den Antrag, 2 Versuchs-Lokomotiven in Auftrag zu geben. Dieser Auftrag auf 2 Heißdampf-Güterzug-Lokomotiven der Bauart G 8₂ wurde am 11. Oktober 1926 erteilt.

5. Entwicklung des AEG-Kohlenstaub-Tenders.

Der Kohlenstaub-Tender sollte in Form von Braunkohlenstaub mit 5700 kcal etwa den gleichen Wärmevorrat enthalten wie der normale Tender der Gattung 3 T 20 mit 6 t Steinkohle. Nimmt man einen Heizwert der Steinkohle von 7000 kcal an, so müßten also an Braunkohle $\frac{6 \cdot 7000}{5700} = 7,4$ t und unter Berücksichtigung von 15% Wärmeersparnis 6,3 t im Tender untergebracht werden. Tatsächlich wurde ein Bunkerraum von 12 m³ untergebracht, der 6 bis 6,6 t Braunkohle faßt. Wegen der beschränkten Höhen- und Breitenverhältnisse mußte

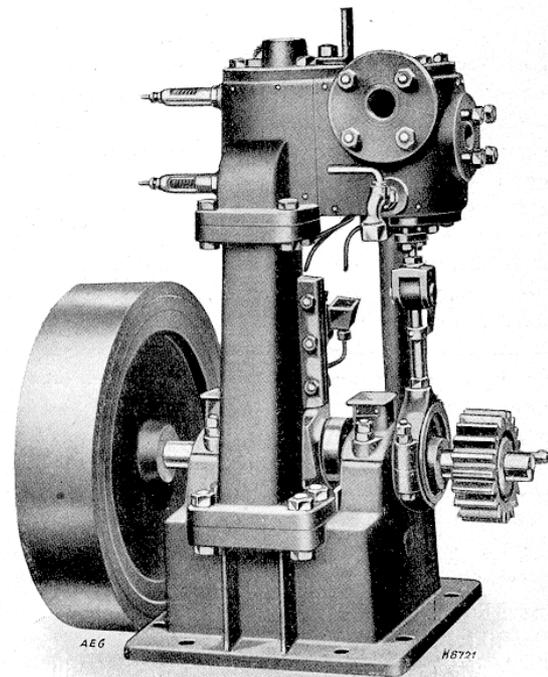


Bild 14.
Dampfmaschine zum Antrieb der Förderschnecken.

dem Bunker eine langgestreckte Form gegeben werden; bei der G 8₂-Lokomotive wurde eine kreiszylindrische Form gewählt. Der lichte Durchmesser des Kessels beträgt etwas über 2 m, seine Länge 4 m.

In diesem Bunker sind die beiden Kohlenstaub-Förderschnecken für die Düsen untergebracht. Sie sind bemessen für die Förderung von 2100 kg/h Braunkohlenstaub im Höchsfalle. Die Drehzahl bei der Höchstleistung wurde auf 140 U/min festgesetzt. Die Schnecken sind eingängig und 3,5 m lang. Die Regelung der Kohlenstaubmenge erfolgt durch Regelung der Umlaufzahl der Förderschnecken.

Für die Lieferung der Förder- oder Primärluft wird ein Gebläse benötigt. Die Leistung des Gebläses ergab sich aus der Absicht, bei der höchsten Brennstoffmenge von 2100 kg/h Braunkohlenstaub noch 40 % der gesamten, zur Verbrennung erforderlichen Luftmenge einzublasen. Unter der Voraussetzung, daß mit 25 % Luftüberschuß gefahren wird, ergibt sich diese Luftmenge zu 17 500 m³/h, die Förderluftmenge also zu 7000 m³/h.

Zur Erzeugung von 10 000 kg/h Dampf werden benötigt 1710 kg Braunkohle und entsprechend 5700 m³/h Primärluft, zur Erzeugung von 7500 kg/h Dampf 1180 kg Braunkohle und entsprechend 3940 m³/h Primärluft.

Die Regelung der Luftmenge erfolgt durch Änderung der Gebläsedrehzahl und diese durch Drosselung des Dampfes an der Turbinendüse.

Zunächst war die Antriebsfrage für Förderschnecken und Gebläse zu lösen. Als Antriebskraft steht der Dampflokomotive nur Dampf zur Verfügung. Das Gebläse benötigt eine sehr hohe Umlaufzahl (bis 4500 U/min), die Förderschnecken eine verhältnismäßig niedrige Umlaufzahl (bis 140 U/min).

Bei der Versuchs-Lokomotive wird das Gebläse durch eine einfache Dampfturbine (Bild 13) angetrieben mit nur einem Schaufelrad, auf das der Dampf zweimal aufgegeben wird. Der Dampfverbrauch beträgt bei Lieferung von 7000 m³/h gegen 158 mm WS rund 196 kg/h, bei Lieferung von 5700 m³/h gegen 103 mm WS rund 138 kg/h und bei 3940 m³/h gegen 48 mm WS etwa 89 kg/h. Der Dampfdruck vor der Turbinendüse muß betragen 9 bzw. 6 bzw. 3,4 atü, die Leistung an der Turbinenwelle ist etwa 7 bzw. 5 bzw. 3 PS.

Zum Antrieb der Förderschnecken dient eine kleine Dampfmaschine mit nur einem doppelt wirkenden Zylinder in offener Bauart (Bild 14). Ihre Umlaufzahl kann mittels eines Fliehkraftreglers zwischen 120 und 350 U/min geregelt werden. Sie treibt bei 5 atü Druck vor dem Schieberkasten beide Hauptförderschnecken und leistet bei 150 U/min etwa 0,6 PS, bei 350 U/min rund 1,5 PS. Der Dampfverbrauch beträgt 30 bzw. 50 kg/h.

Die Gesamtanordnung von Feuerung und Tender in der heutigen Form ist aus den Bildern 15 und 16 zu ersehen. Hierbei ist nur noch auf die Klappen für die Sekundärluft hinzuweisen, von denen eine für Vorwärts- und eine für Rückwärts-

fahrt bestimmt ist. Auch der Rohrwandkratzer nebst Antrieb ist aus den Bildern zu erkennen.

Noch nicht erwähnt wurde bisher der kleine Hilfsbrenner an der Hinterwand des Aschkastens. Er dient als Zündbrenner während des Stillstandes oder Leerlaufs der Lokomotive. Vorher ist schon gesagt worden, daß etwa 2100 kg Braunkohlenstaub im Höchsfalle von beiden Förderschnecken bei der Höchstdrehzahl der Dampfmaschine gefördert werden. Bei 150 U/min beträgt die Fördermenge also noch 900 kg/h und bei Betrieb nur einer Schnecke 450 kg/h; das ist für den Leerlauf aber immer noch zu viel. Deshalb wurden ein kleiner Hilfsbrenner und eine kleine Hilfsschnecke vorgesehen, die 30 bis 75 kg/h Staub fördert und gerade ausreicht, die Strahlungsverluste des Kessels zu decken und den Dampf für die Luftpumpe zu liefern. Die Hilfsschnecke liegt im vorderen Teil des Bunkers in der Mitte. Ihr Antrieb erfolgt von einer Zwischenwelle durch die Dampfmaschine.

Um beim Stillstand der Lokomotive auch das Turbogebälse stillsetzen und seinen Dampfverbrauch ersparen zu können, ist für den Hilfsbrenner ein besonderes kleines Gebläse vorgesehen, das vom Schwungrad der Dampfmaschine durch Riemen angetrieben wird.

Das gesamte Getriebe auf dem Tender ist aus Bild 16 zu ersehen. Es ist an der Vorderwand des Kohlenstaubbunkers angebracht. Die Dampfmaschine steht in der Mitte und treibt mittels Ritzels über eine Zwischenwelle 2 Zahnräder, die auf den Wellen der Haupt-Förderschnecken sitzen und durch Reibungskupplungen mit ihnen gekuppelt werden können. Die Zwischenwelle dient zum Antrieb der Hilfs-Förderschnecke und zum Antrieb der Kühlwasserpumpe für die Hauptdüsen. Die Dampfmaschine wird von der Zwischenwelle aus mit einer ganz normalen Anwurfkurbel angeschlossen.

Das Turbogebälse ist hochgestellt. Es führt durch ein Hosenrohr die Förderluft den beiden Hauptmischkammern zu.

Das Kohlenstaub-Luftgemisch für die Hauptdüsen wird durch 2 Rohre von 160 mm Durchmesser zur Lokomotive geführt. Die Verbindung zwischen Tender und Lokomotive erfolgt durch je 2 Kugelgelenke mit Ausgleich-Stopfbüchse. Für den Hilfsbrenner ist ein Metallschlauch von 80 mm Weite vorgesehen.

Einige Worte sind noch über die Düsenkühlung zu sagen. Sie erfolgt bei der neuen Lokomotive durch eine von der Dampfmaschine angetriebene Tauchkolbenpumpe ohne nennenswerte Leistung durch das Kesselspeisewasser des Tenders. Der Antrieb durch die Dampfmaschine gewährleistet, daß bei Vorhandensein einer Flamme auch die Kühlung arbeitet. Die Pumpe ist so tief aufgestellt, daß ihr das Wasser ohne Saughöhe zufließt. Die Schaltung ist aus Bild 17 zu ersehen.

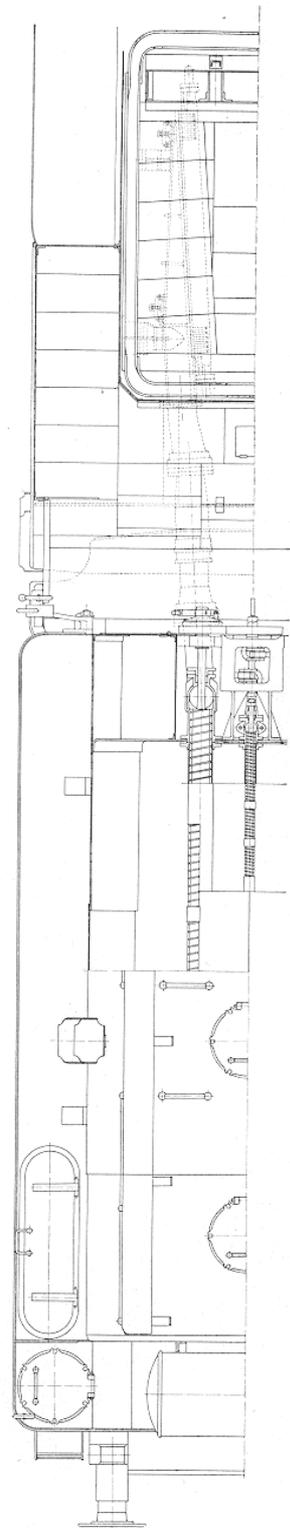
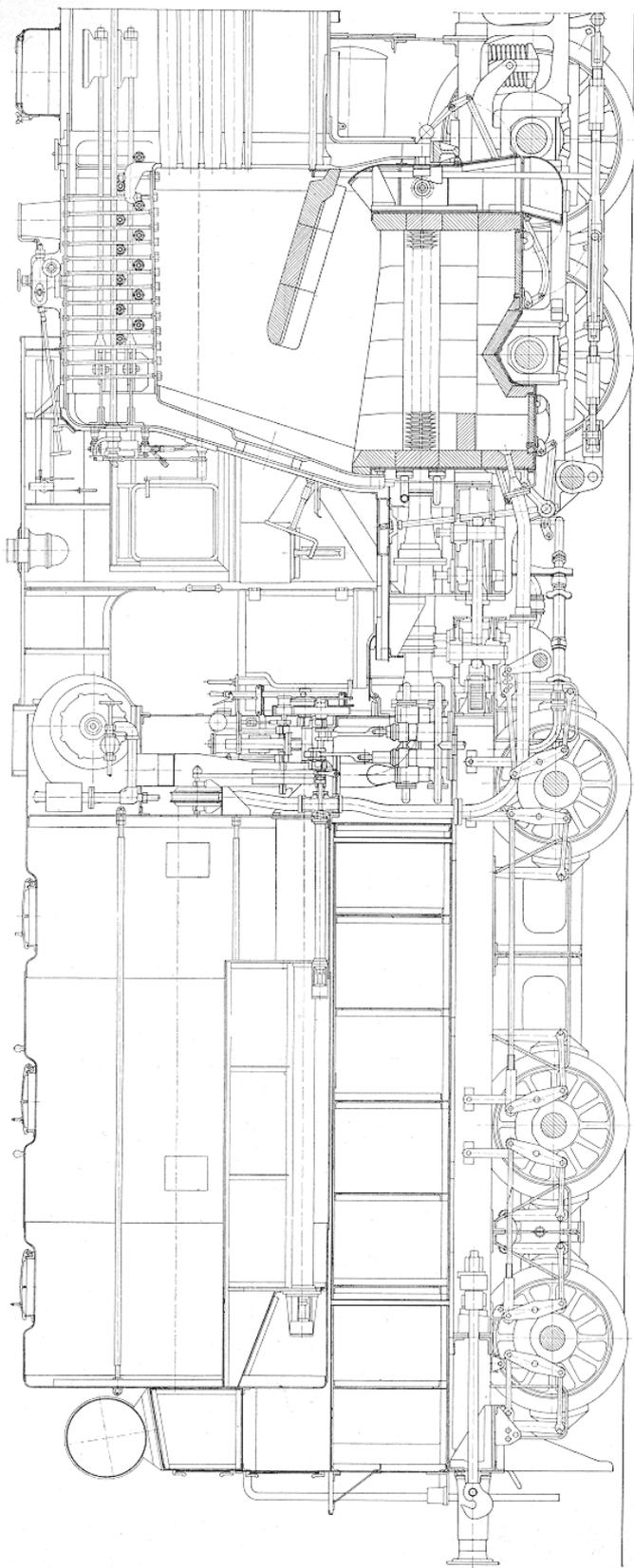


Bild 15. Kohlenstaub-Lokomotive, Längsschnitt und Grundriß.

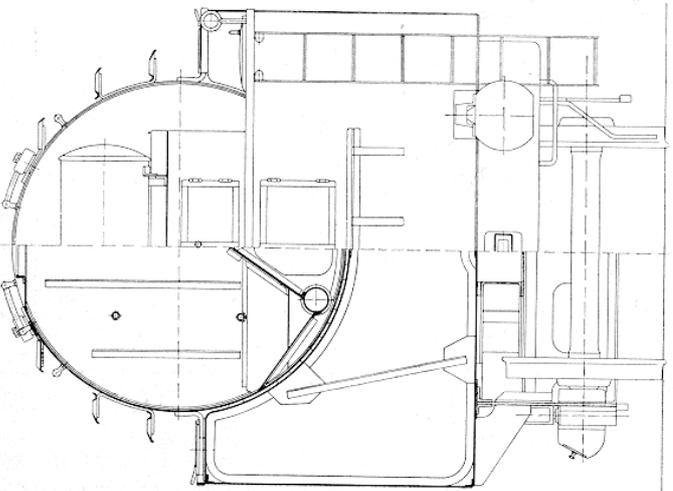
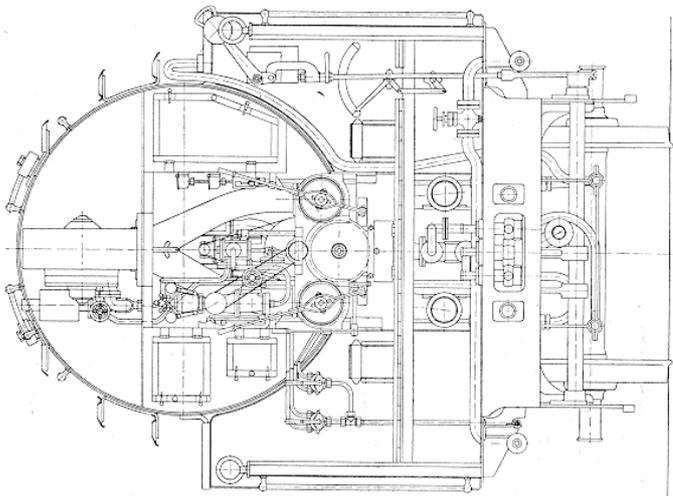
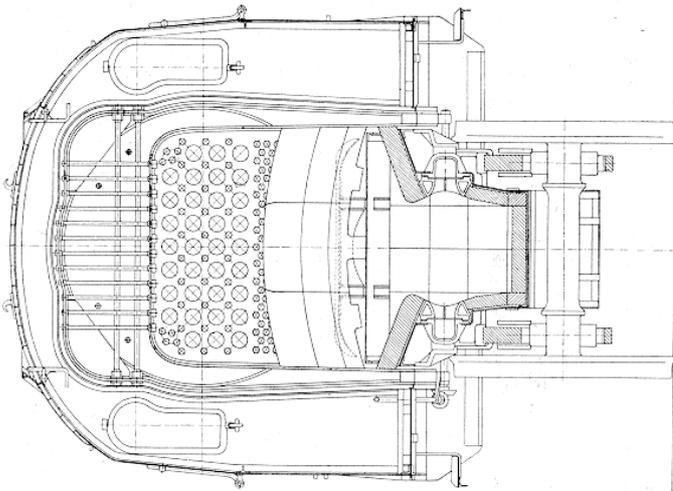


Bild 16. Kohlenstaub-Lokomotive, Querschnitte.

Das Tenderwasser strömt durch das eine Tenderboden-Ventil zur Pumpe, von der Pumpe durch den einen Verbindungsschlauch zur Lokomotive. Auf dieser durchströmt es die Kühlkörper der beiden Düsen hintereinander und gelangt zu einem Saugtopf, aus dem die beiden Speisevorrichtungen des Kessels ihr Wasser entnehmen. Der Saugtopf ist durch eine weitere Leitung über den zweiten Verbindungsschlauch mit dem zweiten Tenderboden-Ventil verbunden. Außerdem ist noch ein Überlauf vorgesehen.

Da die Pumpe nur etwa 40 % des Speisewassers als Kühlwasser liefert, so wird, wenn eine Speisepumpe arbeitet, nicht nur dieses Kühlwasser, sondern auch noch Frischwasser angesaugt. Es gelangt also alles in der Düse erwärmte Wasser in den Kessel. Nur in dem seltenen Falle, daß die Feuerung arbeitet, ohne daß gespeist wird, fließt das erwärmte Kühlwasser zum Tender zurück. Schließt man das zweite Bodenventil, so muß das Kühlwasser durch den Überlauf zum Tender zurückfließen, so daß man sich von dem ordnungsmäßigen Arbeiten der Kühlung überzeugen kann.

Die in das Kühlwasser übergehende Wärmemenge ist nur gering. Auf dem Prüfstande wurde festgestellt, daß diese Wärmemenge zwischen 70 000 kcal bei höchster Kesselleistung und 90 000 kcal bei ganz schwacher Belastung schwankt. Von der in Form von Kohlenstaub aufgewandten Wärmemenge bedeuten diese Zahlen 0,65 bzw. 1,5 %.

Die Bilder 18 bis 22 zeigen den Aufbau der gesamten Lokomotive sowie einiger wichtiger Einzelteile. Aus der Seitenansicht des Bildes 18 ist besonders deutlich der Tender ersichtlich, aus Bild 19 der Stehkessel mit den Düsen und dem Aschkasten, Bild 20 gibt eine Ansicht auf den Tender, vom Führerstand aus gesehen. Eine Düse wird in Bild 21 gezeigt, und zwar unter a) die fertige Düse, von der Außenseite aus gesehen, unter b) die Düse, von der Feuerseite aus gesehen; das gleiche Bild, jedoch nach Abnahme der Luftkammer, ist unter c) wiedergegeben. Bild 22 endlich zeigt in gleichem

Maßstabe nebeneinander eine Haupt- und die Hilfs-Förderschnecke. Das Mehrgewicht des Kohlenstaub-Tenders gegenüber dem normalen Tender beträgt 3,8t.

Kurz zusammengefaßt, weist die Feuerung der AEG-Kohlenstaub-Lokomotive folgende charakteristische Merkmale auf:

Das Kohlenstaub-Luftgemisch, das in den Feuerraum eingeblasen wird, enthält nur einen Teil der Verbrennungsluft als Primärluft; der Rest.

Aschkasten von glühendem Mauerwerk umgeben. Nur die Seitenwände der Feuerbüchse entziehen diesem Raum Wärme.

Die Heizgase treten am Ende des langen Feuer-schirmes zwischen diesem und der Feuerbüchse-Rückwand mit größter Geschwindigkeit nach oben und bringen bei der Umlenkung auf die Rohrwand zu die Schlackenteilchen an der Feuerbüchse-Decke zur Granulierung.

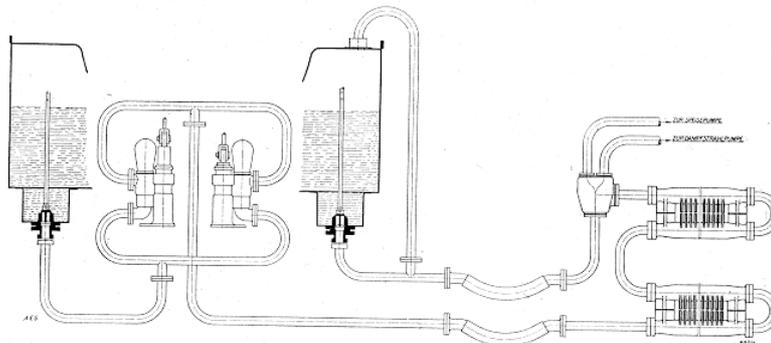


Bild 17. Schema der Düsenkühlung.

die Sekundärluft, wird wie bei jeder gewöhnlichen Kolben-Dampflokomotive durch die Blasrohr-Wirkung selbsttätig angesaugt.

Das Kohlenstaub-Luftgemisch wird in zwei unter der Feuerkiste liegende lange, einander gegenübergestellte Düsen geblasen. In den Düsen wird der Kohlenstaub-Luftstrom gesetzmäßig in eine große Anzahl schmaler Streifen zerlegt. Diese Streifen werden um 90° umgelenkt und treffen in

6. Versuchsfahrten mit der ersten AEG-Kohlenstaub-Lokomotive.

Durch das Entgegenkommen der Reichsbahndirektion Berlin war der AEG Gelegenheit gegeben, die Lokomotiven vor ihrer Ablieferung im Streckendienst eingehend durchzuprüfen. Dadurch war es möglich, wirklich betriebsfähige Lokomotiven zu liefern.

Abgesehen von einigen Leerfahrten, wurden



Bild 18. Seitenansicht der AEG-Kohlenstaub-Lokomotive.

der Mitte des Feuerraumes unter heftiger Wirbelung aufeinander. Die Düsen sind durch vorgebaute, wasserdurchflossene Kühlkörper gekühlt und die Düsenöffnungen gegen Rückzündungen bei schwacher Belastung und entsprechend geringer Luftgeschwindigkeit geschützt.

Die aufsteigenden Kohlenstaubflammen treffen unter dem Feuerschirm auf die stark vorgewärmte Sekundärluft. Der eigentliche Verbrennungsraum ist oben durch den Feuerschirm, unten durch den

stets fahrplanmäßige Güterzüge auf der Strecke Pankow - Heinersdorf - Löwenberg - Fürstenberg-Mecklenburg - Strelitz im Vorspann befördert. Insgesamt sind bis heute 30 Lastfahrten ausgeführt; bei diesen Fahrten wurde stets die Zuglokomotive mitgeschleppt. Es verdient hervorgehoben zu werden, daß niemals auf die Zuglokomotiven zurückgegriffen werden mußte.

Die Strecke ist eine Flachlandstrecke mit einigen kurzen Steigungen, auf denen einige 20 m

Höhenunterschied überwunden werden. Die größte Steigung beträgt wenig mehr als 1:150.

die vorgeschriebenen Fahrzeiten stets noch unterschritten werden.

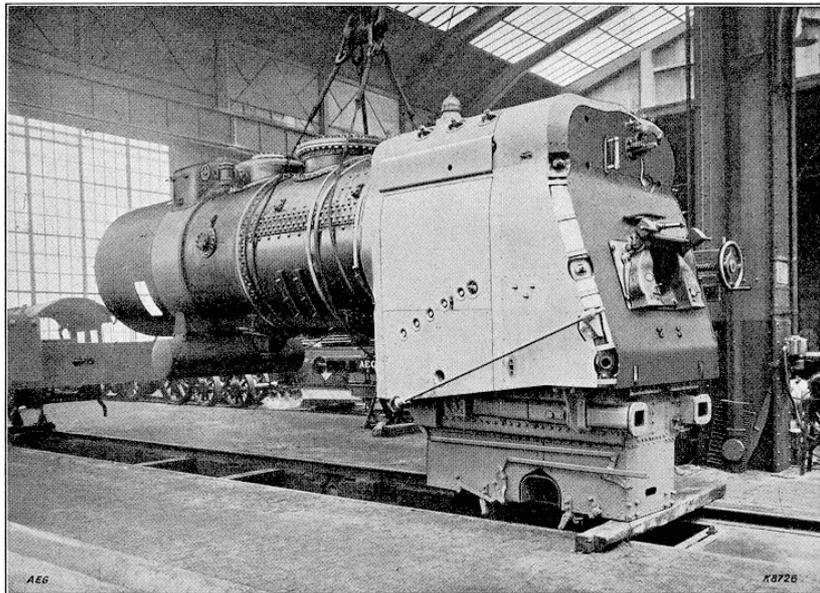


Bild 19. Stehkessel mit Düse und Aschkasten.

Für die Zuglokomotive der Gattung G 10 ist auf der genannten Strecke eine Höchstbelastung von 1100 t vorgeschrieben. Mit der Kohlenstaub-

Die Versuchsfahrten fanden sowohl mit Stein-, als auch mit Braunkohle statt. Als der wesentlich schwierigere Brennstoff ergab sich, wie zu er-

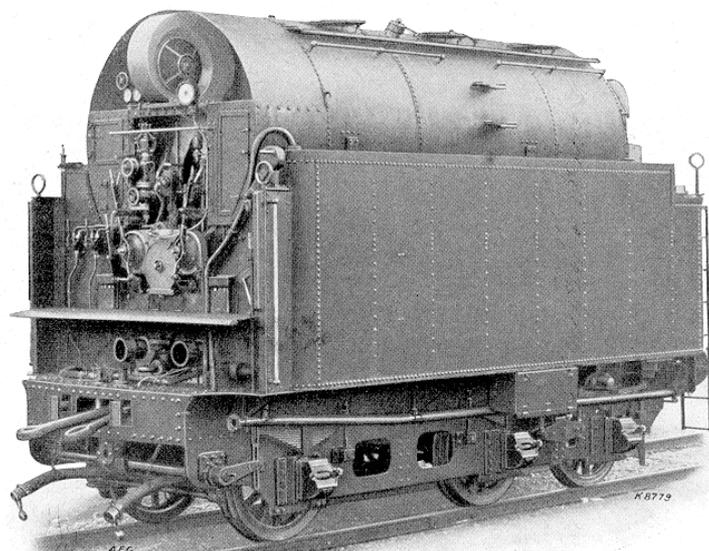


Bild 20.
Ansicht auf den Tender vom Führerstand der Lokomotive.

Lokomotive sind häufig 1300 t und die Zuglokomotive im Gewicht von 115 t gezogen worden, also 1415 t, das sind rund 30 % mehr. Dabei konnten

warten, die Steinkohle. Aber auch bei Steinkohle konnten Füllungsgrade von 40 % bei 50 km/h Fahrgeschwindigkeit bei rauchfreier Verbrennung

angewendet werden. Natürlich wurde mit vollem Schieberkastendruck gefahren. Die Heißdampf-temperatur betrug 400°. Erst bei noch größerer Dampfleistung war Rauch am Schornstein sichtbar. Ablagerungen von Schlacke an der Rohrwand traten nicht ein. Anscheinend fallen die Schlackenteilchen unter den Erschütterungen der Fahrt leichter ab als auf dem Prüfstande. Am Ende der Fahrt wurde die Rauchkammertür geöffnet. Der Inhalt war nach den letzten Verbesserungen ganz unerheblich.

Zu erwähnen wäre noch, daß sich bisher sowohl bei Braunkohle als auch bei Steinkohle keinerlei Schwierigkeiten durch Brückenbildungen im Bunker ergaben, und zwar weder im Sommer noch im Winter. Die große Länge der Haupt-Förderschnecken, sonst in konstruktiver Hinsicht eine unangenehme Eigenschaft, scheint bewirkt zu

lange Strecken ohne Feuerreinigung zurückzulegen.

Bei dem häufigen Wechsel zwischen Braun- und Steinkohle kam es zuweilen vor, daß beide Kohlenarten übereinander im Tender lagerten und während der Fahrt der Übergang von einem zum anderen Brennstoff erfolgte. Hierbei ergaben sich nicht die geringsten Anstände.

Die spielend leichte Möglichkeit, allen Anforderungen der Dampfzylinder hinsichtlich des Dampfbedarfes nachzukommen, hat immer wieder die Bewunderung des Lokomotiv-Personals hervorgerufen.

7. Betriebsführung.

Durch die Versuchsfahrten ist erprobt worden, wie die Feuerung am zweckmäßigsten gehandhabt wird; das geschieht folgendermaßen:

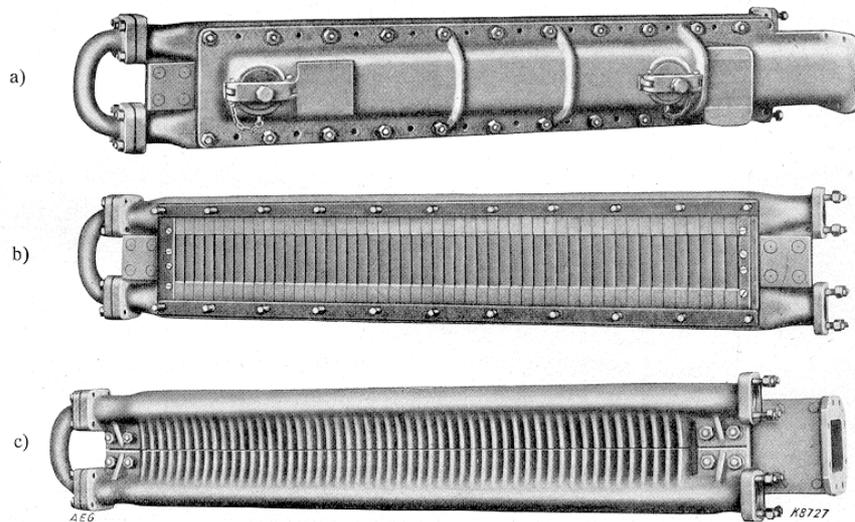


Bild 21. Ansicht der Düse.

haben, daß der Kohlenstaub immer in gleichem Maße gefördert wurde. Anscheinend stürzen die sich bildenden Brücken durch die Erschütterungen der Fahrt von selbst ein. Jedenfalls sind die zur Beseitigung von Brücken vorgesehenen Luftdüsen noch nicht in Betrieb genommen.

Im Aschkasten fanden sich Schlacken nur bei ganz schwacher Belastung. Bei höheren Belastungen wird die Schlacke im granulierten Zustande als feines Pulver durch die Kesselrohre zur Rauchkammer und aus dieser zum Schornstein hinausbefördert. Nach langen Fahrten wurden etwa 10% der in der Kohle enthaltenen Schlacke im Kessel wiedergefunden, die übrigen 90% waren also zum Schornstein hinausbefördert und als ganz feiner Staub auf weite Entfernungen hin verstreut. Dadurch ist es möglich, mit der Kohlenstaub-Feuerung

a) Anheizen.

Zum Anheizen des kalten Kessels wird Hilfsdampf von 5 bis 6 atü gebraucht. Dieser muß von einer anderen Lokomotive oder einer ortsfesten Anlage geliefert werden. Die Einführung erfolgt durch die Dampfheizleitung.

Der Dampf wird benötigt
zur Betätigung des Bläasers,
zum Betrieb der Dampfmaschine,
zum Betrieb des Turbogebläses.

Nach dem Anstellen der Dampfmaschine zur Ingangsetzung der Düsenkühlung wird im Aschkasten eine Lunte aus mit Öl getränkter Putzwolle zur Entzündung gebracht. Hierauf wird der Hilfsbrenner in Tätigkeit gesetzt. Sobald eine helle Flamme erscheint, läßt man das Turbogebläse wirken und setzt eine Haupt-Förderschnecke in

Tätigkeit. Die Menge des eingeblasenen Brennstoffes richtet sich ausschließlich nach dem Bläserzug, der imstande sein muß, die erzeugten Rauchgase abzuführen. Nach 12 min beginnt der Kesseldruck zu steigen; nach 24 min kann der Hilfsdampf abgeschaltet werden. Alle Hilfseinrichtungen können jetzt vom eigenen Kesseldruck gespeist werden. Nach 30 min ist ein Kesseldruck von 5,5 atü erreicht, mit dem man aus dem Schuppen fahren kann. Nach weiteren 10 min sind 10 atü Kesseldruck, nach weiteren 3, also insgesamt 43 min, ist der volle Kesseldruck von 14 atü erreicht. Bild 23 zeigt die Drucksteigerung beim Anheizen des Kohlenstaub-Lokomotiv-Kessels in Abhängigkeit von der Zeit.

Ist noch nicht Abfahrzeit, so werden die große Förderschnecke und das Turbogebälde abgeschaltet. Man fährt dann mit der kleinen Hilfsschnecke und dem Hilfsgebläse weiter. Der Bläser wird in diesem Falle nicht benötigt.

b) Betrieb.

Unmittelbar vor der Abfahrt wird das Turbogebälde und zunächst die eine, nach Bedarf auch

Bei geringer Belastung wird eine Schnecke ausgeschaltet. Durch die eine Düse wird dann ein Kohlenstaub-Luftgemisch, durch die andere reine Luft geblasen. Das Feuer brennt in diesem Falle ebenso einwandfrei wie beim Betrieb beider Düsen mit Staub.

Die Regelung der Feuerung gestaltet sich viel einfacher, als es zunächst erwartet wurde. Im allgemeinen stellt der Heizer die Feuerung auf die mittlere Leistung ein. Legt er Wert auf gleichmäßige Haltung des höchsten Dampfdruckes, so regelt er mit der Speisepumpe auf Kosten des Wärmeinhalts des Kessels. Erst bei größeren Abweichungen vom normalen Wasserstand regelt er die Feuerung nach.

c) Abstellen der Feuerung.

Wird kein Dampf mehr benötigt, so wird die Feuerung ganz abgestellt. Hierbei müssen stets die Aschkasten-Klappen geschlossen werden, damit keine kalte Luft durch den Kessel zieht. Das Mauerwerk hält die Wärme etwa 10 bis 15 min so weit, daß Neuzündung erfolgt. Bei längeren Pausen wird der Hilfsbrenner in Betrieb gesetzt.

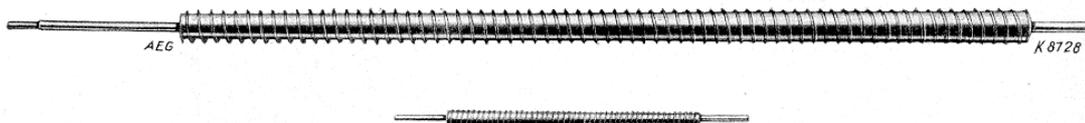


Bild 22. Ansicht einer Haupt- und der Hilfsschnecke.

die andere Haupt-Förderschnecke in Betrieb genommen. Kohlenmenge und günstigste Primärluftmenge stehen in einem bestimmten Verhältnis zueinander, das ausprobiert werden muß. Die Kohlenmenge wird bestimmt durch die Umlaufzahl der Dampfmaschine und abgelesen von einem Umlauf-Anzeiger. Die Luftmenge ist bestimmt durch den Dampfdruck vor der Turbinendüse. Der Heizer erhält eine Tafel, auf der die zusammengehörigen Werte für jede Kohlenart angegeben sind. Mäßige Abweichungen von dieser Tafel spielen keine Rolle.

Abgesehen von den höchsten Belastungen, müssen die Rauchgase am Schornstein klar sein; hier darf nur ausgebrannte Asche erscheinen. Die zu verbrennende Kohlenmenge richtet sich wie bei der Rostfeuerun g wesentlich nach der Zugstärke durch das Blasrohr, denn man darf nicht mehr Heizgase erzeugen als durch den Auspuff zum Schornstein hinausbefördert werden; andernfalls entsteht Überdruck in der Feuerkiste, unter dessen Einfluß Rauch und Funken an der Feuertür erscheinen. Trotzdem ist man bei der Kohlenstaub-Feuerung in viel höherem Maße unabhängig von der Lokomotivleistung als bei der Rostfeuerun g. Man kann also sehr bequem den Kessel auffüllen, wenn eine Steigung bevorsteht.

8. Vorzüge der Kohlenstaub-Lokomotiv-Feuerung und Grundlagen zur wirtschaftlichen Beurteilung.

a) Niedrigere Brennstoff-Einkaufspreise.

Als Brennstoff können bei hohen Kesselleistungen, wie sie in Deutschland üblich sind, auf dem Rost nur hochwertige stückreiche Steinkohlen mit geringem Aschegehalt verwendet werden. Die Kohlenstaub-Feuerung ermöglicht auch die Verwendung der Steinkohlen und Abfallsorten, die zu geringem Preis auf dem Markte erhältlich sind, weil sie sich schwer verkaufen lassen. Dieser Zustand wird sich auch bei hohem Verbrauch von Feinkohle nicht wesentlich ändern, weil der leichtere Absatz der Feinkohlen dem Steinkohlen-Bergwerkbau die Möglichkeit gibt, durch Übergang zu maschinellen Abbaufahren, die eine Erhöhung des Feinkohlenabfalls mit sich bringen, eine Verbilligung der Förderung zu erreichen.

Die Kohlenstaub-Feuerung erlaubt, auch aschereiche Kohlensorten zu verfeuern, die bei Rostfeuerun g durch Verschlackung des Rostes zu häufigen Unterbrechungen des Betriebes führen. Nur kann man bei aschereichen Kohlen die Kesselleistung nicht so hoch steigern wie bei aschearmen.

Besonders wertvoll ist die Möglichkeit der Verfeuerung von Torf und Braunkohle, die in rohem

Zustände für den Lokomotivrost unbrauchbar und auch in veredeltem Zustande als Braunkohlen-Briketts noch immer sehr schlecht geeignet ist. In Staubfeuerungen ist die Braunkohle wegen ihres hohen Gehaltes an flüchtigen Bestandteilen aber gerade ein besonders hochwertiger Brennstoff.

b) Unabhängigkeit von der Kohlenbeschaffenheit.

Die große Unabhängigkeit von der Kohlenbeschaffenheit ermöglicht es, an jeder Betriebsstelle die nächstgelegene Kohle zu verbrennen und dadurch unter Umständen sehr erhebliche Versandkosten zu ersparen. Dieser Fall liegt besonders in solchen Gegenden vor, die Braunkohlen- oder Torflager besitzen und von Steinkohlenlagern weit entfernt liegen.

Außerdem ist jederzeit die Möglichkeit gegeben, die Kohlensorte zu wechseln und die jeweilige Marktflage in weitestem Maße auszunutzen.

c) Gute Brennstoffausnutzung.

Die Kohlenstaub-Feuerung ergibt einen höheren Kessel-Wirkungsgrad als die Rostfeuerung, weil es bei ihr möglich ist, bei allen Anstrengungsgraden mit 20 bis 25% Luftüberschuß zu arbeiten statt mit 50 bis 60% bei Rostfeuerung. Eine große Menge überschüssiger Luft braucht also nicht mit-erwärmt zu werden, und diese Wärmemenge wird erspart. Beim G 8²-Kessel ist diese Ersparnis zu 20% nachgewiesen worden.

d) Hohe Belastungsmöglichkeit und lange Belastungsdauer.

Schon die bisher angestellten Versuche haben ergeben, daß auch ohne Änderung an den für Rostfeuerung gebauten Lokomotiv-Kesseln viel höhere Leistungen, namentlich hinsichtlich der Dauer solcher Anstrengungen, aus dem mit Kohlenstaub gefeuerten Kessel erzielt werden können als aus dem rostgefeuerten. Bei den Standversuchen sind nur solche Belastungen angeführt worden, die mindestens 1½ Stunden lang ununterbrochen erzielt werden konnten. Die Grenze der Beanspruchung bildet immer die Wirkung des Blasrohres und die Verschlackung der Rohrwand.

e) Geringe Anheizdauer.

Wegen der kurzen Anheizdauer ist es in geringerem Maße als bisher nötig, Lokomotiven unter Dampf zu halten. Dadurch werden unnötige Abkühlungs-Verluste erspart. Die Ersparnisse schlagen um so mehr zu Buche, je länger und häufiger die Betriebspausen sind.

f) Schnelle Anpassung an die Betriebs-Erfordernisse.

Die spielend leichte Regelung der Feuerung, entsprechend dem Dampfbedarf, beseitigt alle Schwierigkeiten der Rostfeuerung. Abblasen der Sicherheitsventile bei hohem Feuer und plötzlichem

Halt vor einem Signal oder bei verzögerter Abfahrt ist vermieden, ebenso das Verschlacken des Feuers bei längerem Stillstand. Kann weiter gefahren werden, so ist in wenigen Sekunden die volle Kesselleistung wieder erreicht. Ist am Ende einer Steigung, die mit hoher Kesselleistung befahren wurde, kein Dampf mehr nötig, so kann ohne weiteres die Feuerung abgestellt werden. Andererseits kann man jederzeit von der Kesselreserve ausgiebig Gebrauch machen, um hohe Kessel-Anstrengungen mit ihrem schlechteren Wirkungsgrad zu vermeiden, da man am Ende der Steigung in der Lage ist, in kurzer Zeit normalen Wasserstand und Dampfdruck wieder herzustellen.

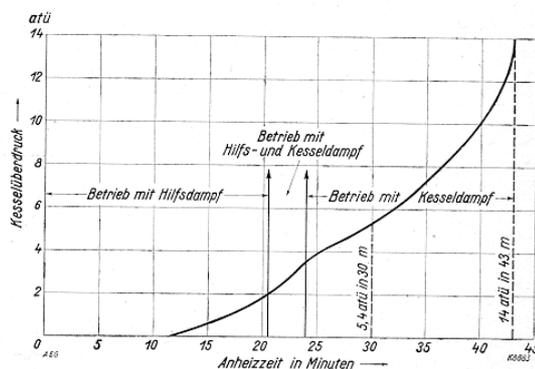


Bild 23.
Drucksteigerung beim Anheizen des Kessels der AEG-Kohlenstaub-Lokomotive.

g) Abkürzung der Feuerreinigungszeit.

Die Zeit zum Ausschlacken und Reinigen der Rauchkammer wird erheblich abgekürzt, da im Aschkasten kaum Schlacke anfällt und auch in der Rauchkammer wegen der sehr feinen Beschaffenheit der Asche nur wenig Rückstände liegen bleiben. Die Brennstoffverluste beim Ausschlacken fallen fort.

h) Lange Dienstdauer.

Aus dem eben genannten Grunde können auch lange Strecken ohne Aufenthalt durchfahren werden. Die Grenze der Dienstsicht bildet der Inhalt des Kohlenbunkers.

i) Vermeidung des Funkenfluges.

Rauch ist nur in sehr geringem Maße, Funkenflug überhaupt nicht vorhanden. Dadurch entfallen die Entschädigungen für die durch Funkenflug entstehenden Brände längs der Bahnstrecke.

k) Entlastung des Heizers.

Die schwere körperliche Arbeit des Heizers entfällt bei der Kohlenstaub-Lokomotive. Der Heizer kann seine ganze Aufmerksamkeit bei voller körperlicher Frische auf die sparsamste Ausnutzung des Brennstoffes richten und ist in der

Lage, den Lokomotiv-Führer in der Beobachtung der Strecke und Signale tatsächlich zu unterstützen. Da die Feuertür nicht geöffnet zu werden braucht, fällt auch die Blendung des Personals bei Nacht fort.

Die Grenze, die bisher dem Bau großer Kessel durch die Leistungsfähigkeit des Heizers gezogen war, fällt fort. Bei der Auswahl des Heizerpersonals brauchen nicht mehr die hohen Anforderungen an die körperliche Leistungsfähigkeit gestellt zu werden wie bei Rostfeuerung.

Die vorstehend aufgeführten Vorzüge der Kohlenstaub-Lokomotive gegenüber der normalen Lokomotive mit Rostfeuerung bilden die Grundlage zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit. Als wichtigste Posten einer Wirtschaftlichkeits-Berechnung sind zu berücksichtigen:

- Aufzuwendende Kapitalkosten für die
 - Mahlanlagen,
 - Transport-Sonderwagen,
 - Bekohlungsanlagen,
 - Kohlenstaub-Lokomotiven;
- Verzinsung und Abschreibung der Kapitalkosten;
- Verbrauch in kcal;
- Kosten der kcal;
- Bedienungs- und Instandhaltungs-Kosten.

Es ist natürlich unmöglich, hier Zahlen anzugeben, die den ganz verschieden gelagerten Anwendungsfällen gerecht werden. Es soll daher nur kurz zahlenmäßig ein Fall geschildert werden, an dessen Verwirklichung die DRG zunächst denkt, das ist die Einführung der Kohlenstaub-Lokomotive im Mitteldeutschen Braunkohlengebiet.

Im Bezirk der Reichsbahndirektion Halle/Saale beträgt der Preis der verschiedenen Kohlenarten einschließlich Dienstgutfracht ab Grube nach Halle, frei Lager, bei 7000 kcal 27,— RM/t.

Für die Versuche wurde brennfertiger Braunkohlenstaub mit 5720 kcal Heizwert bezogen, der ab Grube bei Merseburg 9,50 RM/t kostet. Rechnet man nun mit einer mittleren Brennstoff-Ersparnis von nur 15 % bei Braunkohlen-Staubfeuerung gegenüber Steinkohlen-Rostfeuerung, so braucht man, um 1 t Steinkohle zu ersetzen,

$$\frac{0,85 \cdot 7000}{5720} = 1,04 \text{ t Braunkohlenstaub.}$$

Es sei angenommen, daß im Bezirk Halle auf bestimmten Strecken ein Betrieb mit 100 Kohlenstaub-Lokomotiven der Bauart G 8² aufgenommen würde. Die G 8²-Lokomotive leistet im Jahre 70 000 Lok.-km und benötigt 20,23 kg Steinkohle für 1000 tkm. Würde das durchschnittliche Zug-

gewicht einschließlich Lokomotive 1000 t betragen, so würden von diesen 100 Lokomotiven im Jahre geleistet

$$100 \cdot 70\,000 \cdot 1000 = 7\,000 \cdot 10^6 \text{ tkm.}$$

Der Steinkohlenverbrauch beträgt entsprechend 141 610 t im Jahre, der Kostenaufwand hierfür 3 820 000,— RM.

Statt der 141 610 t Steinkohle würden bei Staubfeuerung benötigt 147 000 t Braunkohlenstaub.

Die mittlere Entfernung der verschiedenen Bekohlungs-Stationen von der Grube betrage 100 km. Die Dienstgutfracht für 1 t Kohlenstaub bei 101 km Entfernung beträgt 2,10 RM. Zu den Kosten ab Grube von 9,50 RM/t kommen also hinzu: für Fracht 2,10 RM/t; für Entladen sei nochmal 1,— RM/t gerechnet, so daß 1 t Staub frei Bekohlungs-Station 12,60 RM kostet.

Der jährliche Aufwand für Braunkohlenstaub beträgt also $147\,000 \cdot 12,60 = 1\,850\,000,—$ RM, die jährliche Ersparnis an Brennkosten demnach 1 970 000,— RM.

Der Umbau einer normalen G 8²-Lokomotive auf Kohlenstaub-Feuerung kann mit etwa 36 000 RM geschätzt werden. Es mögen für die 100 Lokomotiven ferner benötigt werden 6 Bekohlungs-Stationen zu je 35 000,— RM und 30 Kohlen-Transportwagen zu je 12 000,— RM. Dann beträgt der Kapitalaufwand bei Staubfeuerung

$$\begin{array}{r} 100 \cdot 36\,000 = 3\,600\,000,— \text{ RM} \\ 6 \cdot 35\,000 = 210\,000,— \text{ „} \\ 30 \cdot 12\,000 = 360\,000,— \text{ „} \\ \hline 4\,170\,000,— \text{ RM.} \end{array}$$

Sieht man der Einfachheit halber von den Bedienungs- und Instandhaltungs-Kosten ab, so wären also die Anschaffungskosten in weniger als 2½ Jahren vollständig abgeschrieben, und es verbliebe dann ein jährlicher Gewinn von rund 2 000 000,— RM.

Natürlich liegen die Verhältnisse für die Einführung der Kohlenstaub-Feuerung nicht immer so günstig wie im Bezirk Halle, weil hier nicht nur für Staubfeuerung sehr gut geeignete, preiswerte Braunkohle vorhanden ist, sondern dieser Bezirk auch von den hochwertigen Steinkohlenlagern sehr weit entfernt ist, so daß doppelte Ersparnisse erzielt werden. Demgegenüber gibt es sicherlich auch Fälle, wo die Bedingungen zur Einführung der Kohlenstaub-Lokomotive noch günstiger sind als im Bezirk Halle.

Die Einführung der Kohlenstaub-Lokomotive muß hiernach — abgesehen von allen sonstigen Vorteilen — auch wirtschaftlich als ein überaus nutzbringendes Geschäft für zahlreiche Eisenbahnen bezeichnet werden.