

### Einwirkung des Kesselsteins auf den Wirkungsgrad des Lokomotivkessels.

Von Reichsbahnbaumeister Dr. Ing. Friedrich Böhm, Göttingen.

#### Zweck der Versuche.

Die nachstehend beschriebenen und ausgewerteten Verdampfungsversuche sollen dazu dienen, die Frage zu klären, welchen Einfluß der Ansatz von Kesselstein im Innern des Lokomotivkessels auf den Wirkungsgrad des Dampfkessels hat. Es wird nur der Einfluß in wärmetechnischem Sinne, d. h. der Einfluß auf den Brennstoffverbrauch und somit auch auf die Brennstoffkosten ermittelt. Welchen Einfluß die Bildung des Kesselsteins auf eine Vermehrung der Lokomotivunterhaltungskosten im Bahnbetriebswerk und auf die Ausbesserungskosten im Ausbesserungswerk hat, muß einer späteren Untersuchung und Abhandlung vorbehalten bleiben. Es wird allgemein behauptet, daß der Kesselsteinansatz den Kohlenverbrauch ganz gewaltig erhöhe und hierdurch die Betriebskosten verteuere; jedoch beruhen diese Annahmen nur auf rein theoretischen Betrachtungen. Es läßt sich mit Hilfe wärmetechnischer Formeln leicht feststellen, wie sehr der Wärmedurchgang durch eine mit Kesselstein bedeckte Wand verringert wird (bei 2 mm Kesselsteinschicht z. B. 5,3 bis 9%, bei 5 mm Kesselsteinschicht 14,4 bis 26,3%\*). Bei dieser Berechnung liegt jedoch eine einheitliche Temperatur auf der vom Feuer oder den Heizgasen berührten Heizfläche zugrunde. (Im vorliegenden Falle 1000° bis 1400° C.) Diese Annahme trifft aber beim Lokomotivkessel nicht zu, die Temperatur beträgt in der Feuerkiste rund 1600 bis 1800° und in der Rauchkammer rund 300° und nimmt auf dem Weg zwischen Feuerkiste und Rauchkammer alle dazwischenliegenden Werte an. Desgleichen ist der Kesselsteinansatz im Innern des Kessels nicht überall gleich stark. Er ist an den leicht zugänglichen Stellen geringer wie an den schwerer zu erreichenden Stellen, da beim Auswaschen der Kesselstein teilweise weggespült wird. Eine der Wirklichkeit tatsächlich nahekommende Berechnung wird daher kaum durchzuführen sein. Aus diesem Grunde wurde der Verfasser von der Reichsbahndirektion Essen beauftragt, diese strittige Frage rein praktisch zu lösen, zumal in der einschlägigen Fachliteratur dieses Gebiet noch nicht behandelt worden ist.

#### Vornahme der Versuche.

Die Versuche (Abb. 1) wurden ausgeführt im Betriebswerk Essen-Frintrop des Reichsbahnmaschinenamts Duisburg 2, und zwar an zwei Lokomotiven der Bauartreihe 57<sup>10-40</sup> (G 10\*\*), Lokomotive 57.2669 und Lokomotive 57.2667 und an zwei Lokomotiven der Bauartreihe 55<sup>25-56</sup> (G 8<sup>1</sup>\*\*\*), Lokomotive 55.2981 und Lokomotive 55.4882. Es wurden gemessen: die Kohlenmenge, die Wassermenge, die Speisewassertemperatur hinter dem Vorwärmer, der Dampfdruck, die Heißdampf-temperatur, die Rauchkammertemperatur an zwei Stellen, die Abgaszusammensetzung und die Unterdrücke in der Rauchkammer, in der Feuerkiste und im Aschkasten. Die Kohlenmenge wurde mit der Dezimalwaage zentnerweise vor der Kohlenaufgabe abgewogen. Die Wassermenge wurde mittels eines geeichten Tenders festgestellt. Zunächst wurde

der zur Lokomotive gehörige Tender mit einem Wasserstandsglas versehen und von 200 zu 200 kg geeicht. Die richtige Eichung wurde mit einem Wassermesser, durch welchen das Tenderwasser abgelassen wurde, kontrolliert. Es ergab sich jedoch beim ersten Versuch gleich die Schwierigkeit, daß der

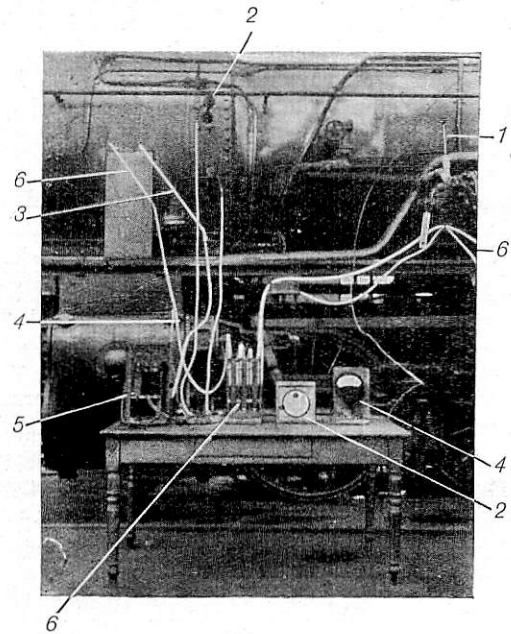


Abb. 1.

Wasservorrat in einem Tender für einen Versuch nicht ausreicht. Um nun die Kesselspeisung nicht zu unterbrechen, wurden zwei Reservetender auf dieselbe Art und Weise geeicht (Abb. 2) und für sämtliche Versuche diese beiden Meßtender abwechselnd benutzt.

Die Speisewassertemperatur wurde mittels Quecksilberthermometer (siehe Abb. 1) (1), der Dampfdruck mit dem Kontrollmanometer, die Rauchkammer- und Heißdampf-temperaturen mit Pyrometern (2, 3, 4), die Abgaszusammensetzung mit dem Orsatapparat (5) und der Unterdruck mit drei U-Röhren (6) gemessen. Sämtliche Werte wurden alle 10 Minuten abgelesen. Die sonst bei Verdampfungsversuchen vom V. D. I. festgesetzte Versuchsdauer von 8 Stunden oder

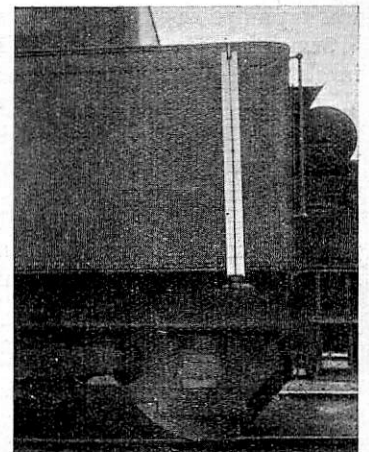


Abb. 2.

mehr konnte bei den Lokomotivverdampfungsversuchen nicht eingehalten werden wegen der hierbei eintretenden allzugroßen Verschlackung des Rostes. Es wurde festgestellt, daß längstens nach 4 Stunden der Rost derart mit Schlacken zugesetzt war, daß an eine längere Durchführung der Versuche nicht

\*) Aus: „Die Fremdstoffe im Lokomotivspeisewasser und ihre Absonderung in Kesselsteinabscheidern von Dr. Klug, Berlin.“

\*\*) E - h 2 Gz.-Lokomotive.

\*\*\*) 1 D h 2 Gz.-Lokomotive.

gedacht werden konnte. Desgleichen war bei starker Belastung die in der Rauchkammer und in den Rohren lagernde Löschemenge so groß, daß auch durch sie die Fortführung genauer Versuche beeinträchtigt wurde. Die Ausdehnung von Verdampfungsversuchen auf acht oder mehr Stunden hat seinen Grund nur darin, den Versuch während des Beharrungszustandes des Kessels auszuführen. Da beim Lokomotivkessel infolge Fehlens jeglichen Mauerwerks wie bei großen stationären Kesseln der Beharrungszustand viel schneller erreicht wird, konnte eine Versuchsdauer von 3 bis 4 Stunden vollständig zur Ermittlung des Wirkungsgrades genügen. Die Versuchsniederschriften ergaben auch, daß die einzelnen gemessenen Werte nahezu unverändert bleiben.

Als einziges Fehlerglied bleibt die Ermittlung der Brennstoffmenge vorhanden, die sich bei Versuchsbeginn und Versuchsende auf dem Rost befindet. Dieses Fehlerglied wurde dadurch so gering wie möglich gehalten, daß vor Versuchsbeginn und nach Versuchsschluß genau dieselbe Brennstoffmenge in demselben abgebrannten Zustand vorhanden war und nur in einer ganz dünnen leicht vergleichbaren Schicht den Rost bedeckte.

Während der Versuche war das rechte Kesselspeiseventil abgeflanscht, damit kein ungemessenes Wasser in den Kessel gelangt. Desgleichen waren alle Nebenleitungen wie Rauchkammer-, Aschkasten- und Kohlenspritzhahn abgeflanscht, um kein unverdampftes Wasser dem Kessel zu entziehen. Es wurde auch möglichst vermieden, daß durch das Sicherheitsventil Naßdampf entweicht. Die Versuche wurden als Standversuche bei verschiedenen Belastungen vorgenommen. Die Schieber waren herausgenommen, die Stopfbuchsen abgeflanscht, so daß der Dampf gedrosselt und stetig ohne Auspuffschläge dem Blasrohr entwich. Die Heizwerte des Brennstoffs und der Rückstände, wie Rauchkammerlösche, Rostdurchfall und Schlacken wurden im Brennstofflaboratorium der Reichsbahndirektion Köln ermittelt.

Wirkungsgrade.

Unter dem Wirkungsgrad des Lokomotivkessels versteht man das Verhältnis der dem Dampf im Kessel zugeführten Wärme zur Gesamtwärme der verfeuerten Kohlen nach Gewicht und Heizwert. Der Wärmeinhalt des Dampfes wurde dem JS-Diagramm für Wasserdampf von Knoblauch-Raisch-Hausen entnommen. Für den Pumpendampf der Speisepumpe wurde 2% in Abzug gebracht und hierfür nur der Wärmeinhalt für Sattedampf in Rechnung gestellt. Der Wärmeinhalt des Speisewassers hinter dem Vorwärmer wurde vom Wärmeinhalt des Dampfes abgezogen.

Die Wirkungsgrade wurden als Funktion der Kesselbelastung aufgetragen und die entsprechenden Punkte durch einen Linienzug verbunden. Die Versuchsergebnisse mit dem kesselsteinhaltigen Kessel wurden mit Sternchen, diejenigen mit dem kesselsteinfreien Kessel mit Kreischen bezeichnet. Auf diese Weise entstand die dem Kessel eigentümliche Wirkungsgradlinie. Selbstverständlich liegen, wie dies stets bei Versuchen der Fall ist, nicht alle Punkte auf einer Kurve, da diese als stetiger Linienzug gezeichnet wird und die Versuchsergebnisse mehr oder weniger streuen. Die Kurve wurde daher so gezogen, daß möglichst viele Punkte berührt und verstreut liegende Punkte genau so viel über als auch unter der Wirkungsgradkurve liegen. Es ergab sich dann das auf Abb. 3 dargestellte Schaubild. Die Wirkungsgradlinien für die G 10 Lokomotiven haben alle ein Maximum bei einer Kesselbelastung von 40 bis 50 kg/m<sup>2</sup> Std., während die Wirkungsgradkurven der G 8<sup>1</sup> Lokomotiven mit zunehmender Belastung sinken. Da bei der Belastung = 0 der Wirkungsgrad auch = 0 sein muß, haben auch diese Lokomotiven einen maximalen Wirkungsgrad, nur liegt derselbe

schon vor der Belastung von 30 kg/m<sup>2</sup> Std. In diesem Gebiet wurde kein Versuch unternommen.

Das gesamte Versuchsergebnis läßt sich aus Abb. 3 klar erkennen. Die Wirkungsgradlinie für die vom Kesselstein gereinigten Kessel liegt über der Wirkungsgradlinie für die mit Kesselstein behafteten Kessel. Das Überraschende an diesem Ergebnis ist jedoch, daß der Unterschied gar nicht so beträchtlich ist, wie vielfach angenommen wird. So beträgt er bei der Lok. 57.2669 nach Schaubild 3,5%, rechnerisch 4,30%,  
 „ „ „ 57.2667 „ „ 2,5%, „ „ 2,84%.

Bei steigender Belastung entfernen sich beide Linien etwas. Bei der Lok. 57.2667 wurden mit dem kesselsteinfreien Kessel bei hoher Belastung (50,2 und 50,8 kg/m<sup>2</sup> Std.) zwei

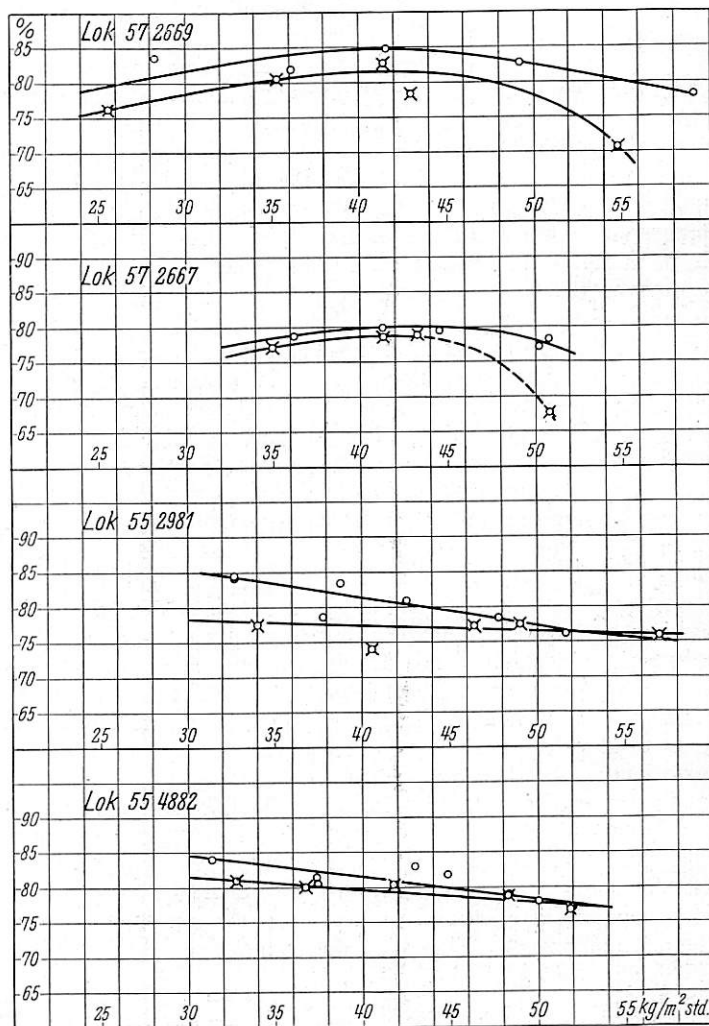


Abb. 3. Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Kesselbelastung.

Versuche angestellt, deren Ergebnisse sich nahezu decken. Es ist dies ein Beweis für die Genauigkeit der Versuchsdurchführung.

Etwas anders geartet sind die Ergebnisse mit den beiden G 8<sup>1</sup> Lok., die aber unter sich genau so ähnlich sind, wie die Ergebnisse bei den G 10 Lok. Auch hier liegt die Wirkungsgradlinie der gereinigten Kessel über derjenigen der kesselsteinhaltigen Kessel, jedoch bleibt der Abstand nicht gleich, sondern verringert sich noch mit zunehmender Kesselbelastung, um bei einer Belastung von 52 kg/m<sup>2</sup> Std. gleich 0 zu werden.

Der Unterschied beträgt  
 bei der Lok. 55.2981: 6,5% bei einer Belastung von 32 kg/m<sup>2</sup> Std.,  
 bei der Lok. 55.4882: 3 % „ „ „ „ 32 kg/m<sup>2</sup> Std.

Im Mittel ist der Unterschied bei  
 Lok. 55.2981 nach Schaubild 3,0%, rechnerisch 3,70%,  
 Lok. 55.4882 „ „ 1,5%, „ „ 1,27%.

Der Unterschied der aus dem Schaubild abgegriffenen und der aus den einzelnen Wirkungsgraden rechnerisch ermittelten Differenz beruht darauf, daß beim Zeichnen des Schaubildes die verstreut liegenden Punkte nicht so sehr berücksichtigt werden, wie bei der spitzten Berechnung.

Auch hier wurden bei gewissen Belastungen zwei Versuche angestellt, deren Ergebnisse sich nahezu decken und einen Beweis für die Genauigkeit der Versuche geben. (Vergl. Lok. 55.2981, Belastung 32,7 kg/m<sup>2</sup> Std. und Lok. 55.4882, Belastung 37,3 kg/m<sup>2</sup> Std.).

Aus sämtlichen Unterschieden zwischen den Wirkungsgraden der Lokomotivkessel mit und ohne Kesselstein wurde der Mittelwert zu rund 2,8% errechnet.

Diese Angaben sind Mittelwerte. An manchen Stellen sitzt der Kesselstein in dickerer, an manchen in dünnerer Schicht.

Aus dem geringen Unterschied der Wirkungsgrade kann ohne weiteres gefolgert werden, daß die Wärmeverluste des Kessels auch nur dieselben geringen Unterschiede aufweisen. Der größte Wärmeverlust ist der Abgasverlust, d. h. der Verlust der in den Rauchgasen fühlbar gebundenen Wärme. In Abb. 4 sind deshalb die mittleren Rauchkammertemperaturen als Funktion der Belastung aufgetragen. Der Temperaturunterschied der Rauchgase nimmt bei allen Lokomotiven zu und beträgt

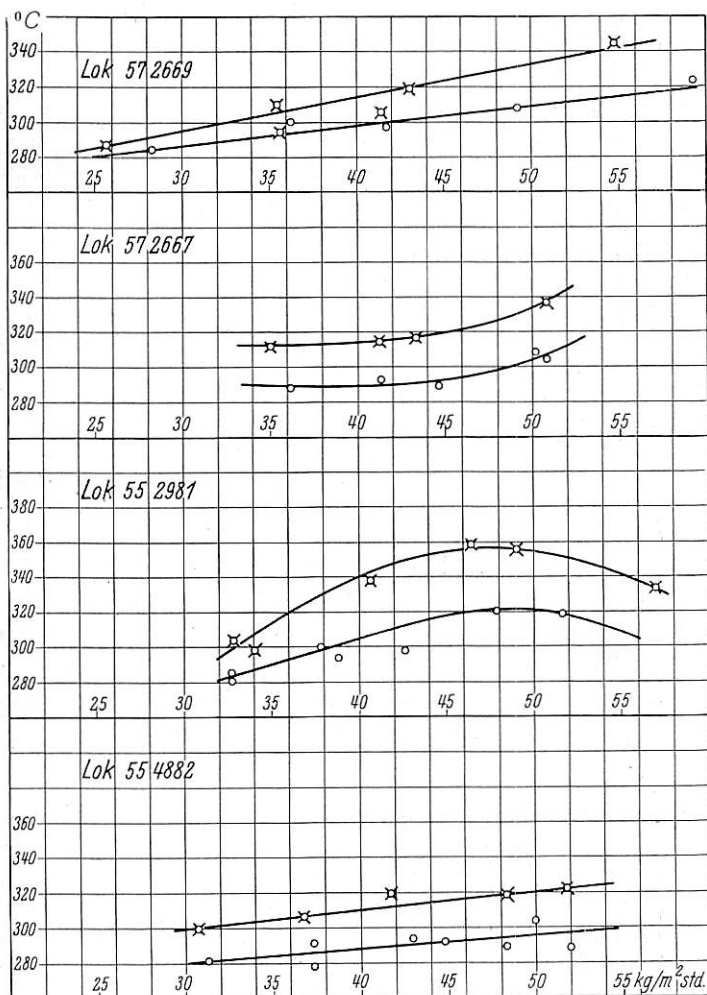


Abb. 4. Rauchkammertemperaturen in Abhängigkeit von der Kesselbelastung.

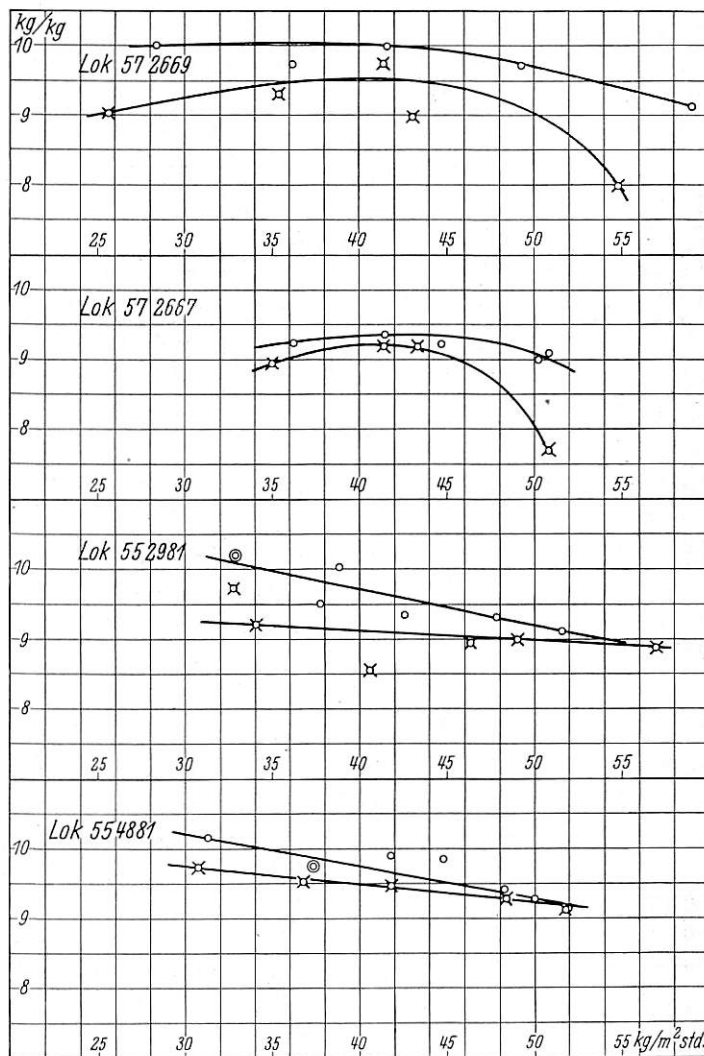


Abb. 5. Rohe Verdampfungsziffer in Abhängigkeit von der Kesselbelastung.

Die Kesselsteinschicht in mm betrug bei

Lokomotive	57.2669	57.2667	55.2981	55.4882
Um den Feuerlochring . . . . .	6 bis 10	6 bis 15	5 bis 10	4 bis 10
Auf der Feuerbuchdecke . . . . .	0,5 bis 1,5	0,3 bis 1,0	0,1 bis 1,0	0,1 bis 1,0
An den Feuerbuchseitenwänden . .	0,5 bis 1,0	0,0 bis 0,5	0,0 bis 0,5	0,0 bis 0,5
Auf den Rauchrohren . . . . .	2,0 bis 4,0	3,0 bis 8,0	1,0 bis 4,0	1,0 bis 3,5
Auf den Siederohren . . . . .	1,0 bis 2,0	2,0 bis 5,0	1,5 bis 2,5	0,5 bis 2,0
Kilometrische Leistung seit letzter Ausbesserung . .	116096	107678	89316	99528

bei der Lok. 57.2669 rund . . . . . 7,8°  
 „ „ „ 57.2667 „ . . . . . 23,4°  
 „ „ „ 55.2981 „ . . . . . 31,7°  
 „ „ „ 55.4882 „ . . . . . 23,5°

im Mittel . . . . . 21,6°

Der Unterschied der Abgasverluste beträgt:

bei der Lok. 57.2669 rund . . . . . 1,29%  
 „ „ „ 57.2667 „ . . . . . 1,74%  
 „ „ „ 55.2981 „ . . . . . 1,60%  
 „ „ „ 55.4882 „ . . . . . 1,77%

im Mittel . . . . . 1,60%

Der Unterschied der Abgasverluste ist nur theoretisch dem Unterschied der Abgastemperatur proportional, praktisch weicht er um ein Geringes davon ab, da die Abgasverluste

nicht nur eine Funktion der Abgastemperatur, sondern auch eine Funktion der Rauchgaszusammensetzung sind, die nicht bei allen Versuchen gleich gehalten werden konnten.

Da jedoch an der Tatsache der Verschlechterung des Wärmedurchgangs durch eine mit Kesselstein versehene Wand nicht zu zweifeln ist, andererseits aber der wirkliche Verlust nicht so groß ist, wie theoretisch zu erwarten war, so läßt diese Betrachtung nur den Schluß zu, daß die Verteilung des Wärmeübergangs von der Kohle an den Dampf sich bei dem kesselsteinhaltigen Kessel anders gestaltet als

Es betrug der Unterschied der Speisewassertemperatur:  
 bei der Lok. 57.2669 rund . . . . . 8,0°  
 " " " 57.2667 " . . . . . 8,0°  
 " " " 55.2981 " . . . . . 5,5°  
 " " " 55.4881 " . . . . . 5,0°  
 im Mittel . . . 6,6°

Die Überhitzungswärme ist bei dem kesselsteinhaltigen Kessel größer, weil die Rauchgase infolge der an den Siederöhren sitzenden isolierenden Kesselsteinchicht nicht soviel

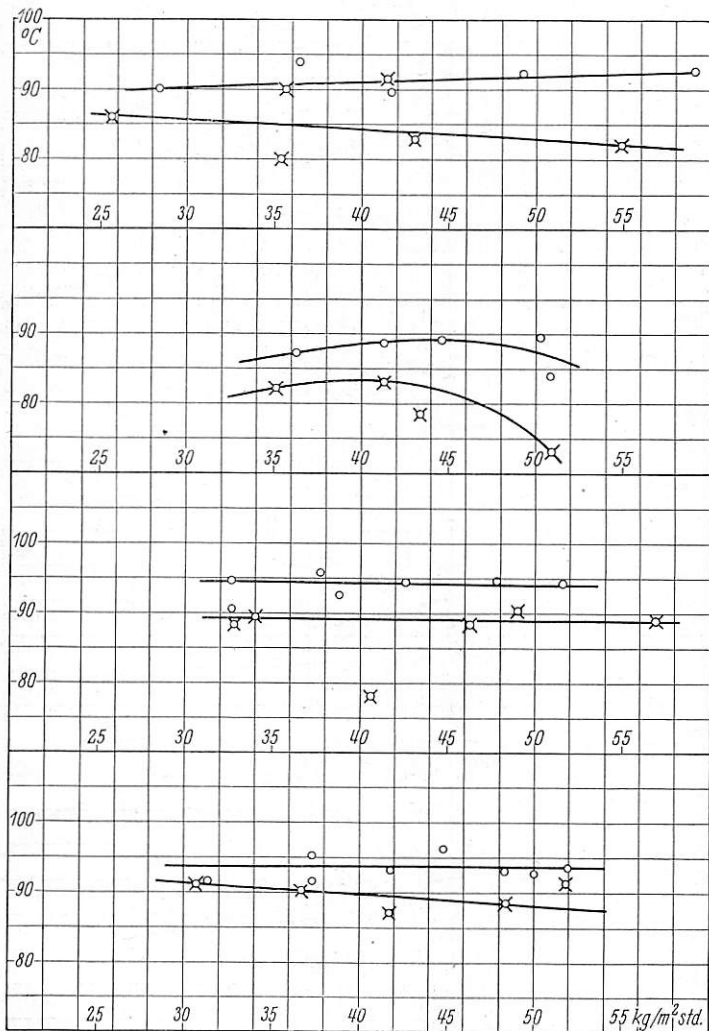


Abb. 6. Speisewassertemperatur in Abhängigkeit von der Kesselbelastung.

bei dem kesselsteinfreien Kessel. Die rohe Verdampfungsziffer ist beim kesselsteinhaltigen Kessel geringer wie aus Abb. 5 zu ersehen ist und zwar:

bei der Lok. 57.2669	um . . . . .	0,699 kg/kg
" " " 57.2667	" . . . . .	0,414 "
" " " 55.2981	" . . . . .	0,692 "
" " " 55.4881	" . . . . .	0,230 "
im Mittel . . .		0,509 kg/kg

Dafür ist aber die einem kg Dampf zugeführte Wärmemenge bei dem kesselsteinhaltigen Kessel größer und verteilt sich auf die Flüssigkeitswärme und die Überhitzungswärme des erzeugten Dampfes.

Die Speisewassertemperatur ist bei dem kesselsteinhaltigen Kessel niedriger (Abb. 6), da auch der Vorwärmer Kesselsteinansatz besitzt. Das Wasser kommt also kälter in den Kessel. Die Differenz der Flüssigkeitswärme muß ihm erst noch zugeführt werden.

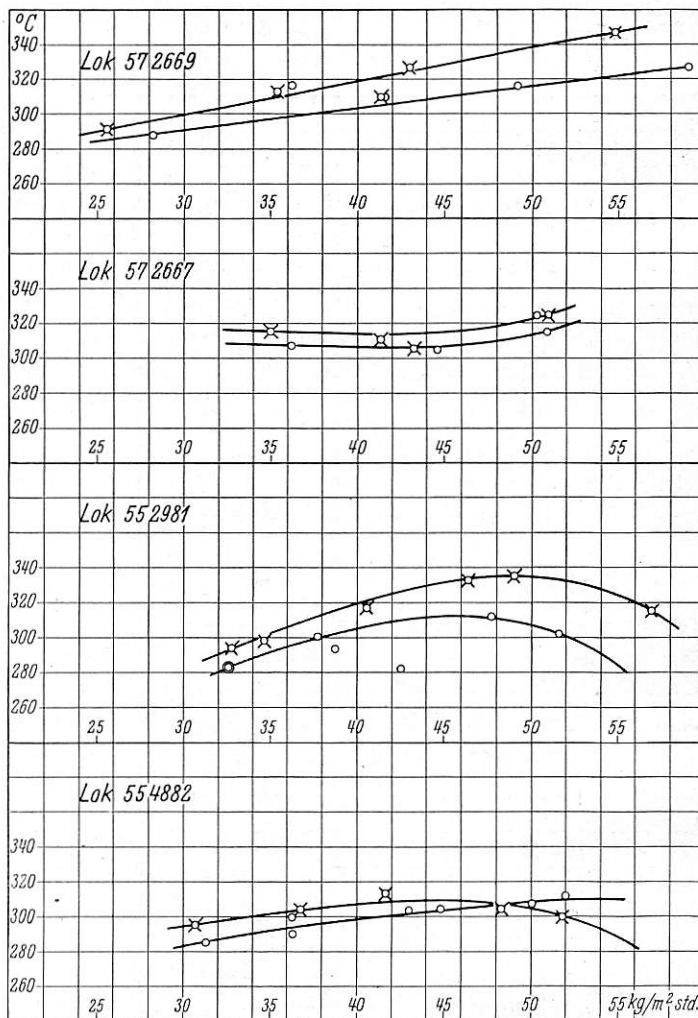


Abb. 7. Heißdampf Temperatur in Abhängigkeit von der Kesselbelastung.

Wärme an das Kesselwasser abgeben, also heißer bleiben und mehr Wärme auf die Überhitzerelemente übertragen Abb. 7.

Es beträgt der mittlere Temperaturunterschied des Heißdampfes:

bei der Lok. 57.2669	rund . . . . .	14°
" " " 57.2667	" . . . . .	8°
" " " 55.2981	" . . . . .	20°
" " " 55.4882	" . . . . .	6°
im Mittel . . .		12°

Durch diese Mehraufnahme von Wärme durch den Dampf im kesselsteinhaltigen Kessel wird die um 0,509 kg/kg schlechtere Verdampfung wieder soweit ausgeglichen, daß bei der Wirkungsgradberechnung tatsächlich nur noch ein mittlerer Unterschied von rund 2,8% bestehen bleibt.

Für einige Versuche wurde die gesamte Kesselbilanz aufgestellt. Die einzelnen Bilanzen lassen erkennen, daß der

Verlust durch Unverbranntes in den Rückständen (Lösch-, Durchfall, Rückstände) recht beträchtlich ist, mit zunehmender Kesselbelastung steigt und hauptsächlich durch die Raucherlöschungen ungünstig beeinflusst wird. Im allgemeinen bewegt sich der Wärmeverlust in den Rückständen auf Grund vorliegender Versuchsergebnisse zwischen 4 bis 8%, wobei der niedrige Wert geringerer Kesselbelastung, der hohe Wert stärkerer Kesselbelastung entspricht. Die Abgasverluste bewegen sich in den Grenzen von 14 bis 18%.

Der Verlust durch Strahlung, Leitung und Berührung wurde wie üblich als Restglied ermittelt und bewegt sich in den Grenzen von 2 bis 4%. Die Verluste durch Unverbranntes, die auf einer unvollkommenen Verbrennung und einer Bildung von CO und H<sub>2</sub> beruhen und ziemlich gering sind, wurden nicht besonders ermittelt, sondern sind, falls sie aufgetreten sind, im Restglied mit enthalten.

Zum Schluß soll noch untersucht werden, wie hoch sich der Wärmeverlust durch Kesselsteinbildung in Geldeswert ausdrücken läßt.

Da die Kesselsteinschicht nur kurz vor der inneren Untersuchung des Kessels den Unterschied der Kesselwirkungsgrade von 2,8% verursacht, und bei einem gereinigten Kessel der Unterschied = 0 ist, so darf bei der Kohlenersparnis während der Gesamtzeit nur mit der Hälfte von 2,8%, also mit 1,4% gerechnet werden. Beträgt der mittlere Wirkungsgrad eines kesselsteinfreien Kessels rund 80%, so verhält

sich der Kohlenverbrauch umgekehrt wie 80:(80 - 1,4) also wie 1:1,0178.

Die Ersparnisse an Brennstoffkosten, die mit einem kesselsteinfreien Kessel jährlich erzielt werden können, sind aus nachstehender Tabelle ersichtlich (Kohlenpreis 20,33 *R.M./t*).

Lokomotivgattung	Jährlicher Kohlenverbrauch in t	Ersparnis in t	Ersparnis in <i>R.M.</i>
G 10	900	16,0	325
G 8 <sup>1</sup>	750	13,35	272

Aus dieser Betrachtung bleibt die Schlußfolgerung zu ziehen, ob man Kesselsteinverhütungsmittel im Lokomotivbetrieb anwenden soll, und wie sie sich auswirken. Untersuchungen in dieser Hinsicht sind z. Z. im Gange, da jetzt unter genauer Kontrolle einige Lokomotiven mit Tartracid behandelt werden. Das Ergebnis dieser Versuche kann aber erst in mehreren Jahren bei der nächsten inneren Untersuchung der betreffenden Lokomotiven ausgewertet werden. Zugleich läßt sich dann auch beurteilen, wie die Kesselsteinbildung die werkstattstechnische Unterhaltung der Lokomotiven in den Bahnbetriebswerken und die Ausbesserungskosten in den Ausbesserungswerken beeinflusst. Zum Schluß muß noch erwähnt werden, daß die untersuchten Lokomotiven während ihrer Betriebszeit mit Kesselspeisewasser von rund acht Härtegraden gespeist wurden.

## Die Flammenstrahlung in der Lokomotivfeuerung.

Von Dr. Ing. P. Koeßler, München.

### Einführung.

Der Anteil der Strahlung am Gesamtwärmeübergang in Dampfkesselfeuerungen wird — soweit überhaupt — sehr verschieden angegeben. Der Grund für diesen Mangel liegt darin, daß sich die Forschung erst in den letzten Jahren eingehender mit den Fragen der Strahlung in Feuerungen befaßt hat.

Die ersten Untersuchungen hierüber erstreckten sich nur auf die Strahlungsverhältnisse zwischen der glühenden Kohlschicht auf dem Roste und den Heizflächen. Hierbei wurde angenommen, daß die Flamme selbst und die Feuergase ohne Einfluß auf den Strahlungsübergang seien. Ebensovwenig billigte man der Flamme und den Feuergasen merkbare Strahlungseigenschaften zu. Gerbel\*) hat auf dieser Grundlage die Verhältnisse für innengefeuerten Dampfkessel untersucht und berechnet. Der Lokomotivkessel ist hierbei eingehend behandelt. In dem Beispiel wird errechnet, daß die Strahlung 6,6% des Gesamtwärmeüberganges betrage, während in der Feuerbüchse, für sich betrachtet, 52% des Wärmeüberganges durch Strahlung übertragen würden. Schon diese Berechnungen zeigten also, daß die Lokomotivfeuerbüchse als „Strahlungskessel“ anzusehen sei, eine Bauform, die sich der ortsfeste Kesselbau erst in jüngster Zeit zu eigen gemacht hat.

Die Voraussetzungen über die indifferenten Eigenschaften der Flammen und Feuergase sind aber vollkommen unzutreffend. Nachdem die Experimentalphysik für eine Reihe von Gasen beträchtliches Absorptions- und Strahlungsvermögen nachgewiesen hatte, gelang Nußelt\*\*) der Nachweis einer beachtlichen Wärmeübertragung durch Strahlung heißer Gasgemische auf die Innenwandung von Explosionsbomben.

\*) Die Grundgesetze der Wärmestrahlung und ihre Anwendung auf Kessel mit Innenfeuerung. Berlin: Julius Springer, 1917.

\*\*) Der Wärmeübergang in der Verbrennungskraftmaschine. Z. d. VDI., Bd. 58, S. 361.

Schack\*) gab auf Grund der physikalischen Forschungsergebnisse Rechenverfahren zur Bestimmung der Größe der Gas- und Flammenstrahlung an, die überraschend hohe Werte ergaben. Eine Reihe daraufhin durchgeführter praktischer Versuche an Brennerstrecken und Industrieöfen bestätigten aber die Theorie in vollem Maße.

Schon die rechnerische Erfassung der Strahlungsvorgänge zwischen festen Körpern ist in den meisten Fällen mit größeren Schwierigkeiten verbunden. Diese Schwierigkeiten zeigen sich aber in weit größerem Maße bei der genaueren Betrachtung der Vorgänge an strahlungsdurchlässigen Körpern, also an Flammen oder Gasschichten. Für die praktische Auswertung können daher nur Näherungsverfahren oder durch den Versuch gewonnene Erfahrungswerte verwendet werden. Die Ermittlung solcher Versuchswerte war das Ziel einer Arbeit des Verfassers\*\*). Neben Untersuchungen an ortsfesten Dampfkesselfeuerungen wurden auch Messungen der Flammenstrahlung in der Feuerbüchse einer Lokomotive im gewöhnlichen Betriebe, also während der Fahrt vor dem Zuge vorgenommen. Über die Ausführung dieser Versuche, ihre Ergebnisse und Verwertung soll in folgendem berichtet werden.

Zunächst seien in tunlichster Kürze die wichtigsten Eigenschaften der Wärmestrahlung betrachtet:

Die Größe der Wärmeübertragung durch Strahlung hängt ab von der Größe, der gegenseitigen Lage und den Strahlungseigenschaften der beteiligten Körper oder Flächen. Diese Strahlungseigenschaften seien an Hand der Abb. 1 bis 3 betrachtet: Das linke Bild der Abb. 1 zeigt die spektrale Energieverteilung eines sogenannten „vollkommen schwarzen“ Strahlers bei einer Temperatur von 1200°. Unter die Energie-

\*) Über die Strahlung der Feuergase und deren praktische Berechnung, Strahlung leuchtender Flammen. Z. techn. Physik 1924, S. 267; 1925, S. 530.

\*\*) Über Messungen der Flammenstrahlung in Dampfkesselfeuerungen. Dissertation TH München. (Sonderdruck d. Zeitschr. d. Bayer. Revisionsvereins.)

verteilungskurve des schwarzen Strahlers ist diejenige eines „grauen“ Strahlers bei derselben Temperatur gezeichnet. Dieser Strahler vermag bei derselben Wellenlänge z. B. jeweils nur die Hälfte der Energie des schwarzen Strahlers auszusenden, man sagt deshalb, er besitze den „Schwärzegrad“  $\sigma = 0,5$ . Eine größere Energie, als die des schwarzen Strahlers vermag bei einer bestimmten Temperatur kein Körper auszusenden.

erfolgen kann. Die meisten festen Körper — in unserem Falle also z. B. Feuerbüchswände, glühende Kohlen u. dergl. — weisen glücklicherweise annähernd graue Strahlung auf, so daß die Berechnung ihrer Ausstrahlung bei gegebener Temperatur nach experimenteller Ermittlung ihres Schwärzegrades oder ihrer Strahlungszahl leicht möglich ist.

Die Fähigkeit, Wärmestrahlung aufzunehmen, wird durch das „Absorptionsverhältnis“ eines Körpers bestimmt. Ein schwarz strahlender Körper weist das Absorptionsverhältnis „Eins“ auf, d. h. er absorbiert, wenn er nicht Strahlen aussendet sondern empfängt, die Strahlung jeder Wellenlänge vollständig, wie dies aus dem rechten Bild (Abb. 1) ersichtlich ist. Nach dem Kirchhoffschen Gesetz besteht zwischen dem Absorptionsverhältnis und der Aussendung der Strahlung allgemein folgender Zusammenhang:  $E = A E_s$ , d. h. die Ausstrahlung eines beliebigen Strahlers  $E$  ist gleich dem Produkt aus Absorptionsverhältnis  $A$  und schwarzer Strahlung bei derselben Temperatur  $E_s$ . (Das Absorptionsverhältnis ist also auch gleich dem Schwärzegrad.) Unser Graustrahler wird also bei jeder Wellenlänge 50% der auftreffenden Energie absorbieren, wenn er selbst bestrahlt wird (s. Abb. 1).

Bei den strahlungsundurchlässigen Körpern spielen sich die Strahlungs- und Absorptionsverhältnisse nur in den äußersten Oberflächenschichten ab. Die Energie, die bei Bestrahlung nicht absorbiert wird, wird wieder durch Reflexion in den Raum gesendet. Wesentlich schwieriger wird die Betrachtung bei strahlungsdurchlässigen Stoffen. Wenn ein solcher bei irgendeiner Wellenlänge Strahlungsenergie aussendet, so beteiligen sich an diesem Vorgange auch die in seinem Innern befindlichen Teilchen; da aber nach dem Kirchhoffschen Gesetz mit Strahlungseigenschaften auch stets Absorptionseigenschaften verbunden sind, so wird die aus dem Innern eines Körpers kommende Strahlung bis zum Austritt aus der Oberfläche bereits zum Teil wieder absorbiert. Aus alledem folgt, daß die Gestalt eines strahlungsdurchlässigen Körpers von wesentlichem Einfluß auf Strahlungsvermögen und Absorptionsverhältnis ist.

Eine besondere Eigenschaft der Gase ist es, nur in schmalen Wellenlängenbereichen zu strahlen und zu absorbieren; bei den anderen Wellenlängen verhalten sie sich indifferent. Von den in technischen Feuerungen vorkommenden Gasen weisen nur Kohlensäure und Wasserdampf (in geringem Maße auch Kohlenoxyd) meßbare Strahlungseigenschaften auf. In Abb. 2 ist die Verteilung der Strahlung und der Absorption einer Kohlensäureschicht über die einzelnen Wellenlängen dargestellt. Ist die Schicht unendlich dick, so absorbiert sie in den der Kohlensäure eigentümlichen Wellenlängenbereichen vollständig; damit erreicht aber auch die Strahlung in diesen Wellenlängenbereichen die Größe der schwarzen Strahlung bei derselben Temperatur (vergl. Abb. 2 links). Die Abhängigkeit der Strahlung von der Schichtdicke ist aber nicht für jeden Wellenlängenbereich gleich groß; so sinkt Strahlung und Absorption für den Streifen bei  $2,7 \mu$  mit der Schichtdicke deutlich, während sich in dem Streifen bei  $4,3 \mu$  selbst bei nur  $0,5 m$  Dicke eine Abnahme noch nicht darstellen läßt. Wieder eine andere Art der Strahlungsverhältnisse tritt uns bei der Betrachtung der in der leuchtenden Flamme

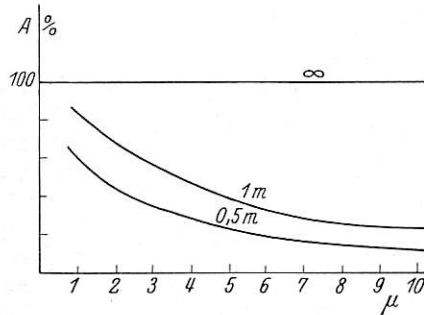
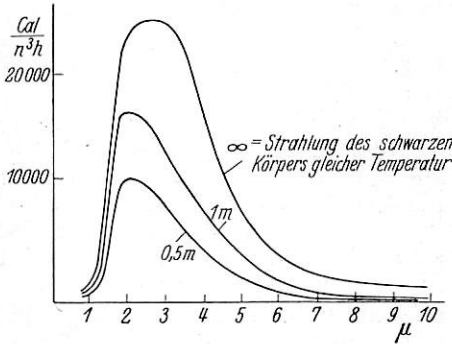


Abb. 1.

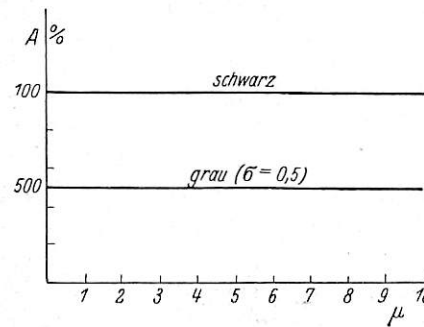
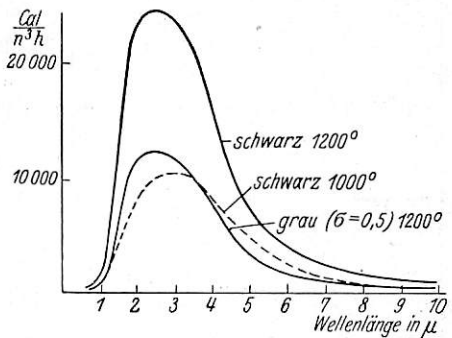


Abb. 2.

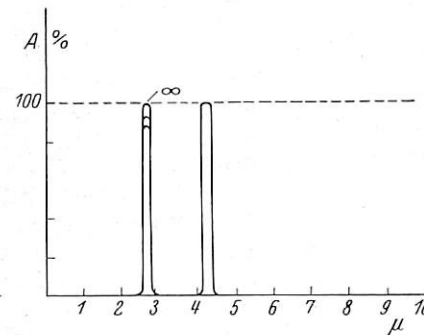
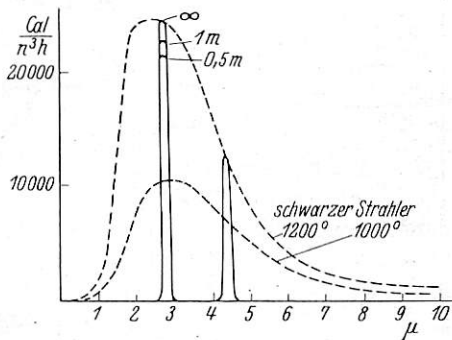


Abb. 3.

Abb. 1 bis 3: Darstellung der Emission (links) und Absorption (rechts) abhängig von der Wellenlänge und zwar 1. beim absolut schwarzen Körper, 2. bei Kohlensäuregas verschiedener Schichtstärke (0,5 m, 1 m und unendlich) und 3. bei Rußsuspension verschiedener Schichtstärke (0,5 m, 1 m und unendlich). Die Temperatur ist, wo nicht ausdrücklich anders vermerkt, in allen drei Fällen zu  $1200^{\circ} C$  angenommen.

Das Absorptionsvermögen der Rußsuspension ist  $a = 2 m^{-1}$ .

Die Form der dargestellten Energieverteilungskurven geht aus dem für den schwarzen Strahler geltenden Planckschen Strahlungsgesetz\*) hervor. Der Flächeninhalt unter den Kurven stellt die je Flächeneinheit der strahlenden Fläche insgesamt ausgesandte strahlende Wärmeenergie  $E$  dar, deren Berechnung in einfacher Weise in Abhängigkeit von der Temperatur aus dem Stephan-Boltzmannschen Gesetz\*\*)

\*)  $I = C_1 \frac{\lambda^{-5}}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}$ ;  $J =$  Intensität  $\frac{cal}{m^2h}$ ,  $\lambda =$  Wellenlänge.

\*\*)  $E = 4,96 \left(\frac{T}{100}\right)^4 Cal/m^2h$ ;  $T$  ist die „absolute“ Temperatur.

vorhandenen Rußsuspensionen entgegen. Diese strahlen, wie graue oder schwarze Körper, bei allen Wellenlängen. Das Absorptionsverhältnis einer Schicht eines derartigen „trüben Mediums“ ist aber von der Wellenlänge abhängig (Abb. 3 rechts). Bei unendlich dicker Schicht wird auch hier selbstverständlich das Absorptionsvermögen 1 bei jeder Wellenlänge erreicht. Die Verteilung der Ausstrahlung über die einzelnen Wellenlängen ist in Abb. 3 links wieder zur Darstellung gebracht.

Die Reflexion der Gase und leuchtenden Flammen ist sehr klein, die nicht absorbierte Energie durchsetzt demnach die absorbierenden Schichten.

In einer leuchtenden Flamme sind strahlende Gase und Ruß- und Flugascheteilchen vorhanden; die Strahlungs- und Absorptionseigenschaften dieser Einzelbestandteile wirken also zusammen. Doch ist hierbei zu beachten, daß die schwarze Strahlung bei der betreffenden Temperatur nie überschritten werden kann.

Wesentlich einfacher als die Theorie und die daraus folgende Berechnung gestaltet sich die Messung der Gesamtstrahlung der Flamme mit einem geeigneten Gerät.

### Messungen.

Die Messung ausgestrahlter Wärmeenergie erfolgt durch die Bestimmung der Wärmefaufnahme durch einen geeigneten Empfänger. Soll eine solche Messung richtig sein, dann muß der Empfänger die Strahlung bei jeder Wellenlänge gleichmäßig absorbieren. Er muß also entsprechend unserer oben getroffenen Begriffsbestimmung „grau“ oder „schwarz“ sein (Abb. 1 rechts). Ferner muß jede Störung durch andersartige Wärmezufuhr (Wärmeleitung, Wärmeströmung) ausgeschaltet werden.

Messungen auf der fahrenden Lokomotive erfordern außerdem ein kräftiges, gegen Stöße unempfindliches und kleines Meßgerät. Die Abmessungen des Gerätes sind insbesondere im Hinblick auf die notwendige Größe der am Stehkessel der Lokomotive anzubringenden Schaulöcher von Bedeutung. Derartige Schaulöcher sind zur Vornahme der Messungen unbedingt erforderlich; sie müssen aber klein gehalten sein, um Störungen durch Eintreten von Falschluff zu verhindern.

Zu den Messungen wurde das in Abb. 4 dargestellte Gerät benutzt. (Gebaut nach Angaben des Verfassers von der Firma M. Sendtner, München.) Der Durchmesser der Empfängerfläche dieses Gerätes beträgt nur 20 mm, die gleiche Größe wurde für die Schaulöcher vorgesehen.

Das Meßgerät besteht aus zwei vollständig gleichen Empfängern, die in je einem starkwandigen Messingrohr (A und B) untergebracht sind. Die Rohre sind durch ein Zwischenstück (C) verbunden. Jeder Empfänger enthält zehn Thermo-elemente, die auf einer kreisrunden, von einem Hartgummirohr getragenen Platte aus demselben Stoff ruhen. Die zehn Thermo-elemente jedes Empfängers sind symmetrisch hintereinandergeschaltet. Die Schaltdrähte liegen in dem Zwischenstück C. Unter gewöhnlichen Umständen wird jeder der beiden Empfänger dieselbe Temperatur besitzen; an den Klemmen des Gerätes wird dementsprechend die EmK Null vorhanden sein. Bringt man aber das Gerät vor eine strahlende Fläche und schirmt man hierbei den einen der beiden Empfänger derart gegen die Bestrahlung ab, daß die sonstige Wärmezufuhr nicht gehindert wird, so ergibt sich für die zwei Empfänger eine verschieden große Wärmezufuhr, die sich in verschiedener Temperatur der Empfänger äußert und durch die auftretende EmK an den Geräteklemmen gemessen werden kann. In Anbetracht der Verschiedenheit der Versuchsbedingungen und zur Gewinnung weiterer Erfahrungen wurde der Strahlungsschutz für den einen Empfänger nicht

fest mit dem Meßgerät verbunden, sondern je nach den örtlichen Bedingungen eigens angeordnet.

Das Gerät wurde in mehreren Versuchsreihen geeicht und sodann zunächst zu Messungen an ortsfesten Dampfkessel-feuerungen verwendet.

Als Versuchslokomotive wurde die Güterzuglokomotive bayerischer Bauart, Gattung 45 16, gewählt. Diese Wahl war in erster Linie durch das Bestreben nach tunlichst einfachen Versuchsbedingungen bedingt: Lokomotiven dieser Gattung dienen hauptsächlich zur Förderung von Durchgangsgüterzügen; es war also mit größeren Haltepunktabständen und mittleren Geschwindigkeiten zu rechnen. Die Versuche zeigten aber, daß bei entsprechender Einrichtung ihre Durchführung auch auf Schnellzuglokomotiven durchaus möglich ist.

An jeder Meßstelle (Abb. 5) war je ein Stehbolzen durch ein starkwandiges Kupferrohr r von 20 mm lichter Weite ersetzt, so daß ein Schauloch entstand. Da nur ein Meßgerät vorhanden war, wurden die jeweils nicht benutzten Öffnungen durch einen passenden Stift verschlossen. Unter jedem Schauloch wurde eine Stütze zur Befestigung des Meßgerätes M angeordnet. Zwischen Meßgerät und Kesselabdeckblech wurde eine mit Aluminiumfolie überzogene kleine Holztafel (H) angeordnet, die an der Stelle des Schauloches ebenso wie das Abdeckblech mit einem entsprechenden runden Ausschnitt (20 mm  $\varnothing$ ) versehen war. Holz wegen seiner geringen Wärmeleitfähigkeit gewählt, um an der Blendenoberfläche eine möglichst niedrige Temperatur zu erhalten; blanke Aluminiumfolie zeichnet sich durch eine sehr niedrige Strahlungszahl aus (5 bis 7% der schwarzen Strahlung). Niedrige Temperatur und kleine Strahlungszahl ergeben zusammen eine kleine Eigenstrahlung der Blende.

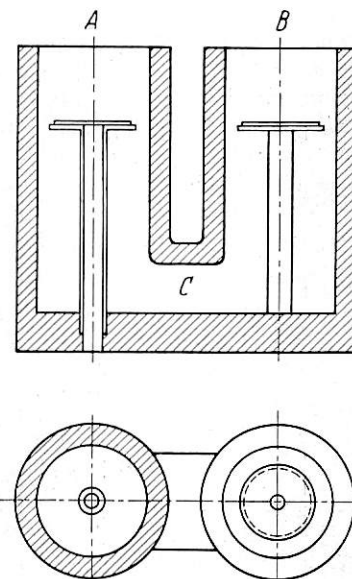


Abb. 4. Strahlungsmeßgerät, Schnittskizze.

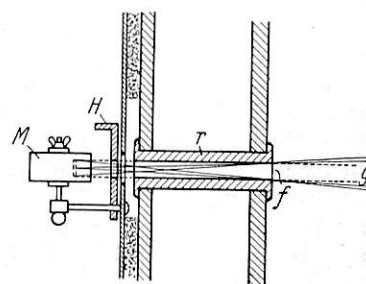


Abb. 5. Anordnung einer Meßstelle an der Lokomotive.

Der eine Empfänger des Meßgerätes war durch das Schauloch hindurch in das Innere der Feuerbüchse gerichtet, während sich dem anderen Empfänger gegenüber lediglich die aluminiumüberzogene Blendenfläche befand. Beide Empfänger nehmen also zunächst die gleiche Umgebungstemperatur an. Der in der Feuerbüchse herrschende Unterdruck erzeugt eine Luftströmung durch das Schauloch nach innen, so daß Störungen durch Heißluftströmung gegen den gegenüberliegenden Empfänger ausgeschlossen sind. Die Strahlung der Blendenfläche nach dem anderen Empfänger ist vernachlässigbar klein. Es sind daher die oben geforderten Versuchsbedingungen (wenigstens mit genügender Annäherung\*) erfüllt.

\* Bei den übrigen Versuchen konnten sie in noch weitgehendem Maße verwirklicht werden.

Abb. 6 zeigt Stehkessel und Feuerbüchse der Versuchslokomotive und die Lage der drei (im übrigen gleichartigen) Meßstellen.

Betrachten wir nun nochmals Abb. 5. Jeder Punkt des nicht abgeschirmten Empfängers wird von einem praktisch gleich großen Kegelstumpf  $g$  bestrahlt, den der Blickfeldkegel dieses Punktes aus den in der Feuerbüchse befindlichen Gas- und Flammenschichten ausschneidet. Es läßt sich zeigen, daß jede beliebige, hinter der Schaulochöffnung  $f$  stehende strahlende Fläche  $F$  auf den Empfänger dieselbe Wirkung ausübt, als ob die Fläche von  $f$  selbst mit der nämlichen Intensität strahle. Die gedachte Fläche  $F$  muß nur mindestens so groß sein, als die Projektion der Schaulochöffnung  $f$  auf die Fläche  $F$  vom Empfänger aus. Wir haben nunmehr nur die gemessene Strahlung zu vergleichen mit der leicht berechenbaren Strahlung einer absolut schwarzen Fläche an der Stelle von  $f$  bei der Temperatur der strahlenden Gase und Flammen. Das Verhältnis dieser beiden Strahlungen ist bereits gleich dem Absorptionsverhältnis oder dem Schwärzgrad der untersuchten Gas- und Flammenschicht. In den meisten Fällen werden diese Schichten nicht homogen sein; in diesem Falle ergibt die Messung einen Mittelwert, dessen Größe in der Hauptsache durch die dem Meßgerät näher gelegenen Schichten beeinflusst wird, während die tiefer liegenden Schichten weniger wirksam werden.

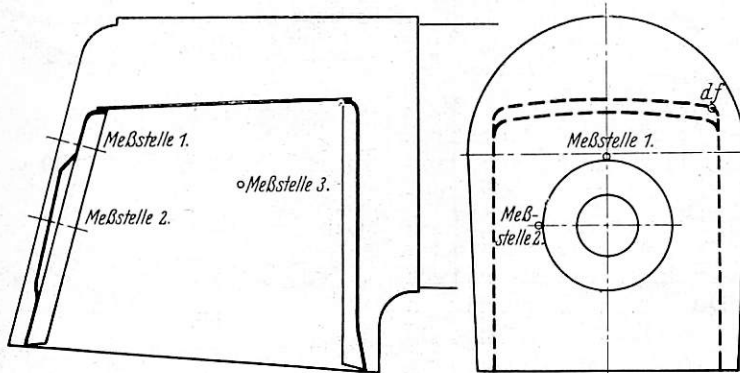


Abb. 6. Schnitt durch die Feuerbüchse der Versuchslokomotive, Lage der drei Meßstellen.

Zwei wichtige Punkte sind aber noch zu berücksichtigen, nämlich

1. der Einfluß der heißen Schaulochwandungen und
2. die Strahlung der gegenüber dem Meßgerät liegenden Feuerbüchswand.

1. Die Innenwandung des Schaurohres  $r$  strahlt ebenfalls nach dem Empfänger. Zur Ermittlung der Größe dieser Strahlung müssen die Größen- und Lageverhältnisse, die Wandtemperatur und die Strahlungszahlen von Wand und Empfänger bekannt sein. Die letztere kennen wir bereits aus anderen Berechnungen und Versuchen, diejenige der Schaurohr-Innenwand wurde durch einen Vorversuch bestimmt. Hierzu wurde ein ähnliches Rohrstück verwendet, das mit einer elektrischen Heizwicklung und einem dicht unter der Innenfläche eingebauten Thermoelement zur Messung der Oberflächentemperatur versehen war. Die Innenwandung wurde entsprechend der Berußung der Schauröhre geschwärzt. Das Meßgerät wurde (mit der notwendigen Blende) vor diesem Versuchsrohr aufgebaut. Der Versuch ergab eine Eigenstrahlungszahl der Rohr-Innenwand von 3,9.

Während beim Vorversuch die Innenwandtemperatur durch das erwähnte Thermoelement gemessen wurde, konnte man sie bei den Lokomotivversuchen selbst aus dem Dampfdruck ableiten. Es zeigt sich nämlich, daß infolge der vorzüglichen Wärmeleitung des Kupfers der Temperaturabfall innerhalb der Schaurohrwandung vernachlässigbar klein ist.

Die Strahlung der Schaurohr-Innenwand auf den Empfänger ist (infolge der hohen Strahlungszahl und Temperatur) beträchtlich. Sie ist von der gemessenen Strahlung in Abzug zu bringen.

2. Solange die Flammenstrahlung nicht die Werte schwarzer Strahlung erreicht, wird das Absorptionsverhältnis der Flammenschicht stets kleiner als 1 sein. Daraus folgt, daß auch von der dem Gerät gegenüberliegenden Feuerbüchswandung noch ein Teil der Strahlung auf den Empfänger trifft. Auch dieser Anteil würde das Meßergebnis fälschen.

Es läßt sich aber zeigen, daß auch in diesem Falle eine Ermittlung des Schwärzgrades in einfacher Weise möglich ist.

Es ergibt sich angenähert:  $A = \frac{Q - Q_f}{Q_{sT} - Q_f}$ . Dabei bedeutet  $Q$  die durch das Meßgerät gemessene, übertragene Wärmemenge,  $Q_f$  die Wärmemenge, die von der Feuerbüchswand unter gleichen Verhältnissen, aber in Abwesenheit von Gasen und Flammen auf den Empfänger des Gerätes gestrahlt würde, und  $Q_{sT}$  die von einem schwarzen Strahler von der Temperatur des Gases (oder der Flamme) auf das Meßgerät gestrahlte Wärmemenge.  $Q_f$  wird bei bekannter Strahlungszahl und Temperatur der Feuerbüchswand gerechnet, oder durch Sonderversuch bestimmt;  $Q_{sT}$  wird aus der Gas- (oder Flammen-)temperatur berechnet.

Zu allen Bestimmungen des Schwärzgrades ist die Kenntnis der wahren Temperatur des Gases oder der Flamme notwendig. Die Bestimmung dieser Temperatur ist in den meisten Fällen mit Schwierigkeiten verbunden. Die Messung mit Thermolementen u. dgl. scheidet wegen der erheblichen Abstrahlungs- und Ableitungsfehler aus. Die Verwendung von Durchsaugepyrometern liefert zwar ausgezeichnete Werte, läßt sich aber bei der Lokomotivfeuerung schwer durchführen. Nun zeigt sich aber, daß bei einigermaßen kräftig leuchtenden Flammen die Meßfehler bei Temperaturmessung mit handelsüblichen, optischen Pyrometern (deren Verwendung als Strahlungsmeßgerät wegen der stark selektiven Absorption nicht möglich ist) in erträglichen Grenzen bleiben. Am besten geeignet sind sogenannte Teilstrahlungs-pyrometer, das sind Geräte, welche die Temperatur eines Körpers aus der von ihm bei einer bestimmten Wellenlänge ausgesendeten Energie zu bestimmen gestatten. Optische Pyrometer haben besonders auch den Vorteil einfacher Handhabung. Zu den Versuchen wurde ein Glühfadenpyrometer nach Holborn-Kurlbaum (Siemens & Halske) verwendet. Bei den Messungen wurde die vom Strahlungsmeßgerät beobachtete Flammengegend meist kurzzeitig durch die halb oder ganz geöffnete Feuertür mit dem Pyrometer anvisiert.

Die Messungen wurden bei fahrplanmäßigen Fahrten mit Durchgangsgüterzügen auf der Strecke München—Ingolstadt—Treuchtlingen vorgenommen. Da nur ein Meßgerät verfügbar war, wurden die Messungen an den Stellen 1, 2 und 3 bei verschiedenen Meßfahrten, also unter nicht ganz gleichen Versuchsbedingungen, aufgenommen. Es war auch nicht möglich, die Temperaturmessungen jeweils gleichzeitig mit den Strahlungsmessungen vorzunehmen. Um hierdurch auftretende Fehler möglichst auszugleichen, wurde mit Mittelwerten aus Versuchen, die unter tunlichst ähnlichen Bedingungen gewonnen waren, gerechnet.

Schon im Verlauf der Versuchsfahrten fiel die starke Abhängigkeit der Ausstrahlung der Flamme vom jeweiligen Zustand des Feuers auf. Regelmäßig konnte das Maximum der Strahlung unmittelbar nach der Aufgabe frischen Brennstoffes festgestellt werden. Mit fortschreitendem Ausbrennen sinkt die Strahlung beträchtlich. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß die Flamme nach dem Aufgeben des Brennstoffes reich an festen, glühenden Bestandteilen und an strahlenden Gasen (besonders Wasserdampf) ist, wobei wir



den ersteren den überwiegenden Einfluß zusprechen müssen. Abb. 7 zeigt einen Ausschnitt aus einer fortlaufenden Aufschreibung über die gemessenen Strahlungswerte. Der rasche Anstieg der Strahlung nach dem jedesmaligen Feuern und der darauffolgende Abfall ist deutlich sichtbar. Nach der zweiten, dargestellten Brennstoffzufuhr wurde (etwa 9.45 Uhr) der Regler geschlossen. Die leuchtende Flamme verschwand und es blieb nur mehr die Strahlung der heißen Gase und der gegenüberliegenden Feuerbüchswand.

In der nachfolgenden Zusammenstellung sind die Versuchswerte und das hieraus für die Flamme errechnete Absorptionsverhältnis für jede Versuchsfahrt aufgeführt. Dabei sind jeweils für frisch aufgegebenen Brennstoff und für durchgebranntes Feuer die Mittelwerte aus den Versuchen angegeben. Das Absorptionsverhältnis A ist nach der hierfür oben angegebenen Formel errechnet, dabei ist als Flammentemperatur der in der Zusammenstellung ebenfalls angegebene Mittelwert der gemessenen Temperaturen  $t$  und als Strahlungszahl der Feuerbüchsen-Innenwand diejenige des schwarzen Kupferoxyds (3,86) angenommen. Die Temperatur der Feuerbüchsen-Innen-

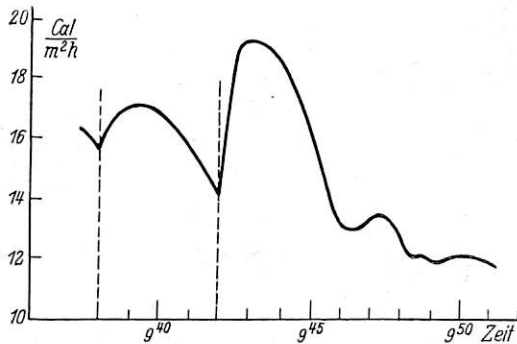


Abb. 7. Ausschnitt aus einer fortlaufenden Aufschreibung der Strahlungsmessung beim Lokomotivversuch.

Zusammenstellung.

Meßstelle	Versuchsfahrt	Belastung $t$	Mittelwerte aller Versuche					
			Frisches Feuer			Durchgebranntes Feuer		
			E Cal/m²h 1000	$t$ °C	A %	E Cal/m²h 1000	$t$ °C	A %
1	21. 4. Ing/Mü	867	161,5	1200	68,7	106,2	1100	59
1	23. 4. „	778	190	1200	81,2	125,5	1100	70,2
2	21. 4. Tr/Ing	867	182	1200	77,7	105,7	1100	58,7
2	23. 4. Ing/Mü	778	178	1200	76	115,7	1100	64,7
3	22. 4. „	652	213	1300	70	65	1050	41,1

wände wurde gleich der Dampftemperatur angesetzt, welche letztere aus dem Dampfdruck abgeleitet werden konnte. Die angegebenen Werte sind bereits durch Abzug der Strahlung des Schauhohres auf den Empfänger berichtigt.

Die Temperaturbestimmung der Flamme mit dem optischen Pyrometer ist zweifellos bei durchgebranntem Feuer, also schwächer leuchtender Flamme ungenau; die wahre Temperatur liegt höher als die gemessene. Es muß also damit gerechnet werden, daß die unter der Spalte „Durchgebranntes Feuer“ stehenden Werte von  $t$  größer und damit die Werte von A entsprechend kleiner sind. Der Unterschied gegenüber „Frischem Feuer“ ist dann noch größer.

Die Größe der Zugbelastung bei den einzelnen Versuchsfahrten ist angegeben; ein Einfluß auf die Ergebnisse war noch nicht festzustellen. Die Fahrgeschwindigkeit lag im allgemeinen zwischen 30 und 50 km/h.

Von besonderem Interesse ist die Feststellung, daß die Strahlungswerte für „Frisches Feuer“ im Durchschnitt bei 75% der Strahlung des absolut schwarzen Körpers liegen. Hieraus kann für schnellfahrende Lokomotiven mit Sicherheit geschlossen werden, daß infolge der häufigen Brennstoffaufgabe und der starken Feueranfischung mit Dauerdurchschnittswerten in dieser Größe gerechnet werden kann.

Anwendung und Berechnung.

Bei den eben beschriebenen Messungen wurde die Ausstrahlung und das Absorptionsverhältnis eines kegelförmigen Ausschnittes aus den Flammen in der Feuerbüchse auf den in der Spitze dieses Kegels gelegenen Empfänger bestimmt. Die Schichtdicke der dabei zur Wirkung gelangten Flammenschicht kann annähernd gleich der Länge (Meßstelle 1 und 2) oder der Breite (Meßstelle 3) der Feuerbüchse in der Beobachtungsrichtung angenommen werden.

Es ist zunächst interessant, die Messungen an der Lokomotivfeuerung mit denen zu vergleichen, die in gleicher Weise an einer Wanderrostfeuerung angestellt wurden. Bei diesen

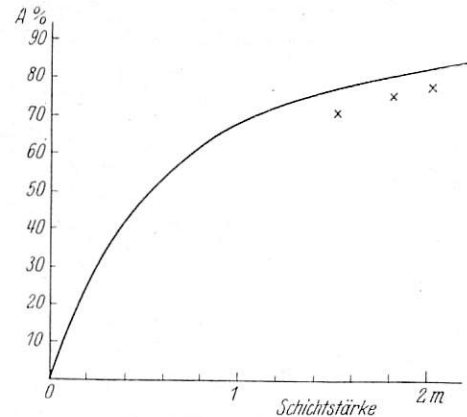


Abb. 8. Abhängigkeit der Absorption von der Schichtstärke der Flamme, gewonnen an der ortsfesten Feuerung.  
× Mittelwerte aus den Lokomotivversuchen.

letzteren war es möglich, die Dicke der wirkenden Feuer-schicht durch eine verschiebbare, gekühlte Blende wahlweise abzugrenzen und so die Abhängigkeit der Strahlung von der Schichtstärke durch den Versuch zu ermitteln. Diese Abhängigkeit weicht nämlich hier von der theoretisch zu erwartenden erheblich ab. Die Abweichung rührt von der Inhomogenität des untersuchten Flammenbündels her, das aus mehreren Einzelflammen besteht, die untereinander von weniger stark strahlenden Schichten getrennt sind\*). Abb. 8 zeigt die Ergebnisse an der Wanderrostfeuerung, gemessen etwa 40 cm über der Brennstoffschicht. Man sieht hieraus, daß von etwa 2 m Schichtstärke an der Anstieg mit wachsender Schichtdicke nur mehr langsam erfolgt. Die mittleren Schichtstärken der Flammen bei den Lokomotivversuchen betragen bei Meßstelle 1 etwa 1,8 m, Stelle 2 2,0 m und Stelle 3 1,5 m; die dort gefundenen Mittelwerte des Absorptionsverhältnisses sind in Abb. 8 bei den entsprechenden Schichtstärken eingetragen. Sie fügen sich gut in die Meßergebnisse an der ortsfesten Feuerung ein. Dabei ist zu bedenken, daß die Messungen an der Lokomotive nur an Stelle 2 in etwa gleicher Höhe über dem Rost, wie bei der ortsfesten Feuerung, vorgenommen wurden, während die Meßstellen 1 und 3 etwa 90 cm über der Brennstoffschicht liegen. Nach den Erfahrungen an der

\*) Bei homogenen Flammen (Kohlenstaub-, Gasflammen) ist eine größere Annäherung an die Theorie wahrscheinlich. Bei der Lokomotivfeuerung hingegen müssen wir bei Betrachtung jeder Strahlungsrichtung mit Abhängigkeiten entsprechend Abb. 8 rechnen.

Wanderrostfeuerung nimmt die Strahlung mit wachsendem Abstand vom Roste langsam ab.

Eine ähnliche Linie für die Abhängigkeit des Absorptionsverhältnisses von der Schichtdicke, wie sie auf dem Wege des Versuches für die leuchtende Flamme ermittelt und in Abb. 8 dargestellt ist, können wir nach den Angaben von Schack auch für bestimmte Verhältnisse für heiße Gase rechnen. Dabei darf aber nicht vergessen werden, daß die Gase — im Gegensatz zur Rußsuspension — wie bereits erwähnt, nur in einigen wenigen Wellenlängenbereichen absorbieren, in den übrigen Bereichen aber jede Strahlung unverändert durchtreten lassen. Es muß daher unterschieden werden zwischen dem Absorptionsvermögen eines Gaskörpers innerhalb eines absorbierenden Wellenlängenbereichs (das vielfach bereits bei geringer Schichtstärke den Wert 1 erreicht) und dem Gesamtabsorptionsverhältnis, d. h. dem Bruchteil der Gesamtenergie einfallender Strahlung, der im ganzen von dem Gaskörper zurückgehalten wird. (Dieses Absorptionsverhältnis kann auch bei unendlicher Schichtdicke den Wert 1 nicht erreichen.)

Abb. 9 zeigt die für eine Gasschicht von 15% CO<sub>2</sub>- und 6% H<sub>2</sub>O-Gehalt errechneten Absorptionslinien. Es fällt zunächst auf, daß für verschiedene Temperaturen verschiedene

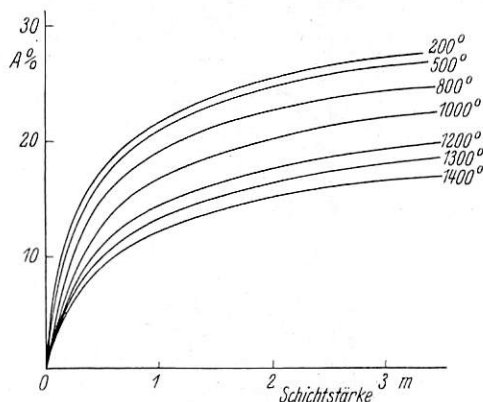


Abb. 9. Abhängigkeit der Gesamtabsorption einer Gasmischung von 15% CO<sub>2</sub> und 6% H<sub>2</sub>O-Gehalt von der Schichtstärke des Gases und der Temperatur (gerechnet).

Linien gezeichnet sind. Dies hat folgenden Grund: Die Lage der Absorptionsbänder (vergl. Abb. 2) und ihr Absorptionsvermögen sind unveränderlich. Dagegen ändert sich die Intensitätsverteilung jeder Strahlung mit der Temperatur. Das Maximum der Intensität wandert mit steigender Temperatur nach den Bereichen der kürzeren Wellenlängen. Dies zeigt ein Blick auf Abb. 1 und 2 (links), in die unter die Intensitätskurve für 1200° noch diejenige für 1000° punktiert eingetragen ist. Es wird also von der Strahlung z. B. einer „grauen“ oder „schwarzen“ Fläche von 1200° durch unsere Gasschicht ein anderer Anteil absorbiert, als von der Strahlung derselben Fläche bei 1000°\*).

Diese Überlegungen zeigen uns aber auch, daß wir bei der Darstellung des Absorptionsverhältnisses der Flamme (Abb. 8) ebenfalls für verschiedene Temperaturen verschiedene Linien erhalten müßten. Dies ist tatsächlich der Fall. Nach den theoretischen Untersuchungen von Schack beträgt der Unterschied des Absorptionsverhältnisses zwischen den Temperaturen 1200° C und 1400° C im Mittel nur etwa 5%, zwischen 800° C und 1400° C nur etwa 12–14%. (Der Unterschied wächst natürlich mit kleiner werdender Schichtstärke und schwächer werdendem Absorptionsvermögen.) Die in Abb. 8 dargestellte

\*) Nur graue und schwarze Körper absorbieren unabhängig von der Intensitätsverteilung der einfallenden Strahlung, also auch unabhängig von deren Temperatur. — Übrigens ist in der Ableitung der im vorigen Abschnitt angegebenen Formel diese Tatsache vernachlässigt, worauf ich hinweise.

Linie ist für mittlere Verhältnisse und Flammentemperaturen gewonnen worden. Versuche über die Temperaturabhängigkeit der Flammenstrahlung in technischen Feuerungen liegen noch nicht vor. Wesentlich andere Größen des Absorptionsverhältnisses werden wir nur bei den bedeutend geringeren Temperaturen der Feuerbüchswandungen anzunehmen haben. Die Strahlung der Wandungen spielt aber, wie wir später sehen werden, nur eine untergeordnete Rolle; wir können uns daher mit dieser einzigen Schaulinie für das Absorptionsverhältnis der Flamme begnügen. (Wir wären zu derselben Vereinfachung auch bei den Gasen berechtigt; ich habe darauf verzichtet, um den Gang der Berechnung in diesem Falle zu zeigen.)

Bei dieser Gelegenheit sei ganz allgemein darauf hingewiesen, daß bei der Berechnung des Wärmeüberganges durch Strahlung in den meisten Fällen von Vereinfachungen Gebrauch gemacht werden kann, ohne allzugroße Fehler zu machen.

Unsere Untersuchungen haben sich bisher auf die Ermittlung des Absorptionsverhältnisses schlank-kegelförmiger Gas- und Flammenkörper erstreckt. Die Verhältnisse sind für solche Körper besonders leicht zu überblicken, da die Längen der Strahlen in diesem Falle untereinander praktisch gleich sind. In den Feuerungen haben wir es aber, entsprechend der Gestalt der Feuerräume, mit Gas- und Flammenkörpern ganz anderer Formen zu tun. Nach den Untersuchungen von Schack ist aber das Absorptionsverhältnis für die Strahlung eines beliebig gestalteten Gas- oder Flammenkörpers auf eine seiner Begrenzungsflächen wenig unterschieden von dem Absorptionsverhältnis eines einzelnen Strahles (oder, was dasselbe ist, eines schlank-kegelförmigen Strahlenbündels) von der Länge der Schichtdicke des Gases oder der Flamme.

Es ergibt sich dann folgende einfache Gleichung für die Strahlung eines Gas- oder Flammenkörpers auf eine Begrenzungsfläche: Je Quadratmeter bestrahlter Fläche, welche den Schwärzegrad  $\sigma_f$  und die (absolute) Temperatur  $T_f$  besitzen möge, werden in der Stunde übertragen

$$Q = \gamma \sigma_f A 4,96 \left[ \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_f}{100} \right)^4 \right] \frac{\text{cal}}{\text{m}^2 \text{h}} \cdot *)$$

Der Wert A ist je nach der Schichtstärke aus Abb. 7 oder 8 oder aus anderen Unterlagen zu entnehmen. Mit  $T_w$  wird die wahre Absoluttemperatur der Flamme oder des Gases bezeichnet;  $\gamma$  stellt einen Korrektionsfaktor dar, der zwischen 0,7 und 1,15 liegt. Der kleinere Wert gilt für kurze und gedrungene Körper, der größere hingegen für langgestreckte und hohe. In unseren Fällen werden wir im allgemeinen genügend genau  $\gamma = 1$  setzen können.

Der Gang der Berechnung wird aus den folgenden Beispielen klar werden.

Beispiel 1. Errechnung des Gesamtwärmeüberganges durch Strahlung in der Feuerbüchse der Versuchslokomotive unter der Annahme, dass die Feuerbüchse vollständig von den Flammen erfüllt sei.

Höhe und Breite der Feuerbüchse betragen rund 1,5 m, die Länge beträgt 2 m. Wir können annehmen, dass das Absorptionsverhältnis, das ja nur in der Längs- und Querrichtung durch den Versuch bestimmt wurde, auch in senkrechter Richtung seinen Wert nicht wesentlich ändere und setzen A bei 1,5 m Schichtdicke zu 0,75, bei 2 m Schichtdicke zu 0,80 an. Der Schwärzegrad der Feuerbüchsen-Innenwand ist zu 0,78 ( $C = 3,86$ ), ihre Temperatur zu 200° anzunehmen. Die Flammentemperatur betrage 1200° C.

\*) Das negative Glied dieser und der folgenden Gleichungen für den Wärmeaustausch berücksichtigt die Strahlung des kälteren der beiden Körper. In vielen Fällen kann es gegenüber der Strahlung des wärmeren Körpers ganz vernachlässigt werden.

Bei 2,0 m Schichtdicke beträgt der Wärmeübergang  
 $Q_1 = 0,78 \cdot 0,8 \cdot 4,96 \cdot (14,73^4 - 4,73^4) = 144000 \text{ Cal/m}^2 \text{ h}$   
 und bei 1,5 m Schichtdicke

$$Q_2 = 0,78 \cdot 0,75 \cdot 4,96 \cdot (14,73^4 - 4,73^4) = 135000 \text{ Cal/m}^2 \text{ h}$$

Der Flammenkörper strahlt

	$10^3 \text{ Cal/h}$
auf die beiden Seitenwände, je 2,7 m <sup>2</sup>	: $2 \cdot 135000 \cdot 2,7 = 7,3$
auf die Decke, 2,4 m <sup>2</sup>	: $135000 \cdot 2,4 = 3,2$
auf die Vorderwand, 2,3 m <sup>2</sup>	: $144000 \cdot 2,3 = 3,3$
auf die Rohrwand, 2,5 m <sup>2</sup>	: $144000 \cdot 2,5 = 3,6$

Gesamtausstrahlung der Flammen 17,4

Außer der Flamme strahlt auch noch die glühende Kohlen-  
 schicht auf dem Roste. Ihre Temperatur soll ebenfalls 1200° C  
 betragen, der Schwärzegrad ist rund 0,92 (also  $C = 4,56$ ), die  
 Rostfläche hat eine Größe von 3,3 m<sup>2</sup>. Wenn zwischen Rost  
 und Feuerbüchswandungen keine Flamme vorhanden wäre,  
 so würde die gesamte Ausstrahlung des Rostes von den Wänden  
 aufgenommen werden.

Diese Ausstrahlung läßt sich nach folgender Gleichung  
 rechnen:

$$Q = C_g \left[ \left( \frac{1473}{100} \right)^4 - \left( \frac{473}{100} \right)^4 \right] F.$$

C, die „gegenseitige Strahlungszahl“ ermittelt man aus den  
 Strahlungszahlen der strahlenden und bestrahlten Fläche zu

$$\frac{1}{\frac{1}{3,86} + \frac{1}{4,56} + \frac{1}{4,96}} = 3,62. \text{ Es wird damit } Q = 560000 \cdot \text{Cal/h.}$$

Das Absorptionsverhältnis des Flammenkörpers in bezug  
 auf die Rostfläche ist uns entsprechend der Schichtdicke von  
 1,5 m zu 0,75 bereits bekannt. Wir rechnen genügend genau,  
 wenn wir den von der Flamme absorbierten Anteil von  
 der Strahlung des Kohlenbettes zu  $A \cdot Q = 0,75 \cdot 560000 =$   
 $= 420000 \text{ Cal/h}$  annehmen. Der Rest von 140000 Cal/h gelangt  
 auf die Wandungen der Feuerbüchse. Die von der Flamme  
 absorbierte Wärme trägt zur Steigerung ihrer Temperatur bei  
 und damit auch zur Vermehrung ihrer Ausstrahlung. (Die  
 Temperatursteigerung ist in der angenommenen Temperatur  
 von 1200° C bereits enthalten!)

Insgesamt beträgt nun der Wärmeübergang auf die  
 Feuerbüchswände durch Strahlung 1740000 Cal/h + 140000  
 Cal/h = 1880000 Cal/h. Der Anteil der Roststrahlung beträgt  
 also nur 8,1%.

Beispiel 2. Errechnung des Gesamtwärmeüberganges  
 durch Strahlung in der Feuerbüchse der Lokomotive der  
 Gattung P 8\*) unter der Annahme, daß die Flamme nur etwa  
 die halbe Feuerbüchse erfülle, der Rest mit heißen Rauch-  
 gasen von einem mittleren CO<sub>2</sub>-Gehalt von 15% und einem  
 mittleren Wasserdampfgehalt von 6% eingenommen werde.

Die Hauptabmessungen der Feuerbüchse sind aus Abb. 10  
 zu entnehmen. Die obere Grenze der Flamme ist durch eine  
 punktierte Linie angedeutet; oberhalb des Feuerschirmes  
 sollen sich also nur mehr heiße Gase befinden. Temperaturen:  
 Kohlenbett und Flammen 1375° C, Gase 1150° C, Feuerbüch-  
 swände 227° C.

a) Strahlung der Flamme: Die Flamme strahlt auf die  
 feuerberührten Teile der Feuerbüchswände unmittelbar; auf  
 dem Wege nach den nicht feuerberührten Wandungsstellen  
 dagegen wird die Flammenstrahlung von den Gasen absorbiert.

\*) Ich wähle diesen Kessel als Beispiel, weil die P 8-Loko-  
 motive schon weitgehend zu Lokomotivversuchen herangezogen  
 worden ist (vergl. Nordmann, Organ 1930, S. 225 uff.) und weil  
 an demselben Kessel schon eine Strahlungsberechnung auf Grund  
 der Schackschen Theorien von Baumann durchgeführt  
 wurde (vergl. Glasers Annalen 1927, S. 123).

Strahlung auf die feuerberührten Wandungsteile,  
 nämlich auf die beiden Seitenwände; feuerberührte Fläche  
 1,9 m<sup>2</sup>, Flammendicke 1010 mm,  $A = 0,7$

$$Q_1 = 0,78 \cdot 0,7 \cdot (16,48^4 - 5^4) \cdot 4,96 \cdot 1,9 \cdot 2 = 750000 \text{ Cal/h}$$

Der Schwärzegrad der Feuerbüchswandungen ist auch in  
 diesem Beispiele zu 0,78 angenommen.

Schürlochwand, feuerberührte Fläche 0,81 m<sup>2</sup>, Flam-  
 mendicke 2630 mm,  $A = 0,9$

$$Q_2 = 0,78 \cdot 0,9 \cdot (16,48^4 - 5^4) \cdot 4,96 \cdot 0,81 = 205000 \text{ Cal/h.}$$

Rohrwand unter dem Feuerschirm, Fläche 0,404 m<sup>2</sup>,  
 $A$  wie oben = 0,9

$$Q_3 = 0,78 \cdot 0,9 \cdot (16,48^4 - 5^4) \cdot 4,96 \cdot 0,404 = 125000 \text{ Cal/h}$$

Die Strahlung auf den Feuerschirm wird später getrennt  
 berechnet.

Auf die nicht feuerberührten Wandungsteile trifft  
 zunächst einmal dieselbe Strahlung, die auf eine Wand treffen  
 würde, die an Stelle der Begrenzungsebene der Flamme ge-  
 dacht werden kann. Diese Wand hat eine Fläche von rund  
 2 m<sup>2</sup>. Die Dicke der Flamme beträgt hierfür 0,805 m,  $A$  ist  
 also 0,65. Die übertragene Wärmemenge würde also betragen

$$Q_4' = 0,78 \cdot 0,65 \cdot (16,48^4 - 5^4) \cdot 4,96 \cdot 2 = 366000 \text{ Cal/h.}$$

Angenähert rechnen wir die von den Gasen (15% CO<sub>2</sub>- und  
 6% H<sub>2</sub>O-Gehalt) absorbierte Wärmemenge wie folgt: Absorp-  
 tionsverhältnis eines Gaskörpers von einer mittleren Dicke

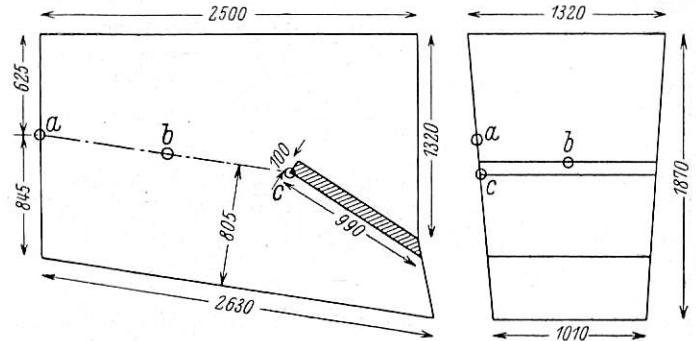


Abb. 10.

Schematische Darstellung der Feuerbüchse der P 8-Lokomotive.

von 770 mm für graue oder schwarze Strahlung von 500° abs-  
 (Abb. 9) 20%; desgl. für 1648° abs. 11%. Wir sehen davon ab-  
 daß die spektrale Energieverteilung der Flammenstrahlung  
 von derjenigen grauer oder schwarzer Strahlung verschieden  
 ist und vernachlässigen ferner den Unterschied im Absorp-  
 tionsverhältnis der Flamme für verschiedene Strahlertempe-  
 raturen und erhalten so die einfache, aber genügend genaue  
 Gleichung

$$Q_{\text{abs}} = 0,78 \cdot 0,65 \cdot (0,11 \cdot 16,48^4 - 0,2 \cdot 5^4) \cdot 4,96 \cdot 2 = 40000 \text{ cal/h.}$$

Somit beträgt die wirklich ausgetauschte Wärmemenge  
 $Q_4 = 326000 \text{ Cal/h.}$

b) Strahlung der Brennstoffschicht auf dem Roste:  
 Die Strahlung des glühenden Kohlenbettes wird, soweit sie  
 feuerberührte Wandungen trifft, von der Flamme absorbiert.  
 Der Teil der Roststrahlung, der auf die nicht feuerberührten  
 Wandungen entfällt, wird außerdem auch noch von den heißen  
 Gasen absorbiert. Wir müssen also zunächst einmal unter-  
 suchen, in welcher Weise die Roststrahlung zwischen feuer-  
 berührten und nicht feuerberührten Wandungen aufzuteilen ist.

Auf die nicht feuerberührten Wandungen trifft jedenfalls  
 dieselbe Wärmemenge, wie auf die bereits erwähnte Be-  
 grenzungsfläche der Flamme. Diese Wärmemenge läßt sich  
 wenigstens näherungsweise nach den von Gerbel angegebenen  
 Formeln berechnen. Hiernach beträgt die spezifische Ein-  
 strahlung auf ein im Abstand  $h$  über der Ecke eines strahlenden  
 Rechteckes von der Länge  $l$  und der Breite  $b$  liegendes Flächen-  
 teilchen, welches zu dem Rechteck parallel ist

$$q = C_g \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \frac{1}{2n} \left( \frac{1}{\sqrt{h^2 + l^2}} \operatorname{arctg} \frac{b}{\sqrt{h^2 + l^2}} + \frac{b}{\sqrt{h^2 + b^2}} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{h^2 + b^2}} \right) = C_g \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \varphi.$$

Dabei bedeutet der Ausdruck  $C_g \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$  die Ausstrahlung des Rechtecks je  $m^2$  unter den obwaltenden Umgebungsbedingungen; der Rest der rechten Seite der Gleichung,  $\varphi$  wird als „Winkelverhältnis“ bezeichnet.

Für ein Flächenteilchen in der Ecke bei der Schürlochwand ( $l = 2630$  mm,  $b = 1010$  mm,  $h = 805$  mm) errechnet sich das Winkelverhältnis zu 0,194; teilen wir den Rost durch die Längs- und Quermittellinie in vier gleiche Teile, so beträgt das Winkelverhältnis für ein über dem Rostmittel gelegenes Flächenteilchen von jedem der vier Viertel des Rostes aus je 0,1295. Berechnen wir schließlich das Winkelverhältnis noch für ein Flächenteilchen an der Ecke des Feuerschirmes ( $l = 1090$  bzw.  $1630$ ,  $b = 1010$ ,  $h = 805$  mm), so erhalten wir für den größeren Rostteil 0,1825, für den kleineren 0,164.

Das Winkelverhältnis beträgt also (vergl. Abb. 10)  
im Punkt a 0,194; im Punkt b  $4 \cdot 0,1295 = 0,518$ ;  
im Punkt c  $0,1825 + 0,164 = 0,3465$ .

Aus diesen drei Werten gewinnen wir einen Überblick über den Verlauf des Winkelverhältnisses über die betrachtete Ebene; wir können hieraus einen Mittelwert schätzen, der etwa bei 0,4 liegen dürfte. In vielen Fällen wird zu dieser Ermittlung die Berechnung von ein bis zwei Punkten genügen; bei größerer Genauigkeit können mehrere Punkte berechnet und Mittelwerte hieraus graphisch interpoliert werden. Das Endergebnis sagt nun aus, welcher Anteil der Ausstrahlung des Rostes die betrachtete Ebene trifft:

Die gesamte Ausstrahlung des Rostes auf eine ihn nach allen Seiten umgebende Fläche von der Temperatur  $T_2$  und dem Schwärzegrad der Feuerbüchswandung ist

$$Q_R = C_g \left[ \left( \frac{T_R}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F_R,$$

wobei  $C_g$  wieder die gegenseitige Strahlungszahl und  $F_R$  die Rostfläche in  $m^2$  ( $= 2,9 m^2$ ) darstellt.

Die mittlere Einstrahlung auf den Quadratmeter der gedachten, die Flamme begrenzenden Ebene (von gleicher Temperatur und Strahlungszahl, wie die Feuerbüchswandungen) ist nach unseren obigen Feststellungen

$$q = C_g \left[ \left( \frac{T_R}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] 0,4; \text{ die gedachte Ebene ist } 2 m^2$$

$$q = C_g \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \frac{1}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{\sqrt{h^2 + l^2}} \operatorname{arctg} \frac{b}{\sqrt{h^2 + l^2}} + \frac{b}{\sqrt{h^2 + b^2}} \operatorname{arctg} \frac{1}{\sqrt{h^2 + b^2}} \right) \cos \gamma - \left( \frac{h}{\sqrt{h^2 + l^2}} \operatorname{arctg} \frac{b}{\sqrt{h^2 + l^2}} - \operatorname{arctg} \frac{b}{h} \right) \sin \gamma \right] *)$$

Wir wählen den Mittelpunkt des Feuerschirmes als Bezugspunkt; seine Höhe über dem Roste beträgt 605 mm. Wir teilen wieder die Rostfläche in vier Teile; die beiden größeren haben die Abmessungen  $2075 \times 505$  mm, die beiden kleineren  $555 \times 505$  mm. Für jeden der größeren Teile ist  $\varphi = 0,184$ , für jeden der kleineren  $= 0,092$ . Da alle vier Rostteile zusammenwirken, ist  $\varphi$  für den Feuerschirmmittelpunkt  $= 0,552$ .

Nehmen wir nun wieder an, dass  $\varphi$  über die ganze Schirmfläche den errechneten Wert beibehalte, so ergibt sich die gesamte Einstrahlung auf die Fläche des Schirmes zu

$$Q'' = 0,552 (1 - A_{F1}) C_g \left[ \left( \frac{T_R}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F_S;$$

Schirmfläche  $F_S = 1,1 m^2$ .

Die mittlere Schichtstärke der Flamme zwischen Rost und Feuerschirm beträgt 605 mm,  $A_{F1}$  wird damit 0,42. Auf eine Fläche von der Größe und der Gestalt des Feuerschirmes und den Strahlungseigenschaften der Feuerbüchswand treffen demnach  $Q'' = 93700$  Cal/h. Nach Abzug dieser Wärmemenge

groß, es treffen sie demnach stündlich  $\frac{0,4 \cdot 2}{F_R} 100\% = 27,5\%$  der gesamten Ausstrahlung des Rostes. Der Rest von  $72,5\%$  wird auf die von der Flamme berührten Wandteile gestrahlt.

In erster Annäherung können wir auch in diesem Strahlungsfalle die Werte des Absorptionsverhältnisses des Flammen- und des Gaskörpers beibehalten, die sich in der bekannten, einfachen Weise aus der Höhe dieser Körper ergeben.

Ohne Vorhandensein von Flamme und Gas würden auf die nicht feuerberührten Feuerbüchswandungen gestrahlt:  $C_g \left[ \left( \frac{T_R}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,4 \cdot 2$  Cal/h. Die Flammen absorbieren

hiervon  $A_{F1} \cdot 100\%$ ; vom Rest  $(1 - A_{F1}) C_g \left[ \left( \frac{T_R}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot 0,4 \cdot 2$  absorbieren die Gase noch einen weiteren Anteil. Wenn wir auf die Unterschiede des Absorptionsverhältnisses bei verschiedenen Strahlertemperaturen achten, so erhalten wir

$Q_5 = (1 - A_{F1}) \cdot 0,4 \cdot 2 \cdot C_g \left[ \left( 1 - A_{G_R} \right) \left( \frac{T_R}{100} \right)^4 - \left( 1 - A_{G_2} \right) \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$  Cal/h  
 $A_{F1} = 0,65$ ,  $A_{G_R}$  bei 440 mm Schichtstärke und Rosttemperatur  $= 0,11$ ,  $G: A_{G_2}$  bei der gleichen Schichtstärke und Wandtemperatur  $0,2$ .  $C_g$ , die gegenseitige Strahlungszahl für Strahlung zwischen Rost und Wand ist 3,62. Damit wird die vom Rost auf die nicht feuerberührten Wandungen übertragene Wärmemenge  $Q_5 = 66500$  Cal/h.

Auf die feuerberührten Flächen der Feuerbüchse treffen

$$Q_6' = (1 - A_{F1}) \cdot 0,725 C_g \left[ \left( \frac{T_R}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] F_R = 262500 \text{ Cal/h.}$$

Von dieser Wärmemenge müssen wir indessen noch jenen Anteil in Abzug bringen, der auf den Feuerschirm trifft; dieser besitzt ja eine andere Temperatur und Strahlungszahl, als die Feuerbüchswandungen. Um den gesuchten Anteil zu berechnen, bestimmen wir wieder das mittlere Winkelverhältnis. Bei der verhältnismäßig beschränkten Größe berechnen wir dies nur für einen geeigneten Punkt.

Der Feuerschirm ist um  $24^\circ$  gegen die Ebene des Rostes geneigt. Die etwas umständliche Formel von Gerbel für die Errechnung der spezifischen Einstrahlung auf ein über einer Ecke des Rechteckes  $l \times b$  im Abstand  $h$  gelegenes, gegen das Rechteck um den Winkel  $\gamma$  geneigtes Flächenstück lautet:

von  $Q_6'$  erhalten wir die Strahlung des Rostes auf die feuerberührten Wandungen endgültig zu

$$Q_6 = 262500 - 93700 = 168800 \text{ Cal/h.}$$

c) Strahlung des heißen Gaskörpers im Oberteil der Feuerbüchse: Auch bei dieser Strahlung haben wir zwei verschiedene Anteile zu unterscheiden: Der obere, von der Flamme nicht berührte Teil der Feuerbüchse wird vom Gas unmittelbar bestrahlt, während die auf die feuerberührten Wände treffende Strahlung zum Teil von den Flammen absorbiert wird.

Strahlung auf die nicht feuerberührten Wände, nämlich auf die Seitenwände; nicht feuerberührte Fläche  $2,24 m^2$ , Dicke der Gasschicht 1010 mm. Die Temperatur der Gase möge im Mittel  $1150^\circ$  C betragen. Für diese Temperatur ist bei 1,1 m Schicht  $A_G = 15,8\%$ , für  $227^\circ$  (Wandtemperatur)

\*) Zur Erleichterung dieser Berechnungen sind in dem Aufsätze „Ein Beitrag zur Untersuchung des Wasserrohrkessels in bezug auf Wärmestrahlung“, Z. d. Bay. Rev. Vereins 1925 S. 115, Schaubilder entwickelt worden.

ist  $A_G = 22,2$ ,  $Q_7 = 0,78 (0,158 \cdot 14,23^4 - 0,222 \cdot 5^4) \cdot 4,96 \cdot 2,24 \cdot 2 = 110000$  Cal/h.

Schürlochwand, nicht feuerberührte Fläche  $0,79 \text{ m}^2$ , Dicke der Gasschicht rund  $2500 \text{ mm}$ .  $A_G$  bei Gastemperatur  $19,6\%$ , bei Wandtemperatur  $26,6\%$ ,  $Q_8 = 0,78 (0,196 \cdot 14,23^4 - 0,266 \cdot 5^4) \cdot 4,96 \cdot 0,79 = 24000$  Cal/h.

Rohrwand, nicht feuerberührte Fläche  $1,65 \text{ m}^2$ , Dicke der Gasschicht ebenfalls rund  $2500 \text{ mm}$ . A demnach wie oben.

$$Q_9 = Q_8 \frac{1,65}{0,79} = 50000 \text{ Cal/h.}$$

Decke, Fläche  $3,3 \text{ m}^2$ , Dicke der Gasschicht  $0,850 \text{ m}$  im Mittel,  $A_G$  bei Gastemperatur  $14,4\%$ , bei Wandtemperatur  $20,8\%$ .

$$Q_{10} = 0,78 (0,144 \cdot 14,23^4 - 0,208 \cdot 5^4) \cdot 4,96 \cdot 3,3 = 73600 \text{ Cal/h.}$$

Da der Feuerschirm die Rohrwand gegen die Einstrahlung etwas beschattet, dürfte streng richtig nicht die volle Rohrwandfläche über dem Schirm eingesetzt werden. Indessen können wir ohne großen Fehler von dieser Korrektur absehen.

Auf die vom Feuer berührten Wandteile wird vom Gaskörper die gleiche Wärmemenge gestrahlt, die auf die Grenzfläche zwischen Flammen und Gas trifft, abzüglich der Wärme, die auf die Rostfläche entfällt. Das mittlere Winkelverhältnis für die Strahlung zwischen Rostfläche und Grenzfläche ist uns mit  $\varphi = 0,4$  bereits bekannt. Wir wissen also, daß im Mittel jedes Teilchen  $df$  der Grenzfläche auf den Rost die Wärme

$$dQ = \varphi C_g \left[ \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_R}{100} \right)^4 \right] df \text{ strahlt, oder in Erweiterung}$$

dieser Erkenntnis, daß der Rost  $40\%$  der von der Grenzfläche ausgestrahlten Wärme erhält. Auf die Seitenwände treffen also nur  $60\%$  der von der Grenzfläche ausgestrahlten Wärme. Das Absorptionsverhältnis für die Flammenschicht setzen wir entsprechend der senkrechten Schichtstärke derselben zu  $A_{F1} = 0,65$  ein\*) und erhalten

$$Q_{11} = 0,6 \cdot (1 - 0,65) \cdot 0,78 \cdot (0,144 \cdot 14,23^4 - 0,208 \cdot 5^4) \cdot 4,96 \cdot 2 = 9400 \text{ Cal/h.}$$

d) Strahlung des Feuerschirmes: Der Feuerschirm erhält Wärme durch Strahlung und Leitung zugeführt. Uns interessiert hier derjenige Teil der Wärmeabgabe des Schirmes, der durch Strahlung nach den Feuerbüchswänden gesendet wird. Wenn uns die Temperaturen der Oberflächen des Feuerschirmes (z. B. durch eine Messung oder Schätzung) bekannt sind, so ist die Ermittlung der Schirmstrahlung nach den bekannten Verfahren einfach. Es ist aber auch ohne größere Schwierigkeit und genügend genau möglich, die Temperaturen der oberen und der unteren Schirmfläche zu berechnen, indem man die Wärmebilanzgleichungen dieser Flächen aufstellt.

Die Berechnung, die hier nicht näher wiedergegeben werden soll, ergibt eine Temperatur der oberen Schirmfläche von  $959^\circ$  abs., der unteren Schirmfläche von  $1554^\circ$  abs.

Damit ergeben sich die gesuchten Werte wie folgt:

$$W_4 = 62150 \text{ Cal/h, } W_6 = 27000 \text{ Cal/h.}$$

Damit haben wir die sämtlichen Einzelwerte berechnet, die in der folgenden Zusammenstellung zusammengefaßt werden:

Strahlung der Flamme auf		
feuerberührte Wände	Seitenwände	$Q_1 = 750000$ Cal/h
	Schürlochwand	$Q_2 = 205000$ „
	Rohrwand	$Q_3 = 125000$ „
nicht feuerberührte Wände zusammen		$Q_4 = 326000$ „
		<u>1406000</u> Cal/h

\*) Auch hier ist auf die Berücksichtigung der Selektivität der Flammenabsorption verzichtet.

Strahlung der Brennstoffschicht auf dem Roste auf		
nicht feuerberührte Wände		$Q_5 = 66500$ Cal/h
feuerberührte Wände		$Q_6 = 168800$ „
		<u>235300</u> Cal/h

Strahlung der Gase auf		
nicht feuerberührte Wände	Seitenwände	$Q_7 = 110000$ Cal/h
	Schürlochwand	$Q_8 = 24000$ „
	Rohrwand	$Q_9 = 50000$ „
	Decke	$Q_{10} = 73600$ „
feuerberührte Wände zusammen		<u>9400</u> „
		<u>267000</u> Cal/h

Strahlung des Feuerschirmes auf		
feuerberührte Wände		$W_4 = 62150$ Cal/h
nicht feuerberührte Wände		$W_6 = 27000$ „
		<u>89150</u> Cal/h

In der Lokomotivfeuerbüchse insgesamt durch Strahlung übertragen **1997450 Cal/h**

Der größte Anteil hiervon, nämlich rund  $75\%$ , wird durch die leuchtende Flamme beigetragen, der Anteil der Roststrahlung beträgt nur rund  $12\%$ . Von den  $89150$  Cal/h, welche der Schirm abstrahlt, ist der größte Teil, nämlich (wie sich bei der Errechnung der Schirmtemperatur ergibt)  $83340$  Cal, dem Schirm durch Strahlung zugeführt, nämlich

vom Roste	$W_2 = 22740$ Cal/h
von den Gasen	$W_7 = 22600$ „
von der Flamme	$W_3 = 38000$ „

Es sei hier ausdrücklich bemerkt, daß der auf die feuerbüchseseitigen Rohröffnungen und auf die Feuertür treffende Anteil voll mit eingerechnet wurde. Die auf die Feuertür treffende Wärmemenge wäre zum Teil abzusetzen, der auf die Rohre treffende Anteil wäre wegen der größeren Strahlungszahl streng richtig getrennt zu rechnen — er kommt dem Wärmeübergang im Langkessel zugute.

Die Berechnung der Strahlung in den Heiz- und Rauchrohren selbst und in der Rauchkammer bietet nichts Neues. Die Berechnung der Strahlung in einem Rohr von  $a$  m lichter Weite erfolgt nach der Gleichung

$$Q = C_w \left[ \left( \frac{T_G}{100} \right)^4 A_G - \left( \frac{T_w}{100} \right)^4 A_G' \right] F,$$

wobei  $F$  die Größe der Innenfläche des Rohres (bei mehreren gleichen Rohren die Gesamtinnenfläche),  $A_G$  und  $A_G'$  das Absorptionsverhältnis der Gasschicht von  $a$  m Dicke bei Gas- und Wandtemperatur bedeutet.  $C_w$  ist die Strahlungszahl,  $T_w$  die Temperatur der Rohrinne wand.

Sind in dem betrachteten Rohr weitere Körper untergebracht (z. B. Überhitzerschlangen), so errechnet man die mittlere Gasschichtstärke für die Strahlung nach der Rohrinne wand zweckmäßig nach der von Baumann\*) für Rauchrohre mit Überhitzer angegebenen Gleichung, deren allgemeine

Form lautet:  $a_{\text{mittel}} = \frac{F_R - F_r}{U_R}$ , wobei mit  $F_R$  und  $F_r$  die Querschnitte des Rohres und des eingelagerten Körpers, mit  $U_R$  der Innenumfang des Rohres bezeichnet sei. Für die Strahlung nach dem eingelagerten Körper ergibt sich sinngemäß  $a_{\text{mittel}} = \frac{F_R - F_r}{U_r}$ .

$U_r$  ist der Außenumfang des eingelagerten Körpers.

Die Heizrohre unseres Kessels haben zusammen eine Heizfläche von  $84,34 \text{ m}^2$ , der Heizrohrdurchmesser beträgt  $45 \text{ mm}$ , die Temperatur der Heizgase können wir im Mittel zu  $600^\circ \text{ C} = \text{rund } 870^\circ$  abs. annehmen, die Strahlungszahl der Rohrinne wände zu  $3,9$ . Damit wird der Strahlungsübergang in den Heizrohren

$$Q_1 = 3,9 (8,7^4 \cdot 0,07 - 5^4 \cdot 0,09) 84,34 = 113500 \text{ Cal/h.}$$

\*) a. a. O.

Der Teil der Rauchrohre, der nicht von dem Überhitzer eingenommen wird, hat eine Heizfläche von  $6,1 \text{ m}^2$ , die mittlere lichte Weite der Rohre beträgt  $110 \text{ mm}$ . Damit wird  $Q_2 = 3,9 (13^4 \cdot 0,063 - 5^4 \cdot 0,108) 6,1 = 41300 \text{ Cal/h}$ .

Dabei ist mit einer Gastemperatur von rund  $1300^\circ$  abs gerechnet. Der Rauchrohrdurchmesser über dem Überhitzer beträgt  $125 \text{ mm}$ , der äußere Durchmesser der vier Überhitzerrohre je  $38 \text{ mm}$ . Damit wird die mittlere Gasschichtdicke für die Strahlung nach den Rauchrohr-Innenwänden  $\frac{12300 - 4520}{390} =$

$= 20 \text{ mm}$ . Die mittlere Gastemperatur ist wegen der größeren Entfernung von der Feuerbüchse nur zu rund  $800^\circ$  abs anzusetzen; die Heizfläche der Rohre beträgt  $41,9 \text{ m}^2$ . Es wird  $Q_3 = 3,9 (8^4 \cdot 0,06 - 5^4 \cdot 0,07) 41,9 = 33000 \text{ Cal/h}$ .

Für die Strahlung nach den Überhitzerelementen wird die Schichtdicke  $\frac{12300 - 4520}{478} = 16,3 \text{ mm}$ .

Die Überhitzerheizfläche ist  $58,9 \text{ m}^2$  groß, wir rechnen mit einer Temperatur der Elementwände von  $630^\circ$  abs und erhalten  $Q_4 = 3,9 (8^4 \cdot 0,055 - 6,3^4 \cdot 0,06) 58,9 = 30000 \text{ Cal/h}$ .

Auch im Innern der Überhitzerelemente wird ein Teil der Wärme durch Strahlung übertragen, da ja der Wasserdampf ein beträchtliches Absorptionsvermögen besitzt. Allerdings ist der Strahlungsvorgang in diesem Falle umgekehrt, da wir im allgemeinen eine Wärmeabgabe nach der Wand gewohnt sind. Unsere Kurven, Abb. 9, gelten für Feuergase, für reinen Wasserdampf rechnen wir zweckmäßig ohne Aufstellung solcher Kurven nach Schack unter folgenden Annahmen: Dampftemperatur  $300^\circ$ , Wandtemperatur (innen)  $340^\circ \text{ C}$ . Der Schwärzgrad der (allseits geschlossenen) Elemente ist in diesem Falle  $= 1$ , die Innenfläche  $46,5 \text{ m}^2$ . Somit wird nach Schack

$$Q_5 = 46,5 [(130 - 75) 0,25 + (1150 - 880) 0,43 + (920 - 810) 0,02] = 6200 \text{ Cal/h}.$$

In Anbetracht des Umstandes, daß die Schackschen Formeln für Atmosphärendruck gelten, im Überhitzer aber ein Druck von  $13 \text{ ata}$  vorhanden ist, errechnet Baumann eine Korrektur von  $+9\%$ , so daß wir  $Q_5$  zu  $6800 \text{ Cal/h}$  annehmen können.

Schließlich rechnen wir noch die Strahlung auf die Rauchkammerwand, einschließlich derjenigen auf die Öffnungen der Heiz- und Rauchrohre. Die Wand hat eine Größe von rund  $1,7 \text{ m}^2$  und eine Strahlungszahl von  $3,9$ . Rechnen wir endlich mit einer mittleren Schichtstärke von  $1,5 \text{ m}$  und einer Gastemperatur von  $400^\circ \text{ C}$ , so erhalten wir

$$Q_6 = 3,9 (6,7^4 \cdot 0,228 - 5^4 \cdot 0,232) 1,7 = 2100 \text{ Cal/h}.$$

Dieser Betrag ist also vernachlässigbar klein.

Im Langkessel werden durch Strahlung übertragen:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 = 226700 \text{ Cal/h}.$$

Der gesamte Strahlungsübergang erhöht sich damit auf  $2224150 \text{ Cal/h}$ .

Nach Garbe\*) beträgt der gesamte Wärmeübergang in unserem Kessel  $4990000 \text{ Cal/h}$ , hiervon werden nach unseren Untersuchungen  $44,5\%$  durch Strahlung übertragen, wovon allein auf die Feuerbüchsenstrahlung  $90\%$  treffen. Nach Garbe soll der Strahlungsanteil am Gesamtwärmeübergang nur  $27\%$  ausmachen.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß dieser Anteil unter allen Umständen wesentlich zu gering angesetzt ist. Die Größe des Gesamtwärmeüberganges wird — da sie verhältnismäßig leicht festzustellen ist — nur geringe Fehler aufweisen können. Es muß demnach wohl der Anteil des konvektiven Wärmeüberganges zu groß angenommen sein.

Auch nach der Berechnung von Baumann ergibt sich ein wesentlich größerer Strahlungsanteil, nämlich  $1867600 \text{ Cal/h}$ .

Nun ist aber unsere Berechnung keineswegs auf die Erzielung von Größtwerten abgestellt worden. Bei einiger Anstrengung des Kessels liegt die Grenzfläche zwischen Flammen und Gasen zweifellos höher, wenn nicht die Flammen die Feuerbüchse sogar ganz ausfüllen. Auch ist in diesem Falle mit höheren Temperaturen und Strahlungszahlen zu rechnen.

Eine Überschlagrechnung nach Beispiel 1 zeigt uns, daß die Flammenstrahlung allein bei gleichen Temperaturverhältnissen, aber vollständiger Erfüllung der Feuerbüchse mit Flammen rund  $3 \text{ Millionen Cal/h}$  erreicht. Dies beweist uns, daß bei starker Beanspruchung des Kessels der überwiegende Teil des Wärmeüberganges durch Strahlung bewirkt wird. Die starke Absorption durch die Flamme läßt aber auch den Anteil der Roststrahlung noch mehr zurücktreten, der in unserem Beispiel ohnehin nur mehr  $12\%$  erreicht hat. Es ist damit festgestellt, daß der Flammenstrahlung eine überragende Bedeutung beim Wärmeübergang im Lokomotivkessel zuerkannt werden muß.

#### Schlußbemerkungen.

Die Berechnungen, besonders im zweiten Beispiel zeigen, daß dem Strahlungswärmeübergang in der Lokomotivfeuerung eine ausschlaggebende Bedeutung zukommt. Es ergibt sich als Folgerung aus dieser Erkenntnis die Frage: Was kann in bezug auf die konstruktive Durchbildung des Lokomotivkessels geschehen, um die günstigsten Gesamtwärmeübergangsverhältnisse zu erzielen? Die Untersuchungen hierüber werden sich auf zwei Grundfragen beziehen, nämlich nach der Formgebung der Feuerbüchse und nach der Austeilung der Gesamtheizfläche auf Feuerbüchse und Langkessel. Die Erörterungen hierüber sollen in einem weiteren Aufsätze erscheinen.

Die wenigen, vom Verfasser angestellten Versuche dürften zur endgültigen Festlegung von Strahlungszahlen noch nicht ausreichen. Die Vornahme derartiger Strahlungsmessungen ist aber verhältnismäßig einfach; es wäre daher sehr zu begrüßen, wenn bei Meß- und Versuchsfahrten auch Strahlungsmessungen vorgenommen würden.

\*) Die zeitgemäße Heißdampflokomotive, R. Garbe.

## Bearbeitung von Paß- und Führungsflächen an Lokomotivteilen

(unter besonderer Berücksichtigung der Stangenlagerfertigung in den Eisenbahnausbesserungswerken).

Von Regierungsbaumeister Jos. Schneider.

Die nachstellbaren zweiteiligen Lager für Treib- und Kuppelstangen, die Achslagergleitbacken und -stellkeile sowie die Kreuzkopfsohlplatten haben Sitz- oder Führungsflächen, die zum Schutz gegen seitliches Verschieben mit Randleisten versehen sind. Diese Leisten und die von ihnen begrenzten Flächen sind während des Laufs der Lokomotive durch die auftretenden Stöße und Erschütterungen stark beansprucht und nützen sich daher rasch ab. Ihre Wiederinstandsetzung und Überholung ist, von Ausnahmefällen abgesehen, bei jeder

Haupt- und Zwischenausbesserung der Lokomotive erforderlich, schon deshalb, weil Ungenauigkeiten im Paßsitz, die sich im Lauf der Zeit bis zu einem gewissen Grad immer herausbilden, eine Lockerung dieser Teile und dadurch einen weiterhin rasch anwachsenden Verschleiß zur Folge haben und zu dauernden Betriebsstörungen und folgeschweren Brüchen führen können. Andererseits wird durch eine sorgfältige und genaue Bearbeitung dieser Flächen ein satter Sitz erzielt, der Gewähr für geringste Abnutzung im Betrieb und somit für

eine lange Lebensdauer der betreffenden Maschinenteile bietet.

Der Zusammenhang zwischen Bearbeitungsgenauigkeit und Haltbarkeit ist den mit der Wiederinstandsetzung der Lokomotiven betrauten Werken seit langem bekannt. Deshalb wird auch der Bearbeitung dieser Teile in den Reichsbahnausbesserungswerken besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Die hierbei zu lösende Aufgabe erscheint auf den ersten Blick einfach. Die tatsächlich auftretenden Schwierigkeiten werden erst offensichtlich, wenn man sich folgendes vor Augen hält:

Die genannten Teile haben, wie eingangs erwähnt, seitliche Führungsleisten, deren gegenseitiger Abstand einmal vom Zeichen-Urmaß, dann aber auch vom jeweiligen Abnutzungsgrad der zugeordneten Teile, der Stangenköpfe, Lineale, Lokomotivrahmen usw. abhängt; das Breitenmaß der Aussparung, welche durch die beiden Randleisten begrenzt und gebildet wird, ist also auch bei Lokomotiven gleicher Type von Fall zu Fall verschieden, weil es entsprechend der zurückliegenden Gesamtlaufzeit und Gesamtleistung der betreffenden Lokomotive um  $\frac{1}{100}$  bis etwa 2 mm vom Urmaß abweicht.

Eine Bearbeitung mit normalen Walzen-Stirnfräsern, deren Breite dem Urmaß der Aussparung entspricht, ist demnach nur beim Bau der Lokomotive, nicht aber bei ihrer Wiederinstandsetzung möglich. Die Wiederherstellung des Urmaßes bei jeder Ausbesserung durch Aufschweißen und Nachbearbeiten (Fräsen und Schleifen) des zugeordneten Maschinenteils hat sich nur in den seltensten Fällen als wirtschaftlich erwiesen. Dieses Verfahren gestattet zwar eine wirtschaftliche Bearbeitung der Aussparungen mit einem normalen Walzen-Stirnfräser und ergibt auch eine vereinfachte Lagerhaltung; diese Vorteile werden jedoch aufgewogen durch den zur Wiederherstellung des Urmaßes erforderlichen Mehraufwand an Arbeitszeit bei den zugeordneten Teilen.

Manche Werke helfen sich, um das längst als unwirtschaftlich erkannte Kurzhobelverfahren zu umgehen, damit, daß sie einen Walzenstirnfräser verwenden, dessen Breite kleiner als das Urmaß der Aussparung ist und mit diesem Fräser nach seitlichem Verschieben des Frästisches ein zweites Mal durchgehen. Der dabei in Kauf zu nehmende Zeitverlust wird meist durch die größere Spanleistung des Fräasers gegenüber dem Kurzhobler wettgemacht. Bedenklich ist jedoch, daß auch bei sorgfältiger Arbeitsausführung an der Stoßstelle zwischen Fräserstellung 1 und 2 leicht ein Ansatz entsteht, der die Güte des Paßsitzes beeinträchtigt.

Aus diesem Grunde arbeiten andere Werke mit zweiseitigen Walzenstirnfräsern, deren Gesamtbreite durch Beilegen von Distanzblechen verschiedener Stärke zwischen den beiden Fräserhälften verändert werden kann. Eine Stoßstelle wird, da sich die Zähne der zwei Fräserhälften überlappen, vermieden, die Aussparung kann, sofern kein Schlichtspan erforderlich ist, auf einen Schnitt gefräst werden. Die Maschinenzeit wird stark verkürzt, andererseits wächst aber die Rüstzeit sehr beträchtlich, weil die Verstellung solcher Fräser umständlich und zeitraubend ist. Ein weiterer Nachteil ist die verhältnismäßig geringe Einstellgenauigkeit des Fräasers, die in der Regel eine Nachbearbeitung des Werkstückes mit der Feile erforderlich macht oder zu Ausschluß führt.

Für die Bearbeitung der mit Weißmetallausguß versehenen Kreuzkopfsohlplatten hat sich in vielen Werken das nachfolgend beschriebene Verfahren durchgesetzt: Auf einer wöglich doppelspindigen Planfräsmaschine werden an Stelle der Fräser radial verstellbare zwei- oder vierschneidige Messerköpfe eingespannt, die Maschine in Gang gesetzt und das Werkstück seitlich an der Fräserwelle vorbeigeschoben (Abb. 1). Man hat zwar beim Ein- und Auslaufen der Messerköpfe mit einer verminderten Schnittleistung zu rechnen, man hat ferner zu beachten, daß die Spanleistung eines solchen Messerkopfes

naturgemäß auch bei gleichzeitigem Eingriff aller Messer hinter der eines Walzenstirnfräasers zurückbleibt, es besteht weiterhin die Gefahr, daß sich die Messer beim Ein- und Auslaufen fangen und beschädigt werden: diese Nachteile treten aber bei der Bearbeitung von Kreuzkopfsohlplatten, wo es sich um leicht zu verspannendes Material (Weißmetallausguß)

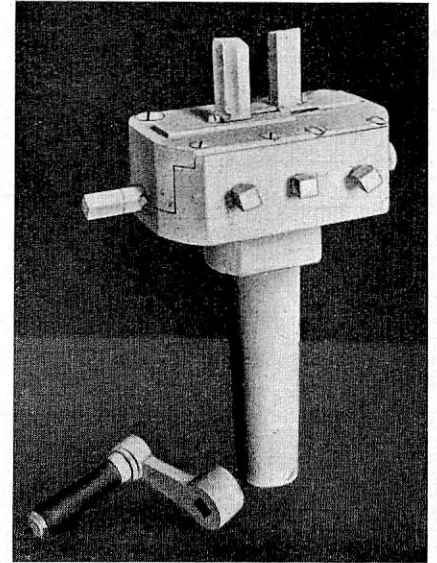


Abb. 1. Radial verstellbarer zweiseitiger Messerkopf.

von großem Verstellbereich (bis 70 mm) und hoher Einstellgenauigkeit ( $\frac{1}{100}$  mm) verwenden und bei Vorhandensein einer zweiseitigen Planfräsmaschine zwei zu einem Kreuzkopf gehörige Gleitbacken gleichzeitig bearbeiten zu können. Für Teile aus Rotguß oder Stahl, also für Stangenlager, Achslagergleitbacken und -stellkeile eignen sich jedoch diese Messerköpfe nicht, schon deshalb, weil hier das Verhältnis von Länge zu Breite der Aussparung sehr klein, die durchschnittliche Spanleistung während eines Arbeitsspieles also unwirtschaftlich niedrig wäre.

Für diese Teile wurde nun neuerdings ein breitenverstellbarer Walzenfräser\*) geschaffen (DRP.), der sich schnell und einfach auf jedes in seinem Verstellbereich liegende Breitenmaß bringen läßt (Abb. 2). Die Einstellung erfolgt auch hier mit Hilfe einer auf dem Fräsdorn angebrachten

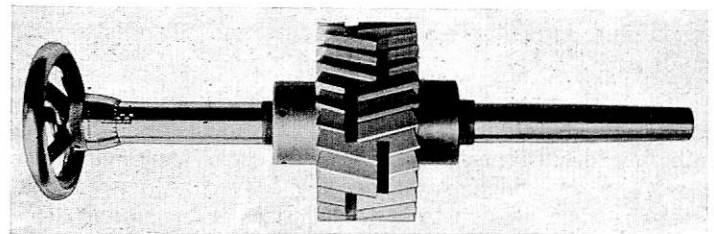


Abb. 2. Breitenverstellbarer Walzenstirnfräser.

Mikrometerteilung. Der Nullpunkt dieser Teilung ist beliebig fixierbar, um Skala und Fräserbreite beim Schmalwerden der Fräserzähne als Folge des Nachschleifens immer wieder aufeinander abstimmen zu können. Die Schnittleistung des breitenverstellbaren Fräasers erreicht die eines normalen Walzenstirnfräasers, der Verstellbereich beträgt je nach der Ausgangsbreite 10 bis 15 mm, maximal 20 mm. Den Aufbau des Fräasers gibt die in Abb. 3 dargestellte Schnittzeichnung wieder. Der Fräser bildet mit seinem Dorn eine geschlossene Einheit. Er besteht aus zwei Fräserwalzen 1 und 2, welche durch zwei Ringmuttern 3 und 4 zusammengepreßt werden können. Zwischen den beiden Fräserhälften liegen in entsprechenden Ausdrehungen zwei Keilstücke 5, welche sich einerseits an die keilförmig ausgebildeten Innenflächen der Fräserwalzen

\*) Herstellerin A.-G. Fritz Werner, Berlin-Marienfelde.

legen, andererseits den Kegel 7 des Einstelldornes 8 berühren. Letzterer ist in der Bohrung der Frässpindel 9 geführt und kann in diese mittels Handrad mehr oder weniger weit hineingedreht werden. Beim Hereindreihen des Einstelldornes werden die beiden Keilsegmente 5 nach außen getrieben, was ein Auseinanderrücken der beiden Fräserhälften zur Folge hat, umgekehrt gehen die beiden Fräserhälften aus ihrer augen-

Die Zahl der den einzelnen Ausbesserungswerken zugeordneten Lokomotivtypen ist infolge der bekannten organisatorischen Maßnahmen vermindert und die Normung der Lager soweit fortgeschritten, daß bei dem oben angegebenen Verstellbereich des Fräasers mit etwa drei Fräsern verschiedener Ausgangsbreite sämtliche für das betreffende Werk in Frage kommenden Breitenmaße bestrichen werden können.

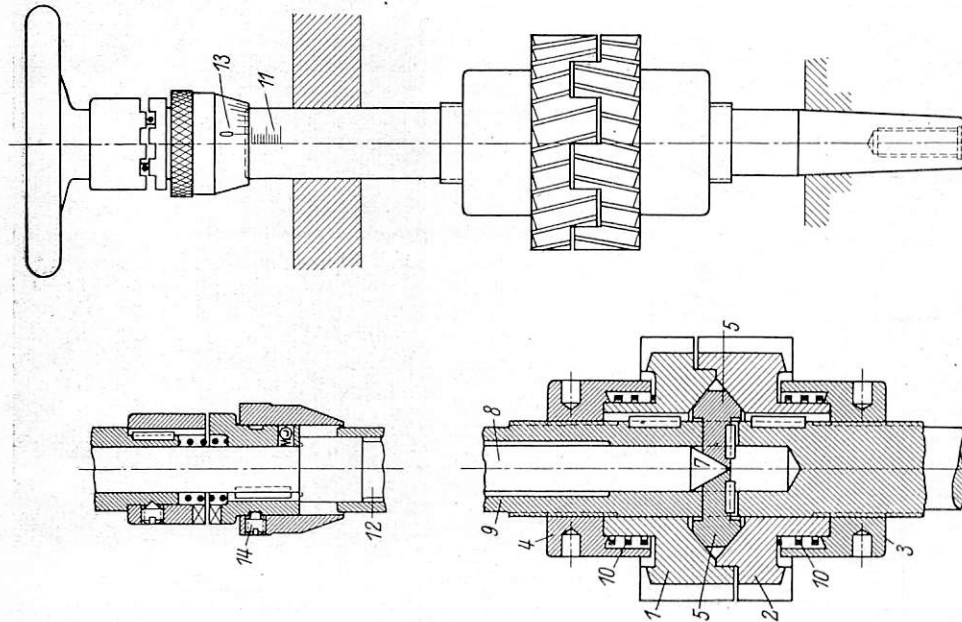


Abb. 3. Breitenverstellbarer Walzenstirnfräser. Ansicht und Schnittzeichnungen.

blicklichen Lage auf eine geringere Breite zurück, indem sie die Keile 5 nach innen schieben, wenn der Einstelldorn 8 zurückgedreht wird und die in Spannung befindlichen Federn 10 zur Wirkung kommen können. Die jeweilig gewünschte Breitenveränderung läßt sich, wie bereits erwähnt, an dem Mikrometerring 13 und an der auf der Fräuserspindel angebrachten Teilung 11 leicht ablesen. Der Mikrometerring 13 ist auf der Mikrometerspindel 12 so angeordnet, daß er sich nach Lösen einer Feststellschraube 14 auf der Spindel drehen und in beliebiger Lage feststellen läßt (Nullpunktregulierung).

Die Fräuserspindel ist allerdings gerade an der höchstbeanspruchten Stelle durch die Längsbohrung, die zur Aufnahme des Dornes 8 dient und die zwei Querbohrungen, in welchen die beiden Keilstücke 5 geführt sind, geschwächt. Wenn trotzdem an den bisher gelieferten, teilweise sehr hoch beanspruchten Fräsern keinerlei Brüche aufgetreten sind, so ist das einmal auf den hochwertigen Werkstoff, dann aber auf die gute Verspannungsmöglichkeit des ganzen Fräusersystems mittels der Muttern 3 und 4 zurückzuführen, wodurch das auftretende Biegemoment durch die Fräserkörper 1 und 2 selbst aufgenommen wird. Tatsächlich werden für einen verstellbaren Walzenfräser folgende gemessene Leistungsdaten angegeben.

Länge, Durchmesser und Konus der Fräserwelle werden so ausgeführt, daß der Fräser auf einer vorhandenen Fräsmaschine beliebigen Fabrikats arbeiten kann. Voraussetzung dabei ist keineswegs, daß die betreffende Fräsmaschine einen außenseitigen Abstützbock besitzt, da auch eine fliegende Einspannung der Frässpindel möglich und zugänglich ist. Die Maximalbeanspruchung der Fräserwelle wird bei dieser Anordnung von der Symmetriemitte des Fräasers, wo die Welle zweifach geschwächt ist, an die Spannstelle verlegt, wo die Welle bereits wieder ihren vollen Querschnitt hat. Die fliegende Anordnung ist also an sich sogar günstiger, als die Zweilagerausführung, sie gestattet jedoch nicht das Aufsetzen eines zweiten Fräasers auf die gleiche Welle, weil dann die Ausladung zu groß würde.

Diese Anordnung findet aber gerade bei der Bearbeitung von Stangenlagern mit Vorteil Verwendung. Sind diese, wie es meist der Fall ist, unsymmetrisch ausgebildet (Abb. 4), so treten nämlich

Schwierigkeiten insofern auf, als die mit a und b bezeichneten Seitenflächen um etwa 25 und 30 mm breiter sind, als die mit c und d bezeichneten, so daß der Verstellbereich des Fräasers zur Bearbeitung aller vier Seitenflächen nicht ausreichen würde. Man wäre daher gezwungen, entweder den

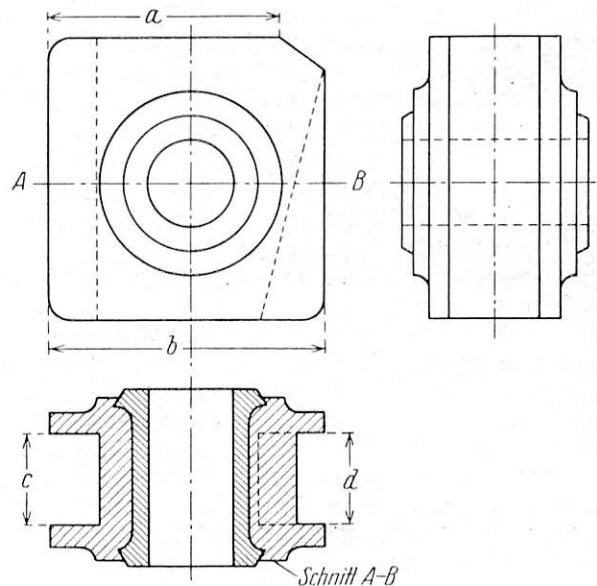


Abb. 4. Unsymmetrisches Stangenlager.

Werkstoff	Spanstärke mm	Vorschub mm/Min.	Verstellbereich mm	Verstelldauer Sek.	Einstellgenauigkeit mm
Rotguß .	10	44	15 Bei 70 mm Ausgangsbreite	45	± 0,02
Weißmetall.	18	66			
Stahl ...	8	44			

Fräser zu wechseln oder mit dem Lager auf eine andere Maschine zu gehen. In diesen Fällen hilft man sich damit, daß man auf die Frässpindel neben dem verstellbaren Fräser noch einen normalen Walzenstirnfräser größerer Breite setzt, mit welchem nach seitlichem Verschieben des Frästisches die Seiten a und b, die ja keine Aussparung aufweisen, bearbeitet werden können.



Zum Fräsen der vier Lagerseiten ist ein viermaliges Umspannen des Lagers erforderlich. Um die Handzeit hierfür auf ein Minimum zu drücken, verwendet man häufig eine Lagerschwenkvorrichtung, wie sie in Abb. 5 skizziert ist. Das zu bearbeitende Lager wird über einen Dorn D mit den auswechselbaren Zentrierplatten Z und der Mutter M festgespannt, in jede beliebige Winkellage geschwenkt und durch die Spannmutter S und den Untersatzbock B in der gewünschten Stellung festgelegt.

Ein weiteres Hilfsmittel zur Hebung der Wirtschaftlichkeit und zur Erhöhung der Genauigkeit ist das in Abb. 6 dargestellte Höheneinstellmeßgerät, das dazu dient, die erforderliche Schnitttiefe paßgerecht und ohne wiederholtes Ansetzen des Fräasers zu erzielen.

Das Gerät wird auf den Frästisch gestellt und durch Drehen der Mutter V dasjenige Maß auf ein Hundertstel Millimeter genau eingestellt, auf welches das Werkstück bearbeitet werden soll. Das Meßgerät ist unter Berücksichtigung der Lager-Einspannhöhe geeicht. Hierauf wird die Maschine in Gang gesetzt und der Frästisch soweit gehoben, bis die Schneiden des Walzenfräasers auf den Teller T der Meßuhr U drücken. Dieser weicht nach unten aus und die Meßuhr zeigt einen Ausschlag, der bei Verwendung eines einwandfreien Schrägnuten- oder Spiralnutenfräasers konstant ist. Die Größe des Ausschlages kann durch Heben oder Senken des Frästisches so eingestellt werden, daß sie genau der Durchbiegung der Frässpindel unter dem Schnittdruck entspricht. Sie ist also ein Erfahrungswert, der von Breite und Stärke des zu nehmenden Spans, dem zu bearbeitenden Werkstoff

und dem Zustand der Fräterschneiden abhängig ist. Mit dem so eingestellten Fräser wird das Lager einbaufertig auf Paßmaß bearbeitet.

Die bei Verwendung von breitenverstellbaren Walzenfräsern, einer Lagerschwenkvorrichtung und eines Höhen-

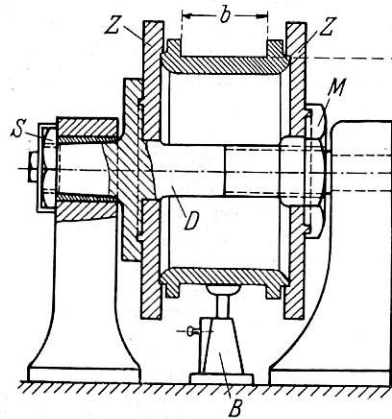


Abb. 5. Lagerschwenkvorrichtung.

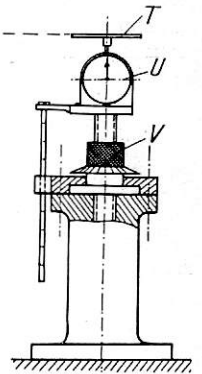


Abb. 6. Höheneinstellmeßgerät.

einstellmaßes erzielbare Ersparnis gegenüber dem Kurzhobelverfahren kann auf durchschnittlich 4,5 Stunden je Stangenlager geschätzt werden. Bezogen auf den Zeitaufwand bei Verwendung von normalen Walzenfräsern nach einem der oben angegebenen Verfahren bleibt immer noch ein Zeitgewinn von mindestens zwei Stunden je Lager.

## Persönliches.

### Enthüllung eines Gölsdorf-Denkmal.

Am 22. Juni d. J. wurde im historischen Museum der österreichischen Eisenbahnen, das im Gebäude des Technischen Museums für Industrie und Gewerbe in Wien untergebracht ist, in feierlicher Weise ein Denkmal für den rühmlichst bekannten österreichischen Lokomotivverbauer Sektionschef Dr. Ing. e. h. Karl Gölsdorf enthüllt.

Als Karl Gölsdorf mitten in seinem Schaffen allzu früh vom Tode ereilt wurde, hat die Fachgruppe der Maschineningenieure im Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein dem verstorbenen Meister in einer ehrenvollen Gedächtnisfeier am 20. März 1917 gehuldigt, bei welcher der damalige Eisenbahnminister Dr. Forster, Staatsbahnrat Ingenieur Dr. Sanzin, Oberingenieur Steffan und Ministerialrat Ingenieur Rihosek die Verdienste Gölsdorfs würdigten. Des letzteren Rede klang in der Aufforderung aus, durch Errichtung eines würdigen Denkmals das Andenken an Gölsdorf zu ehren. Der Weltkrieg hat damals die Durchführung dieses Planes unmöglich gemacht. Erst im Jahre 1929 wurde der Gedanke wieder aufgenommen und fand den gleichen lebhaften Widerhall wie damals. Ein Ehrenausschuß wurde gebildet, an die Spitze des Arbeitsausschusses trat der Unterzeichnete. Die Werbung für die Sammlung von Beiträgen hatte vollen Erfolg.

Das Bundesministerium für Handel und Verkehr und die Generaldirektion der Österreichischen Bundesbahnen stellten sich mit namhaften Beiträgen an die Spitze der Spender, der frühere König von Bulgarien in Coburg, österreichische, ungarische und deutsche Eisenbahnunternehmungen, der Verein Deutscher Eisenbahnverwaltungen, viele Industrieunternehmungen sowie Hochschulen, andere Körperschaften und zahlreiche Einzelpersonen des In- und Auslandes ermöglichten durch ihre Beiträge die Herstellung des Denkmal.

Das in der großen Ausstellungshalle des Eisenbahnmuseums in einer Ecke eingebaute Denkmal zeigt die lebenswahre Büste Gölsdorfs aus Bronze auf einem Sockel aus deutschem Travertin, welches Material auch für die einfache architektonische Umrahmung verwendet ist. Der Künstler Professor O. Schimkowitz hatte die schwierige Aufgabe übernommen, nach vorhandenen Bildern das Werk zu schaffen. Seitlich der Büste sind in Schaukästen die Schöpfungen Gölsdorfs in Lichtbildern wiedergegeben, Bilder aus seinem Leben und von Gölsdorf eigenhändig gezeichnete Skizzen seiner Lokomotiven ausgelegt.

Was Gölsdorf für den Lokomotivbau und die Entwicklung der Dampflokomotive bedeutete, erübrigt sich hier zu schildern, es hat dies in trefflichster Weise seinerzeit in diesen Blättern Direktor Courtin getan\*). Der Arbeitsausschuß hat zur Enthüllungsfeier eine Denkschrift verteilt, in welcher der Unterzeichnete Gölsdorf und sein Werk schildert, Sektionschef Ingenieur Rihosek über den Anteil Österreichs an der Entwicklung der Dampflokomotive schreibt. Sektionschef Dr. Pöschmann nahm in Vertretung des Bundesministers für Handel und Verkehr am genannten Tage das Denkmal in die Obhut des Bundes. An der Feier nahmen zahlreiche Fachleute und Gäste, sowie der Bruder Gölsdorfs und die Familie teil. Sektionschef Rihosek als sein Schüler und als sein Nachfolger im Amte würdigte die Verdienste des Meisters in beredten Worten, Maschinendirektor Szent-György überbrachte namens der ungarischen Staatsbahnen ein prächtiges Lorbeergewinde.

So ist es nun möglich geworden, Gölsdorfs Andenken der Nachwelt durch dieses Denkmal zu erhalten; allen Spendern darf wohl auch an dieser Stelle Dank gesagt werden.

Wien, Juni 1931.

Zentralinspektor Ingenieur Friedrich Turber.

\*) Organ 1916, S. 184 bis 187.

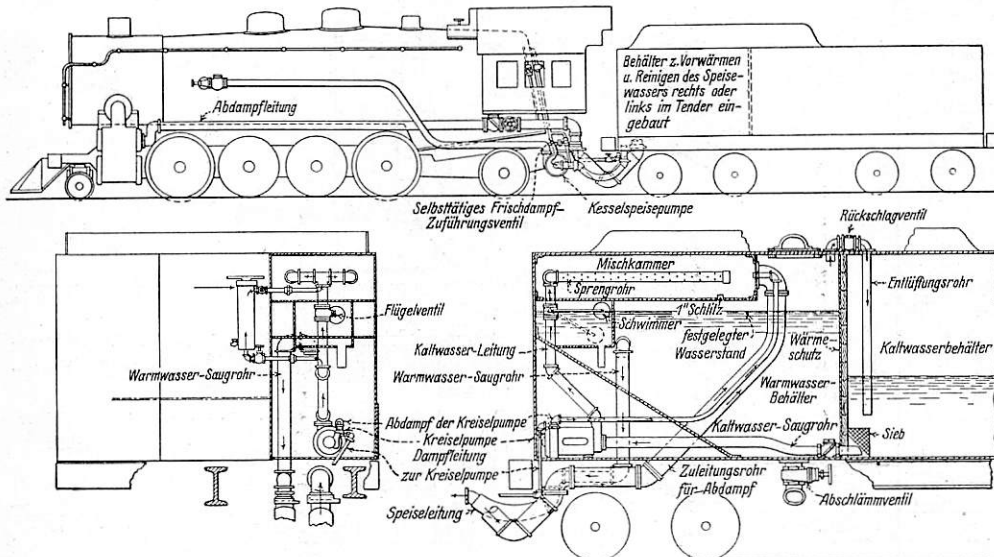
# Berichte.

## Lokomotiven und Wagen.

### Speisewasser-Aufbereitungsanlage im Lokomotivtender.

Die Anlage, die von der Bird-Archer Company in Chicago entworfen worden ist, vereinigt die beiden sonst getrennten Vorgänge der chemischen Enthärtung und der Vorwärmung des Speisewassers im Lokomotivtender. Die Ent-

Die Enthärtungsanlage besteht aus einem im Kohlenraum liegenden zylindrischen Behälter mit abnehmbarem Deckel, in den das Enthärtungsmittel in Brikettform eingebracht wird. Der Behälter ist mit der Kaltwasserleitung durch Zweigrohre verbunden, so daß er stets von kaltem Wasser durchspült wird, das die Brikette allmählich auflöst. Wenn das Wasser dann erwärmt wird, vollzieht sich die chemische Reaktion; die Härtebildner werden ausgeschieden und setzen sich auf dem Boden des Warmwasserbehälters nieder, von wo sie nach der Fahrt zusammen mit sonstigen Unreinigkeiten durch ein Abschlammentil abgesehen werden.



Speisewasser-Aufbereitungsanlage im Lokomotivtender.

Eine derartige Anlage ist seit einiger Zeit auf einer Lokomotive der Chicago, Milwaukee, St. Paul and Pacific Railway im Betrieb. Sie soll sich dort gut bewährt haben, vor allem, weil sie in der Bedienung einfacher sei als zwei getrennte Anlagen. Auch die Kosten sollen gering sein. Die Anlagekosten für eine Lokomotive betragen 10000 *R.M.*; das Enthärtungsmittel soll für 1 m<sup>3</sup> Speisewasser 5 bis 6 Pfennige kosten. Die Bedienung erfordert keine besondere Kosten, weil sie von der Lokomotivmannschaft mitbesorgt wird.

R. D.

(Railw. Age 1930.)

härtung vollzieht sich damit ebenfalls unter der Aufsicht und Verantwortung der Lokomotivmannschaft.

Wie die Textabbildung zeigt, ist die ganze Anlage in einem abgetrennten Teil des Lokomotivtenders untergebracht, der einen Warmwasserbehälter bildet und gegen den übrigen Tenderraum Wärmeschutz hat. Im oberen Teil dieses Warmwasserbehälters ist eine besondere Mischkammer vorgesehen, in der das kalte Wasser sich mit dem Dampf vermischt. Das Wasser wird hierbei aus dem Kaltwasserraum des Tenders durch ein Sieb und eine Saugleitung mittels einer Kreiselpumpe in zwei in der Mischkammer liegende Sprengrohre gedrückt und ergießt sich aus diesen in die Mischkammer. Diese ist angefüllt mit Abdampf, der aus den Zylindern und den Hilfsmaschinen über einen Ölabscheider zugeleitet wird. Die Dampfzufuhr dauert so lange, bis die Wärme in dem Warmwasserbehälter den Siedepunkt erreicht und damit ein Gegendruck im Behälter entsteht. Das angewärmte Wasser und der überschüssige Dampf gelangen durch Schlitze im Boden der Mischkammer in den eigentlichen Warmwasserbehälter und füllen diesen bis zu einem bestimmten Wasserstand an, der mittels eines Schwimmers selbsttätig geregelt wird. Soweit der Dampf sich im Warmwasserbehälter nicht niederschlägt, entweicht er über ein Rückschlagventil und durch ein besonderes Entlüftungsrohr in den großen Kaltwasserbehälter.

Die Kesselspeiseleitung entnimmt das Speisewasser aus dem Warmwasserbehälter erst beträchtlich unterhalb des selbsttätig festgelegten Wasserspiegels. Man hat so auf alle Fälle einen Warmwasservorrat, auch wenn die Lokomotive vorübergehend nicht arbeitet und also kein Abdampf zum Anwärmen zur Verfügung steht. Damit ein Kaltspeisen unter allen Umständen vermieden wird, ist die unter dem Führerhaus liegende Speisepumpe so eingerichtet, daß sie erst arbeitet, wenn das Speisewasser einen bestimmten Wärmegrad aufweist.

### Luftgekühlte Speisewagen.

Ein Speisewagen eines durch heiße Landstriche verkehrenden Luxuszuges der Santa Fe Bahn ist mit einer vollständigen Kältemaschinenanlage und Ventilationseinrichtung ausgerüstet. Die Kältemaschinenanlage besteht aus einem Kompressor der durch einen Elektromotor angetrieben wird, einem Kondensator und einem Verdampfer. Der Strom für den Motor wird von zwei durch je eine Wagenachse angetriebenen Dynamomaschinen von je 7,5 kW in Verbindung mit einer Speicherbatterie für den Fall des Stillstandes oder geringerer Fahrgeschwindigkeit, geliefert.

Der Arbeitsstoff, der nicht näher angegeben ist, wird nach Verdichtung im Kondensator gekühlt und verflüssigt, das dazu nötige Kühlwasser wird in einem Spritzkühler, der sich in einem Schacht in einer Wagenecke befindet, rückgekühlt. Im Verdampfer wird dann durch eine Kühlschlangenanordnung die zur Luftkühlung dienende Flüssigkeit (Wasser) gekühlt.

Das gekühlte Wasser kühlt in einem Rohrsystem die für das Wageninnere bestimmte Frischluft ab, die durch elektrisch angetriebene Ventilatoren in der Wagenmitte über dem Dach des Bufftraumes über Filter eingeführt wird, wobei übermäßige Feuchtigkeit sich niederschlägt. Die eingeführte Luft wird durch verdeckte Kanäle zwischen der Decke und dem äußeren Wagendach gleichmäßig verteilt, so daß die nicht gut aussehenden Flügelventilatoren im Wageninnern vermieden sind. Die verbrauchte Luft zieht ebenfalls am Bufftraum aus dem Wagen ab, um erneut abgekühlt und mit Frischluft gemischt zu werden.

Die Anlage kann in einfachster Weise durch einen Druckknopf in Tätigkeit gesetzt werden.

Wenn die Temperatur im Wagen unter einen gewissen Betrag sinkt, wird der Luftstrom nicht mehr über das Kühlrohrsystem geführt, ist sie wieder angestiegen, dann wird die Kühlung wieder eingeschaltet. Die Anlage arbeitet vollständig selbsttätig. R—r.

### Betrieb in technischer Beziehung; Signalwesen.

#### Signalscheinwerfer für elektrisch beleuchtete Signale.

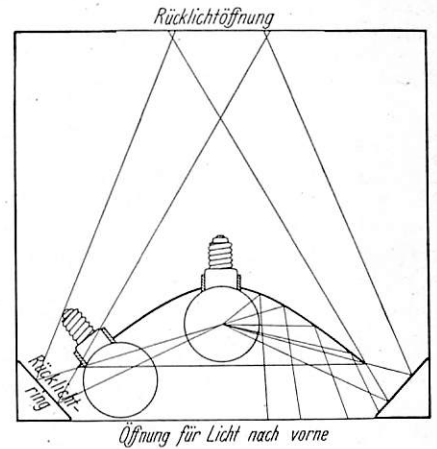
In Heft 9, Jahrgang 1929 dieser Zeitschrift wurde ein neuerartiger Signalscheinwerfer für elektrisch beleuchtete Signale beschrieben, bei dem die Lichtquelle in den Brennpunkt verlegt ist, so daß der wirksamste Teil der im übrigen nach Belieben parabolisch

oder hyperbolisch gekrümmten Blende erhalten bleibt, während bei den bisherigen elektrisch beleuchteten Signalen in Anlehnung an die für Petroleumbeleuchtung entwickelten Formen diese Teile weggeschnitten und damit ausgeschaltet werden. Das Rücklicht wird nicht durch direkte Lichtstrahlen erzielt, sondern ein Teil

der Lichtstrahlen fällt durch Schlitz, die in dem äußeren Teil der Scheinwerfer eingeschnitten sind, auf eine ringförmige Blende und von dort auf die Rücklichtscheibe. Die Lösung hatte folgende Nachteile: Einmal war die Rücklichtwirkung nicht vollständig befriedigend, jedenfalls geringer, als bei den bisher verwendeten elektrischen Signallaternen mit direktem Licht, ferner war die Reinigung des zusammengesetzten Körpers der Blende nicht ganz einfach. Beide Nachteile werden durch eine neue verbesserte Lösung vermieden, die in der Abbildung dargestellt ist. Die Blenden für das Signallicht und für das Rücklicht sind nunmehr vollständig getrennt und unabhängig voneinander. Die Lichtstrahlen fallen auf die ringförmige Rücklichtblende durch einen ebenfalls ringförmigen Schlitz außerhalb der Vorlichtblende, der infolgedessen der Wirkung des eigentlichen Signalscheinwerfers keinerlei Abbruch tut und für das Auge überhaupt nicht sichtbar ist. Für das Rücklicht verwendet werden nur Lichtstrahlen, die für das eigentliche Signallicht nicht mehr in Frage kommen. Das Rücklicht wird auf diesem Wege vollständig einwandfrei und dem direktesten Rücklicht der bisher verwendeten elektrischen Signale mindestens gleichwertig. Da die beiden Scheinwerferblenden unabhängig voneinander sind und nunmehr ganz einfache Formen aufweisen, wird die Reinigung keinerlei Schwierigkeiten machen.

Da Signallampen mit elektrischer Beleuchtung keinerlei Luftzufuhr bedürfen, steht übrigens nichts im Wege, die Lampen vollständig abzuschließen und sie etwa ähnlich auszustatten, wie das bei den Scheinwerfern der Kraftfahrzeuge der Fall ist. Die

Laternen bedürfen also keiner beweglichen Tür mehr, bei der auch bei bester Ausführung Undichtigkeiten nicht zu vermeiden sein werden, die das Eindringen von Staub und Feuchtigkeit begünstigen. Der Verschluß kann in diesem Falle verschraubt werden und staub- und feuchtigkeitsdicht ausgeführt sein, auch wenn hierdurch das Auswechseln ausgebrannter Lampen etwas umständlich wird. Da die elektrischen Signallaternen neben der Hauptbirne noch eine Ersatzglühbirne enthalten, die sich bei Versagen der ersten selbsttätig einschaltet, wird immer genug Zeit sein, die Lampe zu ersetzen. Bei derartig gebauten Signallaternen wird sich die Reinigungsarbeit wesentlich vermindern lassen, weil bei staub- und feuchtigkeitsdicht verschlossenen Gehäusen die Scheinwerfer nur selten der Reinigung bedürfen.



Dr. Ing. Derikartz, Koblenz.

## Buchbesprechung.

**Kleinlogel und Sigmann, „Der durchlaufende Träger“.** (Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1929), geh. 15,50 *R.M.*, geb. 17,— *R.M.*

In ähnlicher Weise, wie in den bekannten Formelsammlungen „Rahmenformeln“ und „Mehrstielige Rahmen“ des erstgenannten Verfassers sind hier Formeln für den durchlaufenden Träger gegeben, mit deren Hilfe wohl alle in der Praxis vorkommenden Fälle durchlaufender Träger berechnet werden können. Der Formelsammlung sind die notwendigsten theoretischen Ableitungen vorangestellt, in denen, von den Momenten und Querkraften des einfachen Balkens für die verschiedensten Belastungs-

fälle ausgehend, auf Grund der Mohrschen Sätze die verwendeten Formeln begründet werden. Sie enthalten auch Anleitungen für den Fall einer Stützensenkung und den Fall ungleichmäßiger Erwärmung des Trägers. Die Tafeln enthalten 20 Fälle verschiedener Stützenanordnungen bei Trägern bis zu sechs Feldern, je mit verschiedenen Feldweiten und feldweise veränderten Trägheitsmomenten und beliebiger Lastanordnung, mit frei drehbaren und mit einseitig oder beiderseitig eingespannten Enden, neben den Sonderfällen mit gleichen Feldweiten. In dieser Vollständigkeit liegt die beste Empfehlung des Werkes. Karig.

## Verschiedenes.

### 100 Jahrfeier der Technischen Hochschule Hannover.

Die Technische Hochschule Hannover feierte am 15. Juni das hundertjährige Bestehen, durch einen eindrucksvollen Festakt, zu dem auch der Reichsverkehrsminister sowie der Generaldirektor der Deutschen Reichsbahn erschienen waren. Die Festrede des Rektors Dr. Ing. Blum behandelte das Thema „die Versöhnung des Menschen mit der Maschine“, ein für die gegenwärtige Zeit, in der so viel Zweifelsfragen über den Widerstreit zwischen ideeller und materieller Kultur auftreten, sehr bedeutungsvolles Thema. Dr. Dormüller behandelt das Zusammenarbeiten von Hochschule und Reichsbahn, das bei der Hochschule, bei der die Technik des Verkehrswesens seit Alters eine besondere Pflege fand — es sei daran erinnert, daß die Schriftleitung des Organs Jahrzehnte hindurch in den Händen des Professors Barkhausen-Hannover lag — einen besonderen Widerhall erweckte.

### Versuchsfahrten des Propellertriebwagens.

Der Propellertriebwagen des Ing. Kruckenberg\*) hat am 21. Juni 1931 von Hamburg nach Berlin eine große Probefahrt ausgeführt. Zur Durchführung der Versuchsfahrt waren zahlreiche Vorbedingungen getroffen, u. a. waren alle Schranken stark bewacht und die ganze Strecke für den normalen Betrieb streng abgesperrt.

Der Wagen startete um 3,27 Uhr von Bergedorf aus nach Spandau, wo er nach einer Stunde 38 Minuten glücklich verlaufener Fahrt um 5,05 Uhr eintraf. Bei der Schnelligkeit, mit der der Wagen die 257 km lange Strecke bewältigt hat, ist zu beachten, daß er mit Höchstgeschwindigkeit nur auf einem kurzen Teil der Strecke fahren durfte. Zwischen Wittenberge und Bad Wilsnack war ihm beispielsweise von der Reichsbahndirektion

eine Geschwindigkeit von nur 60 Std./km vorgeschrieben worden. Dagegen konnte er zwischen Karstädt und Wittenberge seine Geschwindigkeit auf 230 Std./km erhöhen. Die vorgesehene Zeiteinteilung ist genauestens, fast bis auf die Sekunde, eingehalten worden.

Bei der Höchstgeschwindigkeit entwickelte die Maschine ihre größtmögliche Leistung von 600 PS. Der Brennstoffverbrauch von Berlin bis Hamburg betrug genau 183 Liter, das sind etwa 70 Liter für 100 km, also ungefähr das Doppelte dessen, was ein starker Kraftwagen verbraucht. Demgegenüber aber würde der Kraftwagen mit nur 60 bis 70 Std./km fahren und höchstens vier oder sechs Personen befördern können, während der „Schienen-Zeppelin“ durchschnittlich mit 100 km Geschwindigkeit fährt und dabei 24 Personen — im Notfall über 40 Personen — befördern kann.

### Gemeinschaftsarbeit auf dem Gebiete der Korrosion und des Korrosionsschutzes.

Um die Fragen der Korrosion und des Korrosionsschutzes in einer umfassenden, ihrer Bedeutung entsprechenden Weise zu behandeln, haben der Verein Deutscher Ingenieure, der Verein Deutscher Eisenhüttenleute, der Verein Deutscher Chemiker und die Deutsche Gesellschaft für Metallkunde die Durchführung einer Gemeinschaftsarbeit beschlossen.

Das Hauptziel besteht in der Veranstaltung gemeinsamer Tagungen, die jährlich etwa ein- oder zweimal abgehalten werden sollen. Diese Tagungen sollen dazu beitragen, Fühlungnahme und Erfahrungsaustausch auf diesem Gebiete zwischen den Vereinen und ihren Mitarbeitern zu sichern. Eine erste Tagung ist für den Herbst d. J. in Berlin geplant, Körperschaften und Fachgenossen, die sich mit Korrosionsfragen befassen, sind als Mitarbeiter sehr

\*) Organ 1930, S. 528.

willkommen. Sie sollen, ohne organisatorische und geldliche Bindung, zu den Tagungen und zur laufenden Mitarbeit herangezogen werden.

Die Federführung der Gemeinschaftsarbeit soll wechseln. Sie liegt zur Zeit beim Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Düsseldorf, Postschließfach 664), der auf Wunsch weitere Auskunft erteilt.

### Ausbildung des technischen Nachwuchses.

Zusammenschluß im Deutschen Ausschuß für Technisches Schulwesen.

Der Deutsche Ausschuß für Technisches Schulwesen (Datsch) hat seit Jahren in dem Sinne gewirkt, die bestgeeigneten Ausbildungsgänge für die technischen Berufe in gemeinsamen Beratungen aller interessierten Kreise festzulegen, und hat ebenso wie die Technisch-Wissenschaftliche Lehrmittelzentrale (TWL) durch vorbildliche Lehrmittel die Ausbildung selbst beeinflusst und erleichtert.

Nachdem seit Jahren schon eine Arbeitsgemeinschaft zwischen diesen beiden Körperschaften bestanden hat, ist jetzt

durch übereinstimmende Beschlüsse der Vorstände eine noch engere Zusammenarbeit mit dem Ziele vollständiger Verschmelzung zum 1. Januar 1932 herbeigeführt. So wird größere Einheitlichkeit und höherer Wirkungsgrad bei der Schaffung der Lehrmittel erreicht werden. Vor allem aber wird die geschaffene Neuorganisation die Möglichkeit bieten, alle grundsätzlichen Fragen des technischen Schulwesens in verstärktem Maße und einheitlich für das ganze Reich zu bearbeiten.

Aus der großen Zahl der Gegenstände, um die heute die Erörterung geht, seien stichwortartig herausgegriffen: Überfüllung der Hochschulen, Überlastung der Studierenden, Spezialisierung im Unterricht, Vorbildung für die Hochschule, Werkstattausbildung, Wechsel der Bildungsstätte, Prüfungsordnungen, Berechtigungswesen, Gewerbelehrerlaufbahn, Werkmeisterausbildung, Fortbildung im Beruf, Bewertung der Handarbeit.

Die Geschäftsstelle des Deutschen Ausschusses für Technisches Schulwesen befindet sich im Hause des Vereins Deutscher Ingenieure, Berlin NW 7, Dorotheenstr. 40 III, der Lehrmitteldienst des Datsch nach wie vor Berlin W 35, Potsdamer Str. 119 b.

## Zuschriften.

### Der Gleitmodul.

Im Heft 4 des laufenden Jahrgangs veröffentlichte Herr Kreissig eine Betrachtung über den Zusammenhang zwischen Elastizitätsmodul und Gleitmodul, nach der die bekannte Beziehung

$$1) \dots \dots \dots \frac{G}{E} = \frac{m}{2(m+1)}$$

nur eine Annäherung darstellt, die eigentlich durch den genaueren Ausdruck

$$2) \dots \dots \dots \frac{G}{E} = \frac{m^3}{2(m^2-1)(m+1)}$$

ersetzt werden müßte.

Diese neue Beziehung ist jedoch nicht einwandfrei, da bei ihrer Ableitung ein Versehen unterlaufen ist. Gerade bei dem Ansehen des Verfassers der Studie ist es wohl notwendig, hierauf aufmerksam zu machen.

Herr Kreissig knüpft an die bekannte Art der Herleitung der Beziehung 1) an, bei der man einen Würfel betrachtet, der z. B. in der X-Richtung mit der Spannung  $\sigma_x$  gezogen, in der Y-Richtung mit der gleich großen Spannung  $\sigma_y$  gedrückt wird. Man erkennt dann sofort, daß die vom Zug  $\sigma_x$  herrührende Querkontraktion in Richtung der Z-Achse aufgehoben wird durch eine ebenso große vom Druck  $\sigma_y$  herrührende Querdilatation. Die Dehnung in der Z-Richtung,  $\lambda_z$ , ist also bei diesem Belastungsfall gleich 0. Diese Tatsache, die Herr Kreissig zum Ausgangspunkt seiner Betrachtung nimmt, führt jedoch zu keiner von Formel 1) abweichenden neuen Beziehung. Denn wenn die Spannung  $\sigma_z$  vor Aufbringen der Belastungen  $\sigma_x, \sigma_y$  gleich Null war, muß sie auch jetzt noch gleich Null sein, gerade wenn man fordert, daß  $\lambda_z = 0$ . Dies folgt sowohl aus der physikalischen Anschauung als auch aus den Formeln des dreiachsigen Spannungszustandes.

Nach diesen sind die Dehnungen in den einzelnen Achsrichtungen

$$\lambda_x = \frac{1}{E} \left[ \sigma_x - \frac{1}{m} (\sigma_y + \sigma_z) \right]$$

$$\lambda_y = \frac{1}{E} \left[ \sigma_y - \frac{1}{m} (\sigma_z + \sigma_x) \right]$$

$$\lambda_z = \frac{1}{E} \left[ \sigma_z - \frac{1}{m} (\sigma_x + \sigma_y) \right].$$

Aus  $\sigma_x = -\sigma_y$  folgt  $\lambda_z = \frac{\sigma_z}{E}$ , also für  $\lambda_z = 0, \sigma_z = 0$ .

Damit spezialisieren sich die Formeln des dreiachsigen Spannungszustandes zu denen des zweiachsigen. Es ist daher nicht nötig, und wird auch im allgemeinen unterlassen, bei der Ableitung der Beziehung 1) auf die Gleichungen des dreiachsigen Spannungszustandes zurückzugreifen, es genügt die Betrachtung des zweiachsigen Spannungszustandes. Die Dehnung  $\lambda_x$  wird dann bei dem betrachteten Belastungsfall

$$\lambda_x = \frac{\sigma}{E} \left( 1 + \frac{1}{m} \right),$$

wenn wir für den Betrag von  $\sigma_x$  bzw.  $\sigma_y$  einfach  $\sigma$  schreiben.

Zum gleichen Ergebnis muß an sich auch der Ansatz von Herrn Kreissig führen.

Herr Kreissig stellt den Endbelastungszustand  $\sigma_x, \sigma_y$  durch Überlagerung aus den beiden Elementarspannungszuständen

$$I: \sigma_x = +\sigma, \sigma_y = 0$$

und

$$II: \sigma_x = 0, \sigma_y = -\sigma$$

her, führt aber bereits bei jedem einzelnen dieser Spannungszustände durch Aufbringen entsprechender Hilfsspannungen

$\sigma_z = +\frac{1}{m}\sigma$  bzw.  $\sigma_z = -\frac{1}{m}\sigma$  die Nebenbedingung ein, daß  $\lambda_z = 0$ .

Das ist ohne weiteres erlaubt. Nur muß bei der Überlagerung der beiden Einzelzustände berücksichtigt werden, daß sich die Hilfsspannungen hierbei wieder wegheben, also auch ihre Wirkung wieder verschwindet. Die vollständige Überlagerung sieht wie folgt aus.

Beim Herstellen des Spannungszustandes I wird die Dehnung  $\lambda_{xI}$  jetzt

$$\lambda_{xI} = \frac{1}{E} \left[ \sigma_x - \frac{1}{m} \sigma_z \right] = \frac{1}{E} \left[ \sigma - \frac{1}{m} \cdot \frac{1}{m} \sigma \right] = \frac{\sigma}{E} \left[ 1 - \frac{1}{m^2} \right].$$

Bei der Herstellung des Spannungszustandes II entsteht eine weitere Dilatation,  $\lambda_{xII}$

$$\lambda_{xII} = \frac{1}{E} \left[ 0 - \frac{1}{m} (\sigma_y + \sigma_z) \right] = \frac{1}{E} \cdot \frac{1}{m} \left[ \sigma + \frac{1}{m} \sigma \right] = \frac{\sigma}{E} \left[ \frac{1}{m} + \frac{1}{m^2} \right]$$

so daß also die Gesamtdehnung

$$\lambda_x = \lambda_{xI} + \lambda_{xII} = \frac{\sigma}{E} \left[ 1 + \frac{1}{m} \right]$$

wie oben.

Entsprechend verschwindet auch bei  $\lambda_y$  das mit  $\frac{1}{m^2}$  behaftete Zusatzglied.

Alfred Bloch.

Zu den vorstehenden Ausführungen habe ich folgendes zu bemerken:

Die Feststellung des Herrn Dipl.-Ing. Bloch ist zutreffend, und danke ich Genanntem für die Richtigstellung. Zu klären bleibt aber dann die Abweichung der gerechneten Werte des Gleitmoduls von den tatsächlichen Werten, welche letztere bedeutend höher liegen als erstere. So z. B. ergibt die Formel

$$G = E \frac{m}{2(m+1)}$$

für Federstahl von  $E = 2080000 \text{ kg/cm}^2$  einen Gleitmodul  $808000 \text{ kg/cm}^2$ ; in Wirklichkeit steigt derselbe aber bis  $850000 \text{ kg/cm}^2$  und darüber. Versuche mit Flußeisen ergaben eine noch größere Differenz. Versuche an einem möglichst isotropen Material (Stahlguß geschmiedet) sind in Vorbereitung, jedoch würde ich es dankbar begrüßen, wenn mir bereits bestehende Versuchsergebnisse für Stahl mitgeteilt würden.

Ernst Kreissig.