

# Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

Herausgegeben von Dr. Ing. Heinrich Uebelacker, Nürnberg, unter Mitwirkung von Dr. Ing. A. E. Bloss, Dresden

89. Jahrgang

1. Mai 1934

Heft 9

## Das Fahrzeug der Deutschen Reichsbahn für die Beförderung von Eisenbahnwagen auf der Straße.

(Das fahrbare Anschlußgleis).

Von Reichsbahnrat Wolfgang Bode, Berlin.

Hierzu Tafel 10 und 11.

Der Gedanke, einen Eisenbahnwagen von der Schiene herunterzunehmen und ihn auf einem besonderen Fahrzeug über die Straße zu befördern, erscheint zunächst absonderlich. Wenn man aber berücksichtigt, daß viele Gleisanschlüsse durch die Straßen der Städte führen, auf denen häufig Güterwagen einzeln und in ganzen Zügen zu den angeschlossenen Firmen und Fabriken gefahren werden, so bietet an sich der Anblick eines Güterwagens im Straßenbild nichts Außergewöhnliches. Es bleibt also nur die Frage, ob es technisch möglich ist, einen Eisenbahnwagen außerhalb der Schienen so zu befördern, daß er für die Schienenfahrt verwendbar bleibt. Die Lösung der damit zusammenhängenden Aufgaben sehen wir in dem Straßenfahrzeug für Eisenbahnwagen, dem sogenannten fahrbaren Anschlußgleis\*).

Die räumliche Ausdehnung des Eisenbahnnetzes ist, besonders in unseren Städten, heutzutage als abgeschlossen zu betrachten. Erweiterungsmöglichkeiten der Eisenbahngleise, Verlegung neuer Anschlüsse, ist infolge der engen Bebauung fast unmöglich, und wenn nicht schon sowieso außerordentliche Geländeschwierigkeiten entgegenstehen, nur noch unter Aufwendung sehr großer Geldmittel durchführbar. Der Güterverkehr hat sich daher in unseren Städten in der Form entwickelt, daß das Gut vom Versender durch ein Straßenverkehrsmittel (Fuhrwerk oder Auto) zu den Sammelpunkten der Eisenbahn gebracht wird und von dort über die Schiene zu dem Sammelpunkt des Empfängers gelangt. Von dort wird es mit Straßenfuhrwerk dem Empfänger wieder zugestellt. Um dieses Transportverfahren zu vereinfachen, hat man mehrere Wege eingeschlagen. Einmal befördert das Straßenfuhrwerk, hauptsächlich das Auto, die Ware unmittelbar vom Versender über die Landstraße zum Empfänger. Damit ist der Schienenweg ausgeschaltet und als Vorteil die Vermeidung jeglicher Umladung gewonnen und, besonders bei kürzeren Entfernungen, Zeit erspart. Zum anderen hat man sich durch Einführung von Behältern die Vorteile des unmittelbaren Verkehrs von Haus zu Haus zunutze gemacht, indem die Ware in Behälter verpackt, im Urzustande vom Versender durch Fuhrwerk der Bahn zugestellt und am Empfangsort auf die gleiche Art dem Empfänger übermittle wird. Die folgerichtige Fortentwicklung dieses Gedankens des Transports von Gütern von Haus zu Haus durch Behälter stellt nun die Beförderung ganzer Eisenbahnwagen als größten der Reichsbahn zur Verfügung stehenden Behälter auf Straßenfahrzeugen dar.

Die geschichtliche Entwicklung des Straßenfahrzeuggedankens, sowie die mannigfachen Versuche zur Lösung des Problems in technischer Hinsicht sind von Reichsbahnoberrat Culemeyer in zwei Aufsätzen\*\*) eingehend behandelt worden, in denen auch das Straßenfahrzeug der Deutschen Reichsbahn-Gesellschaft, dessen Erfinder Culemeyer ist, im allgemeinen geschildert wurde.

\*) Es besteht wohl das Bedürfnis nach einer kurzen Bezeichnung des neuen Beförderungsmittels; wir möchten dafür das Wort „Güterwagentransporteur“ oder „Güterwagenträger“ vorschlagen.  
Schriftleitung.

\*\*) Reichsbahnoberrat H. Culemeyer: Das Straßenfahrzeug für Eisenbahnwagen. Die Reichsbahn, Heft 26 vom 28. Juni 1933, und Haus-Haus-Verkehr mit Wagenladungen, Ztg. Ver. Mitteleurop. Eisenb.-Verw. Nr. 46 vom 16. November 1933.

Aufgabe der folgenden Zeilen soll es sein, das Straßenfahrzeug in technischer Hinsicht zu erläutern. Die Fülle konstruktiver Aufgaben, die hierbei gelöst werden mußten, erforderten infolge der ganz besonders gedrängten Raumverhältnisse und der zu befördernden großen Lasten das Beschreiten bisher im Fahrzeugbau ungewohnter und neuer Wege. Entsprechend seinem Verwendungszweck und seinen dafür nötigen Eigenschaften sind Bauteile sowohl aus dem Automobilbau als auch aus dem Eisenbahnwaggonbau verwendet worden. Die einschlagbaren Räder, welche in gleicher Weise wie beim Kraftwagen durch Spurstangen verbunden sind, die Aufhängung der Federn, die Ausbildung der Pendelachsen, sind nach dem Vorbild des Automobilbaus geschaffen. Aus dem Eisenbahnwaggonbau stammen die Konstruktionsteile des Lastausgleiches zwischen den einzelnen Achsen durch Ausgleichhebel und Stangen, die Achsbackenführungen zum Führen der Achsen im Fahrzeugrahmen und die Rahmen der Fahrgestelle. Daneben mußten aber noch ganz neue Konstruktionen entwickelt werden, wie die Lenkung der 16 einschlagbaren Räder, sowie ihre Übertragung von einem Fahrgestell auf das andere, die Kupplung beider Fahrgestelle und die sogenannte Absenkvorrichtung, um nur einige Beispiele zu nennen.

Auch die Durchbildung eines brauchbaren Auf- und Abladeverfahrens erforderte zur Beseitigung der sich entgegenstellenden Schwierigkeiten neue Lösungen, die in der vorliegenden nach manchen Umwegen gefundenen Form den Eindruck größter Selbstverständlichkeit und Einfachheit machen. Die beim Straßenfahrzeug angewendeten vielen Neuerungen und Erkenntnisse werden von großer Bedeutung für die Weiterentwicklung des Fahrzeugbaus, insbesondere der Schwerlastfahrzeuge sein.

Das Straßenfahrzeug (Abb. 1, Taf. 10) wurde vom Reichsbahn-Zentralamt für Maschinenbau entwickelt und bei der Gothaer Waggonfabrik gebaut, die auch die Werkstattzeichnungen dafür aufstellte. Sein Gewicht beträgt wenig mehr als 9 t, seine Tragfähigkeit 32 t. d. h. es ist in der Lage, einen Eisenbahnwagen von 11 t Eigengewicht mit 20 t Nutzlast zu befördern. Es besteht aus zwei Einzelfahrgestellen, von denen jedes zur Aufnahme einer Eisenbahnwagenachse dient und die entsprechend dem Achsstand des Wagens auseinandergezogen werden. Jedes Fahrgestell ruht auf acht Rädern, welche je zu zweien an einer gemeinsamen Achse sitzen und die Gesamtlast durch die Art der Achsaufhängung (Pendelachsen) und Wahl von Federn und Ausgleichsystemen gleichmäßig auf die Straße verteilen.

Die Radlast beträgt damit  $9 + 32 = 41:16 =$  rund 2,5 t. Da die Felge jedes Rades 25 cm breit ist, entfallen auf den Zentimeter Felgenbreite somit rund 100 kg, was der gesetzlichen Bestimmung entspricht. Das Fahrzeug ist mit Hochelastikreifen ausgerüstet. Sämtliche Räder sind einschlagbar an der Achse gelagert und durch ein Lenkgestänge derartig untereinander verbunden, daß sie für Kurvenfahrten auf Kreisbögen mit einem gemeinsamen Mittelpunkt eingestellt werden können (Textabb. 1).

Die Fahrgestelle selbst behalten also ihre Lage zueinander und gegenüber dem Eisenbahnwagen während der Fahrt

dauernd bei. Dadurch unterscheiden sie sich grundsätzlich von den im Eisenbahnwesen beim Übergang von einer Spur zur anderen vielfach verwendeten Rollböcken, welche als Dreh-

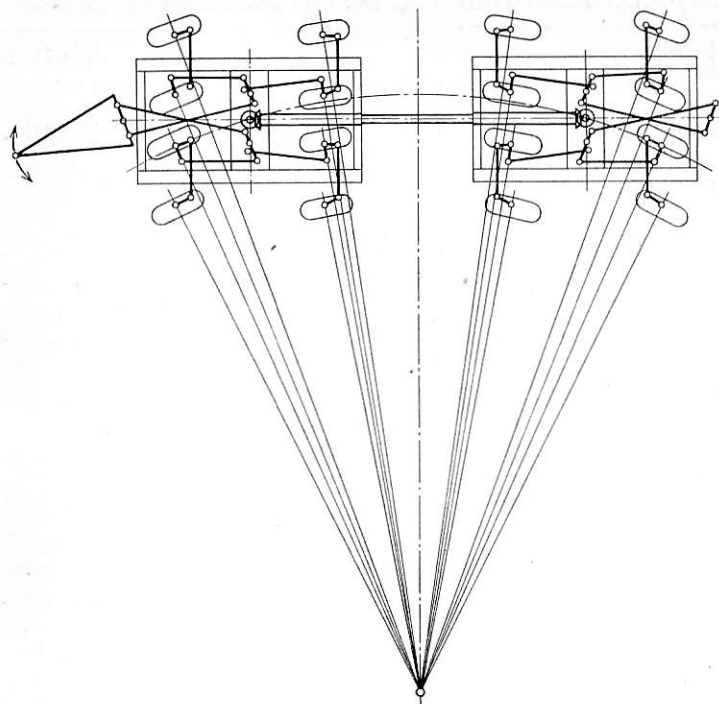


Abb. 1. Lenkschema.

gestelle ihre Lage während der Fahrt gegenüber dem Eisenbahnwagen ändern können. Diese Feststellung ist wichtig, weil die Fahrgestelle des Straßenfahrzeugs auf den ersten Blick den Eindruck von Rollböcken machen, in der Tat aber alles andere

das Bestreben haben, immer gradeaus zu fahren. Ein Rollbock wird bei der Fahrt auf Gleisen durch die Schiene zwangläufig unter dem Wagenkasten beim Durchfahren von Kurven gedreht, wozu ihm der drehgestellartige Aufbau die Möglichkeit gibt, während auf der Straße die zwangläufige Schienenführung fortfällt. Ein Transportfahrzeug zum Befördern von Eisenbahnwagen auf Straßen muß daher gelenkte, d. h. einschlagbare Räder besitzen.

Die Abb. 1, Taf. 10 zeigt das Straßenfahrzeug in Aufriß, Grundriß und Schnitt mit einem Om-Wagen beladen. Bei seiner baulichen Gestaltung war zunächst zu berücksichtigen, daß der Eisenbahnwagen in einfachster und zuverlässiger Weise auf- und abgeladen werden kann, handelt es sich doch um den Übergang von der fast unnachgiebigen Schiene auf ein gefedertes Fahrzeug. Von ausschlaggebender Bedeutung aber ist die Forderung, daß dem Eisenbahnwagen bei der Fahrt über die Straße keine anderen Beanspruchungen zugemutet werden dürfen, als diejenigen, die er bei seinem Lauf auf der Schiene normalerweise erfährt. Das Straßenfahrzeug muß also so gebaut sein, daß es den Eisenbahnwagen ebenso befördert, als ob er auf der Schiene liefe. Dabei muß es sich doch allen Bodenebenheiten und Schwierigkeiten der Straße anpassen können. Diese doppelte Aufgabe ist durch weitgehende Unterteilung der Auflagerung der Last auf der Fahrbahn in folgender Weise gelöst: Jede Eisenbahnwagenachse ruht auf einem besonderen Fahrgestell, welches wiederum auf vier Pendelachsen mit je zwei Rädern gelagert ist. Je zwei Achsen einer Rahmenlängsseite sind durch Ausgleichhebel und Gestänge miteinander verbunden. In Textabb. 2 ist die Anordnung schematisch dargestellt. Jede Pendelachse ist in der unteren Figur nur durch ein Rad angegeben. Sinkt nun ein Rad einer Pendelachse, wie in der linken Ecke der unteren Figur gezeichnet, um ein gewisses Stück durch Bodenebenheiten ab, so überträgt sich dieses Absinken des einzelnen

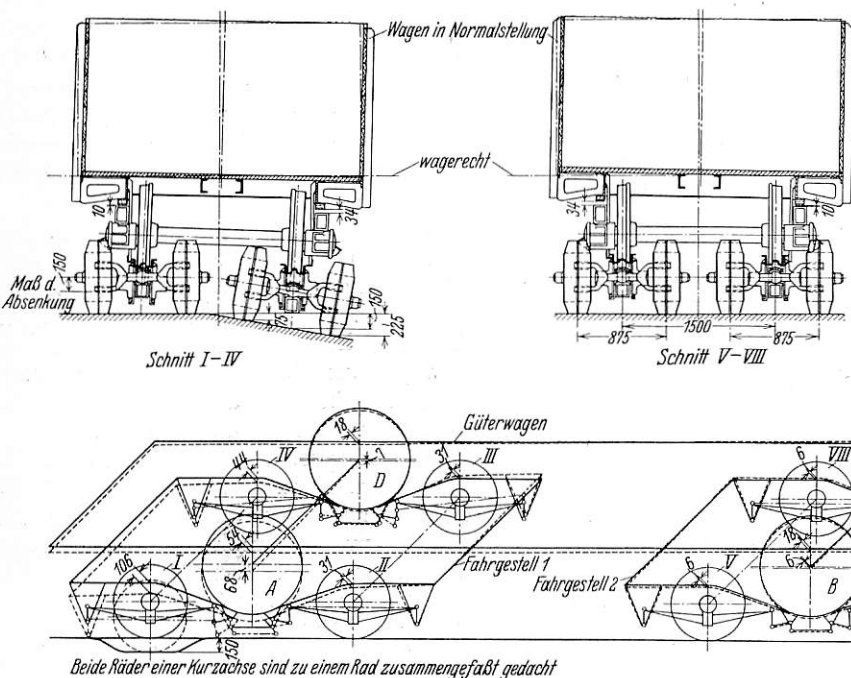


Abb. 2. Straßenfahrzeug für Eisenbahnwagen.

als das sind. Würde man nämlich die Eisenbahn-Rollböcke mit den entsprechenden Rädern versehen zum Straßentransport verwenden, so würde man sofort feststellen müssen, daß ein Lenken auf der Straße nahezu unmöglich und nur unter dem Aufwand größter Kräfte bei stärkerem Gleiten durchführbar ist. Denn entsprechend der Eigenart ihrer Konstruktion würden sie

**Untersuchung des Verhaltens eines beladenen 20 t-Güterwagens beim Absinken einer Achse des Straßenfahrzeugs um 15 cm.**

Einstellung der Rahmen des Straßenfahrzeugs und des Güterwagens unter Annahme elastischer Federn ohne Berücksichtigung der Rahmenverwindung:  
 — bei Fahrt auf ebener Straße;  
 --- beim Überfahren einer Wegunebenheit von 15 cm durch ein Radpaar.

**Lastverteilung und Federdurchbiegung unter Last.**  
 1. Am Straßenfahrzeug: Last je Rad 2250 kg; Federdurchbiegung hierbei 50 mm.

Beim Absinken einer Achse:

Rad Nr.	Mehrbelastung + Entlastung in kg	Veränderung der Federdurchbiegung in mm
I	- 1472	14
II	+ 128	1
III	- 120	1
IV	+ 1471	14
V	+ 675	6
VI	+ 675	6
VII	- 675	6
VIII	- 675	6

2. Am Güterwagen:  
 Last je Rad 7250 kg; Federdurchbiegung hierbei 66mm.

A	- 1350	12,3
B	+ 1350	12,3
C	- 1350	12,3
D	+ 1350	12,3

Rades entsprechend den Hebelarmen der Pendelachse und des Rahmens des Fahrgestells unter Beteiligung der Federung und des Ausgleichs nur zu einem Bruchteil auf den Güterwagen. Bei dem in der Textabb. 2 Schnitt I bis IV dargestellten Fall ist das Absinken eines Rades um 225 mm bei gleichzeitiger Schrägstellung der Pendelachse und Absinken des Achsen-



mittelpunktes um 150 mm gezeichnet. Dieses sind die größten Ausschläge, die entsprechend der Konstruktion jede einzelne Achse zuläßt. An den in der unteren schematischen Figur eingetragenen gestrichelten Linien erkennt man die Einstellungen des übrigen Systems, die durch dieses Absinken hervorgerufen

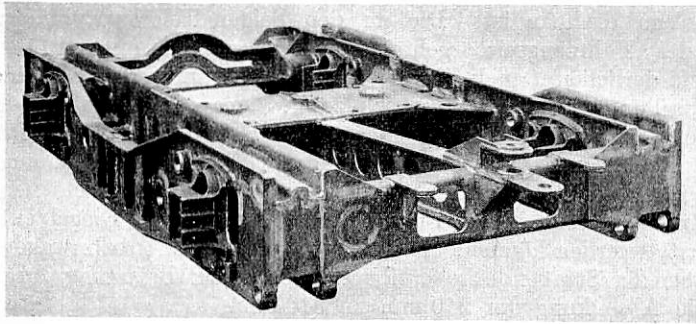


Abb. 3. Rahmen des Fahrgestells.

werden. Hierbei ist auch die Federung des Güterwagens selbst, jedoch noch nicht die Verwindung seines Rahmens, welcher vielmehr als starr angenommen ist, berücksichtigt. In der Tabelle (Abb. 2) rechts ist an Hand der tatsächlichen Verlagerung der einzelnen Rahmenpunkte des Güterwagens gegenüber ihrer

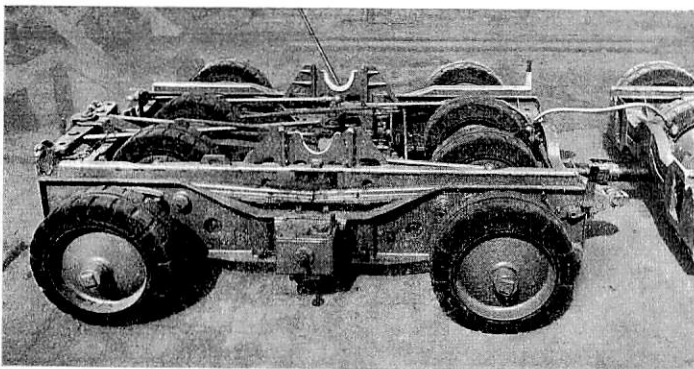


Abb. 4. Fahrgestell.

ursprünglichen Stellung in Millimetern die zusätzliche Belastung der einzelnen Güterwagenfedern in Kilogramm ausgerechnet, die positiv als Belastung und negativ als Entlastung eingetragen sind. Die Werte von 1350 kg, die hierbei maximal auftreten und eine Verwindung des Rahmens und gesamten Wagenkastens hervorrufen, können als in durchaus normalen Grenzen liegend angesehen werden. Der Eisenbahnwagen wird also durch das Straßenfahrzeug infolge seiner guten Anpassungsfähigkeit an die Unebenheiten der Straße nicht mehr beansprucht als im normalen Betrieb.

Die beiden Fahrgestelle des Straßenfahrzeugs sind grundsätzlich gleich ausgebildet. Das Fahrzeug kann daher gleich gut in beiden Richtungen fahren. Der Rahmen jedes Fahrgestells (Textabb. 3) besteht aus zwei im Spurabstand gehaltenen Schienenträgern, die durch zwei Endquerträger und einen als Kasten ausgebildeten Mittelträger zu einem einheitlichen Ganzen verschweißt sind. Jeder Schienenträger setzt sich aus zwei gepreßten Blechwangen zusammen, zwischen die die u-förmig gebogene Fahrschiene trogartig eingeschweißt ist. In dem freien Raum unter der Schiene sind die Federn und zwischen diesen der Lastausgleich untergebracht. Jeder Schienenträger besitzt zwei Ausschnitte mit

seitlich angeschweißten Stahlgußführungsbacken zur Aufnahme der Pendelachsen. Die Achsausschnitte sind am unteren Ende durch Achsgabelstege geschlossen. Jedes Fahrgestell ruht auf acht Rädern von 730 mm Außendurchmesser, die wie schon erwähnt, zu je zweien an vier kurzen Pendelachsen sitzen. Je vier Räder liegen in der gleichen Achsrichtung (Textabb. 4). Der Achsstand eines Fahrgestells (Abstand der Achsmittellinie) beträgt 2 m, die Länge jedes Fahrgestells 3 m, so daß das zusammengeschobene Straßenfahrzeug einschließlich kleinerer Vorbauten an den Vorderseiten, jedoch ohne Zuggabel, etwas über 6 m lang ist. Die größte Breite über die Radnaben gemessen beträgt 2821 mm.

Die Achskonstruktion ist in der Textabb. 5 gezeichnet und in Textabb. 6 im Lichtbild dargestellt. Die Lagerung der Räder und diejenige der Lenkzapfen besteht aus Kegelrollenlagern. Das Achslagergehäuse ruht schwenkbar zwischen den gabelförmigen Enden der Pendelachse. Wegen der Lastübertragung ist der obere Arm der Pendelachse stärker ausgeführt als der untere, welcher lediglich der Führung des Lenkzapfens dient. Die Achse weist in ihrer Mitte eine kugelförmige Verdickung auf, die in einer entsprechend hohlen Lagerschale ruht und vom Federbund umschlossen wird, der unterhalb der Achse, und an ihr hängend, die Feder trägt. Zur Schmierung der Lagerschale ist die Achse durchbohrt und trägt auf dem einen Schenkel in erhöhter Lage ein Schmiergefäß, von dem aus das Öl durch Dochtschmierung dem tiefer liegenden Kegelzapfen der Achse zuläuft.

Die am Rahmen angeschweißten Stahlgußführungsbacken mit besonders eingesetzten bronzenen Führungsplatten halten die Achse in ihrer Lage zum Fahrzeugrahmen entgegen dem Fahrwiderstand. Die Achse kann sich nur in senkrechter Richtung bewegen, dabei jedoch jede beliebige Schräglage infolge der kugeligen Lagerung einnehmen. Durch die Aufhängung an der Feder wird die Achse gehindert, quer zum Rahmen auszuweichen. Um eine allzugroße Beanspruchung der Federaugen zu verhindern, wird der Federbund am Überschreiten eines gewissen seitlichen Spiels durch am Rahmen befindliche besondere Führungsflächen gehindert.

Die Federn des Straßenfahrzeugs sind doppelt gesprengt, d. h. die oberen Federlagen haben eine größere Sprengung als die unteren, um für das leere sowie für das beladene Fahrzeug gleichermaßen günstige und weiche Abfederung zu erzielen. Denn der Unterschied vom Eigengewicht zum Gesamtgewicht

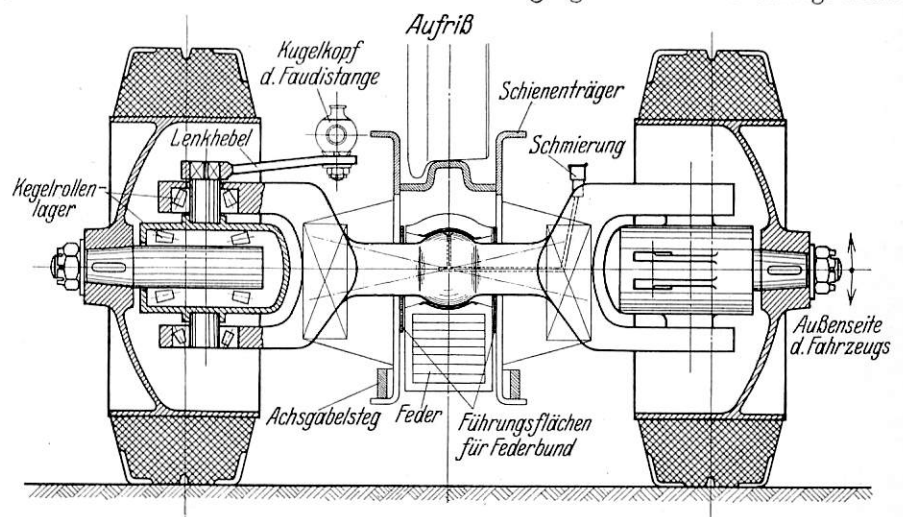


Abb. 5. Schema der Achse.

bei voller Belastung ist so groß, daß eine gleich gute Federung durch eine nicht gesprengte Feder nicht zu erreichen ist. Würde man die Feder für die Gesamtlast bemessen, welche rund 40 t beträgt, so würde sie für das Leergewicht des

Straßenfahrzeugs von 9 t zu hart sein. Aus diesem Grunde übernehmen die oberen Lagen der Federn die Abfederung bei leerem Straßenfahrzeug allein, während durch die Gesamtlast die ganze Feder zur Wirkung kommt.

Die Federn zweier Schwingachsen unter einem Schienenträger sind durch ein Ausgleichgestänge miteinander verbunden, das aus zwei Paaren von Winkelhebeln und Zugstangen besteht und die stets gleiche Belastung der beiden zusammenwirkenden Achsen sicherstellt.

Das Fahrzeug wurde so gebaut, daß seine Bodenfreiheit, d. h. der Abstand der tiefsten Teile vom Erdboden 150 mm bei voller Belastung und neuen Reifen beträgt. Unter dem Eigengewicht des Straßenfahrzeugs allein und bei ebenfalls neuen Reifen erhöht sich die Bodenfreiheit auf 188 mm. Da nun infolge der Gummiabnutzung die Bodenfreiheit abnimmt, sind die Federlaschen von 10 zu 10 mm nachstellbar eingerichtet, damit die Bodenfreiheit niemals unter das Maß von 140 mm sinkt.

Für die Beförderung des Eisenbahnwagens auf der Straße ist die Fahrhöhe über der Straßendecke von größter Bedeutung. Es leuchtet ein, daß einmal aus Gründen der

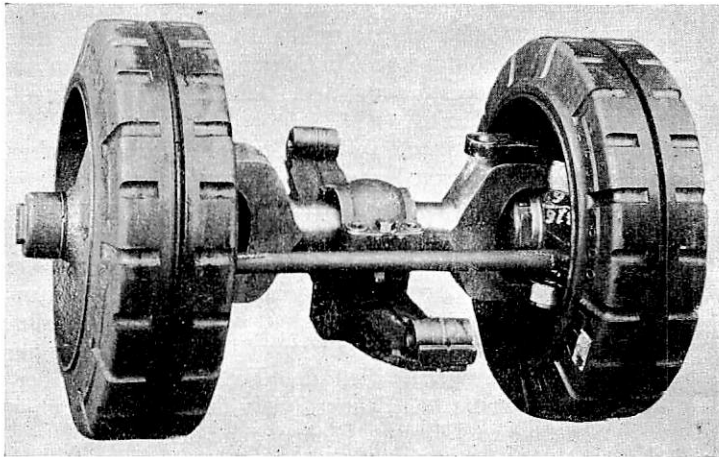


Abb. 6. Vollständiger Radsatz (nicht gebremste Räder).

Standsicherheit, zum andern wegen der Profilbeschränkung des Fahrwegs durch Brückenüberführungen und Fahrdrähte der Straßenbahn die Fahrhöhe des Eisenbahnwagens möglichst niedrig sein muß. Auch das Be- und Entladen des Eisenbahnwagens, sowohl an Laderampen als auch von ebener Erde aus, macht eine möglichst tiefe Lage des Eisenbahnwagenbodens über der Straßenoberfläche notwendig. Die Fahrgestelle des Straßenfahrzeugs sind aus diesem Grunde unter Ausnutzung jedes Millimeters so niedrig wie möglich gebaut. Infolge der großen Anzahl der Räder, deren Durchmesser wegen des Fahrwiderstandes nicht beliebig klein gewählt werden konnte und der Schwingachsen, sowie der damit zusammenhängenden Konstruktion des Fahrzeugrahmens war es nicht möglich, den Schienenträger so auszubilden, daß der Eisenbahnwagen in der tiefsten Lage aufgeladen werden konnte. Um eine tiefe Fahrhöhe überhaupt zu erreichen, mußte man eine Konstruktion wählen, die es ermöglicht, die Eisenbahnachsen in einer höheren Lage über die Fahrzeugachse hinweg zu bringen und dann nachträglich in eine tiefere, die sogenannte Fahrhöhe abzusenken. Die für das Auf- und Abbringen des Eisenbahnwagens maßgebende Höhe der Fahrhöhe im Fahrzeugrahmen beträgt 598 mm ohne und 560 mm mit voller Belastung, welche sich infolge der gewählten Einsenkung der Schienen in der Mitte des Schienenträgers um 40 mm auf 520 mm verringert.

Zum Absenken des Eisenbahnwagens in die Fahrhöhe wurde wegen der geringen Platzverhältnisse eine hydraulische

Absenkvorrichtung entwickelt, welche aus zwei Teleskopzylindern und einer durch Handkraft angetriebenen mit zwei Kolben ausgerüsteten Pumpe besteht (Abb. 12). Die Schienenträger besitzen absenkbar Schienenstücke, welche mit dem einen Ende auf Teleskopzylindern gelagert sind, während das andere Ende um einen im Schienenträger befestigten Bolzen drehbar ist. Die zu den beiden Teleskopzylindern jeder Fahrzeugseite gehörende Druckpumpe erzeugt den erforderlichen Druck bis 350 at. Das Betriebsmittel ist eine Mischung von Wasser und Glycerin. Wie der Schnitt A—B der Textabb. 7 zeigt, sind die Teleskopzylinder in den Rahmenwangen des Schienenträgers gelenkig gelagert und heben vermittels zweier Schüsse die absenkbar Schienenstücke, welche in der oberen Endstellung durch Riegel entlastet werden können. Die tiefste Lage des Eisenbahnwagens über der Straßendecke ergibt sich bei voller Belastung durch die Absenkung um 210 mm zu 310 mm.

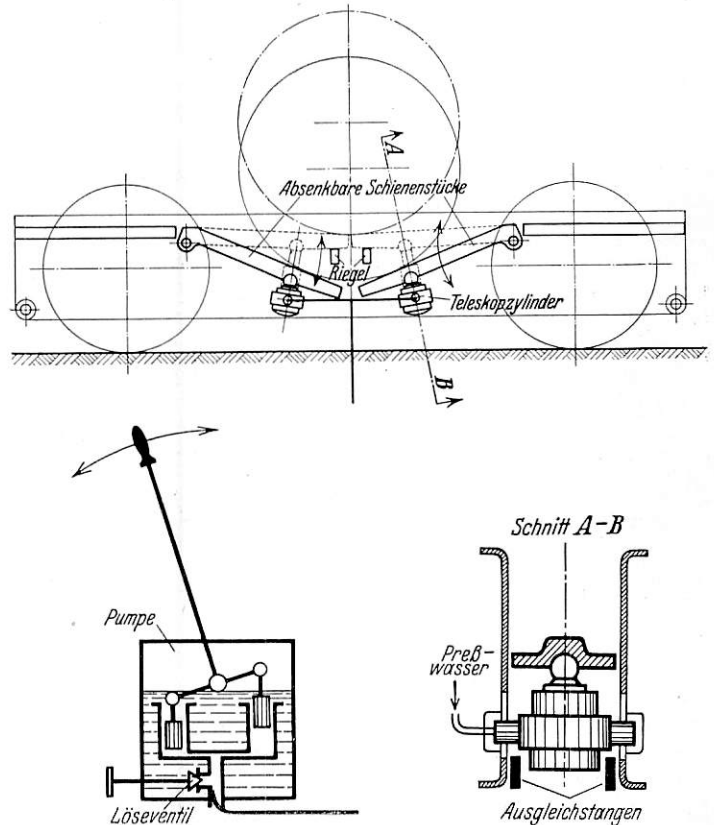


Abb. 7. Hydraulische Absenkung.

Breiten und Höhen des mit verschiedenen Güterwagen zu beladenden Fahrzeugs gehen aus der Textabb. 8 hervor. Das für die Durchfahrthöhen erforderliche Maß ergibt sich durch Hinzufügen der Wagenhöhe zur Fahrhöhe des Straßenfahrzeugs unter leerem Wagen = 330 mm zuzüglich eines Sicherheitsabstandes von 100 mm. Die größten Wagen, die häufiger in Frage kommen, sind die Gl-Wagen mit einer größten Höhe von 4145 mm, dazu Fahrhöhe + 330 mm = Gesamthöhe 4475 mm. Der Om-Wagen mit Bremserhaus weist nur eine Höhe von 3175 mm auf + Fahrhöhe 330 mm = Gesamthöhe 3505 mm. Darüber hinausgehende Wagenladungshöhen (Lademaß II und I) sind recht selten und machen nur etwa 5% aller zur Abfuhr geeigneten Wagen aus.

Das Absenken des Eisenbahnwagens in die tiefste Lage erfolgt in der Weise, daß die in Textabb. 7 u. 15 dargestellten Entlastungsriegel vermittels der Handkurbel und dem Zahnradantrieb nach Anheben der absenkbar Schienenstücke durch Unterdrucksetzen der Teleskopzylinder zurückgezogen werden und die absenkbar Schienenstücke sich nach Öffnen des Löse-



ventils der Pumpe unter der Schwerkraft des Eisenbahnwagens nach unten bewegen. Eine solche Absenkvorrichtung befindet sich unter jedem Eisenbahnrad, also auf jeder Seite eines Fahrgestells. Die beiden hydraulischen Anlagen eines Fahrgestells müssen von zwei Mann gleichzeitig bedient werden, damit die Eisenbahnachse gleichmäßig abgesenkt bzw. gehoben wird, denn die Hebeeinrichtungen stehen untereinander in keiner Verbindung. Der Absenkvorgang nimmt für eine Eisenbahnachse noch keine 20 Sek. in Anspruch, während das Hochpumpen jeder Achse durch zwei Mann  $2\frac{1}{4}$  Min. dauert.

Die vielen Überladeversuche bei dem ersten Versuchstraßenfahrzeug bewiesen die grundsätzliche Eignung der hydraulischen Absenkvorrichtung, doch zeigten sich gewisse Mängel, die in der Verwendung des hydraulischen Antriebs der Vorrichtung überhaupt begründet liegen. Einmal ist die Verwendung von Handkraft mit einer größeren Anstrengung und einem entsprechenden Mehraufwand an Zeit verbunden, zum anderen brachte das anfänglich häufigere Undichtwerden der unter sehr hohen Drücken bis zu 350 at stehenden Leitungen den Nachteil der nicht dauernden Betriebsbereitschaft und Verwendbarkeit mit sich. Dieser letzte Nachteil kann jedoch heute als behoben gelten, da es gelang, eine Dichtung ausfindig zu machen, die allen Anforderungen entspricht. Um aber die im Motor der Zugmaschine vorhandene Leistung nutzbar zu machen und damit den Zeitaufwand auf ein Mindestmaß herabzudrücken, wurde eine mechanisch betätigte Absenkvorrichtung entwickelt, deren Anordnung in der Textabb. 9 dargestellt ist.

Die zum Feststellen, aber nicht zum Tragen der Achsen des Eisenbahnwagens dienenden gabelförmigen Schieber, deren Beschreibung weiter unten folgt, werden bei dieser Konstruktion zum Heben und Senken der Wagenachse und damit des ganzen Wagens verwendet. Um möglichst geringe Biegemomente auf die Eisenbahnachse auszuüben, greifen die Gabeln unmittelbar neben der Innenseite der Radscheiben der Achse an. Die Trag-gabel wird von je zwei Schraubenspindeln getragen, die bei ihrer Drehung die Auf- und Abwärtsbewegung der Trag-gabel bewirken. Jede Spindel ist am unteren Ende mit einem Schneckenrad versehen, das von einem auf dem mittleren Hauptquerträger aufliegenden Kugellager getragen wird. Eine durchgehende, beiderseits mit Schnecken versehene Antriebswelle betätigt die Schneckenräder und damit die Schraubenspindeln der Trag-gabeln.

Die Antriebswelle besitzt beiderseits an der Außenseite des Fahrgestellrahmens gelagerte Kupplungsstücke, mit denen eine zur Übertragung der Antriebskraft am Schlepperfahrzeug eingebaute Zapfwelle durch eine ausziehbare, mit Kardangelenken versehene Welle verbunden werden kann. Um der Antriebswelle die entsprechende Drehrichtung zum Heben bzw. zum Senken zu geben, sind auf beiden Fahrgestellseiten Vorschalt-räder zur Umkehr der Drehrichtung angebracht, da die Zapfwelle der Zugmaschine stets den gleichen Drehsinn aufweist (Textabb. 10). Nach den ersten Betriebsversuchen mit der mechanischen Absenkvorrichtung stellte sich jedoch heraus, daß das Umstecken der abnehmbaren Gelenkwelle zur Umkehrung der Drehrichtung am Fahrgestell sehr zeitraubend ist. Daher soll in Zukunft der Antrieb für die Zapfwelle in der Zugmaschine mit einer Umschaltvorrichtung ausgerüstet werden.

Während des Hebens und Senkens der Achsen durch die Trag-gabeln folgen die unter den Wagenrädern befindlichen, an einem Ende drehbar gelagerten Schienenstücke dem Bewegungsvorgang, da sie durch kräftige Federn an die Lauffläche der Räder gedrückt werden. In der obersten Stellung liegen die

Schienenstücke in gleicher Weise wie bisher auf Entlastungsriegeln, in ihrer unteren Stellung auf Anschlägen, so daß die Eisenbahnachse in den Endstellungen nicht auf den Trag-gabeln, sondern auf den beweglichen Schienenenden ruht.

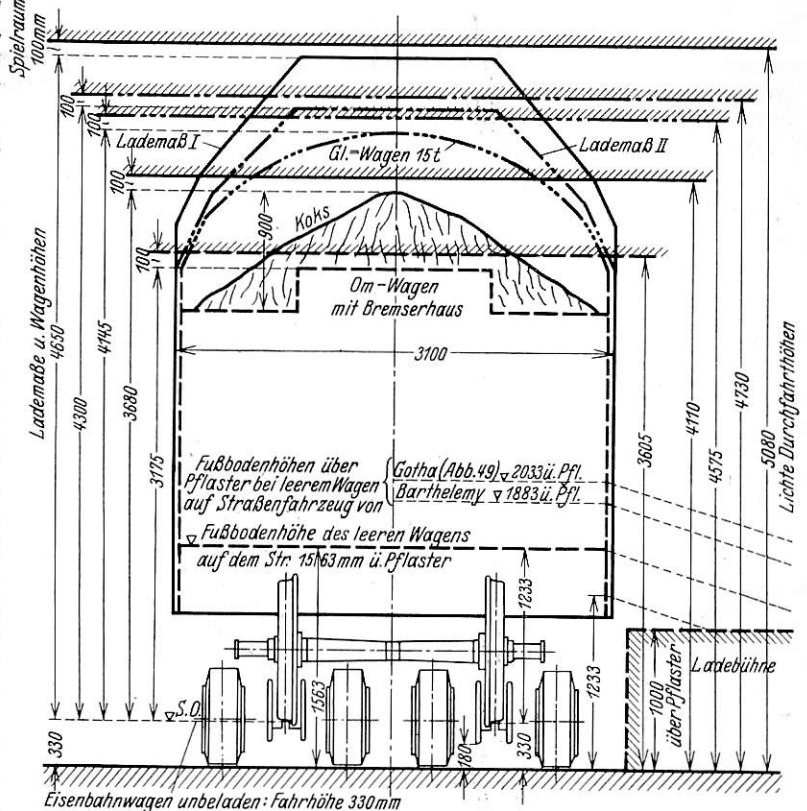


Abb. 8. Erforderliche lichte Durchfahrthöhen für Eisenbahnwagen auf Straßenfahrzeugen Bauart RZM.

Die Trag-gabeln sind daher nur während des Hebens und Senkens des Eisenbahnwagens belastet, während der Fahrt unbelastet. Der Zeitaufwand beträgt für das Heben und Senken durchschnittlich je 50 Sekunden. Jedoch wird der Zeitgewinn

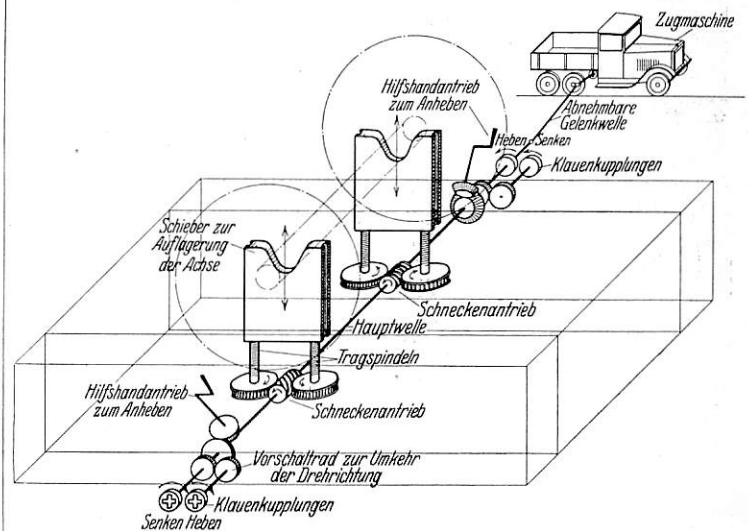


Abb. 9. Mechanische Absenkvorrichtung.

gegenüber der hydraulischen Anlage durch das mehrmalige Verfahren der Zugmaschine und das Umstecken der Übertragungswelle wieder aufgehoben.

Dauert das Aufladen eines Eisenbahnwagens beim Straßenfahrzeug mit hydraulischer Absenkvorrichtung alles in allem 8 Min. und das Abladen 11 bis 12 Min., so erfordern die

gleichen Vorgänge beim Fahrzeug mit mechanischer Absenkvorrichtung nur unverhältnismäßig weniger Zeit. Es ist zwar anzunehmen, daß sich die Zeiten durch die Übung des Personals noch senken werden, doch verliert diese Tatsache dadurch an Bedeutung, daß das Fahrzeug  $\frac{1}{2}$  t schwerer wird und sein Preis nicht nennenswert niedriger liegt. In vielen Fällen wird man überhaupt ohne Absenkvorrichtung auskommen, wenn Unterführungen und Straßenbahnoberleitungen nicht zu unterfahren sind. Es wird deshalb z. Z. ein solches Fahrzeug unter engster Anlehnung an die vorhandene Bauart entwickelt. Bei ihm liegt die Fahrhöhe des Eisenbahnwagens dann auf 520 mm über Straßendecke.

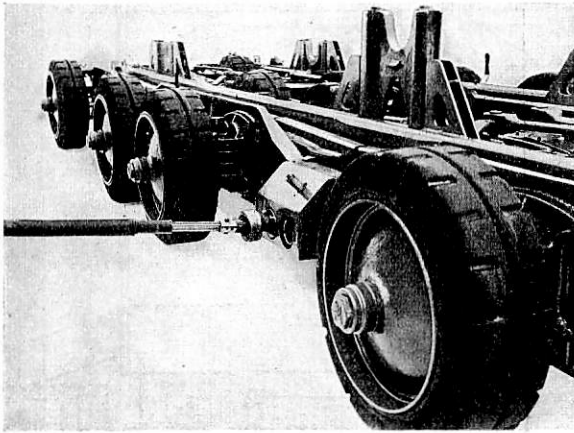


Abb. 10. Mechanische Absenkvorrichtung.

Die Beladung des Straßenfahrzeugs mit dem Eisenbahnwagen erfolgt von einer Rampe aus (Abb. 2, Taf. 10). Diese Rampe wird auf den Güterbahnhöfen an den dafür geeigneten Plätzen angelegt, indem das Kopfende eines Gleises, meistens eines Ladegleises, um 57 cm und auf eine Länge von 10 m in der Waagerechten erhöht wird. Die Rampensteigung kann bis 1:8 betragen. Am vorderen Ende erhält die Rampe eine

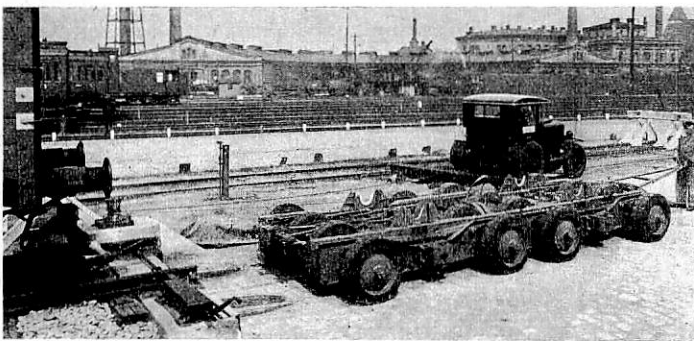


Abb. 11. Heransetzen des Straßenfahrzeugs an die Rampe.

Abschlußmauer aus Beton, um ein hinreichend starkes Widerlager gegen die beim Heransetzen des Straßenfahrzeugs auftretenden Stöße zu bilden. Die Schienen der Überladerampe sind am Ende auf eine Länge von  $2\frac{1}{2}$  m schwenkbar eingerichtet und können nach jeder Seite aus der Mitte um 20 cm ausschlagen, damit man die Spur des Gleises auf der Rampe mit der Spur des Straßenfahrzeugs, welches ja nicht auf den Zentimeter genau an die Rampe herangesetzt werden kann, in Übereinstimmung bringen kann. Außerdem besitzt die Rampe noch eine Kupplungseinrichtung, für welche zweckmäßig eine alte Wagenkupplung verwendet wird und die dazu dient, das Straßenfahrzeug mit der Rampe fest zu verbinden, damit es beim Überladen des Eisenbahnwagens nicht davon rollt (Textabb. 11 u. 12).

Beim Auf- und Abladen des Eisenbahnwagens muß die Federung des Straßenfahrzeugs ausgeschaltet werden (Abb. 1, Taf. 11). Zu diesem Zweck besitzt die Rampe vor der Betonmauer zwei im Abstand der Schienenträger gehaltene Auflaufstücke, auf die sich das Straßenfahrzeug mit Rollen, die an der unteren Kante der Schienenträger angebracht sind, abstützt. Um die Bauhöhe der festen Rampe möglichst niedrig zu halten, ist die Höhe der Schienenoberkante so gewählt, daß die Höhe der Schienenoberkante des Straßenfahrzeugs im unbeladenen Zustand um 2,8 cm darüber liegt. Beim Herauffahren des Eisenbahnwagens drückt seine Achse das Straßenfahrzeug auf die Auflaufstücke der festen Rampe herab, wodurch Schienen-

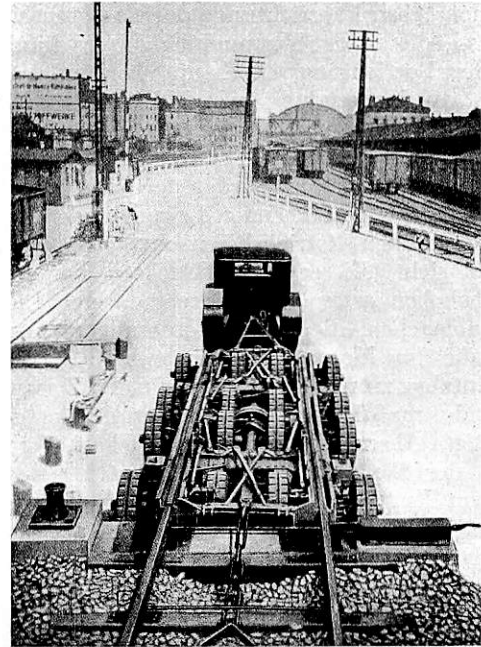


Abb. 12. Straßenfahrzeug, mit der Rampe gekuppelt.

oberkante Rampe und Schienenoberkante Fahrzeug gleich werden. Wird ein beladenes Straßenfahrzeug an die Rampe herangesetzt, so liegt die Schienenoberkante des Straßenfahrzeugs bei Vollast unterhalb der Schienenoberkante der Rampe. Um sie zum Abladen auf gleiche Höhe zu bringen, besitzen die Auflaufstücke am vorderen Ende Abschrägungen, auf die die Rollen an der Unterkante der Langträger auflaufen.

Während des Auf- und Abladens eines Güterwagens müssen die beiden Fahrgestelle des Straßenfahrzeugs so miteinander verbunden sein, daß eine Brücke gebildet wird und Höhenunterschiede zwischen den gegeneinander stehenden Schienenträgern der beiden Fahrgestelle nicht eintreten können, weil die eine Achse des Eisenbahnwagens über das der Rampe zunächst stehende Fahrgestell (I) hinweg auf das andere Fahrgestell (II) gebracht werden muß. Außerdem muß auch bei den benachbarten Achsen beider Fahrgestelle die Federung möglichst ausgeglichen sein. Diese Aufgabe übernimmt eine Kupplungseinrichtung (Abb. 2, Taf. 11 und Textabb. 13), die zu dem besonderen Zweck entworfen und beim Straßenfahrzeug zum ersten Male angewendet wurde. An dem inneren Kopfträger des einen Fahrgestells befinden sich zwei mit Rollen versehene konische Vorsprünge und an dem entsprechenden Kopfträger des anderen Fahrgestells konische Vertiefungen, in welche die konischen Vorsprünge hineinpassen. Diese sind mit Sperrklinken ausgerüstet, die aus ihrer Unterseite herausragen und sich im zusammengeschlossenen Zustand in entsprechende Schlitze der konischen Vertiefungen gegen Druckflächen legen, wodurch das Auseinanderziehen der beiden Fahrgestelle verhindert wird. Zum Lösen der Sperrklinken wird durch Be-



tätigung des Handhebels und Drehen der im Fahrgestell festgelagerten Welle die Federkraft der Spannfedern aufgehoben (Textabb. 14).

Die Bildung einer Brücke beider Fahrgestelle erfolgt durch die Kupplung in der Weise, daß sich die an der Oberseite der konischen Vorsprünge und der konischen Vertiefungen befindlichen waagerechten Flächen gegeneinander legen, während gleichzeitig die Rolle der konischen Vorsprünge sich auf die

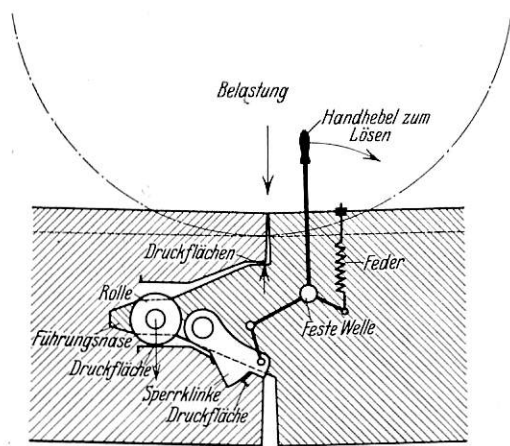


Abb. 13. Wirkungsweise der Kupplung.

innere unten liegende horizontale Druckfläche der konischen Vertiefung abstützt. Die Sperrklinke soll eine Druckbelastung durch die Brückenbildung nicht erfahren, sondern lediglich das Auseinandergehen der beiden Fahrgestelle verhindern.

Zum Abladen des Eisenbahnwagens müssen die beiden Fahrgestelle des Straßenfahrzeugs, welche auf den Achsabstand des Eisenbahnwagens voneinander entfernt waren,

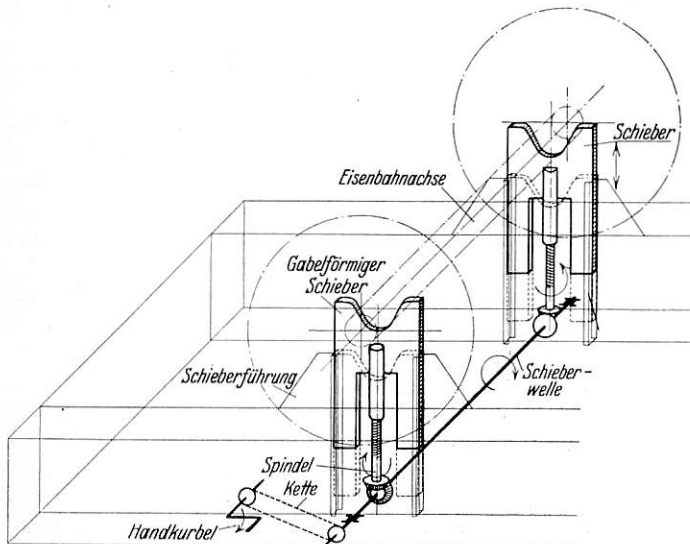


Abb. 14. Achsfeststellvorrichtung.

wieder zusammengeschoben werden. Hierbei befindet sich die eine Eisenbahnachse noch auf dem von der Rampe am weitesten entfernten Fahrgestell (II), während die andere Achse des Eisenbahnwagens bei allen Wagen über 4,5 m Achsstand bereits auf der festen Rampe ruht. Dadurch wird das Fahrgestell I vollständig entlastet, während das Fahrgestell II noch belastet ist. Durch die schräge Ausbildung der konischen Vertiefungen der Kupplungen wird nun erreicht, daß beim Zusammenfahren beider Fahrgestelle das belastete das entlastete herunterdrückt, wobei je nach der Stellung der Fahrgestelle I und II die Rolle der Kupplung an der oberen oder unteren Schrägfläche der konischen Vertiefung abrollt (Abb. 2, Taf. 14).

Die beiden Fahrgestelle können gegeneinander auch noch eine gewisse Mittenversetzung aufweisen; die leicht durch das tote Spiel in der Steuerung der 16 einschlagbaren Räder hervorgerufen wird. Um bei einer solchen Stellung der Fahrgestelle das Einführen der konischen Vorsprünge in die konischen Vertiefungen mit Sicherheit zu erreichen, sind die konischen Vorsprünge mit besonderen Führungsnasen und auch mit seitlichen schrägen Flächen versehen. Beträgt das Maß der Mittenversetzung nicht mehr als 50 mm, was nach den vorliegenden Erfahrungen nicht überschritten wird, so tritt durch das Zusammenschieben beider Fahrgestelle ein seitliches gegenseitiges Herüberdrücken dergestalt ein, daß nach erfolgtem Kuppeln, d. h. Einschnappen der Sperrklinken die Schienenspur des einen Fahrgestells genau vor der des anderen Fahrgestells steht. Danach kann der Eisenbahnwagen also abgeladen werden.

Nach dem Überladen muß der Eisenbahnwagen mit dem Straßenfahrzeug derart verbunden werden, daß er seine Lage gegenüber den Fahrgestellen während der Fahrt auf der Straße nicht ändern kann, ohne jedoch gewissermaßen in den Fahrgestellen eingeklemmt zu sein. Zu diesem Zweck wird jede Güterwagenachse durch zwei innerhalb der Schienenträger befindliche gabelartige Schieber, die von unten her gegen die

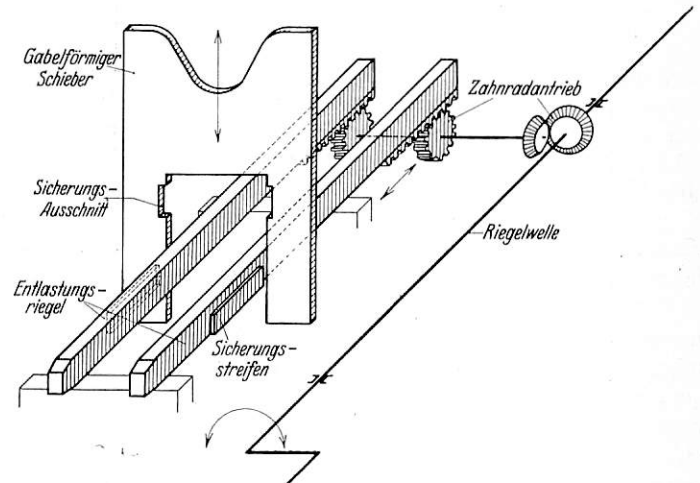


Abb. 15. Sicherung der Entlastungsriegel für absenkbar Schienenstücke in Abhängigkeit von der Stellung des Schiebers.

Achse geschoben werden, gabelförmig umfaßt (Textabb. 4). Die Schieber bewegen sich in Führungen, welche zur Aufnahme der Längskräfte seitliche Stege besitzen. Die Bedienung beider Schieber erfolgt zugleich durch vertikale Spindeln, die durch Kegelräder über eine Welle und einer Zahnkette von einer an der Außenseite des Fahrgestellrahmens liegenden Handkurbel betätigt werden. Die Welle ist quer durch den mittleren Verbindungsträger hindurchgeführt und beiderseits im Fahrgestellrahmen gelagert. Der Bereich der Schiebervorstellung ist so groß, daß die Eisenbahnachse sowohl in der abgesenkten als auch in der nicht abgesenkten Stellung festgelegt werden kann, wobei auch der unterschiedliche Durchmesser der Eisenbahnräder berücksichtigt ist.

Um ein Verschieben der Achse quer zur Längsrichtung des Fahrzeugs im Fahrgestell des Straßenfahrzeugs zu verhindern, sind auf die Innenseiten der inneren Rahmenwangen der Schienenträger Verstärkungsplatten aufgeschweißt, welche an den Enden flach zugeschärft sind. Das Maß von Außenkante bis Außenkante dieser Platten ist nur um ein Geringes kleiner als der Innenabstand zwischen den Radreifen der Wagenachse.

Die Bewegungen der Absenkvorrichtung und der Feststellvorrichtung sind durch eine Sicherung derartig voneinander abhängig, daß die Absenkvorrichtung nicht betätigt werden kann, wenn die Feststellvorrichtung sich in der oberen Lage befindet (Textabb. 15). Ohne diese Sicherung könnte der

Fall eintreten, daß der Wagen abgesenkt wird, während die gabelförmigen Schieber der Feststellvorrichtung sich in der oberen Lage befinden. Dann würde die ganze Last des Eisenbahnwagens auf die Schieber kommen, die dafür nicht eingerichtet sind. Um dies zu verhindern, besitzen die Schieber Sicherungsausschnitte, in die bei tiefster Schieberstellung an den Entlastungsriegeln angebrachte Sicherungstreifen eingreifen können. Sind die Riegel zurückgezogen, so verhindern die Sicherungstreifen ein Hochdrehen der Schieber, ebenso wie es bei hochstehenden Schiebern nicht möglich ist, die Riegel zurückzuziehen, weil die Sicherungstreifen gegen die nicht ausgeschliffene Kante der Schieber stoßen.

Ist nun der Güterwagen aufgeladen, in die tiefste Lage abgesenkt und durch die Feststellgabel auf den Fahrgestellen festgelegt, so kann die Fahrt über die Straße beginnen. Der Zug des vorgespannten Schleppers geht hierbei vom vorderen Fahrgestell durch den Rahmen des Eisenbahnwagens in das hintere Fahrgestell. Eine besondere Verbindung zur Übertragung der Zugkräfte zwischen den beiden Fahrgestellen besteht also nicht. Die auf der Textabb. 4 sichtbare Verbindungsstange dient vielmehr der Übertragung der Lenkung von einem Fahrgestell auf das andere.

Die Lenkung der 16 einschlagbaren Räder erfolgt selbsttätig durch den Zug des Schleppers an der Zuggabel des vorklaufenden Fahrgestells. Die Zuggabel kann auf die an beiden Fahrgestellen befindlichen Querhäupter umgesteckt werden. Gegen ein zu weites Einschlagen des Querhauptes und damit der Räder, das beim Anschlagen der Räder in ihrer Endstellung zu einer Beschädigung der Steuerstangen führen müßte, sind im Kopfträger jedes Fahrgestells Anschläge angebracht, die die Steuerung in einer solchen Stellung begrenzen, daß das Straßenfahrzeug einen kleinsten Halbmesser von 8 m fahren kann.

Die Steuerung (Textabb. 1 und Abb. 3, Taf. 10) ist so entworfen, daß sämtliche Räder bei einem Abstand der Fahrgestellmitten von  $4\frac{1}{2}$  m geometrisch genau auf Kreisbogen mit einem gemeinsamen Mittelpunkt laufen. Werden die Fahrgestelle des Straßenfahrzeugs bei der Beförderung von Güterwagen mit einem kleineren oder größeren Abstand als  $4\frac{1}{2}$  m mehr oder weniger weit auseinandergesogen, so wird die genaue geometrische Kurvenläufigkeit aufgehoben, da die Mittelpunkte der Kreisbögen beider Fahrgestelle nicht mehr in einem Punkt zusammenfallen. Das nunmehr bei Kurvenfahrten erfolgende Gleiten (Radieren) ist jedoch so gering, daß es unbeschadet in Kauf genommen werden kann. Bei einer Mittenentfernung der Fahrgestelle von 3 m (kurz gekuppelt) liegt der kleinste Kurvenhalbmesser ungefähr bei 7,50 m, während er sich bei einer Mittenentfernung von 7,50 m auf ungefähr 12 m vergrößert.

Vom Querträger wird die Steuerung durch zwei sich kreuzende Lenkerstangen auf zwei in den mittleren Querträgern in zwei festen Drehpunkten gelagerte Lenkerhebel übertragen. Von hier aus erfolgt die Übertragung auf die zwei Räder jeder Schwingachse durch sogenannte Faudi-Stangen mit allseitig beweglichen Kugelköpfen. Die beiden Räder einer Pendelachse sind durch Spurstangen miteinander verbunden.

An den Drehzapfen der Lenkerhebel befinden sich im Inneren des mittleren Querträgers Zahnsegmente, welche die Steuerbewegung durch Kegelhäder auf die zwischen den Fahrgestellen befindliche Übertragungswelle leiten. Durch die miteinander in Eingriff stehenden Zahnsegmente wird erreicht, daß die vom Querhaupt zu den Lenkerhebeln führenden Steuerstangen niemals auf Druck beansprucht werden können, wozu sie infolge ihrer Länge nicht geeignet sind.

Da die Fahrgestelle beim Überfahren von Bodenunebenheiten ihre Lage in der Waagerechten ändern können, muß die zwischen ihnen befindliche Steuerungs-Übertragungswelle derart gelenkig aufgehängt sein, daß sie wohl in axialer Richtung

ein gewisses Maß einknicken, in Richtung des Umfangs zur Übertragung der Drehbewegung aber nicht nachgeben kann. Hierzu dient in jedem Fahrgestell eine nachgiebige Kupplung. Die obere Figur in Abb. 3, Taf. 10 zeigt das Einstellen der beiden Fahrgestelle beim Überfahren eines Brechpunktes, wobei die Übertragungswelle ihre Lage relativ zu den Fahrgestellen ändert.

Um die beiden Fahrgestelle voneinander trennen zu können, besitzt die Lenk-Übertragungswelle eine Kupplungsstelle. Die Welle ist außerdem in jedem Fahrgestell um eine Länge von 0,75 m, zusammen also 1,50 m, ausziehbar, so daß Eisenbahnwagen mit einem Achsstand von 3 m und 4,50 m ohne Lösen der Kupplung befördert werden können. Für größere Achsstände werden Verlängerungsstücke zwischen die Kupplungshälften eingehängt, die mit ihren Kupplungsköpfen genau in diejenigen der ausziehbaren Enden passen. Die ausziehbaren Enden bestehen aus sechskantigen Wellenstücken, die an den nachgiebigen Kupplungen in den Fahrgestellen angebracht sind. Die auf den Sechskantwellen gleitenden Rotgußstücke sind in den Rohrenden, aus denen die Lenkübertragungswelle besteht, befestigt.

Die Längsverschiebbarkeit der ausziehbaren Wellenstücke berücksichtigt auch die Veränderung des Mittenabstandes der beiden Fahrgestelle bei Überfahren von Brechpunkten und Bodenunebenheiten.

Von den beiden Fahrgestellen ist nur das eine mit einer Bremse ausgerüstet. Das andere Fahrgestell besitzt lediglich eine Bremsleitung, damit das Fahrzeug bei der Fahrt in jeder Richtung gebremst werden kann (Abb. 4, Taf. 10). In dem mit Bremsen ausgerüsteten Fahrgestell sind sämtliche acht Räder an die Bremse angeschlossen. Diese Anzahl gebremster Räder ist ausreichend, um das Fahrzeug bei voller Last in einem stärksten Gefälle von 1:10 sicher zu befördern. Als Bremsensystem wurde eine vereinigte Luft-Öldruckbremse gewählt, bei der die Drucklufteinrichtung von der Firma Knorr, die Öldruckeinrichtung von der Firma Ate-Bremse hergestellt ist. Die in dem Luftverdichter des Schleppers auf 4,6 at gepreßte Luft wird durch die Bremschläuche und die Hauptluftleitung über den Luftbremszylinder in den Hilfsluftbehälter gedrückt, von dem aus sie beim Einleiten des Bremsvorganges durch Ablassen der Luft aus der Hauptluftleitung hinter den Kolben des Luftbremszylinders tritt und durch ein Übersetzungsgestänge in dem Öldruckzylinder einen Druck von 35 at hervorruft. Das Ablassen der Luft aus der Hauptluftleitung erfolgt durch den Fahrer, der auf dem Schlepper das Bremsfußpedal bedient, zugleich mit der Betätigung der Schlepperbremse. Der erzeugte Öldruck wird durch Kupferleitungen und Druckkölschläuche auf die in den Radscheiben liegenden, doppelseitig auf zwei halbkreisförmige Bremsbacken wirkenden Öldruckbremszylinder übertragen. Dadurch pressen sich die mit Reibbelag versehenen Bremsbacken gegen die Bremsstrommeln. Um ein Außerbetriebsetzen der Öldruckbremse für sämtliche acht Räder durch Undichtwerden einer einzigen Stelle unmöglich zu machen, ist bei der ausgeführten Anlage der Öldruckzylinder in vier einzelne Zylinder zerlegt, von denen je eine Leitung zu den beiden Rädern einer Achse führt, so daß also an Stelle der gezeichneten gemeinsamen Öldruckanlage vier einzelne Öldruckbremsanlagen, welche von dem einen Luftbremszylinder bedient werden, bestehen. Diese weitgehende Unterteilung erscheint ausreichend, da bei Undichtwerden einer Ölleitung nur ein Viertel der gebremsten Räder wirkungslos wird.

Die Handbremse greift am Übersetzungsgestänge der Öldruckeinrichtung an und besteht aus einer Spindel mit einem Handrad, das an der Außenseite des Fahrzeugrahmens an einer zugänglichen Stelle angebracht ist.



### Bauart der Schlepper.

Das erste Versuchsstraßenfahrzeug wurde im Herbst 1932 bei der Gothaer Waggonfabrik gebaut und im Anfang des Jahres 1933 den ersten Probefahrten unterworfen. Zum Ziehen diente ein von der Firma Kaelble in Backnang gemieteter Schlepper von 65 PS, welcher die zur damaligen Zeit stärkste auf dem deutschen Markt vorhandene Zugmaschinentype war. Dieser Schlepper konnte bei seinem geringen Reibungsgewicht von etwas über 2 t auf der angetriebenen Achse das Straßenfahrzeug bei voller Belastung nur auf der Waagerechten ziehen. Das war für die Durchführung der Versuche zunächst ausreichend. Zur Einrichtung von Straßenfahrzeugverkehren mußten stärkere Zugmaschinen geschaffen werden.

Mit Rücksicht auf die in vielen Städten vorkommenden größten Steigungen von 1:10 mußte die Maschine in der Lage sein, das voll ausgelastete Straßenfahrzeug, d. h. 40 t Anhängelast, auf diesen Steigungen mit Sicherheit, wenn auch mit einer geringen Geschwindigkeit von 2½ bis 3 km/h zu ziehen. Das ergab eine Motorstärke von 90 bis 100 PS. Als erforderliches Reibungsgewicht wurden für die aufzuwendende Zugkraft 12 t errechnet, welche von einer angetriebenen Achse nicht mehr aufgenommen werden konnten. Die Entwürfe sahen daher die Verwendung von zwei angetriebenen Achsen mit zusammen vier Rädern vor. Als Höchstgeschwindigkeit wurden im Leerlauf mit Rücksicht auf die gesetzlichen Bestimmungen 16 km/h festgesetzt, die bei Verwendung von Elastikreifen in geschlossenen Ortschaften einzuhalten sind. Entsprechend den gesetzlichen Bestimmungen darf das Eigengewicht einer Zugmaschine 5 t bei einer größten Breite von 2150 mm nicht überschreiten, von denen 4 t auf die angetriebene Achse entfallen können. Besondere Bestimmungen über Schwerlastzugmaschinen mit zwei angetriebenen Achsen sieht das Gesetz nicht vor.

Unter Berücksichtigung dieser Gesichtspunkte wurden die Firmen Henschel & Sohn in Kassel und Kaelble in Backnang mit der Durcharbeitung der nach den Richtlinien des Reichsbahn-Zentralamtes aufgestellten Entwürfe betraut und ihnen anschließend je zwei Maschinen in Auftrag gegeben. Die Beteiligung zweier Firmen erfolgte, um durch die Erprobung zweier gleichstarker, aber etwas verschiedener Bauarten und die Wahl eines Dieselmotors (bei Kaelble) und eines Benzinmotors (bei Henschel) Anhaltspunkte über die Sicherheit, die Wirtschaftlichkeit und die Bewährung der einen oder anderen Bauart im Betriebe zu erhalten.

Jede Zugmaschine besitzt drei Achsen, von denen die vordere zur Lenkung mit einschlagbaren Rädern versehen ist, während die vier Räder der beiden hinteren Achsen angetrieben werden. Die Treibachslast von 4 t genügt zur Erzielung einer Geschwindigkeit bis 16 km/h für den mit 32 t beladenen Schleppzug im ebenen und schwach geneigten Gelände. Zur Überwindung von Steigungen bis 1:10 bei mäßiger Geschwindigkeit (rund 3 km/h) müssen die Treibachsen des Schleppers durch Zusatzgewichte bis zu 8 t belastet werden. Zu diesem Zweck sind die Zugmaschinen mit sogenannten Ballasträumen ausgerüstet, in denen die aus Schienen oder Blechpaketen gebildete Zusatzlast stufenweise oder nur in dem Maße gelagert werden kann, wie es für die vorkommenden Steigungen und die angehängte Last erforderlich wird.

Die Treibachsen sind bei dem Entwurf der Firma Henschel (Abb. 3, Taf. 11 und Textabb. 16) als durchgehende Achsen

angeordnet und durch am Rahmen drehbar gelagerte Längsfedern derart verbunden, daß sie sowohl eine parallele Verschiebung ausführen, als auch eine verschränkte Lage zueinander einnehmen können, wodurch eine gleichmäßige Verteilung der Last auf alle Räder gewährleistet ist. Der Entwurf der Firma Kaelble (Abb. 4, Taf. 11 und Textabb. 17) sieht als Treibachsen Schwingachsen vor, welche ebenfalls durch die drehbare Anordnung der Längsfedern eine gleichmäßige Verteilung der Last und Anpassung an Bodenunebenheiten ergeben. Durch diese weitgehend nachgiebige Ausbildung der Achsaufhängung sind die Schlepper in der Lage, sich Straßenunebenheiten von 15 cm Tiefe und Höhe und darüber anzupassen.

Die Schlepper haben eine Seilzugvorrichtung für das

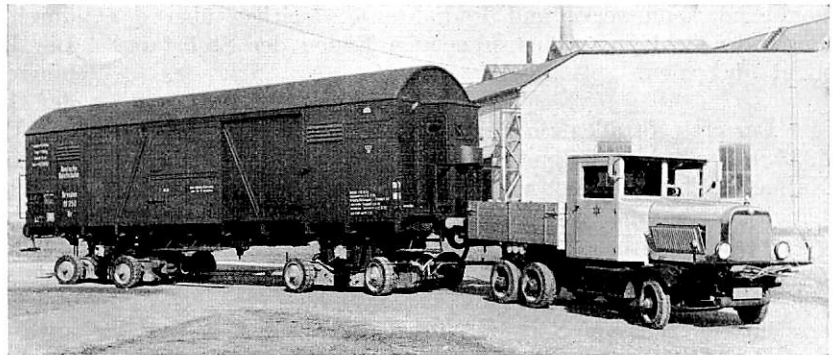


Abb. 16.

Straßenfahrzeug mit Glr-Güterwagen von Henschel-Schlepper gezogen.



Abb. 17. Kaelble-Schlepper vor Straßenfahrzeug mit beladenem Om-Wagen.

Heransetzen des Straßenfahrzeugs an die Rampe und das Überladen der Güterwagen. Die einzubauende Seilzugkraft ist mit Rücksicht auf die größten Steigungen der Überladerampe von 1:8 mit 4500 kg bemessen worden. Zur Erprobung der geeignetsten Zugvorrichtung wurde die Seilzuganlage nach dem Entwurf der Firma Henschel als Spill-, nach dem Entwurf der Firma Kaelble als Seilwinde vorgesehen. Die Seilwinde des Kaelble-Schleppers besitzt eine Aufwickelvorrichtung zur Schonung des Seiles. Beide Seilzuganlagen erhielten ein Drahtseil von 50 m Länge, um einen möglichst großen Wirkungsbereich ohne Ortsveränderung der Zugmaschinen zu erhalten.

Die Schlepper wurden weiterhin mit einer sogenannten Zapfwelle ausgerüstet, welche zur Abnahme der Kraft für die mechanische Absenkvorrichtung des Straßenfahrzeugs dient. Die Zapfwelle liegt quer zur Längsachse des Fahrzeugs und besitzt an jeder Seite der Zugmaschine eine Kupplungsmöglichkeit für den Anschluß der gelenkigen Übertragungswelle. Außerdem sind Rutschkupplungen eingebaut, um Überbeanspruchungen der mechanischen Absenkvorrichtung aus-

zuschließen. Die zu übertragende Leistung beträgt ungefähr 12 PS bei 500 Umdr./Min.

Die Schlepper sind im übrigen mit allen Einrichtungen ausgerüstet, die das Kraftfahrzeuggesetz vorschreibt, insbesondere zweier voneinander unabhängiger Bremsrichtungen, je für Hand- und Fußbetätigung, Geschwindigkeitsmesser, Signaleinrichtung, Pendelwinker und Rücklicht. Als Besonderheit ist die ausziehbare Spurstange, die mit der Stoßstange des Fahrzeugs vereinigt ist, zu erwähnen. Im ausgezogenen Zustande soll die Spurstange dem Fahrer die Breite angeben, die er zur Durchfahrung des von ihm gezogenen Güterwagens benötigt. Auf den Enden der Spurstange befinden sich senkrechte Rohrstücke, die kleine Scheinwerfer tragen und die zur besseren Kenntlichmachung weiß gestrichen sind. Die Scheinwerfer geben nach rückwärts rotes Licht, damit von schräg rückwärts kommende Fuhrwerke und Radfahrer die seitlich über das Profil des Schleppers hinausragenden Enden der Stoßstange nicht übersehen.

Der erste Straßenfahrzeugverkehr wurde am 12. Oktober 1933 in der Stadt Viersen im Rheinland für die Firma Kaisers Kaffee-Geschäft eröffnet und hat den Erwartungen aller Beteiligten nicht nur entsprochen, sondern sie sogar noch weit übertroffen. Bei Inbetriebnahme des Verkehrs wurde mit einer Zustellung von 30 Wagen in der Woche gerechnet. Diese Zahl stieg jedoch in den ersten Monaten bereits ganz erheblich und erreichte wöchentliche Spitzenleistungen von 90 Wagen, so daß der Verkehr mit nur einem Straßenfahrzeug allein nicht bewältigt werden konnte.

Die Entwicklung der Fahrzeuge zum Transport von Eisenbahnwagen ist mit der geschilderten sogenannten zweiteiligen Bauart nicht abgeschlossen. Der Gedanke, die große Schlepplast zur Erhöhung des Reibungsgewichtes auszunutzen, führt auf dem Wege über die Sattelschlepperkonstruktion zum Fahrzeug mit eigenem Antrieb. Der Sattelschlepper, der

gemeinsam von der Firma Görlitzer Waggon-Fabrik (Wumag) und der Firma Kaelble gebaut wird, nähert sich seiner Vollendung, während die Entwürfe für das Straßenfahrzeug zweiteiliger Bauart mit eigenem Antrieb soweit fortgeschritten sind, daß mit dem Bau alsbald begonnen werden kann.

Die Reichsbahn ist nicht nur bestrebt, das Gut den Empfängern bis vor das Haus oder in den Fabrikhof zu fahren, sondern es auch dort, sofern es sich um Massen- oder Schüttgüter handelt, ohne mühselige Handentladung auszuladen. Die Entwurfsarbeiten sehen daher den Einbau von Kipp-einrichtungen sowohl in das Fahrzeug zweiteiliger als auch in das Sattelschlepperfahrzeug vor. Auch diese Entwürfe sind bereits weitgehend fortgeschritten, so daß ihrer Verwirklichung durch den Bau demnächst nähergetreten werden kann.

Sämtliche Konstruktionen sind der Deutschen Reichsbahn durch Patente bzw. Patentanmeldungen weitgehend geschützt. Die Reichsbahn übernimmt den Verkehr mit den Straßenfahrzeugen selbst, da sie aus Gründen der Betriebssicherheit der Güterwagen ihn nicht in andere Hände legen darf.

Das Straßenfahrzeug hat über die geschilderten Aufgaben hinaus noch eine große Bedeutung für den Transport schwerster und über das Profil der Eisenbahn hinausgehender Lasten. Wie heute schon die Entwicklung im Ausland, vornehmlich in England zeigt, wird der Verkehr mit Schwerlasten über die Landstraße noch erheblich an Bedeutung gewinnen. Die Reichsbahn ist dann in der Lage, auch diese Verkehre, die sich auf andere Weise nicht durchführen lassen, deren Durchführung aber eine Frage der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie auf dem Weltmarkt ist, dank der für Schwertransporte mit Rücksicht auf Erschütterungen, Lastverteilung und geringste Straßenbeanspruchung außerordentlich sorgfältig konstruierten Straßenfahrzeuge und mit dem ihr dazu zur Verfügung stehenden geschulten Personal, zum Fortschritt des gesamten Transportwesens und damit zum Wohle der Allgemeinheit mit Sicherheit zu übernehmen.

## Verbrennung und Verschlackung auf dem Lokomotivrost.

Von Reichsbahnrat Ebert, München.

Die Leistung einer Dampflokomotive ist nach alter Erkenntnis abhängig von der Verbrennung auf dem Rost, von der Verdampfung im Kessel, von der Arbeitsentwicklung in den Zylindern, von der Arbeitsübertragung im Fahrgestell und von der Reibung der Treibräder auf den Schienen. Bei einer richtig bemessenen Lokomotive ist die Kesselleistung, also der Verbrennungs- und Verdampfungsvorgang für die Dauerleistung maßgebend. Der Kessel muß im Beharrungszustand die für die Dauerleistung erforderliche Dampfmenge liefern, er darf sich nicht erschöpfen, d. h. an Druck und Wasserstand dauernd verlieren.

In den üblichen Berechnungsweisen wird die Dampfleistung des Kessels auf die Rostfläche bezogen. Besonders Strahl\*) hat in seinen verschiedenen Arbeiten die Rostfläche zum Ausgangspunkt für die Bestimmung der Kesselleistung genommen und Werte der zu erreichenden höchsten Dampfleistung ermittelt. Nordmann\*\*) weist allerdings auf Grund reichen Versuchsmaterials nach, daß die höchste stündliche Verdampfungsleistung kein für alle Lokomotiven feststehender universeller Wert ist, wie Strahl annimmt, sondern daß jede Lokomotivgattung einen ihr eigentümlichen Wert aufweist. Neuere Überlegungen weisen auch darauf hin, daß die Kessel-

leistung außer von dem Verhältnis der Heiz- zur Rostfläche besonders vom Verhältnis der Heizfläche zum Gasdurchgangs-querschnitt abhängig sei.

Wie nun auch zahlenmäßig die Verhältnisse zwischen der wärmeentwickelten Rostfläche und der wärmeübertragenden Heizfläche liegen mögen, so bleibt doch die Tatsache bestehen, daß durch die Verbrennung auf dem Rost und ihre Grenzen auch die Kesselleistung und ihre Grenzen mitbestimmt werden. Die Frage nach den Beziehungen zwischen Bemessung, baulicher Gestaltung und Leistung der Lokomotiven hat schon immer die Lokomotivtheoretiker beschäftigt. Die Vorgänge auf dem Rost vom Brennstoffbett her sind dagegen weniger beachtet worden, wofür ein Grund die Meinung sein mag, daß die Verbrennung auf dem Rost kein der Lokomotive eigentümlicher Vorgang sei und daß die für ortsfeste Feuerungen gewonnenen Erkenntnisse auch für die Lokomotivfeuerung gelten würden. Soweit Untersuchungen angestellt wurden, erstreckten sie sich hauptsächlich auf die Ermittlung des Wirkungsgrades der Verbrennung  $\eta_v$ , der mit dem Wirkungsgrad der Heizfläche  $\eta_H$  den Kesselwirkungsgrad  $\eta_k = \eta_v \cdot \eta_H$  ergibt. Bei solcher Betrachtungsweise sucht man vom Ergebnis auf den Vorgang zu schließen und befaßt sich dann mit dem Vorgang selbst nicht näher, wenn das Ergebnis, in diesem Fall der Wirkungsgrad, befriedigend erscheint. Nordmann\*) gibt eine eingehende kritische Würdigung von

\*) Strahl, Die Anstrengung der Dampflokomotiven 1908. Verfahren zur Bestimmung der Belastungsgrenzen der Dampflokomotiven. ZVDI. 1913. — Die Berechnung der Fahrzeiten und Geschwindigkeiten von Eisenbahnzügen. Glasers Annalen 1913.

\*\*) Nordmann, Neuere Ergebnisse aus den Versuchen des Eisenbahn-Zentralamts mit Dampflokomotiven. Glasers Annalen 1926. ZVDI 1929.

\*) Nordmann, Theorie der Dampflokomotiven auf ver-suchsmäßiger Unterlage. Org. Fortsch. Eisenbahnwes. 1930, Seite 225.



Wirkungsgradkurven für die Verbrennung und für den Wärmeübergang und weist gelegentlich auch darauf hin, daß bei der Auswertung die Versuchsumstände berücksichtigt werden müssen. Jedenfalls dürfen die aus sorgfältig vorbereiteten und durchgeführten Versuchsfahrten ermittelten Wirkungsgrade der Verbrennung nicht als Durchschnittswerte des täglichen Betriebs betrachtet werden. Die Verschiedenartigkeit des Brennstoffs nach Sorte und Art, die mehr oder minder geschickte Feuerhaltung, für die dem Heizer lediglich die eigene Erfahrung aber kein anzeigendes Instrument wie z. B. CO-CO<sub>2</sub>-Messer zur Verfügung steht, der betriebliche Fahrtverlauf wie z. B. Länge der Fahrt, Wechsel der Belastungen und Aufenthalte, beeinflussen den Verbrennungsvorgang in starkem Maße. Aus einer größeren Zahl von Kohlenversuchsfahrten, die im regelmäßigen Betrieb als Meßfahrten zur Erprobung von Kohlen durchgeführt wurden, ergab sich, daß, bezogen auf die im Fahrtverlauf verfeuerte Brennstoffmenge das Verbrennliche in den Rückständen, also die Verluste, schwankten bei den Rückständen unter dem Rost von 0,33 bis 2,3%, auf dem Rost von 2,4 bis 4,7%, in der Rauchkammer von 0,22 bis 5,8%. Dabei hat sich gezeigt, daß die höheren Anteile an Verbrennlichem in den Rückständen auf und unter dem Rost bei dünnflüssiger Schlacke auftreten, weil die viskose Schlacke aus früh erweichender Asche die Kohleteilchen umhüllt und der Verbrennung entzieht. Die Werte der Rauchgasanalysen schwankten ebenfalls in weiten Grenzen je nach dem Feuerungszustand bei der Rauchgasentnahme z. B. für CO bei Luftüberschuß (bei geöffnetem Regler) von 0,3 bis 1,5%, bei Luftmangel (bei geschlossenem Regler oder sehr hoher Schicht) von 1,8 bis 8%. Dabei war deutlich erkennbar, daß der CO-Anteil anstieg: 1. nach dem Aufwerfen frischer Kohle für die Dauer der Entgasung und bis zum Beginn der Koksverbrennung, weil in der Zeit der stärksten Reaktion Luftmangel herrscht; 2. nach dem Schließen des Reglers, insbesondere bei hoher Feuer-schicht, weil die Zufuhr an Verbrennungsluft nicht ausreicht; 3. gegen Ende der Fahrt, wenn die Rostverschlackung stärker geworden ist, weil bei gleichgebliebener Blasrohrleistung der Durchgangswiderstand des Brennstoffbettes größer und damit die Luftförderung kleiner geworden ist. Schon diese Feststellungen lassen erkennen, daß die Verbrennung auf dem Rost kein gleichmäßiger und leicht zu überblickender Vorgang ist, sondern daß verschiedene Umstände sie stark beeinflussen und daß insbesondere Verbrennung und Verschlackung in gegenseitiger Wechselwirkung stehen. Um Folgerungen für den Bau der Feuerung, für die Feuerhaltung und für die Brennstoffauswahl ziehen zu können, ist es daher zweckmäßig, den Vorgang der Verbrennung und den Vorgang der Verschlackung zunächst gesondert und dann in ihrem gegenseitigen Zusammenhang zu betrachten.

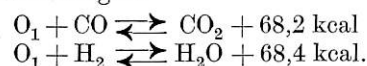
### Die Verbrennung.

Die technische Verbrennung der Kohle ist die möglichst restlose Überführung des Kohlenstoffs in Kohlensäure und des Wasserstoffs in Wasserdampf mit dem Zweck, die in der Kohle gebundene chemische Energie möglichst vollständig in Wärme umzusetzen. Dabei soll die für die Verbrennung erforderliche Luftmenge den theoretischen Luftbedarf möglichst wenig überschreiten, damit die Abgasverluste möglichst klein bleiben. So einfach diese Erklärung ist, so schwierig und verwickelt ist der keineswegs restlos aufgeklärte Verbrennungsvorgang. Man kam ihm erst in den letzten Jahren näher, als man ihn außer als chemischen auch als thermodynamischen und aerodynamischen Vorgang betrachtete und die bisher fast nur chemische Forschung nach der physikalisch-technischen Seite hin erweiterte. Die gewonnenen Erkenntnisse sind fast ausschließlich abgeleitet aus Forschungen über die stoffliche Umsetzung des Brennstoffbettes auf beweglichen Rosten mit gleichmäßigem Abbrand und über die Kohlenstaubverbrennung.

Inwieweit diese Forschungsergebnisse auf das Brennstoffbett des Lokomotivrostes übertragen werden können, bedarf jeweils einer besonderen Überlegung.

Der gegenwärtige Stand der Erkenntnisse über die Verbrennung ist in kürzester Darstellung etwa folgender:

Chemisch gesehen verläuft die Verbrennung für alle brennbaren Stoffe, ob fest, flüssig oder gasförmig, völlig gleich, aber niemals in einfacher Art. Die Verbrennung ist letzten Endes eine rein gasförmige Reaktion. Nach Aufhäuser\*) ist die Verbrennung in ihrer Gesamterscheinung die Wandlung (chemische Bewegung) des Brennstoffs zur Verbrennungsreife, die in ihrer Beschleunigung zur Zündung wird, worauf die chemische Gleichgewichtsänderung im Gemisch der gasförmigen Körper mit Sauerstoff, die wahre Verbrennung, eintritt. Diese Gleichgewichtsänderung ist mit einer Wärmetönung verbunden. Diese Wärmetönung (Reaktionswärme, Verbrennungswärme) geht in fühlbare Wärme über, deren Träger die Heizgase sind. Die Verbrennungsreife ist erreicht, wenn die chemische Wandlung der Kohlenstoffverbindungen bis zur Bildung von Kohlenoxyd und Wasserstoff gediehen ist. Unmittelbar verbrennungsreif sind also nur Kohlenoxyd CO und Wasserstoff H<sub>2</sub>, die Bestandteile des Wassergases. Die Geschwindigkeit, mit der sich die Wandlung zur Verbrennungsreife vollzieht, ist bestimmend für die jedem Brennstoff eigene Brenngeschwindigkeit. Die Grundlagen für die chemische Wandlung sind die Wärmeunbeständigkeit der Kohlenstoffverbindungen und das chemische Gleichgewicht zwischen den Zersetzungsprodukten und dem Luftsauerstoff. Die Kohlenstoffverbindungen vermögen nur bis zu einer bestimmten Temperatur fühlbare Wärme aufzunehmen, darüber hinaus wird die zugeführte Wärme in chemische Arbeit umgesetzt, die Verbindung wird gesprengt. Es bilden sich Zersetzungsprodukte von höherer Wärmebeständigkeit. Mit steigender Erwärmung entstehen bei dieser Flucht in wärmebeständigere Verbindungen Zersetzungsprodukte immer einfacheren Aufbaus, bis schließlich Wasserstoff Kohlenoxyd und reiner Kohlenstoff verbleiben. Wasserstoff und Kohlenoxyd treten mit dem Sauerstoff in das chemische Gleichgewicht unter Wärmetönung, d. h. sie verbrennen nach den beiden Gleichungen:



Die Verbrennung des noch verbleibenden reinen Kohlenstoffs ist ein lebhaft umstrittenes Problem. Nach der einen Annahme verbindet sich der Kohlenstoff mit dem Sauerstoff nur zu Kohlenoxyd, das dann zu Kohlensäure verbrennt. Wenn Kohlenoxyd auftritt, so hat der Sauerstoff gefehlt für die Verbrennung zur Kohlensäure. Nach der anderen Annahme verbrennt der Kohlenstoff unmittelbar zu Kohlensäure. Wenn Kohlenoxyd auftritt, so ist es durch Reduktion der Kohlensäure infolge Luftmangel entstanden. Das thermodynamische Gleichgewicht Kohlenstoff — Kohlenoxyd — Kohlensäure läßt beide Annahmen zu. Die von Boudouard aufgestellte Gleichgewichtskurve läßt nur erkennen, daß bei

steigender Temperatur der Quotient  $\frac{\text{CO}}{\text{CO}_2}$  zunimmt, so daß bei Temperaturen über 940° ausschließlich CO entsteht. Für die Verbrennungstechnik, soweit sie rechnet und mißt, ist diese Frage nicht von allzu großer Bedeutung, weil nach beiden Annahmen die von der Technik erstrebte Verbrennung zu Kohlensäure mit gleichem Wärmegewinn zustande kommt.

Bei dem Bestreben, die Feuerung und Feuerführung dem inneren Vorgang der Verbrennung anzupassen, vermag aber die Frage noch von Bedeutung zu werden.

Die Wandlung des Brennstoffs zur Verbrennungsreife geht, wenn auch sehr langsam, schon bei gewöhnlicher Tem-

\*) Aufhäuser, Brennstoff und Verbrennung.

peratur vor sich und kann bei gewissen Umständen, wenn z. B. die Bildungswärme nicht abgeführt wird, zur Selbstentzündung führen. Beschleunigt wird die Wandlung durch Zuführung von Wärme. Jede technische Verbrennung beginnt deshalb mit einer Erwärmung von Brennstoff und Luft. Die Geschwindigkeit der Wandlung wird also abhängig von der Geschwindigkeit, mit der der Brennstoff die Wärme aufnimmt und damit einmal von der Temperaturdifferenz zwischen Anfangstemperatur des Brennstoffs und Temperatur der Verbrennungszone und zum anderen von Inhalt und Form der zu erwärmenden Teile, also vom Verhältnis der wirksamen Oberfläche zum Volumen. Soll also, technisch gesprochen, die Brenngeschwindigkeit zum Zwecke der Leistungssteigerung des Rostes gesteigert werden, so kann dies durch Erhöhung der Wandlungsgeschwindigkeit, also durch Verstärken der sie beeinflussenden Faktoren der Temperatur und der Oberfläche geschehen.

Die Wandlung geht durch Beschleunigung der Reaktion über in die Zündung. Diese Beschleunigung wird durch katalytische Einflüsse bewirkt. Die Zündkatalysatoren machen den Sauerstoff aktiver, sie beschleunigen also die Oxydation. Die Wärmetönung aus dem Oxydationsvorgang überragt nun alle entgegenstehenden Verluste, der Zerfall der Verbindungen wird unaufhaltsam, die Verbrennung setzt ein. Zündkatalysatoren sind der glühende Kohlenstoff, die Wandlungen der Feuerung und der strahlende Gaskörper in der Feuerung. Der Zündvorgang für die praktische Feuerung ist aber noch wenig geklärt.

Nach der dargestellten Auffassung vom Verbrennungsvorgang zeigt sich die Verbrennung von Kohle in folgender Weise:

Die Kohle ist wärmeunbeständig; nur bis zur Austreibung der Nässe, also etwa bis 100°, vermag die Kohle fühlbare Wärme aufzunehmen; dann tritt bei steigender Erwärmung bereits die Wandlung ein, indem zunächst das chemische gebundene Wasser abgespalten wird, dann die flüchtigen Kohlenstoffverbindungen in der Reihenfolge ihrer Flüchtigkeit ausgetrieben werden. Diese Verbindungen kommen rasch zur Verbrennungsreife, zünden und verbrennen. Die Geschwindigkeit ihrer Verbrennung wird nur bestimmt durch die Geschwindigkeit ihrer Zersetzung. Voraussetzung für ihre völlige Verbrennung ist ihre völlige Wandlung zur Verbrennungsreife, also eine ausreichend hohe Temperatur im Feuerraum und eine genügende Luftmenge, Voraussetzungen, die auf dem Lokomotivrost beim Nachfeuern von Kohle meist nicht bestehen. Der Koksrückstand verglüht (vergast) entweder über CO zu CO<sub>2</sub> oder unmittelbar zu CO<sub>2</sub>. Die Verbrennungsgeschwindigkeit des Koksrückstandes ist bestimmt durch die Geschwindigkeit der CO- oder der CO<sub>2</sub>-Bildung. Sie ist auf jeden Fall erheblich geringer als die Verbrennungsgeschwindigkeit der flüchtigen Bestandteile. Ihre Größe wird wesentlich bestimmt durch Temperatur und wirksame Oberfläche. Die beiden Phasen der Kohlenverbrennung mit ihren völlig verschiedenen Verbrennungsgeschwindigkeiten in Einklang zu bringen ist eine kaum lösbare Aufgabe. Die Bedeutung einer gesteuerten Zweitluftzuführung für die Verbrennung der flüchtigen Bestandteile und des CO über den Rost wird hier deutlich sichtbar. Es ist auch erkenntlich, daß bei gegebenen Feuerungsverhältnissen in der Brennstoffauswahl Grenzen gezogen sind. Fette Kohle ergibt im Verbrennungsverlauf porigen, backenden Koks mit großer wirksamer Oberfläche, während magere und Gasflammkohle sinternen oder sandigen Koks liefert mit geringerer wirksamer Oberfläche. Diese Unterschiede in der wirksamen Oberfläche und im Gehalt an flüchtigen Bestandteilen können in der nicht regelbaren Lokomotivfeuerung nicht beherrscht werden. Lediglich durch Veränderung der Schichthöhe kann eine von mehreren Bedingungen

für die gute Verbrennung erfüllt werden. Die Erörterung über die Verbrennungsgeschwindigkeit in den beiden Phasen der Verbrennung zeigt auch, daß die Mischung von Kohlen rein heiztechnisch nur dann Erfolg verspricht, wenn die Verbrennungsgeschwindigkeiten nicht zu weit auseinander liegen. Es ist schließlich noch zu erkennen, daß die Verbrennung kein gleichförmig ablaufender, sondern ein in Impulsen sich vollziehender Vorgang ist. Jedes Aufgeben von Brennstoff ändert den Gleichgewichtszustand des Verbrennungsablaufs. Der auf das Grundfeuer aus gleichmäßig abbrennendem Koks frisch aufgeworfene Brennstoff entgast stürmisch, erhöht den Luftbedarf, ändert erst durch seine Wärmeaufnahme, dann durch seine Wärmeentwicklung die Temperatur im Brennstoffbett und Feuerungsraum und wirkt damit auf den Verbrennungsablauf des Grundfeuers zuerst hemmend, dann beschleunigend zurück. Erst wenn der frisch aufgeworfene Brennstoff verkocht ist, tritt im Abbrand wieder Gleichmäßigkeit ein, so lange bis neuer Brennstoff ausgegeben wird. Nimmt man noch dazu, daß die Luftzufuhr durch die mit der wechselnden Anstrengung der Lokomotive wechselnde Blasrohrleistung gesteuert wird, und zwar unabhängig vom jeweiligen Luftbedürfnis des Verbrennungsvorgangs, so ergibt sich, daß die Verbrennung auf dem Lokomotivrost durchaus nicht zu jedem Zeitpunkt günstig verläuft, so daß es schon aus diesem Grunde erklärlich wird, warum die Rauchgasanalyse und die aus ihnen ermittelten Verbrennungswirkungsgrade wechselnd ausfallen.

Kennzeichnend für die thermodynamische Auffassung ist die Betrachtung des Verbrennungsvorgangs als Oberflächenreaktion. Nach der Austreibung der flüchtigen Bestandteile bleibt, entsprechend der chemischen Auffassung, die Verbrennung auf die Grenzschicht zwischen der festen und gasförmigen Phase beschränkt. Diese Grenzschicht schreitet nach der Mitte des Brennstoffkornes fort, entsprechend der Auflösung eines Salzkornes in Wasser. Die reagierende Oberfläche ist maßgebend für die Verbrennungsleistung. Auf Grund dieser Auffassung haben Rosin\*) und Fehling die Grundgleichung der Feuerungsleistung aufgestellt:

$$\begin{aligned} \text{Feuerungsleistung} &= \text{Beschiekung} \times \text{spez. Oberfläche} \times \\ &\times \text{Abbrandzahl} \times \text{Wertigkeit} \times \text{Reaktionsgeschwindigkeit} \\ \text{oder } Q &= K \times F \times \beta \times \varphi \times c \text{ (kcal/h)}. \end{aligned}$$

Dabei ist:

K = die Beschiekung in kg, und zwar jene Kohlenmenge, die ohne Verbrennung kalt durch die Feuerung getragen würde. Für Roste ist  $K = \text{Rostfläche} \times \text{Schütthöhe} \times \text{Schüttgewicht}$ .

F = die ursprüngliche Oberfläche der Kohle vor der Verbrennung in m<sup>2</sup>/kg.

$\beta$  = das Verhältnis der mittleren zur ursprünglichen Oberfläche.

$\beta \cdot F$  = mittlere indizierte Oberfläche.

$\varphi$  = Ausnutzungsgrad der Reaktionsfähigkeit.

Reaktionsgeschwindigkeit = Fortschrittgeschwindigkeit der Verbrennung  $\times$  Heizwert  $\times$  Spezifisches Gewicht  
 $c = c' \times \text{Hu} \times \xi$  mit den Einheiten;  
 kcal/m<sup>2</sup>h, m/h, kcal/kg, kg/m<sup>3</sup>.

Die Reaktionsgeschwindigkeit ist der statistische Mittelwert der stündlich von 1 m<sup>2</sup> reagierender Kohlenoberfläche entwickelten Wärmemenge. In ihrem Begriff ist das Fortschreiten der Verbrennung senkrecht zur Oberfläche enthalten. Diese Fortschrittgeschwindigkeit der Verbrennung von Kohle entspricht der Zündgeschwindigkeit brennbarer Gase.

Die Leistung einer Feuerung ist also die stündlich in ihr entwickelte Wärmemenge. Diese Definition entspricht genau der theoretischen thermodynamischen Leistung eines Motors

\*) Rosin und Fehling, Archiv für Wärmewirtschaft 1930, Seite 113.



bei adiabatischer Expansion, wenn man die Energieform der Arbeit durch die der fühlbaren Wärme ersetzt.

Der Verbrennungsverlauf wird von der Oberflächenabnahme abhängig. Die reaktionsfähige Oberfläche eines Brennstoffkornes geht bei der Verbrennung von ihrem anfänglichen Höchstwert auf einen Mindestwert zurück, dabei Wärme leistend, wie im Vergleich mit dem Motor durch die Expansion des Gases vom Verbrennungsdruck auf den Gegendruck Arbeit gewonnen wird. Der Verlauf der Oberflächenabnahme entspricht der Adiabate oder Polytrope beim Motor. Da die reagierende Gesamtoberfläche, dargestellt durch die Summe der Oberflächen der einzelnen Brennstoffkörner,

$$O = K \cdot \beta \cdot F \text{ m}^2$$

gesetzt werden kann, wird verständlich, warum  $\beta \cdot F$  als mittlere indizierte Oberfläche bezeichnet wird. Die Ermittlung der Abbrandzahl ist schwierig. Rosin und Fehling ermitteln sie rechnerisch unter der vereinfachenden Annahme, daß die Brennstoffkörner als geometrisch ähnliche, homogene isotrope Körper allseitig gleichmäßig und mit gleicher Reaktionsgeschwindigkeit abbrennen. Für die Verbrennung gleichkörniger Kohle von beliebiger Größe errechnet sich dabei  $\beta = 1/3$  d. h. der wirksame Mittelwert der Oberfläche ist mit  $1/3$  der ursprünglichen Oberfläche einzusetzen. Da die spezifischen Oberflächen mit der Sortierung der Kohle nach feineren Körnungen (z. B. für Ruhrkohle von Nuß I bis Nuß V) sich stark vergrößern, ließe sich nach der Grundgleichung schließen, daß die Feuerungsleistung des Rostes bei sonst gleichen Umständen durch Verwendung feinerer Körnungen sich im Verhältnis der größer werdenden spezifischen Oberfläche steigern ließe. Dies wäre tatsächlich dann der Fall, wenn die gesamte Oberfläche gleichwertig an der Reaktion teilnehmen würde. Sie könnte gleichwertig daran teilnehmen, wenn die Verbrennungsluft mit dem zur Reaktion erforderlichen Sauerstoff und die Verbrennungsgase uneingeschränkt zu- und abgeführt werden, wenn also ganz bestimmte aerodynamische Verhältnisse geschaffen werden könnten. Schüttung, Kanalbildung, Backen, Blähen und Zerfall der Kohle, Verschlackung, Strömungsgeschwindigkeit, Zündverzug und andere Umstände gestalten aber die aerodynamischen Bedingungen am Brennstoffkorn und damit die Wertigkeit der reaktionsfähigen Oberfläche sehr verschieden. Die Oberflächenwertigkeit ist also der durch die Verhältnisse im Brennstoffbett bestimmte Ausnützungsgrad der Reaktionsfähigkeit. Die Reaktionsgeschwindigkeit  $c$  als die auf  $1 \text{ m}^2$  Oberfläche des Brennstoffs in einer Stunde entwickelte Wärmemenge ist dagegen eine von der Feuerung unabhängige Kenngröße für den Brennstoff, die über die Fortschrittsgeschwindigkeit der Verbrennung  $c'$  zur Temperaturfunktion wird, wie die vorangegangene chemische Betrachtung gezeigt hat.

Die Grundgleichung der Feuerungsleistung gilt, da sie ganz allgemein abgeleitet ist, in vollem Umfange auch für die Verbrennung auf dem Lokomotivrost. Sie läßt folgende Anwendungen zu:

1. Sie eröffnet die Möglichkeit, die Feuerungsleistung des Rostes zu berechnen, sowie auch die Leistung der Heizfläche der Rechnung durch die Forschungen der letzten Jahre zugänglich gemacht worden ist. Zu dem bisher üblichen statistischen Verhältnis  $\frac{R}{H} \left( \frac{\text{Rostfläche}}{\text{Heizfläche}} \right)$  tritt das der Berechnung zugängliche Verhältnis  $\frac{Q}{W} \left( \frac{\text{Leistung der Feuerung in kcal/h}}{\text{Leistung der Heizfläche in kcal/h}} \right)$ . In diesem Verhältnis sind dann auch die Umstände der Verbrennung und des Brennstoffs mitberücksichtigt.

2. Sie gestattet die Berechnung charakteristischer Kenngrößen für Brennstoff und Feuerung. Diese Kenngrößen ergänzen die bisher für Brennstoff und Feuerung üblichen Berechnungs- und Beurteilungsgrößen. Für den Brennstoff treten

neben Heizwert, Gasgehalt und Aschengehalt noch die von der Kohlenart abhängige indizierte Oberfläche und die jeder Kohlenart eigene Reaktionsgeschwindigkeit; für die Feuerung treten neben Rostfläche und Feuerungsraum noch die von ihren Luftströmungsverhältnissen abhängige Oberflächenwertigkeit des Brennstoffs.

Die Auffassung des Verbrennungsvorgangs als einer Oberflächenreaktion führt fast zwangsläufig zu seiner Betrachtung als Auflösungsvorgang, der durch die aerodynamischen Gesetze beherrscht wird, so wie die Auflösung eines festen Körpers in strömender Flüssigkeit nach den Gesetzen der Hydrodynamik vor sich geht. Rosin und Kayser\*) haben die physikalische Verwandtschaft zwischen der Verbrennung von Kohle und der Auflösung fester Körper eingehend untersucht und eine Aerodynamik des Rostes aufgestellt. Vier Grundsätze wurden gefunden:

a) Der Reaktionsverlauf d. h. die Kurve der Gewichtsabnahme ist unabhängig von Strömungsgeschwindigkeit, Korngröße und Temperatur, abhängig dagegen von der Gestalt und der Stellung des Körpers zum Strömungsfeld.

b) Geometrisch ähnliche Ausgangskörper ändern ihre Form während der Reaktion nach gleichem Gesetz.

c) Die Reaktionszeit wird mit zunehmender Relativgeschwindigkeit zwischen Körper und Strom kürzer. Dieser Zusammenhang enthält die Abhängigkeit der Brennzeit und damit der Feuerungsleistung von der Zugstärke.

d) Mit wachsendem Verhältnis von Gewicht zur Oberfläche nimmt die Reaktionszeit nach allgemeinen Parabeln zu, wovon jede einer bestimmten Strömungsgeschwindigkeit zugehört.

Nach diesen Gesetzen läßt sich die Oberflächenwertigkeit, die für den Verbrennungsverlauf entscheidend ist, berechnen, und zwar in ihren Teilen der Größenwertigkeit, der Formwertigkeit und der Strömungswertigkeit. Rosin und Kayser haben für den Modellrost eine Brennzeitgleichung aufgestellt:

$$Z = C_z \frac{D_2^{1,4}}{w} \text{ (s)},$$

worin  $D_2$  die größte Maschenweite des als Sieb ausgebildeten Modellrostes,  $w$  die mittlere Strömungsgeschwindigkeit vor dem Rost und  $C_z$  eine Kennziffer bedeutet, die alle anderen Einflüsse wie Formwertigkeit, Temperatur, chemische Stoffwerte umfaßt.

Die Rostleistung wird durch die obere Grenze der Luftgeschwindigkeit begrenzt. Wenn der Strömungsdruck das Korngewicht zu übersteigen beginnt, wird die Schüttung instabil, sie lockert sich auf, erhöht ihr Lückenvolumen, das Feinkorn wird ausgesichtet. Wenn das Korn auch im freien Raum der Strömung nicht mehr standzuhalten vermag, ist die theoretische Grenze der Rostfeuerungs erreicht. Diese Grenzgeschwindigkeit, die sich ihrer nach Ort und Zeit wechselnden Verteilung wegen als mittlere Strömungsgeschwindigkeit unter dem Rost darstellt, ist unabhängig von der Schichthöhe, abhängig von Korngröße und Schüttgewicht. Die Instabilität der Schüttung zwischen den Grenzwerten der ruhenden Schüttung und dem fliegenden Korn erhöht die Oberflächenwertigkeit beträchtlich. Warum sich trotz der hohen Oberflächenwertigkeit des fliegenden Kornes der Abbrand so langsam vollzieht, daß das Korn als Flugkoks ausgesichtet wird, findet seine Erklärung in der wegen der ungenügenden Relativgeschwindigkeit zur strömenden Luft geringen Geschwindigkeitswertigkeit. Entgegen der bisherigen Annahme verläuft die Verbrennung in der zur Bewegung übergehenden Schwebelage über dem Rost bedeutend langsamer als in der Schüttung. Die Reaktionszeiten der ruhenden Schüttung betragen nur etwa die Hälfte jener der Schwebelage. In der

\*) Rosin und Kayser, ZVDI., Bd. 75, S. 849.

Schüttung steigt die Luftgeschwindigkeit wegen des geringen freien Querschnitts und vor allem wegen der Temperaturerhöhung auf das 15 bis 20fache. Die im Feuerraum herrschende Gaseschwindigkeit ist wesentlich niedriger als im Kohlenbett. Die weitere Betrachtung der Verbrennung im Fluge führt zur Aerodynamik der Staubfeuerung, die hier nicht weiter erörtert werden soll. Rosin und Kayser leiten aus den Modellversuchen für zwei verschiedene Gleichgewichtszustände 1 und 2 folgende Gleichungen ab:

$$\frac{Rf_1}{Rf_2} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{w_1}{w_2}$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^{1-c} \cdot \frac{h_2}{h_1}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{z_2}{z_1} = \left(\frac{w_1}{w_2}\right)^c$$

Dabei bedeuten:

Rf = die stündliche Rostbelastung von 1 m<sup>2</sup> Rostfläche in kg/m<sup>2</sup>h,

n = die Luftüberschußzahl,

h = die Schichthöhe in m,

w = die Luftgeschwindigkeit vor dem Rost in m/sec,

v = die Rost- oder Vorschubgeschwindigkeit in m/min,

z = die Gesamtbrennzeit in Sek.,

c = einen versuchsmäßig bestimmbaren Exponenten.

Als praktische Anwendung ergibt sich, daß die Rostleistung gesteigert werden kann:

1. Bei unveränderter stündlicher Luftmenge durch höhere Schicht. Weil der Luftüberschuß dabei sinkt, ergibt sich die Grenze für die Schichthöhe im Auftreten unverbrannter Gase.

2. Bei unveränderter Schichthöhe durch Erhöhung der Luftgeschwindigkeit. Die Grenze ergibt sich, wenn die Schüttung instabil wird.

3. Bei unveränderter Rost- und Vorschubgeschwindigkeit durch höhere Schicht bei gleicher und vermehrter Luftmenge. Gleiche Luftmenge führt zu starken Abgasverlusten, vermehrte Luftmenge gibt im ersten Teil des Rostes wegen der verkürzten Brennzeit unvollkommene Verbrennung, im zweiten Teil Luftüberschuß mit Instabilwerden der Schüttung. Das technische Erfordernis für die dem Brennungsverlauf entsprechende Zonenluftführung des Hochleistungsrostes ergibt sich aus dieser Feststellung.

Die Rostleistung kann dann nicht weiter gesteigert werden, wenn die Verbrennung unvollkommen oder die Schicht instabil wird oder die Asche auf dem Rost zum Fließen kommt. Könnten die Hindernisse der Instabilitätsgrenze und der Verschlackungsgrenze überwunden werden, so könnte mit hochwertiger, formbeständiger Kohle eine Rostbelastung von 600 bis 700 kg/m<sup>2</sup>h erreicht werden, also ein die hohe Leistung des Lokomotivrostes noch weit übersteigender Wert.

Das alte Schlackenproblem erscheint hier in neuer Beleuchtung. Um das Fließen der Asche zu vermeiden, muß die Verbrennungstemperatur so geführt werden, daß der Aschenschmelzpunkt beim bewegten Rost im hinteren Rostteil, beim Planrost nahe der Rostebe, wo in beiden Fällen die Asche stark angereichert ist, nicht erreicht wird. Die Kenntnis der Aschenschmelzkurven erleichtert diese Aufgabe.

Die Erkenntnis der aerodynamischen Vorgänge führt für den Wanderrost bei Leistungssteigerung zwangsläufig zur gestuften Beaufschlagung des Rostes mit Verbrennungsluft: Am Rostanfang wird die Luftzuführung nach dem Zündvorgang, in der Hauptbrennzone nach dem Brennungsverlauf, in der Ausbrennzone im wesentlichen nach dem Ascheverhalten gesteuert. Für den Feuerraum wird dann von selbst die Forderung nach Wirbelung der Feuergase erfüllt, wenn aus den einzelnen Zonen die Gasstrahlen mit verschiedenen Geschwindigkeiten in den Feuerraum austreten.

Für die Verbrennung auf dem Lokomotivrost bestehen die aerodynamischen Zusammenhänge grundsätzlich in gleicher Weise wie für den Wanderrost, nur sind sie wesentlich schwieriger versuchs- und damit zahlenmäßig zu erfassen. Die Vorstellung wird erleichtert, wenn man sich die auf dem Wanderrost hintereinander folgenden Vorgänge auf dem Planrost untereinander folgend denkt. Auf dem Wanderrost spielen sich in der waagrechten Richtung ab: Die Brennstoffaufgabe, die Entgasung, die Bildung von Halbkoks und Koks, der Abbrand und Ausbrand mit Rückstandsbildung. Auf dem Planrost folgen sich diese Vorgänge von oben nach unten. Die Vorschubgeschwindigkeit des Wanderrostes entspricht der Sinkgeschwindigkeit des Brennstoffs auf dem Planrost. Völlig verschieden ist aber die Luftzuführung: Beim Wanderrost werden alle Zonen des Brennungsverlaufs unmittelbar von Verbrennungsluft beaufschlagt, beim Planrost nur die Ausbrandzone. Da für gleiche Feuerungsleistung die Schichthöhe beim Planrost wesentlich größer sein muß als beim Wanderrost, ist auch der Unterdruck beim Planrost größer als beim Wanderrost. Die Luftgeschwindigkeit ist in der Schüttung auf dem Planrost beträchtlich höher als beim Wanderrost, daher auch die Geschwindigkeitswertigkeit entsprechend größer. Wegen des höheren Strömungsdruckes und des damit verbundenen größeren Lückenvolumens der Schüttung ist auch die Größenwertigkeit höher. Hierin liegt die Erklärung, warum auf dem Lokomotivrost trotz der ungünstigen

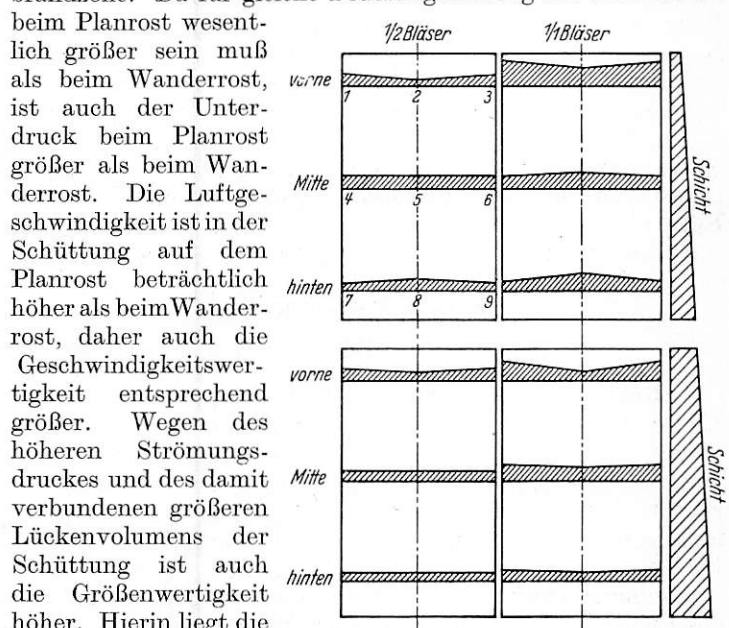


Abb. 1. Saugzug gemessen an neun Stellen des Rostes.

Luftbeaufschlagung hohe Verbrennungsleistungen mit erträglichem Wirkungsgrad erreicht werden. Ein Weg, noch höhere Rostleistungen ohne Rostvergrößerung zu erzielen, läßt sich dadurch finden, daß die Luftzuführung dem Brennungsverlauf entsprechend gesteuert, also der Rost wie beim Hochleistungszoneurost oder bei der Unterschubfeuerung als regelbare Maschine ausgestaltet wird z. B. durch Verwendung von Hilfsgebläsen und durch Zonenbildung in der Luftzuführung. Eine seitliche Luftzuführung würde gestatten, das Brennstoffbett dem Brennungsverlauf entsprechend mit Verbrennungsluft regelbar nach der Schichthöhe zu beaufschlagen. Daß aber auch die Luftzuführung in der Ebene des Rostes der Regelung bedarf, um sie gleichmäßig zu gestalten und den Rost voll auszunützen, zeigt Abb. 1. Die Luftführung durch den Rost einer Lokomotive G 55.15 wurde an neun Meßstellen mittels U-Röhren gemessen, und zwar für verschiedene Schichthöhen und Blasrohrleistungen. Es ist deutlich erkennbar, wie mit steigender Schichthöhe die Saugzugstärke in den Rostspalten geringer wird, aber auch wie wenig gleichmäßig die Luft durch den Rost befördert wird. Ob diese Verhältnisse sich bei der fahrenden Lokomotive verbessern, ist zu bezweifeln, weil der Staudruck der gegen und in den Aschkasten strömenden Luft sich wahrscheinlich nicht gleichmäßig unter den ganzen Rost verteilt.

Zum Abschluß der Betrachtung über den Brennungsverlauf sei betont, daß die chemische, thermodynamische und



aerodynamische Auffassung durchaus nicht miteinander in Widerspruch stehen, sondern sich gegenseitig ergänzen. Die chemische Betrachtung erkennt die Bedeutung der Oberfläche des abbrennenden Stoffs für die Wandlung zur Verbrennungsreife, insofern als von ihr die Wärmeaufnahme und damit die Wandlungs- und Verbrennungsgeschwindigkeit abhängt, für die Zündkatalyse und für die Reaktion zwischen Sauerstoff- und Kohlenstoff zur Herstellung des chemischen Gleichgewichts. Die thermodynamische Betrachtung erweitert diese qualitative Erkenntnis zur quantitativen und stellt Gleichungen für die Verbrennungsleistung auf mit Einbeziehung des Faktors der Oberfläche. Die aerodynamische Betrachtung klärt die Beziehungen zwischen der reagierenden Oberfläche des Brennstoffs zur vorbeiströmenden Luft. Die wirksame Oberfläche ist also der die drei Betrachtungsweisen verknüpfende Begriff.

Die praktische Anwendung der Erkenntnisse vom Verbrennungsablauf besteht für den Lokomotivrost in folgendem:

Die bauliche Fortentwicklung des Rostes muß auf die Erfordernisse der Verbrennung Bedacht nehmen in der Weise, daß die Luftzuführung zwar nach wie vor nach der Lokomotivanstrengung über das Blasrohr gesteuert wird, aber innerhalb dieser Gesamtsteuerung nach dem Luftbedarf des Verbrennungsablaufs. Höhere Rostleistungen sind nicht allein durch Rostvergrößerung, sondern durch höhere Rostbelastungen zu erzielen, wenn der Verbrennungsablauf nach den chemischen und physikalischen Brennstoffeigenschaften unter Schaffung geeigneter strömungstechnischer Bedingungen möglichst gestaltet wird. In der Auswahl der Brennstoffe werden die Grenzen weiter gezogen werden können, wenn der Rost eine regelbare Maschine geworden sein wird. Für den jetzigen Rost wird die geforderte Leistung in höherem Maße gesichert, wenn die Brennstoffe nicht allein nach den Kenngrößen des Heizwertes, Gasgehaltes, Aschengehaltes und Schmelzpunktes ausgewählt werden, sondern auch nach Oberflächengestaltung, Reaktionsgeschwindigkeit und Ascheverhalten beurteilt werden. Die Rücksicht auf den Bergbau und seine volkswirtschaftliche Bedeutung zieht aber den Anforderungen an die Kohle gewisse Grenzen. Für die Feuerführung sind bestimmte Regeln aufzustellen, die den Erkenntnissen über den Verbrennungsablauf entsprechen, die chemischen und physikalischen Brennstoffeigenschaften berücksichtigen und auf die strömungstechnischen Eigenschaften der Feuerung im Zusammenhang zwischen Rostleistung, Schichthöhe und Luftmenge abgestellt sind. Die Feuerführung kann am besten nach den Rauchgasanzeigen beurteilt werden. Auch für die Lokomotivfeuerungen wären CO-CO<sub>2</sub>-Messer wertvolle Hilfsmittel für die hier besonders schwierige Feuerführung. Allerdings müßten betriebstüchtige Instrumente für die Lokomotive erst ausgebildet werden.

### Die Verschlackung.

Die Feuerungsleistung kann nur dann konstant gehalten werden, wenn die Oberflächenwertigkeit und damit der Abbrand und Ausbrand der Brennstoffteile gleichmäßig bleibt. Gleichbleibende Luftzufuhr und Verbrennungsgasabfuhr in der Randzone des reagierenden Brennstoffs sind hierfür Voraussetzung. Blähen, Backen und Zerfall der Kohle im Brennstoffbett, Veränderung der Schüttungsstärke und damit des Strömungswiderstandes verursachen beim Wanderrost die Veränderung der Oberflächenwertigkeit, beim Planrost außer diesen Vorgängen in besonders starkem Maße noch die Verschlackung. Für die Verbrennung auf dem Planrost der Lokomotive ist die Frage der Verschlackung von besonderer Bedeutung. Die Rostbetriebsdauer d. h. jene Zeit, innerhalb welcher noch die für die Dauerleistung der Lokomotive erforderliche Wärmemenge auf dem Rost mit erträglichem Wirkungsgrad entwickelt werden kann, hängt nur vom Grade der Rostverschlackung ab. Die Rostbetriebsdauer ist aber von ausschlaggebender Wichtigkeit für die Lokomotivdienst-

einteilung, weil sie die Länge der zu durchfahrenden Strecke und damit die Zahl der zur Bewältigung einer gewissen Verkehrs Menge erforderlichen Lokomotiven bestimmt, für die Lokomotivausnutzung, weil sie das Verhältnis der Fahrtstunden zu den Ruhestunden (Behandlungs- und Wendezeit) bestimmt, für die Fahrplanbildung, weil sich nach ihr der Aufenthalt für Lokomotivwechsel und der Sicherheitszuschlag in der Fahrzeitenberechnung mitbestimmt, und schließlich für die Wirtschaftlichkeit, weil sie den Kohlenverbrauch, die Unterhaltungskosten und den wiederum von der Lokomotivausnutzung abhängigen Gelddienst für die Lokomotiven beeinflusst.

Der Einfluß der Asche auf den Verbrennungsvorgang ist ein zweifacher: 1. Beim Abbrand reichert sich die Asche im Brennstoffkorn an. Es entstehen Wechselwirkungen chemischer und physikalischer Art zwischen dem Aschekörper und dem glühenden Koks Körper, die noch wenig geklärt sind, sicherlich aber das Backvermögen und insbesondere das Reaktionsvermögen der brennenden Kohle beeinflussen. Sie sollen hier nicht weiter erörtert werden.

2. Die flüssig gewordene Asche erstarrt auf dem Rost je nach ihrer Beschaffenheit als glasige, dünne, zähe Schicht oder in mürben, porösen, mehr oder weniger zusammenhängenden Platten. Je nach dem Grade der Verschlackung und ihrer Luftdurchlässigkeit wird die Luftzufuhr und der Aschendurchfall vermindert. Der Wirkungsgrad der Verbrennung sinkt rasch ab, die Wärmeentwicklung auf dem Rost wird unzureichend, die Feuerung kann völlig zum Erliegen kommen.

Die Lösung der Schwierigkeit etwa nur darin zu suchen, daß bei der Brennstoffauswahl Kohlen mit niedrig schmelzender Asche ausgeschieden werden, verspricht keinen sicheren Erfolg, weil das laboratoriumsmäßig festgestellte Verhalten der Asche keineswegs mit dem betriebsmäßig auftretenden übereinstimmt. Die das Ascheverhalten beeinflussenden Umstände sind im einzelnen und in ihrem Zusammenwirken in beiden Fällen verschieden. Es zeigt sich tatsächlich in der praktischen Betriebsführung immer wieder, daß die Verbrennung von Kohle, deren Asche bei der laboratoriumsmäßigen Feststellung einen ausreichend hohen Schmelzpunkt aufweist, im Betriebe unter gewissen Umständen zur Rostverschlackung führt, während sie unter anderen Umständen anstandslos verläuft. So zeigte z. B. die laboratoriumsmäßige Untersuchung, daß von 69 Kohleproben, die wegen starker Rostverschlackung im Betriebe eingeschickt worden waren, nur zehn Proben leicht und mittelflüssige Asche mit Schmelzpunkten unter 1300° und 59 Proben schwerflüssige Asche mit Schmelzpunkten von 1300 bis 1500° lieferten.

Bevor auf die Vorgänge der Schlackenbildung auf dem Lokomotivrost im besonderen eingegangen werden kann, ist es nötig, sich mit dem Stand der Erkenntnisse über das allgemeine Verhalten von Brennstoffasche vertraut zu machen. Die Asche ist kein chemisch charakterisierter Körper. Sie stellt das Gemisch der nicht verbrennlichen und einiger verbrannter Bestandteile der Kohle dar und stammt aus den mineralischen Bestandteilen der Kohle. Diese mineralischen Bestandteile sind teils Überreste der verkohlten Pflanzen, teils rühren sie von mineralischen Einschwemmungen her. Dazu treten beim Abbau der Kohle die Bergmittel. Die Aschebildner finden sich also in der Kohle sehr verschieden hinsichtlich Art, Menge und Verteilung. Während z. B. Durit in der Asche hauptsächlich eingeschwemmte Tone aus verwittertem Gestein zeigt, enthalten Clarit und Vitrit fast nur ursprüngliche Pflanzenasche, Fusit Asche aus eingeschwemmten Minerallösungen (nach Arbeiten Lessings\*). Cobb und Marson\*\*) stellen die in der Asche vorkommenden Elemente und ihre Verbindungen in folgender Weise dar:

\*) Bericht 14 des Kohlenstaubausschusses des Reichskohlenrates 1928.

\*\*) Gasjournal 1925, S. 39.

Element	Form
Si	Kieselsäure, Sand
Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mit SiO <sub>2</sub>
Fe	Pyrit und Markasit, daneben in geringeren Mengen FeO, FeCO <sub>3</sub> , FeSO <sub>4</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> organisches Eisen und Fe-Silikate
Ca	Karbonate, Sulfate und Silikate
Mg	Karbonate, Sulfate und Silikate
Na, K	Silikate, Karbonate, Chloride und Sulfate
Mn	Karbonate und Silikate
S	Pyrit und Markasit, Ferrosulfat, Ferrisulfat, Kalziumsulfat
P	Phosphate

Nach Aufhäuser\*) kann die Asche alle Bestandteile aufweisen, die in der festen Erdrinde vorkommen. Die sauren und basischen Oxyde, die zu Salzen vereinigt in der Asche vorkommen, sind in der Reihenfolge ihrer Bedeutung die folgenden:

Säuren	Basen
Kieselsäure SiO <sub>2</sub>	Eisenoxyde FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Schwefelsäure SO <sub>3</sub>	Tonerde Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Schwefelwasserstoff H <sub>2</sub> S (Sulfide)	Kalk CaO
Kohlensäure CO <sub>2</sub>	Magnesia MgO
Phosphorsäure P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Alkalien K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O
Chlor Cl	

Der Menge nach meist überwiegend sind die zahllosen Salze der Kieselsäure (Silikate) und die Oxyde des Eisens.

Bei der Verbrennung der Kohle vollziehen sich in der Asche tiefgreifende chemische Wandlungen, und zwar immer nach der Richtung hin, daß sich diejenigen Verbindungen bilden, die bei der gegebenen Temperatur die beständigsten sind. Bei den chemischen Verbindungen in der Asche steht demnach der Einfluß der Temperatur an erster Stelle. Dazu treten noch die Einflüsse der reduzierenden Gasphase und die Einflüsse der Verbrennung selbst. Die wichtigsten chemischen Wandlungen der Asche sind: Die Neu- und Umbildung von Silikaten, die Kalzination von Karbonaten (CaCO<sub>3</sub> = CaO + CO<sub>2</sub>), die Reduktion von Sulfaten zu Sulfiden und von Phosphaten zu Phosphiden, die Veränderungen in den Oxydationsstufen des Eisens (hitzbeständigste Form Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), die Bildung von Eisen- und Siliziumkarbiden, das Abrösten des Schwefelkieses, die Verflüchtigung von Bestandteilen, besonders der Alkalien. Je nach dem Stande der chemischen Wandlungen bildet sich der Schmelzpunkt der Asche und entsteht flüssige Asche, die Schlacke.

Es erscheint aber auch deutlich die fast unüberwindliche Schwierigkeit durch chemische Analyse der Asche, die nur Bestandteile, aber nicht ihre Wandlungen aufzeigen kann, das in der Feuerung zu erwartende Schmelzverhalten der Asche zu bestimmen.

Nach langwieriger Entwicklung gewann man die Einsicht, daß das Schmelzverhalten nicht getrennt nach der chemischen und nach der physikalischen Seite, sondern in ihrer gegenseitigen Beeinflussung betrachtet werden muß. Bunte-Baum\*\*) gaben erstmals eine solche Methode an: An die Stelle des subjektiv beobachteten Schmelzpunktes tritt die mechanisch aufgenommene Schmelzkurve, die das Ascheverhalten nach chemischer Zusammensetzung und Gasatmosphäre zu betrachten gestattet. Der Verfasser\*\*\*) führte zur Aufnahme von Ascheschmelzkurven ein optisches Verfahren ein.

\*) Aufhäuser, Brennstoff und Verbrennung, Seite 10.

\*\*) Bunte-Baum, Das Gas- und Wasserfach. 71. Jahrgang. Heft 5/6.

\*\*\*) Ebert, Org. Fortsch. Eisenbahnwes. 1930, Seite 410.

Nach dem heutigen Stand der Erkenntnisse, die aus zahlreichen Forscherarbeiten gewonnen sind, wird das Ascheverhalten beeinflusst

a) von Art, Menge und Verteilung der mineralischen Bestandteile der Kohle, also von der primär gegebenen Zusammensetzung der Aschebildner,

b) vom Verlauf des Verbrennungsvorgangs, und zwar im wesentlichen:

1. von der Temperatur, die ihrerseits von der Art des Brennstoffs, seinem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen, von der Brenngeschwindigkeit, von der Schichthöhe und der Luftüberschußzahl abhängt,

2. von der Zusammensetzung der Verbrennungsgase (Gasatmosphäre), im besonderen vom Verhältnis CO<sub>2</sub>/CO.

c) vom Brennstoffkörper, und zwar im besonderen von seiner Backfähigkeit, seiner Aktivität und seiner Reaktionsfähigkeit. Die Backfähigkeit ist andererseits zum erheblichen Teil von Aschegehalt und -beschaffenheit abhängig\*). Backende Kohle liefert stückigen porösen Koks, nichtbackende Kohle Sinter- oder sandigen Koks. Die daraus folgende Oberflächen-gestaltung bestimmt die Verbrennlichkeit, die Aktivität und die Reaktionsfähigkeit des Kokes. Die Verbrennungstemperatur wird um so höher, je verbrennlicher der Koks ist. Die Bildung des CO wird von der Lebhaftigkeit des Vorgangs CO<sub>2</sub> + C = 2 CO, also vom Maße der Reaktionsfähigkeit abhängen. Die Aktivität ist katalytischen Einflüssen gleichzusetzen. Temperatur, Gaszusammensetzung und katalytische Einflüsse bewirken die chemischen Wandlungen der mineralischen Bestandteile und bestimmen damit den Ascheschmelzpunkt. Von den Verbindungen, die sich während des Veraschens bilden können, sind von besonderer Wichtigkeit das Fayalit Fe<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> und das Eisenoxydul FeO, die beim Zusammenschmelzen mit anderen Verbindungen den Schmelzpunkt wesentlich herabsetzen. Sie entstehen unter dem reduzierenden Einfluß des Kohlenoxyds CO. Dies ist auch die Erklärung dafür, daß Kohlen mit stark eisenhaltiger Asche unter bestimmten Umständen (bei unvollkommener Verbrennung) leicht zur Verschlackung führen. Als den Schmelzpunkt herabsetzende Flußmittel (Mineralisatoren) wirken noch die Alkalien (Chloride), ferner die Phosphate, die Fluoride, Sulfide und Sulfate. Kieselsäure SiO<sub>2</sub> und Aluminiumoxyd Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> erhöhen den Schmelzpunkt.

Einsicht in das Ascheverhalten geben die Ascheschmelzkurven. Die Abhängigkeit des Ascheverhaltens von den primär in der Kohle vorhandenen Aschebildnern läßt Abb. 2 erkennen. Die zur Veraschung bestimmte Kohlenprobe wurde längere Zeit hindurch mit destilliertem Wasser durchgespült, um die wasserlöslichen Bestandteile wie z. B. die Alkalien auszuscheiden.

Der Aschegehalt der Probe sank dabei von 9,36% auf 8,63%. Die schmelzpunkterniedrigende Wirkung der wasserlöslichen Aschebildner ist deutlich erkennbar.

Wird die gleiche Kohle mit Salpetersäure behandelt, die im wesentlichen alle Aschebildner bis auf Kieselsäure und Aluminiumoxyd auflöst, so rückt der Ascheschmelzpunkt noch höher, über 1500°.

Ein dem Sinne nach gleiches Ergebnis zeigt sich, wenn aus der Asche selbst die wasser- und säurelöslichen Bestandteile ausgeschieden werden, wie aus Abb. 3 zu ersehen ist.

Von Einfluß sind bei der Ascheherstellung die Veraschungstemperatur, die Veraschungsdauer, die Atmosphäre im Veraschungssofen, bei der Ascheschmelzung die Zeitdauer.

Ein Beweis für den Einfluß des Verbrennungsablaufs auf das Ascheverhalten liegt darin, daß die Schmelzkurven von Asche der gleichen Kohle verschieden ausfallen je nach den Umständen bei der Ascheherstellung.

\*) Huppert, ZVDI. 1929/37.



Der Abfall in der Schmelze rückt, wie Abb. 4 zeigt, mit steigender Veraschungstemperatur hinauf, wahrscheinlich weil schmelzpunktniedrigende Bestandteile wie Alkalien, Sulfide und Sulfate während des Veraschens flüchtig gehen. Daß tatsächlich mit steigender Veraschungstemperatur Aschenbestandteile flüchtig gehen, ergibt sich aus Abb. 5.

Daß die Veraschungsdauer auf die chemischen Wandlungen in der Asche von Einfluß ist, geht aus Abb. 6 hervor, die erkennen läßt, daß zunächst eine Gewichts-

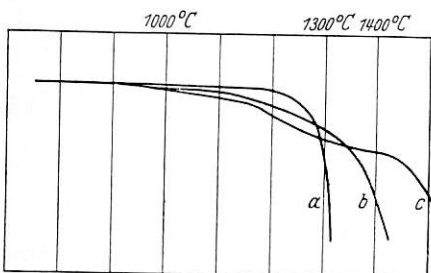


Abb. 2. Erweichungskurven von Aschen  
a aus unbehandelter Kohle,  
b aus mit destilliertem Wasser,  
c aus mit Salpetersäure behandelter Kohle.

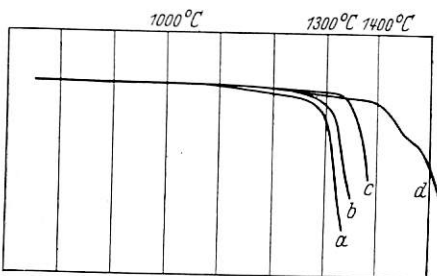


Abb. 3. Erweichungskurven von Aschen  
a unbehandelt,  
b mit destilliertem Wasser,  
c mit 10% Salzsäure,  
d mit konzentrierter Salzsäure behandelt.

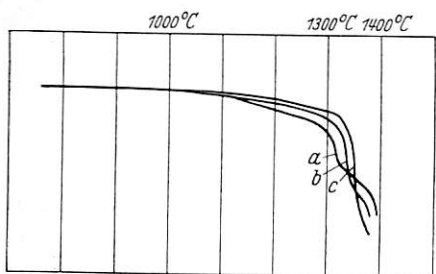


Abb. 4. Erweichungskurven von Aschen, hergestellt mit einer Veraschungstemperatur  
a von 700° C, b von 800° C, c von 1100° C.

entspricht etwa dem Druck, unter dem die Asche auf dem Lokomotivrost bei einer Schichthöhe von 40 cm steht.

Die Erforschung der Verhältnisse hinsichtlich Temperatur und Gasatmosphäre im wirklichen Verbrennungsablauf auf dem Lokomotivroste durch Messung und Beobachtung stößt auf schier unüberwindliche Schwierigkeiten. Die Temperaturmessung und Gasentnahme mittels Sonden in verschiedener Schichthöhe werden so stark von Zufälligkeiten wie Luftkanälen, Koksbrücken, ständig sich ändernder Luftgeschwindigkeit usw. beeinflusst, daß die Er-

gebnisse außerordentlich schwanken. Über die Ergebnisse in einer der Lokomotivfeuerung nachgebildeten Versuchsfeuerung soll später berichtet werden. Wenn man darauf verzichtet, dem Werte nach richtige Temperaturen für den Verbrennungsvorgang auf dem Rost zu finden, sondern sich mit der Feststellung der Tendenz der Temperaturverhältnisse begnügt, bietet dazu die Berechnung der Temperaturen ein Hilfsmittel. Die theoretische Verbrennungstemperatur T für die adiabatische

Veraschungsdauer in höhere Oxydstufen übergehen und diese höheren Oxydstufen den Schmelzpunkt erhöhen, findet sich auch die Erklärung dafür, daß die Aschen-erweichung mit der Veraschungsdauer in höhere Temperaturbereiche zu liegen kommt. Die Erkenntnis, daß in der gemischt-reduzierenden Atmosphäre die Aschen-erweichung am niedrigsten liegt, trifft nach Abb. 7 besonders für eisenhaltige Aschen zu, weil hier der Schmelzpunkt durch die entstehenden Ferroverbindungen, insbesondere Fayalit ( $Fe_2SiO_4$ ) herabgesetzt wird.

Da die Asche auf dem Rost, vor allem dem Planrost, unter dem Drucke der darüberliegenden Brennstoffschicht steht, wurde nachgeprüft, inwieweit das Schmelzverhalten vom Druck auf den Aschenkörper beeinflusst wird. Abb. 8 läßt erkennen, daß die Aschen-erweichung unter Druck früher stattfindet als ohne Druck. Der spezifische Druck bei Kurve b

ohne Druck. Der spezifische Druck bei Kurve b

gebilde-ten Versuchsfeuerung soll später berichtet werden. Wenn man darauf verzichtet, dem Werte nach richtige Temperaturen für den Verbrennungsvorgang auf dem Rost zu finden, sondern sich mit der Feststellung der Tendenz der Temperaturverhältnisse begnügt, bietet dazu die Berechnung der Temperaturen ein Hilfsmittel. Die theoretische Verbrennungstemperatur T für die adiabatische

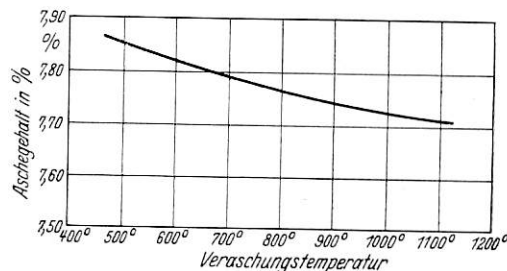


Abb. 5. Abhängigkeit des Veraschungsergebnisses von der Veraschungstemperatur.

Verbrennung läßt sich nach der Wärme-gleichung berechnen

$$T = t_a + \frac{H}{\sum(cp \cdot V)}$$

wobei  $t_a$  = die Anfangstemperatur der Verbrennungsluft,  
 $H$  = den Heizwert des Brennstoffs,  
 $cp$  = die mittlere spezifische Wärme der Heizgase,  
 $V$  = die bei der Verbrennung entwickelte Rauchgasmenge bedeutet.

Durch die Unterteilung der Brennstoffschicht in z. B. zehn Teilschichten läßt sich der Verlauf der theoretischen Temperatur im Brennstoffbett errechnen. Die tatsächlichen Temperaturen für den gleichmäßigen Abbrand einer Brennstoffschicht weichen von den theoretischen erheblich ab, weil Verluste auftreten durch die Rückstände, durch Strahlung, durch unvollständige Verbrennung in der Brennstoffschicht, durch Luftüberschuß, durch Dissoziation von  $CO_2$  und  $H_2O$ . Sieht man vom Einfluß der Dissoziation ab, der erst bei

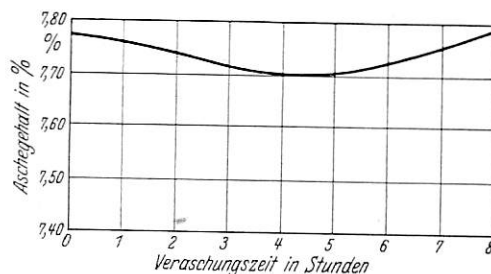


Abb. 6. Abhängigkeit des Veraschungsergebnisses von der Veraschungsdauer.

Temperaturen über 1500° sich bemerkbar macht, so läßt sich setzen

$$T = t_a + \frac{\eta \cdot (1 - \sigma) \cdot H}{\sum(cp \cdot V)}$$

wobei  $\eta$  das Verhältnis der für 1 kg Brennstoff tatsächlich zur Temperaturbildung nutzbar gemachten Wärmemenge zum Heizwert,

$\sigma$  das Ausstrahlungsverhältnis auf den Rost

$$= \frac{\text{ausgestrahlte Wärme}}{\text{entwickelte Wärme}}$$

bedeutet.

Während für die Flammenstrahlung im Feuerungsraum durch die Untersuchungen der letzten Jahre, im besonderen

von Baumann\*) und Kössler\*\*) schon weitgehend Klärung erzielt wurde, fehlen uns für die Strahlung im Brennstoffbett, ansteigend vom Rost zur obersten Schicht noch zahlenmäßige

Für die Temperaturgestaltung in irgendeiner Teilschicht ist erkenntlich, daß die Temperatur so lange gleichbleibt, als  $n$  gleichbleibt. Ändert sich z. B.  $n$  von 2,0 auf 0,8, so steigt z. B. in der halben Schichthöhe (fünfte Teilschicht der Abb. 9) die Temperatur von 700° auf 1550°. Tatsächlich wird dieser Temperaturanstieg nicht so groß sein, weil sogleich mit sinkendem  $n$  die Luftgeschwindigkeit sinkt und der Reaktionsvorgang und damit die Wärmeentwicklung sich zu verlangsamen beginnen. Einfache Versuche bestätigten, daß die in einer Versuchsfeuerung in etwa  $\frac{1}{3}$  der Schichthöhe gemessene Temperatur bei Abstellung des Zuges zunächst anstieg und dann langsam absank. Bei Standversuchen an einer Lokomotive wurde z. B. bei halb angestelltem Bläser, der eine Luftüberschußzahl  $n = 1,78$  lieferte

eine Temperatur von 1285° in 20 cm Höhe über dem Rost gemessen. Diese Temperatur sank auf 1150°, als der voll angestellte Bläser eine Luftüberschußzahl  $n = 2,56$  lieferte.

In Abb. 10 ist der theoretische Temperaturverlauf in einer bestimmten Höhe über dem Rost (100 mm) in Abhängigkeit von verschiedenen Schichthöhen und Luftüberschußzahlen dargestellt, und zwar für eine Kohlschicht bei adiabatischer Verbrennung.

Die in Abb. 9 und 10 dargestellten Zusammenhänge sind für den Verschlackungsvorgang auf dem Lokomotivrost von größter Bedeutung.

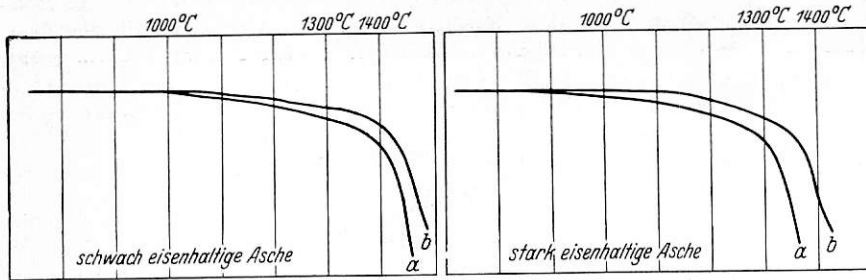


Abb. 7. Erweichungskurven von Aschen  
a in gemischt reduzierender Atmosphäre, b in oxydierender Atmosphäre.

Werte. Ohne die umständlichen Rechnungen hier wiederzugeben, ist für  $\eta = 0,93$  und ein vom Rost zur obersten Schicht ansteigendes  $\sigma = 0,05$  bis 0,25 in Abb. 9 der Temperaturverlauf in der

Koksschicht, und zwar für verschiedene Werte des Luftüberschusses  $n$  dargestellt. Die zehnte Teilschicht ist als Endschicht angenommen. Fällt die Luftzufuhr unter die theoretisch erforderliche ( $n$  kleiner als 1), so tritt die Temperaturerniedrigung durch Reduktion des  $\text{CO}_2$  ein, wie die Kurven für  $n = 0,8$  und  $n = 0,6$  erkennen lassen.

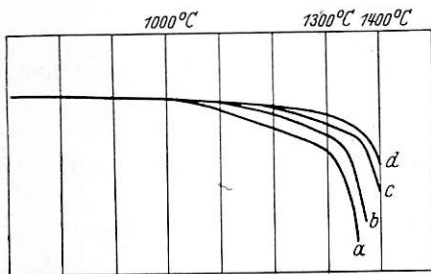


Abb. 8. Erweichungskurven von Aschen  
a mit 0,3 g/mm<sup>2</sup> Belastung  
b „ 0,12 g/mm<sup>2</sup> „  
c „ 0,03 g/mm<sup>2</sup> „  
d „ ohne Belastung.

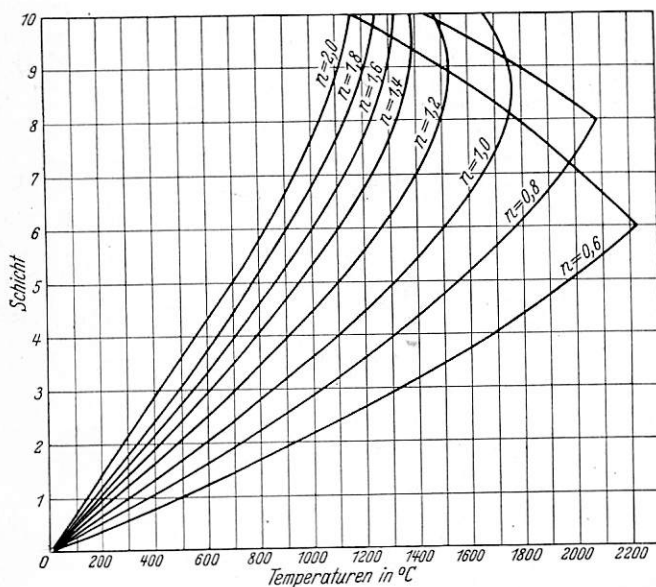


Abb. 9. Theoretischer Temperaturverlauf in der Schicht für verschiedene Luftüberschußzahlen in der Endschicht.

Wie nicht anders zu erwarten, ergibt sich für die Luftüberschußzahl  $n = 1$  die höchste Temperatur in der Endschicht. Die gleich hohe Temperatur kann erreicht werden, wenn bei Werten  $n > 1$  die Schicht entsprechend aufgehöhht, bei Werten  $n < 1$  die Schicht entsprechend erniedrigt wird.

\*) Baumann, Glasers Annalen vom 1. November 1927.

\*\*) Kössler, Z. d. Bayer. Revisionsvereins 1930, S. 75, Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1931, S. 303.

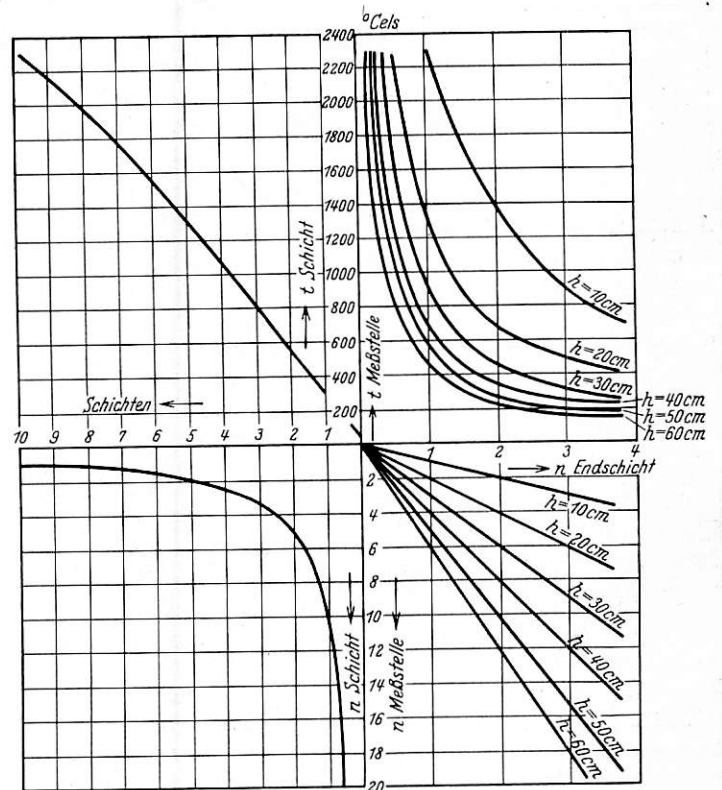


Abb. 10.

Temperaturverlauf in einer Höhe 10 cm über dem Rost bei verschiedenen Schichthöhen und Luftüberschußzahlen ( $n$ ).

Es ist zu erkennen:

1. Die Temperatur in den unteren Schichten ändert sich mit dem Luftüberschuß in dem Sinne, daß sie mit steigendem Luftüberschuß fällt und mit fallendem Luftüberschuß steigt.

2. Die Temperatur in den unteren Schichten steigt an mit steigender Schicht und fällt mit fallender Schicht, wenn die Zugstärke in beiden Fällen gleichbleibt. Die Temperatur



bleibt gleich, wenn die Zugstärke entsprechend der Schicht-erhöhung oder Erniedrigung steigt oder fällt, also die Luft-überschußzahl  $n$  gleichbleibt.

Der Vorgang der Schlackenbildung ist nun, wie folgt, zu erklären.

Die Schichttemperaturen im Brennstoffbett sind jedenfalls so hoch, daß die Asche zum Schmelzen gebracht wird. Liegen die Schichten hoher Temperatur weit über dem Rost, so haben die Aschetröpfchen beim Durchsinken durch das Brennstoffbett hinreichend Zeit im entgegenziehenden Luftstrom zu erstarren und durch die Rostspalten in den Aschenkasten zu fallen. Dies ist immer dann der Fall, wenn die Luftgeschwindigkeit groß ist, weil wegen der großen Luftüberschußzahl die höheren Schichttemperaturen weit über dem Rost liegen und der starke Luftzug in der Rostnähe kräftig kühlt. Ist aber die Luftgeschwindigkeit und damit auch die Luftüberschußzahl  $n$  klein, so liegen die höheren Temperaturen in der Rostnähe, die geschmolzenen Ascheteilchen werden auf dem kurzen Fallweg zum Rost nicht hinreichend abgekühlt und setzen sich in flüssigem oder teigigem Zustand an den kalten Roststäben an, allmählich die Rostspalten zusetzend. Bei höher schmelzenden Aschen liegt die Grenze der Luftgeschwindigkeit, die zur Verschlackung führt, höher als bei niedrig schmelzenden. Die Luftüberschußzahl wirkt gleichsinnig auf die Schlackenbildung noch über die Gasatmosphäre ein. Geringe Luftüberschußzahlen erzeugen eine gemischt reduzierende Gasatmosphäre, die durch Ferrobildung den Aschenschmelzpunkt erniedrigt. Die Tendenz zur Verschlackung wird also verstärkt besonders bei eisenreichen Aschen. Kommt noch dazu, daß eine magere Kohle, die Sinterkoks liefert, oder eine sehr stückarme wenig backende Kohle verfeuert wird und dadurch eine dichte Schüttung entsteht, oder die Schicht zu hoch gehalten wird, also die Luftüberschußzahl  $n$  klein ist, so sind alle Vorbedingungen für eine Verschlackung des Rostes gegeben. Je nach dem Schmelzverhalten der Aschen der verschiedenen Kohlen bildet sich die Schlacke in porösen einzelnen Klumpen oder in porösen dicken Platten oder in glasartig dichtem Fluß aus.

Für den Lokomotivrost ergibt sich, daß Verschlackung während der Fahrt bei geöffnetem Regler und richtig bemessener Schicht, also bei einer Luftüberschußzahl von etwa  $n = 1,5$  und höher nicht eintritt. Erst bei geschlossenem Regler, im Stillstand, bei zu hoher Schicht und kleiner Zug-

stärke oder bei Verwendung wenig backender Kohle tritt die Möglichkeit der Verschlackung ein.

Betriebsversuche bestätigten diese Erkenntnisse in vollem Umfang. Da im Fahrtverlauf die Anstrengung der Lokomotive und damit die Blasrohrleistung, also die Luftzuführung zwangsläufig nach den Streckenverhältnissen sich ergibt, vermag man nur mittels der Schichthöhe einen Einfluß auf den Verbrennungs- und Verschlackungsvorgang auszuüben. Wurde bei Versuchsfahrten die Schichthöhe mit Hilfe der Rauchgasanzeigen richtig gehalten, d. h. so gehalten, daß möglichst vollkommene Verbrennung mit einer Luftüberschußzahl von etwa  $n = 1,5$  erzielt wurde, und auch auf längere Halte- und Fahrtabschnitte mit geschlossenem Regler in der Feuerführung Bedacht genommen wurde, so war die Schlackenbildung auf dem Rost so gering, daß das sonst übliche Putzen des Feuers auf dem Wendebahnhof unterbleiben konnte. Andererseits konnte durch eine bewußt verschlackungsfördernde Feuerhaltung bei sonst gleichen Umständen, auch gleicher Kohle, eine völlige Verschlackung des Rostes herbeigeführt werden. Besonders gefährlich sind Aufenthalte oder längere Fahrt mit geschlossenem Regler, wenn die Schicht hoch gehalten ist, weil z. B. ein anstrengender Fahrtabschnitt folgt. Die Verschlackung kann in diesem Fall, wie auch schon an ortsfesten Feuerungen beobachtet wurde, vermieden werden, wenn von unten gegen den Rost Dampf geblasen wird. Die Zersetzungswärme des Wasserdampfes von 3160 kcal/kg in der glühenden Koksschicht setzt die Temperatur beträchtlich herab. Betriebsversuche bestätigten, daß die Rostverschlackung verhindert oder wesentlich unwirksamer gemacht werden konnte, wenn im Stillstand oder bei Fahrt mit geschlossenem Regler Dampf gegen den Rost geblasen wurde.

Verbrennung und Verschlackung stehen in wechselseitiger Wirkung. Der Verbrennungsablauf wirkt entscheidend ein auf das Ascheverhalten. Das Verhalten der Asche setzt andererseits der Verbrennungsleistung auf dem Rost eine Grenze. Durch die Erkenntnis der Zusammenhänge werden die Mittel aufgezeigt, beide Vorgänge zu beherrschen. Bei den ortsfesten Feuerungen steht die bauliche Fortentwicklung, die Feuerführung und die Brennstoffauswahl bereits unverkennbar unter dem Einfluß der neueren Erkenntnisse über Verbrennung und Ascheverhalten. Es liegt nahe, auch für den Lokomotivrost die Folgerungen zu ziehen.

## Persönliches.

### Geheimrat Dr. Ing. E. h. Oskar von Miller †.

Am 9. April d. J. verschied in München mitten aus seinem arbeitsreichen Leben heraus Exzellenz Geheimer Bau- rat Dr. Ing. E. h. Oskar von Miller unerwartet an den Folgen eines Herzleidens. Mit ihm ist eine der markantesten Persönlichkeiten Deutschlands von uns gegangen.

Die Bedeutung dieses außergewöhnlichen Mannes ist gerade den Ingenieuren nicht nur in unserem Vaterland, sondern in der ganzen Welt bekannt. — Die Anfänge der Elektrotechnik, ihr Aufschwung und ihre bald einsetzende große Bedeutung für die Wirtschaft sind untrennbar mit dem Namen Oskar von Miller verbunden. Und als Schöpfer des Deutschen Museums und seiner Bibliothek ist er bekannt bei Millionen von Menschen aller Länder.

Der Werdegang dieses tatkräftigen, unermüdlichen und weitschauenden Ingenieurs, der mit einzigartiger Zähigkeit einmal als richtig erkannte Ideen allen Widerständen zum Trotz durchfocht und erfolgreich verwirklichte, ist überaus bemerkenswert. — Als jüngstes von 14 Kindern wurde dem Kgl. Erzgießer Ferdinand von Miller am 7. Mai 1855 sein Sohn Oskar geboren. Die von Vater und Mutter über-

kommene Erbmasse prädestinierte ihn geradezu zu späteren Großtaten, und auch die Umwelt, in die er hineingeboren wurde, zielte auf die intensivste Förderung seines Genies. Er wuchs in der Erzgießerei auf, inmitten angewandter Technik, die noch lebendiges Handwerk war; er lernte die Arbeit lieben und den schaffenden Menschen. Aber menschlich noch viel wertvoller waren die unbedingten Führereigenschaften, die er mit auf seinen Lebensweg als kostbarstes Gut nehmen konnte. — Auf Wunsch des Königs Ludwig I. wurde er nicht wie seine übrigen Brüder im Erzgießereiwesen ausgebildet, sondern er sollte Ingenieur werden. So studierte Oskar von Miller in München gründlich das Bauingenieurwesen, vor allem Wasserbau, auch Eisenbahn- und Straßenbau sowie verwandte Gebiete. Mit 26 Jahren, während seiner Tätigkeit als Baupraktikant, wo er sich bereits als weit über den Durchschnitt befähigter Ingenieur, besonders bei Bahn- und Brückenbauten bewährte, weilte er als bayerischer Kommissar auf der Internationalen Elektro-Ausstellung in Paris 1881 und erkannte dort sofort, welche ungeheure Entwicklungsmöglichkeiten in diesem neuen Zweig der Technik lagen. Schon im nächsten Jahre brachte

er die erste elektrotechnische Ausstellung Deutschlands zustande, auf der er die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten der Elektrotechnik und ihre großen Vorteile für die Wirtschaft darlegen konnte. Mit seinen weitreichenden Zielen, so der Verwertung der großen Wasserkräfte Oberbayerns zur Erzeugung elektrischer Energie, eilte er seiner Zeit weit voraus. — Nur einige wenige Marksteine aus seinem Leben als Pionier der Elektrotechnik mögen hier angegeben sein: auf Studienreisen nach Frankreich, England und Amerika lernte er zunächst die steten Fortschritte der Elektrotechnik kennen und vor allem auch deren führende Männer wie Edison u. a. Schon damals beschäftigte er sich mit Plänen zur Einführung des elektrischen Bahnbetriebs. Die damals gegründete Deutsche Edison-Gesellschaft, die nachmalige AEG, wählte den jungen Miller in den Stab ihrer Mitarbeiter. Aus verschiedenen Gründen, vor allem aber, weil ihm der Wert der freien technischen Arbeit höher stand als große Gewinnmöglichkeiten, schied er jedoch bald dort wieder aus, um sein Können in München zunächst seiner engeren Heimat nutzbar zu machen. — Anlässlich der Frankfurter Elektro-Ausstellung 1891 — inzwischen hatte Miller zahlreiche Kraftwerke mit kleineren, meist städtischen Stromversorgungsnetzen gebaut — gelang es ihm, den Bau der Kraftübertragung Lauffen—Frankfurt zu bewerkstelligen und damit den Beweis zu erbringen, daß man elektrische Energie auch auf größere Entfernung wirtschaftlich übertragen könne. Nach diesem Erfolg gingen aus dem Technischen Büro Oskar von Miller immer größere Projekte für das In- und Ausland hervor, und mit Beginn der Jahrhundertwende beschäftigte er sich ganz besonders mit Plänen zur Einführung des elektrischen Bahnbetriebs. Schon 1891 empfahl er einem amerikanischen Ausstellungskomitee die Ausführung einer elektrischen Schnellbahn für Chicago. Die erste elektrische Vollbahn in Deutschland zwischen Meckenbeuren und Tettang hat er projektiert und ausgeführt. Bereits im Jahre 1903 legte er ein umfangreiches und genau ausgearbeitetes Projekt über die Erschließung der

bayerischen Bahnen unter Ausnutzung der bayerischen Wasserkräfte für die Elektrifizierung vor. Seine umfassenden Pläne zur großzügigen Stromversorgung Bayerns, die Errichtung des Bayern-Werkes, konnten erst nach Kriegsende verwirklicht werden. Der Bau des Walchensee-Werkes unter den widrigen Nachkriegsverhältnissen erforderte dabei eine Kraftnatur, wie sie nur Oskar von Miller besaß. Über die Stromversorgung Bayerns hinaus hat er den Ausbau der gesamten Reichs-Elektrizitätsversorgung in eingehenden Plänen festgelegt.

Aber nicht in diesen Aufgaben riesigen Ausmaßes erschöpfte sich Oskar von Miller, sondern zahlreiche weitere Aufgabenkreise und Ämter wurden ihm übertragen. So war er jahrelang im Verein Deutscher Ingenieure, in der Kammer der Reichsräte, in wissenschaftlichen Instituten und auch bei der Reichsbahn in deren Verwaltungsrat — wo er sich natürlich besonders für die Elektrifizierung der Bahnen erfolgreich einsetzte — an leitender Stelle tätig. Überall suchte und schätzte man seinen Rat und seine große Erfahrung. — Der deutschen Friedenskommision stellte er sich 1919 zur Verfügung und 1930 wurde er zum Ehrenpräsidenten der Weltkraftkonferenz gewählt, nachdem er vorher schon an verschiedenen Weltkraftkonferenzen teilgenommen hatte.

Wenn man bedenkt, daß Oskar von Miller neben den oben kurz aufgeführten, höchst vielgestaltigen und umfangreichen Aufgaben, die er als Ingenieur bewältigte, noch das große, in der ganzen Welt bewunderte Werk des Deutschen Museums schuf, in dessen Beirat auch der Verein Mittel-europäischer Eisenbahnverwaltungen durch die Generaldirektion der Königl. Ungarischen Staatsbahnen vertreten ist, und in dem, wie Generaldirektor Dorpmüller bei der Beisetzung betonte, auch die Entwicklung des Eisenbahnwesens zu Nutz und Frommen der jungen Generation dargestellt ist, so müssen wir als Deutsche in Ehrfurcht vor dem Genius dieses Mannes dem Schicksal dankbar sein, daß es ihn uns schenkte. Und als deutsche Ingenieure dürfen wir stolz sein, daß er einer der Unsrigen war, der in unserem Andenken stets fort dauern wird! Walter Häfner.

## Bücherschau.

**Nickelstähle.** Herausgegeben vom Nickelinformationsbüro, Frankfurt a. M. III. Teil „Stahlguß“ des Nickelhandbuches.

Nach allgemeinen Ausführungen über die durch den Legierungszusatz Nickel bewirkte Gütesteigerung von Stahlguß werden die verschiedenen handelsüblichen nickelhaltigen Stahlgußsorten hinsichtlich ihrer Zusammensetzung, Warmbehandlung, Eigenschaften und Verwendung besprochen.

**Lokomotiven mit Antrieb durch Dampf, Druckluft und Verbrennungsmotoren.** Von Baurat Dr. Ing. e. h. E. Metzeltin in Hannover. Mit 87 Abb. im Text und 2 Tafeln. 126 Seiten. Sammlung Götschen. Walter de Gruyter & Co., Berlin W 10 und Leipzig 1933. In Leinen gebunden 1,62 *R.M.*

Das knapp und klar gehaltene Buch bringt, unterstützt durch zweckentsprechende möglichst einfach gehaltene Abbildungen das wesentliche auf dem Gebiet der Berechnung und des Baues von Lokomotiven nach dem neuesten Stande der Technik, so daß es für Akademiker, Techniker und Praktiker eine vorzügliche Einführung in das Gebiet des Lokomotivbaues bildet.

**Arthur Haas, Physik für Jedermann,** in der Sammlung: Verständliche Wissenschaft. 274 Seiten. 76 Abb. Preis 6,80 *R.M.* Berlin: Julius Springer.

Das Buch ist wohl nur für Leser gedacht, die den Physikunterricht einer Fach- oder Hochschule bereits hinter sich haben. In meisterhafter Weise stellt der Verfasser den Anschluß an das

dort erworbene physikalische Wissen durch eine knappe Wiederholung her und bringt im Anschluß daran ohne Verwendung von Formeln aber unter Heranziehung ausgezeichneter Abbildungen Neues und Neuestes aus der Theorie und Praxis der Physik. Daneben werden die letzten technischen Anwendungen behandelt.

Von diesen hebe ich hervor: die Ultrarotphotographie; die Kathodenröhre als Gleichrichter, Verstärker und Sender; Rundfunk, Tonfilm und Fernseher, ferner die Weiterentwicklung der Dampfmaschine, der Dampfturbine und der Verbrennungsmotoren.

Die neuen physikalischen Theorien und die damit verbundenen Begriffe haben in den letzten Jahrzehnten einen solchen Umfang angenommen, daß es selbst für den Fachmann schwer war, mitzukommen. Hier ist wieder einmal der Versuch gemacht, in knappster Form Grundlagen und Resultate dieser neuen Anschauungen aufzuweisen. Wer also etwas wissen will von der Gleichberechtigung der Emissions- und Undulationstheorie des Lichtes, vom dritten Hauptsatz der Wärmelehre, von der Planckschen Hypothese des elementaren Wirkungsquantums, von der Interferenz der Röntgenstrahlen und von Röntgenspektren, von Isotopen und Massenspektren, von Radioaktivität und Atomzertrümmerung, Quantentheorie der Spektren, Atombau, Quantenmechanik, Identität von Masse und Energie, Größe des Weltalls, der lese dieses Buch und er wird erstaunt sein, in welcher einfacher Sprache ein Kömmer über diese Dinge verständlich zu berichten weiß. Dr. K. Hoffmann.