

Heizungen für Verbrennungstriebwagen und ihre Beiwagen.

Von Reichsbahnrat Dipl. Ing. Karl Grospietsch, München.

Mit dem Aufkommen der Verbrennungstriebwagen traten für die Heizung neue Aufgaben auf, da die bisher bei Eisenbahnfahrzeugen entwickelten Heizungsarten hier nicht angewendet werden konnten. Die Aufstellung eines ölgefeuerten Dampfkessels etwa würde erhebliche Schwierigkeiten mit sich bringen. Eine elektrische Heizung vom Dieselmotor mit Hilfe eines Generators erscheint zu unwirtschaftlich.

Da ein Verbrennungsmotor eine beträchtliche Abwärme im Kühlwasser und Auspuff entwickelt, liegt es zunächst nahe, diese zur Heizung zu verwenden. Ein Dieselmotor benötigt bei Vollast etwa 1800 WE/PS_eStd. und bei Leerlauf bis 2300 WE/PS_eStd. Das Äquivalent der mechanischen Arbeit beträgt jedoch nur 632 WE, der Rest von 1250 bis 1650 WE entfällt bis auf einen kleinen Betrag für Strahlung und Leitung etwa zur Hälfte auf das Kühlwasser und die Abgase. Bei Leerlauf eines 150 PS-Motors stehen demnach immer noch über 30000 WE zur Verfügung, während für einen zweiachsigen Wagen im Höchsthalle 10000 bis 12000 WE gebraucht werden.

Gegen eine vom Motor abhängige Heizung spricht die Tatsache, daß der Wärmebedarf der Heizung und die Wärmeabgabe des Motors nicht gleich laufen. Der Wärmebedarf des Wagens hängt hauptsächlich von der Außentemperatur ab und steigert sich bei wiederholtem Halten durch das Öffnen der Türen. Die Wärmeabgabe des Motors hängt dagegen im wesentlichen von der Strecke ab. Bei Steigungsfahrt ist sie sehr groß, bei längeren Gefällen kann der Motor ganz stillgesetzt werden. Auch in anderer Weise kann eine vom Motor abhängige Heizung auf diesen unerwünschte Rückwirkungen ausüben, über die später gesprochen wird.

Die Abgase verlassen den Motor mit einer Temperatur von 500° C bei Vollast, bis 200° bei Leerlauf. Die Ausnutzung der Abgaswärme darf nicht zu weit getrieben werden, damit sich keine Rückstände im Abgasheizkörper bilden. Ihre Endtemperatur sollte daher nicht unter 150° liegen. Ist t_a die Austrittstemperatur aus dem Motor, t_e die Austrittstemperatur aus dem Heizkörper und t_t die Außentemperatur, so ist der höchst erreichbare heiztechnische Wirkungsgrad

$$\eta_h = \frac{t_a - t_e}{t_a - t_t}$$

Bei $t_a = 250^\circ$, $t_e = 150^\circ$ und einer Außentemperatur von 0° beträgt daher

$$\eta_h = \frac{250 - 150}{250} = 0,4.$$

Anders verhält sich das Kühlwasser. Das Kühlwasser fließt dem Motor mit 80° zu und verläßt ihn mit etwa 85°. Diese Temperaturen müssen dauernd durch Verändern der Kühlflächen eingehalten werden, wobei die Speicherfähigkeit des Wassers die Regelung vereinfacht. Da es sich um einen geschlossenen Kreislauf handelt, so geht keine Wärme verloren. Wird die Wärme im Heizkreislauf nicht voll ausgenutzt, so strömt das Wasser wärmer zurück. Der große Wärmehalt des Wassers gewährleistet dabei eine gewisse Gleichmäßigkeit der Temperaturen.

Vermieden werden müssen natürlich Rückwirkungen auf die Maschinenanlage. Abgasheizungen können einen erhöhten Staudruck bewirken, der die Leistung des Motors herabsetzt.

Bei Kühlwasserheizungen kann bei unsachgemäßer Bedienung eine Unterkühlung des Motors eintreten.

Der einfachste Weg zur Ausnutzung dieser Wärmequellen scheint der zu sein, sie durch Rohrleitungen im Wageninnern zu leiten. Tatsächlich wurde dieser Weg zuerst beschritten. Eine größere Anzahl von Verbrennungstriebwagen erhielt eine derartige Abgasheizung. Der Auspuff wird durch eine Umschaltklappe in ein im Wagen liegendes Rohrsystem geleitet. Die Rohre sind in üblicher Weise an den Seitenwänden der Abteile verlegt und führen die Abgase schließlich durch das Dach ins Freie. Derartige Heizungen machten zunächst dadurch Schwierigkeiten, daß die Abgase an den Rohrverbindungen ins Wageninnere austraten, wo sie nicht nur unangenehme, sondern auch gesundheitsschädliche Auswirkungen ausübten. Man kann diesem Übelstand dadurch begegnen, daß man die Rohre weitgehend schweißt und möglichst wenig Verbindungsstellen vorsieht. Wegen der hohen Temperatur der Abgase schwellt der Staub auf den Heizrohren, was wiederum als Beschwerde für die Atmungsorgane empfunden wird. Aber auch abgesehen von diesen Mängeln war die Heizwirkung wenig befriedigend. Eine genügende Erwärmung trat nur bei starker Belastung des Motors (Bergfahrt) ein.

Bei niedrigen Außentemperaturen und längeren Talfahrten genügte die Heizung durchaus nicht. Die Gründe liegen darin, daß jede Abgasheizung von den Schwankungen der Motorleistung stark abhängig ist und keine Speicherfähigkeit besitzt und daß trotz einer verhältnismäßig großen Heizfläche der Wärmeübergang vom Heizgas über die Rohrwand zur Luft gering ist. Während sich im Rohr ein strömendes Gas befindet, das einen verhältnismäßig guten Wärmeübergang an das Metall aufweist, befindet sich außerhalb des Rohres eine im wesentlichen ruhende Luftschicht, die dem Metall die Wärme nur sehr träge entzieht. Hinzu kommt, daß man die Rohre durch Schutzbleche vor Berührung durch die Reisenden schützen muß. Die Ausbildung dieser Schutzbleche ist oft derart, daß auch die bescheidenste Luftströmung unterdrückt wird. Eine Verbesserung kann dadurch geschaffen werden, daß man die luftberührte Oberfläche durch Rippen vergrößert. Praktisch ist man diesen Weg wegen der übrigen Mängel nicht gegangen. Da die Rippenrohre ferner zur Staubablagerung neigen, würden sich dabei wegen der hohen Heizflächentemperatur besonders ungünstige Verhältnisse ergeben.

Bei der Ausbesserung von Wagen wurde ferner festgestellt, daß sich die Rohre durch die Ablagerungen der Abgase fast vollständig zugesetzt hatten.

Es tauchte daher der Gedanke einer Zusatzheizung auf, die die Wärmeabgabe in gewissen Umständen unterstützen sollte. Bei dieselektrischen Wagen wurden elektrische Heizkörper aufgestellt, die bei schwacher Belastung der Fahrmotoren Strom vom Generator erhalten können.

Abgasheizungen in Verbindung mit Frischluftzuführung haben im Automobilbau große Verbreitung gefunden. Diese Bauart beruht im wesentlichen darauf, daß in einen Auspufftopf besonderer Bauart ein Heizflächensystem gelagert ist, das von den Abgasen bespült wird. Ein Gebläse drückt Frischluft durch die Heizrohre hindurch, die erwärmt dem Wageninneren zuströmt. Solche Heizungen werden von zahlreichen Firmen hergestellt.

1. Abgasheizung mit Ölzusatzfeuerung.

Eine solche Heizung von Klatte, Bremen, wurde in Zusammenarbeit mit dem Zentralamt München so durchgebildet, daß zu der Abgasheizung noch eine Ölzusatzfeuerung hinzugefügt wurde (Abb. 1). Diese soll zum Vorheizen des Wagens und zum Betriebe während Gefällefahrten dienen. Diese Heizungsbauart erhält folgende Anordnung:

Der Wärmeaustauscher 1, der gleichzeitig als Schalldämpfer dient, besteht aus zwei konzentrisch angeordneten Rohren von 2,5 m Länge und 250 und 120 mm Durchmesser. Der Raum zwischen dem äußeren und inneren Rohr wird von den Auspuffgasen bestrichen. Im inneren Rohr 3, das der Hitzebeständigkeit wegen aus Sikromalstahl besteht, brennt der Ölbrenner, ohne von dem Staudruck der Motorabgase beein-

Der Brennstoffbehälter 17 wird von dem Gebläse unter Druck gesetzt, wodurch der Brennstoff der Brennerdüse 18 zuzießt, in der er durch die Düsenadel 19 zerstäubt wird. Das aus der Düse austretende Brennstoffluftgemisch saugt über ein elektromagnetisch gesteuertes Ventil 21 Zusatzluft an. Das Brennstoffluftgemisch wird durch zwei Glühkerzen 22 entzündet, bis die Schamotteauskleidung 23 genügend erwärmt ist. Die aus der Brennkammer austretende Flamme wird zunächst in einem gelochten Sikromalrohr 23 geführt, um schädliche Auswirkungen auf das innere Rohr zu verhindern. Am Ende des Wärmeaustauschers befindet sich die Sicherheitsklappe 25, sowie ein Schauloch 26 zur Beobachtung der Flamme. Dort befindet sich ferner ein Thermostat 8, der auf den Führerständen und am Hauptschalter eine Anzeigelampe 29 betätigt.

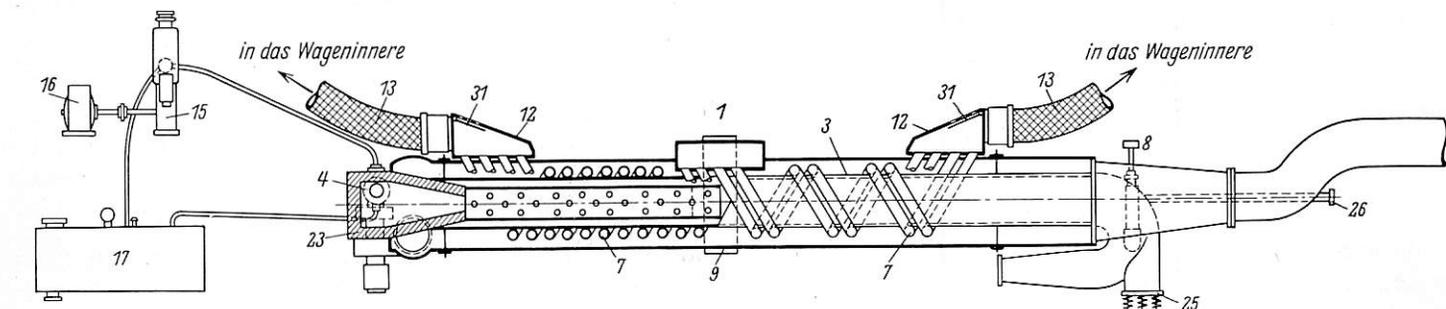
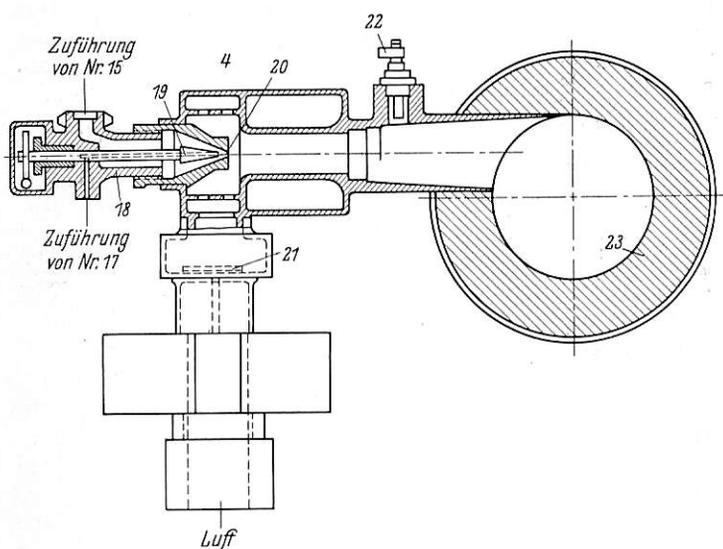


Abb. 1. Abgasheizung mit Ölzusatzfeuerung Bauart Klatte.



Zu Abb. 1.

flußt zu werden. Die Abgase des Motors und des Ölbrenners werden getrennt über das Dach hinausgeführt.

Bei der ersten Versuchsbauart war das innere Rohr 3 nicht vorhanden. Die Folge davon war, daß der Ölbrenner ausgeblasen wurde, sobald bei höheren Motortourenzahlen der Staudruck im Auspufftopf stieg.

Im äußeren Ringraum liegen fest auf das innere Rohr aufgewickelt die Heizschlangen 7, durch die die zu erwärmende Frischluft von einem Gebläse mit 0,5 PS Leistung hindurchgepreßt wird. Der Frischluftansaugstutzen befindet sich hinter dem Kühler, so daß die einströmende Luft schon etwas erwärmt ist. Die erwärmte Luft strömt über ein Sammelstück 12 an den Enden des Wärmeaustauschers und über isolierte bewegliche Rohrleitungen 13 den Ausblaseöffnungen im Wageninnern zu. In den Sammelstücken befinden sich eine Regulierklappe 31, durch die ein Teil der Warmluft ins Freie gelassen werden kann. Die Verbrennungsluft und der Brennstoff für den Ölbrenner werden von einem zweiten Gebläse 15 gefördert, das von einem 0,3 PS-Elektromotor angetrieben wird.

Zur Regulierung der Heizwirkung kann entweder nur mit Abgasheizung oder nur mit Ölbrenner oder mit Abgas- und Ölbrenner zusammen gefahren werden. In der Übergangsjahreszeit besteht außerdem die Möglichkeit, mit der Regulierklappe 31 einen Teil der durch Abgase erwärmten Heizluft ins Freie zu lassen.

Nach Versuchen, die von der Wagenversuchsabteilung in Grunewald an einem zweiachsigen Triebwagen mit 150 PS MAN-Motor vorgenommen wurden, lassen sich mit der Abgasheizung bei leerlaufendem Motor und stillstehendem Fahrzeug Übertemperaturen über die Außentemperatur von 20° erzielen. Bei einer Fahrt mit 75 km Höchstgeschwindigkeit mit belastetem Motor wurde eine Raumübertemperatur im Fahrgastraum von durchschnittlich 25° erreicht. Bei einem Vorheizversuch mit der Ölbrennerheizung stieg in 1 Std. 20' die Temperatur des Fahrgastraumes um 28° C. Bei einer Fahrt mit 75 km Höchstgeschwindigkeit, bei der Ölbrenner und Abgasheizung gemeinsam in Betrieb waren, wurde sogar eine Übertemperatur von 32° erreicht. Die gesamte eingeblasene Luftmenge beträgt 280 m³/Std. Bei einem Rauminhalt des Wagens von 66 m³ ergibt sich ein 4,25facher Luftwechsel. Dabei liegt die Heizlufttemperatur im Mittel bei Heizung mit dem Ölbrenner allein 70° und bei Heizung mit Ölbrenner und Abgas 85° über der Außenlufttemperatur. Unangenehme Erscheinungen der Staubverschmelzung wurden trotzdem nicht beobachtet. Vermutlich treten sie wegen der erheblichen Luftgeschwindigkeit nicht auf, da diese dem Staub keine Möglichkeit bietet, sich abzulagern.

Um die Anlage möglichst einfach zu halten, besitzt der Fahrgastraum nur zwei und jeder Führerstand nur je eine Ausblasöffnung. Trotzdem waren innerhalb des Fahrgastraumes die Lufttemperaturen, die an verschiedenen Stellen gemessen wurden, nur wenig voneinander verschieden. Derartige Unterschiede treten überdies bei fast jeder Heizungsbauart auch bei Oberflächenheizungen auf. Bei der ersten Einstellung der Heizung wurden die stark wärmeabgebenden Führerstände zu wenig geheizt, ein Übelstand, der sich jedoch leicht beheben ließ, da jede Ausblasöffnung eine einstellbare Regelklappe besitzt.

Das Gewicht der gesamten Anlage beträgt 230 kg oder

fahrzeuge kam es zunächst darauf an, bei einer Anzahl von vorhandenen Triebfahrzeugen die Heizung wesentlich zu verbessern. Die Frischluftheizung wäre dabei auf große Schwierigkeiten gestoßen und hätte erhebliche Umbaukosten verursacht. Man verzichtete daher auf die Frischluftzuführung ganz, zumal die Wagen mit Luftsaugern ausgerüstet waren, die eine genügende Lüftererneuerung gewährleisten.

Die ausgeführte Bauart ist in Abb. 3 dargestellt. Die vom Verbrennungsmotor angetriebene Pumpe P setzt das Kühlwasser in Umlauf. Das warme Kühlwasser aus dem Motor wird über das Myliusventil MV teilweise den Kühlern K, teilweise den Heizkörpern H, die größtenteils unter den Sitzen des Wagens eingebaut sind, zugeführt. Das Myliusventil wird von Hand eingestellt und regelt den Kühlwasserstrom derart, daß sich der Zulauf zu den Kühlern verringert, wenn der Zulauf

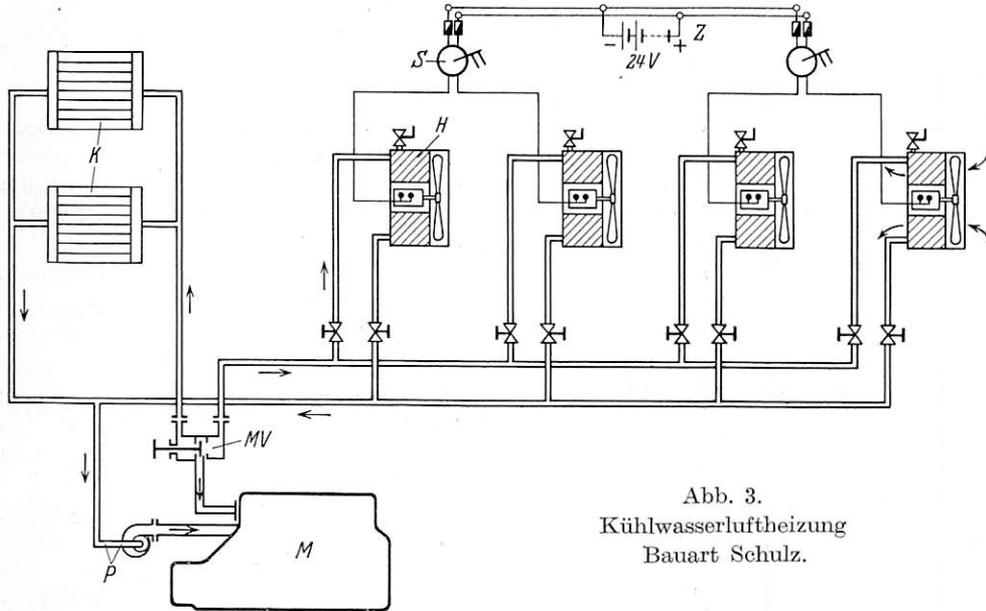


Abb. 3.
Kühlwasserluftheizung
Bauart Schulz.

zu den Heizkörpern vergrößert wird und umgekehrt. Der Zufluß zu den Kühlern kann nicht vollständig abgestellt werden, da immer ein Ringspalt von 4 mm lichter Weite offen bleibt. Dadurch wird ein Einfrieren der Kühler verhindert, allerdings unter der Voraussetzung, daß die Kühler abgedeckt werden und dem Kühlwasser ein Gefrierschutzmittel beigegeben wird.

Zu jedem Heizkörper gehört ein Gebläse, dessen Antriebs-elektromotoren an die Wagenbatterie von 24 V angeschlossen sind. Durch die Gebläse wird Luft aus dem Wageninnern angesaugt und mit erhöhter Geschwindigkeit durch die Heizkörper gedrückt.

Bei Inbetriebsetzung des Wagens dürfen bis zu Erreichung einer Kühlwassertemperatur von 60° C die Kühlerklappen nicht geöffnet und die Gebläse der Heizkörper nicht eingeschaltet werden. Der Wasservorlauf zu den Kühlern ist durch das Myliusventil stark zu drosseln. Je nach der Außentemperatur kann die Heizwirkung zunächst durch das Myliusventil in beliebigen Grenzen geregelt werden. Weiterhin können zwei Lüfter entweder parallel oder hintereinander geschaltet werden, wodurch die Luftgeschwindigkeit und damit der Wärmeübergang verändert wird.

Die Heizung besitzt damit eine sehr weite Regelmöglichkeit. Die vier Heizkörper sind in einem zweiachsigen Triebwagen so verteilt, daß einer den Gepäckraum, zwei den Fahrgastraum und der letzte teilweise den Fahrgastraum und den kleinen Führerstand beheizen. Das Geräusch der Lüfter ist bei Stillstand nur als leises Summen wahrnehmbar, während es beim Fahren durch das Fahrgeräusch vollständig übertönt wird. Die den vier Heizkörpern zugeführte Kühlwassermenge beträgt bei durchschnittlicher Anstrengung des Motors zu-

sammen 6 m³/Std. Die Temperaturdifferenz des Kühlwassers zwischen Ein- und Austritt im Heizkörper beträgt nur 1 bis 2°. Aus diesen Zahlen ergibt sich, daß die zur Verfügung stehende Wärmemenge unter allen Umständen genügt, und daß eine Schädigung des Motors bei einigermaßen sachkundiger Bedienung bestimmt vermieden werden kann. Die von einem Lüfter geförderte Luftmenge beträgt 220 m³/Std., im ganzen Wagen also 880 m³/Std. Die Luftaustrittstemperatur beträgt höchstens 55°, die Luftgeschwindigkeit hinter dem Lüfter 1,75 m/sec. Der Gesamtstromverbrauch der Anlage beträgt 145 W, wenn alle Motoren parallel geschaltet sind, und 45 W, wenn je zwei Motoren hintereinander geschaltet sind.

Mit der Heizung läßt sich nach Versuchen und Betriebs-erfahrungen eine Übertemperatur über die Außentemperatur von mehr als 30° C erzielen. Besonders bemerkenswert ist die kurze Anheizzeit. Jede Lufttheilung zeigt hierbei den großen Vorteil, daß die Wärme vom Heizkörper an die Raumluft abgegeben wird und nicht wie bei Oberflächenheizungen zunächst die den Heizkörper umgebenden Gegenstände aufgeheizt werden. Eine Temperaturerhöhung um 20° C nimmt nur etwa 20 Min. in Anspruch.

Besonders wertvoll ist die große Einfachheit und Betriebssicherheit der Bauart und ihr geringes Eigengewicht, das für einen zweiachsigen Wagen nur 200 kg oder 2,7 kg pro m³ beheizten Raum beträgt. Die Betriebs- und Unterhaltungskosten sind verschwindend gering.

Der einzige Nachteil der Bauart ist die Kupplung der Heizwirkung mit dem Motor. Wie oben beschrieben wurde, gibt jedoch das Kühlwasser selbst bei Leerlauf noch genügend

Wärme ab, zumal der Verzicht auf die Frischluftzuführung den Wärmebedarf verringert. Es wird also in Kauf zu nehmen sein, den Motor zeitweise etwas länger im Gefälle leerlaufen zu lassen. Die außerordentliche Einfachheit und Betriebssicherheit wiegen jedoch diesen kleinen Nachteil voll auf. Mit der Heizung wurden bisher 31 vorhandene Triebwagen zusätzlich ausgerüstet. Eine größere Anzahl neuer Wagen erhält die gleiche Bauart.

4. Warmwasserheizungen für Anhängewagen.

Im Gegensatz zu den Triebwagen besitzen die Triebwagenanhänger wegen der Gewichtersparnis zum größten Teil weder eine Lichtmaschine noch einen Sammler. Es war also bei diesen Wagen die Aufgabe zu lösen, eine Heizungsbauart zu schaffen, die keinerlei mechanischer Energie bedarf. Hierfür kam in erster Linie die in Wohnräumen viel gebrauchte Warmwasserheizung in Frage. Man hätte vielleicht annehmen können, daß diese lange bekannte Heizungsbauart sofort befriedigende Ergebnisse zeitigen konnte. Jedoch wiesen die ersten Bauarten Mängel auf, da einige wichtige Grundsätze nicht genügend beachtet wurden.

Bei einer Warmwasserheizung wird der Umlauf des Wassers durch den Gewichtsunterschied von Wassersäulen mit verschiedener Temperatur hervorgerufen. Bei einer Warmwasserheizung wird das Druckgefälle um so größer, je größer der Temperaturunterschied der verschiedenen senkrechten Teile des Rohrnetzes ist, und je höher die Teile sind, in denen der größte Temperaturunterschied auftritt. Formelmäßig ausgedrückt wird der Auftrieb

$$A = f(\sum h \Delta t)$$

sein, wenn h die Höhe der verschiedenen senkrechten Teile des

Rohrnetzes und Δt die darin vorhandene Temperaturdifferenz bedeutet. Dem Auftrieb des Wassers steht der Widerstand der Rohrleitungen entgegen, der um so größer ist, je länger die Leitungswege sind, je mehr Krümmungen sie aufweisen und je geringer der Leitungsquerschnitt ist.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten für die Anordnung von Vor- und Rücklauf bei Warmwasserheizungen. Bei zu geringer Höhe der senkrechten Stränge im Vor- und Rücklauf wird der Umtrieb im Wasserumlauf zu gering. Ein altes Mittel zur Erzielung besseren Wasserumlaufs ist daher der hochliegende Vorlauf. Der Vorlauf wird unter der Decke des Wagens entlanggeführt, während der Rücklauf über den Wagenfußboden erfolgt. Hier ist im Steigrohr und im Fallrohr ein wesentlicher Temperaturunterschied vorhanden, so daß ein genügender Wasserumlauf erzielt wird. Die Wirkungsweise dieser Bauart beruht darauf, daß in dem hochliegenden Vorlauf eine wesentliche Abkühlung des Wassers stattfindet. Die von dem Vorlauf abgegebene Wärmemenge heizt dabei den Dachraum, der ohnehin durch das Aufsteigen der Wärme schon eine wesentlich erhöhte Temperatur besitzt. Es ist daher nicht zu verwundern, daß eine solche Heizung zur Erzielung der gleichen Temperatur einen erhöhten Wärmebedarf aufweist, der nach Versuchen mit verschiedenen zweiachsigen Beiwagen mit hochliegenden Vorlauf 30% höher liegt als bei Heizungen ohne hochliegenden Vorlauf. Auch die bauliche Unterbringung des hochliegenden Vorlaufes bereitet Schwierigkeiten, zumal diese Teile an der hell gestrichenen Decke auch Schwärzungen verursachen.

Bei Triebwagen der nordischen Staaten wurde in größerem Umfang der Weg beschritten, den Ofen unter dem Wagenfußboden anzuordnen. Hierbei haben Steig- und Fallrohr zwar nur eine geringe Höhe, jedoch sind die Temperaturunterschiede beträchtlich. Es ergibt sich dabei weiter der Vorteil, daß der Ofen keinen besonderen Raum im Wagen beansprucht und von außen beschickt werden kann. Auch die Kohlenfüller können unter dem Wagen angebracht werden, so daß im Wageninnern selbst keine Schmutzbelästigung mehr auftritt. Vom Wageninnern aus ist nur ein Temperaturanzeiger im Vorlauf, der Wasserstandsmesser am Ausgleichsbehälter und ein Zugschieber zugänglich, mit dem die Wärmeleistung des Ofens geregelt werden kann. Bei einigen Bauarten ist auch ein Schüttelrost vorhanden, der gleichfalls vom Wageninnern bedient werden kann. Die Brenndauer eines solchen Unterflurofens beträgt 4 bis 5 Stunden mit einer Beschickung. Auf den Wendestationen genügt auch ein kurzer Aufenthalt, um aus einem Kohlenfüller den Ofen wieder aufzufüllen.

Als Übergangslösung wurde bei einer größeren Zahl vorhandener Wagen zur Verbesserung des Wasserumlaufes ein halbtief gelagerter Ofen angewandt. Bei diesem liegt die Einfüllöffnung noch gerade über dem Fußboden, so daß der Ofen an seinem bisherigen Platz bleiben konnte. Der Fußboden vor dem Ofen wurde als Klappe ausgebildet, so daß nach deren Abheben der Rost und der Aschkasten bedient werden können. Die Maßnahme erwies sich im Verein mit einer Verstärkung der Heizfläche durch Rippenrohre als voller Erfolg. Die Klage des Betriebes über ungenügende Heizung ist damit verstummt.

Für besondere Fälle, bei denen ein Unterflurofen aus betrieblichen oder räumlichen Gründen unmöglich ist, kommt die Anwendung einer Umlaufpumpe in Frage. Die Leistung einer solchen Pumpe ist sehr gering, da zwar eine größere Wassermenge (1000 l/h für einen vierachsigen Wagen) aber gegen eine sehr geringe Druckhöhe (6 mm WS bei einfachem Rohrsystem) zu fördern ist.

Für die Abgabe der Wasserwärme an die Raumluft kommen entweder glatte Rohre oder Rippenrohre in Betracht. Für die ersten Bauarten wurden allgemein glatte Rohre verwendet. Als die Heizwirkung nicht ausreichte, wurde die Heizfläche dadurch vergrößert, daß unter den Bänken zahl-

reiche Schlangen von Heizrohren verlegt wurden. Natürlich stieg dabei das Rohr- und Wassergewicht erheblich an. Die vielen Krümmer beeinträchtigten wiederum den Wasserumlauf. Ferner versuchte man durch zahlreiche Rohre mit geringem Durchmesser eine Besserung zu erzielen. So wurden unter den Fenstern Rohrbündel von acht Rohren verlegt, wobei je vier Rohre übereinander in zwei nebeneinander liegenden Reihen zu liegen kamen. Derartige Rohrbündel haben wieder den Nachteil, daß die Wärmeübergangszahl sich verringert, da die Rohre nicht mehr genügend von Luft umspült sind.

Unter diesen Umständen ist es angebracht zu untersuchen, ob die als Staubfänger verlästerten Rippenrohre nicht eine wesentliche Besserung bringen können.

Aus dem Vergleich ergibt sich, daß zwar die Wärmedurchgangszahl bei Rippenrohren nur die Hälfte von der von glatten Rohren beträgt, die durch 1 m Rohrlänge übertragene Wärmemenge jedoch bei Rippenrohren fast das fünffache von glatten Rohren beträgt. Das Konstruktionsgewicht einschließlich Wasser beträgt bei Rippenrohren bei gleicher Heizleistung weniger als die Hälfte einer Heizung mit glatten Rohren. Hiernach ist es bei Rippenrohren ohne weiteres möglich, die gesamte notwendige Heizfläche in zwei übereinanderliegenden Rohren an jeder Fensterseite unterzubringen. Bei diesen außerordentlichen Vorteilen wiegt der Nachteil der Staubablegung nicht mehr so schwer. Die an den Rohren auftretende Temperatur beträgt höchstens 90°, so daß eine Staubverschmelzung überhaupt nicht auftreten kann. Da ferner bei einer Glattrohrheizung die Rohrzahl erheblich höher ist und in Bündeln verlegt werden muß, so dürfte auch dabei eine gewisse Staubablagerung stattfinden.

Viele Bahnbetriebswerke sind heute mit Anlagen ausgerüstet, bei denen die Wagen mit preßluftzerstäubendem Wasser gereinigt werden. Hiermit können die Rippenrohre abgespritzt werden.

Besondere Sorgfalt ist auf die Abdeckung der Rohre an den Wandteilen zwischen den Sitzen zu legen. Sie darf den Wärmeübergang sowie die Reinigungsmöglichkeit nicht wesentlich behindern.

Von großem Vorteil ist auch das geringe Wassergewicht in den Rohren, das bei einer Rippenrohrheizung nur den fünften Teil einer Glattrohrheizung beträgt. Für einen Wärmebedarf von 20000 kcal/h beträgt dieses bei Rippenrohren 62 kg und bei glatten Rohren 300 kg. Rechnet man für den Wasserinhalt des Ofens, des Ausgleichsbehälters und der Leitungen 100 kg hinzu, so stehen 160 kg bei Rippenrohren 400 kg bei glatten Rohren gegenüber. Wenn sich die letztgenannte Wassermenge von 80 auf 30° abkühlt, so kann sie eine Wärmemenge von $400 \cdot 50 = 20000$ kcal abgeben, was den Wärmebedarf einer Stunde darstellt. Eine so große Wärmekapazität muß die Regelung sehr erschweren, da eine Verstellung des Rauchgaschiebers sich vielleicht erst nach einer halben Stunde bemerkbar machen wird. Ebenso sehr wird natürlich das Anheizen erschwert. Abgesehen von diesen wärmetechnischen Vorteilen, ist eine Gewichtsverminderung besonders bei Verbrennungstriebwagen sehr erwünscht.

Leichte Rippenrohre werden u. a. so hergestellt, daß ein Blechstreifen spiralig auf das Rohr aufgewickelt wird. Als Baustoff wird Kupfer, Aluminium oder gekupferter Stahl verwendet.

Das Gesamtgewicht einer solchen Anlage mit Unterflurkessel und Rippenrohren aus Stahl beträgt für einen vierachsigen Anhänger mit 18500 kcal/h Wärmebedarf 420 kg ohne Wasser und 580 kg mit Wasser, so daß einschließlich Kohlenfüllung und Kohlenvorrat das Gesamtgewicht 630 kg beträgt. Bei einem Rauminhalt von 132 m³ ergibt sich ein Gewicht von 4,8 kg/m³ beheizten Raum.

Bei einer großen Zahl vorhandener Wagen, deren Heiz-

fläche zu gering war, wurde sie in einfacher Weise und bestem Erfolg mit Rippenrohren verstärkt. Mehrere zweiachsige Privatbahntriebwagen erhielten diese Bauart, mit der die besten Erfahrungen gemacht wurden. Die Anheizzeit ist außerordentlich kurz. Eine unangenehme Staubbelastung wurde nicht festgestellt. In eine größere Anzahl von zweiachsigen und vierachsigen Anhängern für Nebenbahntriebwagen werden neuerdings Rippenrohrheizungen mit Unterflurofen eingebaut.

Bei einem Heizversuch mit einem zweiachsigen Steuerwagen wurde 1½ Stunden nach Beginn des Anheizens bereits eine Übertemperatur von 20° C erzielt.

5. Kühlwasser-Luftheizung mit Warmwasserkessel.

Die Vorteile der Luftheizung und der Wunsch, das Kühlwasser vorzuwärmen, legen den Gedanken nahe, eine Kühlwasserluftheizung mit einem Warmwasserkessel zu verbinden.

Für einige Triebwagen soll dies so durchgeführt werden, daß eine Schulzheizung zusätzlich mit einem Warmwasserkessel versehen wird (Abb. 4). Bei Betrieb des Motors wird das Wasser von der Kühlwasserpumpe P durch den Motor M, den Thermostaten T und den Ofen O nach dem Myliusventil V zu den Kühlern K oder den Schulzheizkörpern S zufließt. Zum Vorheizen des Kühlwassers wird der Thermostat abgestellt und das Myliusventil so eingestellt, daß der Zufluß zu den Heizkörpern unterbrochen ist, während die Kühler abgedeckt werden. Während des Stillagers des Wagens wird sich die Kühlwassertemperatur auf angemessener Höhe halten lassen, so daß die Leitungen nicht einfrieren und der Motor sich leicht in Gang setzen läßt. Unter diesen Umständen wird man

vielleicht auf Triebwagenschuppen verzichten können. Die Leistung des Ofens kann klein gehalten werden, da die eigentliche Heizleistung vom Kühlwasser geliefert wird. Die Anlage hat den Vorteil großer Einfachheit und dürfte geringe Betriebs- und Unterhaltungskosten verursachen.

Bei den beschriebenen Heizungsbauarten hat man auf eine selbsttätige Regelung bisher verzichtet. Bei den kleinen Triebwageneinheiten dürfte stets genügend fachlich geschultes Personal zur Einstellung der Heizung vorhanden sein.

Zusammenfassend kann man sagen, daß nach anfänglichen Schwierigkeiten für die Heizung von Verbrennungstriebwagen eine Reihe brauchbarer Lösungen vorliegen. Welche dieser Bauarten sich endgültig durchsetzen wird, kann nach der bisherigen kurzen Entwicklungszeit erst eine längere Erfahrung erweisen.

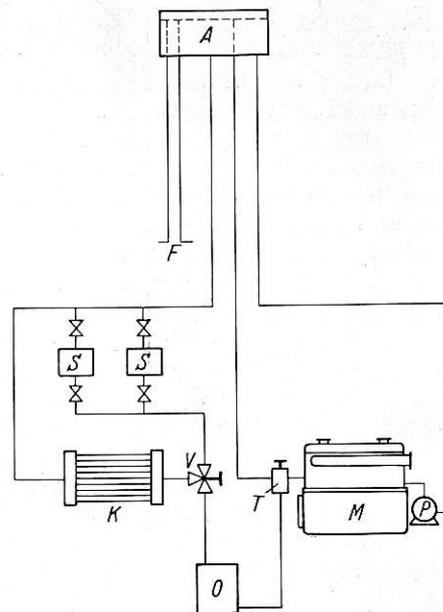


Abb. 4. Kühlwasserluftheizung mit Warmwasserkessel.

Die Ausnützung des Abdampfvorwärmers im Lokomotivbetrieb.

Von Dipl.-Ing. Hermann Trautner, Kaiserslautern.

Hierzu Tafel 5.

Die für den heutigen Lokomotivbetrieb wichtige Frage nach der zweckmäßigsten und wirtschaftlichsten Einrichtung zur Speisung von Lokomotivkesseln ist durch Untersuchungen von verschiedenen Seiten her beleuchtet worden, die sich im wesentlichen zu einem Streit der Meinungen über die Frage „Abdampfvorwärmer oder Abdampfstrahlpumpe?“ zugespitzt haben*). Den umfassendsten Beitrag zur Beurteilung dieser Frage liefern die Untersuchungen von Dr. Juliusburger, deren durch reichliches Versuchsmaterial gestützte Beweisführung bis heute als unwiderlegt gelten kann. In einer Veröffentlichung in Glasers Annalen vom Jahre 1935**) ist die Wirtschaftlichkeitsrechnung für den Vorwärmer auf der Annahme des „temporären Beharrungszustandes“ aufgebaut, bei dem die Förderung der Pumpe stets der augenblicklichen Verdampfung entspricht. Dieser Betriebsfall ist technisch durchaus möglich, da die Kolbenpumpe ja keinerlei Beschränkungen der Regelbarkeit unterworfen ist. In Wirklichkeit ist er ein Idealfall, der im praktischen Betrieb nur mit verschieden großer Annäherung erreicht werden kann. In erhöhtem Maße gilt dies für die Abdampfstrahlpumpe, bei der ja oft schon technisch nicht die Möglichkeit des temporären Beharrungszustandes besteht. Von den verschiedenen Umständen, die die Ausnützung des Vorwärmers beeinträchtigen können, ist in dem angezogenen Aufsatz nur der unterschiedliche Gütezustand von

Vorwärmer und Pumpe berücksichtigt, wie er durch Kesselsteinablagerungen bzw. die Abnützung der Pumpe bedingt ist. Zweck der nachstehenden Ausführungen ist, an Hand von Versuchswerten den Einfluß der Bedienungsweise und der Erfordernisse des Lokomotivbetriebes auf die Ausnützung des Vorwärmers festzustellen.

Veranlassung zu den Versuchen gab die vielfach gemachte Feststellung, daß die Bedienung der Speisepumpe von der als richtig gelehrten Bedienungsweise oftmals abweicht. Der Lauf der Pumpe soll so geregelt werden, daß sie möglichst nur bei offenem Regler arbeitet und dann gerade so viel Wasser fördert, als augenblicklich verdampft wird. Die vollständige oder auch nur angenäherte Verwirklichung dieser Forderung im Betriebe wäre daran zu kontrollieren, daß der Wasserstand im Kessel während der ganzen Betriebsdauer keinerlei Veränderungen erfahren dürfte. Eine solche Betriebsweise ist weder möglich, noch wäre sie in betrieblicher und auch wärme-wirtschaftlicher Beziehung vorteilhaft, obwohl sie allein die erstrebenswerte restlose Ausnützung der Abdampfverwertung sicherstellt. Die Forderungen des Betriebes sind vielseitiger und weitergehend.

Häufige Veränderungen des Betriebszustandes sind für den Lokomotivbetrieb allgemein kennzeichnend. Die Beanspruchung einer Lokomotive schwankt innerhalb kurzer Zeiten oft in weiten Grenzen. Diese Schwankungen sind am häufigsten bei Personenzügen mit vielen Halten und am geringsten bei schweren durchgehenden Güterzügen und Schnellzügen, vor denen die Lokomotive oft längere Zeit hindurch im Beharrungszustand arbeiten kann. Diese letzteren Betriebsfälle bieten daher die beste Möglichkeit zur Verwirk-

*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1928, Heft 3 und 4: Versuche der Italienischen Staatsbahnen. Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1928, Heft 15: Versuche mit Lokomotivspeisepumpen. Glasers Annalen 1929, Nr. 1239 und 1240; 1931, Nr. 1288 und 1290; 1933, Nr. 1337: Abdampfvorwärmer und Abdampfstrahlpumpe.

**) Glasers Annalen 1935, Nr. 1381: Über Wirtschaftlichkeitsmessungen an Speisewasser-Vorwärmungsanlagen für Lokomotiven.

lichung des temporären Beharrungszustandes, also der idealen Pumpenbedienung, jedoch auch nur angenähert und auf unterschiedlich lange Zeitdauer. Allen Belastungsschwankungen sollte die Wärmeentwicklung der Feuerung sofort und im notwendigen Maße folgen können. Während dies bei öl- und kohlenstaubgefeuerten Kesseln möglich ist, läßt sich die Wärmeentwicklung des Rostfeuers, besonders bei plötzlichen vollständigen Entlastungen des Kessels (wie sie im Lokomotivbetrieb die Regel sind), nicht im wünschenswerten Umfange beherrschen. Einen wertvollen Ausgleich dieser unzureichenden Regelbarkeit bieten nun die Speicherfähigkeit und die Wasserreserve des Lokomotivkessels. Die Wasserreserve gestattet kurzzeitige erhöhte Beanspruchungen des Kessels, ohne daß das Feuer in entsprechendem Maße verstärkt werden muß, während nach Reglerschluß das Auffüllen der verbrauchten Wasserreserve die Bindung der sonst über das Sicherheitsventil verlorengehenden Dampfwärme ermöglicht. Die Betätigung der Aschkastenklappen ist, außer bei leichten Fahrten mit niedrigem Feuer, zumeist kein ausreichendes

motivbetriebes ergab, sollten die unter gleichen Bedingungen durchgeführten Fahrten der zweiten Meßreihe den Einfluß lediglich der verschiedenartigen Bedienungsweise erhellen.

Die Meßfahrten, die mit Lokomotiven der Gattung P 8 und G 8¹ des Bahnbetriebswerkes Kaiserslautern vor kursmäßigen Zügen vorgenommen wurden, erstreckten sich auf die Ermittlung der mittleren Temperatur des eingespeisten Wassers. Sämtliche Lokomotiven besaßen Einzylinderpumpen (von 250 l/min Nenn-Förderleistung), wie sie an vielen Reichsbahnlokomotiven noch in Verwendung sind. Die Temperatur des Speisewassers wurde mit einem in den Feuerlöschstutzen eingeschraubten Quecksilber-Zeigerthermometer gemessen und in Abständen von 20 Sek. aufgezeichnet. Als Maß für die geförderte Wassermenge dienten die Pumpenhübe, wobei die Veränderlichkeit des volumetrischen Wirkungsgrades mit der Hubzahl vernachlässigt wurde. Die Pumpenhübe wurden über eine an der Pumpe angebrachte Kontaktvorrichtung auf dem Papierstreifen eines elektrischen Telegraphenschreibers festgelegt. Der Beginn jeder Minute, sowie Öffnen und Schließen

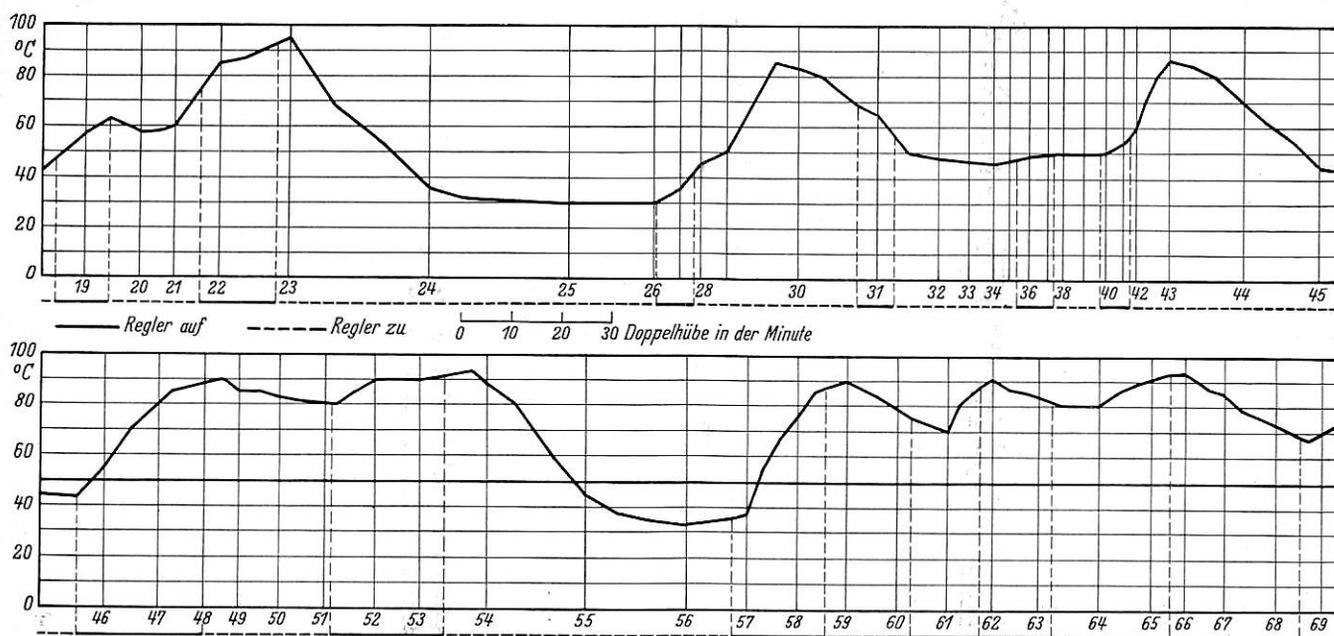


Abb. 1. Auszug aus einem Temperaturschaubild (Fahrt Nr. 9).

Mittel zur Vermeidung unerwünschter Drucksteigerung nach Reglerschluß. Die Eigenart des Lokomotivbetriebes zwingt also in vielen Fällen dem Heizer eine falsche Bedienungsweise auf, so daß er bei geöffnetem Regler die Pumpe zu langsam laufen läßt, um ohne übermäßig hohes Feuer gleichbleibenden Kesseldruck zu halten, während er nach Reglerschluß den Mehrverbrauch gegenüber der Förderung bei Fahrt unter Dampf durch Kaltspeisen oder durch Speisen mit der Strahlpumpe (also ohne Abdampfverwertung) ergänzt. Durch Meßfahrten vor kursmäßigen Zügen sollte vor allen Dingen der Einfluß der Bedienungsweise auf die Ausnützung des Vorwärmers festgestellt werden.

Von insgesamt 28 ausgewerteten Meßfahrten wurden nur zwei vor durchgehenden schweren Güterzügen und weitere zwei vor durchgehenden Eilzügen, die übrigen vor Personenzügen ausgeführt. Sie untersuchen also überwiegend die Betriebsfälle, die, wie seit je bekannt ist, der Ausnützung des Vorwärmers am meisten abträglich sind. Die Fahrten wurden in zwei Versuchsreihen durchgeführt, die erste mit verschiedenen Lokomotiven vor beliebigen Zügen, die zweite mit ein- und derselben Lokomotive mit einem betriebsneuen Vorwärmer vor jeweils den gleichen Zügen. Während die erste Versuchsreihe ein Durchschnittsbild der Ausnützung des Vorwärmers unter den wechselnden Bedingungen des alltäglichen Loko-

motivbetriebes ergab, sollten die unter gleichen Bedingungen durchgeführten Fahrten der zweiten Meßreihe den Einfluß lediglich der verschiedenartigen Bedienungsweise erhellen. Die Meßfahrten, die mit Lokomotiven der Gattung P 8 und G 8¹ des Bahnbetriebswerkes Kaiserslautern vor kursmäßigen Zügen vorgenommen wurden, erstreckten sich auf die Ermittlung der mittleren Temperatur des eingespeisten Wassers. Sämtliche Lokomotiven besaßen Einzylinderpumpen (von 250 l/min Nenn-Förderleistung), wie sie an vielen Reichsbahnlokomotiven noch in Verwendung sind. Die Temperatur des Speisewassers wurde mit einem in den Feuerlöschstutzen eingeschraubten Quecksilber-Zeigerthermometer gemessen und in Abständen von 20 Sek. aufgezeichnet. Als Maß für die geförderte Wassermenge dienten die Pumpenhübe, wobei die Veränderlichkeit des volumetrischen Wirkungsgrades mit der Hubzahl vernachlässigt wurde. Die Pumpenhübe wurden über eine an der Pumpe angebrachte Kontaktvorrichtung auf dem Papierstreifen eines elektrischen Telegraphenschreibers festgelegt. Der Beginn jeder Minute, sowie Öffnen und Schließen

des Reglers wurden von Hand auf dem Papierstreifen vermerkt. Der Gleichlauf der Aufschreibungen auf dem Streifen und im Protokoll war damit durchaus gesichert. Alle Veränderungen der Gangart der Pumpe wurden auf diese Weise festgelegt, so daß bei der späteren Auswertung die minutliche Hubzahl, aus der auf den Eigendampfverbrauch der Pumpe geschlossen werden sollte, für den kleinsten Abschnitt der Fahrt (nötigenfalls durch Extrapolieren) genau zu ermitteln war. Weiterhin wurden noch Kessel- und Schieberkastendruck in Abständen von einer Minute aufgezeichnet, Öffnen und Schließen des Reglers (eine Kontrolle zu der Marke auf dem Papierstreifen), Stand des Wassers im Kessel, Inhalt des Tenders nach der Angabe des Zeigers am Tenderwasserkasten. Ein Teil dieser Aufschreibungen war für die Auswertung entbehrlich und lediglich zur Veranschaulichung des Verlaufes der Fahrt gelegentlich von Interesse. Das Lokomotivpersonal wurde nur bei einigen Fahrten über den Sinn der Messungen unterrichtet. Um den Heizer in der gewohnten Bedienungsweise nicht zu beirren und um ihm keine Kontrolle über Richtig und Falsch zu geben, wurde die Skala des Thermometers mit einer ihm unverständlichen Einteilung getarnt.

Die Ermittlung der mittleren Temperatur t_m erfolgte getrennt für die Fahrt bei offenem und bei geschlossenem Regler nach der in Textabb. 1 veranschaulichten Art. Auf der

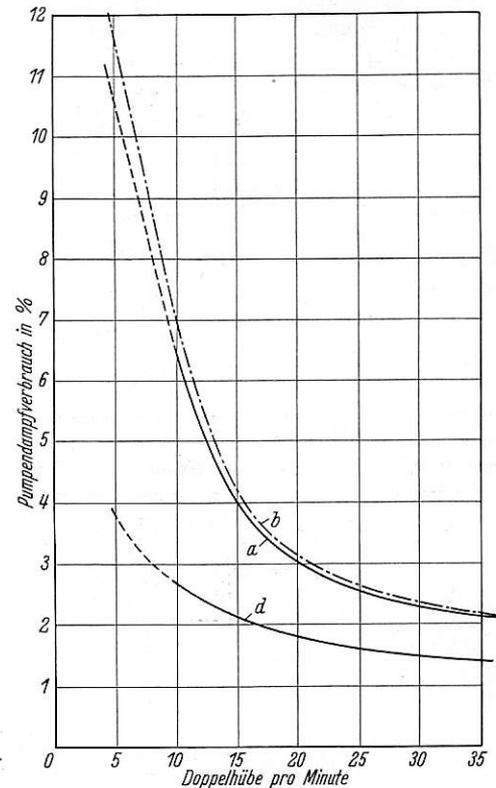
Abszissenachse sind die fortlaufenden Minuten angeschrieben, wobei die Abstände von Minute zu Minute die durch Auszählen des Streifens ermittelten minutlichen Doppelhübe darstellen. Als Ordinaten sind die Temperaturen des eingespeisten Wassers aufgetragen. Die von der Abszissenachse und der Temperaturkurve eingeschlossene Fläche ist ein Maß für die im vorgewärmten Wasser enthaltene Wärmemenge. Die mittlere Höhe der Temperaturkurve (= mittlere Wassertemperatur) wurde nach Speisen bei offenem und bei geschlossenem Regler getrennt durch Planimetrieren ermittelt. Die gewählte Art der Darstellung ist zwar zeitraubend und umständlich, aber übersichtlich und anschaulich. Sie gibt allerdings die Temperaturanteile für das Speisen bei offenem und bei geschlossenem Regler nicht ganz richtig wieder, da die Speicherwirkung und die Wärmeträgheit des Vorwärmers die einzelnen Temperaturgebiete nicht genau gegeneinander abzugrenzen gestatten. Die Temperaturen der Fahrabschnitte bei offenem Regler liegen also in Wirklichkeit höher als ermittelt, bei geschlossenem Regler entsprechend tiefer. Die Richtigkeit der für die ganze Fahrt ermittelten mittleren Temperatur wird durch diesen Umstand jedoch nicht berührt.

Ergebnis und Auswertung der Meßfahrten sind mit den Abb. 1 bis 8 auf Taf. 5 wiedergegeben. Die Darstellung ist so gewählt, daß die schraffierten Flächen die Wärmewertigkeit jeder Fahrt erkennen lassen; dazu ist wieder die Zahl der Pumpenhübe — unterschieden für das Speisen bei offenem und bei geschlossenem Regler — auf der Abszissenachse aufgetragen. Bei Meßreihe 1, die mit fünf verschiedenen Lokomotiven und sechs verschiedenen Personalen durchgeführt wurde, liegen die mittleren Temperaturen zwischen 50,2^o und 87^o. Bei den Fahrten Nr. 11 bis 14 mit hohen mittleren Temperaturen war das Personal zu richtiger Bedienung der Speisepumpe angehalten. Ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen der Höhe der Vorwärmung und dem Alter des Vorwärmers ist nicht feststellbar, wurde doch das beste Ergebnis (Fahrt Nr. 13) mit einem über ein Jahr in Betrieb stehenden Vorwärmer erzielt. Dagegen läßt sich eine gewisse Beziehung zwischen der Güte einer Fahrt und dem Verhältnis der bei offenem und bei geschlossenem Regler gezählten Pumpenhübe erkennen. So beträgt der Anteil der Pumpenhübe bei geschlossenem Regler für die schlechteste Fahrt (Nr. 1) 74,5% der Gesamthubzahl, für die beste Fahrt (Nr. 13) nur 29,0%. Gute Ergebnisse konnten bei den Fahrten 5 und 6 vor durchgehenden Güterzügen (mit einem nach der Überholung erst sechs Wochen in Betrieb stehenden Vorwärmer) erwartet werden. Insbesondere bei der schweren Fahrt Nr. 6 waren die Bedingungen für eine hohe Vorwärmung besonders günstig: Hohe Anstrengung der Lokomotive, lange Fahrzeiten mit offenem Regler. Trotz häufig erreichter Temperaturen von über 95^o ist die mittlere Temperatur nur 72,6^o. Diese Fahrt war allerdings dadurch ungünstig beeinflusst, daß ein Lagerschaden zweimal zu kurzzeitigem Halten auf der Strecke zwang. Die unvorhergesehenen Zwischenpausen wurden mit heftigem Kaltspeisen ausgefüllt. Dieser Vorfall erhellt, wie sehr andere Umstände als der Zustand des Vorwärmers dessen Ausnützung beeinträchtigen können.

Während bei Meßreihe 1 alle für die Ausnützung des Vorwärmers wesentlichen Faktoren veränderlich waren, sollten die mit ein- und derselben Lokomotive unter möglichst den gleichen Bedingungen durchgeführten Fahrten der Meßreihe 2 (Abb. 5 bis 8, Taf. 5) den Einfluß der Bedienungsweise aufzeigen. Die mittleren Temperaturen liegen zwischen 56,7^o und 86,7^o, schwanken also bei ein- und demselben Vorwärmer innerhalb fast der gleichen Grenzen wie bei Meßreihe 1. Bei schweren Fahrten (Nr. 24 bis 28) liegen naturgemäß die Temperaturen höher als bei leichten Fahrten, doch sind die guten Fahrten zumeist dadurch beeinträchtigt, daß bei ihnen nach Reglerschluß Dampf über die Sicherheitsventile verloren ging. Das

Ergebnis der Messungen vor zwei durchgehenden Eilzügen über 130 km Streckenlänge (Nr. 14 und 15) fällt nicht aus dem Rahmen der übrigen Messungen heraus. Es schränkt also die Annahme ein, daß bei durchgehenden Zügen keine Gelegenheit zur Inanspruchnahme der Wasserreserve des Kessels gegeben sei. Dazu sind Veranlassung die Neigungswechsel der Strecke, Langsamfahrstellen, Geschwindigkeitsbeschränkungen, die gelegentlichen Halte und die Notwendigkeit, die Lokomotivleistung kurzzeitig über die normale Beanspruchung zu steigern.

Die in den Abb. 1 und 5, Taf. 5 wiedergegebenen Werte der Vorwärmungstemperatur t_m stellen keinen reinen Wärmerückgewinn dar, da der Eigenwärmeverbrauch der Pumpe einen bestimmten Anteil der im Vorwärmer übertragenen Wärmemenge beansprucht. Der Eigendampfverbrauch der Pumpe



- a Dampfverbrauch der Einzylinderpumpe in % der geförderten Wassermenge
 b Dampfverbrauch der Einzylinderpumpe in % der Nutzdampfmenge
 d Dampfverbrauch der Verbundpumpe in % der geförderten Wassermenge

Abb. 2. Dampfverbrauch von Einzylinder- und Verbundpumpen im mittleren Betriebszustand. 12 atü Dampf gegen 13 atü Wasser.

belastet bei Fahrt mit offenem Regler den Kessel mit seinem absoluten Wert, während er beim Speisen bei geschlossenem Regler zum größten Teil im Vorwärmer (wärmemengenmäßig) zurückgewonnen wird. Der Pumpenbetrieb ist hierbei dem praktisch nahezu verlustlosen Betrieb mit der Frischdampfstrahlpumpe gegenüberzustellen.

Der Rechnung sind die in Glasers Annalen 1929, Nr. 1239 angegebenen Verbrauchsmittelwerte für 24 aus dem Betrieb entnommene Einzylinderpumpen von 250 l/min Förderleistung zugrunde gelegt (Textabb. 2, Kurve a). Die Kurve mußte von der Hubzahl $n = 10/\text{min}$ nach links extrapoliert werden. Sie gibt den Eigenverbrauch der Pumpe in Prozent der geförderten Wassermenge an (c). Die Nutzwassermenge (= Nutzdampfmenge), die der Lokomotivmaschine und den Nebenverbrauchern (ohne die Speisepumpe) zur Verfügung steht, ist um den Eigenverbrauch der Pumpe kleiner als die von der

Pumpe geförderte Wassermenge. Zum Vergleich mit einer verlustlos arbeitenden Pumpe, wie sie die Strahlpumpe angenähert darstellt, muß der Pumpenverbrauch c in Prozent der Nutzwassermenge umgerechnet werden. Der wirkliche Pumpenverbrauch, wie er weiterhin in die Rechnung eingesetzt wird, ist dann

$$c' = \frac{c}{1-c} \% \text{ der Nutzdampfmenge (Kurve b).}$$

Die Abweichungen sind im Bereich der niedrigen Hubzahlen nicht unerheblich. Tatsächlich sinkt aber im praktischen Betrieb die minutliche Hubzahl nicht selten auf $n = 5$ und darunter; ihr Größtwert lag bei den ausgeführten Meßfahrten bei etwa $n = 30/\text{min}$. Ist

$z_1 =$ Zahl der Pumpenhübe bei offenem Regler,

$z_2 =$ Zahl der Pumpenhübe bei geschlossenem Regler,

$c_{m1} =$ mittlerer Pumpenverbrauch für das Speisen bei offenem Regler,

$c_{m2} =$ mittlerer Pumpenverbrauch für das Speisen bei geschlossenem Regler,

dann gilt

$$c_{m1} = \frac{\sum n \cdot c'}{z_1}; \quad c_{m2} = \frac{\sum n \cdot c'}{z_2}.$$

(Der Index 1 bezieht sich im folgenden stets auf die Fahrt mit offenem, der Index 2 auf die Fahrt mit geschlossenem Regler.)

Die Abb. 2 und 6, Taf. 5 geben die so errechneten Werte des mittleren spezifischen Pumpendampfverbrauches für die einzelnen Fahrabschnitte wieder. Bei den ausgesprochen schlechten Fahrten ist der mittlere Pumpenverbrauch für das Speisen bei offenem Regler höher als für das Speisen bei geschlossenem Regler, was mit der Beobachtung übereinstimmt, daß die Pumpe bei geschlossenem Regler im Durchschnitt rascher gelaufen ist, als bei offenem Regler. Die Darstellung enthält noch den Mittelwert des Pumpendampfverbrauches für die ganze Fahrt

$$c_m = \frac{z_1 \cdot c_{m1} + z_2 \cdot c_{m2}}{z_1 + z_2}.$$

Der mittlere Pumpenverbrauch liegt selbst bei den schweren Fahrten zwischen 3,4 und 4,4% und erreicht bei einigen Fahrten den Wert von 6 bis 7%. Das Mittel beträgt für die Fahrten der Meßreihe 1 5,31%, für die der Meßreihe 2 5,04%.

Der Betrieb der Speisepumpe mit Frischdampf erfordert einen bestimmten Wärmehaufwand, der nur während des Speisens bei geschlossenem Regler im Vorwärmer (zum größten Teil) wieder zurückgewonnen wird. Der in den Vorwärmer geleitete Pumpendampf ist zwar stets an der Vorwärmung beteiligt, kann aber bei offenem Regler nicht bewertet werden, da die Vorwärmung ja von Maschinenabampf allein bestritten werden könnte.

Ist

$t_{m1}, t_{m2} =$ mittlere Temperatur für das Speisen bei offenem bzw. geschlossenem Regler,

$C_v =$ Wärmehalt des dem Kessel entnommenen Sattampfes ($C_v = 640 \text{ kcal/kg}$ für $p_k = 12 \text{ atü}$, $x = 0,95$),

$\Delta t_{01}, \Delta t_{02} =$ der 1% Pumpendampfverbrauch entsprechende Temperaturverlust,

so gilt (wenn $c = 1,0 = \text{const}$ die spezifische Wärme von Wasser ist):

$$\Delta t_{01} = (C_v - c \cdot t_{m1}) \cdot \frac{1}{100}; \quad \Delta t_{02} = (C_v - c \cdot t_{m2}) \cdot \frac{1}{100}.$$

Der Temperaturverlust durch den Eigenverbrauch der Speisepumpe, der von der gemessenen Temperatursteigerung in Abzug zu bringen ist, wird dann

$$\Delta t_{v1} = c_{m1} \cdot \Delta t_{01} \text{ für das Speisen bei offenem Regler}$$

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. Neue Folge. LXXIV. Band. 4. Heft 1937.

und

$$\Delta t_{v2} = c_{m2} \cdot \Delta t_{02} \text{ für das Speisen bei geschlossenem Regler.}$$

Die Abb. 3 und 7, Taf. 5 enthalten die Werte des Temperaturverlustes für die einzelnen Fahrabschnitte. Der Temperaturverlust durch den Pumpendampfverbrauch liegt demnach im Mittel bei etwa 30° , bei den schweren Fahrten etwas niedriger, bei den leichten Fahrten höher.

Die nach Berücksichtigung des Pumpenverbrauches verbleibende nutzbare Temperatursteigerung ist

$$\Delta t_1 = t_{m1} - \Delta t_{v1} - t_0$$

$$\Delta t_2 = t_{m2} - \Delta t_{v2} - t_0,$$

wobei t_0 die Tenderwassertemperatur (für alle Fahrten zu 12° angenommen) bedeutet.

Die Tatsache, daß auch für das Speisen bei geschlossenem Regler stets ein positiver Temperaturgewinn von z. T. beachtlicher Höhe erzielt wurde, erklärt sich aus der Verwertung des Luftpumpenabdampfes (im Abdampf injektorbetrieb nicht möglich), dann aber auch aus der schon erwähnten Speicherefähigkeit des Vorwärmers, die die Anteile der beiden Fahrabschnitte etwas verschleiert.

Für die ganze Fahrt wird die aus der Vorwärmanlage erzielte nutzbare Temperatursteigerung, die einen reinen Wärmerückgewinn darstellt:

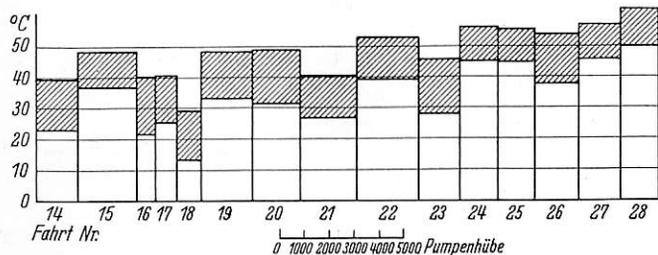
$$\Delta t = \frac{z_1 \cdot \Delta t_1 + z_2 \cdot \Delta t_2}{z_1 + z_2}.$$

Die Abb. 4 und 8, Taf. 5 stellen für beide Meßreihen die so errechneten Werte der nutzbaren Temperatursteigerung dar. Sie schwankt, durch die verschiedensten Umstände beeinflusst, innerhalb weiter Grenzen. Sie erreicht bei schweren Fahrten und vorbildlicher Bedienung der Vorwärmanlage (Fahrt Nr. 6, 13, 27, 28) Werte von rund 50° . Der Mittelwert der Fahrten von Meßreihe 1 ist $\Delta t = 26,8^\circ$, von Meßreihe 2 $\Delta t = 36,0^\circ$, für alle Fahrten zusammen $\Delta t = 32,2^\circ \text{ C}$.

Die gewählte Art der Darstellung des Temperaturverlaufes in einem Wärmediagramm zeigt, daß in den meisten Fällen das absolute Maximum der Temperatur, das gewöhnlich das Kriterium für den Zustand des Vorwärmers abzugeben hat, von weit geringerer Bedeutung ist, als eine planvolle und richtige Pumpenbedienung. Insbesondere läßt sich aus dem gewonnenen Zahlenbild der mittleren Temperaturen die Behauptung aufstellen, daß das mit dem Vorwärmer erzielbare Temperaturmaximum, das bei den hier vorwiegend untersuchten Betriebsfällen meist nur kurzzeitig auftritt, nicht zur Grundlage der Berechnung des Wärmerückgewinnes gemacht werden kann. Die vielfach stark zerklüftete Fläche des Wärmediagrammes zeigt, wie selten der für eine gute Ausnützung des Vorwärmers so wichtige „temporäre Beharrungszustand“ erreicht wird, wie auf ein Gebiet hoher Vorwärmung oft ein großer Kälteeinbruch folgt, der die mittlere Temperatur stark herunterdrückt. Die mit dem Abdampf vorwärmer rechnerisch erzielbare Abdampfverwertung wird also durch verschiedene Einflüsse stark beeinträchtigt. Auch bei bestem Zustand des Vorwärmers sind die Anforderungen des aussetzenden Lokomotivbetriebes der wünschenswerten Ausnützung des Vorwärmers in starkem Maße abträglich. Der im allgemeinen mit 3% angenommene mittlere Dampfverbrauch der Einzylinderpumpe liegt bei den durchgeführten Meßfahrten meist erheblich höher.

Die bei den neueren Lokomotiven vorwiegend verwendeten Verbundspeisepumpen zeichnen sich gegenüber den Einzylinderpumpen durch einen wesentlich niedrigeren Dampfverbrauch aus. Der von der gemessenen Temperatur in Abzug zu bringende Temperaturverlust durch den Wärmeverbrauch der Pumpe wird also entsprechend geringer. Wird in roher Annäherung der Verbrauch der Verbundpumpe auf die Hälfte desjenigen der Einzylinderpumpe geschätzt, so wird auch der

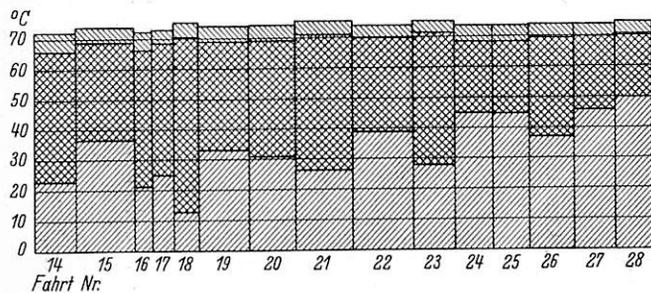
Temperaturverlust nur halb so hoch, wenn die weitere günstige Annahme gemacht wird, daß die mittlere Temperatur t_{m2} bei geschlossenem Regler ebenso hoch liegt, wie bei der Einzylinderpumpe. Textabb. 3 zeigt das so für die Meßreihe 2 errechnete Ergebnis, wie es — genau gleiche Bedienung vorausgesetzt — mit Verbundpumpen zu erwarten gewesen wäre. Der Vorsprung gegen die Einzylinderpumpe ist, besonders bei den schlechten Fahrten, nicht unerheblich, wenn auch die nutzbare Temperatursteigerung noch weit von dem angestrebten Wert $\Delta t = 75^\circ$ entfernt bleibt.



Temperaturgewinn der Verbundpumpe gegen die Einzylinderpumpe

Abb. 3. Gegenüberstellung von Einzylinder- und Verbundpumpe im wirklichen Betrieb. (Annahme: Mittlerer Dampfverbrauch der Verbundpumpe = $\frac{1}{2}$ des Verbrauchs der Einzylinderpumpe.)

In Textabb. 4 ist, unter einer vereinfachenden Annahme, der Fall der idealen Pumpenbedienung für Einzylinder- und Verbundpumpe auf die Fahrten der Meßreihe 2 übertragen. Die Wassertemperatur hinter dem Vorwärmer ist gleichbleibend mit 95° angenommen, die Tenderwassertemperatur zu $t_0 = 12^\circ$. Aus der Fahrzeit bei offenem Regler und der gesamten Hubzahl $z_1 + z_2$ ist eine mittlere Hubzahl errechnet und



wirklicher Betrieb mit der Einzylinderpumpe
Temperaturgewinn bei idealer Bedienung d. Einzylinderpumpe
Temperaturgewinn der Verbundpumpe gegen die Einzylinderpumpe bei idealer Bedienung

Abb. 4. Idealer Betrieb mit Einzylinder- und Verbundpumpe in Gegenüberstellung mit dem wirklichen Betrieb der Einzylinderpumpe.

hierfür aus den Dampfverbrauchskurven für beide Pumpen ein mittlerer Pumpenverbrauch c_m entnommen worden. In Wirklichkeit schwankt, den Belastungsänderungen der Lokomotive entsprechend, die Hubzahl der Pumpe, und zwar werden sich die Fahrabschnitte mit unterdurchschnittlicher Belastung stärker auswirken, als die mit höherer Anstrengung, weil die Kurve des Dampfverbrauches der Pumpe im Bereich der niedrigen Hubzahlen steiler verläuft. Die mittleren Dampfverbrauchszahlen liegen also in Wirklichkeit etwas höher als für die Rechnung nach Textabb. 4 ermittelt. Immerhin zeigen die Werte der nutzbaren Temperatursteigerung, die bei der Einzylinderpumpe um 70° , bei der Verbundpumpe um 75° liegen, daß die ideale Pumpenbedienung, also die Kesselheizung im temporären Beharrungszustand Bedingung für die

angestrebte Ausnützung der Vorwärmanlage ist und daß der Vorsprung der Verbundpumpe vor der Einzylinderpumpe dann sogar verhältnismäßig bescheiden wird.

Die tiefere Ursache für die häufigen Abweichungen des Vorwärmerbetriebes vom temporären Beharrungszustand liegt außer in der Besonderheit des Lokomotivbetriebes mit seinen häufigen Belastungsschwankungen in der Eigenart des Lokomotivkessels mit seiner großen Speicherkapazität begründet. Sie rechtfertigt in gewissem Umfang die „falsche“ Bedienung der Anlage, da die Inanspruchnahme der Kesselreserve auf der gleichen Linie der angestrebten guten Wärmewirtschaft liegt, wie eine weitgehende Abdampfverwertung. Dabei soll betont werden, daß die hier für den Vorwärmerbetrieb gemachten Feststellungen sich in diesem Umfang hauptsächlich auf die Personenzugförderung beziehen. Trotzdem kann zu Recht die Frage erhoben werden, ob die angeführten Messungen nicht unter besonders ungünstigen Bedingungen vorgenommen wurden, die vom Durchschnitt der Betriebsfälle doch zu weit entfernt sind. Solche ungünstigen Bedingungen liegen auf Strecken mit kurzen Haltestellenabständen vor. Eine Untersuchung der wichtigsten süddeutschen dampfbetriebenen Hauptbahnstrecken mit zusammen 2404 km Länge ergibt nun, daß von insgesamt 534 Streckenabschnitten 95,5% unter 8 km Länge aufweisen, 89,5% unter 7 km, 79,5% unter 6 km, 64,8% unter 5 km und 46,4% unter 4 km. Der mittlere Haltestellenabstand beträgt 4,51 km, für die durchgeführten Meßfahrten (ohne die durchgehenden Züge Nr. 5, 6, 14 und 15) 4,05 km, liegt also nur unwesentlich unter dem Gesamtmittel. (Der mittlere Haltestellenabstand des Reichsbahnnetzes beträgt 4,58 km.) Wie eine überschlägige Rechnung ergibt, erfordert ein Personenzug von 300 t Gesamtgewicht zu seiner Beförderung über eine 5 km lange Strecke mit 10‰ Steigung bei 40 bis 50 km/h mittlerer Geschwindigkeit einen Arbeitsaufwand von etwa 90 PS_h, zur Beförderung über eine 8 km lange waagerechte Strecke mit 60 km/h etwa 60 PS_h. Aus der Wasserreserve des Kessels einer mittleren Lokomotive (700 bis 800 Liter) läßt sich eine Arbeitsleistung von etwa 80 bis 100 PS_h bestreiten. Es wird also bei der weitaus größten Zahl der Betriebsfälle im Personenzugdienst möglich sein, einen durchschnittlich schweren Zug mit nur einem Teil der vollen Wasserreserve des Kessels zur nächsten Haltestelle zu befördern. Die Inanspruchnahme der Wasserreserve bedeutet aber eine nennenswerte Entlastung der Kesselheizfläche gegenüber der Fahrt mit gleichbleibendem Wasserstand. Diese Entlastung verschiebt den Arbeitspunkt des Kessels nach dem Bereich des besseren Wirkungsgrades. Dazu besteht nach dem Schließen des Reglers die Möglichkeit, das Abblasen der Sicherheitsventile durch Ergänzen der Wasserreserve zu verhüten. Der praktische Betrieb des Vorwärmers wird sich immer zwischen den beiden Grenzfällen — temporärer Beharrungszustand einerseits und Speisen nur bei geschlossenem Regler andererseits — abspielen und sich je nach den Betriebsverhältnissen und der Aufmerksamkeit des Heizers mehr der einen oder der anderen Grenze nähern.

Das Mißverhältnis zwischen angestrebter und erreichbarer Wirkung des Vorwärmers weist auf die Zweckmäßigkeit einer Speicherung des bei offenem Regler zu fördernden Wassers hin. So würde ein zwischen Vorwärmer und Kessel geschalteter Heißwasserspeicher unter Berücksichtigung aller Forderungen, die heute die Ausnützung des Vorwärmers beeinträchtigen, eine weitgehende Annäherung an die ideale Betriebsweise ermöglichen. Die Speisung erfolgt bei offenem Regler so lange nur in diesen Speicher, bis die Wasserreserve des Kessels nahezu vollständig verbraucht ist. In Textabb. 5 ist eine mögliche Anordnung dargestellt, bei der der Heißwasserspeicher über der Ebene des höchsten Wasserstandes angeordnet gedacht ist, wodurch eine besondere Heißwasserpumpe entbehrlich wird.

Die Verbindung des Speichers mit dem Kessel erfolgt über ein handbetätigtes Doppelventil V_3 , dem das Rückschlagventil V_2 parallelgeschaltet ist, so daß die Speisung direkt in den Kessel

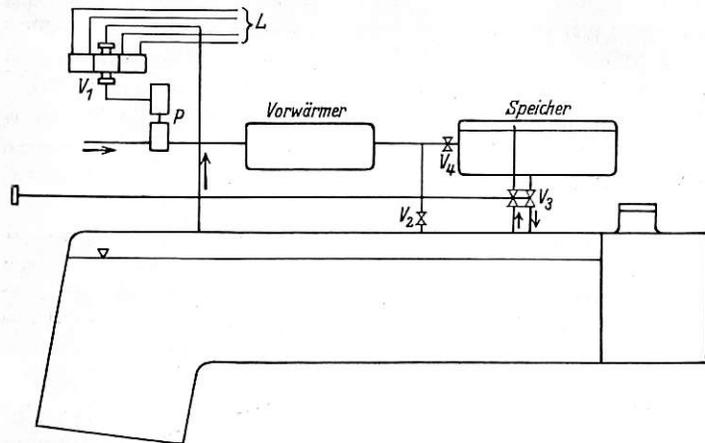


Abb. 5. Anordnung eines Speichers.

erfolgen kann, sobald sich der Speicher vollständig gefüllt hat. Der Lauf der Pumpe soll dabei durch ein selbsttätiges Pumpendampfventil V_1 gesteuert werden, das die Speisung im temporären Beharrungszustand sicherstellt. Die selbsttätige Anpassung der Pumpenförderung an den Verbrauch ergibt den

für eine bestimmte Anstrengung der Lokomotive möglichen Mindestwert des Pumpendampfverbrauches. Dazu geht bei geschlossenem Ventil V_3 der Dampfverbrauch der Pumpe infolge des abnehmenden Gegendruckes stark zurück. Die Anordnung eines Speichers bietet weiterhin Sicherheit gegen das schädliche Kaltspeisen, da das Abströmen des Speicherwassers zum Kessel nur in dem Maße erfolgt, wie sich der Druckunterschied zwischen Speicher und Kessel mit steigender Speicherwassertemperatur verringert.

Zusammenfassung.

Durch Messungen an Abdampfvorwärmern unter den Bedingungen des alltäglichen Lokomotivbetriebes wurde eine durchschnittlich unbefriedigende Ausnutzung der Vorwärmanlage festgestellt, die in der Hauptsache durch sich widersprechende Forderungen des Lokomotivbetriebes verschuldet ist. Wenn auch die angeführten Messungen kein abgerundetes Bild über den Durchschnitt aller Betriebsfälle geben, so berechtigen sie doch zu der Feststellung, daß es zwar zum Vergleich verschiedener Vorwärmersysteme, nicht aber zur absoluten Bewertung angängig ist, den temporären Beharrungszustand zur Rechnungsgrundlage zu wählen. Die Ursache der schlechten Ausnutzung ist nicht im System des Vorwärmers, sondern in der Eigenart des Lokomotivbetriebes begründet. Es wird ein Vorschlag gemacht, wie die verschiedenartigen Forderungen des Lokomotivbetriebes einander angeglichen werden können.

Lokomotive mit Abgasvorwärmer Bauart Franco.

Von Baurat Dr. Ing. E. h. Metzeltin.

Hierzu Tafel 6.

Bei dem Lokomotivkessel beträgt nach den Versuchen der Deutschen Reichsbahn bei einer Heizflächenbelastung von 57 kg/h und m² die Rauchkammertemperatur 320 bis 405⁰*, im Mittel also etwa 360⁰. Die Abhitze stellt damit den größten Verlust des Kessels dar. Bei neuzeitlichen ortsfesten Anlagen kann man mit Abgastemperaturen unter 180⁰ rechnen, unter besonders günstigen Verhältnissen werden Temperaturen bis zu 120⁰ herab erreicht.

Gelingt es, bei der Lokomotive die Abgase bis auf 180⁰ auszunutzen, so kann man bei 12% CO₂-Gehalt nach der Siegertschen Überschlagsformel mit der Herabsetzung der Abhitzeverluste von 19% auf etwa 9% rechnen. Das würde bei einem Kesselwirkungsgrad von 70% einer Verbesserung um 14% entsprechen. Der Gasraumgehalt und damit die Austrittsgeschwindigkeit im Schornstein würde sich dabei um 28% vermindern, entsprechend eine Verminderung der Beschleunigungsarbeit, welche das Blasrohr zu leisten hat, um beinahe 50%. Es sind also infolge des verringerten Gegendruckes auf den Kolben auch für die Maschine Vorteile zu erwarten.

Es hat nun nicht an Versuchen gefehlt, Abgasvorwärmer in die Lokomotive einzubauen. Bekannt sind die Ausführungen von Trevithick** (ringförmig in der Rauchkammer), von Borsig*** (um den Schornstein herum), Wehrle und Rihosek† (quer in der Rauchkammer) u. a. Keine der verschiedensten Bauarten hat sich bewährt. Sie waren nicht dauerhaft, verbauten die Rauchkammer und gaben nur eine geringe Ausnutzung der Abgase. Die Aufgabe, in der Rauchkammer einen genügend großen Vorwärmer einzubauen, erscheint aussichtslos. Franco versucht die Lösung auf dem Wege, daß er einen großen Vorwärmer vor der Rauchkammer auf besonderem Fahrgestell, das ein Triebgestell oder der

Tender sein kann, unterbrachte. Erstmals ausgeführt wurde er bei einer 1933 von den Ateliers Métallurgiques in Tübingen nach den Vorschlägen der Società Anonima Locomotive a Vapore Franco erbauten „Überlokomotive“⁴. Das Hauptgestell mit der Achsanordnung 1C1C1 trug einen Doppelkessel eigener Bauart und die davor und dahinter laufenden C1-Triebgestelle die Wasserkästen und je einen Vorwärmer, denen die Gase von den Rauchkammern her zugeleitet wurden. Schon mit dieser Lokomotive wurden bei Volleistung Abgastemperaturen von 200⁰ erreicht, bei gleichzeitiger Vorwärmung des Speisewassers auf 160⁰.

Auf Grund der gewonnenen Erfahrungen ließ nun die italienische Staatsbahn eine Lokomotive umbauen. Es handelte sich dabei um die mit dem Führerhaus voranlaufende Vierzylinder-Verbundlokomotive der Gattung 670, Abb. 1, Taf. 6. Die Abb. 2 auf Taf. 6 zeigt die Lokomotive nach dem Umbau. Der bisherige Kessel erhielt bei dieser Gelegenheit einen Überhitzer. Sonst wurde an der Lokomotive nur die Rauchkammer nach Textabb. 1 geändert. An Stelle des Schornsteins trat ein großer Stutzen zur Überleitung der Rauchgase. Die Zylinder blieben unverändert, da sie bereits Kolbenschieber besaßen.

Für den bisherigen Tender, der nur einen zylindrischen Wasserbehälter trug, wurden auf ein normales Tenderuntergestell zwei seitliche Wasserbehälter und dazwischen ein zylindrischer Röhrenvorwärmer von 1130 mm Durchmesser und 3800 mm Rohrlänge nach Textabb. 2 aufgebaut. 206 Rohre von 45/50 mm ergaben 110 m² Heizfläche. Ein solcher Röhrenkessel ist ein verhältnismäßig billiger, aber zugleich einfacher und dauerhafter Bauteil.

Die beiden wesentlichen Grundzüge des Franco-Vorwärmers sind erstens, daß er mit dem Kesselraum in dauernder, natürlich in Notfällen absperrbarer Verbindung steht und zweitens, daß seine Oberkante tiefer liegt als der niedrigste Wasserstand im Kessel. Für den nicht zu erwartenden Fall,

*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes. Bd. 85 (1930), S. 230.

**) Z. VDI Bd. 51 (1907), S. 7.

***) Matschoss, Eisenbahnwesen Seddin 1924, S. 7.

†) Z. VDI Bd. 65 (1921), S. 983.

*) Z. VDI Bd. 78 (1934), S. 1291.

daß sich bei zu hoher Vorwärmung in ihm Dampf bilden sollte, ist oben auf dem Vorwärmer ein Stutzen vorgesehen, der durch ein Rohr mit dem Dampfraum des Kessels in Verbindung steht. Vorn und hinten wird der Vorwärmer durch je eine Kammer abgeschlossen. Die vordere enthält das Blasrohr und trägt den Schornstein.

Da die Lokomotive keinen Abdampfvorwärmer besaß, ist ein solcher in zylindrischer Form an den Boden des Abgasvorwärmers in Domform angehängt. Bei Lokomotiven, die bereits einen Abdampfvorwärmer oder Abdampfinjektor besitzen, entfällt diese Zutat.

Lokomotive und Tender sind durch eine besondere Kuppung derart verbunden, daß sie sich in allen Richtungen gegeneinander verschieben können, nur nicht in der Längsrichtung. Dadurch wird die Bauweise der nötigen beweglichen Überleitungen von Dampf und Wasser wesentlich erleichtert. Solche Verbindungen bieten auch heute kaum noch irgend welche Schwierigkeiten. Baut man doch in Amerika heute die Malletlokomotiven fast stets mit einfacher Dampfdehnung, trotzdem die Rohre für Zuleitung des hochgespannten Heißdampfes erheblichen Durchmesser besitzen.

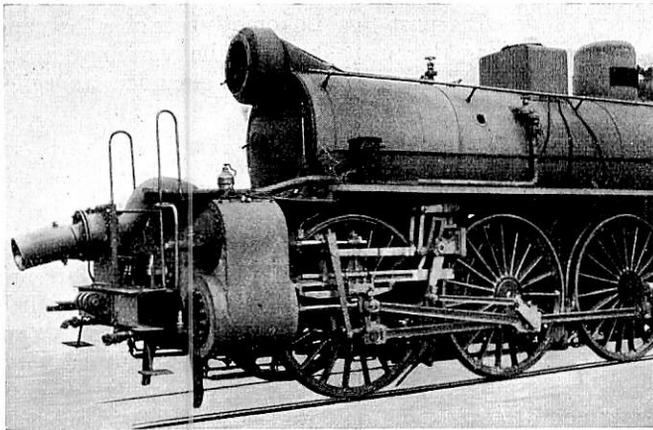


Abb. 1. Rauchkammerende der Lokomotive.

Die Verlängerung des Weges der Abgase bedeutet zwar einen Reibungsverlust, dieser ist aber im Lokomotivkessel überhaupt von untergeordneter Bedeutung. Denn die Hauptarbeit, welche das Blasrohr leisten muß, dient zur Beschleunigung des nicht unerheblichen Gasgewichtes (rund das zwanzigfache der verfeuerten Kohlenmenge!) von der Anfangsgeschwindigkeit 0 auf die sehr hohe Austrittsgeschwindigkeit der Gase in der Schornsteinmündung. Der Reibungsverlust wird wie eingangs erwähnt durch entsprechende Ersparnis an Beschleunigungsarbeit im vorliegenden Falle mehr als wettgemacht.

Abgesehen von der Ersparnis bringt der Vorwärmer Franco aber noch eine weitere Reihe von Vorteilen. Da das Speisewasser sich fast bis auf Kesseltemperatur erwärmt, werden sich in ihm fast alle Kesselsteinbildner ausscheiden und zwar voraussichtlich ziemlich restlos als Schlamm, da sie bei der niedrigen Gastemperatur nicht festbrennen werden. Der Kessel erhält nur reines Speisewasser von Kesseltemperatur zugeführt. Spannungen infolge ungleicher Erwärmung entfallen und die Wände werden von Kesselstein nur unbedeutend belegt werden. Nicht nur die Auswaschkosten, sondern vor allem auch die Unterhaltungskosten werden geringer. Ebenso wird auch die Wärmeübertragung besser.

Verzichtet man auf einen kleinen Anteil der Ersparnis, so kann man unbedenklich zu weit höheren Rostbeanspruchungen gehen, als heute in Europa üblich, da die Wärme der Abgase, die sonst unzulässig hoch werden würde, im Vorwärmer noch weitgehend ausgenutzt wird. Damit kann man die Leistungsfähigkeit der Lokomotive, die schon bei gleicher Verbrennung höher wird, noch ganz beträchtlich steigern.

Die nicht längsbewegliche Kuppung zwischen Maschine und Tender erhöht die Masse, welche die Zuckbewegungen aufzunehmen hat und vermindert diese letzteren dementsprechend.

Der lange von Kammern unterbrochene Weg der Gase macht einen Funkenfänger entbehrlich; die sonst durch Funkenwurf entstehenden Wärmeverluste werden nutzbar gemacht. Die Abgasleitung zwischen Lokomotive und Tender ist sorgfältig umhüllt, so daß hier nur geringe Verluste entstehen.

Als ungewohnt erscheint auf den ersten Blick, daß eine Lokomotive mit diesem Vorwärmer mit dem Führerhaus voran fahren muß. Aber gerade dies erscheint heute besonders beim

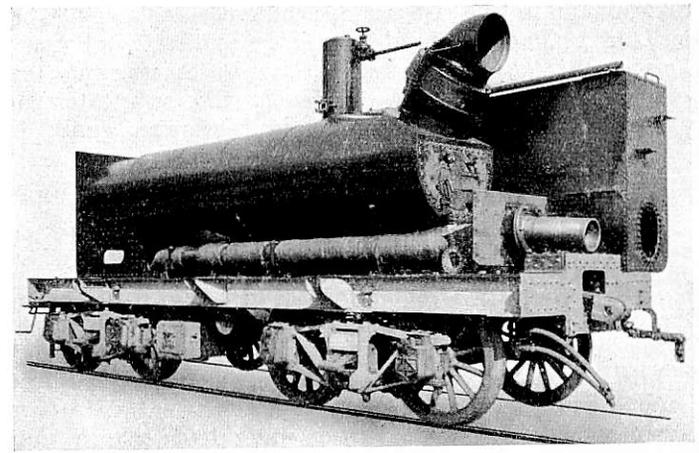


Abb. 2. Tender mit rechtem Wasserkasten, Vorwärmer und Abdampfrohr.

Schnellverkehr mit Rücksicht auf die günstigere Beobachtung der Strecke erwünscht. Die Kohlevorräte sind dann allerdings ähnlich wie bei Tenderlokomotiven unterzubringen; die alte italienische Ausführung mit Aufsichtung in einem Behälter neben und über der Feuerbüchse wird man nicht nachahmen. Auch D- und 1 D- und ähnliche Lokomotiven kann man für Einführung des Franco-Vorwärmers leicht umbauen, indem man dann unter dem Führerstande noch eine Lenkachse vorsieht, die, ohne die bisherige Lastverteilung besonders zu beeinflussen, das Mehrgewicht an diesem Lokomotivende aufnimmt. Eine wesentlich erhöhte Leistung würde sich gerade bei der heute geforderten Beschleunigung des Güterverkehrs günstig auswirken. Sie würde auch auf Steigungen gestatten, eine hohe Geschwindigkeit, die ausschließlich durch die Kesselleistung begrenzt wird, durchzuhalten.

Die beschriebene italienische Lokomotive steht seit August 1936 im Schnellzugverkehr Florenz—Pisa. Der Umbau wurde voriges Jahr durchgeführt. Vorversuche ergaben bei Füllung der Hochdruckzylinder von 55% und $V = 70$ km/h Abgasleistungen von unter 160°. Wir hoffen demnächst über die mit dem Meßwagen vorzunehmenden Versuche berichten zu können.

Indirekte Stellwerkbeleuchtung.

Von **Wilhelm Lehner**, technischer Reichsbahnoberinspektor, Regensburg.

Hierzu Tafel 7.

Durch den Helligkeitsunterschied des bei Nacht beleuchteten Innenraumes der Stellwerke gegenüber den dunkleren Außenanlagen des Bahnhofs entstehen in den Fenstern der Stellwerke Spiegelungen der Inneneinrichtung. Die Spiegelung kann bei übergroßer Helligkeit der Stellwerkbeleuchtung so kräftig werden, daß sie den Ausblick des Stellwerkwärters auf die Gleis- und Signalanlagen erheblich beeinträchtigt und damit die Abwicklung des Dienstes sehr erschwert. Ihre Beseitigung stellt den Eisenbahnfachmann vor eine Aufgabe besonderer Art.

Diese Aufgabe führt zu folgenden Forderungen:

1. den Stellwerksraum durch die künstliche Beleuchtung nur gerade so weit aufzuhellen, als es zur sicheren Bedienung der Stellwerkeinrichtungen erforderlich ist;
2. alle Möglichkeiten einer Lichtrückstrahlung auszuschalten;
3. die Helligkeit der sicherungstechnischen Einrichtungen, der Ausstattung des Raumes mit Möbeln und Geräten, sowie der Wände und des Fußbodens einander möglichst anzugleichen.

Bisher wurde fast ausschließlich der scheinbar nächstliegende Weg, das Stellwerkinnere soweit als möglich abzudunkeln, begangen. Man griff zunächst zu den Soffittenleuchten — sogenannten Langreflektoren —, mit denen das Licht vorwiegend den eigentlichen Stellwerkeinrichtungen, dem Blockwerk und den Signal- und Weichenhebeln, zugeführt wurde. Die Spiegelung war damit zwar räumlich eingegrenzt, die angeleuchteten Einrichtungen aber traten noch ebenso sehr wie früher in der Spiegelung hervor. Bei älteren Stellwerken, in denen die Stellwerkbank vor den Fenstern der Längsseite steht, störten außerdem die Lichtaustrittsflächen dieser offenen Soffittenleuchten. Um beiden Übelständen zu begegnen, wurden die Lichtaustrittsöffnungen der Soffittenleuchten noch mehr eingengt. Man stellte Schlitzleuchten her, bei denen das Licht nur noch durch zwei bis drei verstellbare Längsschlitze in Form von Lichtbändern austreten konnte. Durch die Schwenkbarkeit der Leuchte und die Verstellbarkeit der Lichtschlitze sicherte man sich die Möglichkeit, das Licht nur jenen Teilen der Stellwerkeinrichtung zuzuführen, deren Beleuchtung zur sicheren Bedienung erforderlich ist, d. h. den Schaufenstern der Blockwerke und Tastensperren, sowie den Bezeichnungsschildern der Signal-, Zustimmung- und Weichenhebel. Die Spiegelung in den Fenstern wird damit noch mehr eingegrenzt, beseitigt ist sie aber auch jetzt noch nicht. Das Spiegelbild der beleuchteten Einrichtungsteile liegt nach wie vor störend in den Fenstern. Denn wenn das Licht der Glühlampen bei den Schlitzleuchten auch nur noch durch verhältnismäßig schmale Öffnungen austreten kann, so geben sie es doch mit einer viel zu großen Leuchtdichte auf die angeleuchteten Blockfelder und Hebelanschriften ab.

Die Verdunkelung des Innenraumes hat zweifellos den Vorteil, daß das Auge des Stellwerkwärters nicht mehr genötigt ist, beim Übergang aus dem verdunkelten Stellwerksraum zu den Außenanlagen Helligkeitsunterschiede in der früheren Größe zu überwinden. Der größere Helligkeitsunterschied zwischen den von den Lichtbändern beleuchteten Stellwerkteilen und dem Außenraum aber bleibt nach wie vor bestehen. Gerade dieser Helligkeitsunterschied aber spielt die größere Rolle, da das Auge bei der Bedienung des Stellwerks zwischen diesen stark aufgehellten Teilen und den dunkleren Außenanlagen ständig hin und her wandern muß. Durch die Vielzahl der Lichtstellen für die übrigen Stellwerkeinrichtungen wird außerdem die Beleuchtung des Stellwerksraumes fleckig, und

das Auge wird gezwungen, sich immer wieder sprunghaft auf die verschiedensten Helligkeitswerte umzustellen. Die Anpassung des Auges an Änderungen der Leuchtdichte (Helligkeit) aber vollzieht sich nicht augenblicklich, das Auge benötigt hierzu vielmehr eine gewisse Zeit. Schon bei verhältnismäßig geringer Leuchtdichte kann das Lichtbild 1 bis 3 Sek. im Auge bestehen bleiben und damit das Erkennen neuer Gegenstände beeinträchtigen.

Nicht unerwähnt bleibe schließlich, daß die Schlitzleuchten in wirtschaftlicher Hinsicht sehr ungünstig sind. Von dem ganzen Lichtstrom, den die Glühlampe sphärisch aussendet, wird nur der kleine Teil ausgenützt, der durch die Schlitze frei ausstrahlen kann.

Die Beleuchtung mit Schlitzleuchten mußte in dem Augenblick versagen, wo es sich darum handelte, neuzeitliche Kraftstellwerke zu beleuchten. Die zu beleuchtenden Bezeichnungen der Betätigungsschalter für Signal- und Weichenantriebe und die Schaufenster (Farbscheiben) für Streckenblock, Weichen, Zustimmungen und Rückmelder sind so zahlreich und so vielfältig verteilt, daß sie von Schlitzleuchten nicht mehr ausreichend erfaßt werden können. Werden solche Leuchten dennoch aufgehängt, so werden manche Teile der Stellwerkeinrichtung derart abgedunkelt, daß die Bezeichnungen der Schilder oder die Farbscheiben der Schaufenster nicht mehr ausreichend erkennbar sind.

Da sonach mit der Abdunkelung durch Schlitzleuchten nicht mehr weiter zu kommen war, mußte ein grundsätzlich neuer Weg gesucht werden. Der Gedanke, indirektes Licht zur Stellwerkbeleuchtung heranzuziehen, mußte zunächst verblüffen, denn neben dem Grundsatz, daß in einem Stellwerksraum nur abgeschirmte Leuchten verwendet werden dürften, galt ebenso sehr die Anschauung, daß kein Streulicht auftreten und noch weniger auf die Stellwerkfenster fallen dürfe. In diesem Widerstreit der Meinungen konnte nur der Versuch mit zahlenmäßiger Erfassung aller in Betracht kommenden Fragen entscheiden.

Über die Beleuchtungsstärke, die zur ausreichenden Beleuchtung der zu bedienenden Stellwerkeinrichtungen erforderlich ist, gibt man sich selbst in Fachkreisen argen Täuschungen hin. Es war ja auch nicht möglich, die Aufgabe zahlenmäßig zu erfassen, weil geeignete Meßgeräte nicht zur Verfügung standen. Erst die Photozelle und damit das Luxmeter der letzten Jahre verschaffte dem Lichttechniker die Möglichkeit, die Beleuchtung von Stellwerken nun auch planmäßig zu untersuchen und aus den Ergebnissen die Nutzanwendung für die Fortentwicklung der Stellwerkbeleuchtung zu ziehen.

Unter diesem Gesichtspunkt wurde eine Reihe Versuche mit indirekter Beleuchtung in neuzeitlichen Hebelstellwerken und Kraftstellwerken, wie auch in Hebelstellwerken älterer Bauart durchgeführt; dabei wurden vergleichende Lichtmessungen zwischen offenen Soffittenleuchten, abgeblendeten Schlitzleuchten und der indirekten Beleuchtung vorgenommen. Überraschenderweise ließ sich die Aufgabe der indirekten Beleuchtung, die zunächst ziemlich schwierig erschien und an die man daher mit einiger Befürchtung heranging, mit Hilfe einfacher Mittel in einer für alle Fälle in gleicher Weise anwendbaren Form lösen.

In der Osram-Linestra-Röhre stand ein Lichtkörper zur Verfügung, der durch seine langgestreckte Form und milde Streuung am besten geeignet schien, das Licht möglichst gleichmäßig an die Decke des Stellwerksraumes auszusenden. Die Röhren wurden in langgestreckten, trogartigen Be-

leuchtungskörpern untergebracht und in einem Abstand von etwa 25 cm von der Decke auf jener Seite befestigt, die den zu beleuchtenden Einrichtungen entgegengesetzt liegt.

Der erste, mit Linestra-Röhren von 50 Watt unternommene Versuch ergab eine zu starke Aufhellung des Stellwerkraumes. Trotzdem widerlegte er bereits die Anschauung früherer Jahre, daß Streulicht für den Ausblick ins Freie nachteilig sei. Die Spiegelungen in den Fenstern traten nicht mehr so scharf auf wie vorher bei den Schlitzleuchten. Da Linestra-Röhren sehr teuer sind und in geringeren Wattstärken als 50 Watt auch nicht hergestellt werden, wurde versucht, eine gleichmäßige Ausleuchtung mit gewöhnlichen Glühlampen zu erzielen. Zu diesem Zweck wurden die Trogleuchten mit vier Fassungen versehen und mit innenmattierten Glühlampen von 15 Watt besteckt. Um das Licht noch mehr zu zerstreuen und auch einen Schutz gegen Insekten und Verstaubung zu schaffen, wurden die Leuchten mit Mattglas abgedeckt.

Da die Aufhellung des Stellwerkraumes mit Linestra-Röhren von 50 Watt, wie auch mit vier Glühlampen von je 15 Watt zu groß war, wurde untersucht, wie weit mit der Wattstärke zurückgegangen werden könne, um die Spiegelung soweit als möglich zu beseitigen und ohne dabei eine zur sicheren Erkennung und Bedienung der Stellwerkeinrichtungen erforderliche Mindesthelligkeit zu unterschreiten. Dabei zeigte sich, daß bei ganz großen Stellwerken 2×15 Watt je Leuchte, in den übrigen Fällen in der Regel 1×15 Watt je Leuchte bei 3,5 bis 4 m gegenseitigem Abstand genügt. Dem entsprechen Beleuchtungsstärken von höchstens 1,5 bis 2 Lux vor den Schaufenstern der Blockwerke und auf den Schildern der Hebel. Eine stärkere Beleuchtung ist, wie sich zeigte, in keinem Falle nötig, ganz abgesehen davon, daß dann auch die Fensterspiegelungen kräftiger auftreten. Außerdem werden dort, wo große Helligkeit ist, sich auch starke Schlagschatten ergeben, die die Sichtbarkeit tiefer liegender Teile (wie der Farbscheiben der Blockwerkfenster) wiederum beeinträchtigen.

Nach diesen Gesichtspunkten wurden zehn Stellwerke untersucht. Als lehrreichste Beispiele seien drei davon besonders hervorgehoben. Der Aufbau der Stellwerkeinrichtungen, die jetzige Beleuchtung mit Soffitten- oder Schlitzleuchten, die Versuchsanordnung der indirekten Beleuchtung, wie auch die Lichtmessungen sind in den beiliegenden Blättern dargestellt. Es erscheint notwendig, die Blätter kurz zu erläutern.

1. Stellwerk I im Bahnhof A-burg.

Bauart Krauß, errichtet 1907 (siehe hierzu Abb. 1, Taf. 7).

Decke weiß getüncht, Wände lichtgrün. Die Stellwerkbank ist hier vor den Fenstern der Gleisseite aufgestellt. Gleisfelder gut aufgehellt.

a) Jetzige Beleuchtung.

Sechs Soffittenleuchten (beim Block weit offen, bei den Hebeln enger gehalten), je zwei Glühlampen 15 und 25 Watt.

In den Fenstern der Längsseite des Stellwerks, wo die Gleisbeleuchtung weniger aufhellend wirkt, spiegeln sich die Messingknöpfe des Blockwerks und die Rückseite der blanken Stellwerkhebel, ebenso die gegenüberliegende helle Wand und der hellgestrichene Fensterrahmen. Auch der Wärter spiegelt sich, wenn er in den Lichtkreis einer Soffittenleuchte tritt, infolge der starken Anleuchtung. Der Gleisplan liegt im Dunkeln, ebenso die Läutwerke; im Halbdunkel liegen die Rückmelder und die Schalttafel für den elektrischen Zugbetrieb.

b) Indirekte Beleuchtung mit fünf Brennstellen. Linestra-Röhren 50 Watt.

Bleistifteinträge in die Meldebücher auf dem Pult und dem Tisch (2,5 Lux) können gut niedergeschrieben und gelesen werden. Die Ausleuchtung des Raumes beim Block ist viel

zu hell. Die Farbscheiben des Blockwerks sind durch Schlagschatten bis auf $\frac{1}{3}$ der Fläche abgedunkelt, die Schlagschatten sind jedoch nicht so scharf wie bei der direkten Beleuchtung. Die Weichenhebel sind zu stark beleuchtet. Der Gleisplan und alle sonstigen Sicherungseinrichtungen (Rückmelder Läutwerke, Schalttafeln usw.) sind sehr gut erkennbar.

Trogleuchten mit 2×15 Watt, mit Mattglas abgedeckt.

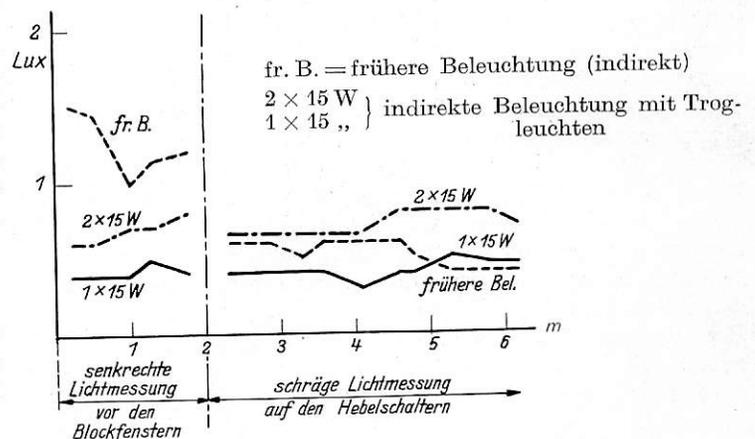
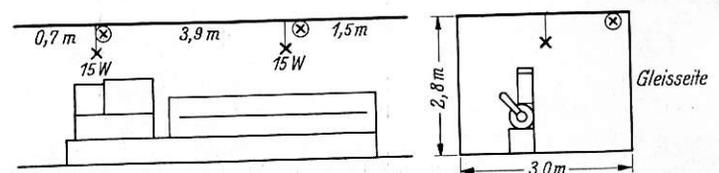
Die Spiegelung ist mit Ausnahme der glänzenden Teile und der hellen Wände so gedämpft, daß sie nicht mehr als störend empfunden wird.

Rot und weiß der Blockfelder kann noch gut unterschieden werden, wenn die Farbscheiben natürlich auch nicht mehr jene übergroße Helligkeit wie bei direkter Beleuchtung aufweisen (Gewöhnung an die gedämpfte Beleuchtung!). Der Raum selbst ist mild ausgeleuchtet und erweckt nicht mehr den düsteren Eindruck wie bei den Soffittenleuchten. Die Bezeichnungsschilder sind gut erkennbar. Die Uhr kann in dem langen Stellwerk auch bei dieser abgeminderten Beleuchtung noch ohne Irrtum abgelesen werden. Die Beleuchtung von Tisch und Pult reicht zum Lesen und Schreiben nicht mehr aus.

2. Stellwerk VII im Bahnhof B-hof.

Bauart Noell, errichtet 1907 (siehe hierzu Textabb.).

Wände mittelgrün getüncht, Decke weiß, aber sehr angerußt.



a) Jetzige Beleuchtung.

Zwei offene Soffittenleuchten, je eine Glühlampe mit 15 Watt.

Keine dieser Leuchten wird nachts eingeschaltet, obwohl sich um das mitten im Bahnhof liegende Stellwerk ein sehr lebhafter Verkehr abwickelt. Die Stellwerkwärter haben sich dafür eine indirekte Beleuchtung des Raumes in roher Form selber geschaffen. Sie haben zwei Zuglampen, die über zwei hinter ihnen stehenden Tischen aufgehängt sind, tief zur Tischplatte herabgezogen und beleuchten dadurch die geschweuerte Platte grell. Die Tischplatten werfen das Licht zur Decke, die es in den Stellwerkraum und auf die Stellwerkeinrichtungen zerstreut widerstrahlt. Außerdem kommt noch die Lichtstreuung von der Tischplatte aus zur Wirkung. Vom Gleis aus gesehen, erweckt diese Beleuchtung durchaus den Eindruck einer indirekten Beleuchtung.

Die Beleuchtungsstärken an den Schaufenstern des

Blocks wurden zu 1,0 bis 1,5 Lux gemessen, auf den Bezeichnungsschildern der Hebel bewegen sie sich mit geringen Abweichungen um 0,5 Lux. Diese gänzlich unbeeinflusst von den Lichttechnikern zustande gekommene Beleuchtung ist Beweis dafür, mit welcher geringen Beleuchtungsstärken selbst in betriebswichtigen Stellwerken großer Bahnhöfe auszukommen ist.

Spiegelungen der Stellwerkeinrichtungen in den Fenstern sind kaum merkbar. Nachteilig wirkt sich die grelle Anleuchtung der Tischplatten dadurch aus, daß sie auch dementsprechend grell als Fensterspiegelung auftritt.

b) Indirekte Beleuchtung.

Zwei abgedeckte Trogleuchten mit 15 Watt-Glühlampen.

Mit 2×15 Watt je Trogleuchte ergeben sich Beleuchtungsstärken, die der von den Wärtern selbst geschaffenen indirekten Beleuchtung ungefähr entsprechen. Trotz der rußigen Decke würde selbst mit 1×15 Watt noch auszukommen sein. Der Gleisplan ist bei 2×15 Watt besser beleuchtet als vorher. Spiegelungen in den Fenstern sind mit Ausnahme der von den Zuglampen angestrahlten Tischflächen nicht mehr vorhanden.

3. Befehls-Kraftstellwerk II im Bahnhof C-stadt.

Bauart Krauß, errichtet 1928 (siehe hierzu Abb. 2, Taf. 7).

Wände und Decke sind kalkweiß gestrichen. Stellwerk und Block wie üblich grün lackiert, mit Messingknöpfen, Messingumrahmung der Schaufenster, Porzellanrifen der Betätigungsschalter für die Weichen- und Signalmotoren. Schilder wie immer weiß Email mit schwarzer Schrift.

a) Jetzige Beleuchtung.

Vier Schlitzleuchten, je zwei Glühlampen mit 15 Watt.

Trotz der Ablendung spiegelt sich das Stellwerkinnere in den Fenstern deutlich wieder. Die Farbscheiben der Schaufenster des Streckenblocks sind zu $\frac{3}{4}$ bis $\frac{4}{5}$ ihrer Fläche von Schlagschatten der Fensterrahmen überdeckt. Die Farbscheibe der Tastensperre ist überhaupt kaum erkennbar. Zum Teil schwer erkennbar sind auch die Farbscheiben der Zustimmungen und Rückmeldung, sowie der Weichen-, Signal- und Fahrstraßenschalter. Um die Farbenbilder einwandfrei zu erkennen, schalten die Stellwerkmeister nach Bedarf die gegenüber befindliche Fernsprechlampe ein.

Sehr störend macht sich die Spiegelung der Arbeitstische und Morseschreiber des Fahrdienstleiters bemerkbar. Zur Beleuchtung der Morsetische sind Arbeitsplatzleuchten mit 25 Watt verwendet, an dem Schreibtisch des Fahrdienstleiters wurden sogar 60 Watt in einem Tiefstrahler festgestellt. Triebwerk der Morseschreiber Messing lackiert, Papierrollen goldbronziert.

Gemessen wurden folgende Beleuchtungsstärken:

Tisch des Stellwerkwärters am Ende des Stellwerks (Sonderbeleuchtung)	36 Lux
Schaufenster der gegenüber beim Fenster befestigten Betriebsauflösung und Zustimmung .	0,6 „
1. Morseschreiber, Papierstreifen	50 „
Einschreibebett	82 „
2. Morseschreiber, Papierstreifen	80 „
Einschreibebett	170 „
Arbeitsplatz des Fahrdienstleiters	über 200 „
Schaufenster der Betriebsauflösung und Zustimmung (am Fenster befestigt)	1,2 „
Gleisplan	0,4 „

b) Indirekte Beleuchtung.

Drei mit Mattglas abgedeckte Trogleuchten, Glühlampen 15 Watt. Besteckung 2×15 Watt:

Die Spiegelung des Stellwerks ist jetzt schon schwächer. Würden die weißen Emailschilder, die weißen Anhänger

(Warnschilder) und die Messingknöpfe nicht sein, so könnte diese Spiegelung bereits als erträglich bezeichnet werden. Alle farbigen Felder sind gut sichtbar. Die Schlagschatten auf den Blockfeldern decken höchstens noch $\frac{1}{3}$ der Fläche. Auf dem Tisch des Wärters und am Fernsprecherpult können Einträge in die Meldebücher ohne Sonderbeleuchtung gelesen und geschrieben werden.

Besteckung 1×15 Watt:

Der Blockwerkkasten ist fast nicht mehr sichtbar, nur noch die weißen Schilder liegen ohne Zusammenhang als Einzelfelder im Fenster. Aber auch bei diesen ist die Spiegelung nicht entfernt so hart wie bei den Schlitzleuchten. Alle Farbscheiben sind erkennbar, alle Aufschriften lesbar. Die Beleuchtungsstärken bewegen sich dabei zwischen 0,7 bis 1,5 Lux. Höchst ungünstig wirkt die weiße Tünchung der Wand.

Aus den vorgeschilderten Beobachtungen und Messungen ergeben sich folgende Erkenntnisse:

Die Verwendung von Soffitten- und Schlitzleuchten erzeugt auf den Stellwerkeinrichtungen steile Lichtberge und tiefe Lichttäler. Die Beleuchtungsstärken wechseln in den äußersten Werten zwischen 8 bis 40 Lux, 1,5 bis 10 Lux, 0,3 bis 14 Lux. Jeder Leuchte entspricht eine Beleuchtungsspitze.

Bei indirekter Beleuchtung genügt eine Beleuchtungsstärke von 0,5 bis 1,5 Lux auf den für die Bedienung in Frage kommenden Stellwerkeinrichtungen; 2 Lux stellen bereits einen Höchstwert dar. Wenn die Leuchten im Stellwerkraum zweckentsprechend angeordnet werden — hierüber wird weiter unten ausführlicher gesprochen werden —, verläuft die Lichtkurve der indirekten Beleuchtung mit so geringen Schwankungen, daß diese dem Auge nicht mehr erkennbar sind. Der ganze Raum ist in ein mildes, ganz gleichmäßiges Licht getaucht. Der unbehagliche, düstere Eindruck, den ein durch Schlitzleuchten aufs äußerste abgedunkelter Stellwerkraum erweckt und der sich bei längerem Verweilen in einem solchen Raum psychologisch ungünstig auswirken muß, ist beseitigt. Der für das Zustandekommen von Fensterspiegelungen wichtige Helligkeitsunterschied zwischen den zu bedienenden Stellwerkeinrichtungen und dem Außenraum ist auf ein Mindestmaß zurückgeführt.

Manchem mag es unglaublich erscheinen, daß eine Beleuchtungsstärke von 0,5 bis höchstens 2 Lux als Stellwerkbeleuchtung genügen soll. Wir sind daran nur nicht gewöhnt. Die im Bahnhof B-hof untersuchten Stellwerke II und VII, in denen die Wärter mit Beleuchtungsstärken von 0,3 bis höchstens 1,8 Lux arbeiten, liefern den Beweis dafür, daß der Betrieb mit diesen geringen Beleuchtungsstärken selbst bei starker Beanspruchung des Wärters einwandfrei durchzuführen ist. Diese beiden Stellwerke, insbesondere aber das Stellwerk VII, bekräftigen aus der Praxis das in anderen Stellwerken durch Versuch gefundene Ergebnis in unerwarteter Weise und zeigen, daß der mit der indirekten Beleuchtung verfolgte Weg richtig ist.

Besonders kräftig spiegeln sich in den Fenstern weiße Flächen, dann aber auch alle hellen und mittleren Farbtöne; ferner lackierte, polierte, bronzierte und blanke Flächen, helle Metalle (Messing) und helles Holz; schließlich alle Flächen ohne Rücksicht auf die Tönung, wenn sie von großen Lichtstärken getroffen werden.

Die zur indirekten Beleuchtung versuchsweise verwendeten Trogleuchten und die Versuchsanordnung sind einleitend beschrieben worden*). Die Beleuchtung wird am günstigsten und gleichmäßigsten bei folgender Verteilung der Leuchten:

*) Die Leuchten werden von der Hellux A. G. in Hannover (Vertretung Kolb & Sörgel, Elektrogroßhandlung in Nürnberg) hergestellt.

Abstand der Leuchte (Drehpunktachse) von der Decke 0,25 m,

Abstand der Leuchte von der Stellwerkbank 1,5 bis 1,8 m,

Abstand der Leuchte von der äußersten Seitenwand des Streckenblocks einwärts in der Längsrichtung des Stellwerks 0,7 bis 0,8 m,

Abstand der Leuchte vom entgegengesetzten Ende der Stellwerkbank nach einwärts etwa 1,3 bis 1,5 m,

Abstand der Leuchten voneinander 3,0 bis 4,0 m; ist das Blockwerk oder die Befehlsstelle (bei Kraftstellwerken) mehr als 3 m lang, so wird man die beiden Leuchten vor dem Streckenblock auf 2,0 bis 2,5 m zusammenrücken.

Im allgemeinen wird bei dieser Anordnung eine Besteckung der mit Mattglas abgedeckten Leuchten mit einer innenmattierten Glühlampe von 15 Watt genügen; nur in seltenen Fällen und bei schlechten Spannungsverhältnissen oder bei langen Stellwerken mit einer gegenseitigen Entfernung der Leuchten von 4,0 m wird man auf 2×15 Watt gehen müssen.

Aus den Versuchen und den daraus gewonnenen Erkenntnissen sind folgende **Schlussfolgerungen** zu ziehen:

1. Bauliche Ausgestaltung des Stellwerkraumes.

Die Decke ist wie üblich kalkweiß zu tünchen (jedoch kein Ölfarbenanstrich). Die Wände dürfen keinesfalls in hellen Farben getüncht werden. Sie sind bis auf 20 bis 30 cm unter der Decke dunkel zu tünchen. — Möbelstücke müssen dunkel und matt gehalten sein; sie sollen sich von der Wand so wenig wie möglich abheben. Tischplatten dürfen nicht Naturholz zeigen, sondern müssen dunkelbraun matt gebeizt sein. Die Bretterabdeckung bei der Durchführung der Drahtseile in den Spannraum ist mit Karbolinum oder einem anderen Stoff möglichst dunkel zu tränken. Endziel soll sein, den ganzen Stellwerkraum auf den Helligkeitswert der Stellwerkeinrichtung abzustimmen.

2. Stellwerktechnische Einrichtungen.

Hier muß die Beseitigung aller hellen Farben, aller lackierten oder bronzierten Flächen, sowie aller polierten Teile in Holz, Messing usw. gefordert werden. Auch blanke Eisenteile sind zu vermeiden. Alle Oberflächen sollen dunkel, matt, stumpf erscheinen. Für Bezeichnungsschilder ist schwarzer Grund mit weißer Schrift zu wählen.

3. Betriebliche Ausstattung des Stellwerks.

Den Grundsätzen unter 2. entsprechend müssen die Morseschreiber (Triebwerk und Papierrolle) mattdunkel brüniert sein, die Platten stumpf-dunkel gehalten werden. Am zweckmäßigsten ist es, den Morseschreiber unter die Platte zu versenken. — Die Morseschreiber und Wärtertische sollten, wenn irgend möglich, nicht vor den Fenstern, sondern an den Seitenwänden so aufgestellt werden, daß eine Fensterspiegelung nicht entstehen kann.

Anzustreben wäre für die Meldebücher der Stellwerkwärter, die Einschreibehefte auf den Morsetischen und die Dienstpapiere der in den Stellwerken untergebrachten Fahrdienstleiter ganz mattes Papier von vergilbtem Aussehen.

4. Beleuchtung.

Auf Schaufenstern und Bezeichnungsschildern der Sicherungseinrichtungen 0,5 bis höchstens 2 Lux,

auf den Einschreibebüchern der Fernsprecher und den Meldebüchern 10 bis 20 Lux,

auf den Papierrollen der Morseschreiber 30 Lux,

auf den Schreibtischen der Fahrdienstleiter etwa 40 Lux.

Zur Platzbeleuchtung sind Sonderleuchten zu verwenden, die für diesen Zweck besonders auszugestaltet wären. Bei kleinen Bahnhöfen im Bedarfsfalle Aufhellung des Außen-

raumes auf der Langseite des Stellwerks durch eine eigene Leuchte, die nur während der Verschiebewegungen eingeschaltet wird.

Erläuterungen zu den Schlussfolgerungen.

Die Spiegelung eines beleuchteten Gegenstandes ist um so geringer, je geringer seine Leuchtdichte ist. Die Leuchtdichte (Helligkeit) eines beleuchteten Gegenstandes hängt aber ab von der Beleuchtungsstärke, mit welcher der Gegenstand angestrahlt wird, und von seiner Reflexion. Nur jener Teil der auf eine Fläche auftreffenden Beleuchtungsstärke wird wirksam ausgenutzt, der reflektiert wird; der Rest wird aufgesogen und in Wärme oder chemische Energie umgesetzt. Das Auge des Beschauers empfindet sonach nicht die Beleuchtungsstärke, von welcher eine Fläche getroffen wird, sondern die Leuchtdichte, mit der die beleuchtete Fläche das Licht zurückstrahlt. Aus alledem geht hervor, welche große Bedeutung bei der Stellwerkbeleuchtung der Reflexion zukommt, d. h. wie wichtig es im vorliegenden Falle ist, sie zu vermeiden oder doch so weit als möglich herabzusetzen.

In nachfolgender Zusammenstellung seien die angenäherten Werte der Reflexion verschiedener Farben angeführt. Es strahlen zurück:

Deckweiß	86 %	} des auftreffenden Lichtes
Hellgelb	50 %	
Rot	12 %	
Zinkgrün	10 %	
Ultramarinblau	7 %	
Schwarz	unter 4 %	

Für die Reflexion einer Fläche ist aber nicht nur ihre Farbe, sondern auch der Zustand ihrer Oberfläche maßgebend. Es ist von Bedeutung, ob das auftreffende Licht gerichtet oder zerstreut zurückgestrahlt wird. Die Reflexion ist am geringsten bei dunklen Farben, bei stumpfen, wenn möglich rauhen Oberflächen; sie nimmt um so mehr zu, je heller die Farbe und je glatter (lackiert, poliert, geschliffen) die Oberfläche des beleuchteten Gegenstandes ist.

Zu 1. Aus vorstehenden Darlegungen geht hervor, wie wichtig es ist, die Wände des Stellwerkraumes dunkel zu tünchen. Ein stumpfdunkles Moosgrün oder Olivgrün oder eine tiefdunkelblaue stumpfe Farbmischung ist zweckentsprechend und befriedigt auch in schönheitlicher Beziehung. Wichtig ist es, den Farbton so zu wählen, daß die Möbel und die Stellwerkeinrichtungen sich bei Nacht so wenig als möglich von der Wand abheben.

Zu 2. Es ergibt sich des weiteren, wie sehr hellgelbe Flächen — also polierte hölzerne Leitungskanäle des Blockwerks, lackiertes Messingtriebwerk und goldbronzierte Papierrollen der Morseschreiber, Messingdruckknöpfe der Blockwerktafeln, Messingumrahmung der Schaufenster des Blockwerks usw. — das auftreffende Licht zurückstrahlen und damit die Helligkeit des betreffenden Gegenstandes gegenüber der nicht oder weniger reflektierenden nächsten Umgebung hervorheben. Ganz besonders schlimm steht es in dieser Beziehung mit den weißen Gegenständen — weiße Schalttafeln, weiße Bezeichnungsschilder, weiße Anhäng- und Warnschilder, weiße Porzellanriffe — und ebenso mit den glänzenden Einrichtungsteilen — geschmigelte Hebelgriffe, lackierte farbige Flächen usw.

Eine besondere Betrachtung ist den Bezeichnungsschildern der Stellwerkeinrichtungen zu widmen. Man hat schon vor einigen Jahren empfohlen, schwarze Schilder mit weißer Schrift zu verwenden. Die Zweckmäßigkeit dieses Vorschlags zeigt ein einfacher Versuch. Wird das weißbemalte Schild mit mattschwarzem Papier abgedeckt, so ist die Fensterspiegelung des Schildes wie ausgelöscht. Nur die weiße Aufschrift kann dann noch hervortreten; aber auch diese wird bei einer Beleuchtungsstärke von 1 bis 2 Lux so gedämpft sein, daß sie in der Spiegelung kaum noch wahrnehmbar ist.

Schwarzer Untergrund der Bezeichnungsschilder muß schon deswegen überlegen sein, weil bei gleicher Beleuchtungsstärke die Leuchtdichte (Helligkeit) des schwarzen Grundes infolge seines sehr geringen Reflexionsvermögens sehr viel kleiner ist als die Helligkeit des weißen Untergrundes mit seiner hohen Reflexion. Was aber die Helligkeit einer Fläche ausmacht, das ist — wie schon vorher erläutert — vor allem das reflektierte Licht.

Frühere Versuche in einigen Reichsbahndirektionen kamen zu dem Ergebnis, daß Bezeichnungsschilder mit schwarzem oder

farbigem Grund keinen Vorteil bringen und die Blendwirkung die gleiche sei wie bei weißen Schildern. Der vorstehend geschilderte Versuch ergibt keine Bestätigung hierfür. Wichtig ist es, daß der Untergrund ganz mattschwarz und die Flächenhelligkeit gering ist. Vermutlich an beiden Punkten, sicherlich aber am letzteren Punkt, werden die früheren Versuche gescheitert sein. Alle Farben (gelb, rot, blau, grün und zuletzt sogar schwarz) erscheinen wieder als Spiegelung, je mehr die sie treffende Beleuchtungsstärke zunimmt. Deshalb erscheinen ja auch die grünlackierten Blockwerke und die blau und rot gestrichenen Hebel-scheiben als Fensterspiegelung bei der Anleuchtung durch Schlitz-leuchten und verschwinden um so mehr, je mehr die Flächenhelligkeit durch indirekte Beleuchtung abgemindert wird.

Zu 3. Ein großer Übelstand in bezug auf die Beleuchtung und Fensterspiegelung ist die Aufstellung von Tischen und Morse-schreibern unmittelbar vor den Stellwerkfenstern. Die auf den Tischen liegenden Hefte und Papierblätter spiegeln sich ungemein scharf, vielfach nach drei Fensterseiten, und stören den Ausblick außerordentlich. Hier wäre wirklich ein Grundübel beseitigt, wenn bei der bautechnischen Planung der Stellwerke gleich darauf Rücksicht genommen werden würde, diese Arbeitsstellen möglichst verdeckt anzuordnen.

Die Anregung in bezug auf die Papierwahl für Meldebücher und Einschreibehefte der Stellwerke ergibt sich ohne weiteres aus der großen Helligkeit, von der diese Papiere getroffen werden, wie auch aus dem hohen Reflexionsvermögen des weißen Papiers (80 bis 90 % des auffallenden Lichtes).

Zu 4. Die Beleuchtung der Fernsprecherpulte, der Morse-

schreiber und der Tische in den Stellwerken ist fast immer zu stark, wenn man berücksichtigt, daß es sich dabei nicht um dauerndes, sondern nur um kurzzeitiges Lesen oder Schreiben handelt. Wenn an solchen Stellen Lichtstärken von weit über 200 Lux festgestellt werden, so sind das Beleuchtungsstärken, die bereits für Zeichenarbeiten genügen, für ein Stellwerk aber übertrieben sind.

Im wesentlichen handelt es sich darum, bei der Platzbe-leuchtung die Leuchtdichte der beleuchteten Arbeitsfläche auf jenes Maß zurückzuführen, das zur Verrichtung der Tätigkeit, für welche die Platzbeleuchtung bestimmt ist, eben ausreicht. Diese Platzleuchten werden zwar immer die Form von Tief-strahlern haben müssen; jedoch erfüllen Leuchten, die das Licht der Glühlampen auf eine ganz kleine Austrittsöffnung zusammenpressen, den erstrebten Zweck nicht. Denn diese Art von Leuchten ergibt schon bei Besteckung mit der kleinsten Glühlampengröße (15 Watt) eine Leuchtdichte, die für Stellwerke zu groß ist. Durch geeignete Dämpfung der Lichtstärken (Abschirmung in einer Sonderleuchte) ist daher die Leuchtdichte auf das erwünschte Maß herabzudrücken. Um eigenmächtige Eingriffe des Personals hintanzuhalten, müssen technische Vorkehrungen getroffen werden, daß in die nach den vorgeschilderten Gesichtspunkten auszuge-staltenden Leuchten Glühlampen von mehr als 25 Watt nicht eingesetzt werden können*).

*) Geeignete Platzleuchten dieser Art stellt die Hellux A. G. als Stellwerk-Zusatzleuchten mit gedämpfter Ausstrahlung her. Der Lichtberg der Glühlampe wird durch eine emaillierte Innenkalotte abgeschirmt und zerstreut.

Persönliches.

Dr. Walter Reichel 70 Jahre alt.

Geheimrat Prof. Dr. Walter Reichel, ein Pionier des elektrischen Bahnbetriebs, vollendete am 27. Januar 1937 in Berlin-Lankwitz in körperlicher und geistiger Frische sein 70. Lebensjahr.

Die Gelegenheit zu seinen bahnbrechenden Erfolgen gab ihm seine Tätigkeit bei einer unserer elektrischen Großfirmen, bei Siemens & Halske, in die er als junger Ingenieur im Jahre 1889 eintrat und bei der er infolge seiner außerordentlichen konstruktiven Begabung bald in führende Stellungen aufrückte. Grundlegend für die Einführung des elektrischen Betriebes in der Zugförderung der Bahnen waren seine um die Jahrhundertwende ausgeführten Versuche mit hochgespanntem Drehstrom von 10 000 V auf der Versuchsstrecke in Lichterfelde und seine hervorragende Beteiligung bei den allbekanntesten Schnellversuchsfahrten auf der Schnell-

bahn Marienfelde—Zossen mit der damals alle anderen Geschwindigkeiten weit überholenden Geschwindigkeit von 210 km/h. Das System der elektrischen Ausrüstung der Berliner Hoch- und Untergrundbahn stammt von Reichel (1902), wie auch die Inbetriebsetzung zahlreicher elektrischer Bahnen des In- und Auslandes auf seine Tätigkeit zurückzuführen ist. Als ein Markpfeiler ist dabei die Einrichtung des elektrischen Betriebes und die Ausführung der zugehörigen Konstruktionen auf der ersten Einphasen-Wechselstrom-Bahn der Welt: Murnau—Oberammergau zu betrachten. — Wie seine Leistungen bei seiner Firma zu der Berufung in den Vorstand der SSW führten, so fanden sie auch Anerkennung durch die Berufung zum Professor an der Technischen Hochschule Charlottenburg und durch Verleihung des Ehrendokortitels.

Sein Name wird mit der Entwicklung des elektrischen Bahnbetriebs für immer verbunden bleiben.

Rundschau.

Lokomotiven und Wagen.

Kropfachs-Versuche der Paris-Lyon-Mittelmeerbahn.

Bei den seit 1925 laufenden 2D1(h4v)-Schnellzuglokomotiven, Reihe 241, A 1 der Paris-Lyon-Mittelmeerbahn*) mußten die Niederdruckzylinder abweichend von der sonst in Frankreich üblichen Bauweise ihres großen Durchmessers wegen nach außen gelegt werden. Die Kropfachse muß daher die Arbeit der Hochdruckzylinder aufnehmen, die bis zu $\frac{2}{3}$ der Gesamtarbeit ausmacht, und wird infolgedessen außerordentlich beansprucht. Bei einer Geschwindigkeit von 80 km/h steigt beispielsweise der Leistungsanteil der Hochdruckzylinder bis auf 1800 PS.

In diesem Umstand liegt auch der Grund für die besondere Achs- und Zylinderanordnung der Lokomotive. Um die durch die Zylinderkräfte schon sehr hoch beanspruchte Kropfachse wenigstens von den lauftechnischen Beanspruchungen einer führenden Kuppelachse zu entlasten, hat man sie an die zweite Stelle gerückt. Infolgedessen konnte für die außenliegenden Niederdruckzylinder nur noch der bei einer 2D1-Lokomotive sonst nie vorkommende Antrieb der ersten Kuppelachse übrig bleiben, da der Antrieb sämtlicher Zylinder auf einen Radsatz noch höhere Beanspruchungen der Kropfachse ergeben hätte und beim Antrieb der dritten Kuppelachse die Treibstangen außerordentlich lang ausgefallen wären.

Trotz dieser baulichen Maßnahmen hat aber die Kropfachse in ihren ersten Ausführungsformen nicht befriedigt.

Die erste Ausführungsform (Textabb. 1) zeigte eine aus drei Teilen zusammengesetzte Achse. Die beiden äußeren Teile umfaßten je einen Achsschenkel mit Kurbel und Kurbelzapfen; sie waren mit der Verlängerung der Kurbelzapfen in das zweifach abgekröpfte Mittelteil eingepreßt. Trotz gewisser Bedenken, die von Anfang an gegen die geschmiedeten Außenteile bestanden, glaubte man doch mit der verhältnismäßig einfachen Ausführung einen Versuch machen zu sollen. Die Achsen mußten jedoch schon nach einer Laufleistung von 50 000 km ausgebaut werden, weil sich sehr bald Anrisse in den Hohlkehlen A und B der Kurbelarme als den am wenigsten durchgeschmiedeten Teilen zeigten.

Man versuchte nun, die Biegungsbeanspruchung in den Hohlkehlen dadurch zu verringern, daß man den Massenausgleich der Innenzylinder von den Gegengewichten in den Radkörpern nach den inneren Kurbelarmen verlegte. Zugleich wurden die Achsstummel besonders hergestellt und in die Kurbelarme eingepreßt, so daß die Achse also jetzt aus fünf Teilen aufgebaut war. Diese Ausführungsform bewährte sich insofern besser, als der Lauf der Lokomotive ruhiger wurde und das Heißlaufen abnahm. Außerdem traten die Anrisse in der noch verbleibenden Hohlkehle B am Kurbelzapfen jetzt nicht mehr so rasch und stark auf, so daß

*) Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1925, S. 415, und 1930, S. 174.

