

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 57 (1966)
Heft: 21

Artikel: Der Schienenprüfzug der Deutschen Bundesbahn
Autor: Egelkraut, K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916641>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 15.01.2026

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

Suva-Lohnsumme oder der Energieumsatz das Mass für die Einstufung ergibt.

Auch die Technischen Prüfanstalten haben im Gegensatz zum etwas pessimistisch aufgestellten Budget einen erfreulichen Reingewinn auszuweisen. Wie Sie aus der Gesamt-Erfolgsrechnung des Vereins ersehen, erlaubt nach Vornahme der notwendigen kalkulatorischen Abschreibungen der totale zur Verfügung stehende Reingewinn von 224 000 Franken die mit Rücksicht auf die Bauvorhaben dringend notwendige Einlage in den Baufonds von 200 000 Franken und eine Rückstellung von 20 000 Franken für die CEE-Tagung in der Schweiz im Jahre 1967. Die CEE (Commission Internationale de Réglementation en vue de l'Approbation de l'Équipement Electrique) ist eine analoge Organisation wie die CEI (Commission Electrotechnique Internationale), befasst sich jedoch hauptsächlich mit dem in der Schweiz prüfpflichtigen Material. Sie unterhält kein

Sekretariat und erhebt keine Mitgliederbeiträge. Dafür haben die Mitgliedländer etwa alle 8 Jahre eine Tagung zu übernehmen.

Über die vorgesehene Statutenänderung werde ich mir erlauben, bei der Behandlung des Traktandums einige Erläuterungen zu geben. Es bleibt mir jedoch noch die angenehme Aufgabe, allen zu danken, die in Kommissionen, Ausschüssen und Fachkollegien mitgewirkt haben. Ganz besonders danke ich auch dem Personal des SEV für seinen Einsatz und seine Arbeit sowie meinen Kollegen vom Vorstand. Damit erkläre ich die Generalversammlung als eröffnet ¹⁾.

Adresse des Autors:

E. Binkert, Präsident des SEV, Meisenweg 1, 3303 Jegenstorf.

¹⁾ Das Protokoll der Generalversammlung erscheint in einem späteren Heft des Bulletins.

Der Schienenprüfzug der Deutschen Bundesbahn

Von K. Egelkraut, Minden/Westfalen

625.143.2

Die Deutsche Bundesbahn (DB) setzt zur Untersuchung von Schienen auf Werkstofffehler einen Schienenprüfzug ein. Da die Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen bei der Prüfungsgeschwindigkeit von 30 km/h nicht mehr unmittelbar ausgewertet werden können, werden die Anzeigen nach geeigneter Umwandlung photographisch registriert. Die vorliegende Arbeit beschreibt nach grundsätzlichen Ausführungen über die Prüftechnik die Ausrüstung des Prüfzuges; dabei werden Einzelheiten über die verwendeten elektronischen Geräte mitgeteilt. Die Erfahrungen, die bisher bei der Prüfung von 125 000 km Gleis auf den Strecken der DB und bei zahlreichen anderen Eisenbahnverwaltungen gesammelt werden konnten, zeigen, dass der Schienenprüfzug beim gegenwärtigen Stand der Entwicklung der Prüftechnik sowohl technisch als auch wirtschaftlich zufriedenstellend arbeitet.

Les chemins de fer fédéraux allemands (DB) se servent d'un train de contrôle des rails en vue d'examiner des défauts des rails ou des matériaux. Vu que les résultats de cet examen effectué aux ultrasons ne peuvent plus être évalués directement à une vitesse de contrôle de 30 km/h, les indications, une fois convenablement modifiées, feront l'objet d'un enregistrement photographique. Après des explications fondamentales sur la technique des essais, le présent article décrit l'équipement du train de contrôle en indiquant des détails concernant l'appareillage électronique. Les expériences acquises jusqu'à présent lors du contrôle de 125 000 km de tracé ferroviaire, tant sur les voies ferrées de la DB, que de celles de nombreuses autres administrations ferroviaires, prouvent qu'à l'état actuel du développement de la technique des essais le train de contrôle des rails fonctionne de manière satisfaisante du point de vue technique et économique.

1. Einleitung

Es gehört zu den anerkannten Vorzügen der Eisenbahn, den Reisenden und den zu befördernden Gütern ein besonders hohes Mass an Sicherheit zu bieten. Im Rahmen der mannigfaltigen Vorkehrungen, die gegen jedwedes Versagen ergriffen werden, kommt auch der Materialprüfung grosse Bedeutung zu. Um die mit dem Auge nicht ohne weiteres erkennbaren Schäden an wichtigen Teilen des rollenden Materials und des Fahrweges rechtzeitig zu entdecken, werden bei der Deutschen Bundesbahn (DB) ebenso wie bei den anderen Eisenbahnverwaltungen verschiedene Verfahren zur zerstörungsfreien Werkstoffprüfung intensiv eingesetzt: Röntgenuntersuchungen z. B. an Schweissverbindungen oder magnetische Prüfungen etwa an Teilen, die unter Schwingbeanspruchung stehen, sind allgemein bekannt und haben sich seit Jahrzehnten bewährt. Die genannten Methoden werden durch ein modernes Prüfverfahren — das Ultraschallverfahren — in hervorragender Weise ergänzt. Die DB setzte bereits im Jahre 1951 das damals noch neue Verfahren erstmalig zur Prüfung der Achsen der Schnellzug-Dampflokomotiven ein. Die dabei erzielten Erfolge ermutigten zu weiteren Bemühungen, die es schliesslich möglich machten, dass bereits seit vielen Jahren die Achsen aller Wagen und Triebfahrzeuge bis auf wenige

Ausnahmen regelmässig mit Ultraschall auf Risse hin untersucht werden.

Die unliebsamen Folgen von zwei Unfällen, die durch Schienenbrüche hervorgerufen worden waren, gaben dazu Anlass, das Ultraschallverfahren auch zur Prüfung von Schienen einzusetzen. In sinngemässer Übertragung der bei der Achsprüfung angewendeten Prüftechnik entstanden im Jahre 1953 zunächst die sog. Handgeräte, bei denen der Prüfer sein auf ein kleines Wägelchen montiertes Prüfgerät über das Gleis schiebt. Die mit diesen Geräten gewonnenen Ergebnisse liessen es wünschenswert erscheinen, einen möglichst grossen Teil des Streckennetzes regelmässig zu prüfen. Dies führte zum Bau des Schienenprüfzuges. Es ist die Absicht der vorliegenden Arbeit, seine Arbeitsweise und Ausrüstung unter besonderer Berücksichtigung elektronischer Fragen zu beschreiben.

2. Prinzip der Ultraschallprüfung

Bei der Ultraschallprüfung nach dem sog. Impuls-Echo-Verfahren wird hochfrequenter Schall mit einer Frequenz von zwei bis vier MHz impulsförmig in das zu untersuchende Werkstück eingesandt. An Grenzflächen, z. B. der dem Einschaltpunkt gegenüberliegenden Oberfläche oder an einer Fehlstelle tritt Reflexion auf. Unter bestimmten

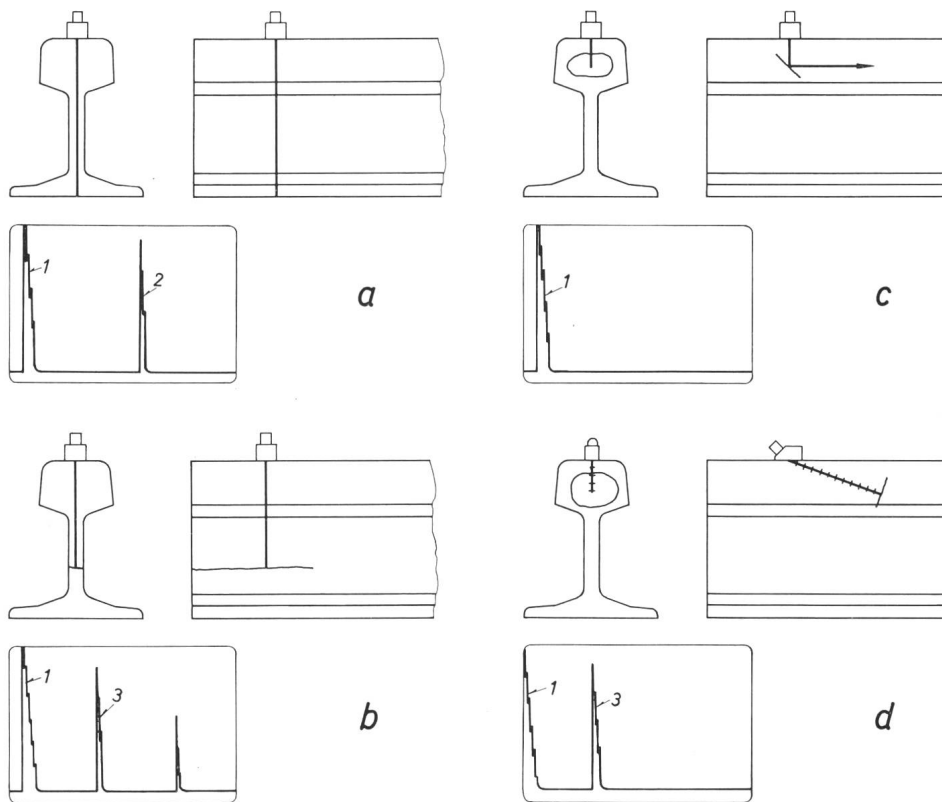


Fig. 1

Prinzip der Ultraschallprüfung von Schienen
Neben dem Verlauf des Schalles sind die auf dem Bildschirm des Ultraschallgerätes entstehenden Reflektogramme schematisch angegeben

a fehlerfreie Schiene; *b* Schiene mit horizontalem Fehler im Steg; *c* schräg verlaufender Querfehler bei Senkrechteinschallung; *d* schräg verlaufender Querfehler bei Schrägeinschallung
1 Sendeimpuls; 2 Bodenecho; 3 Fehlerecho

Die Ultraschallprüfung einer Schiene möge als Beispiel dienen. Eine fehlerfreie Schiene ergibt bei senkrechter Einschallung von der Fahrfläche aus das in Fig. 1a dargestellte Reflektogramm, das neben dem Sendeimpuls noch ein sog. Bodenecho zeigt. Enthält die Schiene beispielsweise im Steg einen horizontal verlaufenden Fehler, so wird wie bei dem in Fig. 1b gezeigten Schirmbild ein Fehlerecho beobachtet. Schräg verlaufende Fehler

(Fig. 1c) verraten sich lediglich durch den Ausfall des Bodenechos; da der Schall nach dem aus der Optik geläufigen Reflexionsgesetz z. B. in Richtung der Schienenlängsachse reflektiert wird, tritt hier kein Echo auf. Um aber auch derartige Schäden und besonders ausgesprochene Querfehler durch eine Echoanzeige positiv nachzuweisen, benutzt man die Schrägeinschallung, bei der, wie die Bezeichnung bereits verrät, der Schall nicht senkrecht, sondern unter einem Winkel von der Fahrfläche her in die Schiene eingesandt wird. Fig. 1d gibt ein Beispiel.

In Bezug auf den Schalldruck der akustischen Impulse gelten im Prinzip dieselben Gesetzmässigkeiten, die vom Verhalten elektrischer Wellen in Leitungen her bekannt sind. An jeder Stelle einer un stetigen Änderung des Wellenwiderstandes tritt neben dem durchgehenden Anteil auch eine starke Reflexion auf. Dies gilt auch für die Grenzfläche zwischen dem Schwingkristall, bzw. des davor angebrachten Materials und dem Werkstoff des zu prüfenden Stückes. Um eine wenigstens einigermaßen befriedigende akustische Anpassung des Wandlers an das zu prüfende Werkstück, hier an die Schiene, zu erzielen, wird Wasser als sog. Koppelmedium benutzt.

3. Grundsätzliche Überlegungen zur Prüftechnik des Schienenprüfzuges

Beim Bau des Schienenprüfzuges ergab sich neben anderem auch aus prüftechnischer Sicht eine besondere Problemstellung, die aus der Forderung herrührte, dass eine im Vergleich zu den üblichen, von Hand ausgeführten Ultraschallprüfungen beträchtlich höhere Prüfgeschwindigkeit erreicht werden sollte. Um dabei auch kleine Fehler sicher aufzufinden, müssen die einzelnen Prüfvorgänge möglichst dicht aufeinander folgen. Die sog. Impulsfolgefrequenz der im Schienenprüfzug verwendeten Ultraschallgeräte liegt bei etwa 3 kHz. Wesentlich höhere Impulsfolgefrequenzen

Voraussetzungen kehrt der Schallimpuls als Echo zu seinem Ursprungspunkt zurück. Aus der Laufzeit des Echos kann geschlossen werden, ob der Schall das ganze Werkstück durchlaufen konnte und es daher fehlerfrei ist, oder an welcher Stelle eine zur Reflexion Anlass gebende Unstetigkeitsstelle liegt. Selbstverständlich ist sowohl die Erzeugung der sehr kurzen Impulse wie auch der Nachweis der Echos und die Messung ihrer Laufzeit, die meist im Bereich zwischen 5 und 200 μ s liegt, nur durch die Anwendung elektronischer Hilfsmittel möglich. In der Regel wird ein scheibenförmig geschnittener und einige Millimeter dicker Piezo-Kristall durch einen kurzen aperiodischen elektrischen Impuls zu mechanischen Schwingungen in seiner Dickenresonanz angeregt. Durch hinreichend starke Bedämpfung des Schwingkristalles wird erreicht, dass auch der so erzeugte akustische Impuls — der sog. Sendeimpuls — nur wenige Mikrosekunden lang ist. Das zum Schwinger zurückkehrende Echo, das durch eine Reihe akustischer Phänomene stark geschwächt worden ist, erzeugt dort nur ein ausserordentlich kleines elektrisches Signal, das zunächst, damit es für die Laufzeitmessung den Vertikalplatten eines Kathodenstrahlrohres zugeführt werden kann, möglichst breitbandig um etwa 120 dB verstärkt wird. Der Kathodenstrahl wird horizontal in gewohnter Weise durch eine zeitlinear ansteigende Sägezahnspannung ausgelenkt, die jeweils synchron mit dem elektrischen Sendeimpuls ausgelöst wird. Um dem Betrachter den in beschriebener Weise ablaufenden Vorgang auf dem Bildschirm als ein stehendes Bild erscheinen zu lassen, wird die Prüfung periodisch mit einer Folgefrequenz von einigen 100 Hz wiederholt. Nach entsprechender Justierung, die die Schallgeschwindigkeit des geprüften Werkstoffes berücksichtigt, kann aus der Lage des Echos direkt bestimmt werden, wie weit der Schall gelaufen ist, und an welcher Stelle die Reflexion stattgefunden hat.

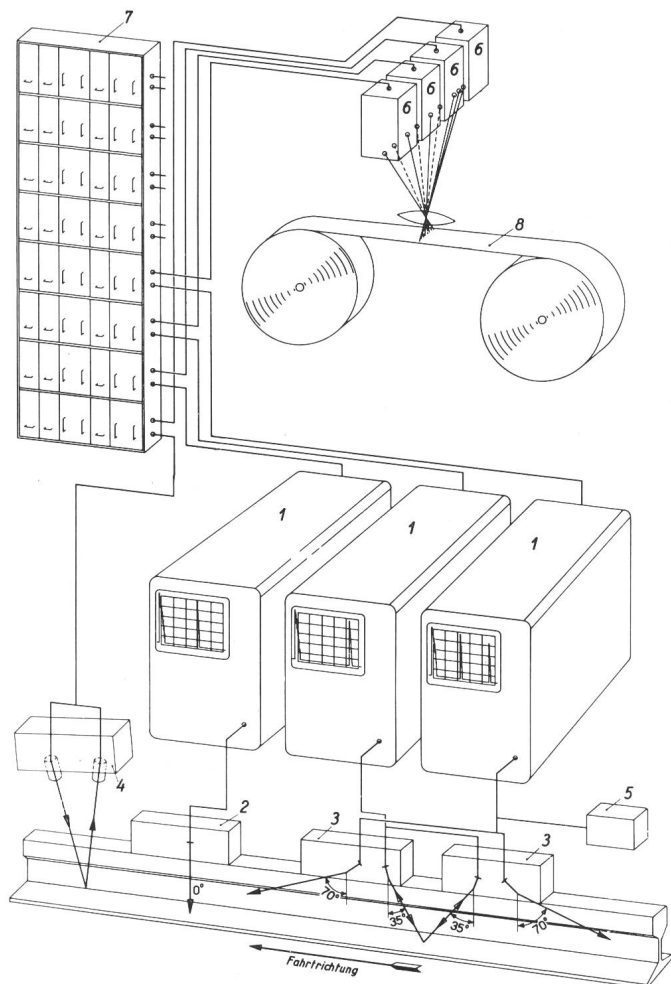


Fig. 2

Schematische Darstellung der im Schienenprüfzug verwendeten Anordnung der Schallwandler und ihrer Zuordnung zu den elektronischen Geräten und den Bildröhren

Die entstehenden Anzeigen werden photographisch registriert
 1 Ultraschallgeräte; 2 0°-Strahler; 3 Schrägstrahler; 4 Luftschall—
 Strahler-Kombination; 5 Hilfsliniengabe; 6 Bildröhre; 7 Rahmen—
 gestell mit Einschüben; 8 Registrierstreifen

verbieten sich, weil im Interesse der Eindeutigkeit vor dem Aussenden des nächsten Prüfsignals noch die Rückkehr der erst nach mehrfachem Hin- und Herlaufen durch das Werkstück vergleichsweise spät am Schallwandler ankommenden Echos, der sog. «Spätheimkehrer», abgewartet werden muss. Diese Totzeit ist prinzipiell unvermeidbar und muss in Kauf genommen werden. Da die einzelnen Schienenfehler nicht nur nachgewiesen, sondern auch nach Art und Grösse möglichst genau beschrieben werden sollen, werden 5 auf der Fahrfläche der Schiene schleifende Schallwandler gleichzeitig angewendet. Einer von ihnen ist für Senkrechteinschallung eingerichtet, während die anderen unter Winkeln von 35° bzw. 70° in Fahrtrichtung bzw. in entgegengesetzter Richtung arbeiten.

Neben diesen Körperschall-Strahlern wird zusätzlich eine aus getrenntem Sender und Empfänger bestehende Luftschall-Strahlerkombination eingesetzt. Sie hat die Aufgabe, Aufschlüsse über die äussere Form der Schiene im Bereich des Überganges zwischen Schienensteg und Schienenfuss zu gewinnen. Auf diese Weise können z. B. Laschen oder Schweisswülste nachgewiesen und später bei der Beurteilung der Anzeigen der anderen Strahler berücksichtigt werden.

Diese Strahleranordnung — sie ist in Fig. 2 skizziert — liefert beim Betrieb mit einer Impulsfolgefrequenz von 3 kHz eine ausserordentlich hohe Informationsdichte. Eine unmittelbare Auswertung der Anzeigen, die ausserdem noch gleichzeitig für beide Schienen anfallen, ist nicht mehr in der von der Handprüfung her gewohnten Weise durch Beobachten der Bildschirme der Ultraschallgeräte möglich. Die bei der Prüfung auftretenden Anzeigen müssen daher zunächst in geeigneter Form registriert werden, damit interessierende Stellen später in langsamer Folge oder im Stillstand betrachtet und ausgewertet werden können. Der naheliegende Vorschlag, alle Bildschirmanzeigen in einer Folge von Einzelbildern mit einem kinematographischen Verfahren aufzunehmen, lässt sich wegen der hohen Bildfrequenz und auch wegen des dazu notwendigen Filmaufwandes nicht verwirklichen. Es wurde daher stattdessen folgende Lösung gefunden:

Die auf dem Bildschirm der Kathodenstrahlröhre des Ultraschallgerätes dargestellten Anzeigen werden einer weiteren Kathodenstrahlröhre — der sog. Bildröhre — zugeführt. Während die zur zeitproportionalen Ablenkung des Kathodenstrahles verwendete Kippspannung auch bei der Bildröhre an die Horizontplatten angelegt wird, dient die vertikale Ablenkspannung der Kathodenstrahlröhre zur Helltastung der Bildröhre. Der Kathodenstrahl der Bildröhre schreibt also jeweils eine Linie, die nur an den Stellen aufgehellt wird, an denen ein Echo eine bestimmte Mindestgrösse erreicht hat. Die Anzeigen der Bildröhre, von denen jeweils eine einem Ultraschallgerät zugeordnet ist, werden durch eine Optik auf einen photographisch empfindlichen Registrierstreifen abgebildet, der proportional zur Bewegung des Messfahrzeuges senkrecht zu den Zeitlinien der Bildröhren kontinuierlich in einem Längenmaßstab von 1:100 bewegt wird. Auf diese Weise bilden sich zeitlich unveränderte Signale, z. B. der zur Anregung des Senkrechtrahlers benutzte Sendeimpuls und das bei senkrechter Einschallung von der Unterseite des Schienenfusses herrührende Bodenecho als gerade Linien ab. Wandernde Echos rufen dagegen auf dem Registrierstreifen schrägliegende Anzeigen hervor.

Das beschriebene und in Fig. 2 schematisch dargestellte Registrierverfahren wurde, soweit hier bekannt ist, beim Schienenprüfzug der DB erstmalig angewendet. Bei geeigne-



Fig. 3

Der Schienenprüfzug der DB

Das hinten stehende Fahrzeug ist der Triebwagen, das vordere der Messwagen

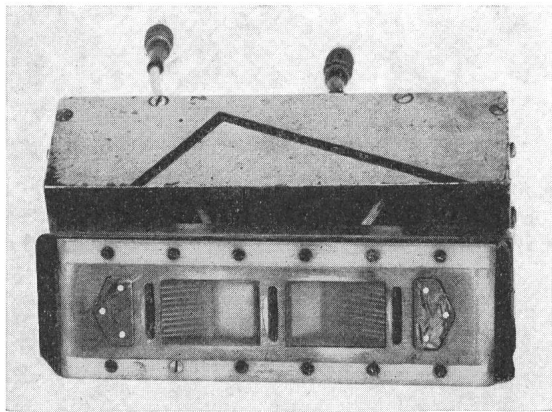


Fig. 4

Im Schienenprüfzug verwendete Schrägstrahler

In einem gemeinsamen Gehäuse sind ein 35°- und ein 70°-Strahler untergebracht. Man blickt auf die auf der Schiene schleifende Sohle; darüber das mechanisch robust gebaute Gehäuse

ter Tastung der Bildröhren und bei Verwendung von hochempfindlichem Aufnahmematerial können damit sogar einzelne Impulse noch sicher aufgezeichnet werden. Der Registrierstreifen enthält daher die gesamte, bei der Prüfung gewonnene Information. Legt man als Nachweisgrenze des Prüfverfahrens einen Ersatzfehler in Form einer quer zur Schienenlängsachse angebrachten Bohrung von 5 mm Durchmesser fest, so lässt eine überschlägliche und nur auf das Prüfverfahren bezogene Abschätzung eine maximale Prüfgeschwindigkeit von etwa 50 km/h möglich erscheinen.

4. Ausrüstung des Prüfzuges

4.1 Fahrzeugtechnischer und mechanischer Teil

Der Schienenprüfzug der DB, den Fig. 3 zeigt, besteht aus zwei je 13,75 m langen zweiachsigen Fahrzeugen. Der hintere Wagen — der Triebwagen — enthält zwei Unterflurmotoren von je 130 PS zum Vortrieb der Einheit und ein Stromerzeugeraggregat mit einer Leistung von 15 kVA zum Betrieb der Prüfeinrichtung. Innerhalb des Wagens sind in bescheidener Ausführung ein Aufenthaltsraum, eine Behelfsküche sowie Kojen als Schlafmöglichkeiten für die ständige Besatzung des Zuges eingerichtet. Der vordere Wagen, von dessen Führerstand die Einheit ebenfalls ge-

steuert werden kann, stellt den eigentlichen Messwagen dar. Unterhalb des Fahrzeuges läuft ein kleiner zweiachsiger Trägerwagen zur Führung der Schallwandler. Diese sind der rauen Beanspruchung wegen in ein entsprechend stabiles Gehäuse eingebaut. Die Gleitsohle besteht aus einer anfänglich 10 mm dicken Trogamidplatte, in die zur Erhöhung der Lebensdauer Stahlstücke eingelassen sind. Das Verschleißverhalten dieser Kombination ist bei niedrigem Anpressdruck so gut, dass die Sohle erst nach einer Prüfleistung von einigen tausend km erneuert werden muss. Fig. 4 zeigt einen Schrägstrahler. In einem gemeinsamen Gehäuse sind jeweils ein 35°- und ein 70°-Strahler untergebracht. Dies ist vorteilhaft, weil durch die Beobachtung des Durchgangsechos der einander zustrahlenden $\pm 35^\circ$ -Strahler auch für die 70°-Strahler eine gute Ankopplungskontrolle ermöglicht wird. In der Mitte des Messwagens befindet sich der sog. Registrierstand, dessen Einrichtung in Absatz 4.2 beschrieben wird. Der Messwagen enthält eine kleine, aber zweckmässig ausgestattete Werkstatt, in der auch auf ausgedehnten Messfahrten alle anfallenden mechanischen und elektronischen Wartungs- und Reparaturarbeiten ausgeführt werden können. Schliesslich ist noch eine einfach eingerichtete Dunkelkammer vorhanden, in der mit dem Registriermaterial hantiert werden kann, und in der regelmässig kurze Probestreifen entwickelt werden.

4.2 Elektronischer Teil

Wie bereits früher beschrieben, werden zur Anregung der piezo-elektrischen Wandler steilflankige aperiodische Impulse benutzt. Um störendes kapazitives Übersprechen der Sendepulse, die immerhin eine Scheitelspannung von 2 kV erreichen, auf die empfindlichen Verstärker, die anderen Wandlern zugeordnet sind, unschädlich zu halten, werden alle Senderstufen von einem zentralen Taktgeber über niederohmige Kathodenfolgerstufen gesteuert. Derselbe Taktgeber triggert auch die noch später zu besprechenden Kippgeräte. Die am Ausgang der Breitbandverstärker nach der Integrationsstufe erscheinenden elektrischen Signale können noch nicht unmittelbar zur Tastung der Bildröhren benutzt werden. Sie werden zunächst in einem Schmitt-Trigger in steil ansteigende Rechtecke mit einheitlicher Höhe umgeformt. Die Information über den vom Wandler aufgenommenen Schalldruck, die vor der Trigger-Stufe durch die Impulshöhe vermittelt wurde, ist jetzt nur noch mit gewissen Einschränkungen in der Breite des normierten Impulses enthalten. Dieses Signal wird in einer Mischschaltung einem den Prüfbereich definierenden Rechtecksignal überlagert. Eine darauffolgende Schneidestufe lässt nur solche Signale zur Taststufe der

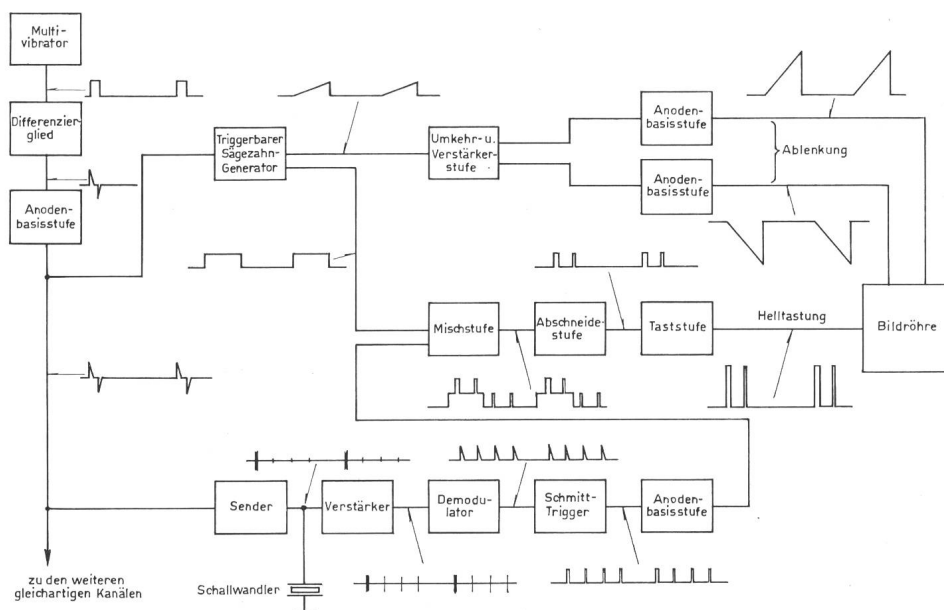


Fig. 5

Blockschaltbild der elektronischen Prüfeinrichtung

Die an den einzelnen Punkten beobachteten Impulssignale sind schematisch angegeben

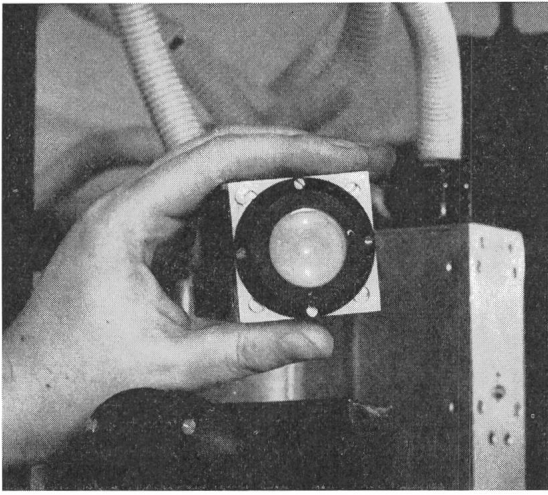


Fig. 6
Ansicht einer aus der Registrierkamera herausgezogenen Bildröhre
Auf dem Schirm sind drei hellgetastete Punkte der Zeitlinie zu erkennen

Bildröhre gelangen, die innerhalb des Prüfbereichs, also gleichzeitig mit dem Rechtecksignal in die Mischstufe gelangen. Mit dieser Schaltungsanordnung — Fig. 5 zeigt das Blockschaltbild und die an den einzelnen Punkten beobachteten Signale — können Impulse erzeugt werden, die die Bildröhre bei optimaler Helligkeit und Punktschärfe auftasten. Die Anstiegszeit eines 50 V hohen Tastimpulses ist kleiner als $0,1 \mu\text{s}$. Seine Breite liegt bei einer mittleren Anzeige bei $1,5 \mu\text{s}$. Als Bildröhren werden ihrer kleinen Abmessungen wegen Kathodenstrahlröhren vom Typ DB 3–12 benutzt. Sie arbeiten bei einer Beschleunigungsspannung von 2 kV. Während der Tastung fließt ein Strahlstrom von $150 \mu\text{A}$. Bei dieser Einstellung zeigen sich selbst nach einem Dauerbetrieb von einigen 100 h keine die Helligkeit nachteilig beeinflussenden Einbrandscheinungen auf dem Bildschirm. Fig. 6 zeigt eine solche Bildröhre. Allerdings muss bei der Verwendung der in Bezug auf die äusseren Abmessungen besonders gut geeigneten Bildröhren eine recht geringe horizontale Ablenkempfindlichkeit in Kauf genommen werden, zumal die Beschleunigungsspannung wesentlich über dem vom Hersteller für den üblichen

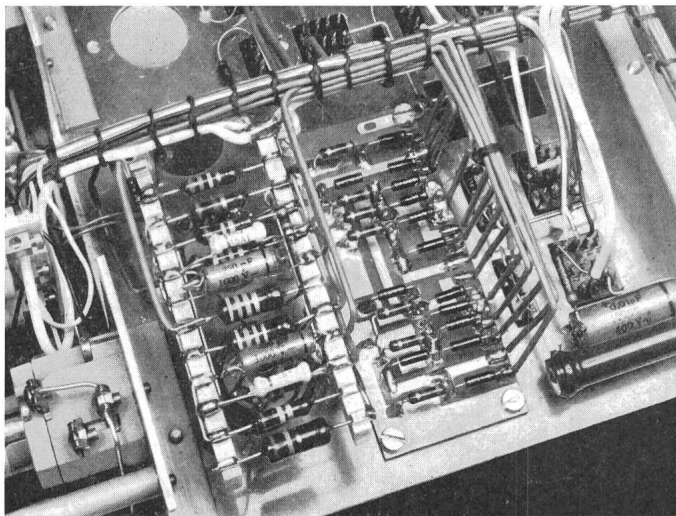


Fig. 7
Ausschnitt aus der Verdrahtung eines Einschubes
Auf der geätzten Leiterplatte ist ein Diodennetzwerk zur Verknüpfung verschiedener Signale angeordnet

Betrieb vorgesehenen Wert liegt. Um den Schirm über seine ganze Breite voll auszuschreiben, werden die Ablenkplatten symmetrisch mit positiver und negativer Sägezahnspannung von je 250 V angesteuert. Zur Erzeugung der Ablenkspannung wird ein sog. Miller-Integrator benutzt. Diese Schaltung ermöglicht es, eine gute Linearität des Anstieges der Kippspannung zu erzielen. Sie kann ausserdem vom zentralen Taktgeber her eindeutig getriggert werden. Die verstärkte und symmetrierte Kippspannung wird ebenfalls über sehr niederohmige Kathodenfolgerstufen ausgekoppelt, um Beeinflussungen der Kurvenform, die u. a. durch die Kapazität der abgeschirmten Leitungen zu den Bildröhren hervorgerufen werden könnten, auszuschliessen. Während für die positive Kippspannung die einfache Anodenbasisschaltung ausreicht, muss für die negative Komponente eine Kascodeschaltung nach *White* benutzt werden.

Vom zentralen Taktgeber abgesehen sind die beschriebenen Geräte im Schienenprüfzug in 8facher Form voneinander unabhängig im Betrieb, und zwar sowohl für die

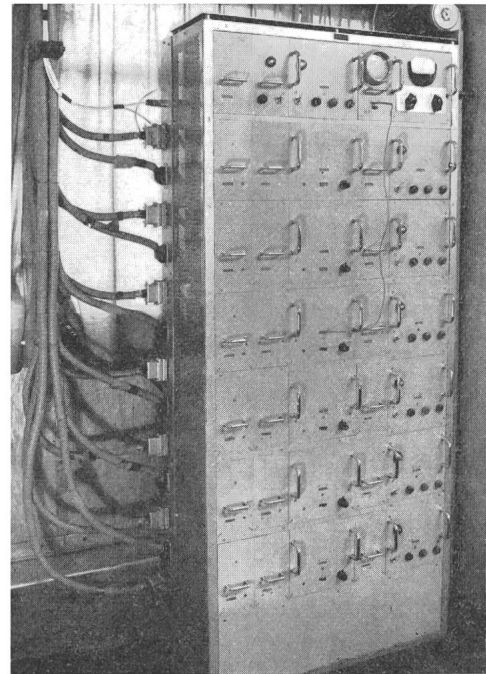


Fig. 8
Rahmengestell mit den Einschüben, die den Körperschallwandlern zugeordnet sind

Man erkennt die von den Frontplatten her zugänglichen Messpunkte. In der obersten Ebene sind ein einfaches Oszilloskop und ein Vielfachmessinstrument eingebaut

rechte als auch für die linke Schiene jeweils ein Kanal für den 0° -Strahler, die 35° - und die 70° -Strahler. Entsprechendes gilt für die Luftschallstrahler. Die einzelnen Baugruppen sind als Einschübe ausgebildet, die in zwei die Verdrahtung enthaltenden Rahmengestellen untergebracht sind. Die einzelnen Einschübe haben systematisch angebrachte Messpunkte, die von der Frontplatte her zugänglich sind. Ein im selben Gestell eingebautes einfaches Oszilloskop ermöglicht die Überwachung charakteristischer Impulsformen. Die Versorgungsspannungen und die den Netzteilen entnommenen Gleichströme können mit einem ebenfalls in das Gestell eingebauten Vielfachmessinstrument für jeden Kanal gemessen werden. Auf diese Weise kann die Anlage nicht

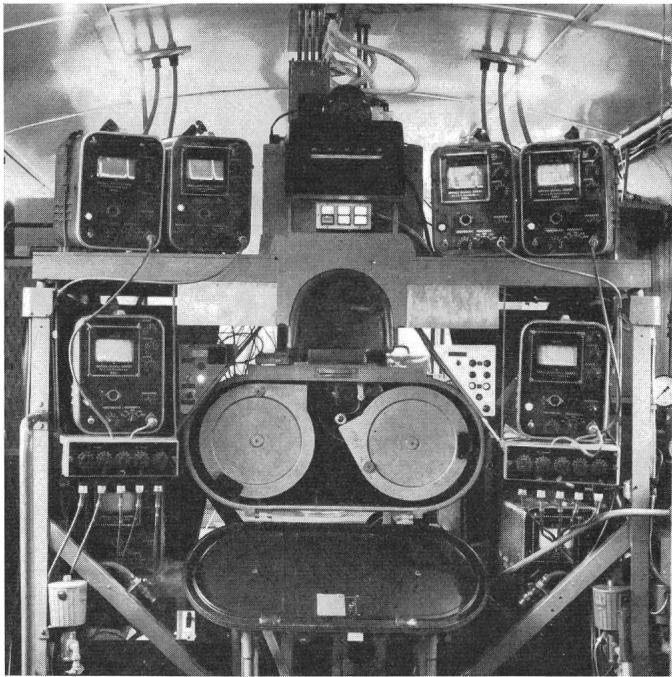


Fig. 9
Registrierstand im Schienenprüfzug

Die Anzeigen der in der Nähe der Wagendecke angeordneten Bildröhren werden photographisch in der hier zur Ansicht geöffneten Kamera registriert

nur bequem überwacht und gewartet werden, sondern es können auch Störungsquellen schnell aufgefunden und durch Auswechseln des entsprechenden Einschubes ohne Zeitverlust beseitigt werden.

Die einzelnen Baugruppen wurden in der Bundesbahn-Versuchsanstalt Minden entworfen und gebaut. Bei der Auslegung der Schaltungen und der Auswahl der Bauelemente wurde den Gegebenheiten des Eisenbahnbetriebs hinsichtlich der ständigen harten mechanischen Beanspruchungen und der Forderung nach hoher Zuverlässigkeit besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Weiter wurde versucht, mit einer möglichst geringen Zahl hochwertiger Röhrentypen auszukommen; es finden nahezu ausschliesslich kommerzielle Langlebensdauerrohre in vibrationsfester Ausführung mit zwischenschichtfreier Spezialkathode Verwendung. Widerstände und Kondensatoren wurden nach Möglichkeit in ihrer Belastbarkeit und Spannungsfestigkeit vorsorglich überdimensioniert. Transformatoren und Spulen sind einer Vakuumtränkung unterzogen worden. Die Verdrahtung wurde teilweise als geätzte Leiterplatten, teilweise unter Benutzung keramischer Stützleisten besonders rüttelfest ausgeführt. Figur 7 zeigt einen Ausschnitt aus einem Einschub. Figur 8 gibt eine Frontansicht eines der beiden Rahmengestelle wieder. Sender- und Verstärkerstufen der Körperschallwandler sind noch in den ursprünglich verwendeten kommerziellen Ultraschallgeräten eingebaut.

Es ist in einem weiteren Stadium der Fortentwicklung des Prüfzuges vorgesehen, auch diese Baugruppen als Einschübe auszubilden. In Fig. 9 ist eine Ansicht des sog. Registrierstandes gegeben. Neben den kommerziellen Ultraschallgeräten ist in der Mitte des Bildes die zur Ansicht geöffnete Registrierkamera zu erkennen. Darüber in der Nähe der Decke des Wagens sind — in Fig. 9 weitgehend verdeckt — die Bildröhren angeordnet.

5. Betriebsbewährung des Schienenprüfzuges

Der Schienenprüfzug der DB wurde im Jahre 1956 zu regelmässigen Prüffahrten in Betrieb genommen. Anfänglich konnte nur bis zu einer Prüffgeschwindigkeit von 20 km/h eine zufriedenstellende Güte der Registrierungen erzielt werden. In mühevoller Kleinarbeit wurden die Einrichtungen, insbesondere die Schallwandler, schrittweise verbessert. Eines der grössten Hindernisse, die anfänglich einer Erhöhung der Prüffgeschwindigkeit entgegenstanden, bestand in Störimpulsen, die bei mechanischen Beanspruchungen der elektroakustischen Wandler auftraten. Die in diesen Einrichtungen eingebauten Piezo-Kristalle arbeiten in diesem Fall unbeabsichtigt sozusagen als Aufnehmer für die mechanischen Stösse. Durch eine empirisch ermittelte optimale Form der Gleitsohle und durch sorgfältig abgestimmte elastische Aufhängung der Wandler in ihren sie führenden Schutzgehäusen konnten diese Störungen beseitigt werden. Seit dem Jahre 1960 werden die Prüffahrten mit einer fahrplanmässigen Geschwindigkeit von 30 km/h durchgeführt. Den Bemühungen, die Prüffgeschwindigkeit ohne Verlust an Information weiter zu steigern, stehen vornehmlich die schlechten Laufeigenschaften des zur Zeit benutzten zweiachsigen Messwagens entgegen. Insbesondere bei der Durchfahrt durch Bögen, die für grössere Geschwindigkeiten optimal überhöht sind, wirkt sich der «Spiessgang» des Fahrzeuges störend aus. Versuche haben gezeigt, dass den vom Fahrzeug herrührenden Schwierigkeiten durch den Einsatz eines mit zwei Drehgestellen ausgerüsteten Messwagens wirkungsvoll begegnet werden könnte. Der Prüfzug hat bisher eine Prüffleistung von rund 125 000 km Gleis erreicht. Er befährt in regelmässiger Folge etwa jährlich einmal die Hauptstrecken der DB. Einige wenige wichtige und schnell befahrene Gleise werden etwa halbjährlich untersucht. Darüber hinaus haben mehrere andere europäische Eisenbahnverwaltungen den Prüfzug mehrfach zum Einsatz auf ihren Strecken gemietet. Bereits seit dem Jahre 1963 werden alljährlich Strecken der Niederländischen Eisenbahn und der Belgischen Staatsbahn befahren. Die Österreichischen Bundesbahnen und die Luxemburgischen Eisenbahnen erteilen seit 1964 jährlich Prüfaufträge. Bei skandinavischen Verwaltungen, nämlich bei der Schwedischen und der Norwegischen Staatsbahn, war der Schienenprüfzug im Jahr 1963 und erneut 1966 im Einsatz.

Die täglich erreichbare Prüffleistung hängt stark von betrieblichen Umständen, vornehmlich von der Dichte der Zugfolge auf den zu prüfenden Strecken, ab. Bei einer täglichen Einsatzzeit des Zuges von etwa 7...8 h können im Durchschnitt 130...150 km geprüft werden. Es soll allerdings nicht verschwiegen werden, dass die Fahrplangestaltung für die Prüffgeschwindigkeit von 30 km/h auf stark befahrenen und elektrifizierten Strecken ausserordentlich schwierig ist, weil dort selbst schwere Güterzüge eine wesentlich höhere Reisegeschwindigkeit erreichen. Andererseits zeigt die Erfahrung, dass die Betriebsdienststellen bereit sind, diese Schwierigkeiten in Kauf zu nehmen, um durch eine einmalige Prüffahrt neben den nur seltenen akuten Schäden am Gleis auch die kleineren meist äusserlich nicht sichtbaren Fehlstellen und Mängel kennenzulernen. Unliebsame Störungen des Betriebs durch Schienenbrüche können auf diese Weise weitgehend vermieden werden.

6. Beispiele aus der Prüfpraxis

Es ist in der vorliegenden Arbeit nicht beabsichtigt, auf die Vielzahl der verschiedenen Schienenfehler, deren Bedeutung und ihre Registrierung im einzelnen einzugehen. Es sollen lediglich vier charakteristische Beispiele aus der Prüfpraxis vorgestellt werden, um einen Eindruck über die Leistungsfähigkeit und die Grenzen des Prüfverfahrens zu vermitteln.

6.1 Einzelne Bohrung im Schienensteg

Um die aneinander stossenden Schienen mit Laschen zu verbinden oder um andere Teile wie z. B. Radlenker an den Schienen anzubringen, werden Löcher mit einem Durchmesser von rund 30 mm in den Schienensteg gebohrt. Derartige Löcher, die selbstverständlich keine merkliche Schwächung der Schiene bedeuten, sind die einfachsten Unstetigkeitsstellen im Gleis. Fig. 10a zeigt das schematische Registrierbild einer Bohrung. In Fig. 10b ist ein entsprechender Ausschnitt aus einem echten Registrierstreifen reproduziert.

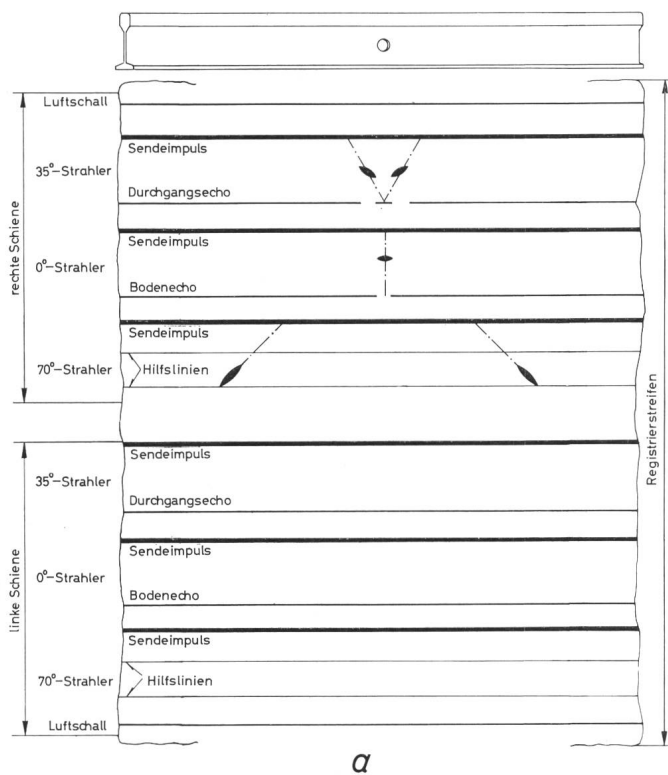


Fig. 10

Einzelne Bohrung im Schienensteg

a schematische Ansicht und konstruiertes Registrierbild;
b Reproduktion der Registrierung einer Bohrung in der rechten Schiene. Die senkrechten Striche in der untersten Spur sind elektronisch erzeugte 1-m-Marken. In der obersten Spur ist eine 5-m-Marke zu erkennen

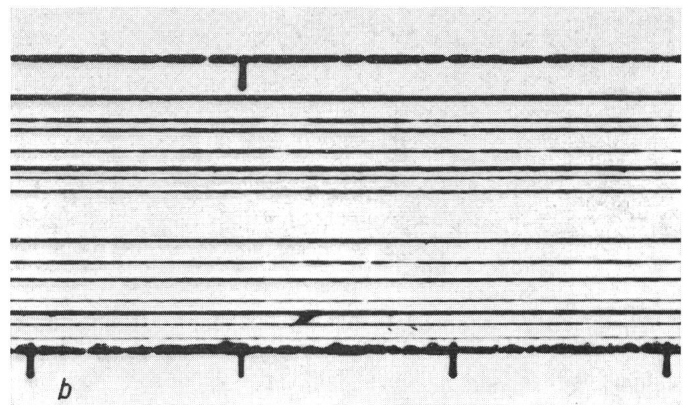
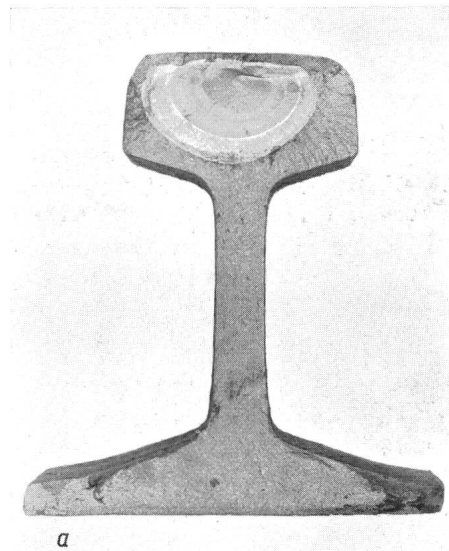


Fig. 11

Querfehler im Schienenkopf

a Bild eines gewaltsam aufgebrochenen Querfehlers. Die glatte Fläche ist der Dauerbruch;
b Reproduktion einer Registrierung eines annähernd gleichen Fehlers in der linken Schiene

Man erkennt den Ausfall in der Spur des Senkrechtstrahlers und das im Vergleich zur Lücke etwas kürzere Echo, das von der Oberkante der Bohrung herrührt. In den Spuren, die den beiden 35°- und 70°-Wandlern zugeordnet sind, erhält man symmetrische schräg liegende Anzeigen, deren Entstehung in diesem Fall durch einfache geometrische Überlegungen leicht einsichtig ist.

6.2 Einzelner Querfehler im Schienenkopf

Querfehler im Schienenkopf, die in einer bestimmten Form als Nierenbrüche bezeichnet werden, müssen als ein gefährlicher Schaden der Schienen angesehen werden, sofern ihre Ausdehnung einen nennenswerten Teil des Kopfquerschnittes erreicht, oder mehrere derartige Fehler in geringen Abständen innerhalb einer Schiene auftreten. Da die beiden Bruchflächen bei nur in einer Richtung befahrenen Strecken erfahrungsgemäss unter einem Winkel von etwa 20° zur Senkrechten liegen, liefern die senkrecht auf die Bruchfläche auftreffenden Impulse des einen der beiden 70°-Strahler ausgeprägte Reflexionen. Aus der Lage und der Länge der Anzeige kann der Auswerter die Grösse der Fehlstellen bestimmen. In Fig. 11 ist das Bruchbild eines derartigen Fehlers der Registrierung eines Fehlers von etwa der gleichen Grösse gegenübergestellt. Die Nachweisgrenze für derartige Querfehler liegt bei Fehlstellen, die nur eine

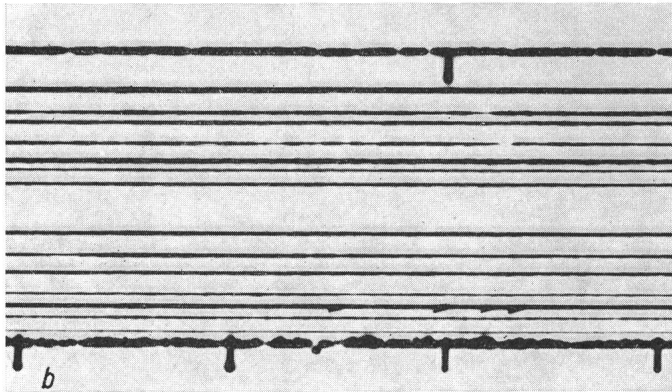
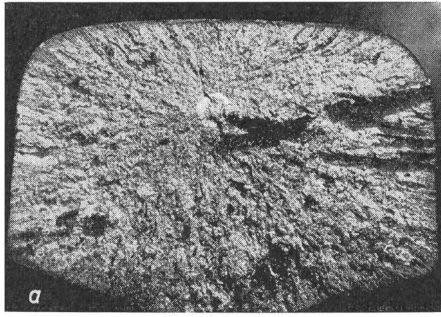


Fig. 12
Sehr kleine Querfehler im Schienenkopf

- a Bild des gewaltsam gebrochenen Schienenkopfes. Der Fehler ist die kleine in der Mitte erkennbare Fläche;
b Reproduktion einer Registrierung mit vier derartigen Fehlern in der linken Schiene

Fläche von wenigen mm² erreichen. Fig 12 gibt die Registrierungen aus einer Schiene mit einer Vielzahl derartiger Fehlstellen und das Bruchbild wieder, das beim gewaltsamen Aufbrechen der Schiene von einem solchen Fehler festgestellt wurde.

Es möge an dieser Stelle ergänzend erwähnt werden, dass bei der Auswertung der Registrierstreifen der Fehler, z. B. ein Nierenbruch, nicht nur nach seiner Art und Grösse erkannt wird, sondern dass es auch möglich ist, seine Lage im Gleis mit einer Unsicherheit von nur 10 cm anzugeben. Dies ist insbesondere bei äusserlich noch nicht sichtbaren Fehlern von Bedeutung. Während der Prüffahrten werden die an jeder Eisenbahnstrecke ohnehin aufgestellten Ortsmarken — z. B. auf den Strecken der DB die Hektometersteine — mit Peilgenauigkeit photographisch auf den Registrierstreifen übertragen. Mit Hilfe dieser Marken kann die Lage des Fehlers auf die Streckenvermessung bezogen mit einer Genauigkeit von ± 1 m beschrieben werden. Der genaue Ort des Fehlers wird durch eine weitere Angabe vermittelt: Ausser den Fehlern wer-

den bekanntlich auch alle anderen Unstetigkeitsstellen der Schiene registriert. Der Abstand des Fehlers zu einer im Gleis leicht erkennbaren Besonderheit, z. B. einer Bohrung, kann auf dem Registrierstreifen unschwer gemessen werden und, da der Abbildungsmaßstab sehr genau bekannt ist, auch die wahre Länge zwischen beiden Punkten angegeben werden. Die mit diesem Verfahren erzielte Genauigkeit reicht für die praktische Anwendung voll aus.

6.3 Fehlerhafte Laschenkammern

Die Laschenkammer zählt zu den Stellen des Gleises, die am stärksten beansprucht werden. Die beim Schienenprüfzug der DB gewählte Strahlerkombination erlaubt zuverlässig zu prüfen, ob an den Laschenlöchern Anrisse entstanden sind. Der Auswerter ist in den meisten Fällen sogar in der Lage, unter Benutzung aller Informationen, die die Registrierung enthält, neben der Ausdehnung auch den Verlauf des Anrisses anzugeben. Fig. 13 und 14 zeigen neben der schematischen Darstellung der Anzeigen aus einer fehlerfreien Laschenkammer die Reproduktion einer Registrierung einer fehlerhaften Laschenkammer in der rechten Schiene und die dazu gehörige Skizze des Auswerter.

6.4 Verschweisste Laschenkammern

Neben dem verlaschten Gleis findet das durchgehend verschweisste Gleis seiner bekannten Annehmlichkeiten und seiner wirtschaftlichen Vorteile wegen zunehmend wachsende Verbreitung. Die elektrisch hergestellten Abbrennstumpfschweissungen, die Lichtbogenverbindungs-schweissungen und die aluminothermischen Schweissungen (sog. Thermitschweissungen) können genau so wie die Schiene geprüft werden. Wegen einiger Besonderheiten der dritten Schweissart ist es allerdings erwünscht, derartige Schweißstellen im Verlauf der Schiene auf dem Registrierstreifen zu erkennen. Neben anderen wird diese Aufgabe von der Luftschallstrahlerkombination, die die Schweißwülste anzeigt, gelöst. Besonders wichtig wird diese Anzeige, wenn ehe-

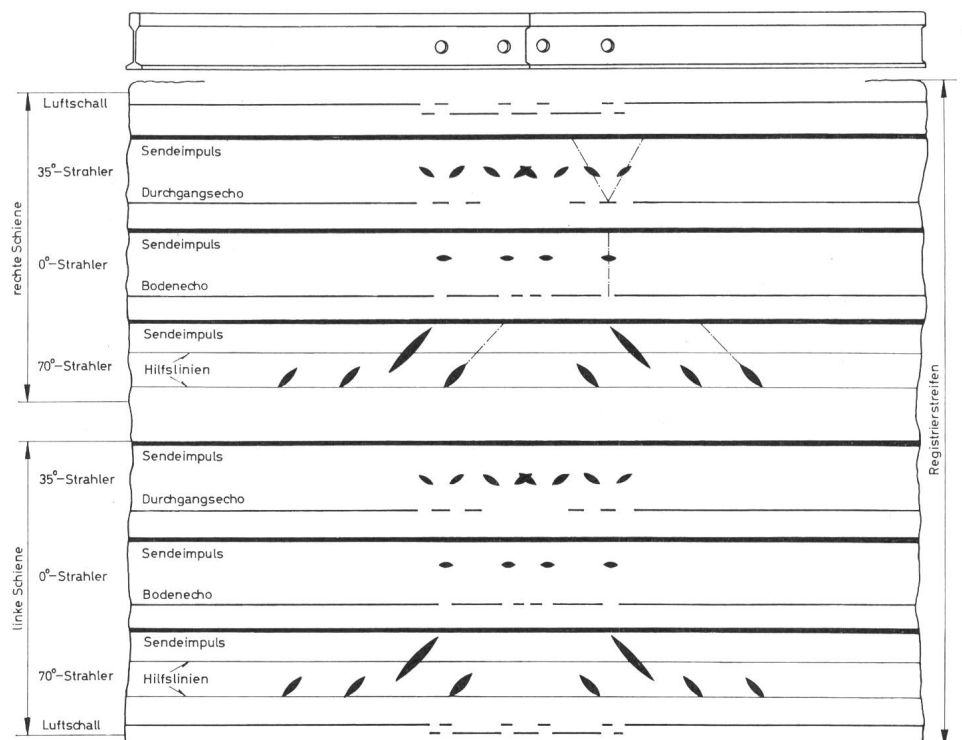


Fig. 13
Schematische Darstellung der Registrierung einer fehlerfreien Laschenkammer

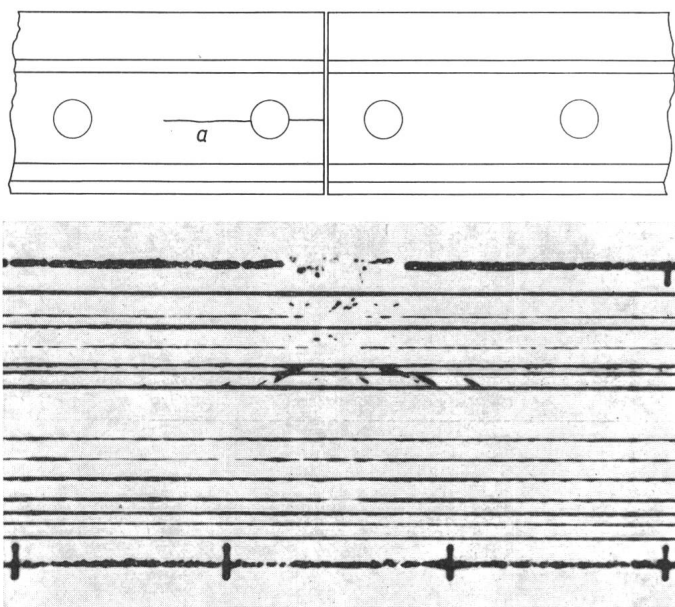


Fig. 14
Fehlerhafte Laschenkammer
a Darstellung des Bruchverlaufes

malige Laschenkammern, also Schienenenden, mit je zwei Bohrungen nach Abnehmen der Lasche durch eine Thermitschweissung geschlossen worden sind. Querfehler in der Schweissung würden z. B. ohne zusätzliche Luftschallanzeige als die bei üblichen Laschenkammern vorhandene Trennung zwischen den Schienen angesehen werden. Fig. 15 zeigt die Registrierung zweier im Gleis einander gegenüberliegender verschweisster Laschenkammern. Diese Figur lässt im Vergleich mit der in Fig. 13 gezeigten Registrierung einer normalen Laschenkammer zwar nur kleine, aber charakteristische Unterschiede erkennen.

7. Weitere Entwicklungsmöglichkeiten der Prüftechnik

Der Schienenprüfzug der DB hat seit seiner Inbetriebnahme lebhaftes Interesse bei zahlreichen Fachleuten gefunden. Vertreter ausländischer Eisenbahnverwaltungen haben bestätigt, dass der Einsatz eines derartigen Prüfzuges sowohl aus technischen wie auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten gegenüber der sog. Handprüfung zu bevorzugen ist, sofern längere zusammenhängende Streckenabschnitte untersucht werden sollen. Das bei der DB eingeführte Prüfverfahren, das alle Informationen, die bei den Prüffahrten gewonnen werden können, zunächst aufzeichnet und sie bei der späteren Auswertung auch weitgehend ausschöpft, ist auch im Ausland durchweg als zweckmässig anerkannt worden. Allerdings stehen bei einem derartigen Vorgehen die Ergebnisse der Prüfungen erst mit einer gewissen Verzögerung, die bei normalem Einsatz des Prüfzuges im Mittel etwa 2 bis 3 Wochen beträgt, zur Verfügung. Diese Zeit wird benötigt, um die Filme zu der zentralen Auswertestelle nach Minden zu senden, sie zu entwickeln und auszuwerten, die entsprechenden Meldungen aufzustellen und sie den in Frage kommenden Dienststellen zu übermitteln. Obwohl dieser Verzug bei Prüfungen, die jährlich oder in noch grösserem zeitlichen Abstand vorgenommen werden, nur in ausserordentlich seltenen Fällen nachteilig sein dürfte, wird gerade dieser Punkt gelegentlich als ein Schönheitsfehler des Verfahrens angesehen. Eine schnell-

lere Verarbeitung der Registrierstreifen liesse sich zwar durch organisatorische Massnahmen oder durch die Verlegung der Auswertearbeit in den Messzug selbst erreichen. Dies würde allerdings eine grosszügige Vermehrung des in der Auswertegruppe beschäftigten Personales nach sich ziehen, und eine erhebliche und nicht gerechtfertigte Verteuerung der Prüfungen bedeuten.

Eine andere Möglichkeit, Verzögerungen zwischen der Prüffahrt und der Meldung der Fehler zu vermeiden, besteht in der Benutzung moderner Methoden der Datenverarbeitungstechnik. Die bei der Prüffahrt gewonnenen Informationen könnten über einen Zwischenspeicher — etwa über ein Magnetband — oder sogar direkt einer Datenverarbeitungsanlage eingegeben und damit nach geeigneten Verfahren ausgewertet werden. Allerdings verlangt eine Anlage, die sowohl hinsichtlich der Beurteilung der verschiedenen Fehler als auch hinsichtlich der Ortsangabe etwa die Genauigkeit der menschlichen Auswerter erreicht, bereits einen beachtlichen Aufwand. Nach Ansicht des Verfassers erscheint ein Einsatz einer derartigen Anlage im gegenwärtigen Entwicklungsstand der Datenverarbeitungstechnik wirtschaftlich nur dann sinnvoll zu sein, wenn des Vorteils der schnellen oder gar sofortigen Auswertung wegen eine wesentliche Vereinfachung in der Beurteilung und Beschreibung der Fehler in Kauf genommen wird.

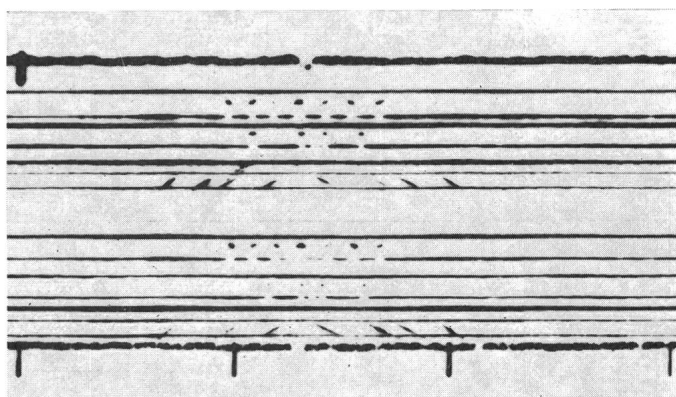


Fig. 15
Reproduktion der Registrierung zweier fehlerfreier, im Gleis einander gegenüberliegender verschweisster Laschenkammern
Man vergleiche die Anzeigen mit Fig. 13

8. Schlussbemerkung

Wie den vorstehenden Ausführungen entnommen werden kann, ist die Fortentwicklung des Schienenprüfzuges, der unter Leitung von Prof. E. Martin und Dr. K. Werner¹⁾ gebaut worden ist, noch nicht abgeschlossen. Der Verfasser, zu dessen Aufgaben es gehörte, die ursprünglich als ein Provisorium angesehene Einheit für den laufenden Einsatz auszurüsten und zu vervollkommen, möchte betonen, dass diese Arbeiten nur in aufgeschlossener Zusammenarbeit aller Beteiligten erfolgreich bewältigt werden konnten. Dank und Anerkennung gebührt der seit den ersten Prüffahrten nahezu unveränderten Besatzung des Schienenprüfzuges unter Leitung von G. Kaiser und der Auswertegruppe.

¹⁾ Einzelheiten können der Veröffentlichung von E. Martin und K. Werner, erschienen in «Eisenbahntechn. Rdsch.» 5(1956), S. 487...505, entnommen werden.

Adresse des Autors:

Dipl.-Phys. Klaus Egelkraut, Leiter der Gruppe «Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung» in der Bundesbahn-Versuchsanstalt Minden, Pionierstrasse 10, D-495 Minden (Westf.).