

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens

Technisches Fachblatt des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahnverwaltungen

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

94. Jahrgang

1. November 1939

Heft 21

Festigkeits- und Zerstörungsversuche an Wagenkästen.

Von Oberreichsbahnrat Otto Taschinger, München.

Nach einem im Wagenbau-Fachausschuß des VMEV. gehaltenen Vortrag.

(Schluß.)

Belastungsversuche bis zur bleibenden Verformung.

Beim zweiten Belastungsversuch sollte die Belastung des Wagenkastens so weit gesteigert werden, bis dauernde Verformung an einzelnen Bauteilen eintreten. Auf diese Weise konnte in einwandfreier Weise festgestellt werden, welche Bauteile sich nicht anteilmäßig an der Lastaufnahme beteiligen, welche also vom Konstrukteur im Vergleich zu anderen Konstruktionselementen etwa zu schwach bemessen wurden. Es wurden beim zweiten Belastungsversuch folgende Belastungsstufen gewählt:

7000 17000 27000 37000 44000 50000 56500 kg.

Die größte Prüflast von 56500 kg (Abb. 10) ist also etwa 112 v. H. größer als die im Betrieb vorkommende Höchstlast. In Abb. 11 sind die gemessenen Durchbiegungen der beiden Unter-

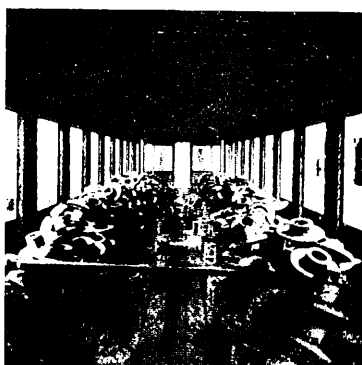


Abb. 10. Belastung des Wagenkastens mit 56500 kg.

gestell-Langträger bei der Be- und Entlastung bildlich dargestellt. Die im Verhältnis etwas größere spezifische Durchbiegung bei dem zweiten Belastungsversuch ist darauf zurückzuführen, daß dabei die Mitte stärker und die beiden Überhänge etwas weniger belastet wurden als beim ersten Versuch. Bei der größten Prüflast von 56500 kg bog sich der rechte Unter-

gestell-Langträger um 10,8 mm, der linke Langträger um 15,3 mm, das Untergestell also im Mittel um 13 mm, nach unten durch. Da das Untergestell nach vollkommener Entlastung wieder in seine Ausgangslage zurückging, war die Durchbiegung des Untergestelles trotz der außergewöhnlichen Belastung nur eine elastische.

An drei Querträgern wurden die Durchbiegungen ebenfalls gemessen; sie betragen bei einer Last von 55200 kg 14 bis 16 mm. Nach vollkommener Entlastung blieb jedoch eine dauernde Verformung von 4,5 mm zurück. Diese Querträger sind bei der im Betriebe allerdings nicht vorkommenden hohen Belastung über die Streckgrenze des Baustoffes hinaus beansprucht worden; sie sind also im Vergleich zu den übrigen Bauelementen zu schwach bemessen. Durch Vergrößerung der Steghöhe dieser leichten, aus Mannstaedtp Profilen bestehenden Querträger können ohne Gewichtsmehrung die Querträger entsprechend verstärkt werden, wobei in den Stegen größere Aussparungen angeordnet werden.

Bei einer Belastung von 30000 kg zeigten sich in den Seitenwandblechen und im Dach leichte Beulen, die sich mit zunehmender Belastung stärker ausprägten. Ihre ungefähre Form, der Verlauf und die Verteilung über die Seitenwand und Dachflächen können aus Abb. 9 entnommen werden.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. Neue Folge. LXXVI. Band.

Die in Abb. 9 des 1. Teiles, Seite 396, schraffiert gezeichneten Beulfelder bezeichnen Ausbeulungen nach innen, die nicht-schraffierten Felder solche nach außen. Im Bereich der Querkräfte und in der Mitte des Daches traten die meisten Beulen auf. In den Feldern neben den Drehzapfen verliefen die länglichen Beulen steiler und mehr nach der Wagenmitte zu flacher. Daraus läßt sich deutlich der Einfluß der senkrechten Scherkräfte erkennen. Nach Entlastung gingen die Beulen nicht wieder vollkommen zurück. Oberhalb der Fensterbrüstungsleiste traten Verbeulungen in jeweils drei zwischen Fenstern liegenden Seitenwandverblechungen auf. Unterhalb der Fensterbrüstung traten im gleichen Bereich ebenfalls Beulen auf, und

zwar jeweils unter den Fenstern. Die Welligung der Seitenwand unterhalb der Fensterbrüstung war jedoch wesentlich geringer als in der oberen Seitenwand. Sämtliche Verbeulungen traten auf im Anschluß an die Drehzapfenebene. Bemerkenswert ist, daß die Ausbeulungen bereits aufgetreten sind, wenn die Belastung 30 t überschritt, also nur wenig mehr als die Höchstlast betrug. Die Bleche, an denen Verbeulungen festgestellt wurden, sind jeweils nur durch Seitenwandsäulen

eingefaßt; sonstige versteifende Verbindungen zwischen den Seitenwandsäulen sind nicht vorhanden. Der Belastungsversuch hat gezeigt, daß solche Versteifungen zweckmäßig sind. Bei Verwendung von Blechen mit eingepreßten Sicken kann eine ausreichende Versteifung ohne merklichen Gewichts-aufwand erzielt werden. Es empfiehlt sich ferner das Seitenwandblech im Bereich der Beulgefahr auch oberhalb der Fensterbrüstungsleiste in gleicher Stärke auszuführen wie unterhalb derselben. Mit Rücksicht auf die vielen und großen Fensterauschnitte ist die Gewichtserhöhung unbedeutend; im übrigen könnte in Wagenmitte und an den Wagenenden, wo keine Verbeulungen eingetreten sind, das Seitenwandblech etwas schwächer gehalten werden. Im Bereich der drei Fenster in Wagenmitte sind auch bei der höchsten Prüflast keine Verbeulungen der Seitenwand aufgetreten. In diesem Bereich und gegen die Wagenenden sind also Versteifungen der Seitenwandbeblechung nicht erforderlich. Das Dach hatte Einbeulungen im ganzen Bereich zwischen den inneren Achsen. Die Einbeulungen traten in den zwischen den Dachsparren liegenden Dachblechen auf. Die Dachversteifung mit ihren kleinen Blechfeldern erwies sich bei dem Belastungsversuch

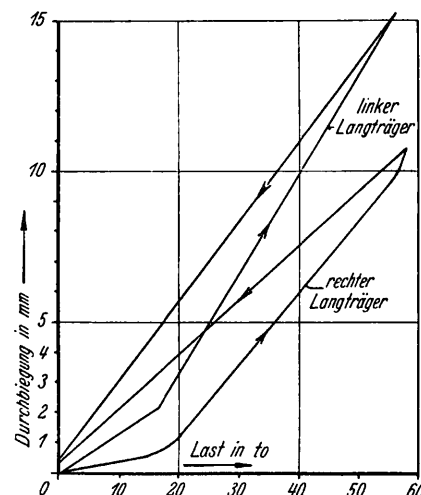


Abb. 11. Durchbiegung der Langträger bei Belastung bis zur bleibenden Verformung.

als sehr wirksam. Das Dach ist gut versteift und beteiligt sich anteilmäßig an der Lastaufnahme.

Zusammenfassend kann aus dem zweiten Belastungsversuch gefolgert werden, daß der Wagenkasten sämtlichen im Betrieb vorkommenden Belastungen gewachsen ist; lediglich die über das Untergestell verteilten Querträger zeigten bleibende Verformung — jedoch nicht die Hauptquerträger — aber erst bei einer Prüflast von 56500 kg, also einer um etwa 110 v. H. größeren Last als der im Betriebe vorkommenden Höchstlast. Obwohl die Langträger auch diese Last noch federnd aufnahmen, sind diese Querträger also höher beansprucht als die Langträger. Bei Neukonstruktionen können aber diese Querträger dadurch ohne nennenswerte Gewichtserhöhung verstärkt werden, daß die Steghöhe etwas vergrößert wird.

Um auch die letzten Zweifel über die zur Aufnahme der lotrechten Last vollkommen ausreichenden Bemessung der in Leichtbauweise hergestellten Wagenkastenkonstruktion zu beheben, wurde mit einem ähnlichen Steuerwagenkasten der folgende Belastungsversuch durchgeführt. Er sollte insbesondere auch feststellen, ob ein geschweißter Leichtbauwagenkasten für den Fall, daß an einer wichtigen Konstruktionsstelle eine stumpf geschweißte Verbindung im Betriebe durchreißt und der Schaden nicht sofort bemerkt wird, auch einige Zeit noch als vollkommen betriebssicher anzusprechen ist.

Als Versuchswagenkasten wurde der vom Verfasser im Org. Fortschr. Eisenbahnwes. 1939, Heft 1, S. 128 und folgende beschriebene und in der Taf. 9 unter Abb. 3 dieses Heftes im Grundriß dargestellte Steuerwagen mit 2. und 3. Wagenklasse (Lieferjahr 1937) verwendet. Dieser Steuerwagenkasten schien für die Durchführung der Versuche besonders günstig, weil die Seitenwände wegen der beiden gegen die Mitte des Wagenkastens zu liegenden Einstiege für die Aufnahme der lotrechten Last nicht voll tragfähig sind. Das Gewicht dieses Rohbauwagens beträgt nur 6600 kg bei einer Länge des Untergestelles von 21300 mm. Dieser Wagenkasten ist gegenüber dem oben beschriebenen Wagenkasten gleich schwer, jedoch ist seine Wagenkastenlänge um 21300 — 20700 = 600 mm größer. Die Leerlast dieses Wagens beträgt 6500 kg, die Betriebslast ebenfalls 6500 kg. Der Belastungsversuch wurde vorgenommen mit einer Prüflast von 20500 kg, wobei die im Betriebe vorkommenden Stöße mit 7500 kg ausreichend berücksichtigt wurden. Einschließlich des Rohbauwagenkastengewichts von 6600 kg betrug also die Höchstlast 27100 kg. Vor der Durchführung des Versuches wurde der rechte Untergestell-Langträger (bei Blick nach der Postraumseite) 300 mm von der Wagenmitte entfernt kurz hinter einem der beiden Mitteleinstiege durchgeschnitten, und zwar wurde Untergurt und Steg dieses Trägers vollständig durchgeschnitten, sein Obergurt wurde bis auf einen Rest von 10 mm eingeschnitten. Die Schnittstelle befindet sich also an einer hochbeanspruchten Stelle. Während der Belastung war der Wagenkasten an den Drehzapfen unterstützt und an den seitlichen Gleitstücken durch zwischengesteckte Keile gegen Kippen gesichert. Bei der Belastungsprüfung sollte festgestellt werden das Verhalten und die Durchbiegung des Wagenkastens bei ruhender Belastung, wenn der Untergestell-Langträger an einer hochbeanspruchten Stumpfstoßstelle gerissen ist. Die einzelnen Meßpunkte sind aus Abb. 12 zu ersehen. Die festgestellten Durchbiegungen an den Meßstellen gehen aus der folgenden Zusammenstellung hervor.

Die Auswertung der Zusammenstellung ergibt bei der höchsten Prüflast von 27100 kg eine größte Durchbiegung des Kastengerippes auf der Seite des durchgeschnittenen Trägers (Meßstellen 1 bis 7) von 4 mm; auf der Seite mit unge-

schwächtem Langträger beträgt die Durchbiegung 2,75 mm unter Berücksichtigung, daß die beiden die Drehpfannen tragenden Hauptquerträger rund 3,5 mm (Meßstelle 2, 2a, 6 und 6a) sich durchgebogen haben. Beim vollbeladenen Wagen beträgt die Durchbiegung der Langträger nur etwa 1,5 mm und die der Hauptquerträger 2,5 mm. Sämtliche Meßwerte sind als gering zu bezeichnen. Nach der Wiederentlastung gingen alle Durchfederungen auf Null zurück; die lotrechte Last wurde also elastisch aufgenommen. Auch am Seitenwandblech konnten an der Schnittstelle des Untergestell-Langträgers irgendwelche Veränderungen nicht festgestellt werden. Der Belastungsversuch mit durchgeschnittenem Untergestell-Langträger zeigte, daß der ganze Wagenkasten als Röhre sich an der Aufnahme der lotrechten Last beteiligt hatte.

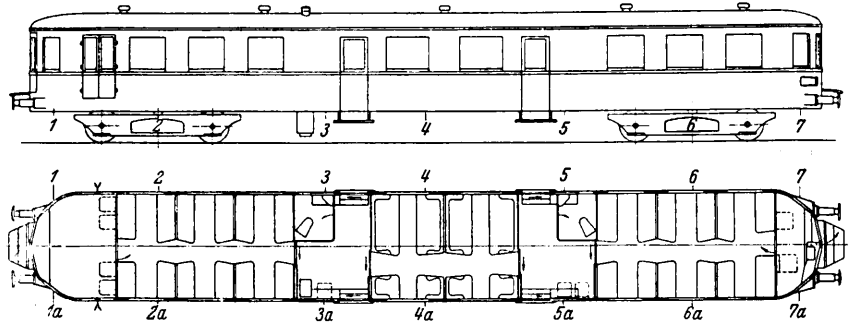


Abb. 12. Nebenbahntriebwagen.

Prüflast	Durchbiegung in mm bei Meßstelle														
	kg	1	1a	2	2a	3	3a	4	4a	5	5a	6	6a	7	7a
Leerlast . .	13 000	0,5	0,5	1,0	1,0	2,0	1,5	2,25	1,5	2,0	1,0	1,25	1,0	1,0	1,0
Vollast . .	19 500	1,25	1,0	3,0	2,5	4,0	3,5	4,5	4,5	3,5	3,25	2,0	2,0	2,0	2,0
Höchstlast	27 100	1,5	1,25	3,25	3,5	6,5	5,5	7,5	6,25	6,0	5,0	3,75	3,5	3,25	3,0

Druckversuche.

Da der Steuerwagen nur allein oder mit einem zweiten Steuerwagen zusammen mit einem Triebwagen läuft, wurde er mit leichten Puffern mit einer Endkraft von 12 t ausgerüstet. Das Untergestell des Wagens wurde für 2,25 t Pufferstöße berechnet. Die Steuerwagen wurden erstmals mit einem über die ganze Untergestellbreite gelegten Wellblech ausgerüstet, wobei die Wellung des Bleches in Wagenlängsrichtung, also in Richtung der Pufferkräfte angeordnet wurde. Da nicht bekannt war, in welchem Maß das Wellblech an der Aufnahme der Pufferstöße sich beteiligt, wurde es bei der statischen Berechnung nicht berücksichtigt. Der erste Druckversuch wurde unter der ungünstigsten Annahme durchgeführt, daß die Pufferdrücke auf den unbesetzten Wagenkasten wirken. Der Rohbauwagenkasten wurde daher mit einer Last von 7000 kg, die gleichmäßig am Wagenfußboden verteilt wurde, beladen. Sodann wurden die beiden Puffer in Stufen von 5000 kg je Puffer durch hydraulische Pumpen bis zu 2,25000 kg, d. i. bis zu dem der Berechnung zugrunde gelegten höchsten Pufferdruck gedrückt. Hierauf wurde der Wagenkasten, ohne erst die Drücke stufenweise zu vermindern, sofort auf 0 kg entlastet. Um die Verkürzung des Wagenkastens und sein Ausweichen nach oben oder unten feststellen zu können, wurden nach Abb. 13 zwölf Meßuhren angeordnet. Die Meßstellen befinden sich an beiden Wagenseiten in unmittelbarer Nähe der Einstieg- bzw. Postraumtüren, d. i. also in der Nähe der beiden Wagenenden. Die Meßpunkte 1, 4, 10, 7 befanden sich am Untergestellangträger, die Meßpunkte 2, 5, 11, 8 in Höhe der Fensterbrüstung und die Meßpunkte 3, 6, 12, 9 in Höhe des Dachlangrahmens. Durch diese Verteilung der zwölf Meßpunkte ist es möglich, festzustellen, in welcher Weise sich der gesamte Wagenkasten unter dem Einfluß der Druckkräfte ver-

formt. Aus Abb. 14 ist ersichtlich, daß bei 2×25 t Pufferdruck die Untergestell-Langträger sich um etwa 4,8 mm, die Fensterbrüstung um etwa 5,1 mm und der Obergurt um etwa 1 mm sich elastisch verkürzten. Um die bei diesen Pufferdrücken auftretenden Spannungen messen zu können, wurden nach Abb. 13 an verschiedenen Stellen acht Maßhaken-Spannungsmesser angeordnet. Die auf dem Seitenwandblech vorgesehenen Meßstellen 1 bis 4 befinden sich in Wagenkastenmitte, und zwar Meßstelle 1 am Untergestell-Langträger, Meßstelle 2 in Mitte des unteren Seitenwandbleches, Meßstelle 3 an der Fensterbrüstung und Meßstelle 4 am Dachlangrahmen. Außerdem wurden vier weitere Meßstellen (5, 6, 7, 8) auf dem Wellblechfußboden ebenfalls in Wagenkastenmitte angeordnet um bei dem Versuchswagen ermitteln zu können, in welchem Maß sich das Wellblech an der Druckaufnahme beteiligt. Die gemessenen Spannungen sind in Abb. 15 als Funktion der Pufferdrücke graphisch dargestellt. Betrachtet man die Meßstellen am Untergestell, also die Meßpunkte 1, 5, 8, 6 und 7, so sind hier bei zweimal 25 t Pufferdruck folgende Druckspannungen ermittelt worden, die in nachfolgender Übersicht zusammengestellt sind:

Nr.	Meßstelle Bezeichnung	Druckspannung in kg/cm ²
1	Untergestell-Langträger	625
5	Wellblechfußboden, rechts außen	750
8	„ links außen	840
6	„ rechts innen	575
7	„ links innen	895

Die Übersicht gibt in einwandfreier Weise an, daß sich die Druckspannungen fast gleichmäßig über Untergestell-Langträger und Wellblechfußboden verteilen. Das Wellblech beteiligt sich also in hervorragender Weise an der Druckaufnahme, es ist ein Konstruktionselement, das zur Aufnahme der Pufferkräfte nicht entbehrt werden kann. Bei dem Pufferdruck von 2×25 t sind die im Untergestell gemessenen Druckspannungen noch sehr gering. Der Druckversuch zeigte, daß dem durch den Wellblechfußboden ausgesteiften Untergestell wesentlich höhere Pufferkräfte zugemutet werden können. Betrachtet man die Meßergebnisse der auf der Seitenwandbeblechung angeordneten Meßstellen (1, 2, 3 und 4), so ergibt sich folgendes Bild:

Nr.	Meßstelle Bezeichnung	Druckspannung in kg/cm ²
1	Untergestell-Langträger	625
2	Mitte unteres Seitenwandblech (Wagenkastenschwerpunkt)	1300
3	Fensterbrüstung	665
4	Dachlangrahmen	150

Während der Untergestell-Langträger und die Fensterbrüstung etwa in gleicher Höhe beansprucht sind, zeigt die Meßstelle 2 eine wesentlich höhere und die Meßstelle 4 eine wesentlich kleinere Druckspannung. Der Spannungswert der Meßstelle 2 erweist klar, daß bei Messung von Druckspannungen in Blechen, die ausbeulen können, Spannungsmesser mit kleiner Meßlänge nötig sind, weil sonst durch Messen der Sehne der Ausbeulung eine in dieser Größe im Blech nicht auftretende Spannung vorgetäuscht wird. Es wird vermutet, daß das

Blech an dieser Stelle, wenn auch nicht sichtbar, ausgebeult war. Es erscheint daher zweckmäßig, das untere Seitenwandblech zur Erhöhung seiner Tragfähigkeit entweder durch Rippen oder besser durch Sicken drucksteifer und beulfester

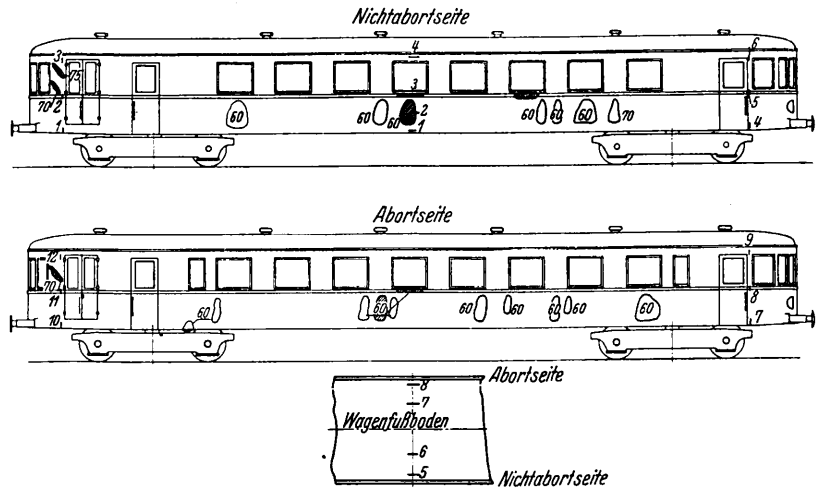


Abb. 13. Druckversuch.

zu machen. Mit Rücksicht auf die geringen Druckspannungen im Dachlangrahmen könnte dieser noch wesentlich schwächer bemessen werden. Die in der Seitenwand auftretenden Druckspannungen sind im wesentlichen noch sehr gering, so daß auch mit Rücksicht auf die Seitenwände dem Wagenkasten wesentlich höhere Pufferkräfte zugemutet werden können.

Der zweite Druckversuch wurde mit Druckstufen von zweimal 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 75 Tonnen oder 150 t höchste Gesamtpufferkraft durchgeführt. Messungen wurden nur bis 140 t durchgeführt, weil von diesem Druck ab ein schnelleres Ausknicken des Wagenkastens zu befürchten war, bei dem die Meßuhren und der Wagenkasten hätten beschädigt werden können. In diesem Druckbereich sind Druckversuche zudem noch gefährlich für das mit der Durchführung beauftragte Personal. Auch bei diesem Versuch war der Rohbauwagenkasten mit 7000 kg, entsprechend dem betriebsmäßigen Leergewicht des Wagenkastens, beladen. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abb. 14 graphisch dargestellt. Folgende Verkürzungen sind bei einem Gesamtpufferdruck von 140 t gemessen worden:

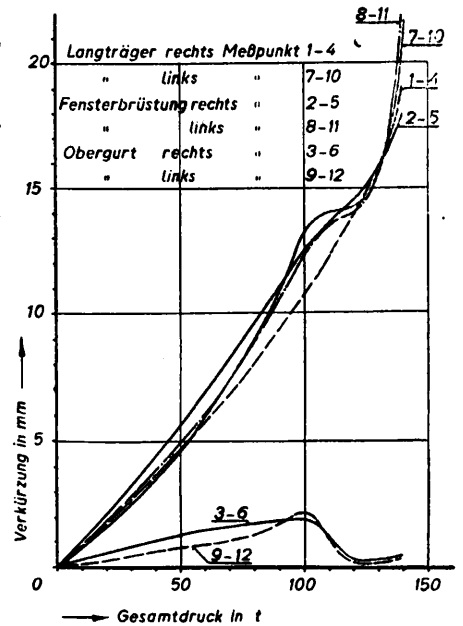


Abb. 14. Verkürzung des Wagenkastens beim Druckversuch.

Wagensseite	Verkürzung in mm		
	Langträger	Fensterbrüstung	Dachlangrahmen
Rechts	19,1	~ 18,0	~ 0,5
Links	20,6	~ 20,8	~ 0,4

Die graphische Darstellung läßt aus dem Verlauf aller Linien erkennen, daß im Druckbereich von $2 \times 60 = 120$ t an einer Stelle des Untergurtes eine bleibende Verformung eingetreten war. Eine genaue Untersuchung des Untergestelles

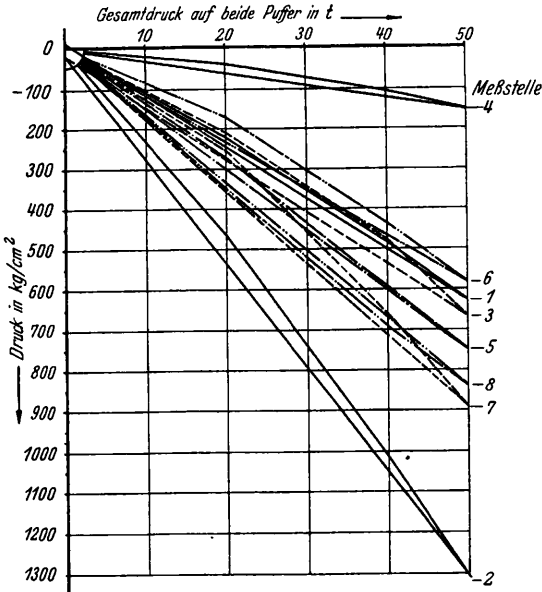
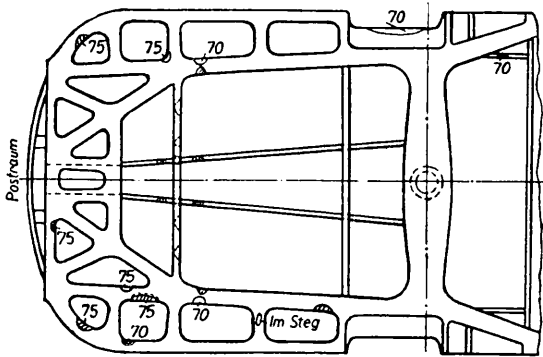


Abb. 15. Spannungsmessungen beim Druckversuch.

bestätigte diese Annahme. Auf der Postraumseite waren im Überhang des Untergestelles an vielen Stellen Trägerflansche eingeknickt. Bei weiterer Steigerung des Druckes vergrößerten sich die Einknickungen und es traten neue hinzu. In Abb. 16



Zeichenerklärung:
 (Ausbeulungen nach oben
 " " " unten
 * unterer Flansch
 Zahl = Druck in t₀ bei dem Ausbeulung eintrat

Abb. 16. Schäden am Untergestell beim Druckversuch.

sind alle Schäden des Untergestelles aufgezeichnet. Die Einknickungen traten an den Gurtblechen auf, und zwar an den Aussparungen. Als Hauptursache von dieser Art des Abknickens wird anzusehen sein, daß die Langträger wegen der geringen Fußbodenhöhe hinter dem Drehzapfen zu der höher liegenden Pufferbohle nach oben gebogen werden mußten. Dadurch entsteht beim Drücken gegen die Puffer, wie aus Abb. 17 zu ersehen ist, ein Biegemoment $P \cdot l$, das die Untergestell-Langträger stark beansprucht. Auch am anderen Wagenende waren im Untergestell leichte Schäden aufgetreten.

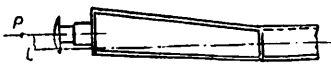


Abb. 17. Gekröpfter Langträger.

Gleichzeitig mit dem Ausknicken des Untergestelles traten in der gewölbten Stirnwand des Packraumes starke schräge Beulen auf. Größere Ausbeulungen traten insbesondere in der Seitenwand unterhalb der Fensterbrüstung auf. Sämtliche

Verbeulungen sind in den auf Abb. 13 gezeichneten Wagenkästen eingetragen worden. Aus der Tatsache, daß die Beulen im unteren Teil der Seitenwände hauptsächlich auftraten und der obere Seitenwandteil und das Dach vollkommen glatt blieben, erkennt man, daß sich der Wagenkasten in der Mitte trotz des entgegenwirkenden Momentes durch den exzentrischen Angriff der Pufferkraft auf das Untergestell nach oben etwas durchbog. Entsprechende Messungen haben diese Annahme bestätigt. Nach Entlastung gingen die Beulen in den Seitenwänden etwas zurück, verschwanden aber nicht vollständig. In der Stirnwand und im Untergestell verblieben die starken Ausknickungen: dementsprechend gingen auch die gemessenen Verkürzungen nicht ganz auf 0 zurück. An anderen Stellen des Untergestelles konnten keine bleibenden Formveränderungen festgestellt werden.

Aus den Ergebnissen der Druckversuche geht hervor, daß der Wagenkasten Drücke bis zu 150 t aufzunehmen in der Lage wäre, wenn die Langträger ungekröpft durchgeführt oder bei der bisherigen Bauart an den nach oben gebogenen Enden verstärkt würden.

Schwingerversuche.

In Abb. 3 sind die Ergebnisse der Schwingerversuche bei lotrecht schwingender Beanspruchung bildlich aufgetragen. Dabei wurde der Wagenkasten bei einem Versuch nur auf den Drehpfannen abgestützt; bei einem zweiten Schüttelversuch lag der Wagenkasten auf den Drehpfannen und auf den Gleitstücken. Außerdem ist in die Abb. 3 noch die Schwingungskurve mit Zusatzlast eingetragen, wobei der Wagenkasten auf den Drehpfannen und Gleitstücken abgestützt war. Aus den Schaubildern ist zu entnehmen, daß bei der betriebsmäßigen Abstützung des Wagenkastens auf den Drehpfannen die Eigenfrequenz des Wagenkastens in lotrechter Richtung 9,3 Hertz beträgt, während bei der Abstützung des Wagenkastens auf Drehpfannen und Gleitstücken 10,04 Hertz ermittelt wurden. Dieser Unterschied von 0,74

Hertz deutet darauf hin, daß die Hauptquerträger nicht sehr steif, sondern ziemlich elastisch sind. Dieser Umstand ist jedoch nicht unerwünscht, da auf diese Weise auch die Hauptquerträger noch eine gewisse Federung bei vom Gleis her rührenden Stößen übernehmen. Voraussetzung für eine solche Anordnung ist allerdings, daß die Gesamtfrequenz nicht zu niedrig wird. Auch aus dem Belastungsversuch konnte die verhältnismäßig große Durchbiegung der Hauptquerträger festgestellt werden. Die festgestellte Eigenfrequenz des Wagenkastens mit 9,3 Hertz ist nicht sehr hoch; trotzdem wurden bei später durchgeführten Laufversuchen in senkrechter Richtung keine ungünstigen Ergebnisse erzielt, wenn auch bei diesen Versuchen die geringe Steifigkeit der Querträger ein leichtes Durchzittern des Wagenfußbodens in Wagenlängsachse verursachte.

Aus den Kurven der Abb. 3 ergeben sich folgende für die Festigkeitseigenschaften des Wagenkastens maßgebende Werte:

$$\vartheta = \pi \frac{f_2 - f_1}{f_1} = \sim 0,15$$

$$m = \frac{2}{\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 - 1} = \frac{2}{0,49} = 4,1 \text{ kg/sec}^2 \text{ cm}^{-1}$$

$$c = 4 \pi^2 - f_1^2 \cdot m = 39,44 \cdot 10,04^2 \cdot 4,1 = 16300 \text{ kg/cm.}$$

Bei genau in der Mitte des Wagenkastens angreifender Belastung von 16300 kg würde sich also der Wagenkasten um 1 cm durchbiegen. In Abb. 18 sind die Ergebnisse der Schwingerversuche bei waagerechter quer zur Wagenlängsachse schwingender Beanspruchung bildlich aufgetragen. Der Wagenkasten wurde bei diesen Versuchen sowohl auf den Drehpfannen als auch auf den Gleitstücken abgestützt. Aus den dargestellten Kurven ist zu entnehmen, daß die Eigenfrequenz des Wagen-

kastens bei waagerechter schwingender Beanspruchung 8,6 Hertz beträgt. Auch diese Frequenz von 8,6 Hertz erscheint nicht hoch: trotzdem ergaben die später angestellten Laufversuche, daß die Laufeigenschaften waagrecht, quer zur Gleisachse vollkommen einwandfrei waren.

Aus den Schaubildern der Abb. 18 lassen sich die Werte für m und c wie folgt ermitteln:

$$\vartheta = \pi \cdot \frac{f_2 - f_1}{f_l} = \sim 0,226$$

$$m = \frac{2}{\left(\frac{f_1}{f_2}\right)^2 - 1} = \frac{2}{0,56} = 3,57 \text{ kg/sec}^2 \text{ cm}^{-1}$$

$$c = 4 \pi^2 \cdot f_1^2 \cdot m = 39,44 \cdot 73,9 \cdot 3,57 = 10400 \text{ kg/cm,}$$

d. h. eine Last von 10400 kg, die in der Mitte des Wagenkastens waagrecht, quer zur Gleisachse angreift, ist in der Lage, den Wagenkasten nur um 1 cm durchzubiegen.

Im Anschluß an die schwingungstechnischen Untersuchungen wurden mit Hilfe des Schwingers Zerstörungsversuche (Dauerfestigkeitsversuche) durchgeführt. Der Schwinger wurde dabei so eingestellt, daß die Schwingungen 8,5 bis 9 Hertz betragen. Die größte Resonanz, die beim betriebsmäßig abgestütztem Wagenkasten in lotrechter Richtung 9,3 Hertz beträgt, konnte nur näherungsweise eingestellt werden, weil der Schwingermotor für die Dauerleistung zu schwach war. Den bei Dauerfestigkeitsversuchen ermittelten Schwingzeiten wurden die Schwingzeiten des schwingungstechnischen Vorversuches hinzugezählt. In der nebenstehenden Zusammenstellung sind die Stellungen der Schwingmassen, die Laufzeiten des Schwingers und die nach gewissen Zeiten am Rohbauwagenkasten aufgetretenen Schäden zusammengestellt. Zunächst wurde mit geringer Massenstellung des Schwingers (50 cmkg) das allgemeine Verhalten des Rohbauwagenkastens und der Unterstüzungen beobachtet und dann die Massenstellung bis zur größten einstellbaren Stellung vergrößert. Gegen Ende der Versuche mußte allerdings die Massenstellung des Schwingers auf 280 cmkg reduziert werden, weil zu befürchten war, daß Zahnräder und Motor beschädigt werden.

Aus der Zusammenstellung geht hervor, daß schon nach einer Schwingerzeit von nur 3 Std. 8 Min. bei der geringen Masseneinstellung des Schwingers von 50 cmkg in Wagenkastenmitte die Querstrebe zwischen den Obergurten in 4,5 bzw. 5,5 cm Abstand von den Schweißnähten brach. Diese Querstrebe hat während des Schüttelversuches mit einem Gesamtausschlag von etwa 5 bis 7 cm geschwungen. Die durch Winkeleisenbänder und durch ein 0,75 mm starkes Blech versteiften Querstreben werden bei dem Schwingerversuch abwechselnd auf Zug und Druck beansprucht, sie sind den beim Schütteln auftretenden Dauerbeanspruchungen nicht gewachsen. Beim betriebsfertigen Wagen sind sie zwar durch die Holzzwischenwände versteift, sind aber trotzdem, da sie nach den Ergebnissen der Belastungs- und Schwingerversuche häufiger auf Druck als auf Zug beansprucht sind, zu schwach. Die Anrisse an der Querstrebe wurden zugeschweißt und die Schüttelversuche mit der auf 100 cmkg erhöhten Masseneinstellung fortgesetzt. Nach einer Schüttelzeit von weiteren 2 Std. 25 Min. (also insgesamt 5 Std. 33 Min.) ist die Querstrebe über der neben dem Postraum liegenden Eingangstür in einer Entfernung von 45 bzw. 55 mm von der Seitenwand entfernt neben den Schweißnähten ebenfalls gerissen. Nachdem die Querstrebe wieder angeschweißt war, wurde der Schwingerversuch 87 Min. mit der Massenstellung 200 cmkg und

sodann 5 Std. 40 Min. mit der Massenstellung 300 cmkg fortgesetzt, ohne daß am Wagenkasten irgendwelche weitere Schäden auftraten. Die Massenstellung wurde sodann auf den Höchstwert von 324 cmkg eingestellt. Hierbei betragen die Amplituden meist 0,6 cm, nur gelegentlich auch 0,7 cm, bei 280 cmkg schwanken sie zwischen 0,4 und 0,6 cm. Nach einer Gesamtlaufzeit von 19 Std. 50 Min., d. h. nach einer Lastwechselzahl von 606800, sind auf beiden Wagenseiten am Postraumende an zwei Untergestellquerträgern an dem Einschnitt für die Schiebetür Anrisse, und zwar auf einer Wagenseite zwei und auf der gegenüberliegenden Seite ein Anriß aufgetreten. In Abb. 19 sind die beschädigten Stellen zu erkennen. Aus der Abbildung ist aber auch zu ersehen, daß der Querträger an den Anrißstellen wegen der hier erforderlichen Schiebe-

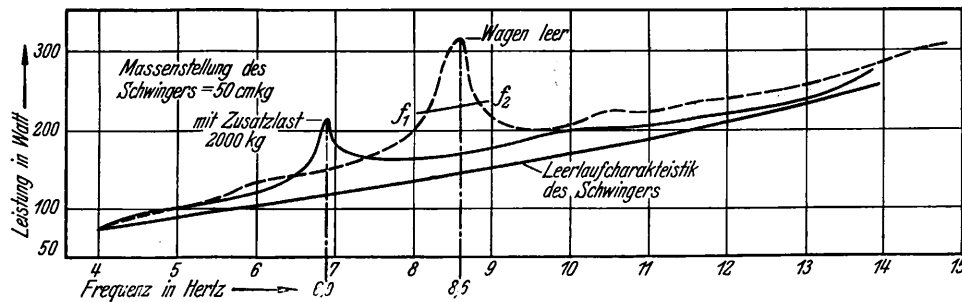


Abb. 18. Schwingerversuch waagrecht, quer.

türtasche außergewöhnlich geschwächt ist. Nach Instandsetzung, d. h. nach Auskreuzen und Ausschweißen der Anrisse

Lfd. Nr.	Massenstellung des Schwingers cmkg	Laufzeit im einzelnen		Gesamtlaufzeit		Bemerkungen
		Std.	Min.	Std.	Min.	
1	50	3	08	3	08	Querstrebe zwischen Obergurten in Wagenmitte in Wandnähe gerissen (durch zwei Löcher).
2	100	2	25	5	33	Querstrebe über Einstiegtür 45 bzw. 55 mm von der Wand entfernt gerissen.
3	200	1	27	7	00	
4	300	5	40	12	40	
5	324	6	30	19	10	
6	324	—	40	19	50	Zwei Untergestellquerträger neben der Einstiegtür an dem Einschnitt für die Schiebetür eingerissen. Ein Träger riß an beiden Enden und der dahinterliegende nur an einem Ende. Abb. 20.
7	324	1	50	21	40	Neben der Schweißstelle auf der Rückseite des Wagens (linke Seite) erneut gerissen. Querverbindung in Wagenmitte zwischen den Obergurten zweimal gerissen.
8	324	1	50	23	30	Beide Querträger auf rechter Seite des Wagens neben den Schweißstellen erneut gerissen. Stellen wurden nunmehr durch Bleche verstärkt.
9	324	14	45	38	15	
10	324	4	05	42	20	Mittlere Querstrebe zwischen Seitenwänden an der rechten Wagenseite abgerissen, außerdem Versteifungsblech mehrmals gerissen. Schäden wurden wieder behoben. Untergestellquerträger dort eingerissen, wo Längsträger für die Bremse angeschweißt. Träger liegt in Wagenmitte. Schaden wurde nicht beseitigt.
11	280	11	20	53	40	Masseneinstellung des Schwingers mußte etwas zurückgestellt werden, weil Schwinger bereits mehr als 50 % überlastet war.
12	280	5	15	58	55	

etwa 59 Std.

ist nach einer weiteren Laufzeit von 1 Std. 50 Min. auf der einen Wagenseite ein neuer Anriß an der gleichen Stelle neben der Schweißnaht aufgetreten. Als nach einer weiteren Schüttel-

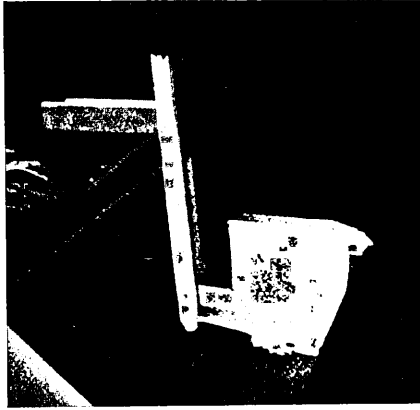


Abb. 19. Schiebetürausschnitt.

zeit von 1 Std. 50 Min. wieder beide Querträger neben den Schweißstellen erneut rissen, wurden diese schwachen Stellen

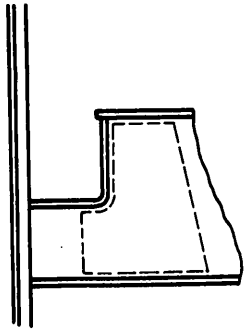


Abb. 20. Verstärkung
des Schiebetüraus-
schnittes.

nach Abb. 20 durch Einschweißen von Blechen verstärkt. Die oberen Querstreben zwischen den Seitenwänden rissen wiederholt. Weiterhin traten im Laufe der Versuche an einem Untergestellquerträger, an dem der Schwinger befestigt war, Anrisse auf. Diesen Schäden ist aber keine Bedeutung beizumessen, da dieser Querträger durch den unmittelbaren Kraftangriff stärker als andere Bauteile beansprucht wurde. Nach rund 59 Std., also $59 \cdot 30600 = 1805400$ Hüben traten die ersten Schäden ein, die auf Ermüdungserscheinungen des Baustoffes schließen lassen. Es rissen eine größere Anzahl von Fensterecken und eine Seitenwandsäule neben dem dritten Fenster des Führerstandes ein (Abb. 21).

Seitenwand, also im Bereich der Querkräfte. Der Versuch zeigt deutlich die Ermüdungserscheinungen an solchen Stellen, wo eine plötzliche Änderung des Kraftflusses auftritt. Dieser Anrißgefahr kann, wenn man überflüssigen Baustoff vermeiden will, bei der Dünoblechbauweise nur dadurch begegnet werden, daß man die Fensterecken abrundet. Mit Rücksicht auf diese Anrißgefahr ist es auch notwendig, beim statischen Belastungsversuch die in diesen Fensterecken auftretenden Spannungen genau durch Messung festzustellen. Außer den bereits angegebenen Anrissen sind solche noch an den Ausschnitten beim Hauptquerträger aufgetreten.

Durch den Schüttelversuch wurden die schwachen Stellen der Konstruktion bei dynamischer Beanspruchung angezeigt. Der Versuch zeigte insbesondere, daß durch geringe Konstruktionsänderungen, die das Gesamtgewicht des Wagens nicht beeinflussen, die schwachen Bauteile ausreichend verbessert werden können. Diese Verbesserungen sind nur erforderlich, um eine ideale Wagenkastenkonstruktion zu erhalten, also eine Bauweise, bei welcher an allen Stellen des Wagenkastens gleich große Festigkeit vorhanden ist. Für die im Eisenbahnbetrieb vorkommenden Beanspruchungen sind auch die bei dem Schwingerversuch als zu schwach befundenen Bauteile ausreichend bemessen, weil die beim Wagenlauf auftretenden größten Amplituden, wie anlässlich von Versuchsfahrten einwandfrei gemessen wurde, nur etwa 0,9 mm betragen gegenüber 6 bis 7 mm bei den Schüttelversuchen. Bei so kleinen Amplituden wären die beanstandeten Bauteile auch nach einer wesentlich längeren Versuchsdauer auf keinen Fall eingerissen. Die großen Amplituden, die fast zehnmal so groß sind als im praktischen Eisenbahnbetrieb, wurden lediglich zu dem Zweck gewählt, um in verhältnismäßig kurzer Zeit etwaige Konstruktionselemente festzustellen, die im Vergleich zu den übrigen Bauteilen schwächer bemessen sind, oder deren Formgebung ungünstig ist. Auch die Erfahrungen, die mit den leichten Steuerwagen und sonstigen Leichtbaufahrzeugen bisher gemacht wurden, bestätigen die Ansicht, daß Anrisse an schwächeren Bauteilen der Wagenkästen nicht auftreten. Auch Ermüdungserscheinungen an den Baustoffen konnten bisher nicht festgestellt werden. Es ist hierbei zu berücksichtigen, daß die Schwingungsamplituden nicht nur eine geringe Größe

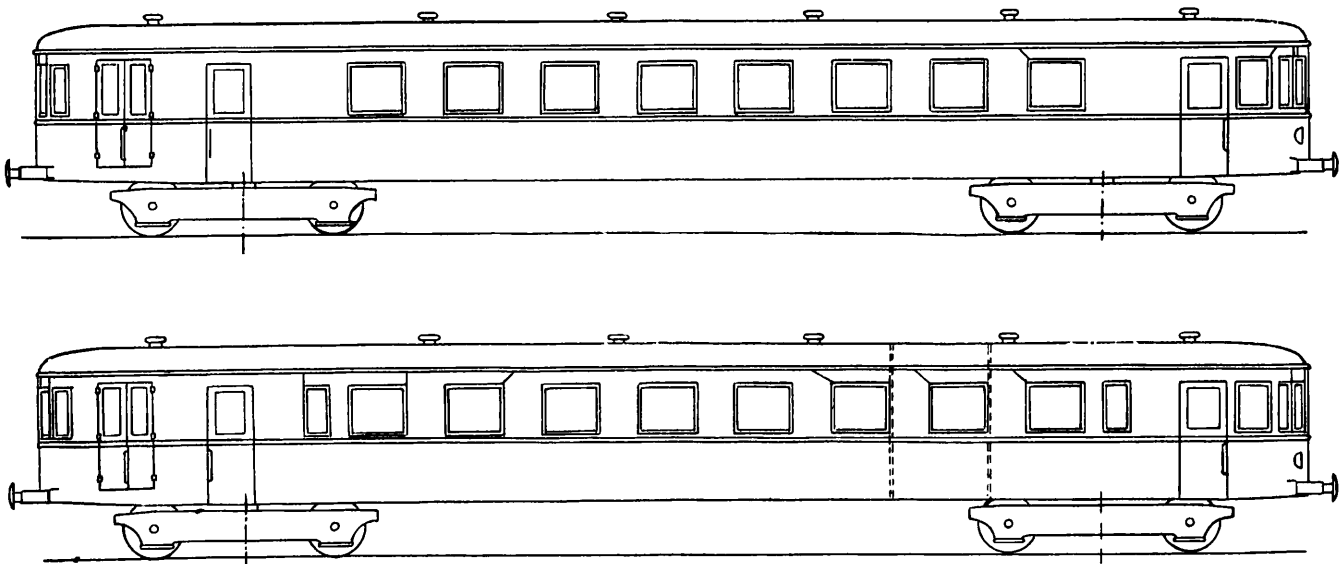


Abb. 21. Anrisse beim Schwingerversuch.

Bemerkenswert ist vor allem, daß fast alle oberen Ecken der Führerstands Fenster einrissen und die oberen und unteren Ecken der drei Seitenwandfenster (auf der Abortseite) über bzw. in der Nähe des Hauptquerträgeranschlusses an die

haben, sondern daß auch die ununterbrochene Dauer der Schwingungen beim Wagenlauf nicht allzu groß ist, die Stöße federnd auf den Wagenkasten übertragen werden und die Fahrzeuge auch große Stillstände haben.

Auflaufversuche.

Bei den Auflaufversuchen wird der Wagenkasten des Einheitssteuerwagens auf seine Drehgestelle gesetzt. Um die Versuchskosten möglichst niedrig zu halten, wurden die Wände des Wagenkastens an Stelle der normalen Inneneinrichtung, mit rohem, minderwertigem Holz verschalt. Die Zwischenwände zwischen den Abteilen und den Abortwänden bestehen aus 20 mm und die Zwischenwände über den Gepäcknetzen aus 28 mm starken, rohen Brettern. Die Sitzbankfüße, die in der Normalausführung aus Stahlrohr bestehen, wurden ebenfalls nur aus Holz gefertigt. Nicht eingebaut wurden die Einstiegtüren, die Abteil- und Aborttüren, Heizung, Lüftung, Aborteinrichtung, Gepäcknetze, Führerstandeinrichtung, Postgeschränk und die elf Klappsitze, außerdem sämtliche Fenster und die Bremsausrüstung. Dagegen wurden die Stirnwandtüren, die Postraumaußentüren und die normalen Zug- und Stoßvorrichtungen eingebaut. Das Gewicht des so ausgestatteten Versuchswagens betrug 15 235 kg gegenüber 20 470 kg Betriebsgewicht des normalen Wagens.

Bei den Auflaufversuchen wurde der Versuchswagen von einer Lokomotive geschoben und bei einer bestimmten Laufgeschwindigkeit abgestoßen. Der Wagen lief sodann gegen einen ungebremst abgestellten, mit Eisenteilen beladenen offenen Güterwagen mit einem Bruttogewicht von 30 t. Die Geschwindigkeit des abgestoßenen Versuchswagens wurde etwa 15 m vor der Auflaufstelle mittels zweier Stoppuhren festgestellt. Diese Uhren waren auf einem Tisch in etwa 2 m Entfernung vom Gleis gelagert und durch zwei Bowdenzüge mit einem an dem äußeren Schienenstrang angebrachten Druckkontakt verbunden. Beim Befahren des Kontaktes durch die erste Achse des voranlaufenden Drehgestelles des Versuchswagens wurden die beiden Stoppuhren in Gang gesetzt und durch die zweite Achse des gleichen Drehgestelles wieder stillgelegt. Aus dem Achsstand des Drehgestelles von 3 m und der zum Durchfahren dieser Strecke benötigten Zeit konnte die Geschwindigkeit des abgestoßenen Wagens berechnet werden. Beide Stoppuhren mußten sofort nach dem Befahren des Schienenkontaktes durch das erste und vor dem Befahren durch das zweite Drehgestell von dem Tisch weggenommen werden. Mit zwei Stoppuhren wurde aus Sicherheitsgründen gearbeitet, damit im Fall des Versagens einer Uhr, oder des Nichtauslösens eines Kontaktes, die Zeit auf der zweiten Uhr abgelesen werden konnte. Um die bei den Auflaufversuchen eingetretenen Verformungen des Wagenkastens leicht und genau feststellen zu können, wurden folgende Anordnungen getroffen:

1. Auf einer Seitenwand des Wagenkastens wurde ein rechteckiges weißes Liniennetz aufgetragen (vergl. Abb. 22).
2. Zwischen den Türausschnitten der Einstiege und dem ersten, vierten und letzten Fensterausschnitt wurden auf beiden Wagenseiten Spanndrähte in diagonaler Richtung kreuzweise gezogen.
3. Zwei weitere Spanndrähte wurden entlang der beiden Seitenwände an der Unterkante der Seitenwandbeblechung gezogen.

Die beim Aufstoß eintretende Verformung der Tür- und Fensterausschnitte wird an der Lockerung des Spanndrahtes festgestellt. Hieraus kann sodann geschlossen werden, ob nach dem Aufstoß die Schiebetüren noch gangbar oder die Fenster zerbrochen wären.

4. An der Seitenwand des Wagenkastens wurden ferner folgende Meßmarken angeordnet:

a) Waagrecht quer über den neben dem Postraum liegenden Einstieg, und zwar in Höhe des Untergurtes (Maß 1), der Brüstungsleiste (Maß 2) und des Obergurtes (Maß 3) und in diagonaler Richtung von links unten nach rechts oben (Maß 4).

b) Am ersten neben diesem Türausschnitt liegenden Fensterausschnitt in Höhe des Untergurtes (Maß 5) und der Brüstungsleiste (Maß 6).

c) In diagonaler Richtung von links unten nach rechts oben über die Postraumdoppeltür (Maß 7).

5. Im Untergestellvorbau wurden sieben weitere Meßstellen festgelegt, deren Lage Abb. 23 zeigt.

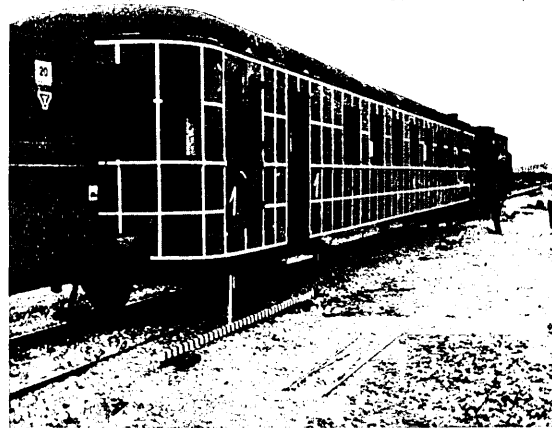


Abb. 22. Versuchswagen mit aufgetragenem Liniensystem.

Um die bei den einzelnen Aufstößen auftretenden Beschädigungen in ihrer Aufeinanderfolge genau verfolgen zu können, wurden von jedem Aufstoß Zeitlupen- und normale kinematographische Aufnahmen gemacht. Zur Feststellung der während des Aufstoßes eintretenden Verzögerungen, wurde vor der Auflaufstelle eine Meßplatte parallel zum Gleis neben diesem aufgelegt. Am auflaufenden Wagen wurde ein Zeiger angebracht, der an dieser Meßplatte vorbeistrich (vergl. Abb. 22). Die Zeit wurde mittels eines besonderen Apparates (Sekunden-

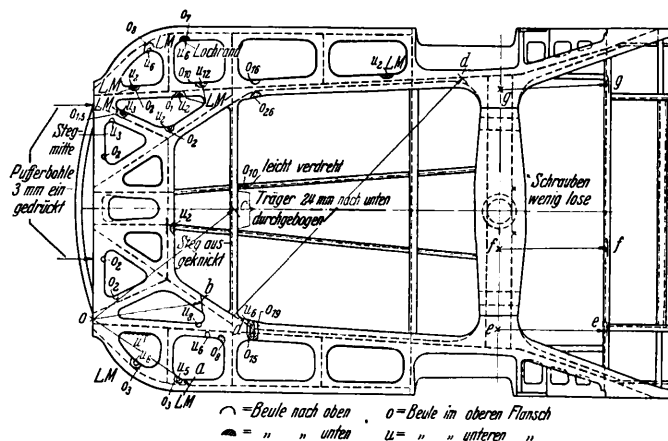


Abb. 23. Meßstellen-Untergestellvorbau.

uhr) gemessen, der zwei Zeiger aufwies, die sich in 0,5 bzw. in 5 Sek. je einmal um 360° drehen. Dieser Meßapparat wurde ebenfalls mitgefilmt. Bei der Durchführung der Versuche wurde darauf geachtet, daß die Puffer des Prellbockwagens die gleiche Höhe über Schienenoberkante hatten wie die des Versuchswagens. Die Auflaufversuche wurden so durchgeführt, daß das den Postraum enthaltende Wagenende auf den beladenen Güterwagen auffuhr.

Beim ersten Auflaufversuch betrug die Auflaufgeschwindigkeit etwa 3 km/h; beim zweiten Versuch 10,8 km/h. Bei beiden Versuchen konnten Beschädigungen irgendwelcher Art nicht festgestellt werden. Der dritte Auflaufversuch wurde mit einer Geschwindigkeit von 12 km/h durchgeführt.

Auch bei diesem Aufstoß zeigten sich am Wagenkasten keinerlei Verformungen. Dagegen zeigten sich an der behelfsmäßig eingebauten Inneneinrichtung und an den Drehgestellen Schäden. In dem gegen den Postraum liegenden Fahrgastraum war die mittlere, freistehende Bankreihe mit Sandsäcken von je 37,5 kg Gewicht beladen. Auf der breiten Sitzbank (mit sechs Sitzplätzen) lagen sechs Sandsäcke, auf der schmalen Bank vier Sandsäcke. Unter der Wirkung des Aufstoßes waren die beiden Holzfüße der breiten Sitzbank abgebrochen. Das Sitzgestell war aus der einen an der Seitenwand befestigten Rohrschelle herausgerissen, die Bank selbst in Fahrtrichtung verschoben. Diese Beschädigung wäre bei der Normalausführung der Sitzbankfüße aus Stahlrohren auf keinen Fall eingetreten. Am anderen Wagenende wurde die den Führersitz tragende Führerstandswand, die oben nur mit vier Holzschrauben an einem Eisenwinkel und unten mit drei Schrauben am Holzfußboden befestigt war, zum Teil aus diesen Schrauben herausgerissen und bildete mit der Wagenseitenwand einen Winkel von etwa 60°. Die diesem Wandteil gegenüberliegende Abortwand, die am Fußboden nur mit einer Schraube befestigt war, wurde um

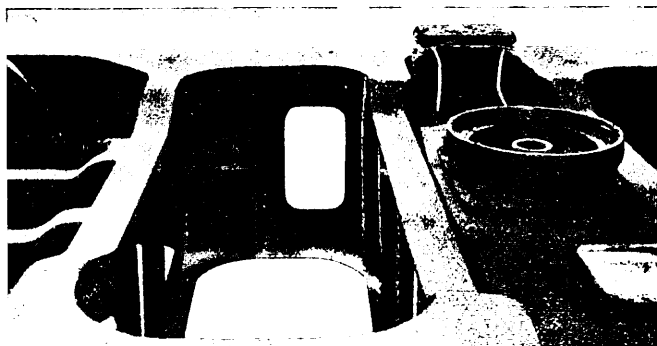


Abb. 24. Eingedrückter Anschlagbock.

etwa 5 cm in Fahrtrichtung verschoben. Auch die Trennwand zwischen den beiden Abteilen war an der Decke ebenfalls losgerissen. Alle diese Beschädigungen würden bei der normalen Wagenausführung nicht eingetreten sein; sie sind lediglich auf die behelfsmäßige Befestigung der Verschalung zurückzuführen.

Die Beschädigung zeigt aber in eindringlicher Weise, wie notwendig es ist, die Sitzgestelle und alle Zwischenwände konstruktiv so auszubilden, daß sie nicht nur den bei Unfällen wirkenden Fliehkräften standhalten können, sondern auch, daß ihre Verbindungen mit dem Wagenfußboden, den Seitenwänden und dem Dach in der Lage sein müssen, die auftretenden Scherkräfte ohne Lockerung oder Lösung der Verbindungen aufzunehmen.

An beiden Drehgestellen waren die unter den Wiegengleitstücken sitzenden 6 mm starken Stahlplatten entgegen der Fahrtrichtung am hinteren Ende um etwa 6 mm nach abwärts abgebogen. Die Untersuchung des Drehgestelles nach dem Ausbau ergab, daß die beiden in der Wagenquerachse auf der Wiege sitzenden 6 mm starken Seitenwandbleche des Anschlagbockes nach innen eingeknickt waren (Abb. 24). Die abwärts gebogenen 6 mm-Stahlplatten bilden die Oberseite dieser Wiegenschlagböcke, auf der die Wiegengleitstücke sitzen. Die Beschädigungen zeigen, daß dieser Konstruktionsteil für die auftretenden Beanspruchungen zu schwach ist und durch Rippen verstärkt werden muß. Außerdem war an der letzten

Achse des hinteren Drehgestelles eine Achsbuchstragfederstütze aus der Blattfeder gesprungen.

Der vierte Auflaufversuch wurde mit einer Aufstoßgeschwindigkeit von 20 km/h durchgeführt. Dabei sind keine wesentlichen Beschädigungen der Inneneinrichtung mehr eingetreten. Hieraus kann geschlossen werden, daß die bei den ersten Auflaufstößen eingetretenen Beschädigungen tatsächlich nur auf die sehr mangelhafte Befestigung zurückzuführen sind. Bei der Auflaufgeschwindigkeit von 20 km/h traten erstmals Verformungen am Untergestell und Kastengerippe auf.



Abb. 25 a. Blick auf das beschädigte Untergestell.

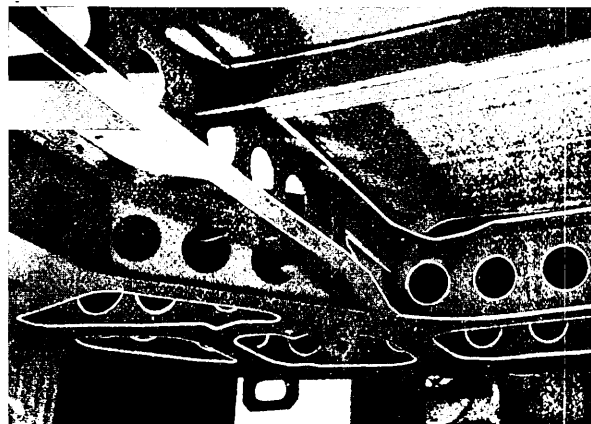


Abb. 25 b. Blick auf das beschädigte Untergestell.

Die im Untergestell eingetretenen Beschädigungen sind in ihrer Lage aus Abb. 23 und in ihrer Größe aus Abb. 25 a und b zu ersehen. Verbeult wurden die Gurtbleche und Stege, die die Stoßkräfte unmittelbar auf die Langträger und das Fußbodenwellblech übertragen mußten. Die Ausknickungen der Gurtbleche traten immer an Stellen auf, an denen die Stege durch Ausschnitte geschwächt sind. Alle Beulen lagen entweder in der Mitte oder in unmittelbarer Nähe über oder unter solchen Ausschnitten. Infolge der Verformungen der Blechträger hat sich auch die Pufferbohle auf beiden Seiten um etwa 3 mm eingedrückt. Während die in der Nähe der Pufferbohle liegenden Beulen im allgemeinen eine Tiefe von etwa 3 mm hatten, verstärkten sich die Beulen gegen den ersten Querträger zu einer Tiefe bis zu 12 mm. Sie zeigen, daß der Übergang vom Untergestellvorbau zum Langträger den Stoßkräften nicht gewachsen war. An den einzelnen Meßstellen wurden folgende Maßänderungen festgestellt:

Auflaufgeschwindigkeit	Meßstelle														
	1	2	3	4	5	6	7	0-a	0-b	0-c	d-d	e-e	f-f	g-g	
20 km/h	-2,6	-1,2	0,0	-0,4	0,0	0,0	0,0	-2,1	-3,1	-4,2	+0,8	-0,3	-0,3	-0,5	

Die Maßänderungen sind unter Berücksichtigung der Auf-
laufgeschwindigkeit nicht als groß zu bezeichnen, da sie von
der Pufferbohle bis zum ersten Querträger im ungünstigsten
Fall nur 4,1 mm und von der Hauptquerträgermitte bis zum
nächsten Querträger nur noch 0,3 mm betragen. Der Aufstoß-
versuch zeigt in einwandfreier Weise, daß die wesentlichen Ver-
formungen im Untergestellvorbau eingetreten sind, also

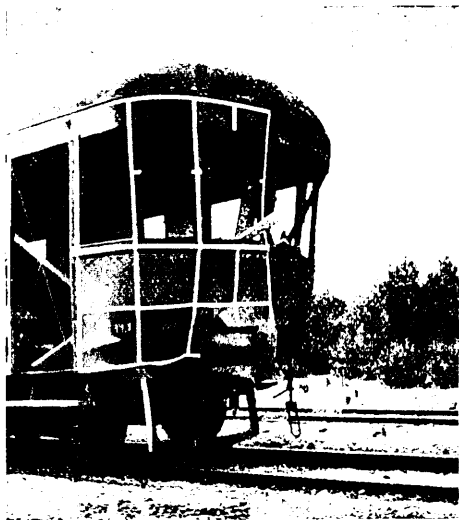


Abb. 26.

an einer Stelle, die der Absicht des Konstrukteurs entspricht.
Es liegt der Gedanke nahe, die Aussparungen in den stoß-
beanspruchten Stegen zu verkleinern oder ganz wegzulassen,
weil sich diese Stellen als zu schwach erwiesen haben, es
kann hierdurch eine nicht unbeträchtliche Versteifung des
Untergestellvorbaues erzielt werden. Durch weitere Auflauf-
versuche muß aber festgestellt werden, ob dann nicht uner-
wünschte Zerstörungen in weiter nach der Wagenmitte zu
liegenden Bauteilen, also im Bereich der Fahrgasträume auf-
treten.



Abb. 27.

Der vor dem Versuch festgestellte Durchhang der beiden
Spanndrähte an den Seitenwänden betrug in Wagenkastenmitte
56 bzw. 66 mm. Nach dem mit 20 km/h Auflaufgeschwin-
digkeit durchgeführten Aufstoß betrugen die Durchhänge 82 bzw.
92 mm, was einer Verkürzung des Wagenkastens um etwa
1 mm entspricht.

Am Umbug der Stirnwand, zwischen den Fenstern der
linken Wagenkastenseite (in Fahrtrichtung gesehen), wurde in
der Beblechung eine leichte von links oben nach rechts unten

laufende Beule festgestellt, die dadurch entstand, daß sich
der Wagenkastenvorbau während des Aufstoßes hob, während
das steife Dach nicht nachgab. An den Seitenwänden zeigten
sich keinerlei Verformungen. Die kreuzweise angeordneten
Spanndrähte der Tür- und Fensterauschnitte hatten ihre ur-
sprüngliche Spannung beibehalten. Die Postraumdoppeldreh-
türen klemmten nach dem Aufstoß nicht und ließen sich ebenso



Abb. 28.

leicht öffnen wie vor dem Beginn der Versuche. Das Dach war
völlig unbeschädigt.

Da für die Fortsetzung der Auflaufversuche das leicht ein-
gedrückte Wagenende nicht mehr geeignet war, weil sich die
weiteren Beschädigungen an den bereits verformten Stellen
noch verstärkt hätten, wurde der Versuchswagen mit dem den
Führerstand enthaltenden Wagenende durchgeführt. Bei der
zur Verfügung stehenden Gleislänge konnte mit der Versuchs-
lokomotive nur eine Auflaufgeschwindigkeit von 42 km/h er-
reicht werden. Diese Geschwindigkeit ist jedoch ausreichend,

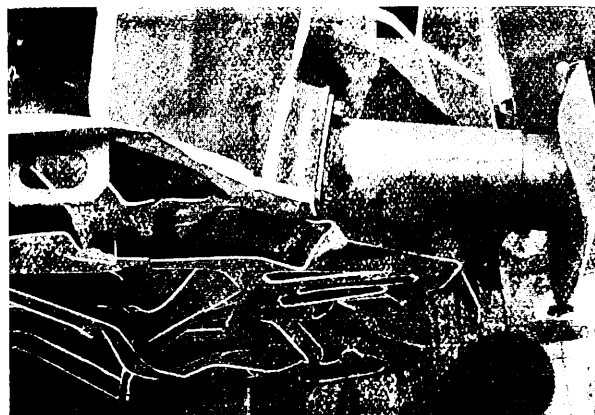


Abb. 29.

um die bei Unfällen bei hohen Fahrgeschwindigkeiten zu er-
wartenden Zerstörungen im wesentlichen feststellen zu können.
Die beim Aufstoß eingetretenen Zerstörungen sind aus den
Abb. 26 bis 30 zu erkennen.

Das Untergestell wurde unter der Wirkung des Aufstoßes
bis zum ersten Querträger zusammengeschoben. Bis zu
dieser Stelle wurde es allerdings vollständig zerstört, d. h. die
einzelnen Träger zusammengedrückt, die Gurtbleche der
Blechträger und deren Stege mehrfach geknickt und gefaltet,

zum Teil sind sie auch gebrochen. Der Kopfträger wurde ebenfalls zerstört. Hinter dem ersten Querträger waren jedoch keinerlei nennenswerte Beschädigungen festzustellen. Es ist lediglich der Unterflansch der beiden Langträger an drei Stellen noch schwach ausgeknickt (Abb. 31). Der Wellblechfußboden selbst wurde nicht beschädigt. Lediglich die an den Enden



Abb. 30.

auf dem Querträger angeordneten Nieten wurden abgeschert. Der Versuch zeigt, daß es notwendig ist, den Wellblechfußboden mindestens an den beiden Enden und an den Stößen an das Untergestell anzuschweißen. Die in Leichtbauweise hergestellten Puffer sind bei diesem Aufstoß seitlich abgerutscht und sind, abgesehen von dem verbogenen gewölbten Puffersteller, nicht weiter beschädigt. Im Interesse der Schonung des Untergestells wären die Pufferhülsen noch leichter auszuführen, damit sich diese vor dem Untergestell verformen. Die Verformung müßte allerdings zentrisch stattfinden, damit ein Aufklettern des Wagens vermieden wird.

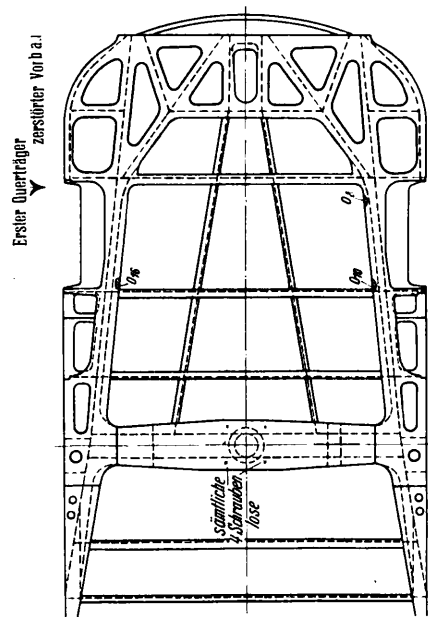


Abb. 31. Beschädigungen am Untergestell nach dem Aufstoß. Dach zeigte ebenfalls außer zwei sehr leichten Einbeulungen über der Führerstandsstirnwandtüre und einigen auch nur leichten Falten über dem (entgegengesetzt der Fahrtrichtung gesehen) rechten Einstieg, die in Abb. 28 zu erkennen sind, keine sonstigen Schäden auf.

Die Inneneinrichtung zeigte trotz des stärkeren Aufstoßes keine wesentliche Mehrbeschädigung. Bei der schmalen, mit vier Sandsäcken beladenen Sitzbank am entgegengesetzten Wagenende sind die Holzfüße gebrochen und das Sitzgestell ist auf der einen Seite aus der an der Seitenwand befestigten Rohrschelle herausgerissen. Die beiden in der Wagenlängsachse stehenden Abortwände sind umgefallen.

Die Drehgestelle wiesen folgende Beschädigungen auf: Die Rippen unter den Wiegleitstücken (der beiden Drehgestelle) sind geknickt. Die gleichen senkrechten Rippen, die bei dem Drehgestell der Postraumseite bereits nach dem Auflauf von 20 km/h verbogen gewesen sein müssen, sind auch bei diesem Drehgestell entgegen der Fahrtrichtung verbogen. Diese Be-

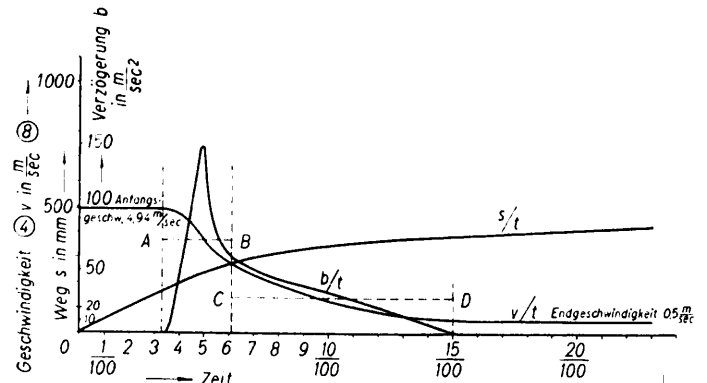


Abb. 32. Aufstoßdiagramm bei 18 km Auflaufgeschwindigkeit.

schädigungen können also an diesem Drehgestell erst nach dem letzten Auflaufversuch eingetreten sein.

Sämtliche Auflaufversuche mit dem Leichtsteuerwagen wurden durch die Filmstelle der Deutschen Reichsbahn gefilmt. Das Reichsbahn-Wagenversuchsamt Grunewald hat versucht, aus den aufgenommenen Filmstreifen die bei den Aufstößen eingetretenen Verzögerungen zu entnehmen. Dabei sind jedoch die bei Erstversuchen sich einstellenden Schwierigkeiten aufgetreten, die die Zuverlässigkeit der ermittelten Werte etwas beeinflussen. Da die Sekundenuhr zu nahe an den Filmapparaten aufgestellt war, waren die Zeigerstellungen sehr unscharf und konnten daher nur sehr schwer abgelesen werden. Die Bildzahl je Sekunde wurde zu gering angenommen, so daß

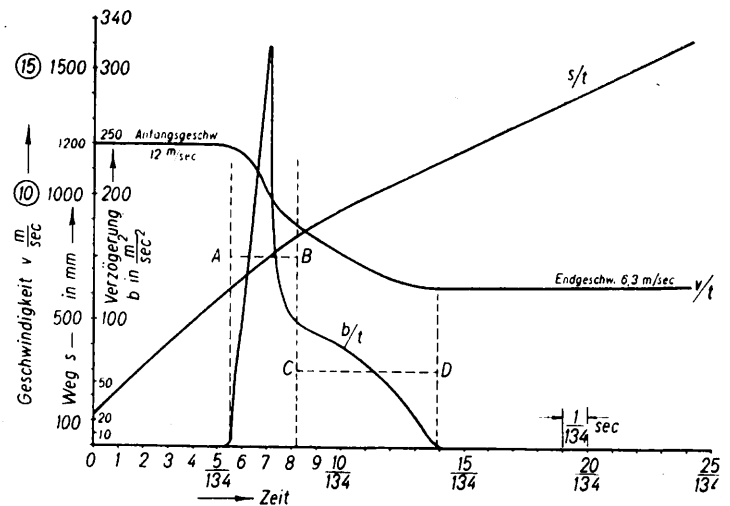


Abb. 33. Aufstoßdiagramm bei 42 km Auflaufgeschwindigkeit.

die einzelnen Phasen des Auflaufstoßes nicht mit hinreichender Genauigkeit aufgenommen werden konnten. Veranlaßt durch Mängel in der Stromzuführung zu dem Antriebsmotor der Zeitlupe schwankten die Bildzahlen zwischen 34 und 138 in der Sekunde, während 200 Bilder je Sekunde gewünscht waren. Für Auflaufgeschwindigkeiten von 40 bis 50 km/h sind jedoch 400 bis 500 Bilder je Sekunde erforderlich, wenn wissenschaftlich einwandfreie Ergebnisse erzielt werden sollen. Bei dem Auflaufversuch mit 42 km/h Geschwindigkeit war das große Zifferblatt der Sekundenuhr auf dem Filmstreifen nicht sichtbar, außerdem fiel die Meßplatte beim Stoß um; der über die Meßplatte hinweggleitende Zeiger am Wagenkasten verbog sich. Trotz dieser Ungenauigkeiten in den Filmaufnahmen wurden

die Filme von den beiden mit 20 und 42 km/h Auflaufgeschwindigkeiten durchgeführten Versuche ausgewertet, wobei auch die Bildzahl einen Anhalt bot für die Zeitermittlung. Die Ergebnisse dieser Auswertungen sind aus den Abb. 32 und 33 zu entnehmen. Aus den Ablesungen der Filmstreifen wurde eine Weg-Zeitkurve (s/t) aufgestellt. Aus der Weg-Zeitkurve wurde eine Geschwindigkeits-Zeitkurve (V/t) und eine Verzögerungs-Zeitkurve (b/t) errechnet. Die beiden Schaubilder zeigen, daß beim Auflauf mit 18 km/h Geschwindigkeit die größte Verzögerung 150 m/sec² betrug, die sich beim Auflauf mit 42 km/h Geschwindigkeit sogar auf etwa 320 m/sec² steigerte.

Im Augenblick der größten Verzögerung waren unter Berücksichtigung des Wagengewichtes von 15240 kg folgende Stoßkräfte vorhanden:

bei 20 km/h Auflaufgeschwindigkeit:

$$P = \frac{15240}{10} \cdot 150 = 228000 \text{ kg}$$

bei 42 km/h Auflaufgeschwindigkeit:

$$P = \frac{15240}{10} \cdot 320 = 487000 \text{ kg.}$$

Es erscheint aber ausgeschlossen, daß diese außerordentlich hohen Stoßkräfte im vollen Umfang wirksam geworden sind, weil sie nur ganz kurze Zeit auftraten und insbesondere, wenn man die verhältnismäßig geringen Verformungen und Zerstörungen des aufgestoßenen Wagenkastens berücksichtigt. Aus dem Verzögerungsdiagramm ist zu erkennen, daß die maximale Stoßkraft von 228000 kg eine und die von 487000 kg nur etwa $\frac{1}{1000}$ sec wirksam war. Richtiger scheint es zu sein,

Verzögerungsmittelwerte zu bilden und hieraus die entsprechenden Stoßkräfte zu errechnen. Der Verlauf der Verzögerungskurven läßt erkennen, daß eine große Kraft die Zerstörung einleitet. Nach Maßgabe der langsam bis auf Null abfallenden Verzögerung wird auch die Stoßkraft sich allmählich bis auf Null vermindern. Man wird zweckmäßig die Verzögerungskurve in zwei Abschnitte einteilen und zwar in den Abschnitt in dem die Verzögerungskurve rasch ansteigt und abfällt und in den Abschnitt, in dem der Verlauf der Verzögerungskurve langsam bis auf Null abfällt. Werden nun aus beiden Abschnitten Mittelwerte gebildet und daraus die zugehörigen Stoßkräfte ermittelt, so ergeben sich folgende Werte:

a) Auflauf mit 20 km/h Geschwindigkeit:

Mittlere Verzögerung in m/sec ²	Stoßkraft in kg	Zeit, in der die Stoßkraft wirksam ist in Sekunden
etwa 75	etwa 114 300	etwa 0,028
„ 28	„ 42 700	„ 0,086

b) Auflauf mit 42 km/h Geschwindigkeit:

Mittlere Verzögerung in m/sec ²	Stoßkraft in kg	Zeit, in der die Stoßkraft wirksam ist in Sekunden
etwa 150	etwa 230 000	etwa 0,02
„ 60	„ 92 000	„ 0,0042

Diese so errechneten Werte stehen in ziemlicher Übereinstimmung mit den bei den statischen Versuchen angesetzten Druckkräften. Nach den statischen Versuchen treten die ersten bleibenden Formänderungen etwa bei einem Druck an den Puffern von $2 \times 60 = 120$ t und nach den Ergebnissen der Auflaufversuche bei etwa 114 t ein.

Durch den Auflauf sind also nur die Stirnwände eingedrückt worden, während der die Einstiegräume und die Fahr-

gasträume umfassende Wagenkastenteil völlig unbeschädigt blieb. Der außergewöhnlich leichte Wagenkasten bietet also den Fahrgästen ein hohes Maß von Sicherheit, weil die bei Aufstößen unvermeidlichen Verformungen in den Vorräumen, die in der Regel von Fahrgästen nicht besetzt sind, auftreten werden. An sich waren auch hier die Zerstörungen mit Ausnahme der behelfsmäßig eingebauten Verschaltungen so gering, daß der eiserne Wagenkasten nicht die Ursache von Verletzungen von Fahrgästen hätte sein können. Der Versuch zeigt aber die Notwendigkeit, in den Vorbauten, die zur Aufnahme der Formänderungsarbeit bestimmt sind, möglichst hölzerne Wandverkleidungen und Zwischenwände wegen der Splittergefahr zu vermeiden und sie durch Blechwände zu ersetzen. Diese Blechwände werden unter Formänderung (Beulen) auch zur teilweisen Vernichtung der Stoßkräfte beitragen können und damit zum Schutz des Triebwagenpersonals. Die Zusammendrückung des Wagenkastenvorbaues betrug trotz der hohen Auflaufgeschwindigkeit nur etwa 500 mm. Auch bei dieser Auflaufgeschwindigkeit hätte das Triebwagenpersonal bei metallischer Führerstandsverkleidung aus Gründen der Wagenkastenkonstruktion keinen Schaden nehmen können.

Betrachtet man an Hand der Bilder näher die Zerstörungen am Wagenkastenende, so kann man feststellen, daß das Untergestell leicht nach oben gedrückt wurde; die aus Stirnwandsäulen und -Verkleidung bestehende Verbindung mit dem Dach war teilweise eingeknickt. Es erscheint daher empfehlenswert, die Säulen knicksteifer und rammsicherer auszubilden. Endlich ist es aus Gründen des Unfallschutzes empfehlenswert, das Gerippe des Führerstandstisches in die Rammkonstruktion organisch einzubeziehen, indem die Führerstandstischplatte in Höhe des Fensterbrüstungsgurtes angeordnet und mit letzterem verschweißt wird. Die Seitenwände des Führerstandstisches sind an die Stirnwandsäulen und das Untergestell kraftschlüssig anzuschweißen. Ein so ausgebildeter Führerstand ist in der Lage, die bei Unfällen auftretenden Stoßkräfte durch Verformung (Verbeulung) mitaufzunehmen, ohne den Triebwagenführer zu gefährden.

Die Auflaufversuche haben gezeigt, daß die Auflaufstöße schon bei Geschwindigkeiten von 20 km/h erheblich über der Pufferendkraft liegen. Da bei den Einheitssteuerwagen Leichtbaupuffer mit einer Endkraft von nur 12 t je Puffer vorgesehen waren, deren nur 6,5 mm starke Pufferhülsen sich auch bei der hohen Auflaufgeschwindigkeit von 42 km/h nicht verformten, schien es zweckdienlich, durch einen Auflaufversuch festzustellen, ob beim Einbau von Regelpuffern mit 32 t Endkraft die Verformungen im Untergestell und Wagenkasten erst bei höheren Auflaufgeschwindigkeiten eintreten werden. Im Interesse der Schonung des teuren Wagenkastens mit seinem Untergestell wäre es gelegen, wenn bei Aufstößen möglichst hohe Stoßkräfte federnd aufgenommen werden würden, ferner wenn sich die Pufferhülsen zentrisch verformen würden, bevor die Verformung der Wagenkästen eintritt. Der Erhöhung der Pufferendkraft sind jedoch Grenzen gesetzt, einmal durch die hierdurch eintretenden nicht unbeträchtlichen Gewichtserhöhungen, zum anderen durch die Verlängerung des Federweges und damit des Wagenüberhangs. Zur Schonung der Wagenkästen schlägt Direktor Kreissig, Waggonfabrik Ürdingen, vor, hinter den Puffern je ein aus einer zylindrischen Röhre bestehendes Zerstörungsglied einzubauen, das sich bei hohen Auflaufstößen zusammenfaltet. Dieser von Kreissig geäußerte Konstruktionsgedanke ist sehr beachtlich, weil er erheblich zur Sicherheit und Schonung der Fahrzeuge beizutragen geeignet ist; er bedarf lediglich der konstruktiven vervollkommnung in der Richtung, daß einmal verformte Zerstörungsglieder im Betriebe ohne weiteres erkannt und ausgewechselt werden können.

Auf Grund der gewonnenen Erkenntnisse wurden die Auf-
laufversuche mit dem gleichen wieder instandgesetzten Steuer-
wagen wiederholt. Am Postraumende, das bei der ersten
Versuchsreihe mit 20 km/h Auflaufgeschwindigkeit beansprucht
wurde, wurden lediglich die Verbeulungen ausgerichtet. Nicht
vollkommen einwandfreie Ausbesserungsstellen wurden vor Be-
ginn des Versuches nach Lage und Größe in einer Skizze auf-
gezeichnet. Die Holzverschalung des Postraumes wurde durch
eine 1 mm starke Blechverschalung und die hölzerne Zwischen-
wand zwischen Postraum und Einstiegraum durch eine Blech-
wand ersetzt. An Stelle der Leichtpuffer mit 12 t Endkraft
wurden Regelpuffer mit 32 t Endkraft angebaut. Die Versuche
wurden in der gleichen Weise durchgeführt wie bei der ersten
Versuchsreihe. Die Auflaufgeschwindigkeit auf den 30 t
schweren offenen Güterwagen betrug bei der Wiederholung der
Versuche 20,75 km/h. Bei diesem Stoß wurden die Puffer
115 mm zusammengedrückt, es wurde somit der gesamte Hub
der Puffer ausgenützt. Infolge der günstigen Wirkung der
schweren Reibungspuffer traten keine nennenswerten Ver-
biegungen des Untergestells ein. Lediglich von den vor den
Versuchen schon vorhanden gewesenen Beulen wurden einige
etwas größer, obwohl sich bereits geknickte Bauteile leichter
weiter verformen. Von der Pufferbohle bis hinter die Einstieg-
tür trat auf der rechten Wagenseite eine Verkürzung von 1 mm
und auf der linken Seite von rund 5 mm ein; dahinter behielt
der Wagenkasten seine ursprüngliche Form und Länge. Die
Diagonalmaße der rechten Einstiegtür veränderten sich nicht,
links wurden Verschiebungen von 2 mm festgestellt. Unterhalb
der linken Ecke der Postraumtür auf der linken Wagenseite
entstand am unteren Rand des Seitenwandbleches eine leichte
Beule. Die Untersuchungen und Vermessungen ergaben, daß
sich der Stoß hauptsächlich in unmittelbarer Nähe der Puffer
ausgewirkt hat und daß hinter dem ersten Querträger kaum
noch Verformungen aufgetreten sind.

Trotz der Verformungen wurde mit dem Postraumende
noch ein zweites Mal, diesmal mit 23,5 km/h Auflaufgeschwin-
digkeit, ein Aufstoß durchgeführt. Die beim ersten Versuch
festgestellten Verbeulungen wurden nunmehr erheblich weiter
verformt; jedoch keinesfalls in einer Weise, daß das im Post-
raum sich sonst aufhaltende Personal oder Ladegut irgendwie
gefährdet worden wäre.

Nach Beendigung dieses Versuches wurde der Steuerwagen
umgesetzt und das Führerstandsende mit einer Auf-
laufgeschwindigkeit von 49 km/h auf den Prellbockwagen auf-
gestoßen. Das Führerstandsende wurde vor Durchführung der
Versuche vollkommen neu angebaut, d. h. das bei den ersten
Versuchen (Auflaufgeschwindigkeit 42 km/h) stark beschädigte
Führerstandsende wurde abgeschweißt und durch ein neues
ersetzt. Dabei wurden in die Stege der Untergestellang-,
Quer- und Schrägstreben keine Aussparungen angeordnet.
Der Führerstand wurde mit Blech ausgekleidet, die Stirnwand-
säulen von 3,0 auf 5,0 bzw. von 2,5 auf 4 mm verstärkt und die
Zwischenwand zwischen Führerstand und Einstieg ebenfalls
aus Blech hergestellt. Die 12 t Leichtpuffer an diesem Wagen-
ende wurden beibehalten.

Unmittelbar nach dem Stoß entgleiste der Steuerwagen
mit beiden Achsen des ersten Drehgestelles und lief noch 12,10 m
weiter. Die Beanspruchung bei dem Auflauf war so stark, daß
der Vorbau des Untergestelles, vor allen Dingen unmittelbar
hinter den Puffern, auf der Nichttriebwagenführerseite zu-
sammengedrückt wurde. Durch ein Moment nach oben knickte
der Vorbau etwas nach oben ab; das Dach zeigte oberhalb der
hinteren Türkante ebenfalls eine leichte Knickung.

Da durch das Fortlassen der Löcher in den Stegen der
Untergestellträger eine Verstärkung des ganzen Vorbaues statt-
gefunden hatte, pflanzten sich die Formänderungen jetzt weiter
nach hinten fort, als bei den ersten Versuchen; auch die etwas

höhere Auflaufgeschwindigkeit wird dazu beigetragen haben.
Deutlich sichtbar wird dies durch die Wellen im unteren Teil
der Seitenwände, die in der Nähe des Hauptquerträgers am
stärksten sind und nach vorn und nach der Wagenmitte zu
abnehmen. Die hauptsächlichste Zerstörung fand in dem
Bereich des Untergestelles, jedoch nur bis zum ersten Querträger
statt; dahinter war sie nur noch gering und hinter dem Haupt-
querträger nur noch unwesentlich. Im Gegensatz zu dem ersten

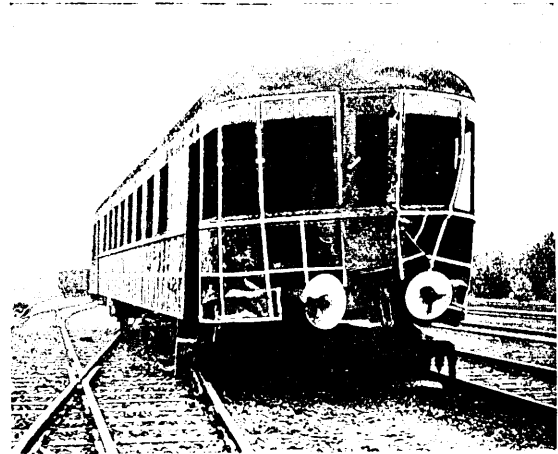


Abb. 34. Auflaufversuch mit 50 km/h.

Auflaufversuch mit dem gleichen Wagenende sind allerdings
jetzt auch hinter dem Hauptquerträger leichtere Ausbeulungen
der Langträger eingetreten. Die auf dem Führerstandsende bei
dem Auflaufstoß mit 49 km/h Geschwindigkeit eingetretenen
Beschädigungen sind auf den Abb. 34 und 35 zu erkennen.
Nach Abschluß der Versuche wurden noch einige Längenmaße
und die Diagonalmaße der Einstiegtüren nachgemessen. Es
ergab sich dabei, daß der Wagen zwischen den Türen links (in

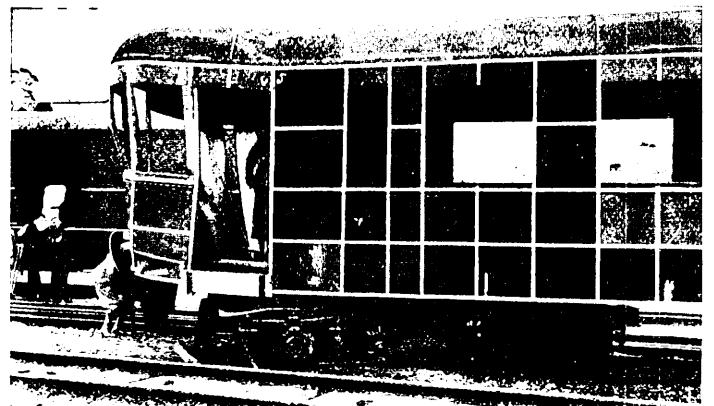


Abb. 35. Auflaufversuch mit 50 km/h.

Fahrtrichtung gesehen) um 3 mm und rechts um 1 mm länger
geworden ist, wahrscheinlich durch das beim Stoß an den
Puffern nach oben wirkende Moment, das im Untergestell Zug
hervorgerufen hat. Vor Beginn der Rundung bis zum ersten
Meßpunkt hinter den Einstiegtüren sind folgende Verkürzungen
eingetreten:

	links	rechts
Führerstandsende	37 mm	17 mm
Postraumende	19 „	7 „

Die stärkste Verkürzung hat demnach an zwei diagonal
gegenüberliegenden Ecken stattgefunden. Außerdem sind
noch folgende Maße genommen worden:

		Entfernung Mitte Hauptquerträger bis Kopfstückplatte in mm		
		vor Auflauf	nach Auflauf	Unterschied
Postraumende	links	3270	3145	125
	rechts	3270	3150	120
Führerstandsende	links	3270	2595	675
	rechts	3270	2920	350

An den Drehgestellen sind keine Beschädigungen aufgetreten, lediglich die senkrechten Streben der Wiegenführungsplatten sind, genau so wie bei den ersten Versuchen etwas verbogen. Auch die Innenausstattung wurde kaum beschädigt.

Dieser Auflaufversuch zeigt deutlich die günstige Wirkung der Blechhautkleidung der Endräume von Wagen. Auch bei der Auflaufgeschwindigkeit von nahezu 50 km Geschwindigkeit wäre kein Reisender aus Gründen der leichten Bauweise des Einheitssteuerwagens zu Schaden gekommen. Während bei Personenwagen, die in den Wagenenden angeordneten Einstiegräume bei katastrophalen Aufstößen eingedrückt werden können und nur die Fahrgasträume unversehrt bleiben müssen, liegen die Verhältnisse bei Trieb- und Steuerwagen wesentlich ungünstiger, da in diesen Fahrzeugen die durch das Triebwagenpersonal besetzten Führerstände sich befinden. Dem Konstrukteur obliegt daher die Aufgabe, dem Triebwagenpersonal in gleicher Weise wie den Fahrgästen einen höchst möglichen Grad von Sicherheit auch bei Unfällen zu bieten. Die Eindrückung des Wagenuntergestelles an der Schaffnerseite betrug 675 mm, auf der Seite des Triebwagenführers jedoch nur 350 mm. In Höhe Fensterbrüstung war die Eindrückung nur noch ganz geringfügig (100 bis 150 mm). Es wäre daher weder der Triebwagenführer noch der Beimann durch die Eindrückung durch Quetschungen verletzt worden. Hier zeigt sich vor allen die günstige Wirkung des in die Rammkonstruktion einbezogenen Führertisches. Die Blechhautkleidung des Führerstandes hat sich voll bewährt, da durch sie Splitter Schäden ausgeschlossen sind. Trotz der günstigen Versuchsergebnisse werden die Auflaufversuche fortgesetzt werden, die dem Ziele dienen, die Wagenenden so auszugestalten, daß die Sicherheit des der Gefahr am meisten ausgesetzten Triebwagenpersonals auf das Höchste gesteigert wird. In dieser vornehmen Aufgabe werden nur Auflaufversuche die restlose Klärung bringen können.

Absturzversuche.

Die Absturzversuche wurden auf der Strecke Immen- dingen—Singen zwischen den Bahnhöfen Hattingen und Tal- mühle und zwar mit dem Einheitssteuerwagen, mit dem bereits die statischen Festigkeitsversuche durchgeführt wurden, vorgenommen. Die Absturzstelle liegt in einer schwachen Kurve an dem 60:1 geneigten Gleis Singen—Immendingen. Die 26 m hohe Gleisböschung fällt an dieser Stelle sehr steil ab; sie hatte eine Neigung von 2:3 und war frei von Bäumen, Sträuchern und sonstigen Hindernissen. Am Fuße derselben führt ein Feldweg entlang, so daß die Möglichkeit bestand, die abge- stürzten Wagen auf Culemeyer-Fahrzeugen wegfahren zu können. An diesem Feldweg entlang führte eine zweite, etwa 1 m hohe Böschung zu einer Wiese.

In das Gleis wurde eine gegen die Böschung führende Weiche eingebaut, deren innerer Schienestrang abfiel während der äußere sehr stark überhöht wurde. Auf den letzten 6 m der linken Schiene war ein besonderer Entgleisungsbock aufgesetzt, so daß der heranlaufende Wagen hier umkippen mußte (Abb. 36). Die Außenwände des Versuchssteuerwagens waren mit einem weißen Liniennetz versehen, damit auf den photographischen Aufnahmen, die eintretenden Beschädigungen besser zu erkennen sein sollten. Die beiden Drehgestelle, die im Regel-

betrieb nur mit je zwei Ketten aufgehängt sind, wurden vor Durchführung der Versuche mit je vier Ketten am Wagenkasten befestigt, damit sie während des Absturzes nicht wegfliegen konnten. Diese Anordnung stellt die schwerste Versuchs- bedingung dar, da beim Abrollen des Wagens die je 5 t schweren obenliegenden Drehgestelle den Wagenkasten außerordentlich beanspruchen. In Wirklichkeit werden die Drehgestelle wohl schon nach dem ersten Überschlagen abreißen und damit den Wagenkasten vor stärkeren Beschädigungen verschonen.

Der Versuchssteuerwagen hatte die gleiche Innenein- richtung wie der Wagen, mit dem die Auflaufversuche durch- geführt wurden. Das Eisengerippe des Wagens hatte infolge der bereits früher damit durchgeführten Belastungs-, Druck- und Schüttelversuche, bei denen jeweils Brüche bzw. Ver- formungen auftraten, die zwar wieder beseitigt wurden, sicher nicht mehr die Festigkeit wie ein neuer Wagen. Insbesondere ist sicherlich der ganze Kasten durch die 1 805 000 Schwingungen beim Schüttelversuch „weich“ geworden.

Die Versuche sollten die Widerstandsfähigkeit des leichten Einheitssteuerwagens bei schwersten Entgleisungen zeigen. Um einen Maßstab für den Sicherheitsgrad zu erhalten, wurde außerdem ein alter hölzerner, ausgemusterter D-Zugwagen

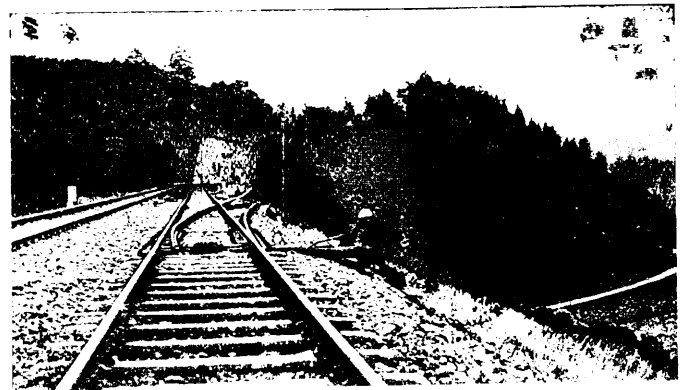


Abb. 36. Entgleisungsweiche.

ebenfalls abgestürzt. Die charakteristischen Daten dieses D-Zugwagens sind:

Lieferjahr: 1894.

Länge zwischen Pufferstoßflächen: 19,59 m.

Drehzapfenabstand: 12,00 m.

Achsstand: 2,5 m; Gleitlager.

Aus dem hölzernen D-Zugwagen war die Inneneinrichtung ausgebaut, so unter anderem die Polster und Schwingen, Heiz- rohre, Abteilschiebetüren, Aborttüren, Druckrahmen zu den Fenstern. Vorhanden waren noch die Einstiegtüren und Stirn- wandtüren, die Abteilzwischenwände und die Fenster. Vor Durchführung der Versuche wurde festgestellt, daß der hölzerne Wagenkasten noch gut erhalten, insbesondere die Verbindungs- stellen nicht morsch waren. Die Drehgestelle waren nur mit je einer Kette an dem Untergestell des Wagens befestigt. Die Ketten waren so bemessen, daß die Beweglichkeit der Dreh- gestelle in den zu befahrenden Kurven und in der Entgleisungs- weiche nicht behindert wurde.

Um die einzelnen Vorgänge des Absturzes festzuhalten, waren vier Filmapparate an verschiedenen Stellen aufgestellt und zwar auf dem Bahndamm, auf einem besonders gebauten Podest in halber Höhe der Böschung und am Fuße der Böschung etwa 25 m von dieser entfernt. Außerdem wurden während und nach dem Absturz Lichtbildaufnahmen gemacht.

Kurz vor der Entgleisungsweiche war wieder ein Druck- kontakt zur Feststellung der Fahrgeschwindigkeit, in gleicher Weise wie bei den Auflaufversuchen, angeordnet. Der Absturz

versuch wurde so durchgeführt, daß der Versuchswagen in einer bestimmten Entfernung von der Entgleisungsstelle vom Versuchszug abgekuppelt wurde. Durch einen Vorversuch wurde ermittelt, auf welcher Länge im Gefälle 1:60 der Wagen eine Geschwindigkeit von etwa 10 km/h erreicht. Beim Absturzversuch selbst wurde die Geschwindigkeit der Wagen beim Einlaufen in die Entgleisungsweiche mit den Stoppuhren festgestellt. Sie betrug beim Einheitssteuerwagen 11,6 km/h

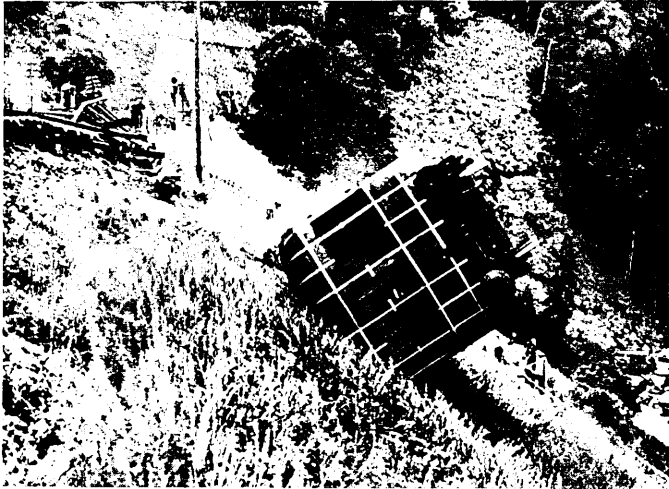


Abb. 37. Absturzversuche. Erstes Kopfstehen.

und beim hölzernen D-Zugwagen 13,8 km/h. Der Steuerwagen lief aus einer Entfernung von 36 m und der hölzerne D-Zugwagen aus 45 m Entfernung von der Entgleisungsweiche ab. Für den D-Zugwagen war eine größere Entfernung gewählt worden, weil er Gleitlager, der Steuerwagen dagegen Rollenlager hatte. Im Augenblick der Entgleisung befand sich der Versuchswagen kurz vor dem stark überhöhten bzw. abgesackten Gleisstück; infolge dieser Entgleisung hatte der

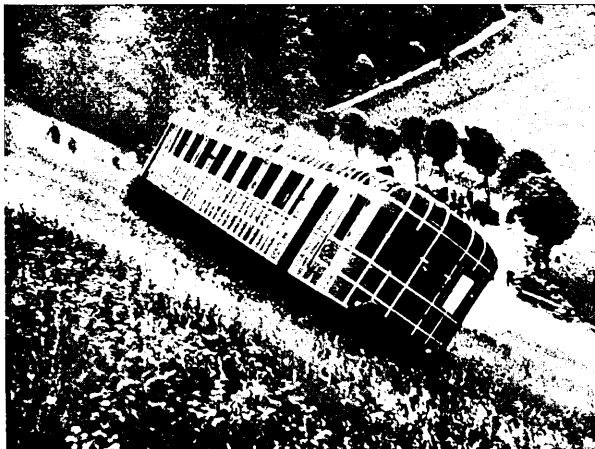


Abb. 38. Beginn der zweiten Umwälzung.

Versuchswagen in diesem Augenblick fast keine Geschwindigkeit mehr. Die Entgleisung wurde vom führenden Drehgestell eingeleitet. Dadurch kippte der Wagen über seine Längsachse und legte sich zuerst auf eine Seitenwandseite. Nun rollte der Wagen um seine Längsachse die Böschung hinunter. Infolge der starken Überhöhung des Gleises und der Schräglage der Weiche zur Böschung an der Entgleisungsstelle ist der Versuchswagen nicht parallel zur Böschung, sondern mit dem an der Gleisüberhöhung befindlichen Wagenende (Führerstands-ende) voraus, also schräg zur Böschung, abgerollt. Dabei prallte die eine Seite des Führerstandes mit der Dachkante

zuerst auf der Böschung hart auf. Der Steuerwagen überschlug sich viereinhalbmal. Während er bei der ersten Umdrehung sich auf der Böschung abwälzte, wurde er bei weiteren Umdrehungen, wohl infolge der Federwirkung der Drehgestelle jeweils durch die Luft geschleudert; beim weiteren Verlauf des Abstürzens wurde das Schleudern durch die Luft immer stärker.

Nach der ersten Umdrehung des Wagens ließen sich noch keine Beschädigungen feststellen (vergl. Abb. 37 und 38). Bei

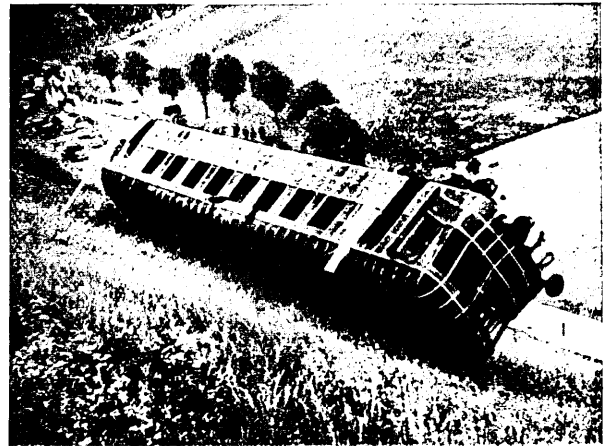


Abb. 39. Zweites Kopfstehen.

der zweiten Umdrehung wurden leichte Beschädigungen der behelfsmäßig eingebauten Innenausstattung und der Wagenkastenenden beobachtet: letztere rühren davon her, wie bereits bemerkt, daß das Wagendach hart mit seiner Kante auf dem Böschungsboden aufschlug. Die Stirnwandsäulen wurden dabei etwas eingedrückt und die Stirnwand leicht seitlich verschoben. Dabei ist zu beachten, daß die schweren, oberliegenden Drehgestelle den Wagenkasten in dieser Stellung stark beanspruchen. Immerhin ist festzustellen, daß die Wagenenden mit ihren großen Stirnwandfenstern und Türausschnitten für solche nur bei Katastrophen auftretenden Kräfte etwas zu weich sind.

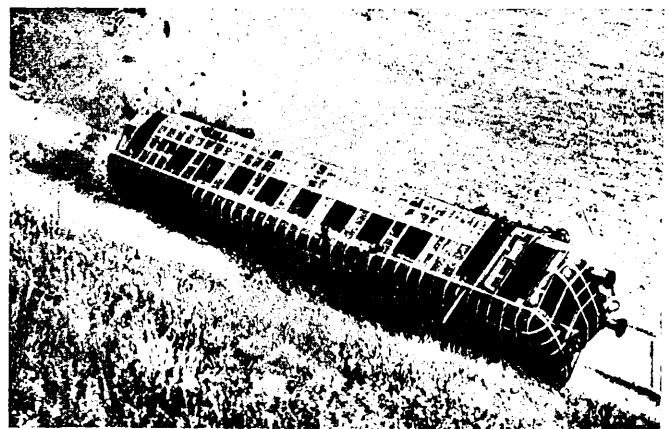


Abb. 40. Drittes Kopfstehen.

Diese Beschädigungen der Wagenenden wurden auch bei der dritten und vierten Umdrehung nicht wesentlich größer, obwohl hier der Wagen schon in großen Sprüngen von der Böschung herabstürzte (Abb. 39 und 40). Bis zur vierten Umwälzung war jedenfalls der Wagenkasten im Bereich der Fahrgasträume kaum verformt, so daß Verletzungen der Fahrgäste aus Gründen der Leichtbautechnik des Wagenkastens auch bei viermaligen Überschlägen nicht in Frage kommen können, insbesondere wenn Vorsorge getroffen ist, daß alle Wandauskleidungen und die Sitzbänke zuverlässig mit dem Wagenkasten und Fußboden fest verbunden sind. Dieses

Ergebnis ist außerordentlich beachtlich, weil aus den praktischen Erfahrungen bei Zugkatastrophen in nicht zerstörten stählernen Wagenkästen, auch wenn sie umfielen, übereinander-

waren an sich ganz, hatten sich aber losgerissen und waren im Wagenkasten hin- und hergeschleudert worden. Die Seitenwände waren kurz über dem Untergestell eingeknickt. An den

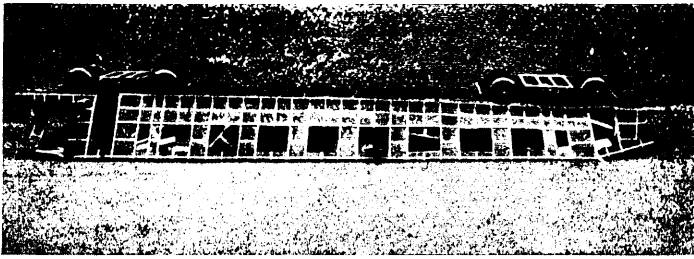


Abb. 41. Nach dem Absturz. Seitenansicht.

kletterten, sich querstellten oder gar eine Böschung hinabstürzten, immer die Zahl der Getöteten oder Verletzten gering war, während Wagen, deren Fahrgasträume eingedrückt waren, die meisten Unfallopfer aufwiesen.



Abb. 44. D-Zugwagen nach der ersten Umwälzung.

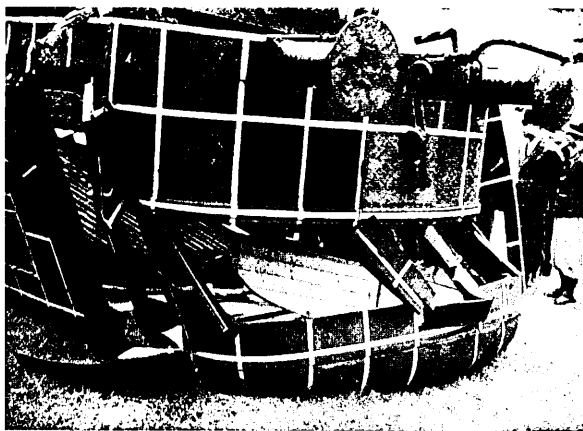


Abb. 42. Nach dem Absturz. Postraumende.

Am Ende der vierten Umwälzung fiel der Steuerwagen mit seinen Achsen im hohen Bogen auf den harten Feldweg und wurde sodann ebenfalls in beträchtlichem Bogen auf die 1 m

Stirnwänden waren die Stirnwandsäulen entweder ganz abgebrochen oder fast gänzlich weggeknickt. Der Fußboden war fast ganz vom Untergestell losgerissen. Nur in etwa Wagenmitte war er noch mit einem Querträger des Untergestells verbunden.

Auch die Drehgestelle hatten durch den Absturz nur geringe Schäden erlitten. Sie hatten sich durch die Verbindung mit den Ketten nicht vom Wagenkasten lösen können. Zwei Ketten waren gerissen. Der Bahnräumer war verbogen. Vier Achsblattfedern waren verlorengegangen. Einige Schraubenfedern saßen schief. Der Drehgestellrahmen und die Achsen waren noch in Ordnung.

Der Versuch zeigte, daß der Wagenkasten für solche katastrophale Abstürze, allerdings erst nach viermaliger Umwälzung, noch nicht genügend ecksteif ist. Hierbei ist zu bemerken, daß die Beschädigungen geringer gewesen wären, wenn die an jeder Sitzbank angeordneten stählernen Haltestangen vom Wagenfußboden bis zum Dach durchgehend eingebaut gewesen wären. Außerdem ist zu berücksichtigen, daß der Steuerwagen zwei Großräume enthält, die nicht durch Zwischenwände, wie bei Abteilwagen, ausgesteift werden können. Eine kleine Ver-



Abb. 43. D-Zugwagen. Erstes Kopfstehen.

tiefer liegende Wiese mit dem Dach nach unten geschleudert. Erst bei diesem letzten Sturz traten die Hauptbeschädigungen des Wagens ein, die aus Abb. 41 und 42 ersichtlich sind. Die Innenausstattung war teilweise zertrümmert. Die Bänke



Abb. 45. D-Zugwagen nach dem Absturz.

besserung kann erzielt werden, wenn die Seitenwandsäulen an der Verbindung mit dem Fußboden durch kleine Diagonalstreben ausgesteift werden. Endlich wird die Verstärkung der Stirnwandsäulen, die Verkleinerung der Fensterausschnitte in

den Wagenenden und die Vermeidung von Ecken in den Tür- und Fensterausschnitten noch zur Erhöhung der Widerstandsfähigkeit beitragen.

Die anschließend durchgeführte Entgleisung des hölzernen D-Zugwagens ähnelte der des Rohbausteuerswagens. Er überschlug sich aber nur einmal, indem er sich so wie der Steuerwagen um seine Längsachse auf dem Böschungsboden abwälzte. Zunächst ließen sich keine Beschädigungen feststellen (Abb. 43). Als aber der Wagen nach der ersten Umdrehung auf seine Drehgestelle aufsetzte, brach der ganze Wagenkasten vollkommen auseinander (Abb. 44). Die Seitenwände blieben unterhalb der Fensterbrüstung noch zusammen und schlugen gemeinsam mit dem Untergestell noch um eine halbe Umdrehung um. Etwa auf halber Höhe der Böschung blieb dann das Untergestell mit den seitlich aufgeklappten Seitenwandteilen liegen. Die Trümmer der übrigen Wagenkastenteile zerstreuten sich über die ganze Böschung (siehe Abb. 45). Auch das Untergestell des Wagenkastens war an mehreren Stellen stark beschädigt.

Die Drehgestelle hatten sich vom Wagenuntergestell gelöst.

Ein Drehgestell lag etwa 6,5 m unterhalb des Untergestells und das zweite am Fuß der Böschung. Bei beiden Drehgestellen fehlten die Wiegefedern. Im übrigen waren sie nur geringfügig beschädigt.

Schlußwort.

Bisher wurden wohl noch nie in so umfassender Weise Festigkeits- und Zerstörungsversuche an einem Wagen durch-

geführt. Das Ergebnis der einzelnen, sowie der Gesamtüberblick über alle Versuche zeigen in eindeutiger Art ihre außerordentliche Bedeutung nicht nur für den Fahrzeugkonstrukteur, dem wertvolle neue Erkenntnisse vermittelt wurden für die Vervollkommnung der Konstruktionen, sondern auch für den Betriebstechniker und insbesondere für die Fahrgäste, denen in eindeutiger Weise praktisch vorgeführt wurde, in welchem hervorragendem Maß die in Leichtbautechnik hergestellten vollkommen geschweißten Wagen den im Betrieb vorkommenden ordentlichen und außerordentlichen Beanspruchungen, selbst bei katastrophalen Unfällen, standhalten. Berücksichtigt man noch, daß die Leichtbauwagen wegen ihrer geringeren Masse und dadurch ihrer kleineren lebendigen Kraft an sich dazu beitragen, daß die Auflaufstöße geringer werden, so erkennt man die Wichtigkeit und Notwendigkeit in Zukunft nur noch Leichtbauwagen zu bauen. Die Versuche haben noch einige örtliche Unvollkommenheiten an einzelnen Konstruktionsstellen aufgezeigt, die auf dem Weg der Berechnung nicht festgestellt werden konnten. Nach Maßgabe der Versuchserfahrungen werden die Versuchsfahrzeuge nunmehr verbessert werden können. Auch die Versuchsanordnungen werden noch zu verfeinern sein. Zu gegebener Zeit werden dann mit den verbesserten Fahrzeugen die Versuche wiederholt und vor allem durch Auflaufversuche ergänzt, bei denen die Versuchswagen aufklettern und bei denen auf quergestellte Versuchswagen aufgestoßen wird. Hierüber wird seinerzeit noch zu berichten sein.

Verschiedenes.

Vollendung der Nord-Süd-S-Bahn in Berlin.

Am 9. Oktober 1939 wurde der letzte Abschnitt der Berliner Nord-Südbahn dem Verkehr übergeben und damit nach sechsjähriger Bauzeit, genau wie dies vorgesehen, ein gewaltiges Werk, das für das Verkehrsleben Berlins von überragender Bedeutung ist, zum Abschluß gebracht. Der Bau wurde Anfang des Jahres 1934 begonnen. Der Anlaß war das Bestreben, die in der Reichshauptstadt herrschende drückende Arbeitslosigkeit zu mildern. Da Arbeitskräfte und Baustoffe damals in reichem Maße zur Verfügung standen, konnte der nördliche Teil der Strecke vom Stettiner Bahnhof bis zu den „Linden“ bis zur Olympiade 1936 fertiggestellt werden, während die Fertigstellung des Bahnhofs Potsdamer Platz im April dieses Jahres erfolgte.

Die Gesamtlänge der Untergrundbahnstrecke beträgt rund 6 km, die Baukosten waren einschließlich Verwaltungskosten und Fahrzeuge 170 Mill. RM, so daß auf 1 km 16 Mill. trafen (während 1 km zweigleisige Reichsbahnstrecke nur 1 Mill. RM kostet).

Die Bodenbewegung umfaßte 2 Mill. m³, Beton und Eisenbeton erreichte 500 000 m³, der Eisenaufwand war 95 000 t, der Einbau von Bauholz erforderte 60 000 m³. Bei voller Bautätigkeit war die Zahl der beschäftigten Arbeiter 3500. Als besonders bemerkenswerte Teilarbeiten seien hervorgehoben: die Unterführung des Stettiner Bahnhofs, der Spree, des Bahnhofs Friedrichstraße, des Geschäftsgebäudes des MER, dann der Bau des weiträumigen S-Bahnhofs Potsdamer Platz und des S-Bahnhofs Anhalter Bahnhof. — Die Aufrechterhaltung des Verkehrs auf den belebtesten Straßen wie auch auf den unterfahrenen oberirdischen Bahnhöfen erforderte umfangreiche Vorkehrungen und Hilfskonstruktionen. Auch in dem jetzt fertiggestellten Endstück waren besonders schwierige Verhältnisse zu bewältigen, so die Unterführung einer städtischen Untergrundbahn hinter dem Potsdamer Bahnhof. Im Untergrundbahnhof Anhalter Bahnhof ist der Anschluß an die Züge nach Wannsee und Lichterfelde Ost gegeben. Der Wannseebahnhof wurde damit außer Betrieb gesetzt.

Hervorgehoben sei ferner die gute architektonische Gestaltung der Untergrundbahnhöfe Potsdamer Platz und Anhalter Bahnhof.

Nach „Rundschau Deutscher Technik“ vom 12. Oktober 1939.

Lokomotivbild-Archiv bei der Reichsbahn-Filmstelle.

Im Jahre 1929 wurde in Darmstadt an der Technischen Hochschule von Maey das Deutsche Lokomotivbild-Archiv gegründet. Über seine Tätigkeit haben wir wiederholt berichtet und die Hefte seiner Schriftenreihe „Die Fahrzeuge der Deutschen Reichsbahn“ besprochen. Nach zehnjähriger Aufbauarbeit beginnt für das Archiv jetzt ein neuer Entwicklungsabschnitt, die Deutsche Reichsbahn hat das Lokomotivbild-Archiv übernommen. Es ist nach Berlin übersiedelt und wird im Reichsbahn-Zentralamt bei der Reichsbahn-Filmstelle von seinem bisherigen Leiter weiter ausgebaut werden.

Die Otto Elsner-Verlagsgesellschaft, Berlin, Wien, Leipzig, bringt unter dem Titel „Die Entwicklung und der Stand der Zugbeeinflussung bei der Deutschen Reichsbahn“ in der Handbücherei des Bahningenieurs als Heft 2 ein neues Werk heraus. Es ist hervorragend geeignet, allen denen, die auf dem Gebiet der Zugbeeinflussung arbeiten, als Nachschlagewerk zu dienen, und es gibt allen andern, die sich neu mit diesen Fragen befassen wollen, einen eingehenden Überblick über das bisher Erprobte und über die Gedankengänge, die zu dem Zugbeeinflussungsprogramms der Deutschen Reichsbahn und zu den zur Erfüllung dieses Programms geschaffenen Bauteilen geführt haben. Verfasser dieser umfangreichen Arbeit ist Reichsbahnrat Krauskopf, der viele Jahre hindurch an der Entwicklung maßgeblich mitgearbeitet hat. In den letzten Jahren veröffentlichte er eine Aufsatzreihe in der Zeitschrift „Der Bahningenieur“ über dieses Gebiet. Die überarbeitete Zusammenfassung dieser Aufsätze bringt das vorliegende Werk, das eine seit Jahrzehnten bestehende Lücke ausfüllt und dem eine weite Verbreitung zu wünschen ist. Eine eingehende Gliederung und sehr zahlreiche Abbildungen und Zeichnungen erleichtern das Verständnis. Wittschell.

Berichtigung.

In dem Aufsatz: „Der erste Eisenbahnzug in Holland“ im Heft 19, Seite 373, muß der Name der im 4. Absatz genannten Lokomotive: „De Leeuw“ heißen. Ferner ist auf Seite 376, 11. Zeile von oben der Satz: „Abb. 5 zeigt den 2. Klassewagen“ zu streichen.

Sämtliche in diesem Heft besprochenen oder angezeigten Bücher sind durch alle Buchhandlungen zu beziehen.

Der Wiederabdruck der in dem „Organ“ enthaltenen Originalaufsätze oder des Berichtes, mit oder ohne Quellenangabe, ist ohne Genehmigung des Verfassers, des Verlages und Herausgebers nicht erlaubt und wird als Nachdruck verfolgt.

Als Herausgeber verantwortlich: Abteilungspräsident a. D. Dr. Ing. Heinrich Uebelacker in Nürnberg. — Verlag von Julius Springer in Berlin.
Druck von Carl Ritter & Co., Wiesbaden.