

# **Neue Druckluftbremse für sehr schnelle Eisenbahnzüge**

Von Dr. Ernst Möller VDI  
München

ÜBERREICHT DURCH:

**K N O R R - B R E M S E G M B H M Ü N C H E N**

# Neue Druckluftbremse für sehr schnelle Eisenbahnzüge

DK 625.2 — 592.52



Von Dr. Ernst Möller VDI,  
München

Die vorhandenen Schienenwege kann man mit erheblich größeren Geschwindigkeiten befahren, wenn die Bremsen zum Anhalten der Fahrzeuge innerhalb der vorgeschriebenen Bremsstrecke ausreichen. Die Leistung der Bremsen ist durch den Haftwert zwischen Rad und Schiene begrenzt. Der Reibwert zwischen Klotz und Rad ist geschwindigkeitsabhängig. Um eine konstante Bremsleistung zu erhalten, muß man die Bremse geschwindigkeitsabhängig steuern. Will man hohe Bremsleistungen erreichen, ist man gezwungen, im Bereich der unsicheren Haftung zu bremsen. Man versieht daher die Bremsmaschinen an Schienenfahrzeugen mit Zusatzeinrichtungen, die den Druck auf die Bremsklötze der Fahrgeschwindigkeit und dem Schienenzustand anpassen und das Blockieren der Räder verhüten. Mit der neuen sog. KEs-Bremse kann man bei Signalabständen von 1000 m Schnellzüge mit Geschwindigkeiten bis etwa 150 km/h fahren.

In unserem heutigen Verkehrswesen tritt das Streben nach Leistungen, vermehrtem Komfort und nach kürzeren Reisezeiten sowohl auf der Straße wie auch auf der Schiene immer deutlicher hervor.

Das Auto bietet eine angenehme Freizügigkeit des Reiseweges und des „Fahrplanes“. Die Eisenbahn dagegen ist bei Tag und Nacht und auch unter schlechten Wetterverhältnissen verlässlicher, weil sie ihre Fahrbahn nicht mit anderen Verkehrsteilnehmern teilen muß.

Grundverschieden ist die augenblickliche Lage der beiden Verkehrspartner bezüglich der Möglichkeit, die Reisegeschwindigkeit zu steigern. Auf der Straße verhindert die „Privatinitiative“ der Fahrer und das regellose Durcheinander schneller und langsamer Fahrzeuge die Geschwindigkeitserhöhung um so mehr, je dichter der Verkehr wird. Neben den langsamen Straßenfahrzeugen und den langen Fahrzeugkolonnen kann sich der hochgezüchtete Wagen nur schwer entfalten; hier helfen nur noch neue Schnellstfahrbahnen. Auf der Schiene sorgt man durch das Zusammenfassen schneller bzw. langsamer Fahrzeuge zu Zügen und das Überholen nach festen Fahrplänen für einen geordneten signalgesicherten Verkehr. Die Zuglängen und die Zuggewichte haben noch lange nicht die in der Praxis mögliche Grenze erreicht.

Die Bahnverwaltungen kennen diese Vorteile und versuchen, sie durch allgemeine Geschwindigkeitserhöhungen noch zu vergrößern. Der sorgfältig überwachte Schienenweg läßt dank seiner sicheren Fahrzeugführung durch den Spurrand des Radreifens noch beträchtliche Geschwindigkeitssteigerungen zu — wie die Rekordfahrten der französischen Staatsbahnen mit über 330 km/h zeigten —, wenn die Bremsen die Voraussetzungen dafür bieten.

## Die Probleme einer Rapidbremse

Die Eisenbahndruckluftbremse mit dem KE-Einheitsventil hat man bis April 1957 etwa in 60 000 Eisenbahnwagen der Deutschen Bundesbahn und ausländischer Bahnverwaltungen eingebaut<sup>1)</sup>. Das KE-Steuerventil — der bedeutsamste Teil der gesamten Bremsausrüstung — war zunächst nur für Güterzüge und Personenzüge entwickelt worden; es wies außer einer Reihe funktioneller und baulicher Neuerungen auch den Vorzug der Baukastenbauweise auf, und man konnte es demzufolge leicht den verschiedenen Betriebsbedingungen anpassen. Diese Anpassungsfähigkeit ermöglichte die Entwicklung einer Bremse für Schnellzüge mit erhöhter Geschwindigkeit, der KEs-Bremse.

Ein Schnellzug erfordert eine möglichst wirkungsvolle Abbremsung, damit er bei Schnellbremsungen innerhalb des festliegenden Abstandes zwischen Vorsignal und Hauptsignal (im allgemeinen 1000 m) zum Halten gebracht werden kann. Aus Sicherheitsgründen nützt man diese tausend Meter nicht aus und schreibt bei den Prüfungen einen Bremsweg von höchstens 900 m vor. Der Zug darf demnach nie so schnell fahren, daß er nicht innerhalb der vorgeschriebenen 900 m Bremsweg angehalten werden kann; je besser also die Bremse wirkt, um so schneller kann man einen Zug fahren.

Das Diagramm, Bild 1, zeigt, welche Verzögerungen man bei den verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten benötigt, wenn ein Bremsweg von 900 m zur Verfügung steht. Danach reicht eine Verzögerung von  $0,5 \text{ m/s}^2$  aus, um 110 km/h zu fahren, was für Güter- und Personenzüge

<sup>1)</sup> Möller, E.: Die neue Eisenbahndruckluftbremse mit dem KE-Einheitsventil. VDI-Z. 96 (1954) S. 329/36.

völlig genügt. Für Fahrgeschwindigkeiten von 150 km/h, wie sie für Schnellzüge in absehbarer Zeit wünschenswert sind, braucht man schon rd.  $1 \text{ m/s}^2$  Verzögerung, und diese muß während der ganzen Bremszeit vorhanden sein. Der Forderung stellen sich nun beim Betrieb von Eisenbahnen verschiedene Schwierigkeiten entgegen:

1. Die Haftungszahl des Eisenrades auf der Eisenschiene beträgt im Mittel nur etwa 0,22.
2. Diese Haftungszahl schwankt schon bei trockenen Schienen infolge dynamischer Einflüsse (Federation, Schienenstöße und dergl.) zwischen 0,26 und 0,17.
3. Bei schlecht haftenden Schienen infolge von beginnendem Regen, von Ölsuren und von Herbstlaub kann dieser Betrag manchmal auf 0,08 sinken.
4. Die Reibungszahl zwischen dem Gußeisenbremsklotz und dem Eisenrad ist sehr von der Fahrgeschwindigkeit, Bild 2, vom spezifischen Druck und von der Temperatur abhängig

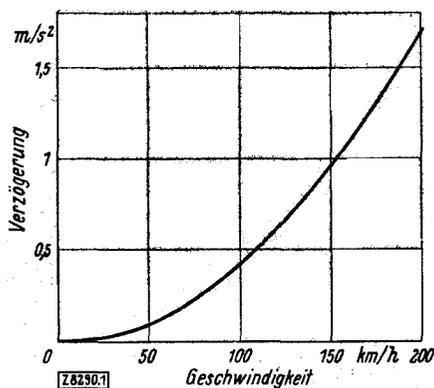


Bild 1. Notwendige Bremsverzögerung von Fahrzeugen in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei einem Bremsweg von 900 m.

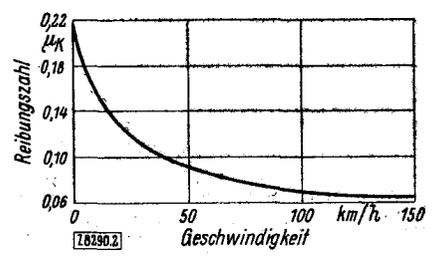


Bild 2. Die Reibungszahlen des Gußeisenbremsklotzes am Radreifen.

Begrenzt der niedrige Haftwert zwischen Rad und Schiene an sich schon die Bremswirkung und damit die zulässige Höchstgeschwindigkeit, weil das Überbremsen zum Blockieren der Räder führt, so erhöhen die anderen Faktoren die Unsicherheit. Der Lokomotivführer hat die vielen Räder seines bis zu 500 m langen Reisezuges oder der bis zu 1500 m langen Güterzüge nicht unter Einzelkontrolle; im Gegensatz zum Kraftwagenverkehr merkt er nicht, ob ein Rad blockiert. Ein auf der Schiene rutschendes Rad verlängert aber den Bremsweg, und es bekommt eine sog. Flachstelle, die durch ihr Hämmern die Achslager und die Schienen gefährdet und die Reisenden belästigt.

Wegen der geringen Bremskräfte, die man für langsam fahrende Züge braucht, ist die Gefahr einer Blockierung nicht vorhanden. Bei sehr schnellen Zügen muß man große Bremskräfte anwenden und man gerät dabei in das Gebiet der unsicheren Haftung. Damit ergeben sich für eine Schnellzugbremse folgende Einzelforderungen. Die Wir-

kung der Bremse muß von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs abhängig sein. Dies bedingt, daß die mit sinkender Geschwindigkeit stark ansteigenden Reibkräfte zwischen dem Bremsklotz und dem Rad durch entsprechendes Herabsetzen des Bremsklotzdrucks selbsttätig ausgeglichen werden, wenn man eine gleichbleibende Maximalverzögerung wünscht. Außerdem muß die Bremsanlage eine Einrichtung besitzen, die gegebenenfalls das Gleiten der Räder und deren Flachstellenbildung sicher verhütet. Man kann die Bremskräfte nur dann für den günstigsten Haftwert zwischen Rad und Schiene ausreichend groß wählen, wenn sich die Bremse selbsttätig aus dem blockierten Zustand oder besser schon aus der Neigung zum Blockieren befreit, indem sie das gebremste Rad vorübergehend freigibt. Je schneller dies geschieht und je früher das wieder „in Tritt“ gekommene Rad erneut gebremst wird, um so kleiner ist der Verlust an Bremsleistung und Bremsweg. Die Feinfähigkeit der Entblockungsorgane ist dafür entscheidend, wie nahe man an den Grenzwert herangehen kann. Es sind daher nicht nur schnell ansprechende Schaltmittel, sondern auch möglichst große Durchfließquerschnitte für das schnelle Entleeren und Füllen der Bremszylinder vorteilhaft. Sehr wichtig ist auch das möglichst gleichzeitige Einsetzen der Bremsen und das schnelle Erreichen der Maximalbremskraft an jeder Achse eines langen Zuges.

### Der Aufbau der Rapidbremse

Den Aufbau einer Druckluftbremseinrichtung, die den heutigen Anforderungen entspricht, erläutert Bild 3. An die durch den ganzen Zug gehende Hauptluftleitung a ist für jeden Wagen ein übliches Steuerventil b angeschlossen, über das bei gelöster Bremse — d. h. wenn der Hauptleitungsregeldruck mit  $5 \text{ kg/cm}^2$  erreicht ist — Druckluft im Vorratsbehälter c gespeichert ist. Dieses empfindliche Steuerventil gibt beim Bremsen — der Bremsvorgang wird durch Senken des Druckes in der Hauptleitung a eingeleitet — die Druckluft vom Vorratsbehälter c nicht unmittelbar in die Bremszylinder d (wie bei den Bremsen an Güterwagen oder normalen Personenwagen), sondern mittels der Vorkammer e über den Druckwandler f und das Auslaßventil h. Der Druckwandler f wird von einem am Achslager des Radsatzes angebrachten und mit der Achse gekuppelten Fliehkraftregler g in seinem Übersetzungsverhältnis von der Zuggeschwindigkeit beeinflusst. Das großflächige Auslaßventil h wird durch einen ebenfalls vom Radsatz angetriebenen Gleitschutzregler i gesteuert; es ermöglicht das schnelle Entlüften der Bremszylinder, sobald sich ein Blockiervorgang anbahnt, und gibt den Druckluftstrom in die Bremszylinder frei, wenn das Rad wieder einwandfrei rollt. Ein Schnellbremsbeschleuniger k unterstützt bei Schnellbremsungen das Entleeren der Hauptluftleitung.

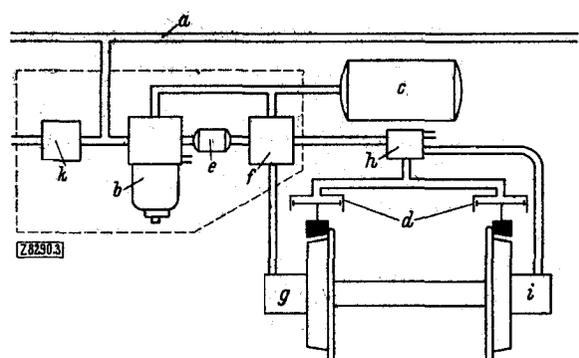


Bild 3. Der Aufbau einer Rapidbremse.

- |                       |                             |
|-----------------------|-----------------------------|
| a Hauptluftleitung    | f Druckwandler              |
| b Steuerventil        | g Fliehkraftregler          |
| c Vorratsluftbehälter | h Auslaßventil              |
| d Bremszylinder       | i Gleitschutzregler         |
| e Vorsteuerkammer     | k Schnellbremsbeschleuniger |

## Das Steuerventil

Das zum Vorsteuern der KEs-Bremse dienende Steuerventil ist das bereits erwähnte Dreidrucksteuerventil KE<sup>1</sup>), mit dem sich beim Bremsen der Druck in der kleinen Vorsteuerkammer e feinstufig erhöhen und beim Lösen der Bremse ebenso feinstufig abbauen läßt. Dieses Steuerventil enthält lediglich an Stelle des sog. Zugartwechselfs G-P — eine Einrichtung, die das Fahren des Wagens sowohl in Güterzügen wie auch in Personenzügen gestattet und einen „gestreckten“ oder schnellen Bremsanstieg ermöglichen soll — einen Zugartwechsel, „G-P-R“, d. h. mit der zusätzlichen Einstellmöglichkeit R, die angewendet wird, wenn die Wagen in „Rapid“-Zügen laufen, wie die internationale Bezeichnung dieser Schnellzüge in Zukunft lauten soll. Es ist nicht nötig, auf die Besonderheiten des KE-Ventils einzugehen, da es schon früher ausführlich beschrieben wurde<sup>1</sup>).

## Der Druckwandler

Um eine konstante Verzögerung während der ganzen Bremszeit zu erhalten, müßte der Fliehkraftregler g den Bremszylinderdruck mit Hilfe des Druckwandlers f entsprechend der umgekehrten Charakteristik der Reibungszahl, vgl. Bild 2, zwischen Klotz und Rad steuern. Das Verhalten des Bremsklotzes beim Bremsen verzerrt jedoch diesen Verlauf: Beim Einbremsen legt sich der kalte Bremsklotz mit seiner ganzen Fläche auf den Radreifen. Durch die Reibungswärme biegt sich der Klotz auf und liegt dann nur noch mit einer Teilfläche am Radreifen an. Infolge des größeren spezifischen Anpreßdrucks schleift sich diese Anlagefläche nun schneller ab und wird größer. Gleichzeitig wärmt sich der Klotz durch, geht langsam in seine alte Form zurück, und je nach der Bremsdauer vergrößert sich auch dadurch die Auflagefläche wieder. Dieses Eigenleben des Klotzes bringt es mit sich, daß man nicht entsprechend der umgekehrten Charakteristik des Reibungsbeiwertes bremsen kann.

Es reicht aus, den Bremszylinderdruck nach Senken der Geschwindigkeit auf etwa 50 km/h in einer Stufe herabzusetzen, um eine für die Praxis ausreichend gleichmäßige Verzögerung über den ganzen Bremsweg zu erhalten. Kleine Abweichungen im Umschaltspult lassen sich durch die Verzögerung des Schaltvorganges mit Hilfe von Düsen ausgleichen. Erst kurz vor dem Anhalten des Zuges steigt die Verzögerung steil an; dies wirkt sich als „Halteruck“ aus, hat aber keinen Einfluß auf die Länge des Bremsweges, Bild 4. Der geschickte Lokomotivführer fängt den Ruck durch einen Lösevorgang ab.

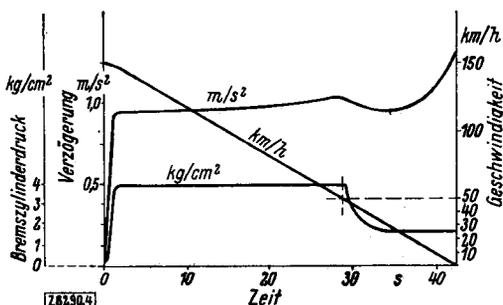


Bild 4. Verlauf von Bremszylinderdruck, Verzögerung und Geschwindigkeit während des Bremsvorgangs.

Auf Grund dieser Tatsache genügt als Geschwindigkeitsregler g ein Fliehkraftregler mit zwei Stellungen; je eine für den Geschwindigkeitsbereich oberhalb und unterhalb von 50 km/h. Ebenso braucht der Druckwandler nur ein Ein- und Auslaßventil mit zwei verschiedenen großen Steuerkolbenflächen zu sein, das vom Regler betätigt wird und beim Unterschreiten der 50-km/h-Geschwindigkeit das

Verhältnis des Vorsteuerdrucks zum Bremszylinderdruck auf einen niedrigen Wert umschaltet. Bild 5 zeigt den Druckverlauf im Bremszylinder in Abhängigkeit vom Steuerdruck in der Hauptluftleitung für die Geschwindigkeiten über 50 km/h und unter 50 km/h.

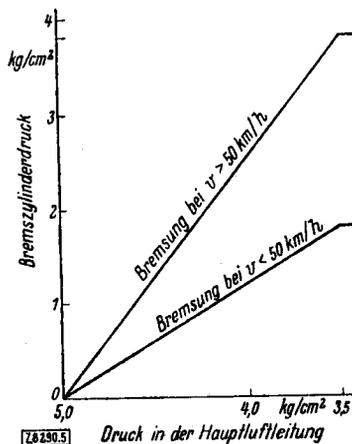


Bild 5. Grundsätzliche Charakteristik einer Bremse mit Druckwandler.

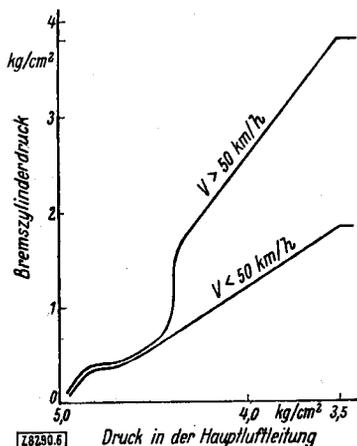


Bild 6. Verbesserte Bremscharakteristik der KEs-Bremse mit Druckwandler.

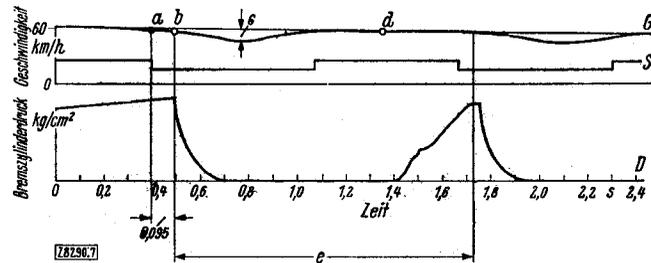
Dieser grundsätzliche Vorgang wird bei der KEs-Bremse noch in zwei Richtungen etwas abgewandelt. Will man geringfügige Geschwindigkeitsänderungen vornehmen, d. h. leicht bremsen, dann senkt man den Druck in der Hauptluftleitung nur wenig ab. Bei hohen Fahrgeschwindigkeiten hätten aber diese geringen Druckänderungen zu große Änderungen des Bremszylinderdrucks und entsprechende Geschwindigkeitsänderungen zur Folge. Damit man bei solchen Bremsungen feinfühlicher steuern kann, ist ein sog. „Knick-Ventil“ am Druckwandler vorgesehen; es ermöglicht das Bremsen selbst bei hohen Geschwindigkeiten und im Druckbereich der Hauptluftleitung von 5 bis 4,5 kg/cm<sup>2</sup> mit dem niedrigen Bremszylinderdruck, wie er sonst bei Geschwindigkeiten unter 50 km/h üblich ist. Andererseits folgt der Bremsvorgang auch bei Geschwindigkeiten unter 50 km/h auf Grund besonderer Maßnahmen bis zu einem Bremsdruck von etwa 0,4 kg/cm<sup>2</sup> zunächst der steileren Bremscharakteristik, wie sie im hohen Geschwindigkeitsbereich vorliegt, um ein schnelles Anlegen der Bremsklötze zu erzwingen. Da das Umschalten von einer Druckstufe zur anderen durch die Wirkung von Drosseldüsen allmählich vor sich geht, entsteht eine Bremscharakteristik gemäß Bild 6.

Bei Gefällefahrten ist es oft nicht zu vermeiden, daß die Geschwindigkeit um den Umschaltspunkt von 50 km/h

pendelt, so daß die Bremszylinderdrücke ebenfalls zwischen den beiden Druckstufen hin- und herwechseln. Ein unruhiger Zuglauf und ständige große Luftverluste wären die Folge. Der Lokomotivführer müßte diese Luftverluste durch Füllen über das Führerbremventil decken (wie sonst nur zum Lösen der Bremsen üblich). Würde der Lokomotivführer den Druck nicht auf der vorgeschriebenen Höhe halten, so zögen sich die Bremsen infolge des absinkenden Drucks in der Hauptluftleitung unerwünscht fest. Bei der KEs-Bremse hat man diese Schwierigkeiten dadurch beseitigt, daß man dem Fliehkraftregler  $g$  eine künstlich vergrößerte Hysterese gab, so daß er bei steigender Geschwindigkeit erst bei etwa 70 km/h Zuggeschwindigkeit auf den höheren Druck und bei sinkender Geschwindigkeit bei 50 km/h auf den niedrigeren Druck schaltet. Da die Strecken mit stärkerem Gefälle meist mit Geschwindigkeiten von etwa 60 km/h befahren werden, tritt das Pendeln des Bremszylinderdruckes nicht ein. Andererseits werden die Haltebremsungen aus den Geschwindigkeiten über 70 km/h durch diese vergrößerte Reglerhysterese nicht nachteilig beeinflusst.

### Die Gleitschutzeinrichtung

Der Gleitschutzregler  $i$  in Bild 3 besteht aus einem Massering, der über eine federnde Kupplung mit der Achse verbunden ist. Solange die Verzögerung des gebremsten Rades den Wert von etwa  $3 \text{ m/s}^2$  nicht überschreitet, drehen sich die Achse und der Massering noch gleich schnell. Wird die Verzögerung größer — und dies kann nur eintreten, wenn der Radsatz durch Überbremsen oder durch Absinken der normalen Haftung den Eingriff mit der Schiene verliert —, so läuft der Massering auf Grund seiner Trägheit vor und öffnet dabei das Schnellauslaßventil



**Bild 7.** Verlauf der Geschwindigkeit eines auf öliger Schiene zweimal hintereinander mit  $0,91 \text{ m/s}^2$  Verzögerung abgebremsten Radsatzes.

- G Geschwindigkeitsverlauf
- S Schaltstellen des Gleitschutzreglers
- D Druckverlauf in den Bremszylindern
- a Einschaltzeitpunkt des Gleitschutzreglers
- b Lösungspunkt der Bremse
- c Geschwindigkeitsverlust  $13,3 \text{ km/h}$
- d Geschwindigkeit  $57 \text{ km/h}$
- e Bremszeitintervall

(h in Bild 3) des Bremszylinders. Der Radsatz wird daraufhin sofort von der Bremse freigegeben und faßt schnell wieder „Tritt“. Danach nimmt auch der Massering wieder seine normale Lage ein, und der Bremszylinderdruck baut sich in kurzer Zeit wieder auf. Muß die Bremse in der vorher beschriebenen Art mehrmals kurz hintereinander ansprechen, erniedrigt sich der Druck im Vorratsbehälter  $e$  infolge ungenügend schneller Nachspeisung aus der Hauptluftleitung etwas, so daß sich die Bremse in solchen Fällen vorübergehend selbsttätig aus der Gefahrenzone heraussteuert.

Das Diagramm, Bild 7, zeigt, daß der Gleitschutzregler des ins Schlüpfen kommenden Rades bei  $a$  anspricht, wenn die eingestellte Verzögerung von  $3,34 \text{ m/s}^2$  erreicht ist, worauf sich bereits bei  $b$  nach  $0,09 \text{ s}$  die Bremse löst. Das Rad kommt nicht zum Stillstand, sondern beschleunigt sich nach einem Geschwindigkeitsverlust von  $13,3$

km/h wieder und hat bei  $d$  schon nach etwa einer halben Sekunde die der Zuggeschwindigkeit entsprechende Drehzahl erneut aufgenommen. Der Bremszeitintervall  $e$  beträgt nur etwa  $1,24 \text{ s}$ . Durch Ölen der Schiene wurde die Gleitschutzrichtung zweimal zum Ansprechen gebracht. In der Praxis blockieren meist nur die vorderen Radsätze, weil die Schienenverschmutzungen vor allem auf die ersten Räderpaare schmierend wirken.

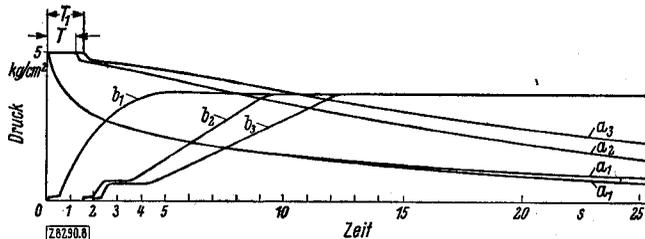
### Der Schnellbremsbeschleuniger

Die für Einzelfahrzeuge angestellten Bremsbetrachtungen haben nur dann einen Wert, wenn die Bremswirkung bei langen Zügen nicht durch störende Einflüsse verändert wird.

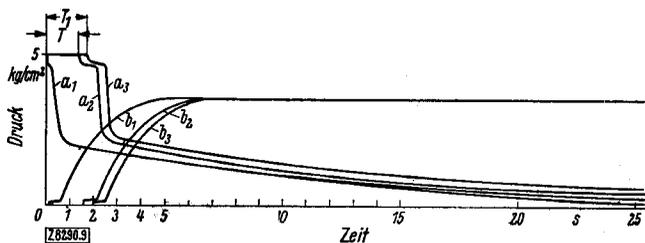
Bei Schnellbremsungen will man den Höchstwert der Verzögerung so schnell wie möglich erreichen. Man hat sich international auf eine „Schwellzeit des Bremszylinderdruckes“ von längstens  $3$  bis  $5 \text{ s}$  geeinigt. Liegen weniger als drei Sekunden zwischen dem ersten Anlegen der Bremse und dem Einwirken der vollen Bremskraft auf den Bremsklotz, ist der Radsatz (da der Bremsklotz noch satt anliegt) erfahrungsgemäß sehr blockierfreudig. Gerade bei hoher Fahrgeschwindigkeit verursacht aber ein Blockiervorgang, selbst wenn er nur kurze Zeit wirksam ist, verhältnismäßig lange Bremswege.

Das Anschwellen des Bremszylinderdruckes von  $0$  auf rd.  $3,8 \text{ kg/cm}^2$  wird durch das Absenken des Hauptluftleitungsdruckes von  $5$  auf  $3,5 \text{ kg/cm}^2$  eingeleitet. Am Anfang des Zuges, d. h. in der Nähe des Führerbremventils, läßt sich bei einer Schnellbremsung die für den Druckaufbau vorgeschriebene Zeit einhalten, aber schon bei Zügen mit  $15 \text{ D-Zug-Wagen}$  fällt der Druck in der Hauptleitung am Zugende zu langsam, und bei einer Zuglänge von  $20$  Wagen tritt beim letzten Zugdrittel der Druckabfall in der Hauptluftleitung so spät ein, daß sich der Bremsdruck nicht in der vorgeschriebenen Zeit entwickelt. Die Folge davon sind Bremsweg-Verlängerungen und ein verstärktes Auflaufen der letzten Wagen, Bild 8.

Diesen Nachteil kann man bei der KEs-Bremse durch Hinzufügen eines sog. Schnellbremsbeschleunigers beseitigen, der nur im Falle einer Schnellbremsung wirksam wird und den Druck in der Hauptluftleitung an jedem



**Bild 8.** Druckverlauf ohne Schnellbremsbeschleuniger.



**Bild 9.** Druckverlauf mit Schnellbremsbeschleuniger.

**Bild 8 und 9.** Druckabfall am Anfang und Ende der Hauptluftleitung eines Rapid-Zuges von  $20$  Wagen.

- $b_1, b_2, b_3$  Drücke in den Bremszylindern des ersten, fünfzehnten und zwanzigsten Wagens
- $a_1, a_2, a_3$  Drücke in der Hauptleitung der Lok und des ersten, fünfzehnten und zwanzigsten Wagens

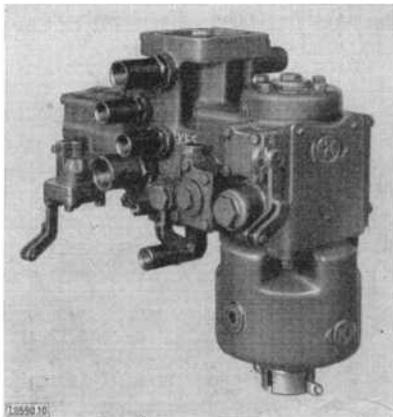
Wagen sehr schnell absenkt. Seine beschleunigende Wirkung auf den Druckanstieg in den Bremszylindern am Zugende zeigt **Bild 9**.

Der Schnellbremsbeschleuniger spricht bei Betriebsbremsungen, d. h. bei kleinen Druckverminderungen in der Hauptluftleitung, nicht an, bei Schnellbremsungen jedoch, die mit einem großen Druckabfall durch das Öffnen des Führerbremsventils eingeleitet werden, entsteht ein schneller örtlicher Druckabfall auf etwa  $2 \text{ kg/cm}^2$ , der sich von Ventil zu Ventil bis zum Zugende fortsetzt.

Infolge sorgfältiger Ausbildung des Vorsteuerventils der KEs-Bremse beträgt die Durchschlagsgeschwindigkeit, mit der der erregende Impuls von Ventil zu Ventil eilt, fast  $300 \text{ m/s}$ . Die Schnellbremsbeschleuniger sind nur an Zügen, die länger als  $400 \text{ m}$  sind, von Vorteil. Bahnverwaltungen, die nur kürzere Rapid-Züge fahren, können auf sie verzichten.

**Der Aufbau des Steuerapparates KEs**

Die auf **Bild 3** von der gestrichelten Linie umschlossenen Teile der Bremsenrichtung wurden zu einer Baueinheit zusammengefaßt, **Bild 10**.

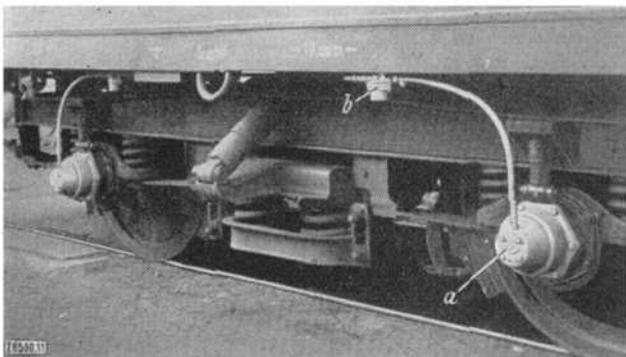


**Bild 10.** Ansicht des Steuerapparates KEs.

**Der Aufbau der Gleitschutzeinrichtung**

Die Gleitschutzeinrichtung, eine Ergänzung zur eigentlichen Steuerapparatur, ist nötig, wenn man im Gebiet der unsicheren Haftung bremsen will. Sie ist aber auch im sicheren Gebiet schon zu empfehlen. Besonders gefährlich sind Bremsungen in nassen, kurvenreichen Tunnels, die mit einer Vollbremsung beginnen. Ein gleitendes Rad läuft erst wieder an, nachdem man die Bremse nahezu völlig gelöst hat; dies ist aber bei Talfahrten oft erst am Ende des Gefälles möglich.

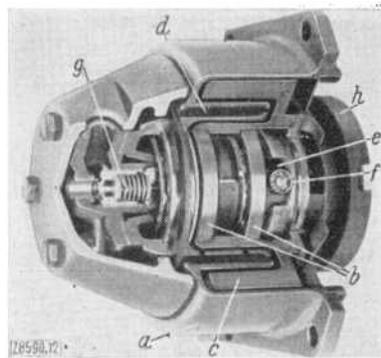
Auf **Bild 11** ist ein Drehgestell mit einem Gleitschutzregler **a** an jeder Achse zu sehen. In die Druckluftleitung wurde je ein Schlauchbruch-Sicherheitsventil **b** eingebaut.



**Bild 11.** Gleitschutzregler mit Schlauchbruchsicherheitsventilen.  
a Gleitschutzregler      b Sicherheitsventil

**Bild 12.** Gleitschutzregler, teilweise aufgeschnitten.

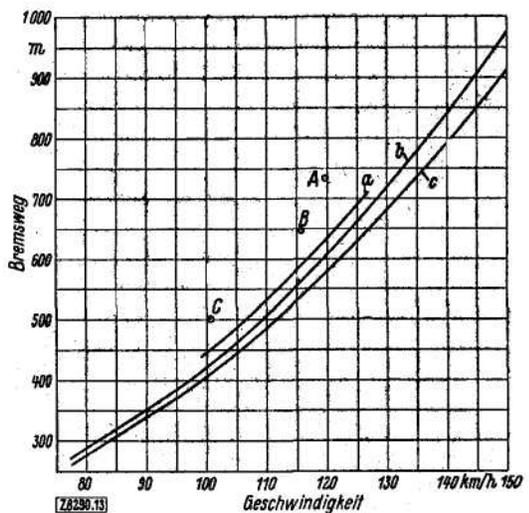
- a Gehäuse
- b Kugellagering
- c Massering
- d Gummipuffer
- e Kurvenmulde
- f Einschnitt in der Kurvenmulde
- g Druckluftventil
- h Antriebscheibe



In einem am Achslager befestigten Gehäuse, **a** in **Bild 12**, läuft auf Kugellageringen **b** der Massering **c**, der durch einen Gummipuffer **d** gegen die Schienenstöße geschützt ist. Die Masse ist mit der Welle — wie schon erwähnt — elastisch so gekuppelt, daß sie in den von der Kurvenmulde **e** gegebenen Grenzen spielen kann. Eine Druckfeder hält die Masse in dem Einschnitt **f** der Mulde. Geht die Haftung des Rades auf der Schiene verloren, so verschiebt sich der Massering infolge seiner Trägheit um das Muldenspiel, hebt infolge seiner gleichzeitigen axialen Verschiebung einen Stößel und öffnet dadurch das Druckluftventil **g** im Regler. Dieser Vorgang bewirkt das Öffnen des großen Auslaßventils am Bremszylinder, das die Zuleitung unterbricht und den Bremszylinder schnell entlüftet. Das Rad wird frei und kommt wieder zum schlupflosen Eingriff mit der Schiene. Darauf pendelt die Masse in die Mulde zurück, das Auslaßventil schließt sich wieder, und neue Druckluft strömt in den Bremszylinder ein. Während jede Achse einen Gleitschutzregler haben muß, genügt ein Achslagerbremsdruckregler je Wagen.

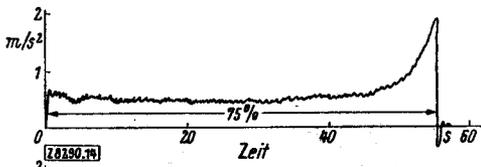
**Brems- und Gleitschutzversuche**

**Bild 13** veranschaulicht Bremswege in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit für einen Zug aus einer Lokomotive und 15 Wagen mit einem Gesamtgewicht von  $688 \text{ t}$ , und zwar mit ein- und ausgeschalteten Schnellbremsbeschleunigern. Dabei betrug die „Bremsung“ der Einzelfahrzeuge, d. h. die Summe der Bremsklotzdrücke, bei der höheren Druckstufe  $160\%$  des Fahrzeuggewichtes, bei der niedrigeren Druckstufe  $75\%$ .

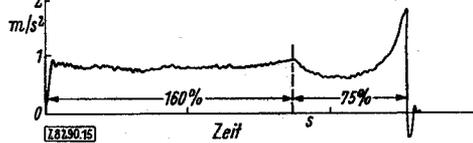


**Bild 13.** Bremswege eines Rapidzuges mit KEs-Bremsen.  
Zuggewicht  $\approx 688 \text{ t}$

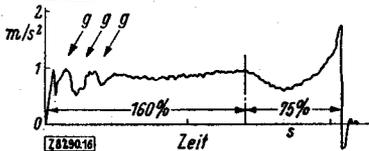
- a ohne Schnellbremsbeschleuniger und ohne Lokomotivbremse
  - b ohne Schnellbremsbeschleuniger
  - c mit Schnellbremsbeschleunigern
- A, B, C Versuchspunkte von Fahrten wie unter a, jedoch waren die Schienen mit Schmierseife bestrichen



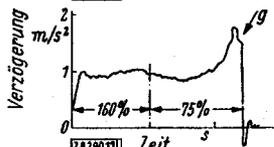
**Bild 14.**  
Vollbremsung aus 130 km/h  
Geschwindigkeit.  
Bremseneinstellung:  
„Personenzug“



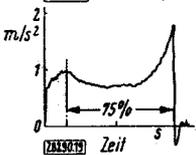
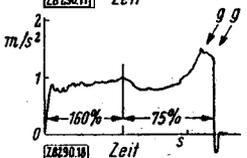
**Bild 15.**  
Schnellbremsung aus 150 km/h  
Geschwindigkeit.  
Bremseneinstellung:  
„Schnellzug“



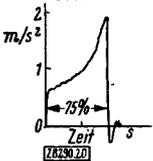
**Bild 16.**  
Schnellbremsung aus 137 km/h  
Geschwindigkeit.  
Bremseneinstellung: „Schnellzug“  
g vom Gleitschutzregler  
abgebaute Verzögerungsspitzen



**Bild 17 und 18.**  
Schnellbremsung aus 90 km/h  
Geschwindigkeit.  
Bremseneinstellung: „Schnellzug“  
g vom Gleitschutzregler  
abgebaute Verzögerungsspitze



**Bild 19.**  
Schnellbremsung aus 60 km/h  
Geschwindigkeit.  
Bremseneinstellung: „Schnellzug“



**Bild 20.**  
Schnellbremsung aus 30 km/h  
Geschwindigkeit.

**Bild 14 bis 20.** Verzögerungsdiagramme von Schnellbremsungen eines Zuges mit KEs-Bremsen unter verschiedenen Bedingungen. Die Prozentangaben bezeichnen die Größe der „Bremsung“ (Verhältnis von Bremsklotzbelastung zu Fahrzeuggewicht)

An drei Punkten der Meßstrecke bestrich man die Schienen mit Schmierseife, um das Funktionieren der Gleitschutzregler prüfen zu können. Die Bremswegverlängerung ist, wie man aus der Vergleichskurve a sieht, außerordentlich klein.

Von Interesse dürften die Verzögerungskurven sein, die bei Schnellbremsungen aufgenommen wurden, Bild 14 bis 20. Der Verzögerungsmesser bestand aus einer zwischen

Federn aufgehängten Masse, die man mit Rücksicht auf eine ausreichende Empfindlichkeit nicht über ein bestimmtes Maß hinaus gedämpft hatte, damit die Verzögerungsänderungen deutlicher erkennbar blieben, die durch das Ansprechen von Gleitschutzreglern verursacht wurden. Die Kurve in Bild 14 hat man anlässlich einer Bremsung aufgenommen, bei der die Bremsen auf einen Personenzug, d. h. für niedrigen Bremsdruck mit 75% eingestellt waren. Das Verzögerungsdiagramm gibt den Anstieg des Reibwertes zwischen dem Bremsklotz und dem Rad mit abnehmender Geschwindigkeit deutlich wieder. Kurz vor dem Halten entstehen die als „Halteruck“ bekannten Spitzenverzögerungen von fast 2 m/s<sup>2</sup>. Die Kurven auf den Bildern 15 bis 20 hat man beim Einsatz von geschwindigkeitsabhängigen Bremsen aufgezeichnet, d. h. mit 160% und 75% Bremsdruck. Man erkennt, wie bei allen Schnellbremsungen die ansteigende Tendenz beim Umschaltzeitpunkt (50 km/h) heruntergedrückt wird. Auf den Bildern 17 und 18 sieht man, daß die letzte Verzögerungsspitze durch das Ansprechen von Gleitschutzreglern abgebrochen ist, während die Kurve in Bild 16 die Gleitschutzreglerarbeit schon im hohen Geschwindigkeitsbereich deutlich werden läßt. Diese Kurve entstand nicht durch künstliches Schmieren der Schienen, sondern gelegentlich einer Schnellbremsung bei gerade beginnendem Sprühregen und einer Außentemperatur von etwa 0 °C, d. h. unter ungünstigen Verhältnissen. In diesem Falle hätten an mehreren Rädern Flachstellen entstehen können, wären die Bremsen nicht mit Gleitschutzreglern ausgerüstet gewesen. Die gezeigten Diagramme sind als charakteristische Versuchsergebnisse aus verschiedenen Meßreihen ausgewählt; deshalb sind die Bremszeiten nicht miteinander vergleichbar.

Jede Eisenbahnbremse, die im europäischen Verkehr eingesetzt wird, muß zuerst von einer internationalen Kommission zugelassen werden. Sie prüft die Bremse an Hand festgelegter Bedingungen in Standversuchen an Einzelfahrzeugen und an bestimmten Zuglängen. Fahrversuche in der Ebene und im Gefälle schließen sich an. Die KEs-Bremse wurde im Mai 1956 international genehmigt. Sie ist seitdem Standardbremse der Deutschen Bundesbahn für schnellfahrende Reisewagen.

B 8290