

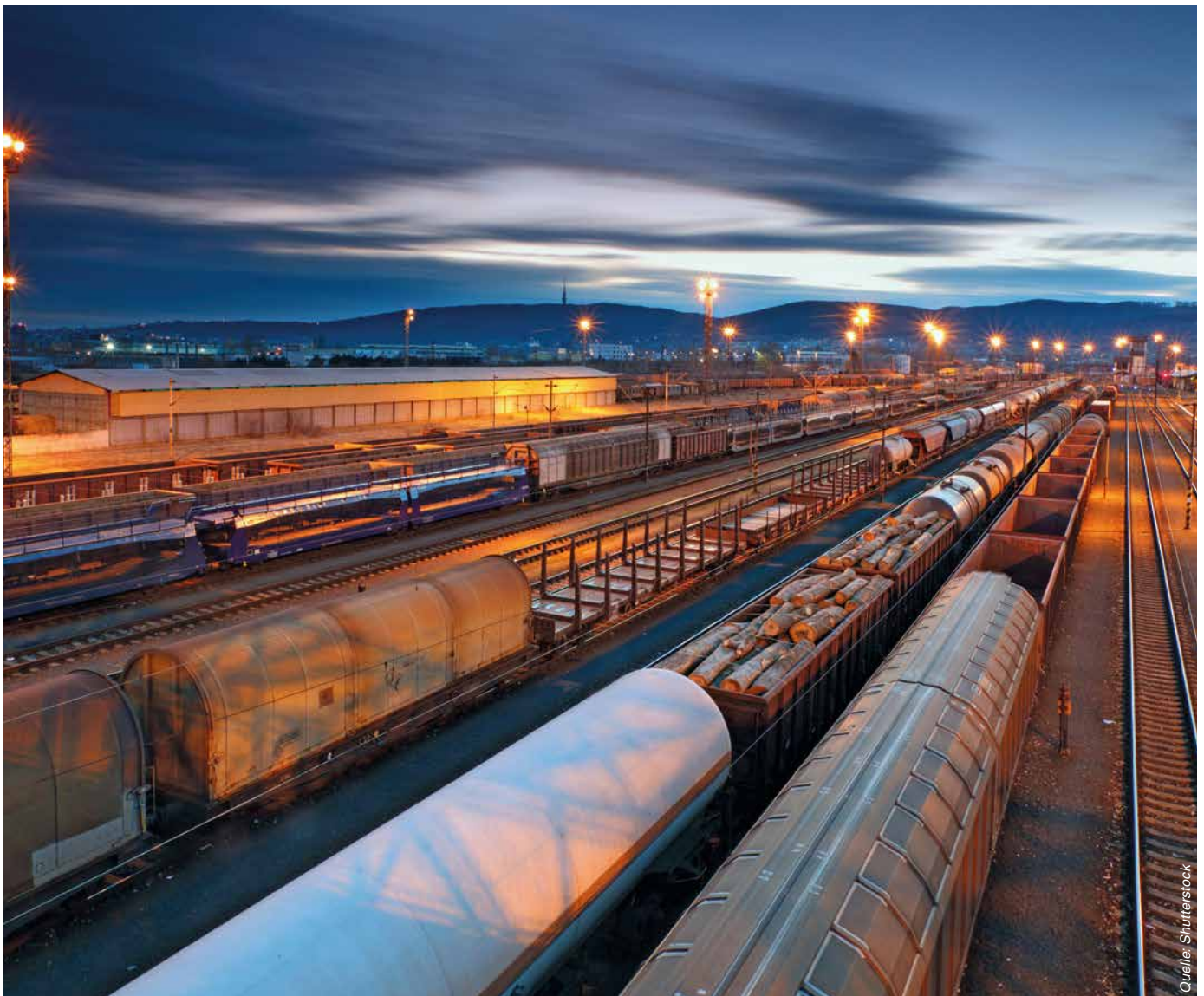
## Weltweite Standards

# Bremssysteme für Eisenbahnen

**Dipl.-Ing. Robert Zieglmeier**, Knorr-Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH,  
Mechanical Systems Engineering Brakes, München



Der vorliegende Beitrag stellt die heute maßgeblichen Bremssysteme für Eisenbahnen vor. Er zeigt auf, wie es zu den voneinander abweichenden Entwicklungslinien kam und was die hauptsächlichsten Anwendungsgebiete sowie die wesentlichen Merkmale der Bremssysteme sind. Die Erläuterungen im Artikel beziehen sich auf die vorrangig anzutreffenden Lösungsansätze. Daneben gibt es Sonderfälle mit teilweise deutlichen Abweichungen, auf die hier nicht eingegangen wird.



Quelle: Shutterstock

Bremssysteme haben auf dem Weg der Eisenbahn zu einem leistungsfähigen Transportsystem stets eine wichtige Rolle gespielt. Das ist nicht weiter verwunderlich, schließlich können Züge immer nur so schnell fahren, wie ihre Bremsen jederzeit und unter allen Einsatzbedingungen die Sicherheit des Betriebs gewährleisten.

#### Die Kernaufgaben der Bremse sind:

- die Geschwindigkeit eines Zugs zu reduzieren,
- die Geschwindigkeit in einem Gefälle konstant zu halten sowie
- das Wegrollen von abgestellten Fahrzeugen zu verhindern.

#### Im Wesentlichen gibt es für Eisenbahnen heute drei weltweit bedeutsame Bremssysteme:

- die sogenannte UIC-Bremse gemäß den Regelwerken des Internationalen Eisenbahnverbandes UIC (vor allem Europa),
  - die AAR-Bremse (nur im Güterverkehr in Amerika und Südafrika),
  - sowie die GOST-Bremse (in Russland und den übrigen Ländern der früheren Sowjetunion mit ihrer Spurweite von 1.520 Millimetern).
- Daneben sind noch Australien und vor allem China mit AAR-ähnlichen Bremssystemen zu nennen.

Jedes dieser Systeme weist hinsichtlich seiner Komponenten und Funktionen einen sehr hohen Standardisierungsgrad auf, lässt aber trotzdem unterschiedliche Ausführungsvarianten zu. Diese Einteilung bezieht sich auf die Steuerung der Bremse mit ihrem Einfluss auf das Zusammenspiel der Fahrzeuge eines Zuges. Die diversen Möglichkeiten zur Erzeugung der Bremskräfte und ihrer Übertragung auf die Schienen spielen hierbei keine Rolle.

Abbildung 1 zeigt stark vereinfacht, welche Bremssysteme in den einzelnen Ländern für den Güterverkehr üblicherweise eingesetzt werden. Eine eindeutige Zuordnung ist oft nicht möglich, weil gegebenenfalls mehrere Systeme in einem Land vorhanden sind. So orientiert sich beispielsweise der Personenverkehr in etlichen als „AAR-Bereich“ dargestellten Ländern an den UIC-Regeln.

## Grundsätzliche Entwicklung der Bremssysteme

Von Beginn an stand die Entwicklung der Eisenbahntechnik und somit auch der Bremssysteme in einem wechselseitigen Zusammenspiel mit der jeweiligen Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung einer Region. So hatte der Bau von Eisenbahnen maßgeblichen Einfluss auf die Erschließung und die wirtschaftliche Entwicklung der Länder; besonders augenfällig war das in Nordamerika. Umgekehrt gaben außergewöhnliche klimatische oder topografische Bedingungen häufig den Ausschlag für die Entwicklung spezifischer technischer Lösungen oder betrieblicher Abläufe. Vor diesem Hintergrund hatten die Bremsen stets ein äußerst breites Spektrum an Anforderungen zu erfüllen. Um ihnen bestmöglich zu entsprechen und dabei immer auch den aktuellen Stand von Technik und Forschung für den Eisenbahnbetrieb nutzbar zu machen, hat es im Laufe der Jahrzehnte eine Vielzahl an unterschiedlichsten Lösungsansätzen und Konstruktionen gegeben.

Dass trotzdem hoch standardisierte Bremssysteme entstanden sind, liegt an den Zwängen eines wirtschaftlich erfolgreichen Eisenbahnbetriebs. Besonders im Güterverkehr zeigte sich schon sehr früh die Notwendigkeit, die einzelnen Fahrzeuge zu immer längeren und schwereren Zügen zusammenzustellen und sie so zu konstruieren, dass sie ohne Schwierigkeiten auch auf das Netz benachbarter Bahnbetreiber oder Länder wechseln können. Ein weiterer Aspekt ist die sehr lange Lebensdauer der Eisenbahnfahrzeuge. Sie führt dazu, dass einmal eingeführte technische Lösungen nicht einfach wieder verlassen werden können, sondern ihre stetige Weiterentwicklung gegebenenfalls in kleinen, kompatiblen Schritten erfolgen muss.

## Vorrangstellung der Druckluftbremse

Die Erfindung der selbsttätigen (automatischen) Druckluftbremse durch George Westinghouse um 1870 bedeutete einen großen Schritt bei der Fortentwicklung der Eisenbahn zu einem äußerst

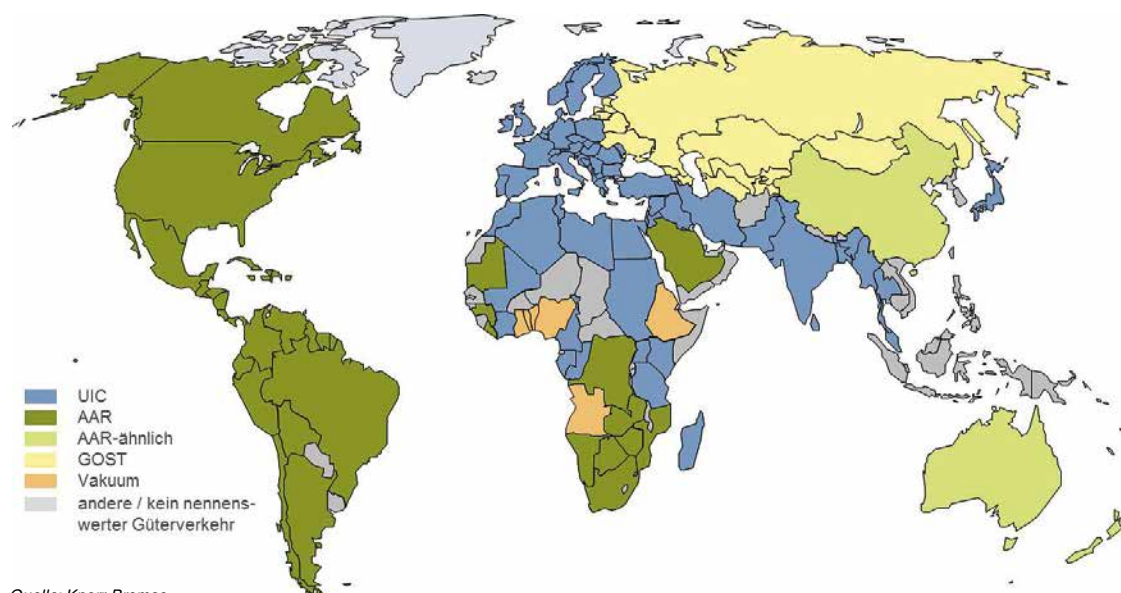


Abbildung 1:  
Verbreitung der  
Bremssysteme im  
Güterverkehr  
(stark vereinfacht)

Quelle: Knorr-Bremse

leistungsfähigen Transportsystem. Die Druckluftbremse war für die vielfältigen Bedürfnisse des Bahnbetriebs bestens geeignet. Sie nutzt zur Übertragung der Energie und der Brems- und Lösebefehle im Zug das Medium Druckluft (daher auch die Bezeichnung pneumatische Bremse). Weiterentwicklungen und neue Funktionen steigerten im Laufe der Zeit ihre Leistungsfähigkeit deutlich, was höhere Geschwindigkeiten, höhere Massen und größere Zuglängen ermöglichte. Entsprechend rasch setzte sich die Druckluftbremse gegen alle anderen technischen Ansätze durch und bestimmt seit mehr als hundert Jahren fast vollständig sämtliche Bremssysteme der Eisenbahnen.

Daneben fand lediglich das technische Gegenstück, die Unterdruck- beziehungsweise Vakuumbremse, eine größere Verbreitung, dies vor allem in den Ländern des früheren Commonwealth. Weil sie aber höchstens die kleine Differenz zwischen Unterdruck und Atmosphärendruck (also maximal 1 bar) nutzen kann und deshalb erheblich größere und schwerere Kraftrzeuger (Bremszylinder) benötigt, konnte auch sie sich nicht gegenüber der Druckluftbremse behaupten. Mit der elektrischen anstelle der pneumatischen Steuerung wurden zwar schon sehr früh Versuche durchgeführt, aber die Elektrotechnik war bei weitem noch nicht zuverlässig genug für einen stabilen und wirtschaftlichen Bahnbetrieb.

Der Vollständigkeit halber sind noch die hydraulischen Bremsen zu erwähnen, die heute in Schienenfahrzeugen für den Straßenbahn- und Stadtbahnbereich mit ihren oft sehr beengten Einbauverhältnissen (speziell in Niederflurfahrzeugen) eingesetzt werden. Sie benutzen für die Erzeugung der Bremskräfte anstelle von Druckluft Hydraulikflüssigkeiten. Wegen der sehr hohen Drücke von bis zu 160 bar können die steuernden und kraftrzeugenden Geräte sehr kompakt ausgeführt werden, jedoch bestehen bei ihnen sehr hohe Anforderungen an die Dichtigkeit. Wegen des damit verbundenen Aufwandes und da sie nur bedingt kompatibel mit den vorhandenen Druckluftbremsen sind, finden sie in Eisenbahnfahrzeugen keine nennenswerte Anwendung.

### Grundlegende Anforderungen an Bremsen

Einige der Anforderungen an Eisenbahnbremsen sind so grundlegender Natur, dass sie sich in allen wichtigen Bremssystemen wiederfinden. Die folgende Aufzählung nimmt teilweise bereits auf die Druckluftbremse Bezug.

- Die Bedienung aller Bremsen des Zuges muss zentral vom führenden Fahrzeug aus möglich sein. Dies erfordert eine durch den ganzen Zug reichende Steuerleitung für das Übertragen der Brems- und Lösebefehle (sogenannte durchgehende Bremse).
- Im Falle von Zugtrennungen müssen beide Zugteile automatisch gebremst werden (sogenannte selbsttätige Bremse). Diese Forderung erzwingt zum einen, dass jedes Fahrzeug über einen eigenen Speicher für die zum Bremsen notwendige Energie verfügt (zum Beispiel Hilfsluftbehälter). Außerdem leitet sich hieraus das Wirkprinzip der „indirekten Bremse“ ab, bei der ein Druckabfall in der Steuerleitung zu einer Druckerhöhung im Bremszylinder führt.

- Die Versorgung der einzelnen Fahrzeuge mit Bremsenergie (das Auffüllen der Hilfsluftbehälter) erfolgt meist zentral von der Lokomotive aus; vor allem bei Triebzügen sind heute jedoch auch mehrere im Zug verteilte Luftversorgungsanlagen üblich.
- Das Bremssystem muss unerschöpflich sein, das heißt, unabhängig von vorangegangenen Betätigungen muss immer ein spezifiziertes Mindestbremsvermögen erzielt werden können.
- Für einen praktikablen Bahnbetrieb muss das freizügige Zusammenstellen von Loks und Waggons möglich sein.
- Unter allen Beladungszuständen und bei allen Zugzusammenstellungen müssen die Längskräfte innerhalb des Zuges sicher beherrscht werden.
- Die Bremse einzelner Fahrzeuge muss ausgeschaltet werden können, ohne die Durchgängigkeit der Bremse und damit eine Weiterfahrt des Zugs zu beeinträchtigen.

Um diese Anforderungen zu erfüllen, weisen die Druckluftbremsen nach den Regeln von UIC, AAR oder auch GOST eine Reihe von Gemeinsamkeiten auf. So übernimmt eine durch den gesamten Zug führende durchgängige Steuerleitung (Hauptluftleitung) sowohl die Energieversorgung der Bremse als auch die Übertragung von Steuersignalen an die Bremsen des Zuges. In der Hauptluftleitung herrscht in der betriebsbereiten Stellung der sogenannte Regelbetriebsdruck (zum Beispiel bei UIC 5,0 bar). Gemäß dem Prinzip der indirekten Bremse entspricht ein Absenken des Hauptluftleitungsdrucks einem Signal zum Anlegen der Bremse und das Anheben des Drucks einem Lösesignal.

Des weiteren verfügt jedes Fahrzeug über einen Hilfsluftbehälter zur Speicherung der Energie. In jedem Fahrzeug ist als zentrale Komponente das Steuerventil dafür zuständig, dass der Hilfsluftbehälter ausreichend gefüllt wird und dass bei Druckänderungen in der Hauptluftleitung die Bremse entsprechend anlegt oder löst. Zum Anlegen der Bremsen leitet das Steuerventil Luft aus dem Hilfsluftbehälter in den Bremszylinder, zum Lösen entlüftet es den Bremszylinder ins Freie. Die Charakteristik des Steuerventils ist dabei maßgeblich für die Brems- und Lösezeiten im einzelnen Fahrzeug.

Schließlich können die Fahrzeuge zwecks einer leistungsfähigeren Luftversorgung mit einer zusätzlichen Leitung (Hauptluftbehälterleitung) ausgerüstet werden (sogenannte Zweileitungsbremse). Diese kann neben der Bremse auch andere Einrichtungen, wie zum Beispiel Türen, Luftfedern oder Toiletten, mit Druckluft versorgen. Der Druck in dieser zweiten Leitung, die keinerlei Steuersignale überträgt, ist meist deutlich höher als in der Hauptluftleitung.

Auf einen sehr nützlichen Aspekt der AAR-, GOST- und UIC-Standards sei besonders hingewiesen. Die Regeln beziehen sich jeweils auf das einzelne Fahrzeug (beziehungsweise bei Triebzügen auf die kleinste betrieblich einsetzbare Einheit). Jedes neue Fahrzeug muss im Rahmen seiner Zulassung die Einhaltung der Regeln nachweisen. Sind alle Fahrzeuge eines Zuges entsprechend zugelassen, ist damit gleichzeitig das Verhalten des gesamten Zuges innerhalb zulässiger Grenzen



gewährleistet, ohne dass dies für jeden Zug nochmals im Einzelfall überprüft werden muss.

### Merkmale und Anwendungsunterschiede der Druckluftbremse

Das charakteristische Merkmal der Druckluftbremsen ist das Übertragen der Brems- und Lösebefehle durch Senken und Anheben des Drucks in der durchgehenden Hauptluftleitung. Dieses eigentlich recht einfache Prinzip bedeutet aus physikalischen Gründen ein komplexes Zusammenspiel zwischen der Regulierbarkeit der Bremse, den erreichbaren Bremswegen und den Längskräften im Zug. Diese Zusammenhänge kommen insbesondere bei langen Zügen zum Tragen. Gemeinsam mit dem jeweils verfügbaren technischen Entwicklungsstand und dem bereits erwähnten Einfluss der Eigenschaften der Streckennetze haben sie maßgeblich zur unterschiedlichen Ausprägung und Verwendung der Bremssysteme nach UIC, AAR und GOST beigetragen.

Druckunterschiede können sich in der Hauptluftleitung maximal mit der sogenannten Durchschlagsgeschwindigkeit fortbewegen. Sie beträgt bei modernen Bremssystemen zirka 280 Meter pro Sekunde (m/s). Wegen dieser physikalischen Begrenzung ist die pneumatische Signalübertragung zwangsläufig mit einem nicht zeitgleichen Auf- oder Abbau der Bremskraft in den einzelnen Fahrzeugen verbunden. Die Waggons vorne im Zug beginnen früher mit dem Bremskraftaufbau, deshalb bremsen sie anfangs stärker als die hinteren Wagen. Diese laufen auf, was zu Druckkräften im Zug führt. Umgekehrt ist es beim Lösevorgang. Hier kann es sein, dass die ersten Wagen ihre Bremse bereits vollständig gelöst haben, während die letzten Wagen noch eingebremst sind, was zu Zerrungen im Zugverband führen kann. Im Extremfall können diese Stauchungen und Zerrungen zu Entgleisungen beziehungsweise Zugtrennungen führen.

### Vor- und Nachteile der pneumatisch gesteuerten Bremse

Um dem entgegenzuwirken, sind bei der rein pneumatisch gesteuerten Bremse mehrere technische Maßnahmen möglich. Jede davon hat ihre Vor- und Nachteile. Je langsamer die einzelnen Wagen Bremskraft aufbauen und reduzieren, desto kleiner werden die resultierenden Längskräfte im Zug. Dies

führte zur Einführung verschiedener Bremsarten mit jeweils unterschiedlichen Brems- und Lösezeiten, aber gleicher maximaler Bremskraft. Bei der UIC-Bremse gibt es zum Beispiel die Bremsarten Personenzug „P“ (schnell wirkende Bremse) beziehungsweise Güterzug „G“ (langsam wirkende Bremse). Selbstverständlich bedeutet ein langsamerer Bremskraftaufbau eine entsprechende Verlängerung des erreichbaren Bremswegs.

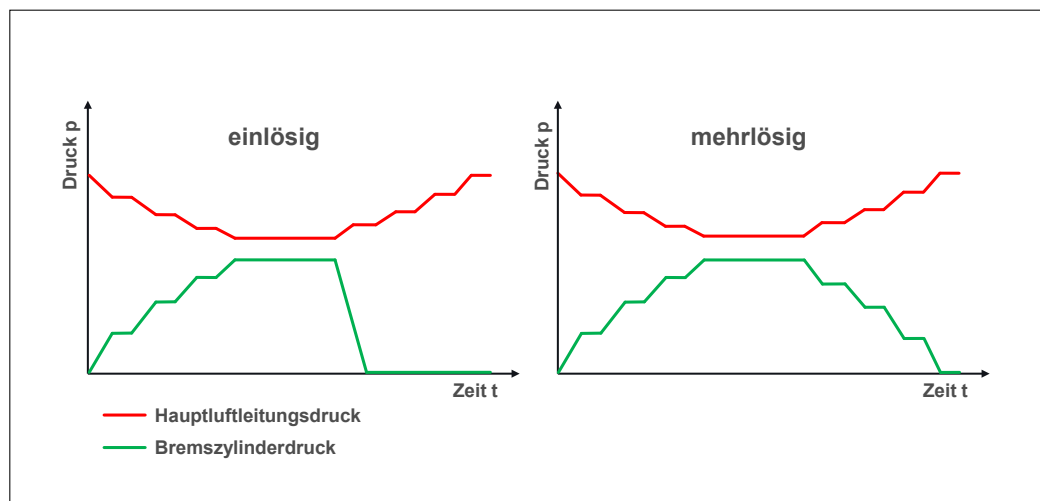
Anstelle längerer Kraftaufbauzeiten kann bei langen Zügen die maximal erreichbare Bremskraft der einzelnen Wagen reduziert werden. Auch dies hat längere Bremswege zur Folge. Längere Bremswege stehen einem dichten Zugverkehr im Streckennetz entgegen, denn sie setzen entweder größere Signalabstände oder niedrigere Fahrgeschwindigkeiten voraus. Eine weitere Einflussmöglichkeit sind die Zug- und Stoßvorrichtungen eines Zugs. Die schon sehr früh landesweit eingeführten Mittelpufferkupplungen in Nordamerika und Russland können bei gleicher Entgleisungssicherheit größere Längskräfte aufnehmen als dies auch heute noch bei Verwendung der UIC-Schraubenkupplung in Kombination mit Puffern zulässig ist.

Auch eine bessere Synchronisation beim Auf- und Abbau der Bremskräfte reduziert die Längskräfte im Zug. Rein pneumatische Ansätze sind dabei für das Bremsen sogenannte Beschleunigungseinrichtungen. Sobald sie eine Druckabsenkung erkennen, entlüften sie zusätzlich etwas Luft aus der Hauptluftleitung ins Freie. Folglich pflanzt sich die Druckabsenkung in der Leitung schneller zu den hinteren Waggons fort. Ein schnelleres Lösen der Bremsen kann mit Hilfe der Zweileitungsbremse erreicht werden. In diesem Fall übernimmt die zweite durchgehende Leitung im Zug das Nachfüllen der für die Bremsung verbrauchten Luft in den Hilfsluftbehältern der Waggons. In der Hauptluftleitung selbst steigt der Druck deshalb auch in den hinteren Waggons schneller an, so dass ihre Bremsen früher wieder vollständig gelöst sind.

Die langsame pneumatische Signalübertragung bedingt jedoch nicht nur mehr oder weniger große Längskräfte im Zug, sondern sie ist auch der Grund dafür, dass bei sehr großen Zuglängen die Druckluftbremsen eine prinzipiell andere Wirkungsweise bezüglich ihres Löseverhaltens haben müssen als bei kurzen Zügen. Druckluftbremsen sind entweder einlösiger oder mehrlösiger. Bei einer einlösigen Bremse lässt sich die Bremskraft

Abbildung 2: Bremskraftaufbau und Löseverhalten bei einlösiger und mehrlösiger Bremse

Quelle: Knorr-Bremse



zwar in mehreren Stufen erhöhen, indem der Druck in der Hauptluftleitung stufenweise abgesenkt und damit der Bremszylinderdruck erhöht wird (Abbildung 2, links). Das Lösen der Bremse ist dagegen nur in einem einzigen Schritt möglich, weil die Steuerventile bereits bei einer kleinen Erhöhung des Druckes in der Hauptluftleitung die Bremszylinder vollständig entlüften. Da ein geringfügiges Reduzieren der Bremskraft nicht möglich ist, erfordert zielgenaues Bremsen, zum Beispiel am Bahnsteig, vom Triebfahrzeugführer entsprechend viel Erfahrung. Neben der Bedienbarkeit ist ein weiterer Nachteil der einlösigigen Bremse ihre Erschöpfbarkeit. Wenn bereits kurz nach einem Lösevorgang erneut gebremst wird, und deshalb noch nicht ausreichend Zeit zum vollständigen Wiederauffüllen der Hilfsluftbehälter in den Waggons zur Verfügung stand, kann bei mehrmaliger Wiederholung unter Umständen nicht mehr der volle Bremszylinderdruck erreicht werden. Besonders bei Gefällefahrten bringt die einlösigige Bremse deshalb Erschwernisse in ihrer Bedienbarkeit mit sich.

Demgegenüber lässt sich eine mehrlösigige Bremse nicht nur gestuft anlegen sondern auch in mehreren Stufen wieder lösen (Abbildung 2, rechts). Sie erleichtert damit das Fahren eines Zuges vor allem dann, wenn zum Beispiel wegen häufiger Neigungswechsel, kurzen Stationsabständen oder dichtem Zugverkehr das häufige Anpassen der Bremskraft notwendig ist. Allerdings stoßen die mehrlösigigen Bremsen bei größeren Zuglängen an physikalische Grenzen. Das Hauptproblem dabei ist, dass sich die Bremsen der hinteren Waggons nur gemäß dem ansteigenden Druck in der Hauptluftleitung lösen. Das geschieht jedoch sehr langsam, weil die von der Lokomotive kommende Luft im gesamten Zug nicht nur die Hauptluftleitung selbst, sondern auch alle Hilfsluftbehälter wieder auffüllen muss. Dieser Vorgang kann bei einem 1.500 Meter langen Zug durchaus 20 bis 30 Minuten dauern und erst dann ist der Zug mit vollständig gelöster Bremse abfahrtsbereit.

**Anwendung der Bremssysteme**

Mit den beschriebenen Merkmalen der pneumatischen Bremse ergaben sich in den einzelnen Regionen folgende Entwicklungen und typische Anwendungen. Bedingt durch die damals verfügbare Technologie waren die ersten Druckluftbremsen einlösig. Besonders für den Einsatz in Personenzügen erfolgte jedoch schon bald die Weiterentwicklung zu den leichter regulierbaren mehrlösigigen Bremsen. Tabelle 1 zeigt die Vor- und Nachteile von ein- und mehrlösigern Bremsen.

**Europa (UIC-Bremse)**

Der Eisenbahnverkehr im dichtbesiedelten Europa mit vielen kleinen eigenständigen Ländern war von Beginn an geprägt

durch ein engmaschiges, auf Hauptstrecken mehrgleisig ausgebautes Streckennetz, das im Mischverkehr sowohl von Güter- als auch Personenzügen mit hoher Zugdichte genutzt wird. Kurze Bahnhofsabstände und Signalsysteme mit kurzen zulässigen Bremswegen führen dazu, dass ein hohes Beschleunigungs- und Bremsvermögen sowie betriebliche Flexibilität im Vordergrund stehen. Einfach gesagt: es wird häufig und stark gebremst. Deshalb war schon früh auch im Güterverkehr der Einsatz mehrlösigiger Bremsen angestrebt. Dies gelang jedoch erst mit der Einführung der Kunze-Knorr-Bremse nach dem Ersten Weltkrieg.

Von sehr wenigen Ausnahmen abgesehen, gibt es in Europa bis heute keine Güterzüge, die wesentlich länger als 750 Meter sind, weil sonst große Teile der Schieneninfrastruktur angepasst werden müssten. Diese Zuglänge ist mit der bisherigen, mehrlösigigen UIC-Druckluftbremse sicher beherrschbar. Zur Begrenzung der Längskräfte gibt es verschiedene Bremsarten mit unterschiedlichen Brems- und Lösezeiten. Beispielsweise erfolgt, gemessen am Einzelfahrzeug, der Bremskraftaufbau in Bremsart „P=Personenzug“ in 3 bis 5 Sekunden, in der Bremsart „G=Güterzug“ in 18 bis 30 Sekunden; die Lösezeiten sind in „P“ 15 bis 20 Sekunden, in „G“ 45 bis 60 Sekunden.

**Nordamerika (AAR-Bremse)**

Wegen der Landesstruktur mit den wirtschaftlichen Zentren im Osten und Westen und den dazwischenliegenden großen dünn besiedelten Gebieten mit sehr langen und zunächst eingleisigen Strecken waren in Nordamerika möglichst lange Güterzüge schon immer ein wirtschaftliches Muss für die Bahngesellschaften. Begünstigt durch das Vorhandensein einer kräftigen Mittelpufferkupplung bereits ab 1893 blieb deshalb im Güterverkehr die einlösigige Bremse das Maß aller Dinge. Die wirtschaftlichen Vorteile durch die wesentlich längeren Züge überwiegen bis heute bei weitem die Nachteile aus der schwierigeren betrieblichen Handhabung der einlösigigen Bremse. Im Personenverkehr waren dagegen mehrlösigige Bremsen üblich. Das gilt auch für den heutigen Personenverkehr, der in kleinem Umfang wieder stattfindet.

Die AAR-(Güterzug-)Bremsen und ihr Einsatz weisen einige besondere Merkmale auf. Weit verbreitet ist ein Betrieb mit vielen Lokomotiven, die in bis zu drei Lokgruppen an der Spitze, am Ende und gegebenenfalls auch innerhalb eines Zuges eingereiht sind („Distributed Power“; Abbildung 3). Diese Lokgruppen sind meist über Funk oder elektrisch fernbedient. Dabei ist es durchaus möglich, dass ein Verband bereits in Bergabfahrt bremst, während die hinteren Loks bergauf noch schieben. Der Lokführer wird hierzu durch Assistenzsysteme unterstützt, die ihn unter anderem über die Größe der Längskräfte im Zug informieren.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile ein- und mehrlösigiger Bremsen

Quelle: Knorr-Bremse

Kriterium	einlösigige Bremse	mehrlösigige Bremse
Maximale Zuglängen	sehr groß (bis zu 4.000 Meter)	zirka 1.000 Meter
Unerschöpfbarkeit	nein	ja
Reguliergenauigkeit	begrenzt	gut
Haupteinsatzgebiet	(AAR und GOST: Güterverkehr)	UIC (Güter- und Personenverkehr) GOST (Personenverkehr) Personenverkehr in AAR-Ländern



Abbildung 3: „Distributed Power“

Zur Beherrschung der Längskräfte im Zug wird mit langen Bremszylinderfüllzeiten und auch niedrigen Bremskräften der einzelnen Waggons gearbeitet. Dies führt zu deutlich längeren Bremswegen als im UIC-Bereich, die streckenseitigen Zugsicherungseinrichtungen sind hierauf abgestimmt. Die Hilfsluftbehälter für die Betriebsbremse sind so dimensioniert, dass sie bei einer Vollbremsung mit dem Bremszylinder auf Ausgleichsdruck gehen. End-of-train-Geräte (EoT) am letzten Waggon entlüften bei einer Bremsanforderung die Hauptluftleitung und bewirken das Ansprechen der einzelnen Waggonbremsen zusätzlich vom Zugende her, was einen schnelleren Bremskraftaufbau ermöglicht.

Wesentlich kürzere Bremswege lassen sich mit einer elektronisch gesteuerten Bremse (ecp-brake; Abbildung 4) erreichen, die im ganzen Zug das zeitgleiche Anlegen und Lösen der Bremsen erlaubt und aus der einlösigen eine mehrlösige Funktionsweise der Bremse macht. Allerdings müssen hierfür sämtliche Waggons (und die eingesetzten Lokomotiven) mit einer durchgängigen elektrischen Steuerleitung ausgerüstet

Abbildung 4: Elektronisch/pneumatisches Steuerventil EP60



sein. Deshalb sind mit dieser Technologie bisher lediglich Ganzzüge, zum Beispiel im Kohleverkehr auf bestimmten Strecken, im Einsatz.

Nachdem die einlösige Betriebsbremse erschöpfbar ist, wenn sie innerhalb kurzer Zeit mehrmals angelegt wird, hat man eine Rückfallebene geschaffen, mit der sich ein Zug jederzeit sicher zum Stehen bringen lässt. Zu diesem Zweck haben alle Waggons einen zweiten Hilfsluftbehälter. Er wird im Schnellbremsfall direkt mit dem Bremszylinder verbunden und ist so dimensioniert, dass sich in diesem Fall als Ausgleichsdruck der maximal erforderliche Bremszylinderdruck einstellt. Der Luftvorrat reicht nur für eine einmalige Schnellbremsung.

Eine weitere Besonderheit der AAR-Bremse sind die Rückhalteventile (Retainer valve) am Steuerventil für das sichere Befahren von Gefälleabschnitten. Bei der einlösigen Bremse kann es nach einem Lösevorgang zum Beispiel am Ende einer Regulierbremsung oder nach einer Wiederanfahrt im Gefälle mehrere Minuten dauern, bis alle Hilfsluftbehälter des Zugs wieder aufgefüllt sind. Während dieser Zeit ist der Zug aber vollkommen ungebremst und er würde zu stark beschleunigen. Ein aktiviertes Rückhalteventil hält deshalb auch bei einem Lösebefehl an das Steuerventil den Druck im Bremszylinder ganz oder teilweise zurück. Die Bremsen bleiben also angelegt, obwohl das Steuerventil wegen des Lösebefehls den Hilfsluftbehälter aus der Steuerleitung wieder auffüllen kann. Die Rückhalteventile müssen am Beginn des Gefälles bei einer ausreichenden Anzahl von Waggons manuell umgestellt und am Ende des Gefälles wieder zurückgestellt werden, was mit einem längeren Halt des Zugs verbunden ist. Die heute sehr leistungsfähigen dynamischen Bremsen der Lokomotiven machen die Benutzung der Rückhalteventile mehr und mehr überflüssig.

Ähnliche Verhältnisse und Einsatzbedingungen für den Güterverkehr finden sich teilweise auch in Australien, Südafrika und China, weshalb auch dort AAR-ähnliche Bremssysteme im Einsatz sind.

**Russland (GOST-Bremse)**

Ähnlich wie Nordamerika verfügt auch Russland aufgrund seiner geografischen Verhältnisse über ein sehr weitmaschiges

Abbildung 5: Scheibenbremse im Wintereinsatz in Russland



<b>Merkmal</b>	<b>UIC</b>	<b>AAR (nur Güterverkehr)</b>	<b>GOST</b>
Bremsteuerung	mehrlösiger	einlösiger	PV: mehrlösiger elektro-pneumatisch GV: umschaltbar, Ebene einlösiger, Gefälle mehrlösiger
Regelbetriebsdruck in Hauptluftleitung	5,0 bar	70–110 psi (4,8 – 7,6 bar)	PV: 5,0 bar GV: Ebene 5,3 bar, Gefälle 6,3 bar
Maximaler Bremszylinderdruck	3,8 bar (Voll- und Schnellbremsung)	Üblich 64 psi (4,4 bar) bei Vollbremsung, bei Schnellbremsung 15 Prozent höher	4,2 bar
Maximale Zuglänge	PV: zirka 400 m, GV: 750 m, Versuche bis max. 1.500 m	GV: bis zirka 200 Wagen	PV: zirka 20 Wagen GV: zirka 100 Wagen
Steuerventil (Beispiel)	 KE2dv	 DB60	 KAB60

Tabelle 2: Die Bremssysteme und ihre wichtigsten Merkmale (PV=Personenverkehr, GV=Güterverkehr)

Quelle: Knorr-Bremse

Eisenbahnnetz in extrem dünn besiedelten Gebieten. Sehr lange Güterzüge sind auch hier üblich. Daneben spielt jedoch bis heute auch der Personenverkehr eine wichtige Rolle, wobei die Reisezüge teilweise aus mehr als 20 Wagen bestehen.

Ein besonderes Merkmal der russischen Eisenbahn waren immer die extrem strengen klimatischen Bedingungen mit Temperaturen zwischen -60 und +40 Grad Celsius (Abbildung 5). Sie erfordern geeignete Auslegungs- und Konstruktionsrichtlinien ebenso wie auch betriebliche Vorschriften, die sich von anderen Einsatzgebieten der Welt erheblich unterscheiden. Beispielsweise sind mindestens zwei Luftversorgungsanlagen für die Züge vorgeschrieben, weil das Liegenbleiben eines Zuges bei extrem tiefen Temperaturen schnell lebensbedrohlich werden kann.

Mit beeinflusst durch die abweichende Spurweite von 1.520 Millimetern, vor allem aber wegen der historischen beziehungsweise politischen Entwicklung verfügen Russland sowie die übrigen Länder der früheren Sowjetunion über ein eigenständiges Bremssystem, dem die GOST-Normen zugrunde liegen. Weil als Steuerventil lange Zeit standardmäßig das Matrossov-Ventil verwendet worden ist, wird häufig auch von der sogenannte Matrossov-Bremse gesprochen.

Güter- und Personenverkehr verwenden unterschiedliche Bremssysteme. Personenzüge haben als Hauptbremse für den normalen Betrieb eine direkte elektro-pneumatische (EP-) Bremse, das heißt, die Signale zum Anlegen und Lösen der Bremse werden elektrisch übertragen und bewirken direkt die Erhöhung oder das Absenken des Drucks im Bremszylinder. Die parallel vorhandene indirekte Bremse mit ihrer Hauptluftleitung und einem Regelbetriebsdruck von 5,0 bar dient als Füllleitung und im Störfall als Rückfallebene mit einem einlösigen Steuerventil, das auch über eine Schnellbremsbeschleunigerfunktion verfügt.

Die Güterzugbremsen arbeiten mit einer indirekten Bremse und haben eine Ebene-Gefälle-Umstellung. Dabei werden ab 18 Promille Streckenneigung die Steuerventile am Zug manuell vom

einlösigen Betrieb in der Ebene (Hauptluftleitungsdruck 5,3 bar) auf mehrlösigen Betrieb für die Gefällefahrt (Hauptluftleitungsdruck 6,3 bar) umgestellt. Zur Lastabbremung bei Güterwagen wird der maximal erreichbare Druck im Bremszylinder mit Hilfe von manuellen Umschalteinrichtungen am Steuerventil (Stellungen leer/mittel/beladen) sowie teilweise mit nachgeschalteten Lastbremsventilen verändert (maximaler Druck 1,6/3,2/4,2 bar). Sämtliche Lokomotiven für den Güterverkehr müssen zwischen ein- und mehrlösiger Bremse umschaltbar sein. Loks für den Personenverkehr benötigen die für Reisezugwagen typischen Steuerventile, einschließlich der Ausrüstung zur Ansteuerung der direkten EP-Bremse.

In der Tabelle 2 sind die wichtigsten Merkmale der UIC-, AAR und GOST-Bremssysteme zusammengefasst.

## Weiterentwicklung der Bremssysteme

Das Entstehen der Standardbremssysteme nach AAR, GOST oder UIC war, wie dargestellt, vor allem durch die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der rein pneumatischen Ansteuerung der Bremse bedingt. Die inzwischen im Eisenbahnbereich, insbesondere im Personenverkehr, neu hinzugekommenen Technologien lösen diese starre Einteilung immer mehr auf und die Dominanz der Druckluftbremse nimmt ab. Als Folge hieraus müssen die Regeln von AAR, GOST und UIC ein breiteres Spektrum an technischen Lösungen abdecken. Gleichzeitig müssen sie aber trotz der Lösungsvielfalt weiterhin sicherstellen, dass mit einem Mindestmaß an gemeinsamen Grundfunktionen auch im Störfall ein sicherer und ausreichend leistungsfähiger Bahnbetrieb möglich ist. Beispielsweise muss ein Triebzug mit elektrisch angesteuerter Bremse beim Ausfall der elektrischen Signalübertragung auch durch Lokomotiven mit rein pneumatischer Bremsansteuerung abgeschleppt werden können. Dazu bedarf es auch der Ansteuerung der Bremsen im geschleppten Triebzug, wenngleich mit vereinfachtem Funktionsumfang.



# DB-Fachbuch

Vor allem „neue“ Technologien und Trends haben Einfluss auf die Bremssysteme. Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb können elektrodynamisch bremsen, indem der Motor als Generator fungiert. Der große Vorteil ist, dass die dynamische Bremse verschleißfrei arbeitet und dass zusätzlich idealerweise ein großer Teil der Bremsenergie ins Stromversorgungsnetz zurückgespeist werden kann. Die Leistungsanforderungen an die mechanische Bremse reduzieren sich entsprechend. Immer häufiger werden Brems- und Lösesignale elektrisch an die Bremsen übertragen (sogenannte elektro-pneumatische Bremse). Damit reagieren alle Bremsen im Zug gleichzeitig und ohne nennenswerte Reaktionszeiten. Die pneumatisch gesteuerte Bremse bleibt jedoch als Rückfallebene sowie zur Energieversorgung der Bremsen notwendig.

Der zunehmende Einsatz von Triebzügen anstelle „klassischer“ lokbespannter Personenzüge im Nah-, Regional- und Hochgeschwindigkeitsverkehr mit jeweils eigenen Fahrzeugflotten erlaubt projektspezifische Ausrüstungen und Funktionen wie zum Beispiel elektrische Notbremsschleifen oder im Regelbetrieb die Abkehr von der indirekten Bremse mit ihrer pneumatischen Steuerleitung.

Elektronik und die darauf aufbauende Kommunikationstechnik ermöglichen eine Vielzahl neuer Funktionen zur weiteren Verbesserung hinsichtlich Regelbarkeit, Zuverlässigkeit und Instandhaltungsaufwand. Auch das Zusammenwirken von Bremssystemen mit der streckenseitigen Signaltechnik wird immer enger. Beispiele sind unter anderem die Linienzugbeeinflussung LZB, das neue europäische Signalsystem ETCS oder das automatisierte Fahren von Zügen. Das Thema Diagnose mit der Erfassung, Auswertung und Verknüpfung von immer mehr fahrzeug- und streckenseitigen Daten nimmt zunehmend Einfluss auf die Bremssysteme.

Sofern nicht als Ausnahmefall Inselfösungen akzeptabel sind, muss jedoch trotz all dieser technischen Möglichkeiten jede neue Bremse für einen Mindestumfang an Funktionen die Standardregeln ihres Einsatzgebietes erfüllen. Deshalb werden die hier aufgezeigten Grundprinzipien der sogenannten AAR-, GOST- oder UIC-Bremsen auch in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. ■

*Ein späterer Beitrag wird das in Europa vorherrschende Bremssystem nach den EN/UIC-Regelwerken detaillierter betrachten.*

#### Lesen Sie auch:

#### **Die Bremssteuerung: Herzstück des Bremssystems**

Deine Bahn 9/2015, ab S. 40

#### Abkürzungen

AAR	Association of American Railroads
GOST	Gossudarstwenuji Standard, sinngemäß „staatlicher Standard“, bezeichnet frühere sowjetische beziehungsweise russische Normen, die teilweise auch in Nachfolgestaaten der Sowjetunion noch angewandt werden
UIC	Union Internationale des Chemins de fer (Internationaler Eisenbahnverband)



Jürgen Janicki/Horst Reinhard/Michael Rüffer

DB-Fachbuch

## Schienenfahrzeugtechnik

3. überarbeitete und erweiterte Auflage, 12/2013

608 Seiten, Softcover, Format: 17 x 24 cm, Preis: EUR 59,90

ISBN 978-3-943214-07-9

*Die Schienenfahrzeugtechnik wird durch die Anforderungen an die Transportaufgaben des Bahnverkehrs vorangetrieben. In der 3. überarbeiteten und erweiterten Auflage dieses Fachbuchs stellen die Autoren den aktuellen Stand der Schienenfahrzeugtechnik vor.*

*Die Funktionsweise aller Bauteile und Komponenten moderner Eisenbahn- und Straßenbahnfahrzeuge werden erklärt. Dabei werden aktuelle Entwicklungen wie Hochgeschwindigkeitszüge, Mehrsystemtechnik, Hybrid- und Mehrkraftfahrzeuge ebenso berücksichtigt wie neue Zugleit-, Sicherungs- und Fahrgastinformationssysteme. Zahlreiche Abbildungen veranschaulichen dem Leser die komplexen technischen Sachverhalte.*

Bestellungen unter:  
[www.bahn-fachverlag.de/shop](http://www.bahn-fachverlag.de/shop)