

Bachelorarbeit

Herman Holleriths Beitrag zur Entwicklung der elektro-pneumatischen Eisenbahnbremse

Christoph Schönweiler

e00526145@student.tuwien.ac.at

Matrikelnummer 00526145

Datum: 15. Jänner 2023

Herman Hollerith wurden Ende des 19. Jahrhunderts Patente zu elektro-pneumatischen Bremsen für die Eisenbahn erteilt. Diese Arbeit ermittelt den Umfang dieser Patente, die Beschreibung des Aufbaues und der Funktion sowie eine Betrachtung zu Ausführbarkeit und Sicherheit. Sie werden mit den Bremssystemen verglichen, die bei den Versuchen bei Burlington (Iowa) eingesetzt wurden. Ein direkter Einfluss Holleriths auf die Entwicklung der Eisenbahnbremsen kann nicht festgestellt werden. Es existieren aber Hinweise auf Verbindungen zu anderen Erfindern, wie Carpenter und Westinghouse.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Methodik	3
2.1	Patente	3
2.2	Bremsversuche	4
3	Grundlagen	4
3.1	Bremssysteme bei der Bahn	4
3.2	Druckluftbremse	4
3.3	Elektro-pneumatische Bremse	5
3.4	Weitere Bremssysteme	5
3.5	Zustand in der Zeit bis 1885	6
4	Die Patente von Herman Hollerith	7
4.1	Patent Nr. 334.020	7
4.2	Patent Nr. 334.021	13
4.3	Patent Nr. 334.022	17
4.4	Patent Nr. 363.463	20
4.5	Patent Nr. 363.464	23
5	Burlington Brake Trials	24
5.1	The Master Car-Builders' Association	24
5.2	1886	24
5.3	1887	26
5.4	Verwendete elektro-pneumatische Systeme	28
5.5	Anwesenheit Holleriths	29
6	Vergleich der patentierten Erfindungen mit den eingesetzten Systemen	29
7	Fazit	30
	Literaturverzeichnis	31

1 Einleitung

Herman Hollerith ist vor allem für seine Innovationen in der frühen Informationstechnologie bekannt. Mit der Entwicklung der Tabelliermaschine zur Verarbeitung von Lochkarten begann Ende des 19. Jahrhunderts das Zeitalter der elektromechanischen Datenverarbeitung [1]. Darüber hinaus wurden ihm Patente für elektrisch gesteuerte pneumatische Bremsen erteilt.

Immer größere Geschwindigkeiten und Massen erforderten im 19. Jahrhundert die Schaffung von besseren Bremsen bei der Eisenbahn. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der historischen Entwicklung bei Güterzügen in den Vereinigten Staaten von Amerika in den 1880er Jahren. Die Anwendung von Elektrizität in Verbindung mit Pneumatik steht dabei im Vordergrund.

Die Master Car-Builders' Association veranstaltete Versuchsreihen, um Systeme von unterschiedlichen Herstellern in der Praxis vergleichen zu können. Ein Teil von Holleriths Patenten wurde in der Zeit vor der Untersuchung eingereicht. Der andere Teil wurde zwischen den beiden Testserien vorgelegt. Auch seine Anwesenheit vor Ort in Burlington (Iowa) wird in einem Bericht dokumentiert. Trotzdem taucht Holleriths Name in der Eisenbahnliteratur nicht auf. Diese Arbeit geht der Frage nach, ob seine Erfindungen einen Einfluss auf die Entwicklung der Bremssysteme hatten.

Die Vorgehensweise umfasste drei Schritte. Zuerst wurden die vorhandenen Patente ausgewertet. Danach erfolgte eine Sichtung der zeitgenössischen Berichte der Testfahrten. Zum Schluss wurden die Beschreibungen der bei den Versuchen verwendeten elektro-pneumatischen Bremsen mit denen der Patente verglichen. Durch meine Recherche ist keine direkte Verbindung zwischen Holleriths Erfindungen und den eingesetzten Systemen oder der weiteren Entwicklung der Bremse nachweisbar.

Nach den Abschnitten über die methodische Vorgehensweise (Kap. 2) und die Grundlagen der Eisenbahnbremsen (Kap. 3) folgt die Beschreibung aller thematisch relevanten Patentschriften Holleriths (Kap. 4). Das Kapitel 5 fasst die Bremsentests bei Burlington (Iowa) mitsamt den benutzten elektrischen Apparaten zusammen. In der abschließenden Diskussion (Kap. 7) werden mögliche Einflüsse besprochen.

2 Methodik

Der methodische Ansatz umfasst zwei Hauptschritte. Erstens ermittle und beschreibe ich die relevanten Patente, und zweitens untersuche ich die Berichte und Schilderungen der Bremsversuche.

2.1 Patente

Der Commissioner of Patents des United States Patent Office legte jährlich dem Kongress einen Bericht des vergangenen Jahres vor. In den Ausgaben für die Jahre 1885 bis 1890 [2, 3, 4, 5, 6, 7] wurde nach Patenterteilungen für Herman Hollerith gesucht. Die in den Patenten beschriebenen Erfindungen werden untersucht und erläutert. Dabei wird auf den Aufbau

der Einrichtung, die Funktion und die Steuerung eingegangen. Zusätzlich gibt es Leitungs- bzw. Schaltungsskizzen, die anhand aktueller Normen neu gezeichnet (EN ISO 128 [8], EN 60617 [9, 10, 11, 12, 13], ISO 1219 [14, 15] und ISO 14617 [16]) sowie beschriftet (IEC 81346 [17, 18]) wurden. Den Schluss jeder Patentbeschreibung bildet eine Betrachtung. Diese geht auf die potentielle Ausführbarkeit sowie die Auswirkungen auf die Sicherheit ein.

2.2 Bremsversuche

Die Hauptquelle für die Versuchsreihen in Burlington ist der Bericht von der 21. Jahrestagung der Master Car-Builders' Association [19]. Darin enthalten ist eine detaillierte Beschreibung des Ausschusses für Güterwagenbremsen, der für die Durchführung und Auswertung der Tests zuständig war. Daraus lassen sich Erläuterungen der eingesetzten Bremssysteme entnehmen. Eine weitere Quelle ist die Railroad Gazette [20], eine zeitgenössische wöchentlich erschienene Fachzeitschrift.

3 Grundlagen

3.1 Bremssysteme bei der Bahn

„Aufgrund der großen bewegten Massen und des relativ geringen Kraftschlusses zwischen Rad und Schiene hat die Eisenbahnbremse eine besondere sicherheitsrelevante Bedeutung.“ [21, Seite 1120]

Aus diesem Zitat ist die Wichtigkeit der Bremsen für Schienenfahrzeuge ersichtlich. Mit den genannten physikalischen Größen sowie der Geschwindigkeit ergeben sich lange Bremswege für Züge. Die Eisenbahnbremse dient zum Anhalten, zur Regelung der Geschwindigkeit und zum Festhalten im Stillstand.

Die Bremssysteme besitzen zwei grundlegende Merkmale zur Einteilung. Das erste ist die Übertragung der Bremskraft. Diese kann über den Kraftschluss Rad/Schiene (kraftschlussabhängige Bremse) oder unabhängig davon (kraftschlussunabhängige Bremse) übertragen werden. Die Unterscheidung, ob die Bremskraft durch die Reibung zwischen mehreren Oberflächen (Reibungsbremse) oder ohne der Nutzung von Reibung (dynamische Bremse) erzeugt wird, ist das zweite Merkmal [22, Seiten 18–21].

Die EN 14478 nennt als Eigenschaften der Bremssteuerung die Durchgängigkeit, die Selbsttätigkeit und das Bremssteuerungsprinzip (indirekte oder direkte Bremse). Bekannt sind pneumatische, hydraulische, elektrische, mechanische und kombinierte Steuerungsarten [22, Seiten 27–29].

3.2 Druckluftbremse

Bei der Druckluftbremse wird die Energie, um den Bremsklotz an die Radlauffläche oder die Bremsbeläge gegen die Bremsscheiben zu drücken, durch Druckluft aufgebracht. Sie ist eine kraftschlussabhängige Reibungsbremse. Als Betriebsdruck ist normalerweise 5 bar (die TSI

LOC&PAS, VO (EU) 1302/2014 der Kommission vom 18. November 2014 über eine technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Fahrzeuge - Lokomotiven und Personenwagen“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union, ABl. L 2014/356, 228, verweist auf die EN 14198, Kap. 5.4.2.2 [23, Seite 21]) vorgesehen. Die Druckluft wird durch einen Kompressor auf der Lokomotive produziert. Druckänderungen steuern die Bremsen am gesamten Zug. Die Besonderheit ist, dass die Energie und die Information für die Steuerung über dieselbe Leitung laufen.

Bei der direkten Bremse wird die Druckluft genutzt, um den Bremszylinder direkt zu befüllen. Je höher also der Druck ist, desto größer ist die Bremswirkung. Dies war die ursprüngliche Anwendung der Druckluftbremse. Heute wird sie nur noch für die Bremse am Triebfahrzeug allein eingesetzt [23, Seite 47][24, Seite 25].

Eine Weiterentwicklung ist die indirekte Bremse. Dabei herrscht in der gelösten Stellung der Betriebsdruck in der Hauptluftleitung und jedes Fahrzeug besitzt einen Hilfsluftbehälter (Vorratsluftbehälter [25, Seite 5]). Wird der Druck abgesenkt, legen die Bremsen an. Das wird durch das Steuerventil erreicht, das entsprechend der Druckdifferenz Luft aus dem Hilfsluftbehälter in den Bremszylinder strömen lässt. Diese Bauart hat den Vorteil, dass das System im Fehlerfall in einen sicheren Zustand wechselt. Beispielsweise bei einer angenommenen Zugtrennung entlüftet die Hauptluftleitung beider Teile, die Bremsen legen an und lassen die Zugteile anhalten. Auch nicht gekuppelte Luftschläuche oder nicht geöffnete Absperrhähne beeinträchtigen die Funktion und fallen daher spätestens bei der vorgeschriebenen Bremsprobe auf. Die indirekte wird deshalb auch selbsttätige Bremse genannt [23, Seite 14][24, Seite 31][26, Seiten 115–116].

Zusätzlich zur Hauptluftleitung gibt es bei Personenwagen und speziellen Güterwagen eine zweite, unabhängige Leitung, die Hauptluftbehälterleitung. Diese hat einen Nominaldruck von 8 bis 10 bar und soll die Hilfsluftbehälter schneller befüllen. Die weitere Nutzung der Druckluft aus dieser Leitung ist für Wagenfederung, Türschließenrichtungen und WC-Anlagen möglich [24, Seite 32][21, Seite 1122][26, Seiten 119–120].

3.3 Elektro-pneumatische Bremse

Die Energie für die Bremswirkung wird bei der elektro-pneumatischen Bremse (ep-Bremse) durch Druckluft aufgebracht. Die Steuerung erfolgt hingegen über elektrische Schaltungen. Diese öffnen und schließen entsprechende pneumatische Ventile.

Bei den meisten Anwendungen der ep-Bremse wird parallel zur elektrischen Ansteuerung auch der Hauptluftleitung-Druck entsprechend abgesenkt. Dies dient als Rückfallebene.

3.4 Weitere Bremssysteme

Vakuumbremse Bei der Vakuumbremse (Saugluftbremse), die ebenfalls kraftschlussabhängig ist, wird die Energie für die Bremswirkung durch ein Teilvakuum in der Leitung geliefert. Die Steuerung der indirekten Vakuumbremse erfolgt, indem durch Lufteinlass das Vakuum verringert wird. Durch den geringen Druckunterschied zwischen dem Teilvakuum und dem atmosphärischen Druck, maximal 0,7 bar, müssen die Brems-

zylinder größere Durchmesser besitzen, um im Vergleich zur Druckluftbremse gleiche Kräfte zu erzeugen [26, Seite 114].

Dynamische Bremse Die Fahrmotoren des Triebfahrzeugs dienen bei der elektrodynamischen Bremse als Generatoren. Die gewonnene Energie kann rückgespeist (regenerative Bremse) oder in Wärme umgewandelt (Widerstandsbremse) werden. Bei der hydrodynamischen Bremse wird die Bremskraft durch die Viskosität einer Flüssigkeit erzeugt [26, Seiten 125–127]. Die Gegendruckbremse bei Dampflokomotiven wirkt durch die Verdichtungsarbeit von Luft in den Antriebszylindern [27, Seite 438]. Alle dynamischen Bremsen gelten als verschleißfrei und sind kraftschlussabhängig.

Wirbelstrombremse Die Wirbelstrombremse ist eine kraftschlussunabhängige dynamische Bremse. Sie erzeugt die Bremswirkung durch Wirbelströme in dem Teil, das an einem am Fahrzeug befestigten Elektromagneten vorbei bewegt wird. Das sind meist die befahrenen Schienen (lineare Wirbelstrombremse). Es existiert auch die Ausführung als Wirbelstrom-Scheibenbremse. Zwischen dem bewegten Teil und dem Magneten verbleibt immer ein geringer Abstand [26, Seiten 127–131].

Magnetschienenbremse Sie ist eine kraftschlussunabhängige Reibungsbremse. Die Magnetschienenbremse nutzt Reibung zwischen den Bremsmagneten und der Schiene. Der Magnet wird elektrisch erregt und presst sich wegen des Magnetfelds gegen die Schiene [28, Seite 13].

Handbremse Die Handbremse ist eine kraftschlussabhängige Reibungsbremse. Die notwendige Energie wird durch menschliche Muskelkraft aufgebracht [22, Seite 51]. Aktuell dient die Handbremse in Form der Spindelbremse nur mehr zum Feststellen von Fahrzeugen [26, Seite 112]. In den ersten Jahrzehnten der Eisenbahn, bei Güterwägen teilweise noch bis in das 20. Jahrhundert, wurden Züge nur mit Handbremsen betrieben. Dabei mussten die Wagen mit Bremsern besetzt werden.

Im Laufe der Geschichte gab es auch noch Gewichtsbremsen (Wirkung eines Gewichtes über Hebeln), Federbremsen (Federkraft), Friktions- oder Schaltwerksbremsen (aufgewickelte Seile und Ketten betätigen das Bremsgestänge) und Pufferbremsen (das Zusammendrücken der Puffer wird genutzt) [29, Seiten 19–31]. Diese Bauarten haben meist mehrere Nachteile und sind deshalb nicht mehr im Einsatz. Einzig die Wirkung der Federkraft wird bei den Federspeicherbremsen genutzt.

3.5 Zustand in der Zeit bis 1885

Bei den ersten Eisenbahnen waren nur einzelne Wagen oder der Lokomotivtender mit einer Handbremse ausgestattet. Auch wenn die gefahrenen Geschwindigkeiten nicht hoch waren, hatte dies mehrere Nachteile. Es war personalintensiv, da jede Bedieneinrichtung mit einem Bremsen (engl. brakemen) besetzt werden musste. Die Bremswirkung war beschränkt und setzte nicht sofort ein. Der Triebfahrzeugführer musste die Anweisung zum Bedienen mittels Pfeifsignalen geben. Der Beruf des Bremsers war beschwerlich (bei Wind und Wetter) und

gefährlich. Eine Unfallstatistik im Bericht der Interstate Commerce Commission des Jahres 1890 gibt für das Zugpersonal (engl. trainmen), das sind Triebfahrzeugführer, Heizer, Zugführer sowie weitere Mitarbeiter am Zug, einen Todesfall pro 357 und einen Verletzten pro 35 Bahnangestellten an [30, Seite 37].

Ab den 1850er Jahren wurden Einrichtungen getestet und eingeführt, die einem Bremser die Möglichkeit geben sollten, mehr als eine Handbremse zeitgleich zu bedienen. In den folgenden Jahrzehnten gab es in den Vereinigten Staaten viele Erfindungen und Versuche zu durchgehenden Bremsen [31, Seite 29]. George Westinghouse erhielt 1869 das Patent [32] für seine direkte Luftdruckbremse. Die verbesserte Version davon, die indirekte-automatische Druckluftbremse, wurde 1872 patentiert [33, Seite 194].

Die Verbreitung der Westinghouse Druckluftbremse in den Vereinigten Staaten gibt White 1876 mit 75 Prozent bei Fahrzeugen für Passagiere an [34]. Usselman geht von einer nahezu vollständigen Umstellung auf die automatische Bremse bei Personenzügen, mit Ausnahme von Wagen mit der älteren direkten Bremse sowie von vereinzelt Bahnen mit händisch gebremsten Wagen, rund um das Jahr 1877 aus [35, Seiten 30–50]. Aus der Statistik der Interstate Commerce Commission kann die Ausrüstung mit selbsttätigen Bremsen von 92 Prozent der Personenzuglokomotiven und 95 Prozent der Personenwagen im Jahr 1889 abgelesen werden. Die Verbreitung bei Güterwagen wird mit 8 Prozent angegeben [30, Seite 14].

4 Die Patente von Herman Hollerith

Es folgt eine Beschreibung der Patente von Herman Hollerith, die das Thema Eisenbahnbremsen betreffen, in der Reihenfolge der Patentnummern.

Anhand der original Texte und Zeichnungen der Patente wurde die Funktionsweise untersucht und eine abschließende Betrachtung jeweils ans Ende gestellt.

4.1 Patent Nr. 334.020

Der Antrag wurde am 30. April 1885 eingereicht. Das Patent wurde am 12. Jänner 1886 erteilt [36]. Darin beschrieben ist der pneumatische Aufbau, die elektrische Steuerung, die Ventilkammer und zwei Druckwächter.

4.1.1 Aufbau

Der pneumatische Aufbau ist in Abbildung 1 dargestellt. Es gibt eine durchgehende Hauptluftleitung. Die angekuppelten, benachbarten Wagen sind in grau angedeutet. Der Druck in der Hauptluftleitung bleibt ständig aufrecht erhalten. Über ein Rückschlagventil (=KH1) wird der Hilfsluftbehälter (=CM1) gefüllt. Die Steuerventile (=QM1 und =QM2) werden elektrisch gesteuert. Dadurch kann der Druck im Bremszylinder (=MM1) geändert werden. Das Bremsgestänge überträgt die Kräfte vom Bremszylinder auf die Bremsklötze.

Der elektrische Aufbau ist in Abbildung 2 dargestellt. Ein Stromkreis steuert mit dem Elektromagnet (=MB1) die Einlassventile. Der zweite Stromkreis mit dem Elektromagnet

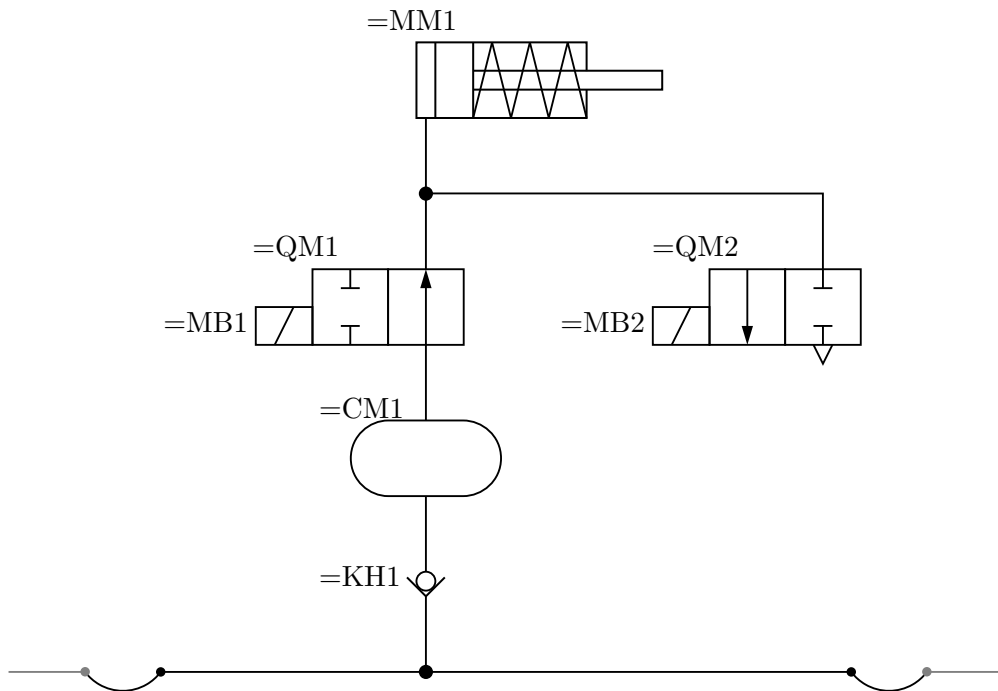


Abbildung 1: Pneumatischer Aufbau, eigene Darstellung nach Fig. 1 des Patents [36]

(=MB2) steuert die Auslassventile. Die beiden Stromkreise lassen sich unabhängig voneinander mit den Schaltern =SJ1 und =SJ2 betätigen. Auf der rechten Seite ist der benachbarte Wagen in grau angedeutet. Links der Kupplungsstelle ist der Aufbau am Triebfahrzeug mit den beiden Schaltern und der Stromversorgung durch eine Batterie (=GB1) dargestellt.

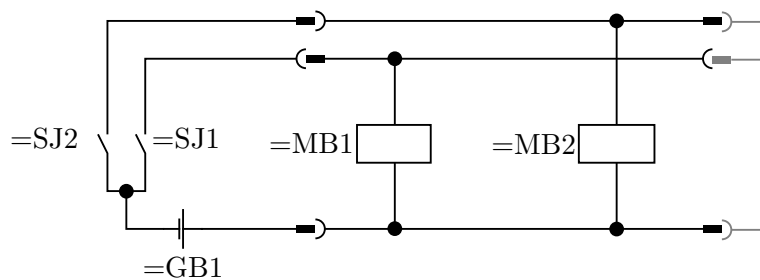


Abbildung 2: Elektrischer Aufbau, eigene Darstellung nach Fig. 1 des Patents [36]

4.1.2 Steuerung

Das System besitzt vier Zustände. Diese sind wie folgt.

1. **Beide Stromkreise geschlossen** Das Einlassventil ist zu, das Auslassventil offen.

Auswirkung: Der Druck im Bremszylinder sinkt. Die Bremse ist gelöst oder wird gelöst.

2. **Beide Stromkreise offen** Das Einlassventil ist offen, das Auslassventil zu. Auswirkung: Der Druck im Bremszylinder steigt. Die Bremse ist fest oder wird angelegt.
3. **Einlassstromkreis geschlossen, Auslassstromkreis offen** Beide Ventile sind zu. Auswirkung: Der Druck in Bremszylinder verbleibt konstant.

In diesem Zustand gibt es zwei Bedienmöglichkeiten: Soll der Bremsdruck erhöht werden, muss der Einlassstromkreis geöffnet werden. Wenn hingegen der Auslassstromkreis geschlossen wird, verringert sich der Bremsdruck.

4. **Einlassstromkreis offen, Auslassstromkreis zu** Beide Ventile sind offen. Auswirkung: Der Hilfsbehälter wird mit der Außenluft kurzgeschlossen. Es gibt keine Bremswirkung. Es tritt Luftverlust im gesamten System ein. Dieser Zustand ist im Patent nicht beschrieben.

4.1.3 Ventilkammer

Die Ventilkammer, die in Abbildung 3 zu sehen ist, ist ein zentrales Stück dieser Erfindung.

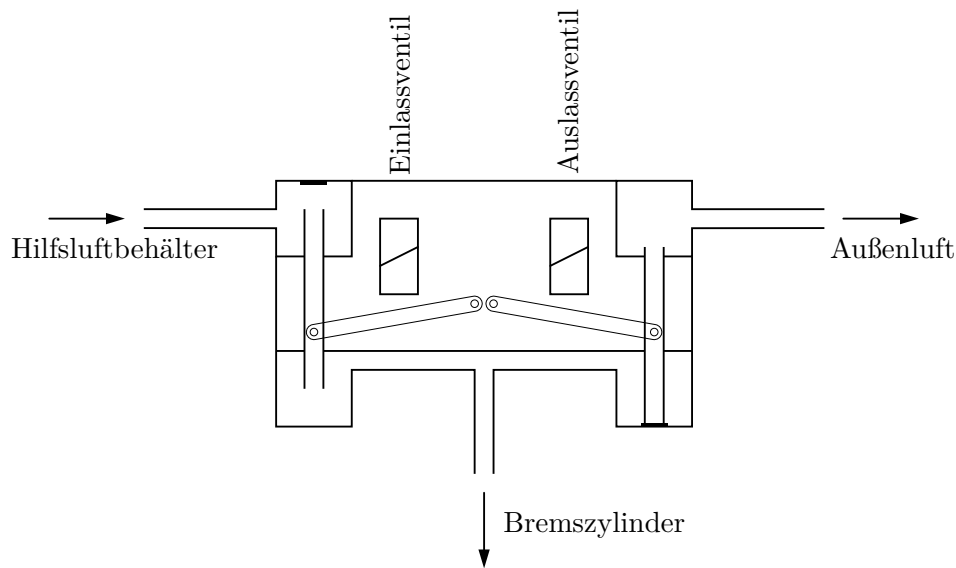


Abbildung 3: Ventilkammer, eigene Darstellung nach Fig. 1, 6 und 7 des Patents [36]

Die untere Kammer ist in ständiger Verbindung zum Bremszylinder.

Auf der linken Seite befindet sich die Einlassseite. Im Grundzustand kann Druckluft aus dem Hilfsbehälter durch den Einlasszylinder (ein Rohr) in die untere Kammer strömen. Wenn der dazugehörige Elektromagnet aktiviert wird, wird das Rohr durch den angezogenen Anker gehoben und schließt am oberen Dichtungssitz ab. Die Luftzufuhr ist unterbrochen. Bei stromlosem Magnet drückt das Eigengewicht oder eine Feder das Rohr nach unten.

Auf der rechten Seite befindet sich der Auslasszylinder. Im Grundzustand ist der Elektromagnet stromlos. Das Eigengewicht oder eine Feder drückt das Rohr auf den unteren Dichtungssitz. Es entweicht keine Luft aus dem Bremszylinder über die untere Kammer ins Freie. Wenn der Magnet den Anker anzieht, hebt sich das rechte Rohr. Es entsteht eine Verbindung zwischen unterer Kammer und Außenluft.

Die beiden Elektromagnete werden durch die Stromkreise gesteuert. Fließt der Strom, baut sich ein Magnetfeld auf und der Anker zieht an.

4.1.4 Sicherheitsventil Druckwächter

Der Druckwächter in Abbildung 4 ist eine zusätzliche Einrichtung.

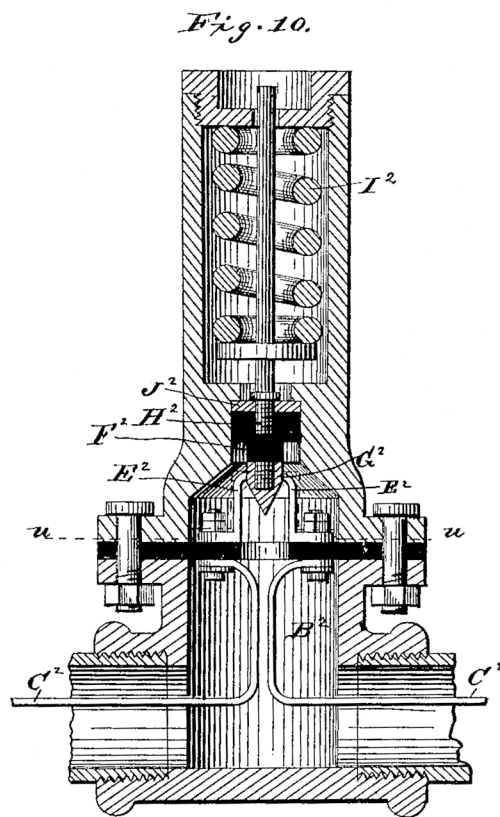


Abbildung 4: Druckwächter, Originalzeichnung aus dem Patent [36]

Diese Einrichtung überwacht den Luftdruck in der Hauptluftleitung. Fällt der Druck unter einen bestimmten Wert ab, öffnet ein Kontakt den Rückleiter. Dadurch sind beide Stromkreise offen und die Bremsen legen an.

Ist Luftdruck in der Hauptluftleitung vorhanden, drückt dieser die Feder nach oben und der elektrische Kontakt ist geschlossen. Sinkt der Druck unter eine gewisse Schwelle, die

über die Federkraft einstellbar ist, überwiegt die Feder. Die Feder drückt den Kontaktstift nach unten und öffnet damit den Rückleiter.

Der Druckwächter lässt sich nicht nur auf dem Triebfahrzeug sondern auch auf weiteren Wagen einrichten.

4.1.5 Sicherheitsventil Druckdifferenz

Diese Einrichtung (Abbildung 5) schützt den Hauptluftbehälter auf dem Triebfahrzeug vor Luftverlust bei Notbremsungen oder Trennungen der Hauptluftleitung. Wenn es zu einem plötzlichen Druckabfall kommt, ändert sich die Kolbenlage und öffnet die Stromkreise. Bei normalen Bremsvorgängen ändert sich der Druck nur allmählich.

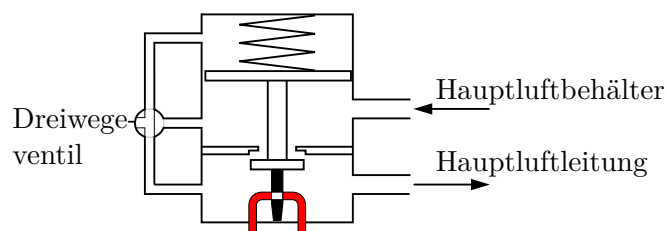


Abbildung 5: Überwachung der Druckdifferenz der Hauptluftleitung, eigene Darstellung nach Fig. 12 und 14 des Patents [36]

Für den normalen Betrieb befindet sich der Dreiwegehahn in der Stellung, in der die obere und untere Kammer verbunden sind. Es herrscht daher Druckgleichgewicht zwischen den Kammern und die Kraft der Feder überwiegt. Der Kolben wird nach unten gedrückt und der Stromkreis (in rot) durch den leitenden Teil des Stifts geschlossen. Das Ventil zwischen mittlere und unterer Kammer ist dabei offen. Die Luft aus dem Hauptluftbehälter kann in die Hauptluftleitung strömen.

Schneller Druckabfall in der Hauptluftleitung und der oberen Kammer bewirkt, dass der Überdruck in der mittleren Kammer überwiegt und den Kolben gegen die Federkraft nach oben drückt. Der Stift bewegt sich mit und der isolierte Teil unterbricht den Stromkreis. Das Resultat sind angelegte Bremsen und das geschlossene Ventil verhindert entweichende Luft aus dem Hauptluftbehälter.

Der Druck in der Hauptluftleitung lässt sich durch Betätigung des Dreiwegehahns wieder herstellen. Er wird in die Stellung gebracht, bei der obere und mittlere Kammer miteinander verbunden werden. Dabei entsteht ein Druckausgleich und die Federkraft drückt den Kontaktstift und das Ventil nach unten.

In der Patentschrift wird nicht explizit erwähnt, dass der Dreiwegehahn danach wieder rückgestellt werden muss. Passiert dies nicht, wäre die Überwachung wirkungslos. Auch die dritte mögliche Stellung darf nicht eingestellt werden, da sonst ebenfalls keine Überwachungswirkung aktiv ist.

4.1.6 Betrachtung

- Es gibt eine Hauptluftleitung zur Energieversorgung und eine dreiadrige elektrische Leitung.
- Alle Bremsen im Zug wirken zeitgleich.
- Es ist keine spezielle Behandlung des letzten Wagens notwendig.
- Hollerith zeigt den Aufbau für Druckluftbremsen. Erwähnt wird aber auch die Tauglichkeit für Vakuumbremsen.
- Der Luftdruck kann überwacht werden. Dadurch ist der Bruch der Hauptluftleitung, zum Beispiel bei einer Zugtrennung, detektierbar.
- Die zwei Steuerstromkreise müssen, im Vergleich zur reinen Druckluftbremse, zusätzlich zur Luftleitung verbunden werden. Es muss, zum Beispiel durch die Steckerform, eine Verpolungssicherheit hergestellt werden. Ansonsten kann nicht garantiert werden, dass sich alle Ventile des gleichen Typs (Einlass- und Auslassventile) jeweils im selben Stromkreis befinden. Die Funktion der Bremse wäre nicht gegeben. Im Patent wird auf eine Beschreibung der genauen Ausführung der elektrischen Kupplung zwischen den Wagen nicht weiter eingegangen.
- In der beschriebenen Ausführung ist die Luftrohrleitung auf den Wagen gleichzeitig der Rückleiter der Stromkreise. Die Kupplung und die Schläuche müssen daher elektrisch leitend miteinander verbunden sein. Laut Beschreibung verlaufen die Stromkreise durch die Hauptluftleitung, wodurch viele Durchlässe notwendig wären. Die Durchlässe müssen luftdicht ausgeführt werden. Eine externe Führung der Leitungen wäre aber genauso denkbar.
- Bei Unterbrechung oder bei Nichtverbindung beider Stromkreise sowie bei Stromausfall nimmt das System einen sicheren Zustand ein. Einzig wenn nur der Einlassstromkreis unterbrochen wird, der Auslassstromkreis aber weiter geschlossen bleibt, fällt die Bremse bei allen Wagen hinter der Störungsstelle aus. Dies könnte vom Druckwächter auf einem der betroffenen Wagen festgestellt werden, der durch seine Funktionsweise die Bremse im gesamten Zug anlegen lässt.
- Bei Kurzschlüssen kann das System einen unsicheren Zustand einnehmen. Beispielsweise wenn die Bremse angelegt ist und ein Kurzschluss zwischen Auslassstromkreis und Rückleiter entsteht. Hier würden die Auslassmagnete abfallen, die Luft entweicht aus den Bremszylindern und die Bremse löst. Notwendig wäre also auch eine Kurzschlussüberwachung. Auch bei einem Kurzschluss zwischen den Leitern des Einlass- und Auslassstromkreises kann eine unsichere Situation entstehen.
- Die Einlass- und Auslassventile sind voneinander unabhängig steuerbar. Aus der Beschreibung der als neu beanspruchten Teile könnte vermutet werden, dass bereits

Erfindungen vorlagen, die aber nicht getrennt steuerbar waren. Und bei denen die Bremskraft nicht frei einstellbar war.

- Das Bremssystem kann nur von einer Stelle aus gesteuert werden. Sinnvoll ist dies wohl an der Zugspitze, meist also auf dem Triebfahrzeug. Notbremseinrichtungen in den Wagen sind aber ergänzbar, indem Ausschalter in die Leitung integriert werden. Das Auslösen der Notbremseinrichtung unterbricht dann entweder beide Steuerleitungen oder den Rückleiter.

4.2 Patent Nr. 334.021

Der Antrag wurde am 30. April 1885 eingereicht. Das Patent wurde am 12. Jänner 1886 erteilt [37]. Darin beschrieben ist die elektrische Steuerung der Ventile und die Schalteinrichtung auf der Lokomotive.

4.2.1 Aufbau

Der pneumatische Aufbau ist ident mit der Beschreibung von Patent 334.020 (siehe Abschnitt 4.1.1). Auch die Ventilkammer ist gleich aufgebaut (siehe Abschnitt 4.1.3).

Die Bauteile, die links der ersten Kuppelstelle in Abbildung 6 dargestellt sind, befinden sich auf dem Triebfahrzeug. Das ist ein Generator (=GA1) zur Stromerzeugung sowie der Steuerwalzenschalter (=SG1) zur Bedienung durch den Triebfahrzeugführer. Der mittlere Teil zeigt die notwendige Einrichtung auf jedem Wagen. Rechts sind alle weiteren angekuppelten Wagen angedeutet sowie der Abschluss des Stromkreises (Widerstand =RA1) am letzten Wagen dargestellt.

Zwei Relais, =KF1 und =KF2, befinden sich direkt im Steuerstromkreis, der durch den gesamten Zug verläuft. Diese Relais steuern einen Zusatzstromkreis am Wagen, der den Magneten des Einlassventils (=MB1) betätigt. Das dritte Relais, ein polarisiertes mit Federückstellung, (=KF3) steuert den Zusatzstromkreis des Auslassventils (=MB2). Polarisierte Relais arbeiten abhängig von der Richtung des Erregerstromes [38, Seite 88].

4.2.2 Steuerung

Das System besitzt drei Zustände.

1. **Gleichstrom in positiver Richtung** Der Strom im Steuerstromkreis lässt die beiden Relais =KF1 und =KF2 anziehen. Diese aktivieren den Magneten der Einlassseite (=MB1) und unterbrechen damit die Luftzufuhr vom Hilfsluftbehälter in den Bremszylinder. Gleichzeitig lässt der fließende Strom im Zusatzkreis das dritte Relais (=KF3) anziehen. Das lässt auch den Magneten der Auslassseite (=MB2) anziehen und so die Verbindung vom Bremszylinder mit der Außenluft herstellen. Die Bremszylinder entlüften und die Bremse löst beziehungsweise verbleibt im gelösten Zustand.
2. **Stromkreis unterbrochen** Wird der Stromkreis vom Triebfahrzeugführer unterbrochen, fallen alle Relais ab. Das Einlassventil öffnet. Das Auslassventil schließt. Und die

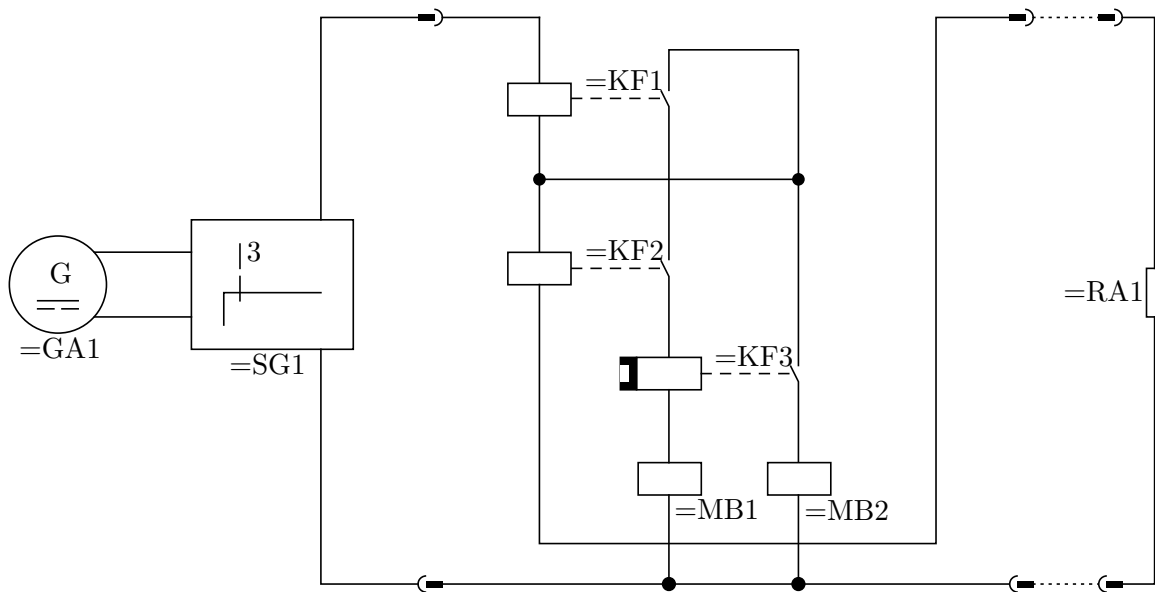


Abbildung 6: Elektrischer Aufbau, eigene Darstellung nach Fig. 1 des Patents [37]

aus dem Hilfsluftbehälter in den Bremszylinder strömende Druckluft legt die Bremse an.

3. **Gleichstrom in negativer Richtung** Soll die Bremskraft auf einem bestimmten Niveau gehalten werden, wird der Steuerstromkreis wieder geschlossen, aber die Stromrichtung umgekehrt. Dadurch schließen die Relais =KF1 sowie =KF2, und damit auch der Zusatzstromkreis mit dem Magneten =MB1. Das Einlassventil schließt und es kann keine weitere Luft einströmen. Die Auslassventile (=MB2) bleiben aber geschlossen, da das polarisierte dritte Relais (=KF3) nicht anspricht.

Zum Erhöhen des Druckes wird der Stromkreis wieder unterbrochen. Luft aus dem Hilfsluftbehälter kann nachströmen. So kann die momentane Bremskraft erhöht werden oder beispielsweise bei langen Gefällestrrecken der Luftverlust im Bremszylinder ausgeglichen werden. Der Druck kann auch vermindert werden, wenn der Strom wieder in positiver Richtung fließt.

4.2.3 Steuereinrichtung

Zur Steuerung der Stromrichtung ist ein Stromumkehrer beschrieben und in Abbildung 7 skizziert. Dieser wird auf dem Triebfahrzeug angebracht. Damit kann der Triebfahrzeugführer die Bremsen steuern. Auf einer isolierten Walze sind verschieden geformte leitende Plättchen angebracht. Drehen der Walze verschiebt die Plättchen unter den Kontakten. Je nach Stellung der Walze ist der Steuerkreis unterbrochen oder mit unterschiedlicher Polarität geschlossen.

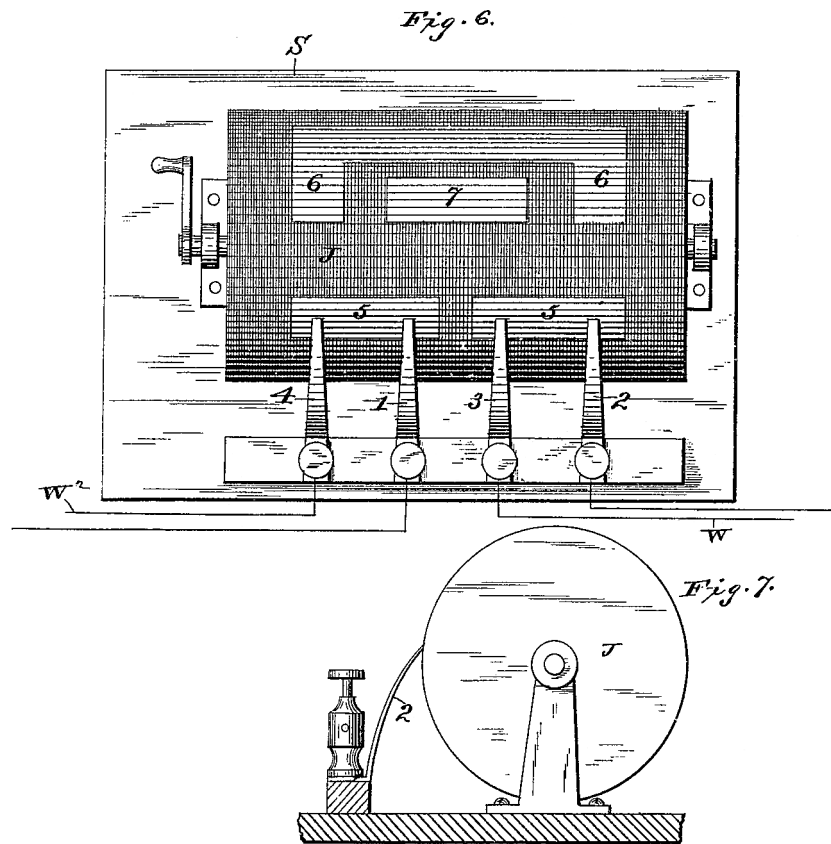


Abbildung 7: Stromumkehrer, Originalzeichnungen aus dem Patent [37]

Im Stromlaufplan (Abb. 6) ist der Stromumkehrer als Steuerwalzenschalter (=SG1) eingezeichnet. In Abbildung 8 ist auf der linken Seite nochmals das Schaltzeichen dargestellt. Erkennbar sind die vier Anschlüsse, A bis D, sowie die drei möglichen Schaltzustände. Diese Zustände sind im mittleren Teil der Abbildung in der Schalttafel aufgeführt. Rechts ist die Anordnung der leitenden Flächen auf der Steuerwalze ersichtlich.

Die Patentschrift erwähnt, dass auch andere Schalter oder Stelleinrichtungen möglich sind.

4.2.4 Variante mit nur einem Relais

Es ist auch eine Variante mit nur einem statt drei Relais beschrieben. Verwendet wird ein polarisiertes Relais. Auch damit lassen sich die Zustände Anlegen, Druck erhalten, Druck erhöhen und Lösen einstellen. Diese Variante ist aber nicht ausfallsicher. Bei Zugtrennungen würde der Zugteil mit dem Stromgenerator nicht selbsttätig bremsen.

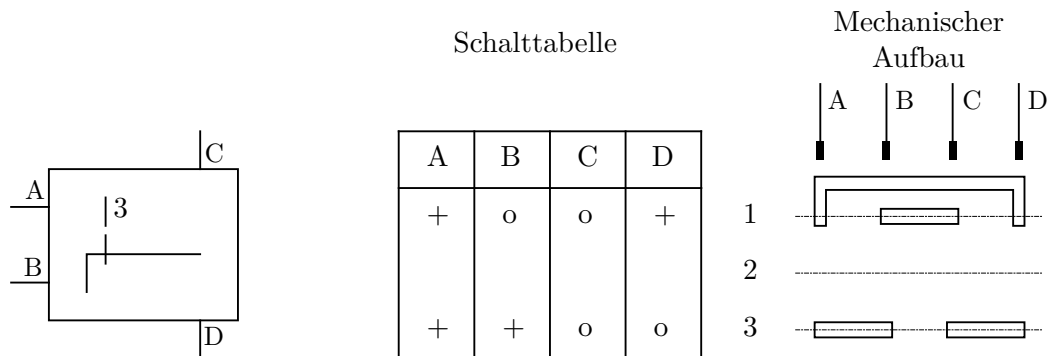


Abbildung 8: Stromumkehrer, eigene Darstellung nach Fig. 6 des Patents [37]

4.2.5 Betrachtung

- Die Erfindung ist eine Variante zu Patent 334.020.
- Es gibt eine Hauptluftleitung zur Energieversorgung in der der Druck ständig konstant bleibt.
- Über den gesamten Zugverband verläuft nur ein Steuerstromkreis. Es wird Gleichstrom mit unterschiedlicher Polarität genutzt.
- Die Steuerung erfolgt von einer Stelle aus. Notbremseinrichtungen auf den Wagen sind möglich. Diese können als Ausschalter im Steuerstromkreis realisiert werden.
- Hollerith erläutert auch, warum bei dieser Schaltung zwei Relais benötigt werden. Wird der Steuerstromkreis vor einem bestimmten Wagen unterbrochen, öffnen alle Relais und die Bremsen legen an. Passiert die Trennung des Steuerstromkreises aber hinter dem betrachteten Wagen, könnte noch Strom durch das Relais =KF1 fließen (Selbsthaltung). Das Relais =KF2 öffnet aber, da der Stromkreis, der zu den dahinter hängenden Wagen führt, unterbrochen wurde. Durch diese Konstruktion unterbricht schließlich der Zusatzstromkreis und öffnet damit auch das Einlassventil. So ist ein sicherer Zustand bei Zugtrennungen gegeben.
- Es existiert keine genaue Beschreibung der elektrischen Kupplung zwischen den Wagen. Zwei Möglichkeiten werden vorgeschlagen. Eine Ausführungsvariante sind zwei isolierte Leiter, die in der Hauptluftleitung geführt werden. Die andere Variante ist nur ein isolierter Leiter, mit der Hauptluftleitung selbst oder dem Gleis als Rückleiter.
- Wichtig ist, dass die Verpolungssicherheit beim Kuppeln durch geeignete Stecker gegeben sein muss. Wird der Stromerzeuger am anderen Ende des Wagenzuges, zum Beispiel beim Stürzen um die Fahrtrichtung zu ändern, angeschlossen, muss auch die Polarität richtig umgestellt werden.

- Am Ende des Zuges wird die Hin- und Rückleitung mit einem elektrischen Widerstand (=RA1) verbunden. Damit soll ein Kurzschluss der Batterie bei geschlossenen Zusatzstromkreisen vermieden werden. Das darf bei Zugneubildung nicht vergessen werden.
- Kurzschlüsse bremsen den Zugteil hinter der Störungsstelle ein, während der vordere Zugteil ungebremst weiterfährt. Das führt zu unzulässiger Erhitzung durch festsitzende Bremsen an den betroffenen Wagen.

4.3 Patent Nr. 334.022

Der Antrag wurde am 30. April 1885 eingereicht. Das Patent wurde am 12. Jänner 1886 erteilt [39]. Darin beschrieben ist die elektrische Steuerung der Ventile.

4.3.1 Aufbau

Der Druckluftteil inklusive der Ventilkammer ist wie bei Patent Nr. 334.020 aufgebaut (siehe Abschnitte 4.1.1 und 4.1.3).

Wie in Abbildung 9 ersichtlich ist, besteht die Einrichtung auf dem Triebfahrzeug aus den gleichen Bauteilen wie bei Patent 334.021 (Abschnitt 4.2.1). Jeder Wagen besitzt eine eigene Stromquelle (=GB1) und einen Ausschalter (=SJ1). Das ungepolte Relais =KF1 und das polarisierte Relais =KF2 befinden sich im Steuerstromkreis, der durch den gesamten Zug verläuft. Diese Relais steuern jeweils den Magneten des Einlassventils (=MB1) oder des Auslassventils (=MB2) im getrennten Zusatzstromkreis. Rechts sind alle weiteren angekuppelten Wagen angedeutet sowie der Abschluss des Stromkreises (Widerstand =RA1) am letzten Wagen dargestellt.

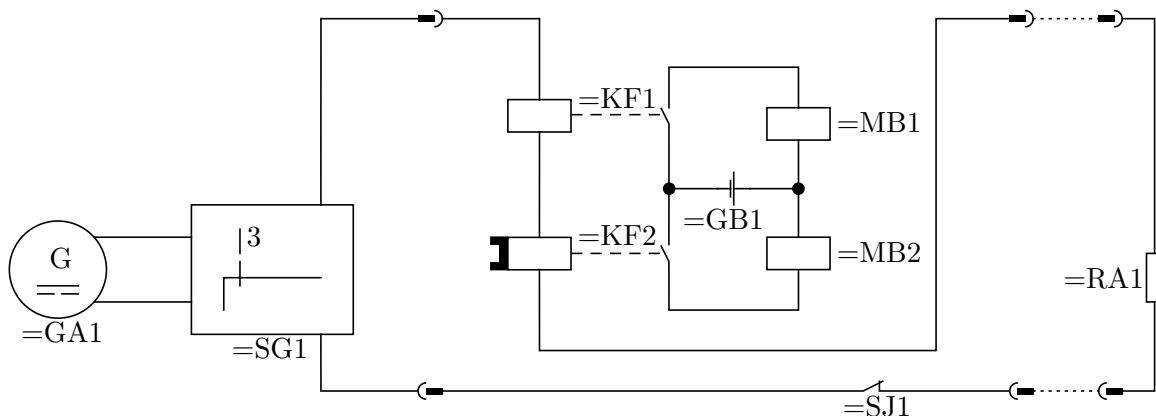


Abbildung 9: Elektrischer Aufbau, eigene Darstellung nach Fig. 1 des Patents [39]

4.3.2 Steuerung

Die Bedienung der Steuerung erfolgt wie bei Patent Nr. 334.021 (Abschnitt 4.2.3) mit einem Stromumkehrer.

1. **Gleichstrom in positiver Richtung** Der Strom im Steuerstromkreis lässt die beiden Relais =KF1 und =KF2 anziehen. Das erste Relais schließt den Zusatzstromkreis für das Einlassventil =MB1 und unterbricht damit die Luftzufuhr vom Hilfsluftbehälter in den Bremszylinder. Das zweite Relais schließt den Zusatzstromkreis für das Auslassventil =MB2 und öffnet die Verbindung zwischen Zylinder und Außenluft. Die Bremszylinder entlüften und die Bremse löst beziehungsweise verbleibt im gelösten Zustand.
2. **Stromkreis unterbrochen** Wird der Steuerstromkreis unterbrochen, fallen alle Relais ab. Das Einlassventil öffnet. Das Auslassventil schließt. Und die aus dem Hilfsluftbehälter in den Bremszylinder strömende Druckluft legt die Bremse an.
3. **Gleichstrom in negativer Richtung** Durch die umgekehrte Stromrichtung zieht nur das Relais =KF1 an. Das Einlassventil schließt und lässt keine weitere Luft einströmen. Das polarisierte Relais =KF2 spricht nicht an. Das Auslassventil bleibt geschlossen. Der Druck im Bremszylinder verbleibt konstant.

4.3.3 Betrachtung

- Es gibt eine Hauptluftleitung mit konstantem Druck.
- Auf jedem Wagen ist eine eigene Stromquelle (Batterie) notwendig.
- Bei der Zusammenstellung des Zuges muss am letzten Wagen die Verbindung von Hin- und Rückleitung des Steuerstromkreises durch einen Widerstand angebracht werden.
- Bei Stromausfall oder Unterbrechung des Steuerstromkreises oder Ausfall bzw. Schwächerwerden der Wagenbatterie nimmt das System einen sicheren Zustand ein. Der Zug bremst. Wenn allerdings in einem Wagen der Stromfluß im Zusatzstromkreis des Einlassventils unterbrochen wird, bremst nur dieser eine Wagen. Hier besteht die Gefahr einer festen Bremse.
- Neben der Luftleitung muss auch der Hauptsteuerkreis gekuppelt werden. Verpolungssicherheit ist erforderlich.
- Kurzschlüsse bremsen den Zugteil hinter der Störungsstelle ein, während der vordere Zugteil ungebremst weiterfährt. Das führt zu unzulässiger Erhitzung durch festsitzende Bremsen an den betroffenen Wagen.
- Notbremseinrichtungen in jedem Wagen sind durch Ausschalter (=SJ1) im Steuerstromkreis möglich.

4.3.4 Variante der Erfindung

Im Patent ist eine weitere Variation beschrieben. Der Stromlaufplan ist in Abbildung 10 abgebildet. Auf dem Triebfahrzeug ist eine Stromquelle (=GB1) für den Steuerstromkreis und ein Taster (=SJ1) angebracht. Jeder Wagen besitzt wie die Grundausführung eine Stromquelle (=GB2), ein Einlassventil (=MB1) und ein Auslassventil (=MB2). Die zusätzliche Steuereinheit (=KF1) besteht aus einer Walze mit leitenden und isolierten Oberflächen, ähnlich wie der Stromumkehrer (siehe 4.2.3). Durch Ein- und Ausschalten des Steuerstromkreises mit dem Taster wird die Walze durch das Relais =MA1 um jeweils einen Schritt weiterbewegt.

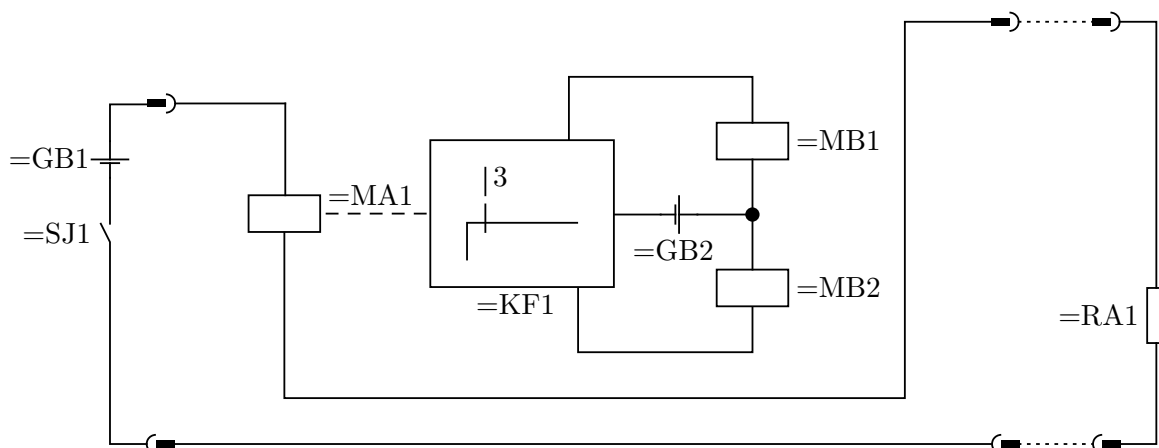


Abbildung 10: Modifikation, eigene Darstellung nach Fig. 2 des Patents [39]

4.3.5 Steuerung der Variante

Die Steuereinheit besitzt drei Zustände.

1. **Beide Zusatzstromkreise geschlossen** Der Magnet (=MB1) schließt das Einlassventil, der andere Magnet (=MB2) öffnet das Auslassventil. Die Luftzufuhr vom Hilfsluftbehälter ist unterbrochen und der Bremszylinder kann ins Freie entlüften. Die Bremse löst beziehungsweise verbleibt im gelösten Zustand.
2. **Beide Zusatzstromkreise offen** Das Einlassventil ist geöffnet. Das Auslassventil ist geschlossen. Druckluft kann in den Bremszylinder strömen und die Bremse legt an.
3. **Der Zusatzstromkreis des Einlassventils ist geschlossen** Das Auslassventil bleibt geschlossen. Das Einlassventil schließt und lässt keine weitere Luft einströmen. Der Druck im Bremszylinder verbleibt konstant.

Durch erneutes Betätigen des Tasters wird die Steuereinheit weiter geschaltet und geht vom dritten wieder in den ersten Zustand über.

4.3.6 Betrachtung der Variante

- Es ist eine Stromquelle am Triebfahrzeug und auf jedem Wagen eine separate Stromquelle erforderlich.
- Bei der Zusammenstellung des Zuges muss am letzten Wagen die Verbindung von Hin- und Rückleitung des Steuerstromkreises durch einen Widerstand angebracht werden.
- Durch die schrittweise Schaltung ist nicht sofort der nächste gewünschte Vorgang einstellbar. Der Triebfahrzeugführer braucht außerdem eine Vorrichtung, die den aktuellen Schaltzustand anzeigt.
- Ein großer Nachteil ist, dass jeder Wagen die selbe Stellung der Steuereinheit haben muss. Bei Zugneubildung führt das zu großem Aufwand. Sollte eine Steuereinheit nicht dieselbe Stellung einnehmen, besteht die Gefahr einer festen Bremse.
- Diese Steuerung ist bei einer Zugtrennung nicht Fail-Safe. Ebenso wechselt das System bei einem Stromausfall oder einem Kurzschluss im Steuerstromkreis nicht in den sicheren Zustand. Bei einer Unterbrechung des Hilfsstromkreises in einem Wagen bremst nur dieser, wobei auch dabei die Gefahr einer festen Bremse auftritt.
- Notbremseinrichtungen auf den Wagen sind nicht realisierbar.

4.4 Patent Nr. 363.463

Der Antrag wurde am 1. November 1886 eingereicht. Das Patent wurde am 24. Mai 1887 erteilt [40]. Darin beschrieben sind Anbringungsvarianten eines Entlüftungsventils und dessen Steuerung.

4.4.1 Aufbau

Variante A Ein Steuerstromkreis verläuft über den gesamten Zugverband. Ein Ventil zwischen der Hauptluftleitung und der Außenluft ist am letzten Wagen angebracht. Wenn der Stromkreis geschlossen wird, öffnet sich das elektromagnetische Ventil. Dadurch sinkt der Druck in der Hauptluftleitung rascher, da an zwei weit entfernten Stellen entlüftet wird. Das ergibt eine schnellere und gleichmäßigere Bremswirkung des Zuges. Wird der Stromkreis unterbrochen, schließt das Ventil durch die Schwerkraft. Das System befindet sich dann wieder im Ausgangszustand.

Variante B Das Entlüftungsventil kann auch an mehreren Stellen im Zug oder sogar an jedem Wagen angebracht werden.

Variante C Die Ventile werden nur bei Schnell- oder Notbremsungen aktiviert. Dazu ist ein elektrischer Kontakt an den entsprechenden Stellungen des Führerbremssventils angebracht. Bei Betriebsbremsungen wird die normale Funktion des eingesetzten Bremsystems angesteuert.

Variante D Statt eines in Grundstellung offenen ist ein geschlossener Stromkreis möglich. Dazu ist neben jedem Ventil eine Stromquelle notwendig.

Der Steuerstromkreis kann beliebig hergestellt werden. Bevorzugt laut Patent ist eine Verbindung über die metallischen Kupplungsköpfe der Hauptluftleitung. Am Wagen ist zwischen den Kupplungen an den Wagenenden eine isolierte Drahtleitung verlegt. Die Rückleitung erfolgt über die Schiene. Eine andere Möglichkeit ist ein isolierter Draht, der in der Luftleitung geführt wird und direkt durch den Kupplungskopf verbunden wird.

4.4.2 Ventil

Das Ventil ist in Abbildung 11 dargestellt. Bei Stromfluss im Steuerstromkreis zieht der Elektromagnet den Anker an. Das Dichtelement am Anker hebt vom Ventilsitz ab und öffnet die Verbindung zur Außenluft.

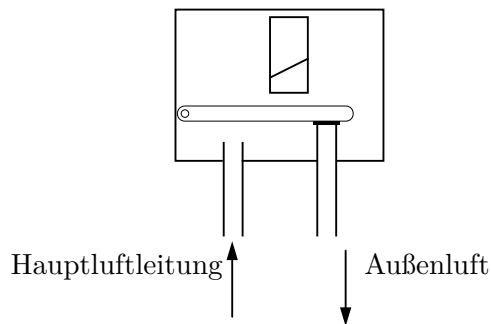


Abbildung 11: Entlüftungsventil, eigene Darstellung nach Fig. 2 des Patents [40]

Bei Druckluftbremssystemen ist die Kammer mit der Hauptluftleitung verbunden und im Betrieb mit Druckluft gefüllt. Der Auslass mit dem Ventil führt ins Freie. Bei Vakuumbremssystemen ist die Anordnung vertauscht. Die Hauptleitung ist am Ventil angeschlossen, die Kammer ist mit der Außenluft verbunden. Der Vorteil dieser beiden Anordnungen ist, dass der Druckunterschied den Ventilsitz abdichtet. Die Kraft des Magnets muss größer sein als die dagegen wirkende Kraft des Druckunterschieds um öffnen zu können.

4.4.3 Steuerung Variante D

Bei der Variante D (Abbildung 12) wird ein bei gelöster Bremse geschlossener Stromkreis zur Steuerung verwendet. Wird dieser Steuerstromkreis unterbrochen, fällt das Relais =KF1 ab und schließt den Zusatzstromkreis am Wagen. Dieser wiederum öffnet die Ventile (=MB1) und entlüftet die Hauptluftleitung. Um zu verhindern, dass beim Abkuppeln alle Bremsen anlegen, ist ein Bremsabsperrhahn vorgesehen, der mit dem Schalter =SJ2 das Relais kurzschließt.

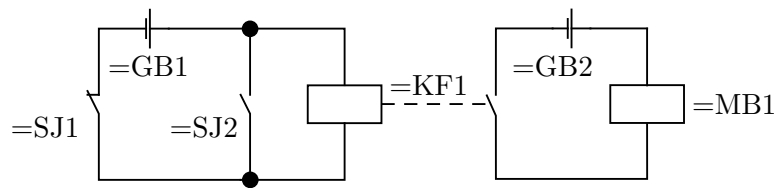


Abbildung 12: Variante D mit geschlossenem Stromkreis, eigene Darstellung nach Fig. 7 des Patents [40]

4.4.4 Anwendung

Im Patent wird angegeben, dass diese Erfindung für durchgehende, automatische (selbsttätige) Zugbremsen gedacht ist. Als Anwendungsbeispiele werden die Bremsen von Eames, Westinghouse und Carpenter genannt. Das System ist für Vakuum- und Druckluftbremsen verwendbar. Für die Carpenterbremse wird auch ein Anbringungsvorschlag direkt in der Nähe der Bremszylinder gemacht.

4.4.5 Betrachtung

- Die Hin- und Rückleitung des Steuerstromkreises muss am letzten Wagen durch eine besondere Einrichtung verbunden werden.
- Die Variante A ist als Zusatz zu einem bestehenden Bremssystem gedacht. Es soll damit eine raschere und gleichmäßigere Wirkung erzielt werden. In der Beschreibung wird überhaupt nicht erwähnt, welche Stromquelle an welcher Stelle für den Steuerstromkreis eingesetzt wird.
- Variante B: Mehrere Ventile werden über den Zugverband verteilt. Diese Anordnung verkürzt die Zeit bis zum Einsetzen der Bremswirkung nochmals. Zusätzlich setzt die Wirkung über die Zuglänge gesehen nahezu gleichmäßig ein.
- Bei der Variante C wirken die Entlüftungsventile nur bei Schnell- oder Notbremsungen.
- Die Variante D ist betriebssicherer als die ursprüngliche Variante. Bei Störungen, wie zum Beispiel Zugtrennungen, fällt das System in einen sicheren Zustand. Es ist aber aufwendiger, da bei jedem Ventil ein zusätzlicher Stromkreis mit Batterie erforderlich ist.
- Es ist nicht gewährleistet, dass das Ventil am letzten Wagen in den Steuerstromkreis eingeschlossen wird. Dies müsste durch organisatorische Anordnungen gewährleistet werden.
- Bei den Varianten A, B und C entfällt bei einer Störung der elektrischen Einrichtung die verbesserte Bremswirkung. Die grundlegende Funktion der Bremse ist davon unabhängig und daher weiterhin vorhanden.

4.5 Patent Nr. 363.464

Der Antrag wurde ursprünglich als Teil der Anmeldung zum Patent 363.463 am 1. November 1886 eingereicht. Aufgrund der Aufteilung wurde er erneut am 16. April 1887 eingereicht. Das Patent wurde am 24. Mai 1887 erteilt [41]. Darin beschrieben ist die Ventilkammer und das kombinierte Kuppeln.

Hollerith gibt als Herkunftsort in allen bisherigen Patenten St. Louis (Missouri) an. Bei diesem etwas später erteilten Patent ist New York (New York) angegeben.

4.5.1 Aufbau

Beschrieben wird ein Ventilkasten mit Halbkupplungen (D und D'), der in Abbildung 13 zu sehen ist. Im Inneren befindet sich ein Elektromagnet (F) mit einem Ventil zur Außenluft (V). Die elektrische Verbindung läuft von einer Kupplung über die Spulen des Magnets zur anderen Kupplung. Durch diese Konstruktion wird mit dem Verbinden der Hauptluftleitung gleichzeitig eine Stromleitung verbunden.

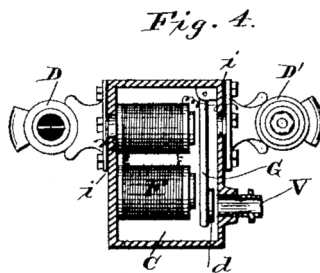


Abbildung 13: Ventilkammer, Originalzeichnung aus dem Patent [41]

Die Kammer soll so leicht wie möglich ausgeführt und mit Standardkupplungen versehen werden.

Für die Führung des Steuerstromkreises über den Zugverband sind mehrere Möglichkeiten beschrieben. Siehe auch den letzten Absatz im Aufbau (Abschnitt 4.4.1) des Patents 363.463.

4.5.2 Steuerung

Die Steuerung erfolgt wie bei Variante A von Patent 363.463 (Abschnitt 4.4.1). Bei geschlossenem Steuerstromkreis ziehen die Magnete (E) den Anker (G) an. Das Ventil in der Kammer öffnet und die Luft der Hauptluftleitung strömt aus.

4.5.3 Betrachtung

- Die Erfindung bezieht sich auf automatische Druckluftbremsen, die an einer Stelle, meistens am Triebfahrzeug, entlüftet oder befüllt werden.

- Durch den Überdruck innerhalb der Kammer bei Druckluftbremssystemen dichtet sich der Ventilsitz von selbst ab.
- Vakuumbremssystem sind in diesem Patent nicht erwähnt. Für diese müsste eine andere Ventilanordnung in der Kammer gewählt werden.
- Die Beschreibung im Patent ist sehr variantenreich. Es wirkt, als sollte ein breites Feld abgedeckt werden. Wie bei Patent Nr. 363.463 wird die Anwendung an den beispielhaft genannten Systemen von Westinghouse, Carpenter oder Eames erwähnt.

5 Burlington Brake Trials

Bremsentests bei Burlington (Iowa).

5.1 The Master Car-Builders' Association

Aus einem losen Zusammenschluss von Master Car Builders (Übersetzung: Verein amerikanischer Wagen-Erbauer [42, Seite 169]) unterschiedlicher Eisenbahngesellschaften entstand 1867 bei der Tagung in Springfield (Massachusetts) die Vereinigung. Die Ziele waren ein verbesserter Informationsaustausch, die Erleichterung beim zwischenstaatlichen Wagenaus-tausch, einheitliche Regelungen bei Reparaturen und Schäden fremder Wagen sowie die Entwicklung von gemeinsamen Konstruktionsteilen. Daraus entstanden im Laufe der Jahre Standards und Empfehlungen. Veröffentlicht wurden beispielsweise genormte Achsen, Achslager, Räder, Bauteilabmessungen, Brems- und Sicherheitseinrichtungen. Eine der bekanntesten Beschlüsse der Association ist die einheitliche automatische Kupplung vom Typ Janney im Jahr 1888 [43, Seite 100]. 1919 wurde die Master Car-Builders' Association in die American Railroad Association integriert [44, Seiten 52–54].

Bei den Mitgliedern bestand Interesse für durchgehende Bremsen bei langen Güterzügen. Es wurde vereinbart, Tests durchzuführen. Das dafür gebildete Komitee berichtet beim 20. Treffen, dass eine Versuchsreihe im Juli 1886 mit voraussichtlich 6 teilnehmenden Herstellern stattfinden wird [45, Seiten 25–26]. Die Chicago, Burlington & Quincy Railroad stellte die Strecke westlich von Burlington (Iowa) zur Verfügung. Ein Grundriss sowie ein Längenschnitt sind in Abbildung 14 ersichtlich.

Für die Versuche wurde ein rund 13 Kilometer (8 Meilen) langer Streckenabschnitt gewählt. Die ersten acht Kilometer waren eingleisig und lagen in der Ebene. In diesem Teil lagen die ersten beiden Haltepunkte. Die restlichen fünf Kilometer waren zweigleisig und beinhalten ein Gefälle von 10 Promille (53 ft. per mile) mit zwei weiteren Haltepunkten. Die Abstände zwischen den Haltepunkten betragen 4600 m, 3557 m und 1999 m [19, Seite 38].

5.2 1886

Die erste Versuchsreihe fand von 13. Juli bis 3. August 1886 statt. In diesem Zeitraum wurden über 270 gewertete Testfahrten durchgeführt. Dabei musste auch auf den regulären

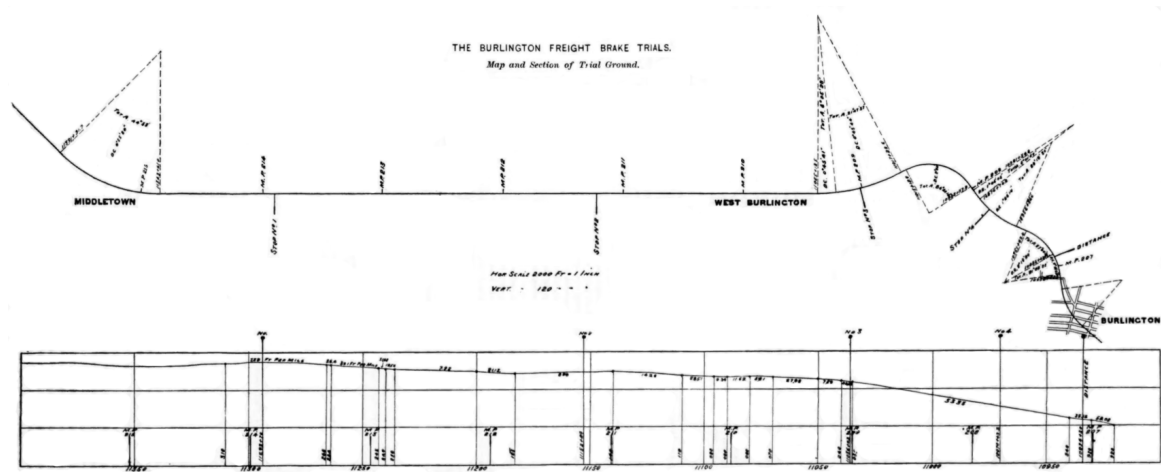


Abbildung 14: Streckenverhältnisse der Versuche westlich von Burlington, aus der Railroad Gazette [46, Seite 521]

Verkehr Rücksicht genommen werden. Die Fahrten wurden in unterschiedlichen Konfigurationen durchgeführt. Das waren unter anderem Fahrten mit 25 oder 50 Wagen, die leer, teilweise oder vollbeladen waren. Es wurden Betriebs- und Schnellbremsungen gemacht.

Fünf Hersteller hatten bis zur genannten Frist 50 Güterwagen mit ihrem jeweiligen Bremsensystem ausgestattet. Diese waren vierachsig und hatten ein Fassungsvermögen von 18144 kg (40000 lbs). Das Eigengewicht betrug zwischen 9525 und 12247 Kilogramm (21000 und 27000 lbs). Die Systeme der Westinghouse Automatic Brake Company aus Pittsburgh (Pennsylvania) und der Eames Vacuum Brake Company aus Boston (Massachusetts) waren durchgängige Bremsen. Westinghouse verwendete Druckluft, Eames Vakuum. Von der American Brake Company aus St. Louis (Missouri), der Widdifield & Button Brake Company aus Uxbridge (Ontario, Kanada) und der Rote Brake Company aus Mansfield (Ohio) wurden unabhängige Pufferbremsen eingesetzt.

Ergebnisse

Die Pufferbremsen zeigten recht bald, dass sie im Vergleich zu den durchgängigen Bremsen, insbesondere bei langen Zügen, nicht genügend waren. Die Rote-Bremse zeigte teilweise sogar schlechtere Ergebnisse als handgebremste Züge [19, Seite 83].

Bereits bei den ersten Fahrten waren die Stöße am Zugende unvorhergesehen groß. Um den physikalischen Effekt des Rucks entsprechend protokollieren zu können, wurde für die weiteren Tests ein Stoßmessgerät verwendet. Dieses wurde in den Wagen am Zugschluss eingebaut. Das Komitee bezeichnete die so gesammelten Aufzeichnungen als eine der wichtigsten dieser Versuchsreihe [19, Seite 84].

Die Zugtrennungstests konnten und wurden nur mit den durchgehenden Bremsen gemacht.

Bei den Fahrten im Gefälle, wobei die Geschwindigkeit gehalten werden sollte, zeigte sich Potential für Weiterentwicklungen bei Westinghouse und Eames. Bei American beobachtete

man innerhalb der Fahrzeit von 11 Minuten 28 Stöße im letzten Wagen, die teilweise sehr stark waren. Als Erkenntnis stellte sich der große Nachteil der unabhängigen Bremsen dar [19, Seiten 96–97].

Die Wagen mit der Bremse von Rote waren zu Beginn der Test nicht fertig, trotz verlängerter Frist. Widdifield & Button hatte bereits bei kurzen Zügen mit starken Stoßvorgänge zu kämpfen. Die American zeigte bei einem leeren 50-Wagenzug so starke Stöße, dass die Versuche mit teil- und vollbeladenen Wagen aus Sicherheitsgründen nicht gemacht wurden. Aber auch die beiden im Test verbliebenen Bremsen (Westinghouse und Eames) zeigten bei langen beladenen Zügen Stoßvorgänge. Eine weitere Erkenntnis war, dass die Stoßeffekte erst bei langen Zügen deutlich spür- und messbar waren [19, Seiten 103–105].

Erkenntnisse des Komitees

- Die gezeigten Bremssysteme waren enttäuschend wegen der starken Stoßentwicklung.
- Das Spiel der Kupplung (engl. slack) hat einen großen Einfluss auf die Stöße.
- Das Lösen und Wiederbefüllen nach einer Bremsung bis zum Stillstand bei den durchgehenden Bremsen dauerte nur kurze Zeit.
- Das Komitee sah die Zukunft jedenfalls bei den durchgehenden Bremsen. In die Pufferbremse sollte niemand mehr Energie für die Weiterentwicklung aufwenden. [19, Seite 112]

5.3 1887

Die zweite Versuchsreihe fand von 9. bis 28. Mai 1887 auf demselben Streckenabschnitt statt. Es wurden 238 gewertete Testfahrten aufgezeichnet.

Eingeladen waren die Teilnehmer der ersten Reihe sowie alle weiteren Firmen, die teilnehmen wollten. Angetreten sind die Westinghouse Air Brake Company aus Pittsburgh (Pennsylvania), die Eames Vacuum Company aus Boston (Massachusetts), die Hanscom Air Brake Company aus San Francisco (Kalifornien), die Carpenter Automatic Electro Air Brake aus New York (New York) und die Card Electric Brake aus Cincinnati (Ohio). Alle eingesetzten Bremsen waren durchgehende.

Westinghouse hatte das Steuerventil zum *quick-action triple valve* weiterentwickelt. Bei einem 50-Wagenzug verkürzte sich die Anwendungszeit der Bremse von 16 auf 7 Sekunden im Vergleich zum Ventil des Vorjahres [19, Seiten 120–122].

Eames verbesserte den Ejektor und das Bremsgestänge. Außerdem ergänzte er das System um Lastabhängigkeit und einen elektrischen Apparat [19, Seiten 122–127].

Carpenter setzte ein System ein, bei dem die Hauptluftleitung ständig mit den Hilfsluftbehältern in Verbindung steht. Das Anlegen der Bremse war mit Druckabfall in der Hauptluftleitung möglich. Das Lösen der Bremse und das stufenweise Anlegen funktionierte nur mit der elektrischen Steuerung. Die Steuerleitung durch den Zug wurde

durch das Kuppeln der Hauptluftleitung elektrisch verbunden. Laut der Beschreibung waren Wagen mit der Carpenter Bremse kompatibel mit dem Westinghouse System [19, Seiten 127–132].

Hanscom verwendete zwei Luftleitungen. Diese waren jeweils mit der Kammer vor und hinter den Bremszylindern verbunden. Mit dem Führerbremssventil wurde der Druck in einer der beiden Leitungen abgesenkt. Dadurch konnte der Bremszylinder stufenlos bewegt werden [19, Seiten 132–134].

Card nutzte eine rein elektrisch gesteuerte Bremse. Der Stromfluss veranlasste an jedem Wagen ein System von drehenden Trommeln eine Kette aufzuwickeln. Die Kette bewegte das Bremsgestänge. Die mechanische Funktionsweise entsprach den Friktions- oder Schaltwerksbremsen. Das System benötigte immer eine eigene Batterie am letzten Wagen [19, Seite 134].

Ergebnisse

Die Systeme waren effizienter im Vergleich zu 1886. Beispielsweise zeigen dies die Werte der Bremsweglänge in Tabelle 1 von Zügen bestehend aus 50 leeren Wagen.

Tabelle 1: Vergleich verschiedener Versuchsfahrten mit der Westinghouse Bremse. Gemittelte äquivalente Bremsweglänge

Jahr	System	Bremsweglänge bei	
		32 km/h (20 mph)	64 km/h (40 mph)
1886	Selbsttätige Druckluftbremse	99 m (324 ft)	282 m (925 ft)
1887	Selbsttätige Druckluftbremse	65 m (214 ft)	211 m (693 ft)
1887	Selbsttätige Druckluftbremse mit elektrischer Erweiterung	42 m (139 ft)	162 m (532 ft)
1887	Handbremse	268 m (880 ft)	-

Die Druckluftbremse alleine ergab 1887 zwar ein gutes Ergebnis, rief aber massive Stoßvorgänge am Zugschluss hervor. Bei den Fahrten mit zusätzlicher elektrischer Steuerung konnten die Stöße komplett vermieden werden [19, Seiten 165–166].

Hanscom führte nur eine Testfahrt am achten Tag durch, bei der die Bremse aber nicht beherrschbar war. Bei Card kam es bei den wenigen durchgeführten Fahrten jedes Mal auf einigen Wagen zu Schäden an der Ausrüstung. Beide Firmen zogen ihre Wagen vom Versuch komplett zurück [19, Seiten 169–170].

Eine Versuchsreihe wurde auch mit Wagen in schlechtem Zustand gemacht. Damit sollten die Ergebnisse für den ständigen Einsatz vergleichbar gemacht werden, um den Vorwurf zu entgehen, die guten Ergebnisse entspringen den speziell präparierten Wagen. Ausgerüstet wurden 25 alten Wagen mit der Westinghouse Bremse. Es zeigten sich nur sehr geringe Unterschiede [19, Seiten 172–177].

Erkenntnisse des Komitees

- Die Schwierigkeit ist nicht die Bremsenergie zu den Wagen zu bekommen, sondern alle Bremsen gleichzeitig wirken zu lassen.
- Obwohl die Bremsen aller Hersteller große Fortschritte gegenüber 1886 machten, wurde weiterhin viel Raum für Weiterentwicklung gesehen. Daher wurde noch keine endgültige Empfehlung ausgesprochen.
- Das Aufwickeln der Kette bei Card dauert viel zu lange. Bei der Druckluft entwickelt sich die Bremskraft rascher.
- Die beste Lösung wäre ein elektro-pneumatisches Bremssystem. Die Vorteile sind kurze Anhaltewege, geringe Stoßvorgänge, schnelle Lösezeiten und stufenlose Änderung der Bremskräfte.
- Ob der Einsatz von Elektrizität zur Bremssteuerung bei Güterzügen zuverlässig genug ist, kann nur durch weitere Versuche festgestellt werden. [19, Seiten 183–184]

5.4 Verwendete elektro-pneumatische Systeme

Die Wagen mit den Systemen von Westinghouse und Eames wurden mit zusätzlichen elektrischen Erweiterungen ausgestattet. Versuchsfahrten fanden mit und ohne diesen Ergänzungen statt. Das System von Carpenter war auf die elektrische Steuerung angewiesen.

Westinghouse Die elektrische Vorrichtung bestand aus elektromagnetischen Ventilen. Bei Stromfluss im Steuerstromkreis öffneten diese und entlüfteten die Hauptluftleitung. Vorgesehen war eine Anbringung an mehreren Stellen im Zug. Dies bewirkte, dass die Entlüftung der Hauptluftleitung nicht nur am Führerbremssventil erfolgte. Die Stromquelle in Form von Batterien befand sich auf dem Triebfahrzeug. Der Stromkreis wurde durch eine isolierte Leitung innerhalb der Hauptluftleitung und der metallischen Hauptluftleitung als Rückleiter gebildet. Die Verbindung zwischen den Wagen wurde durch elektrische Kontakte in der Mitte der Kupplungsköpfe hergestellt. Der Stromverbrauch war gering, da nur Strom fließt, wenn die Bremse betätigt wurde. Außerdem wirkte sie nur bei Schnell- und Notbremsungen mit. Ein Unterausschuss des Komitees befand das System für zuverlässig, da bei einem Ausfall der Elektrik die Druckluftbremse weiterhin bedienbar war [19, Seiten 141–142].

Eames Auch dieses System verwendete ein elektromagnetisch gesteuertes Ventil. Dieses ergänzte das Steuerventil an jedem Wagen. Durch einzelne Schaltvorgänge ließ sich die Vakuumbremse stufenförmig anlegen und lösen. Stromquelle war ein Generator am Triebfahrzeug. Der Stromkreis wurde durch eine isolierte Leitung innerhalb der Hauptluftleitung und den Schienen als Rückleiter gebildet. Der Unterausschuss stellte fest, dass bei Kurzschlüssen die Bremsen der Wagen hinter der Schadstelle und bei Stromkreisunterbrechungen aller Wagen nicht mehr elektrisch angesteuert werden konnten. Er sah weiters Verbesserungsmöglichkeiten, wie beispielsweise die Vermeidung der

Schiene als Rückleiter wegen isolierter Schienen für den Streckenblock. Trotzdem war das Bremssystem bei Ausfall der elektrischen Steuerung weiterhin bedienbar [19, Seiten 142–143].

Carpenter Die Druckluftbremse von Carpenter nutzte elektrisch gesteuerte Ein- und Auslassventile. Wie oben beschrieben, war die Bedienung nur mit der elektrischen Steuerung möglich. Einzig das komplette Anlegen war allein mit dem Absenken des Drucks in der Hauptluftleitung möglich. Eine Batterie am Triebfahrzeug wurde als Stromquelle verwendet. Als Alternative dazu wurde auch ein Kurbelinduktor gezeigt, aber nicht verwendet. Der Stromkreis wurde durch isolierte Leitungen an der Wagenunterseite gebildet. Die Verbindung zwischen den Wagen wurde durch elektrische Kontakte in den Kupplungsköpfen hergestellt. Einige unsichere Zustände wurden durch den Unterausschuss beschrieben [19, Seiten 137–140].

5.5 Anwesenheit Holleriths

Die Railroad Gazette berichtet in der Ausgabe vom 27. Mai 1887, dass Jesse Fairfield Carpenter und Herman Hollerith als Vertreter der Carpenter Brake Company zumindest zeitweise bei den Versuchsfahrten in Burlington anwesend waren [20, Seite 349].

6 Vergleich der patentierten Erfindungen mit den eingesetzten Systemen

Westinghouse Das verwendete System erinnert an die in Patent 363.463 beschriebene Variante A und B in Verbindung mit Variante C. Der Aufbau des Auslassventils ist anders. Holleriths Ventil entlüftet direkt an die Außenluft (siehe 4.4.2), während Westinghouse einen zusätzlichen Kolben einsetzt [19, Seite 141]. Die grundlegende Funktionsweise und Anordnung sind sehr ähnlich.

Eames Es ist keine detaillierte Beschreibung auffindbar. Der Bericht [19, Seite 142] des Unterausschusses des Komitees verweist nur auf einen Firmenkatalog. Anhand der vorliegenden Beschreibungen ist keine Ähnlichkeit zu den Patenten Holleriths feststellbar.

Carpenter Das System von Carpenter ist vergleichbar mit dem Patent 334.020. Der elektrische Aufbau mit zwei Stromkreisen und damit getrennt gesteuerten Einlass- und Auslassventilen ist ähnlich. Hollerith erläutert in seinem Artikel, dass die Elektromagnete kleine Ventile betätigten, die mit dem Relativdruck über einer Membran die daran befestigten Ventile der Kammer aktivieren [47, Seite 48]. Das unterscheidet Carpenters Konstruktion der Ventile von der Ventilkammer Holleriths (siehe 4.1.3).

7 Fazit

Ein direkter Einfluss Herman Holleriths auf die Entwicklung der elektro-pneumatischen Eisenbahnbremsen ist anhand der Literatur nicht nachweisbar. Drei Hinweise lassen aber ein Naheverhältnis vermuten.

Bevor Hollerith die ersten Patentanträge einreichte, arbeitete er knapp ein Jahr im Patentamt in Washington, D.C. Die große Anzahl an Erfindungen im Bereich des Eisenbahnwesens dürfte sein Interesse darin geweckt haben. Als Herkunftsort ist in all seinen Patenten, außer einem, St. Louis (Missouri) angegeben. In dieser Zeit wird er im örtlichen Adressverzeichnis als Manager bei der Mallinckrodt Brake Company angeführt [48, Seite 562]. Diese Firma entwickelte elektrische Ergänzungen für Eisenbahn-Druckluftbremsen [49]. Präsident der Firma war Henry Flad. Der Biograf Geoffrey D. Austrian vermutete, dass Hollerith mit Flad verwandt war [50, Seite 29]. Neuere Forschung durch Lars Heide kann das aber nicht bestätigen [49]. Austrian gibt weiters an, dass Flad eine Menge an Patenten angemeldet hatte, wobei solche im Zusammenhang mit Bremsen von der Electro Magnetic Brake Company aus East St. Louis (Illinois) übernommen wurden [50, Seite 30].

Das Interesse zeigt sich auch in eigenen Texten. Hollerith berichtet in *The School of Mines Quarterly* selbst in einer Notiz [51] und einem Artikel [47] von den Versuchsfahrten in Burlington. Im Artikel wird Carpenters System vorteilhafter dargestellt als Westinghouse'. Später erscheint noch ein Artikel von Hollerith in der *Railroad Gazette* über die Ursachen von Stößen (The Cause of Shock) [52, Seiten 265–266].

Nach der Erwähnung in der *Railroad Gazette* und durch seine Berichte kann als gesichert angesehen werden, dass Hollerith in Burlington bei den Versuchsfahrten anwesend war. Der Biograf Austrian erwähnt eine Notiz von Holleriths ältester Tochter zu einem Gespräch mit einem ehemaligen Mitarbeiter, Edmund Talcott, dass dieser Carpenter als Finanzier der bremsenbezogenen Arbeiten Holleriths sieht [50, Seite 31]. Dadurch ist von einer geschäftlichen Verbindung zwischen Hollerith und Carpenter auszugehen. Dass das Patent 363.464 New York (New York) als Herkunftsort angibt, welches ebenso ein Firmenstandort Carpenters war, kann als weiteres Indiz gewertet werden.

Eine weitere Verbindung gibt es zu George Westinghouse. Nach Familienberichten lehnte Hollerith eine Zahlung für seine Erfindung von Westinghouse ab [50, Seiten 34–35]. Westinghouse wollte dadurch wahrscheinlich sein Geschäft potentiell blockierende Patente aufkaufen. Hollerith ist jedenfalls noch 1892 damit beschäftigt Geld aus seiner Erfindung zu machen. Er dürfte einmal Westinghouse als „scoundrel“ (engl. Schurke) bezeichnet haben [50, Seiten 35, 221]. Eine Interpretation ist, dass er sich um seinen Anteil am Erfolg und der Entwicklung der Eisenbahnbremsen gebracht sah. Weitere Quellen, außer den anekdotischen Erwähnungen in der Biografie, zur Verbindung mit Westinghouse waren nicht auffindbar.

Erst nach der Forschungsarbeit von Geoffrey D. Austrian für die Biografie wurde der Library of Congress der Nachlass Holleriths übergeben. In diesen Unterlagen wäre weitere Recherche möglich, wobei die Suchhilfe, die einen Überblick über die enthaltenen Dokumente schafft, keine besonderen Hinweise im Bezug auf die Brems-Erfindungen enthält [53]. Weitere Ergebnisse könnte auch eine Untersuchung der Personen Henry Flad, Jesse Fairfield Carpenter sowie George Westinghouse und deren Wirken ergeben.

Literaturverzeichnis

- [1] Frank da Cruz. *Herman Hollerith*. eng. Columbia University. 11. August 2022. URL: <http://www.columbia.edu/cu/computinghistory/hollerith.html> (besucht am 08.01.2023).
- [2] Department of the Interior, United States Patent Office. *Annual Report of the Commissioner of Patents for the year 1885*. Washington, 30. Jänner 1886.
- [3] Department of the Interior, United States Patent Office. *Annual Report of the Commissioner of Patents for the year 1886*. Washington, 31. Jänner 1887.
- [4] Department of the Interior, United States Patent Office. *Annual Report of the Commissioner of Patents for the year 1887*. Washington, 31. Jänner 1888.
- [5] Department of the Interior, United States Patent Office. *Annual Report of the Commissioner of Patents for the year 1888*. Washington, 31. Jänner 1889.
- [6] Department of the Interior, United States Patent Office. *Annual Report of the Commissioner of Patents for the year 1889*. Washington, 31. Jänner 1890.
- [7] Department of the Interior, United States Patent Office. *Annual Report of the Commissioner of Patents for the year 1890*. Washington, 31. Jänner 1891.
- [8] *DIN EN ISO 128-20:2002-12: Technische Zeichnungen - Allgemeine Grundlagen der Darstellung - Teil 20 Linien, Grundregeln*. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Dezember 2002.
- [9] *DIN EN 60617-2:1997-08: Graphische Symbole für Schaltpläne - Teil 2 Symbolelemente, Kennzeichen und andere Schaltzeichen für allgemeine Anwendungen*. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., August 1997.
- [10] *DIN EN 60617-3:1997-08: Graphische Symbole für Schaltpläne - Teil 3 Schaltzeichen für Leiter und Verbinder*. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., August 1997.
- [11] *DIN EN 60617-4:1997-08: Graphische Symbole für Schaltpläne - Teil 4 Schaltzeichen für passive Bauelemente*. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., August 1997.
- [12] *DIN EN 60617-6:1997-08: Graphische Symbole für Schaltpläne - Teil 6 Schaltzeichen für die Erzeugung und Umwandlung elektrischer Energie*. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., August 1997.
- [13] *DIN EN 60617-7:1997-08: Graphische Symbole für Schaltpläne - Teil 7 Schaltzeichen für Schalt- und Schutzeinrichtungen*. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., August 1997.
- [14] *DIN ISO 1219-1:2019-01: Fluidtechnik - Graphische Symbole und Schaltpläne - Teil 1: Graphische Symbole für konventionelle und datentechnische Anwendungen*. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Jänner 2019.
- [15] *DIN ISO 1219-2:2019-01: Fluidtechnik - Graphische Symbole und Schaltpläne - Teil 2: Schaltpläne*. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Jänner 2019.

- [16] *ISO 14617-8:2002 Graphical symbols for diagrams - Part 8: Valves and dampers*. International Organization for Standardization, 1. Dezember 2003.
- [17] *DIN EN IEC 81346-1:2020-08: Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung - Teil 1: Allgemeine Regeln*. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., August 2020.
- [18] *DIN EN IEC 81346-2:2020-10: Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung - Teil 2: Klassifizierung von Objekten und Kennbuchstaben für Klassen*. DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Oktober 2020.
- [19] *Report of the Proceedings of the Twenty-First Annual Convention of the Master Car-Builders' Association*. eng (Curtis Hall, Minneapolis (Minnesota), 14.–16. Juni 1887). 21. Master Car-Builders' Association, 1887. URL: https://books.google.at/books?id=u_5KAAAAYAAJ.
- [20] *Railroad Gazette. A journal of transportation, engineering and railroad news*. 19. 1887. URL: <https://books.google.at/books?id=4y4kQAAMAAJ>.
- [21] Dietmar Gohlich und Beate Bender. *Dubbel Taschenbuch für den Maschinenbau 3: Maschinen und Systeme*. ger ; eng. 26. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2020. ISBN: 978-3-662-59715-6. DOI: 10.1007/978-3-662-59715-6.
- [22] Technisches Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“. *ÖNORM EN 14478:2018-01-15: Bahnanwendungen - Bremsen - Fachbegriffe*. Austrian Standards International, 15. Jänner 2018.
- [23] Technisches Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“. *ÖNORM EN 14198:2021-08-15: Bahnanwendungen - Bremsen - Anforderungen an die Bremsausrüstung lokbespannter Züge*. Austrian Standards International, 15. August 2021.
- [24] *DB 826 Bremstechnik*. ÖBB Produktion. Wien, 1. Oktober 2015.
- [25] *Regelwerk 31.03 Bremsvorschrift M26*. ÖBB Infrastruktur. Wien, 10. Juni 2018.
- [26] Joachim Ihme. *Schienenfahrzeugtechnik*. 2. Auflage. Springer Vieweg, 2019. ISBN: 978-3-658-24923-6. DOI: 10.1007/978-3-658-24923-6.
- [27] Karl Gölsdorf. „Locomotivbau“. In: *Geschichte der Eisenbahnen der österreichisch-ungarischen Monarchie*. Herausgegeben von Hermann Strach. Band 2. 6 Bände. Digitale Ausgabe auf DVD von bahnmedien.at. Wien, Teschen, Leipzig: Karl Prochaska, 1898.
- [28] Frank Minde. „Grundlagen der Eisenbahnbremstechnik“. PDF Dokument. Deutsche Bahn AG - Technik/Beschaffung - DB Systemtechnik, Leiter Bremse und Kupplungen (TZF8). Minden (Westfalen), 6. Juli 2007.
- [29] Johann Rihosek. *Bremsen*. In: *Enzyklopädie des Eisenbahnwesens*. Herausgegeben von Victor von Röll. 2. Auflage. Band 3. 10 Bände. Digitale Ausgabe auf DVD von bahnmedien.at. Berlin, Wien: Urban & Schwarzenberg, 1912.

- [30] Interstate Commerce Commission. Office of Statistician. Henry C. Adams. *Second Annual Report on the Statistics of Railways in the United States to the Interstate Commerce Commission for the Year ending June, 30 1890*. Washington: U.S. Government Printing Office, 1890. URL: <https://books.google.at/books?id=mkb4GDWE00UC>.
- [31] Mark Aldrich. *Death rode the rails. American railroad accidents and safety, 1828–1965*. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press, 2009. ISBN: 978-0-8018-9402-2.
- [32] George Westinghouse Jr. „Improvement in steam-power-brake devices“. US-Patent 88929. 13. April 1869.
- [33] United States Patent Office. *General index of the Official Gazette and monthly volumes of patents 1872*. Washington, 1873.
- [34] J.H. White. *The American Railroad Passenger Car*. Johns Hopkins studies in the history of technology. Johns Hopkins University Press, 1978. ISBN: 978-0-8018-1965-0. URL: <https://books.google.at/books?id=nIMkAAAAMAAJ>.
- [35] Steven W. Usselman. „Air Brakes for Freight Trains: Technological Innovation in the American Railroad Industry, 1869-1900“. In: *The Business History Review* 58.1 (1984). ISSN: 0007-6805. DOI: 10.2307/3114527. URL: <http://www.jstor.org/stable/3114527> (besucht am 04.09.2022).
- [36] Herman Hollerith. „Electro-magnetically-operated Air-Brake for Railway-Cars“. US-Patent 334020. 12. Jänner 1886.
- [37] Herman Hollerith. „Electro-magnetically-operated Air-Brake for Railway-Cars“. US-Patent 334021. 12. Jänner 1886.
- [38] Erwin Böhmer, Dietmar Ehrhardt und Wolfgang Oberschelp. *Elemente der angewandten Elektronik*. 17. Auflage. Springer Vieweg, 2018. ISBN: 978-3-8348-2114-0. DOI: 10.1007/978-3-8348-2114-0.
- [39] Herman Hollerith. „Electro-magnetically-operated Air-Brake for Railway-Cars“. US-Patent 334022. 12. Jänner 1886.
- [40] Herman Hollerith. „Method of and Apparatus for operating pressure or vacuum brakes“. US-Patent 363463. 24. Mai 1887.
- [41] Herman Hollerith. „Electro-pneumatic brake for Railroad-trains“. US-Patent 363464. 24. Mai 1887.
- [42] August von Borries. „Neue Einheits-Bestimmungen des Vereines amerikanischer Wagen-Erbauer“. In: *Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens in technischer Beziehung. Organ des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen* 24 (1887). Herausgegeben von A. Funk und G. Barkhausen. Begründet von Edmund Heusinger von Waldegg.
- [43] *Report of the Proceedings of the Twenty-Second Annual Convention of the Master Car-Builders' Association*. eng (Westminster Park Hotel, Alexandria Bay (New York), 12. Juni 1888–14. Juni 1887). 22. Master Car-Builders' Association, 1888. URL: https://books.google.at/books?id=u_5KAAAAYAAJ.

- [44] *Proceedings of the session of the American Railroad Association Section III - Mechanical.* eng (Young's Million Dollar Pier, Atlantic City (New York), 18.–25. Juni 1919). 53. American Railroad Association, 1919. URL: <https://books.google.at/books?id=OLswAAAAAYAAJ>.
- [45] *Report of the Proceedings of the Twentieth Annual Convention of the Master Car-Builders' Association.* eng (The International Hotel, Niagara Falls (New York), 8.–10. Juni 1886). 20. Master Car-Builders' Association, 1886. URL: <https://books.google.at/books?id=vS83AQAAAMAAJ>.
- [46] *Railroad Gazette. A journal of transportation, engineering and railroad news.* 18. 1886.
- [47] Herman Hollerith. „The Burlington Brake Tests“. In: *The School of Mines Quarterly* 9 (1888), Seiten 43–69.
- [48] *Gould's St. Louis Directory for 1885. For the year ending April, 1st, 1886.* 14. Auflage. St. Louis: Gould Directory Co., 1886.
- [49] Lars Heide. *Herman Hollerith. 1860-1929.* eng. German Historical Institute. 22. August 2018. URL: <https://www.immigrantentrepreneurship.org/entries/herman-hollerith/> (besucht am 08.01.2023).
- [50] Geoffrey D. Austrian. *Herman Hollerith, forgotten giant of information processing.* New York: Columbia University Press, 1982. ISBN: 978-0-231-05146-0.
- [51] Herman Hollerith. „Burlington Brake-Tests“. In: *The School of Mines Quarterly* 8 (1887), Seiten 376–379.
- [52] *Railroad Gazette. A journal of transportation, engineering and railroad news.* 20. 1888. URL: <https://books.google.at/books?id=OmM2AQAAAMAAJ>.
- [53] James Byers, Wilhelmena Curry und T. Michael Womack. *Herman Hollerith papers. A Finding Aid to the Collection in the Library of Congress.* eng. Manuscript Division, Library of Congress. März 2010. URL: <https://hdl.loc.gov/loc/mss/eadmss.ms997007> (besucht am 10.01.2023).