

Zeitschrift: Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG

Band: 62 (1990)

Artikel: Die Atmosphärische Eisenbahn : eine Alternative zum Lokomotivsystem vor 150 Jahren

Autor: Lindner, Helmut

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-378257>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.11.2024

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

Die Atmosphärische Eisenbahn – eine Alternative zum Lokomotivsystem vor 150 Jahren

Im «Handbuch für specielle Eisenbahn-Technik», 1870 von Heusinger von Waldegg herausgegeben, ist das XVII. Kapitel den aussergewöhnlichen Eisenbahnsystemen gewidmet, und hier nehmen die Atmosphärischen Eisenbahnen mehr als die Hälfte des Platzes ein. Der Bearbeiter des Kapitels, der Oberbaurat und Professor Sternberg an der polytechnischen Schule in Karlsruhe, kann dabei auf eine abgeschlossene Periode in der Geschichte der Eisenbahn zurückblicken. Nirgends bestanden zu dieser Zeit mehr Atmosphärische Eisenbahnen, alle waren sie entweder eingestellt oder inzwischen zu Lokomotivbahnen umgebaut worden.

In der Eisenbahngeschichtsschreibung wird der Geschichte der Atmosphärischen Eisenbahnen kaum Platz eingeräumt. Fehlschläge sind keine Ruhmesblätter, deren Betrachtung lohnt. In neuerer Zeit hat Charles Hadfield, der durch zahlreiche Abhandlungen zur Geschichte der Kanalbauten in Grossbritannien bekannt ist, eine Monographie dazu verfasst, die in einer Reihe mit dem kennzeichnenden Titel «Mechanical Might-have-beens» erschien. Die Rezeption in Deutschland behandelte Hadfield allerdings nicht.

Atmosphärische und Pneumatische Eisenbahnen

Der Ausdruck «Atmosphärische Eisenbahn» wurde in Analogie zur atmosphärischen Dampfmaschine gebildet. Ein Kolben bewegt sich durch den Druck der atmosphärischen Luft in einer evakuierten Röhre. Der Kolben ist mit den Wagen verbunden und zieht diese mit. Bei den Pneumatischen Eisenbahnen fährt der Wagenzug wie bei einer Rohrpost innerhalb einer grossen Röhre, angetrieben durch den Über- oder Unterdruck der Luft in der Röhre. Atmosphärischen und Pneumatischen Eisenbahnen ist im Gegensatz zum Lokomotivsystem gemeinsam, dass ihre Kraftquelle – zumeist eine Dampfmaschine – im Wagenzug nicht mitgeführt wird, sondern dass die in eine Röhre eingeschlossene verdünnte oder verdichtete Luft als Kraftübertragung zwischen der feststehenden Dampfmaschine und den sich bewegenden Wagen fungiert. Manche Autoren sprachen auch von einem «Luftseil», denn Seilzüge, bewegt durch die Kraft von stationären Dampfmaschinen, waren damals für Lokomotiven zur Überwindung grosser Steigungen gebräuchlich.

Die Atmosphärische Eisenbahn entwickelte sich aus der Idee der Pneumatischen Eisenbahn. Der erste, der komprimierte Luft für den Transport vorschlug, war der Londoner Feinmechaniker George Medhurst (1759–1827) aus London. 1810 propagierte er eine neue Methode zur Beförderung von Briefen und Gütern auf sichere und schnelle Art. Der Anwendung dieser Rohrpost für den Personenverkehr stand entgegen, dass den Passagieren nicht zuzumuten war, sich innerhalb einer Röhre ohne freie Sicht zu bewegen. Medhursts weitergehende Überlegung war nun, in der Röhre einen Kolben zu bewegen, der mit einem fahrbaren Behälter ausserhalb der Röhre verbunden ist. Und das stellt zugleich das entscheidende technische Problem bei den Atmosphärischen Eisenbahnen dar. 1827 machte er den Vorschlag, durch einen Schlitz an der Unterseite der Röhre die Verbindung von Kolben zum Wagen herauszuführen und die ganze Anordnung zur Abdichtung in eine Wanne mit Wasser zu stellen (Bild 1). Für Steigungen sah Medhurst zum Niveaueausgleich eine Art Schleuse vor. Nach seinem Tode 1827 griffen andere Erfinder seine Idee auf, wobei nicht mehr durch Überdruck, sondern durch Unterdruck in Verbindung mit dem Druck der Atmosphäre die Wirkung erzielt werden sollte.

Dr. Helmut Lindner

Museum für Verkehr und Technik
Trebbiner Str. 9,
D-1000 Berlin 61

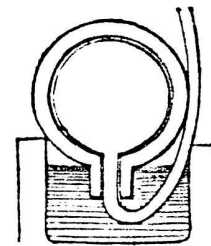


Bild 1: Vorschlag von Medhurst, 1827: Die Abdichtung der Röhre, in der sich ein Kolben durch Luftdruck bewegt, erfolgt an der Unterseite mit Wasser (Becker 1844, S. 9).

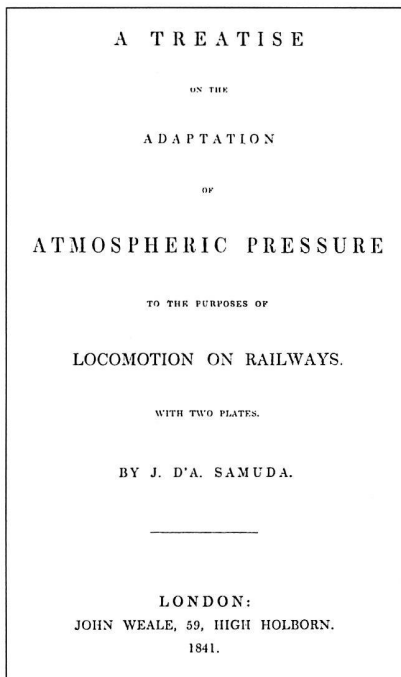


Bild 2: Titelblatt der Veröffentlichung von Samuda (Samuda 1841).

Das Interesse an Atmosphärischen Eisenbahnen in England ist nur durch den beginnenden Eisenbahnbau auf der Grundlage des Lokomotivsystems zu erklären. Die erste dem Güter- und Personenverkehr dienende Dampfisenbahnlinie wurde 1825 zwischen Stockton und Darlington eröffnet, und 1829 hatte das Lokomotivsystem bei der Wettfahrt von Rainhill seine Leistungsfähigkeit gegenüber stationären Dampfmaschinen mit Seilzügen bewiesen. Die im wesentlichen von Robert Stephenson (1803–1859) konstruierte «Rocket», hervorgegangen aus der Lokomotivfabrik seines Vaters, erzielte auf einer Strecke von rund 2½ km Länge eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 34,5 km/h. Die dann in England entstehenden Eisenbahnlinien, allen voran die 1830 eröffnete Liverpool & Manchester Railway als Prototyp, brachten für Wirtschaft und Bevölkerung ein enorm verbessertes Transportangebot zu stark gesunkenen Preisen. Verbunden damit waren in den folgenden Jahren eine Zunahme der Linien und eine technische Weiterentwicklung der Dampflokomotive, an der alle anderen Systeme gemessen wurden.

Wenn von «der Dampflokomotive» oder von «der Eisenbahn» die Rede ist, so täuscht dies eine nicht vorhandene Einheitlichkeit vor. Das erste Drittel des 19. Jahrhunderts war der Erprobung und Anpassung von Dampfmaschinen auf Rädern und Schienen gewidmet, von Teilen, die aus den Bergwerken stammten. Es war das Verdienst George Stephensons (1781–1848), Fahrweg und Lokomotive als eine Einheit, als das System Rad/Schiene, zu betrachten. Die Vielfalt der Ausführungen durch die verschiedenen Eisenbahngesellschaften und Konstrukteure sowie ein noch nicht sonderlich weit ausgedehntes Eisenbahnnetz in Grossbritannien und Irland von knapp 2000 km im Jahre 1838 förderten sicher die Bereitschaft, über andere Eisenbahnkonstruktionen nachzudenken. So gab es auch Überlegungen, Druckluftlokomotiven zu bauen. Nach 1840 gesellten sich die Lokomotiven mit elektromagnetischen Maschinen als Antrieb hinzu. Doch gediehen keine dieser Vorschläge soweit wie die Atmosphärischen Eisenbahnen.

Wie bereits angedeutet, stellte die Verbindung zwischen dem Kolben in der Röhre und dem Wagen ausserhalb der Röhre das entscheidende Problem dar. Der in London lebende Amerikaner Henry Pinkus schlug 1834 eine richtungweisende Lösung vor: Die Röhren sollten oben aufgeschnitten sein und durch ein in die Öffnung eingepresstes Seil abgedichtet werden. Wenn der Kolben durch die Röhre fährt, dann wird kurz hinter dem Kolben das Seil angehoben, damit die Verbindung zwischen Kolben und Wagen hindurchpasst, und anschliessend drückt eine Vorrichtung das Seil wieder in den Schlitz. 1835 rief Pinkus zur Gründung einer Aktiengesellschaft, der National Pneumatic Railway Association, mit einem Kapital von 200 000 Pfund auf, um den Bau einer einspurigen Atmosphärischen Eisenbahn zu finanzieren. Brieflich teilte sogar der damals bekannteste englische Physiker Michael Faraday (1791–1867) seine Unterstützung mit, doch gedieh die ganze Sache über ein Modell nicht hinaus. Dies war kein Wunder in Anbetracht der hohen Kosten allein für die vorgesehene Röhre von 30 bis 40 Zoll, also rund ein Meter Durchmesser.

Erst 1838, als zwei erfahrene Ingenieure, Samuel Clegg (1781–1861) und Jacob Samuda (†1844) am 3. Januar 1838 ein Patent auf eine Verbesserung des Rohrsystems erhielten, nahm die Atmosphärische Eisenbahn Gestalt an. Clegg, der unter dem Physiker und Chemiker John Dalton (1766–1844) seine wissenschaftliche Ausbildung erhielt, sammelte anschliessend praktische Erfahrungen bei der Dampfmaschinenfabrik Boulton & Watt, wo er die Versuche mit Leuchtgas von William Murdock (1754–1839) kennenlernte. Clegg erwarb sich in den folgenden Jahren einen guten Namen auf dem Gebiete der Gasbeleuchtung. Jacob Samuda, der bereits 1844 verstarb, und sein jüngerer Bruder und Geschäftspartner Joseph Samuda (1813–1885) stellten Schiffsdampfmaschinen und Dampfschiffe in London her. Clegg brachte seine Kenntnisse im Umgang mit der Gasbeleuchtung ein, die beiden Brüder die Erfahrungen in der Herstellung gusseiserner Röhren.

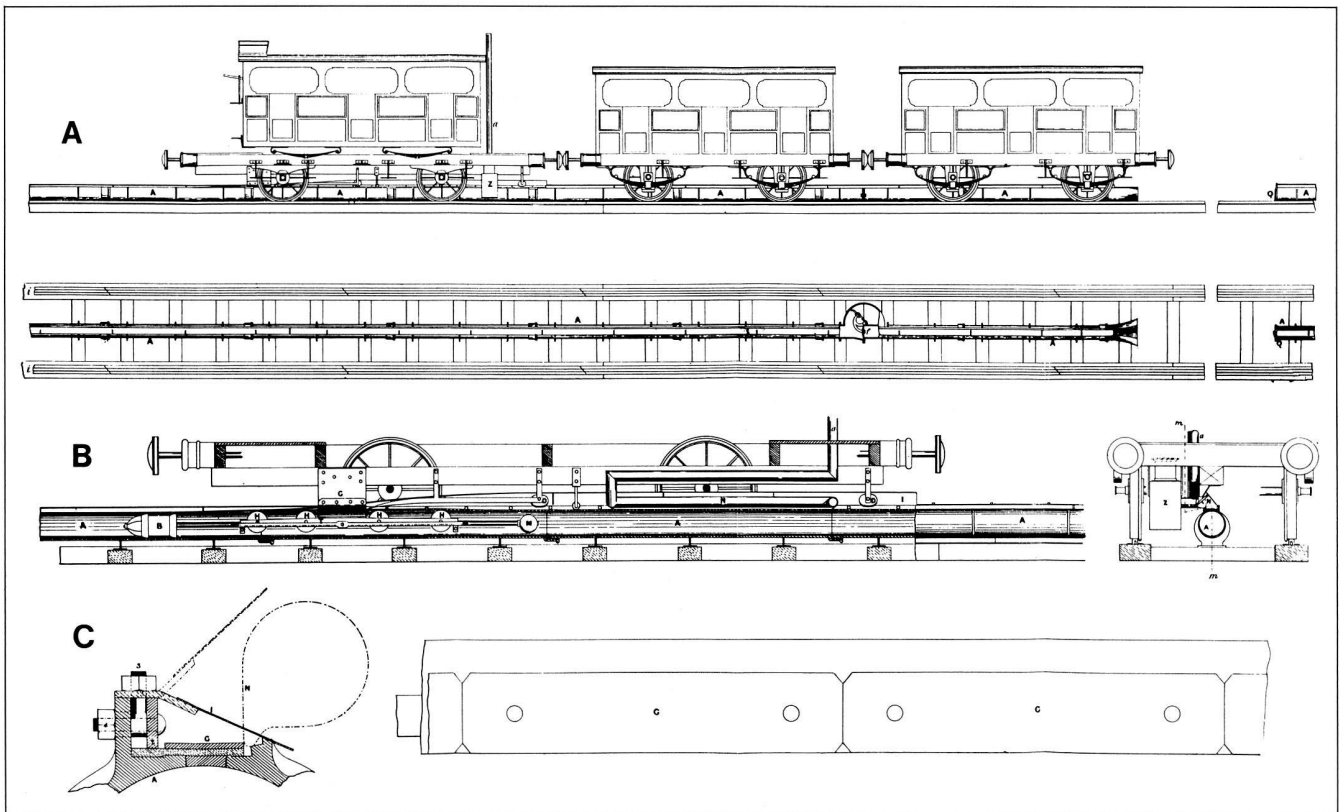


Bild 3: Die Atmosphärische Eisenbahn von Clegg und Samuda (Clegg/Samuda 1840).

In den Jahren 1840 und 1841 erschienen zwei Werbeschriften zur Atmosphärischen Eisenbahn von Clegg und Samuda, in denen die technischen Grundlagen ihres Systems ausführlich beschrieben sind (Bilder 2 und 3).

Technische Prinzipien der Atmosphärischen Eisenbahn

Oben im Bild 3(A) ist die Seitenansicht eines Zuges zu sehen. Der Leitwagen links ist ähnlich wie die anderen Wagen aufgebaut. Er unterscheidet sich nur durch die grösseren Plattformen, auf denen der Zugführer stehen kann, und durch den Kolben an der Unterseite (Bild 3B). Der Kolben trägt einen Lederring, der sich an die Innenwandung anschmiegt und für die Abdichtung sorgt. Die Scheiben hinter dem Kolben bewirken die Öffnung des Röhrenverschlusses. Der Verschlussmechanismus, ein Klappenventil, an der Oberseite der Röhre ist das Wesentliche des Patentes.

In Bild 3(C), wird der Verschlussmechanismus deutlich, der durch ein hochklappbares Blech vor Regen, Schnee und Schmutz geschützt wird. Das Klappenventil aus Rindsleder trägt an der Unterseite ein genau in den Röhrenschlitz passendes Eisenstück. Das Klappenventil in den einzelnen Rohrstücken wird durch die Rollen hinter dem Kolben bei der Durchfahrt um etwa 45 Grad gehoben, so dass das Verbindungsstück zwischen Kolben und Wagen gerade hindurchgeht. Zur Abdichtung werden die Teile mit einer Mischung aus Wachs und Talg eingeschmiert. Nach dem Durchfahren wird das Klappenventil durch eine Rolle ange-drückt. Zusätzlich soll ein mitgeführter Heizkasten mit glühenden Kohlen die Mischung erwärmen, die weich wird, den Zwischenraum an der linken Seite des Ventils ausfüllt und so für eine luftundurchlässige Abdichtung sorgt.

Die Röhre, aus etwa 2,7 Meter langen Stücken muffenförmig zusammengesetzt, liegt, wie in Bild 3 gezeigt, in der Mitte zwischen den Schienen. Ist kein Zug auf der Strecke, so muss die zu evakuierende Röhre am Ende verschlossen sein. Dafür konstruierten Clegg und Samuda eine

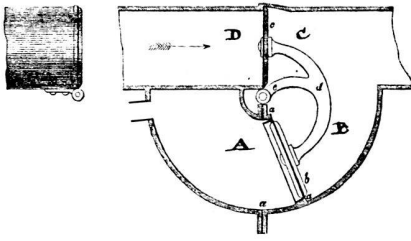


Bild 4: Schnitt durch eine Verschlussklappe, 1841 (Samuda 1841, S. 5).

Verschlussklappe, die die Röhre sicher abschliesst, aber gleichzeitig den Eintritt eines Kolbens ermöglicht (Bild 4). Von links soll der Kolben eindringen, der Pfeil deutet dies an, und auf dieser Seite wirkt auch der Luftdruck, der die Klappe bei C nach innen drücken will, da rechts sich die evakuierte Röhre anschliesst. Dies wird verhindert durch die mit der ersten Klappe starr verbundene zweite, aber flächenmässig grössere Klappe bei A. Bei A kann durch eine Öffnung, hier nachträglich eingezeichnet, der äussere Luftdruck auf die zweite Klappe wirken, und da sie flächenmässig grösser als die erste Klappe ist, drückt sie diese nach links, und die Röhre verschliesst.

Die Schwierigkeiten liegen in den hier angeführten Klappenmechanismen, worüber die Eleganz der Gesamtansicht leicht hinwegtäuscht. Clegg und Samuda stellen eine zweigleisige Bahn vor (Bild 5). Rechts befindet sich eine ebene Strecke, die links in eine ansteigende übergeht. Die Streckenabschnitte sind durch die Entfernungen der Maschinenhäuser vorgegeben. Auf der ebenen Strecke rechts sind beide Geleise mit einer Röhre ausgestattet. Die eine Röhre wird durch die stationäre Dampfmaschine in Kombination mit einer Luftpumpe im Maschinenhaus evakuiert. Der Zug verlässt die Röhre, wobei der Kolben eine einfache Klappe am Ende aufstösst, und bewegt sich mit der Eigengeschwindigkeit bis zur nächsten Röhre. Nach dem Durchfahren der Eintrittsklappe wird der Zug bergauf gezogen. Auf der abfallenden Strecke fährt der Zug ohne Unterstützung, allein durch die Schwerkraft. Kreuzungen und Weichen sind ebenfalls nicht mit einer Röhre ausgestattet.

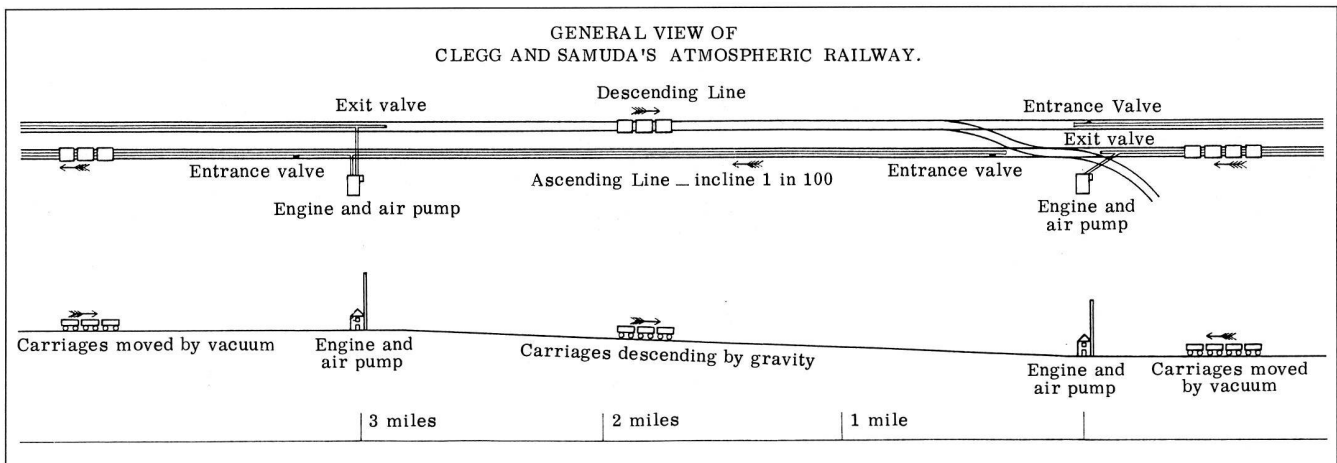


Bild 5: Streckenführung der Atmosphärischen Eisenbahn nach Clegg und Samuda (Umzeichnung nach Samuda 1841).

Vorteile der Atmosphärischen Eisenbahn

Worin lag die Faszination der Atmosphärischen Eisenbahn für die Zeitgenossen um 1840? Es wurde von den Befürwortern mit

1. hoher Sicherheit,
2. grosser Geschwindigkeit,
3. niedrigen Kosten argumentiert.

Zu 1. Das Wichtigste, so die Argumentation der Befürworter in der Öffentlichkeit, ist die Sicherheit der Fahrgäste. Da bei der Atmosphärischen Eisenbahn keine Dampfmaschine mitgeführt wird, kann kein Kessel explodieren. Die Fahrgäste, die in offenen Wagen zum billigsten Tarif fahren, werden durch Rauch und Dampf nicht belästigt. Ebenso sind auf der Strecke Waldbrände durch Funkenflug ausgeschlossen. Der Leitwagen vermindert durch die im Vergleich zur Lokomotive leichtere Bauweise die Gefahr von Schienen- und Achsbrüchen. Ein Entgleisen des Leitwagens wird durch den in der Röhre geführten Kolben erschwert. Mit Ausnahme bei Kreuzungen können Atmosphärische Eisenbahnen nicht frontal zusammenstossen. Das bedeutet eine grössere Zugfolge bei entsprechender Unterteilung der Strecke. In der Erhöhung der

Sicherheit liegt für einen Grossteil der Befürworter der entscheidende Grund, das neue System vorzuziehen. Die ablehnenden Stimmen verweisen auf die Empfindlichkeit des Klappensystems. Seltsamerweise unerwähnt bleibt die Sabotagegefahr in unruhigen Zeiten: Die Beschädigung oder das Öffnen einer Klappe sowie das Einbringen eines Fremdkörpers in die Röhre bringen den Zug zum langsamen oder sogar abrupten Stillstand, wenn sich der Kolben verklemmt. Dies lässt sich auch bei Erdverschiebungen nicht ausschliessen. Ein zweiter atmosphärischer Leitwagen kann dem ersten nicht auf demselben Gleis zu Hilfe kommen. Genausowenig lässt sich bei der Atmosphärischen Eisenbahn ohne zusätzliche Hilfsmittel rangieren, ein Rückwärtsfahren ist nur bei abfallender Strecke möglich.

Zu 2. Zur Schnelligkeit gesellte sich noch die Fähigkeit, grössere Steigungen als beim Lokomotivsystem zu überwinden. Der Druck auf den Kolben – und damit die Zugkraft – wird bestimmt durch die Grösse der Röhre und den Grad der Evakuierung. Bei den Lokomotiven hängt die Geschwindigkeit letzten Endes von der Geschwindigkeit des Kolbens in der Dampfmaschine ab. Durch das geringere Gewicht der Atmosphärischen Eisenbahn muss keine so grosse Masse beschleunigt werden. Bei gleichbleibender Last nimmt die Geschwindigkeit beim Lokomotivsystem bereits auf geringen Steigungen schnell ab – bzw. bei konstanter Geschwindigkeit dann das Zuggewicht –, weshalb die Streckenführung möglichst horizontal verlaufen soll. Das betrifft die Atmosphärische Eisenbahn in nicht so starkem Masse, denn hier spielt die Reibung zwischen Rad und Schiene, die bei der Lokomotive neben dem Lokomotivgewicht über die Zugkraft entscheidet, keine Rolle. Die Geschwindigkeit der Dampflokomotiven lag anfangs zwischen 10, 15 und 20 Meilen, die von den Zeitgenossen um 1840 als sehr hoch angesehen wurden. Allerdings ist in den Beschreibungen nicht immer der Unterschied zwischen kurzzeitig gefahrener Höchstgeschwindigkeit und der Reisegeschwindigkeit klar erkennbar.

Zu 3. In all den Werbeschriften werden die Kosten für die Atmosphärische Eisenbahn im Vergleich zum Lokomotivsystem nur halb so hoch angegeben. Da die Atmosphärische Eisenbahn grössere Steigungen überwindet, entfallen umfangreiche Erdarbeiten im hügeligen Gelände für Einschnitte sowie Tunnels oder Brücken. Letztere fallen niedriger aus, da ja kein hoher Schornstein vorhanden ist. Aber auch bei ebenen Strecken sind Einsparungen möglich. Für die leichten Leitwagen genügen Schienen mit nur einem Drittel des Gewichtes der sonst üblichen, doch muss dafür die teure Röhre in Rechnung gesetzt werden. Für die Betriebskosten wird folgendermassen argumentiert: Stationäre Dampfmaschinen arbeiten bei der Atmosphärischen Eisenbahn zum Betrieb der Luftpumpe gleichmässiger und dadurch mit einem höheren Wirkungsgrad als Dampfmaschinen im Lokomotivbetrieb. Zudem muss dort das mitgeführte Brennmaterial hochwertig sein, also eignen sich nur Steinkohle oder Koks, um Platz und Gewicht zu sparen. Ausserdem nimmt der Verbrauch bei Steigungen und höheren Geschwindigkeiten überproportional zu, ganz zu schweigen von der schnelleren Abnutzung der Lokomotiven.

Ein letztes Argument, das über die Interessen einer einzelnen Eisenbahngesellschaft hinausführt, darf nicht fehlen: Für Eisenbahnbau und -unterhalt werden grosse Mittel bereitgestellt. Wenn es gelingt, die Kosten zu senken, dann kann sich der Ausbau vieler, sich über das ganze Land erstreckender Linien noch schneller vollziehen. Dies ist bei den Atmosphärischen Eisenbahnen der Fall, wobei sich bereits bestehende Anlagen nach dem Lokomotivsystem umrüsten lassen. Der Allgemeinheit kämen dann die Segnungen des Eisenbahnsystems eher zugute, wie etwa: Jede Kleinstadt könne mit der Bahn wegen der geringen Kosten an die grossen Linien angebunden werden, die Versorgung der Städte mit Frischwaren vom Lande wäre jederzeit gewährleistet und auch für den ärmsten Reisenden wäre nunmehr ein Fussmarsch eine Seltenheit.

Auswahlbibliographie:

(DPJ = Dingers Polytechnisches Journal)
 Noch ein Beitrag zur Geschichte der pneumatischen Eisenbahn, in: DPJ 57 (1835), S. 313 (Aus *Mechanic's Magazine* No. 619).

Notizen über die pneumatische oder Atmosphärische Eisenbahn der HHrn. Clegg und Samuda, in: DPJ 77 (1840), S. 264–267, Taf. (Aus *Civil Engineers and Architects Journal*, Juli 1840).

Beschreibung der Atmosphärischen Eisenbahn der HHrn. Clegg und Samuda, in: DPJ 77 (1840), S. 411–416 (Aus *Civil Engineers and Architects Journal*, Juli 1840).

Über Cleggs Atmosphärische Eisenbahn, in: DPJ 78 (1840), S. 321–332.

Atmospheric Railway Company. Prospectus, London 1840.

Die Atmosphärische Eisenbahn von Kingstown nach Dalkey, in: *Illustrierte Zeitung*, No. 41 vom 6. April 1844 (Reprint in: Krätz, Otto Paul und Gieseler, Gerd (Hg.): *Die Entwicklung der Eisenbahn im Spiegel der Leipziger Illustrierten Zeitung 1843–1870*, Weinheim 1985, S. 177–183).

Vergleichung der Eisenbahnen mit Locomotiven gegen diejenigen nach dem Atmosphärischen Prinzip, in: *Der Ingenieur* 1 (1848), Sp. 123–125.

Anglo-Scot: An Irish Atmospheric Railway, in: *The Railway Magazine* 21 (1907), July–Dec., S. 134–137.

Becker, Friedrich (Bearb.): *Die Atmosphärische Eisenbahn*. Nach den Berichten von Smith, Mallet, Samuda, Pim etc. und englischen Quellen, Frankfurt a. M. 1844.

Beil, Johann Adam (Bearb.): *Stand und Ergebnisse der Deutschen, Amerikanischen, Englischen, Französischen, Belgischen, Holländischen, Italienischen und Russischen Eisenbahnen am Schlusse des Jahres 1843*, Frankfurt a. M. 1844.

Clegg, Samuel: K. K. priv. Patent-Luffteisenbahn, o. O. um 1840 (aus dem Engl.)

Clegg and Samuda's Atmospheric Railway, London 1840.

Crelle, August Leopold: Einiges von noch zu wünschenden, und, wie es scheint, möglichen Vervollkommnungen des Eisenbahnwesens, Berlin 1842 (Abdruck aus *Journal für die Baukunst*, Bd. 17).

Crelle, August Leopold: Über die sogenannten Atmosphärischen Eisenbahnen; so wie über verschiedene andere Arten, die Spannkraft der Atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen. Berlin 1846 (Auf Franz. *Mémoire sur les différentes manières de se servir de l'élasticité de l'air Atmosphérique comme force motrice sur les chemins de fer*, Berlin 1846).

Deschwanden, J. W. v.: *Bewegung der Wagenzüge auf Atmosphärischen Eisenbahnen nach den Grundsätzen der Mechanik*, Zürich 1846.

Dubern, H. A.: De l'application de l'air atmosphérique aux chemins de fer. Résumé des opinions des ingénieurs français et anglais sur les chemins de fer atmosphériques, Paris 1846.

Hadfield, Charles: Atmospheric Railways. A Victorian Venture in Silent Speed, Newton Abbot 1967 (= Mechanical Migt-have-beens No. 1).

Hankel, W. G. (Hg.): Franz Arago's sämtliche Werke. Mit einer Einleitung von Humboldt. Deutsche Original-Ausgabe, 5. Bd, Leipzig 1856.

Henschel, Carl Anton: Neue Construction der Eisen-Bahnen, und Anwendung comprimierter Luft zur Bewegung der Fuhrwerke, Kassel 1833.

Herapath, J.: Die Luftseisenbahn und ihre praktische Unzulänglichkeit. Ein unparteiisches Urtheil worin eine gründliche Analyse der von den Herren Samuda und Pim angestellten Versuche enthalten ist, als kritische Beleuchtung des von Herrn Mallet im Auftrage der französischen Regierung erstatteten Berichtes, Wien 1844 (deutsche Übersetzung).

Heusinger von Waldegg, Edmund (Hg.): Handbuch für specielle Eisenbahn-Technik. 1. Bd. Der Eisenbahnbau, Leipzig 1870.

Jones, Williams: A popular sketch of the various proposed systems of atmospheric railway, London 1845.

Mallet: Auszug aus dem Bericht des Hrn. Ingenieurs Mallet an den französischen Minister der Staatsbauten: Über die Atmosphärische Eisenbahn zwischen Kingstown und Dalkey, in: DPJ 91 (1844), S. 103–107 (aus Echo du monde savant, Dez. 1843, Nr. 47).

Ritchie, Robert: Railways; Their Rise, Progress, and Construction: with Remarks on Railway Accidents, and Proposals for their Prevention, London 1846.

Samuda, Joseph: A treatise on the adaptation of atmospheric pressure to the purposes of locomotion on railways, London 1841.

Schwaighofer, H.: Beitrag zur Darstellung der Geschichte der Rohrposttechnik, in: Zeitschrift für Fernmeldetechnik, Werk- und Gerätebau 22 (1941). H. 6 v. 16. 6. 1941, S. 81–88, H. 7 v. 16. 7. 1941, S. 97–102.

Seguier: Über die Möglichkeit, die Vortheile der Atmosphärischen Eisenbahnen großentheils auf den gewöhnlichen Eisenbahnen zu erzielen, in: DPJ 91 (1844), S. 107–109 (aus den Comptes rendus, 1843, 2^{tes} Semester, No. 25).

Shearman, D. T.: Some Atmospheric Railways, in: The Railway Magazine 24 (1909), Jan.–June, S. 377–508.

Shuttleworth, J. G.: The hydraulic railway; being a carefully digested, but plain statement of the advantages to be derived, and impediments removed, in establishing hydraulic propulsion, on railways, London 1842.

Kostenvorteile der Atmosphärischen Eisenbahn?

Werbeprospekte mit Versprechungen in dieser Form regen sicher die Umsetzung technischer Entwicklungen an, d. h. hier konkret: Aktionäre sind bereit, den Erfindern Geld zur Verfügung zu stellen. Wahrscheinlich Mitte 1840 wurde ein Aufruf zur Gründung einer Aktiengesellschaft mit 8000 Anteilen und einem Kapital von 400 000 Pfund verbreitet. Als «Engineers» sind Clegg und Jacob Samuda angeführt, von denen sicher auch die Berechnungen stammen. Die Zahlenangaben für das Lokomotivsystem sind aus dem Durchschnitt von fünf existierenden Linien gebildet bzw. Werte der Liverpool & Manchester Railway; beim Atmosphärischen System werden zum einen die Ausgaben für den Bau von «turnpike roads», mautpflichtigen Strassen, zum andern Erfahrungswerte für stationäre Dampfmaschinen zur Berechnung herangezogen. Vorweggenommen sei hier gleich, dass die Werte für später gebaute Bahnen doppelt und noch höher lagen.

In welcher Grössenordnung bewegten sich die Kosten (Bild 6)?

Anlagekosten pro Meile einschliesslich einer Lokomotive bzw. eines Leitwagens

Lokomotivsystem:	37 600 £ (für die Lokomotive 1 600 £)
Atmosph. System:	15 120 £ (für Leitwagen und Röhre 5200 £)
Ersparnis pro Meile:	22 480 £

Jährliche Betriebskosten (5%-Verzinsung des Anlagekapitals)

beim Lokomotivsystem*	4130 £	* bei einem Aufkommen von 2000 (engl.) Tonnen pro Tag
beim Atmosph. System**	1626 £	** bei einem Aufkommen von 5000 (engl.) Tonnen pro Tag
Ersparnis pro Meile	2504 £	Ausgaben für die Kohlen sind nicht klar ersichtlich!

Gesamtausgaben pro Tonne und Meile (ohne Frachtgelder und Verwaltung)

beim Lokomotivsystem	1,54 Pence
beim Atmosph. System	0,6 Pence

Das Verhältnis der Gesamtausgaben pro Tonne und Meile lag somit rechnerisch bei 5:2. Ein erstaunliches Ergebnis, doch nachprüfbar waren bestenfalls die Angaben für das Lokomotivsystem. Ein Blick auf die Löhne sei noch gestattet. Beim Atmosphärischen System würden auf die Bezahlung des Bedienungspersonals für die stationären Dampfmaschinen und für das Zugpersonal 86 £, d. h. 5% der jährlichen Betriebskosten entfallen.

Papier ist geduldig. Aussagekräftiger, was die Betriebsprobleme anbelangt, erweisen sich jedoch eine Versuchsstrecke oder gar eine für die Öffentlichkeit zugelassene, über längere Zeit betriebene Linie.

Die erste Atmosphärische Eisenbahnlinie

Clegg führte erste Versuche wahrscheinlich 1838 in Frankreich zusammen mit einem französischen Erfinder durch. 1839 folgte eine Modellanlage mit einer Länge von etwa 60 Metern und einem Röhrendurchmesser von nicht ganz 10 cm auf dem Gelände von Samudas Eisenwerk. Schliesslich entstand Mitte 1840 eine grössere Anlage bei London, eine halbe Meile lang, mit einem Röhrendurchmesser von 9 Zoll, also rund 22 cm, die in der Lage war, 1 1/2 Tonnen oder 75 Passagiere zu bewegen.

Die grösste Geschwindigkeit betrug am Anfang 36 Meilen oder 58 km in der Stunde. Diese nur kurzfristig gefahrene Geschwindigkeit verglichen die Anhänger gerne mit den Durchschnittsgeschwindigkeiten von 20 Meilen pro Stunde auf Lokomotivbahnen. Unter den Zuschauern befand sich der Schatzmeister der Dublin & Kingstown Railway, der ersten Eisenbahnlinie in Irland. Sie führte auf einer Länge von 5 1/2 englischen Meilen von Dublin Richtung Süden bis zur Hafenstadt Kingstown, dem heutigen Dun Laoghaire. Geplant war eine Fortsetzung von mehr als 2700 Metern nach Dalkey zu den Granitsteinbrüchen mit einer für

damalige Verhältnisse enormen Steigung, stellenweise von 1 : 104 bis sogar 1 : 57. In Deutschland galt eine Steigung von 1 : 120 schon als eher schwierig. Eine Regierungskommission begutachtete wegen der Bewilligung einer Anleihe das Projekt und fand es geeignet, obwohl sie Zweifel an der Funktionsfähigkeit der Klappen äusserte.

Man entschied sich für den Bau einer Atmosphärischen Eisenbahn. Am 17. August 1843 wurde die Röhre zum ersten Male evakuiert, einen Tag später fuhr der Zug, und am 29. März 1844 nahm die Bahn ihren Betrieb für die Öffentlichkeit auf. Im September 1843 wurden kurzzeitig versuchsweise 60 Meilen in der Stunde erreicht, später sollen es sogar 80 (!) gewesen sein. Bis 1854 war die Strecke in Betrieb (Bild 7).

Diese Linie gab in der Folgezeit Anlass zu heftig geführten Auseinandersetzungen um Vor- und Nachteile der Atmosphärischen Eisenbahnen. Die Strecke wies nämlich eine Besonderheit auf, so dass sich das Betriebsergebnis nicht verallgemeinern liess: Auf ein kurzes Gefälle bei Kingstown und auf einen Tunnel folgte eine 1¼ Meilen lange Steigung, und nur auf diesem Teil war eine 2175 m lange Röhre verlegt. Der Innendurchmesser der 3 m langen Rohrstücke betrug 15 Zoll (38 cm) bei einer Wandung von 1,7 cm. Im normalen Betrieb dauerte die Hinfahrt 4½ Minuten, die Rückfahrt ohne Antrieb, nur unter Ausnutzung der Schwere, 6 Minuten.

Liest man Berichte von Augenzeugen über die bis 1843 bestehende Versuchsbahn, so ist man erstaunt über die unterschiedlichen Urteile. Ein deutscher Besucher äusserte sich 1840 in Dinglers Polytechnischem Journal zur kurz vorher besichtigten Versuchsbahn in England: «Ehe ich die Bahn gesehen, zweifelte ich, nachdem ich sie gesehen, verzweifelte ich.» Einen eingeladenen Reporter der Railway Times konnte Clegg dagegen vollkommen von der Leistungsfähigkeit der Bahn überzeugen, andere Blätter bezogen eine Gegenposition. Unter dem Eindruck der Dubliner Bahn antwortete der französische Physiker und Deputierte unter der Juli-Monarchie, Arago, im Jahre 1844, als er gefragt wurde, wo er für die Anwendung der Atmosphärischen Eisenbahn Grenzen sieht: «Meine Antwort ist kurz: es gibt keine Grenzen. Wenn Sie Lust haben, können Sie gerades Wegs zu den Türmen von Notre-Dame hinauffahren.» Doch einschränkend fügte er sogleich hinzu: «Sie können wenigstens auf den Rücken aller Gebirge gelangen, wo man gewöhnliche Strassen entworfen hat.»

Atmosphärische Eisenbahnen in Deutschland

In Deutschland setzte die Diskussion zur Atmosphärischen Eisenbahn erst im Jahr 1844 ein, wobei sich die meisten Autoren entweder auf französische Berichtersteller beriefen oder englische Artikel und Arbeiten übersetzten. U. a. erschien in der «Illustrierten Zeitung» vom April 1844 ein fundierter Artikel, der, wie so viele andere auch, dem Leser in aller Ausführlichkeit das System und die Strecke in Irland vorstellte. Ein neuer Aspekt tauchte am Schluss auf: Die Verwendung der neuen Bahn zur Anbindung von Fabriken und Bergwerken, wo stehende Dampfmaschinen sowieso vorhanden sind. In Dinglers Polytechnischem Journal wurden die Arbeiten der Franzosen Mallet, Divisionsinspekteur der Brücken und Chausseen, Teisserenc und Segurier zitiert. Der zweite schloss sich dem positiven Urteil des von der französischen Regierung als Gutachter beauftragten Mallet an, während der dritte, und das Verhalten trifft für viele andere Berichte zu, ein völlig anderes, unrealistisches System vorschlug.

Die Berichte wurden übersetzt, je nach Einstellung kommentiert oder kritiklos übernommen (Bild 8). So etwa die Zusammenstellung eines gewissen Friedrich Becker, der am Schluss verkündete, dass alle Zweifel und Argumente der Gegner entkräftet sind. Er sah das Lokomotivsystem als in Kürze überholt an und verkündete eine neue Ära auf dem Gebiete der Transportmittel. An Übersetzungen erschienen weiter ein Werk von

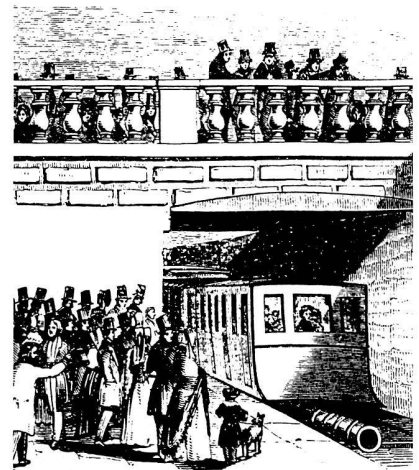


Bild 7: Abfahrt von der Station in Kingstown (Leipziger Illustrierte Zeitung, No. 41 vom 6. 4. 1844).

Steinle, Nepomuck: Technisches Handbuch des Eisenbahnwesens. Eine kritische Zusammenstellung der meisten bis jetzt bekannt gewordenen Erfahrungen im Eisenbahnwesen mit besonderer Rücksicht auf Steigungen, Krümmungen und die zur Vermeidung von beiden zulässigen Baukapitale, Nördlingen 1849.

Stephenson, Robert: Die Atmosphärische Eisenbahn, aus dem Englischen von Ch. M. v. Weber, Berlin 1845.

Sternberg, H. (Bearbt.): Aussergewöhnliche Eisenbahnsysteme. Atmosphärische und pneumatische Bahnen, Seilebenen, Agudio's System, in: Heusinger von Waldegg, Edmund (Hg.): Handbuch für spezielle Eisenbahn-Technik, 1. Bd. Der Eisenbahnbau, Leipzig 1870, XVII. Kapitel, S. 658 ff., Atmosphärische Eisenbahnen, S. 665–698 u. Tafeln.

Teisserenc: Beschreibung der sogenannten Atmosphärischen Eisenbahn, in: DPJ 91 (1844), S. 95–103 und Tafel II (Aus Bulletin de la Société d'Encouragement, Nov. 1843, S. 520 ff.).

Weigelt, Horst: Epochen der Eisenbahngeschichte. Eine faktenreiche, übersichtliche Darstellung mit 190 Abbildungen, Darmstadt 1985.

Zentrales Staatsarchiv, Dienststelle Merseburg, Akten der Technischen Deputation für Gewerbe, TD Akten E Nr. 113c Atmosphärische Eisenbahnen, 1839–1864

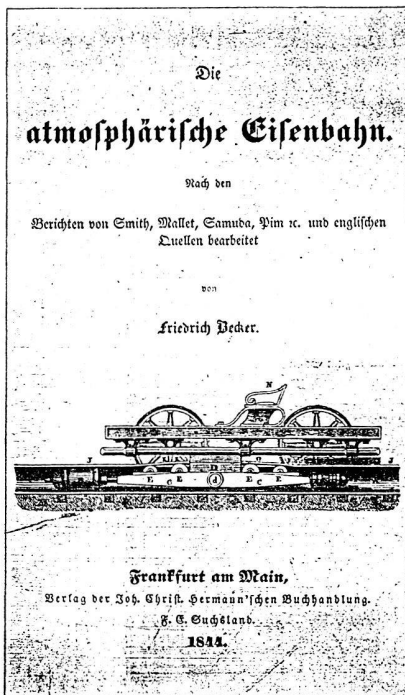


Bild 8: Titelblatt der Schrift von Becker (Becker 1844).

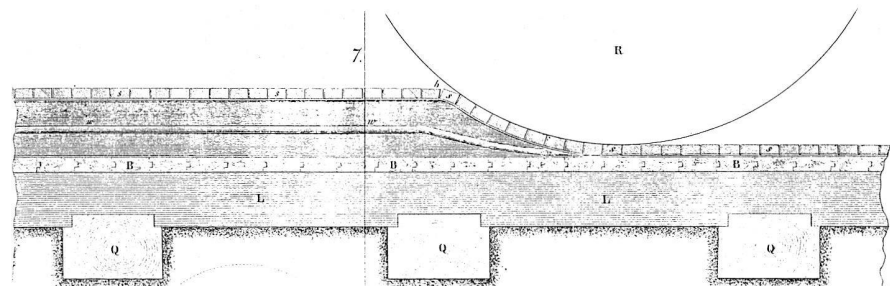
John Herapath mit dem Titel «Die Luftpfeisenbahn und ihre praktische Unzulänglichkeit» und ein Jahr später, 1845, von Robert Stephenson «Die Atmosphärische Eisenbahn». Herapath, Herausgeber eines Eisenbahnjournals, hatte sich zum erbitterten Gegner von Clegg und Samuda entwickelt. Die Schrift des Lokomotivfabrikanten Stephenson übersetzte Christian Philipp Max Maria von Weber (1822–1881), der Sohn des Komponisten und zu der Zeit Maschineningenieur der Chemnitz-Riesa'er Eisenbahn. Damit hoffte er, der mehrere Wochen lang selbst die irische Strecke studiert hatte, «die Zauberbilder zu zerstören, welche die Phantasie Müssiger und die Zunge gern viel erzählender Reisender von den Wundern der neuen Erfindung geschaffen hatten». Weber führte weiter im Vorwort aus: «So schwebten über dem Haupte manches mitteldeutschen Actionnairs, unsichtbare drohende Wolken. Dank sei aber diesmal dem Hange zum lieben Alten (und der Praxis) in jenen Provinzen Mitteldeutschlands, dass durch ihn das Gewitter verschoben, und so der bessern Einsicht Zeit gelassen wurde Platz zu greifen.»

Eine Arbeit muss noch erwähnt werden, die nach einem Abdruck im «Journal für Baukunst» zwar erst 1846 als Monographie auf Deutsch und Französisch erschien, aber auf dem Wissensstande von Ende 1844 beruhte: August Leopold Crelle (1780–1855): «Über die sogenannten Atmosphärischen Eisenbahnen; so wie über verschiedene andere Arten, die Spannkraft der atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen». Unter Crelles Mitwirkung waren die meisten Kunststrassen in Preussen entstanden, und nach seinen Entwürfen wurde die 1838 eröffnete Berlin–Potsdamer Eisenbahn gebaut, deren Ergebnisse den Bezugspunkt für den Vergleich in seiner Untersuchung bildet.

Crelle referierte kritisch die verschiedenen Ansichten und kam zu dem Schluss, dass die bisher gewonnenen Ergebnisse für eine endgültige Entscheidung nicht ausreichen. Einen neuen, für ein Land wie Deutschland ohne grosse Dampfmaschinenfertigung aber wichtigen Aspekt brachte Crelle in die Diskussion mit dem Hinweis, dass Luftpumpen auch mit Wasserkraft angetrieben werden können. Luft in Form von Überdruck erschien ihm vorteilhafter als Dampf, was die Anwendung, nicht aber was die Kosten anbelangte. Je nach Ausnutzung der «Spannkraft» der Luft unterschied er fünf Arten von luftgetriebenen Eisenbahnen:

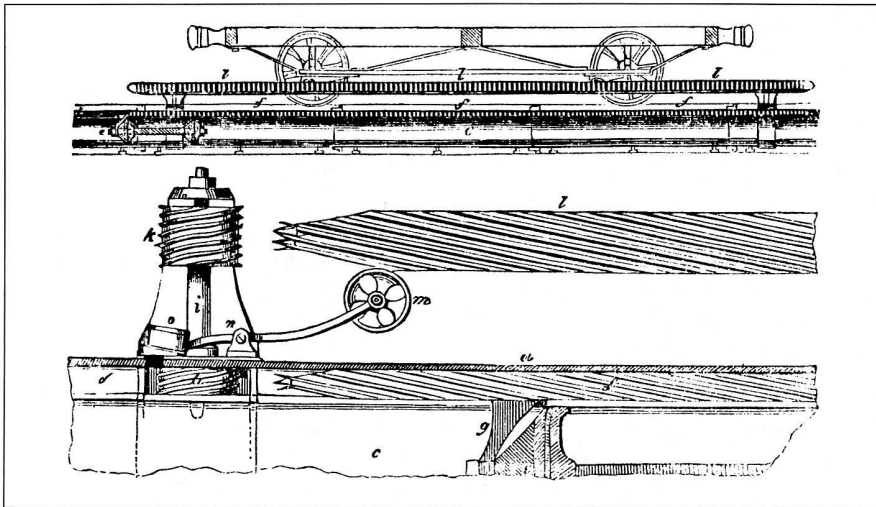
1. Atmosphärische Eisenbahn: Unterdruck in der Röhre, die atmosphärische Luft drückt auf den Kolben, ein Klappenmechanismus ermöglicht die Verbindung von Kolben und Wagen.
2. Überdruck treibt den Kolben, ansonsten wie 1.
3. Überdruck in einer sich aufblähenden Röhre (!) (Bild 9).
4. Überdruck in einer Röhre, der Leitwagen entnimmt der Röhre die komprimierte Luft und lässt sie an Stelle des Dampfes wirken (Luftwagen).
5. Überdruck, wobei die komprimierte Luft in Behältern auf dem Luftwagen mitgeführt wird.

Bild 9: Vorschlag von Crelle: Durch den Überdruck wird ein Schlauch aufgebläht, der direkt auf die Räder wirkt (Crelle 1846, Taf. III).



Im Vergleich der fünf verschiedenen Eisenbahnsysteme gelangte Crelle zu dem Ergebnis, dass das Dampflokomotivsystem zwar kostengünstiger als die Atmosphärische Eisenbahn abschneidet, aber von einem System mit Druckluftwagen noch übertroffen wird. Für ihn ist das Luftwagensystem mit komprimierter Luft, das schon vor ihm von Joseph von Baader und Carl Anton Henschel propagiert wurde, das einzig zukunftsweisende Eisenbahnsystem.

Die Vielzahl der Vorschläge schlägt sich auch in Patentgesuchen nieder. So finden sich etwa in den Akten der Technischen Deputation für Gewerbe in Berlin eine Reihe von zum Teil abstrusen Anträgen auf Patenterteilung für Preussen. Zumeist konnten die Gutachter nachweisen, dass die zu patentierenden Verbesserungen bereits in den englischen Zeitschriften veröffentlicht oder schlichtweg undurchführbar waren. Es nützte dem Direktor des Brüsseler Gewerbemuseums auch nichts, seine Atmosphärische Eisenbahn mit dem Zusatz «preussisch» zu versehen, weil er den Einfall während seines Aufenthaltes in Berlin zur Zeit der Gewerbeausstellung 1844 hatte. Die Gutachter entschieden abschlägig: «das Wort «prussien» könne füglich fortbleiben, weil die ganze Erfindung nicht allein unpraktisch, sondern, wie leicht nachzuweisen, auch unzweckmässig und keineswegs geeignet ist, das Geringste zur Verherrlichung des preussischen Namens beizutragen.» Wenig Glück hatte



Ausgeführte Linien für Atmosphärischen Eisenbahnbetrieb

Dublin & Kingstown Railway
Kingstown–Dalkey
(heute Dun Laoghaire)
29. 3. 1844 bis 12. 4. 1854
einspurig, 1¼ Meilen
Ing. Charles Vignole

London & Croydon Railway
Dartmouth Arras–Croydon
19. 1. 1846 bis 3. 5. 1847
einspurig, 5 (+ 2½) Meilen
Ing. William Cubitt

South Devon Company
Exeter St. Davis–Teignmouth
13. 9. 1847 bis 5. 9. 1848
einspurig, 15 (+ 5) Meilen
Ing. I. K. Brunel

Compagnie du Chemin de Fer de Paris à Saint-Germain
Bois de Vésinet–Saint-Germain
24. 4. 1847 bis 2. 7. 1860
Ing. Eugène Flachet

Bild 10: Jones beschreibt 1845 ein System mit Zahnstangen anstelle von Klappen (Jones 1845).

ebenfalls ein Berliner Kaufmann, der anstelle des Kolbens in der Röhre eine Zahnstange einsetzte. Bewegt sich die Zahnstange, so greift sie in Zahnräder links und rechts innerhalb der Röhre ein. Darüber, ausserhalb der Röhre, aber auf derselben Welle, befinden sich weitere zwei Zahnräder, die mit einer Zahnstange am Wagen verbunden sind. Das vernichtende Urteil der Gutachter blieb nicht aus: «... so bedarf es wahrlich keines praktischen Blickes, um mit Bestimmtheit vorauszusehen, dass, ... die Räder und Zahnstangen in Stücken auseinander fliegen und der Kolben ohne Wagen bei der nächsten Station ankommen wird» (Bild 10).

Trotz dieser Unsicherheiten und den unterschiedlichen Ansichten der Experten plante man viele Linien in England und Frankreich, von denen neben der irischen nur weitere drei ausgeführt wurden: 1846 eine fünf Meilen lange Strecke von der London & Croydon Railway (Bild 11), bis 1847 in Betrieb; 1847 eine 15 Meilen lange Linie der South Devon Company, bis 1848 in Betrieb; eine 1½ Meilen lange, staatlich subventionierte Linie bei Saint-Germain, die von 1847 bis 1860 bestand. Alle Linien waren keine Fernstrecken, sondern hatten eher den Charakter einer Anschlussbahn.

Bei diesen Linien wurden die technischen Mängel des Systems deutlich, die sich in den die Zahlen der Werbeschriften weit übertreffenden Anlage- und Betriebskosten niederschlugen. Die Lederabdichtung musste trotz des grossen Spiels und der starken Einfettung des Rohres bei etwa 20 bis 30 Kilometern erneuert werden. Die Abdichtung der Längsklappen war unvollständig, die Abdichtmasse hielt den Temperaturschwankungen nicht stand, das Leder der Klappen wurde brüchig. Erdverschiebungen veränderten die Mittellage der Röhre, deren Einzelstücke sich bei einem Bruch nur schlecht auswechseln liessen. All dies führte häufiger zu Unterbrechungen und damit zu einem unsicheren und unregelmässigen Ver-

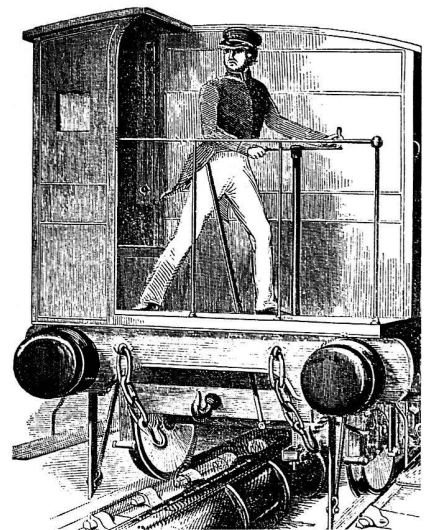


Bild 11: Fahrer beim Bremsvorgang auf einem Leitwagen der Croydon-Linie. Links hinter ihm befindet sich die Anzeige für das Vakuum in der Röhre (Hadfield 1967, Taf. VI, vor S. 49).

kehr. Alle Kessel der stationären Dampfmaschinen mussten während der Betriebszeit unter Dampf stehen, unabhängig vom Verkehrsaufkommen. Ein vereinfachtes Gedankenbeispiel nur: Für die Linie London–York wären 100 stehende Dampfmaschinen mit 200 Mann Bedienungspersonal erforderlich, wohingegen für dasselbe Verkehrsaufkommen 10 Lokomotiven mit je 2 Mann Besatzung ausreichten. Hier änderte auch der Vorschlag von Arago nichts, die stationären Dampfmaschinen zwischenzeitlich zum Getreidemahlen oder Wasserpumpen einzusetzen. Während ein Lokomotivführer eigenverantwortlich Abfahrt und Geschwindigkeit bestimmt, mussten sich der Wagenführer und der Maschinist bei der Atmosphärischen Eisenbahn aufeinander abstimmen, was ein elektrischer Telegraph erleichtern konnte. Das Argument der Schnelligkeit verlor an Wirkung, weil die Dampflokomotiven ihre Geschwindigkeiten ebenfalls steigerten.

Schlussbetrachtungen

In Deutschland, das kapitalmässig bei weitem nicht so gut wie England ausgestattet war, wurden die ausländischen Entwicklungen aufmerksam verfolgt. Denn das deutsche Eisenbahnnetz dehnte sich von 550 km im Jahre 1840 über 2300 km im Jahre 1845 rasch bis 6000 km zur Jahrhunderthälfte aus. Doch die Berichte über die Atmosphärische Eisenbahn fielen so widersprüchlich und letzten Endes so negativ aus, dass in Deutschland niemand ernsthaft ihren Bau erwog und niemand bereit war, Geld zu investieren. Man griff auf Bewährtes zurück und baute bei geneigten Ebenen lieber Seilzüge oder spannte ganz einfach eine zweite Lokomotive vor.

Die Auswirkungen des Eisenbahnsystems auf die allgemeine wirtschaftliche Entwicklung wären bei einem Sieg der Atmosphärischen Eisenbahn zunächst die gleichen geblieben, jedenfalls bis die Vernetzung der Eisenbahnlinien einen höheren Grad erreicht hätte. Anders hätte es für den Bau leistungsfähiger Dampfmaschinen ausgesehen. Die Entwicklung platzsparender Dampfmaschinen mit Hochdruckdampf und sicheren Kesseln, die für gewerbliche Zwecke unerlässlich sind, wäre sicher langsamer vonstatten gegangen.

Viel wichtiger jedoch ist die Betrachtung konkurrierender Systeme für die Technikgeschichtsschreibung. Nicht alles, was technisch machbar ist, wird realisiert. Nicht alles, was vereinzelt gebaut wird, setzt sich durch. Die Gründe liegen nur zum Teil in der Technik, in erster Linie in der wirtschaftlichen Sphäre. Die Entscheidung für eine Technik hängt von zeitlich und örtlich bedingten Randbedingungen ab, so dass in gewissen Nischen Techniken überleben oder später wieder aufleben können. Vor kurzem konnte man in der Zeitung lesen, dass in der Schweiz Pläne zur Alpendurchquerung auf der Grundlage ähnlich der einer pneumatischen Bahn diskutiert werden.

Die Gründe für die Durchsetzung und Ausbreitung einer Technik lassen sich leichter aufdecken, wenn Techniken konkurrieren und in den zeitgenössischen Auseinandersetzungen die Gründe für die eine oder andere Technik offengelegt werden. Ist allerdings eine Technik so übermächtig, dass sie andere im Keime erstickt, so wird leicht die sich durchsetzende Technik als die allein mögliche angesehen. Hinzu kommt, dass erfolgreiche Systeme ihre Dynamik durch Beeinflussung und Veränderung der Umgebung zu ihren Gunsten verstärken. Der «Erfolg» einer sich durchsetzenden Technik kann aber erst dann richtig geschätzt werden, wenn man die Konkurrenz in die Betrachtung einbezieht.