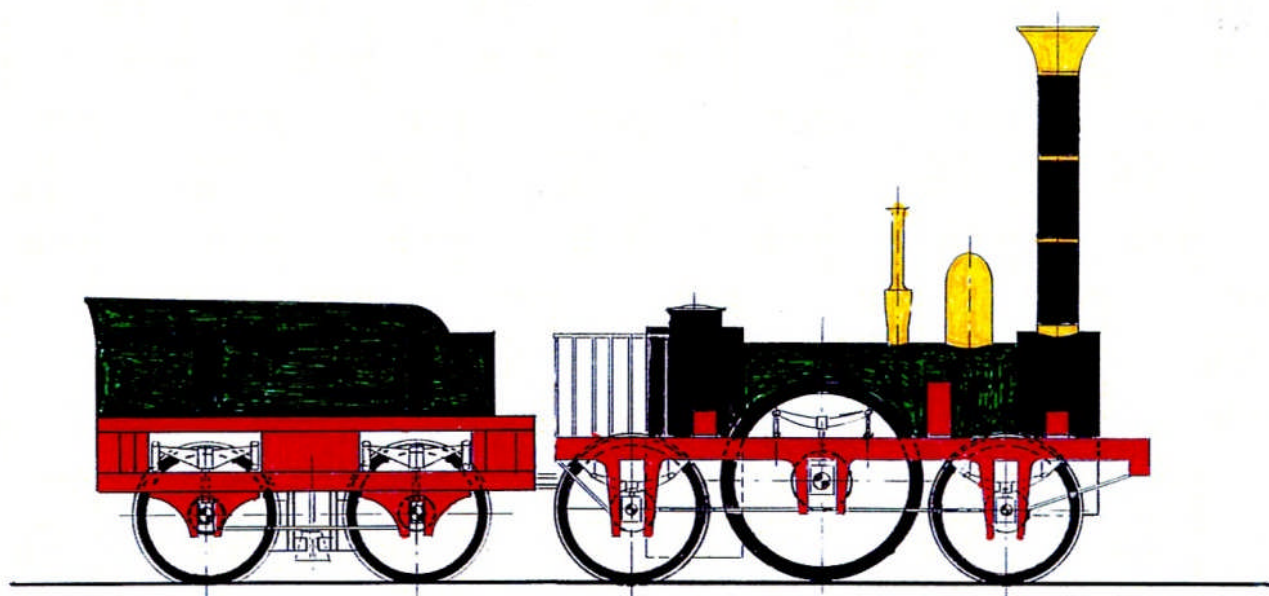


Zur Rahmen- und Triebwerkskonstruktion der ersten Dampflokomotiven

Ein Beitrag zur Technikgeschichte



Jan Hartmann
2012

Version 8.2.2012

1-0 VORWORT	3
2-0 DIE LOKOMOTIVEN	4
2-1 DIE LOKOMOTIVE VON TREVITHICK Abb. 2.1.1	5
2-2 DIE LOKOMOTIVE VON BLENKINSOP Abb. 2.2.1	7
2-3 DIE LOKOMOTIVE VON HEDLEY Abb. 2.3.1	8
2-4 DIE LOKOMOTIVE VON STEPHENSON UND DODD Abb. 2.4.1	9
2-5 DIE LOKOMOTIVE „LOCOMOTION“ Abb. 2.5.1	10
2-6 DIE LOKOMOTIVE „ROCKET“ Abb. 2.6.1	11
2-7 DIE LOKOMOTIVE „SANS PAREIL“ Abb. 2.7.1	12
2-8 DIE LOKOMOTIVE „NOVELTY“ Abb. 2.8.1	13
2-9 DIE LOKOMOTIVE „MARC SEGUIN“ Abb. 2.9.1	14
2-10 DIE LOKOMOTIVE „PLANET“ Abb. 2.10.1	15
2-11 DIE LOKOMOTIVE VON FORRESTER Abb. 2.11.1	20
2-12 DIE LOKOMOTIVE „ADLER“ (TYP „PATENTEE“) Abb. 2.12.1	20
2-13 DIE LOKOMOTIVE „LA SEINE“ Abb. 2.13.1	21
2-14 DIE LOKOMOTIVE „SAXONIA“ Abb. 2.14.1	22
2-15 DIE LOKOMOTIVE „ODIN“ Abb. 2.15.1	23
3-0 DER ENTWICKLUNGSGANG	24
3-1 VON 1800 BIS 1830	24
3-2 AB 1830	26
4-0 ANHANG	29
4-1 SCHRIFTTUMSVERZEICHNIS	29
4-2 BEMERKUNGEN ZU DEM HAUPT-WERKSTOFF DER LOKOMOTIVEN	30
4-3 DIE SYSTEMATIK DER BAUART-BEZEICHNUNG	30

1-0 Vorwort

Wenn man eine genauere, technische Beschreibung einer Dampflokomotive geben will, so empfiehlt es sich meist, folgende Baugruppen einzeln und in ihrem Zusammenhang zu besprechen : Kessel, Dampfmaschine, Rahmen mit Laufwerk, Triebwerk. Sie zu gewichten, hat keinen Sinn, doch ist sicher, daß erst die beiden letztgenannten aus einem Kessel-Maschine-Aggregat eine Lokomotive machen. Ihre Bedeutung für das technische Gebilde „Dampflokomotive“ ist also groß. Deshalb überrascht uns die etwas stiefmütterliche Behandlung dieser Baugruppen in dem Schrifttum über die erste Zeit des Lokomotivbaues. Das eigentliche Ziel dieser Arbeit ist es, diese Lücke mit einer betont technisch orientierten Arbeit zu verkleinern. Dabei werden wir ein besonderes Augenmerk auf die wichtige Entwicklungs-Episode legen, die wir die „Stephensonsche Antrieb-Anordnung“ oder „Stephensons arrangement of drive“, kurz : „SA“, nennen wollen, die an keiner einzigen Stelle des eingesehenen Schrifttums angemessen berücksichtigt wird. Hierzu verweisen wir besonders auf den Abschnitt 2-10 .

Das Schwergewicht der Arbeit liegt auf den europäischen – meist britischen – Entwicklungen. Die amerikanischen, sind auch wichtig, sie setzten aber erst ein, nachdem viele Grundlagen in Europa gelegt worden waren.

Der Zielsetzung dieser Reihe „Beiträge zur Technikgeschichte“ folgend, geschieht die ganze Betrachtung aus dem Blickwinkel eines an technischen Einzelheiten besonders interessierten, heutigen Zeitgenossen, der aber nicht unbedingt Ingenieur sein muß.

Die Betrachtung wird den wichtigsten Ausführungen der genannten Baugruppen in der ersten Zeit der Lokomotiventwicklung nachgehen, und zwar etwa von 1800 bis Mitte der 1840er Jahre. Im Schrifttum sind sie meist nur am Rande dokumentiert, und kritische Bewertungen, wie wir sie wünschen, sind überaus selten zu finden. Deshalb werden wir darauf den Schwerpunkt legen, und hoffen dabei den Eindruck – der uns unangenehm wäre – zu vermeiden, wir mäkelten vor allem an den Konstruktionen herum. Das Gegenteil ist richtig, es ist unser Ziel, eine Vorstellung davon zu vermitteln, wie schwierig derartige Entwicklungsarbeiten waren, die fast ohne Vorbild auskommen mußten – wobei es auch klar werden sollte, wie befriedigend sie andererseits für die betreffenden Menschen sein können. Die meisten heutigen Leser werden am Ende ihres Berufslebens von solchen Aufgaben nur geträumt haben können.

Wir werden in Abschn. 2 mit einer kurzen, technischen Beschreibung von fünfzehn Lokomotiven aus dem oben angegebenen Zeitraum beginnen, um auf ihrer Grundlage in Abschn. 3 eine geraffte, systematische Darstellung des Entwicklungsganges zu geben. Wer an den technischen Einzelheiten weniger interessiert ist, kann auch mit Abschn. 3 beginnen. Abschn. 4 ist ein Anhang mit Schrifttumsverzeichnis und Bemerkungen zu dem Werkstoff Stahl. und der Systematik der Bauart-Bezeichnungen.

Die Auswahl der besprochenen Maschinen richtete sich nach dem Vorhandensein guter und einigermaßen gut zugänglicher Quellen. Als „gut“ in diesem Sinn bezeichnen wir eine Quelle, die wenigstens einige konkrete, technische Angaben zu unserem Thema, auch technische Zeichnungen, enthält. Halbwegs vollständige Sätze von Originalzeichnungen gibt es von keiner dieser Maschinen mehr. Es sind aber im Laufe der Jahrzehnte von einer Anzahl von ausgewählten Lokomotiven Nachbauten erstellt worden. Die Unterlagen dafür wurden durch eingehendes Studium zeitgenössischer Veröffentlichungen geschaffen. Von Bailey / Glithero (2000) für „Rocket“, Klensch (1935) für „Adler“, Schnabel (1988) für „Saxonia“ und Bailey / Glithero (2004) für „Odin“, sind diese Vorarbeiten recht eingehend beschrieben worden. Man sieht daraus, daß die Nachbauten selbst, bzw. die dabei erlangten Kenntnisse über die betr. Maschinen, Rekonstruktionen nach unterschiedlichen Quellen sind. Dagegen ist nichts einzuwenden – und auch wir werden sie als Ausgangspunkt unserer Überlegungen nehmen –, solange nicht der Eindruck von bis ins letzte originalgetreuen Wiedergaben

erweckt wird. Dies ist unseres Wissens in der seriösen Berichterstattung auch nicht geschehen, eher schon in der Tagespresse.

Die hier vorliegende Studie ist eine vollständig umgearbeitete und stark erweiterte Fassung einer Veröffentlichung, die im Jahre 2008 vom gleichen Verfasser ebenfalls in dieser Reihe „Beiträge zur Technikgeschichte“ erschienen ist. Sie trug damals den Titel „Über die Rahmen- und Triebwerkskonstruktion alter Dampflokomotiven, insbesondere des ‚Adler‘“, und ist jetzt aus dem Internet zurück gezogen worden.

Wir möchten uns an dieser Stelle herzlich für mancherlei freundliche Hilfen bedanken, die wir bei dem Entstehen dieser Arbeit erfuhren, insbesondere von den Herren Dr. John Glithero und Heinz Schnabel und dem Danmarks Jernbanemuseum durch die Genehmigung zur Übernahme von Zeichnungen aus ihren Veröffentlichungen, ebenso bei den Mitarbeitern von Archiv und Bibliothek des DB-Museums Nürnberg. Wichtig waren uns mehrere Besuche der Ausstellung „Adler, Rocket & Co.“ des DB-Museums Nürnberg während des Jubiläumjahres „175 Jahre Eisenbahn in Deutschland“ 2010.

2-0 Die Lokomotiven

Der Untersuchung liegen die im Inhaltsverzeichnis bei dem Haupt-Abschnitt 2 aufgeführten Lokomotiven zu Grunde. Sie werden folgend mit einer Übersichts- und gggbfs weiteren Skizzen und einer kurzen Besprechung der Einzelheiten vorgestellt, soweit letztere im Rahmen des Themas von

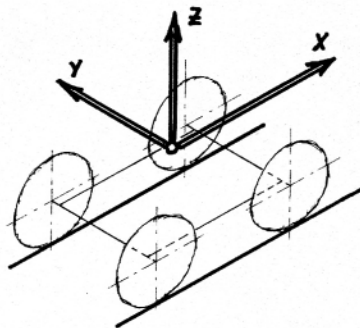


Abb. 2.0.1 Koordinatensystem

Bedeutung sind. Die Übersichtsskizzen sind eigene Umzeichnungen nach den in den Abschnittstiteln genannten Quellen. Die normale Fahrtrichtung ist jeweils nach rechts. Fast alle Lokomotiven haben auch Schlepptender, (die bei Armengaud (1841) übrigens als „Munitionswagen“ bezeichnet werden), über die die Quellen aber kaum Angaben machen, siehe hier nur das Titelbild.

In den Beschreibungen wird gelegentlich auf ein x-, y-, z-Koordinatensystem der einzelnen Lokomotive Bezug genommen. Dies System ist in Abb. 2.0.1 dargestellt, sein Ursprung liegt an sich im Massenschwerpunkt der Lokomotive. Wo im Text etwa steht „in x-Richtung“, ist stets gemeint : „parallel zur x-Richtung“.

2-1 Die Lokomotive von Trevithick

Baujahr 1803 Bauart : B n1 Entwurf Richard Trevithick Erbauer : Werkstatt Kohlengrube Coalbrookdale
Wichtigste Quellen : Warren (1923),

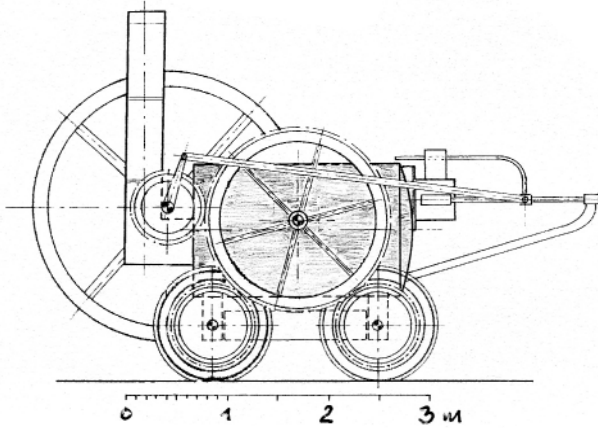


Abb. 2.1.1 Lokomotive von Trevithick 1803

Totpunktlagen beim Anfahren ein Problem dar. Deshalb hat T. ein großes Schwungrad vorgesehen, möglicherweise konnte man auch bei dieser kleinen Maschine durch Drehen dieses Rades von Hand nötigenfalls eine bessere Triebwerksstellung erreichen.

Warren weist auf den allgemein maschinenbaulichen Fortschritt der Verwendung von „Hochdruck“ hin. Damit ist die Tatsache gemeint, daß auf den Kolben etwa der Kesseldruck wirkte und nicht der viel geringere Atmosphärendruck, wie es bei den meisten der bis dahin verwendeten, durchweg stationären Maschinen geschah.

Spätere Ausführungen von Einzylinder-Lokomotiven sind uns nicht bekannt, dagegen gibt es zwei Studien der Gebr.(?) Schöning (1940), Abb. 2.1.2 . Schönings sahen als Anfahrhilfe zunächst eine Vorrichtung ähnlich dem Anlasser eines Kraftwagens vor, rückten aber bald auch davon wieder ab, zugunsten der Anordnung von zwei auf der Mittellinie der Lokomotive hintereinander liegenden Zylindern. Damit war aber ein großer Teil der Vorteile der Einzylinder-Maschine wieder aufgegeben.

Rahmen und Laufwerk – Allgemeines zur Federung

Einen Rahmen besitzt die Lokomotive gar nicht. Die Lager des Zahnradgetriebes und der beiden Antriebsachsen sind unmittelbar am Kessel angeschlossen. Rein kräftemäßig kann dieser das wohl aushalten, jedoch sehen wir die Gefahr voraus, daß die Lagerkräfte zu örtlichem Undichtwerden der Vernietung mit dem Kessel führen. Auf der Zeichnung ist zwar eine Verbindung der Achslager untereinander zu sehen, erkennbar ist deren genauere Wirkung aber nicht. Eine Federung gibt es nicht.

An dieser Stelle sei allgemein auf die Federung der alten Lokomotiven näher eingegangen, da sich die gleichen Fragen in den folgenden Texten mehrfach stellen werden :

- a) Die Federung schwächt die Wirkung von Stößen in z-Richtung, die vom Gleis auf die Lokomotive ausgeübt werden, wesentlich ab.
- b) Die Federung bewirkt die Feinanpassung des Laufwerks an das Gleis. Damit hat sie eine hohe Bedeutung für die Entgleisungssicherheit der Lokomotive und ist daher bei mehr als reichlich Schrittgeschwindigkeit u.E. unbedingt erforderlich. Ihr Fehlen verbaut jedenfalls bei allen Lokomotivtypen eine Entwicklung zu nennenswerten Geschwindigkeiten.
- c) Im Zusammenhang mit der Feinanpassung hat die Federung auch einen wesentlichen Einfluß auf die auszunutzende Zugkraft : Es sei der Fall angenommen, daß das von der Maschine auf die Treibachse ausgeübte Drehmoment am Radumfang der Treibräder eine Zugkraft bewirkt,

Allgemeinbeschreibung

Die von Warren (1923), S. 12, wiedergegebene Zeichnung trägt den Vermerk „from the original drawing at the Science Museum, South Kensington“. Etwa $M = 1 : 70$.

Die Maschine hat nur einen Zylinder ! Dieser liegt horizontal und etwa zur Hälfte im Dampfraum des Kessels, was die Wärmeverluste stark vermindert. Andererseits ist die Zugänglichkeit des betr. Zylinderdeckels natürlich schlecht. Die Ausführung mit nur einem Zylinder führt an sich thermo-dynamisch und mechanisch zu guten Wirkungsgraden und zu einer guten Laufruhe um die z-Achse, andererseits stellt die Überwindung der

die gerade gleich der höchstmöglichen Reibungskraft ist. Wird nun wegen der fehlenden Feinanpassung eines der beiden Räder entlastet, so wird die genannte Reibungskraft bei dem anderen Rad überschritten, damit tritt ein Durchdrehen der Achse („Schleudern“) ein und die Zugkraft bricht zusammen.

- d) Bei vertikal stehenden, direkt auf die Treibräder wirkenden Zylindern, muß ein Anschlagen der Kolben an die Zylinderdeckel verhindert werden. Das würde zu so großen toten Räumen in den Zylindern führen, daß der Wirkungsgrad der Dampfmaschine entscheidend verschlechtert würde. Deshalb ist eine Federung bei solchen Maschinen nicht angängig.
- e) Bei Zahnradtriebwerken verbietet sich eine Federung i.a., weil das Federspiel einen ununterbrochenen, guten Zahneingriff von dem im Rahmen gelagerten Zahnrad mit dem auf der Treibachse festen Zahnrad (oder einer Zahnstange am Gleis) praktisch unmöglich macht.
- f) Als Federn wurden während der ganzen Zeit des Dampflokomotivbaues fast ausnahmslos Blattfedern verwendet. Sie waren für den Wagenbau schon fertig entwickelt und haben den großen Vorteil, bei einfachstem Aufbau stark schwingungsdämpfend zu wirken.

Wir möchten aber eine Bauart erwähnen, die sich Stephenson mit Losh zusammen etwa 1817 patentieren ließ (nach Warren (1923)), siehe Abb. 2.1.3 : Er ersetzte jede Feder durch einen kleinen, vertikalen Zylinder, der in den Kessel hineinragte und zum Kessel hin offen war. Die Kolbenstange ruhte unten auf dem Achslagergehäuse und der Kolben-Ø war so bemessen, daß bei normalem Kesseldruck die Kolbenkraft gleich der Radlast des betr. Rades war und sich die gewünschte Höhenlage des Kessels einstellte. Neigte sich die Lokomotive nach einer Seite hin, so wurden die Kolben der betr. Seite in den Kessel hinein gedrückt, die der anderen Seite herausgezogen. An dem Druck im Kessel änderte sich dadurch nichts, d.h. es entstand keine Rückstellkraft, die „Federn“ waren in diesem wichtigen Fall wirkungslos. Dies Prinzip war also u.a. aus diesem Grund ein Irrweg, es ist wohl auch zu keinem Ausführungsversuch gekommen.

Triebwerk

Der Kolben wirkt über einen sehr breiten Kreuzkopf und zwei Schubstangen, die beiderseits des Kessels liegen, auf die Kurbelwelle. Die Schubstangen sind dabei gekröpft, um einerseits den Kreuzkopf nicht zu breit und schwer werden zu lassen und andererseits vom Schwungrad und dem unten erwähnten Zwischenrad frei zu gehen. Diese Kröpfungen geben ihnen jedoch eine gewisse, unerwünschte Weichheit.

Auf der Kurbelwelle ist gegenüber dem Schwungrad ein Ritzel befestigt, das ein größeres Zwischenrad antreibt. Dieses greift in Zahnkränze ein, die auf der einen Maschinenseite auf den Treibrädern sitzen. Das Zwischenrad ist fliegend am Kessel gelagert, was wir aus dem gleichen Grund für höchst bedenklich halten, wie er oben bei den Achslagerbefestigungen erläutert wurde. Es ist zu erwarten, daß es auch hier im Betrieb bald zu Undichtigkeiten kommen wird, ebenso werden die Zahneingriffe nicht einwandfrei bleiben.

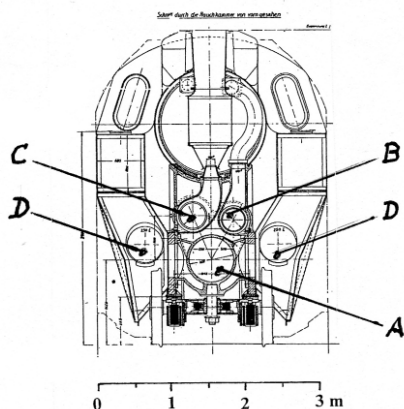


Abb. 2.1.2 Schöning-Lokomotive
nach Schöning (1940)

- A Zylinder
- B Einlaß-Schieber
- C Auslaß-Schieber
- D Luftbehälter

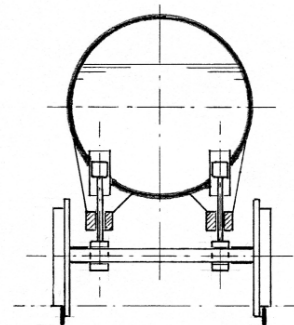


Abb. 2.1.3 Dampf-Federung von
Stephenson

2-2 Die Lokomotive von Blenkinsop

Baujahr etwa 1812 Bauart : Bn2z Entw. : Blenkinsop Erbauer : Fenton, Murray u. Wood in Leeds
Wichtigste Quellen : Warren (1923)

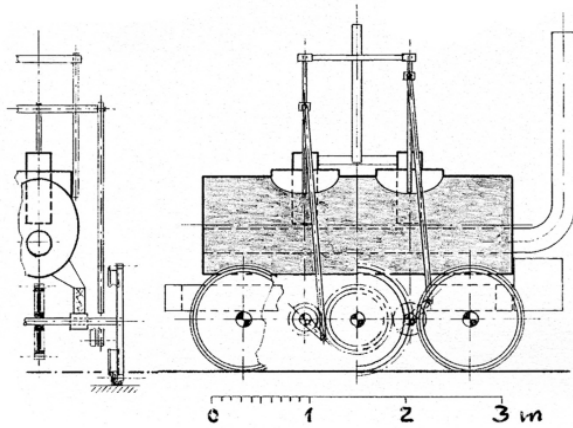


Abb. 2.2.1 Lokomotive von Blenkinsop 1812

Allgemeinbeschreibung

Die von Warren (1923), S. 17, wiedergegebene Zeichnung trägt den Vermerk „from the Bulletin de la Societe d'Encouragement d'Industrie, 1815“. Die Maschine dürfte also etwa 1812 gebaut worden sein.

Die Lokomotive war eine reine Zahnradlok, Warren lässt durchblicken, dass der Zahnradantrieb gewählt wurde, um eine größere Zugkraft zu ermöglichen, als sie mit Reibungsantrieb möglich gewesen wäre. Die Überlegenheit des letzteren war also auch Blenkinsop bekannt.

Zu erwähnen ist, daß der Kesselquerschnitt

oval war, was zumindest eine große Erschwerung von Bau und Unterhaltung bedeutete und sich nicht eingeführt hat.

Rahmen und Laufwerk

Der Rahmen bestand aus zwei parallelen, schweren Holzbalken, die nur an den Enden durch querliegende Pufferbohlen verbunden waren. Der Kessel wirkte natürlich auch in Querrichtung versteifend. An den Befestigungsstellen der Achs- und Wellenlager mussten erhebliche örtliche Kräfte im Holz auftreten, was bald zum Lockerwerden der Anschlüsse geführt haben dürfte. Federung war bei der Triebwerksbauart nicht möglich, siehe dazu Abschn. 2-1 .

Triebwerk

Zwei Zylinder waren vertikal auf Mitte Lok im Kessel eingebaut. Jeder arbeitete über rückkehrende Schubstangen auf eine eigene Ritzelwelle. Die Ritzel saßen auf Mitte Lok, die Kurbeln an den Enden, Lagerung unter den Rahmen-Längsbalken. Die Kurbeln der beiden Ritzelwellen waren um 90° gegeneinander versetzt. Zwischen beiden war die Hauptwelle des Zahnradantriebs gelagert. Diese trug ein Zahnrad auf Mitte Lok, in das die Ritzel von beiden Seiten eingriffen. Übersetzung etwa 1 : 2,1 , die Dampfmaschine lief also deutlich schneller als das Treib-Zahnrad, dies war eine fortschrittliche Konstruktion. An jedem Ende der Hauptwelle war ein Treib-Zahnrad befestigt. Es griff in Zahnreihen ein, die unmittelbar außen an die Schienen angegossen waren. Vordergründig ist dies vorteilhaft, muß aber bei Weichen u. dgl. zu großen Schwierigkeiten geführt haben. Zur Erzielung gleicher Zahnkräfte rechts und links wäre eigentlich eine Art Differentialgetriebe wünschenswert gewesen. Da kein Reibungsantrieb vorhanden ist, konnte die Lok sich nur im Zahngleisbereich selbst bewegen. Es lag also keine Freizügigkeit vor. Wenn man aber davon ausgeht, dass Zahnradantrieb für nötig angesehen wurde, und die Maschine nur als Vorspann oder Nachschub auf einer Steilstrecke dienen sollte, scheint die Getriebeanordnung nicht unvernünftig zu sein. Allerdings sind die Lagerabstände der drei Zahnradwellen groß und dürften wegen der Nachgiebigkeit der Wellen zu schlechtem Zahneingriff und damit zu großem Zahnverschleiß geführt haben.

2-3 Die Lokomotive von Hedley

Baujahr etwa 1813 Bauart : Dn2 Entw. : Hedley
Wichtigste Quellen : Warren (1923)

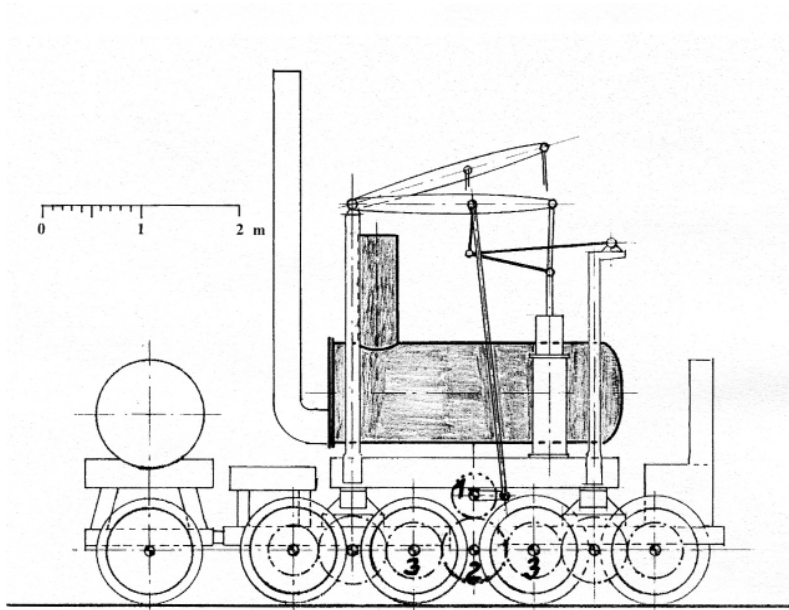


Abb. 2.3.1 Lokomotive von Hedley 1813

Allgemeinbeschreibung

Es handelt sich hier um eine für die damalige Zeit sehr große Maschine mit vier, durch Zahnradgetriebe gekuppelten Achsen. Je zwei davon sind zu einer Art Drehgestell verbunden, wobei allerdings eine Möglichkeit zum Drehen um die z-Achse bei Warren nicht zu erkennen ist. Wir gehen aber davon aus, daß sie vorgesehen war, da andernfalls ein Betrieb auf Strecken, deren Kurven für die üblichen zweiachsigen Fahrzeuge ausgelegt waren, wohl unmöglich gewesen wäre. Interessant ist der einachsige Tender, vermutlich war auch diese Lok für Vorspann- oder Nachschubdienste auf kurzen,

steilen (und gar kaum gekrümmten ?) Strecken bestimmt, wobei die Vorräte minimal sein konnten.

Die Räder sind spurkranzlos, dafür bestanden die Schienen aus Winkeleisen.

Nach Matschoß (1908) S. 778 wurde die Strecke, auf der die Lokomotive fuhr, 1830 verstärkt. Deshalb konnten beiden äußeren Achsen entfernt werden, weshalb die oben geschilderten Schwierigkeiten entfielen. Immerhin hat sie in der Ursprungsform 17 Dienstjahre erreicht, in der späteren Form Bn2 soll die Maschine dann noch über 30 Jahre gelaufen sein.

Rahmen und Laufwerk

Die Rahmenteile sind durchweg aus Holz gebaut. Einzelheiten der Gelenke zwischen Hauptrahmen und Drehgestellen sind, wie gesagt, nicht erkennbar. Sicherlich waren das in Holz sehr schwierige und wenig dauerhafte Konstruktionen. Wie es bei Zahnradantrieb damals nicht anders möglich war, musste auf Federung verzichtet werden.

Triebwerk

Die Maschine hat zwei stehende Zylinder, die links und rechts vom Kessel angeordnet sind. Dieser macht daher auch den Eindruck, recht klein zu sein. Die Schubstangen sind oben an waagerechten Hebeln angelenkt, wodurch der Kolbenhub größer als der Kurbelkreisdurchmesser wird. Die Geradföhrung der Kurbelstangen erfolgt durch ein kompliziertes Stangengetriebe. Wir vermuten, daß sich die Geradföhrung durch Gleitbahnen, wie sie die beiden vorhergehenden Lokomotiven hatten und wie sie bald weltweiter Standard wurde, noch nicht allgemein bewährt hatte. Allerdings macht auch hier die Lagerung der Festpunkte für die waagerechten Hebel und für die Geradföhrung durchaus keinen vertrauenerweckenden Eindruck.

Die Kurbelwelle (1) und die darunter liegende Haupt-Antriebswelle (2) sind am Hauptrahmen gelagert, die letztere allerdings sehr weit darunter, so daß eine ausreichend starre Lagerung kaum zu erreichen war. Höchst problematisch war auch der Zahneingriff zwischen dem Hauptantriebsrad (2) und den Zahnrädern (3) der Drehgestelle. Eine überschlägige Untersuchung zeigte aber immerhin, daß die Relativbewegungen der Räder (2) und (3) nur gering waren und der Zahneingriff dabei nicht

unterbrochen wurde, eine relativ grobe Zahnform vorausgesetzt. Es ist aber klar, daß eine solche Bauweise zu einem ganz schlechten mechanischen Wirkungsgrad und starkem Verschleiß führen musste.

2-4 Die Lokomotive von Stephenson und Dodd

Baujahr etwa 1815 Bauart : Bn2 Entw. : Stephenson und Dodd

Wichtigste Quellen : Warren (1923)

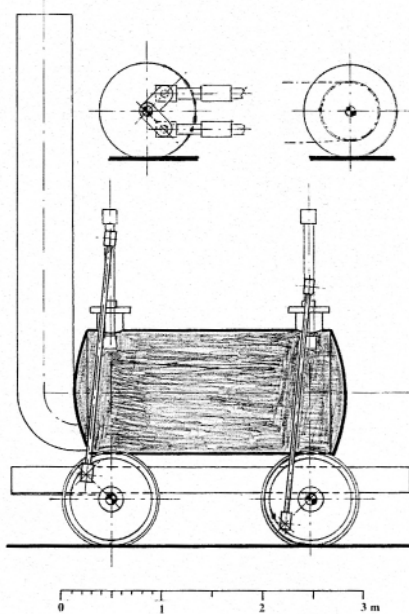


Abb. 2.4.1 Lokomotive von Stephenson und Dodd 1815

Allgemeinbeschreibung

Von dieser Maschine ist nur wenig bekannt. Die von Warren (1923), S. 23, wiedergegebene Zeichnung erweckt den Eindruck, es handle sich um einen Teil einer Patentschrift, d.h. als seien unwichtige Einzelheiten weggelassen oder nur angedeutet, außerdem sind sich ausschließende Alternativen (wohl vorsorgliche Patentansprüche) skizziert. Jedoch scheint es, daß eine ganze Anzahl derartiger oder ähnlicher Maschinen in den nordenglischen Kohlengruben Dienst getan hat.

Die Maschine besitzt zwei vertikale, auf der Längsachse im Kessel eingebaute Zylinder. Deshalb ist sie auch ungefedert.

Rahmen und Laufwerk

Ein einfacher Holzrahmen trägt den Kessel mit großen Konsolen. Querverbindungen sind nur die Pufferbohlen und der Kessel selbst.

Triebwerk

Damit eine Kolben-Dampfmaschine aus jeder Kurbelstellung anläuft, müssen, wie man sich leicht klarmachen kann, mindestens zwei Zylinder vorhanden sein, deren Kurbeln um 90° gegeneinander versetzt sind. Wirken zwei Zylinder auf die gleiche Achse, so werden deren Kurbeln gegeneinander versetzt, womit das Problem gelöst ist. Dies ist ja die Standard-Ausführung bis zum Ende des Dampflokbauens geworden. Bei der hier angewendeten Ausführung musste man – da jeder Zylinder nur eine Achse antrieb – die beiden Achsen um 90° gegeneinander versetzen. Jedoch müssen dann die Antriebsräder in geeigneter Weise miteinander gekuppelt werden, da sich der Versatzwinkel andernfalls mit der Zeit doch verändern würde, womit man wieder Anfahrtschwierigkeiten und außerdem bei jeder Radumdrehung einen sehr unregelmäßigen Zugkraftverlauf bekommen würde. Die Zeichnung Abb. 2.4.1 zeigt auf den Nebenskizzen zwei Möglichkeiten für die Kupplung.

Auf der linken Nebenskizze erfolgte die Kupplung durch zwei Kuppelstangen, die beiderseits der Mittellinie der Maschine entsprechende Kröpfungen der Antriebsachsen miteinander verbanden. Es scheint, daß hierbei zusätzlich Vorrichtungen zur Feineinstellung der Kuppelstangenlängen vorgesehen waren. Auf jeden Fall waren die zwei Kröpfungen je Achse ein sehr unangenehmer und teurer Sonderaufwand bei Beschaffung und Unterhaltung. Es scheint auch, daß diese Kupplung nie ausgeführt worden ist.

Die rechte Nebenskizze stellt die Kupplung durch eine umlaufende Kette dar, rein überlegungsmäßig eine naheliegende Lösung. Dazu war auf der halben Länge der Antriebsachsen je

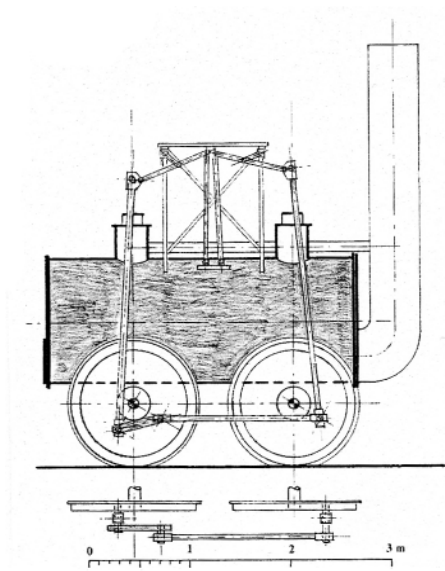
ein Kettenrad befestigt. Jedoch neigt jede schnelllaufende Kette zu unkontrollierten Schwingungen mit starken Ausschlägen in allen Ebenen. Die Kette scheint hier allerdings eine Art Gall'scher Kette gewesen zu sein, bei der Ausschläge in Richtung der Achse der Kettenräder kaum möglich sind. Ob diese Konstruktion einmal so ausgeführt worden ist und wie sie sich bewährt hat, wissen wir nicht. Bei Warren (1923), S. 23, ist auch der Antrieb einer Tenderachse mittels einer Kette dargestellt. Das könnte dann allerdings nur eine ganz normale Kette mit geschweißten Gliedern gewesen sein, da nur diese in der x-y-Ebene dafür ausreichend beweglich ist. Auf dem Kontinent sind solche Ausführungen gelegentlich versucht worden, allerdings ohne Erfolg, siehe dazu Gölsdorf (1978), S. 29 .

Eine weitere Ausführungsmöglichkeit siehe Abschn. 2-5, Lok „Locomotion“.

2-5 Die Lokomotive „Locomotion“

Baujahr 1825 Bauart : Bn2 Entwurf und Bau : R. Stephenson & Co.

Wichtigste Quellen : Warren (1923)



Allgemeinbeschreibung

Die „Locomotion“, von der es mehrere Nachbauten gab, hatte die gleiche Zylinderanordnung wie die drei vorher beschriebenen Maschinen. Hier soll hier vor allem die besondere Ausführung des Triebwerks vorgestellt werden, die damals bei verschiedenen Typen ausgeführt worden ist.

Rahmen und Laufwerk

Die „Locomotion“ hat keinen Rahmen und keine Federung. Ahrons (1927), S. 3, schreibt zwar, sie hätte einen gusseisernen Rahmen besessen, doch ist davon auf Zeichnungen und Fotos nichts zu erkennen. Auf einer Zeichnung (Warren (1923), S. 114, ist die eine Antriebsachse um die Längs-Achse der Lok schwenkbar angegeben, damit wäre immerhin eine echte Dreipunktlagerung der Maschine verwirklicht. Der Brückenhebel der betr. Achse macht das auch möglich.

Abb. 2.5.1 Lokomotive „Locomotion“ 1825

Triebwerk

Die Geradführung der Kreuzköpfe erfolgt immer noch durch ein kompliziertes Gestänge, hier als „half beam motion“ bezeichnet.

Eine Verbindung der beiden Achsen durch Kuppelstangen der später zur Normalausführung gewordenen Art scheidet aus, da die Stange an einer der Treibachsen nicht vom Treibzapfen freigehen würde, wie man sich leicht klarmachen kann. Bei der Ausführung der „Locomotion“ ist auf den Treibzapfen der einen Achse eine Gegenkurbel mit einem Kuppelzapfen so aufgesetzt, daß letzterer mit dem Treibzapfen der anderen Achse gleichlaufend wird. In der Übersichtsskizze ist dies unten dargestellt.

Derartige, an sich sinnvolle, Anordnungen sind seinerzeit mehrfach ausgeführt worden. Sie haben aber einige Schwachstellen, die es nicht zu einer allgemeinen Einführung kommen ließen :

- a) In den Kuppelstangen können gelegentlich recht große Kräfte auftreten. Es wird nicht einfach sein, die Verbindung der Gegenkurbel mit dem Treibzapfen dafür ausreichend sicher zu machen. Stephenson hat bei der „Rocket“ die Treibräder auf der Achse zwar mit vier Keilen befestigt, das war aber auch keine einfache Lösung und bei dem kleineren Durchmesser des Treibzapfens hier wahrscheinlich gar nicht möglich. Wie man es bei der „Locomotion“ gemacht hat, wissen wir nicht.
- b) Auf jeden Fall werden die Treibzapfen sehr lang, d.h. sie werden stark auf Biegung beansprucht, sind bei Unfällen besonders anfällig und u.U. schwer im Profil unterzubringen.

Trotz dieser Einwände war die „Locomotion“ eine imposante Maschine, von der mehrere Stücke gebaut worden sind.

2-6 Die Lokomotive „Rocket“

Baujahr 1829 Bauart : A1 n2 Entwurf und Bau : R. Stephenson & Co.

Wichtigste Quellen : Warren (1923); Jahn (1924); Bailey / Glithero (2000); Nachbau auf der Nürnberger Ausstellung 2010.

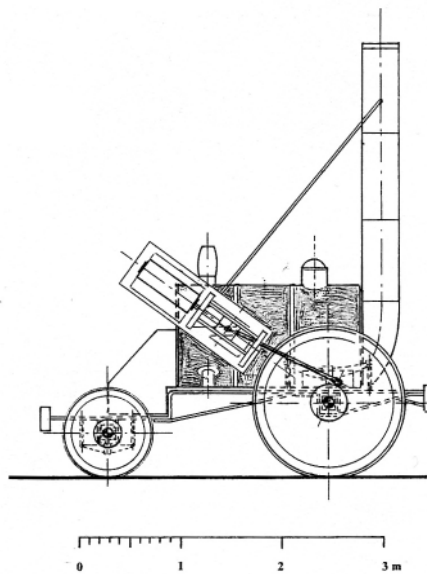


Abb. 2.6.1 Lokomotive „Rocket“ 1829

Allgemeinbeschreibung

Die berühmte „Rocket“ wurde insbesondere für die Vergleichsfahrten der Stockton – Darlington – Bahn gebaut und bewährte sich dort und im späteren Verkehr. Sie erlebte auch einige Nachbauten, der Typ wurde aber doch schon im nächsten Jahr von der „Planet“-Klasse (siehe 2-10) abgelöst. Zu den Gründen dafür siehe Abschn. 3-1 . Die Rocket wurde mehrfach umgebaut, was aber schlecht dokumentiert ist, Bailey / Glithero (2000) berichten darüber. Wir werden uns hier auf die Ursprungsausführung von 1829 beschränken.

Die ungewöhnliche und, von heute aus gesehen, bedenkliche Achsanordnung mit den vorauslaufenden großen Treibrädern entstand vermutlich aus dem Bestreben, die Zylinder unter der unmittelbaren Beobachtung des Lokomotivführers zu haben. Die um 38° gegen die Waagerechte geneigten Zylinder sind als ein Übergang von den bis dahin häufig verwendeten vertikalen zu waagerechten Zylindern aufzufassen.

„Rocket“ war unter den hier betrachteten Maschinen die erste, die gefedert war.

Rahmen und Laufwerk

Der Rahmen ist aus liegenden Flacheisen 102 x 25,4 mm gefertigt, was ein großer Entwicklungsschritt war, siehe Abb. 2.6.2 . Zur Aufnahme von Biegemomenten in der x-z-Ebene sind liegende Flacheisen aber ungeeignet. Allerdings wird die Gewichtskraft der Hauptmasse des Kessels

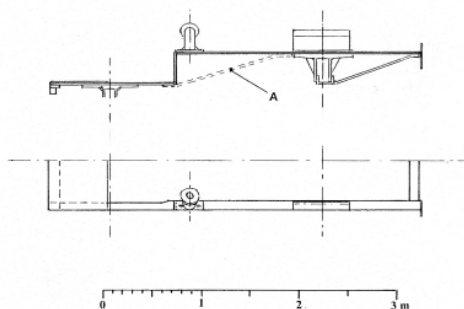


Abb. 2.6.2 Rahmen der „Rocket“ nach Bailey / Glithero (2000)

in geschickter Weise über der Treibachse so in deren Lagerung eingeleitet, daß sich daraus nur sehr kleine Biegemomente im Rahmen ergeben. Der Restteil der Kesselmasse mit den Zylindermassen und –kräften belasten die Rahmenwangen aber punktförmig mitten zwischen den beiden Achsen, was man als recht unschön bezeichnen muß. Der Kraftfluß zwischen Zylinder und Treibachslager erfolgt mit vielen Umleitungen durch den Kessel, dagegen bestehen die schon in 2-1 geschilderten Einwände, es sei auch auf die Abb. 2.10.9 verwiesen. Die Rahmenwangen sind zwischen den beiden

Achsen erheblich gestuft, dadurch wurde die Weichheit des Rahmens noch verschlimmert. Es überrascht daher nicht, daß es Zeichnungen gibt, in denen eine Schrägstrebe von der unteren Stufe nach oben zu der Rahmenwange etwa 500 mm hinter der Treibachslagerung zu sehen ist (siehe „A“ in

Abb. 2.6.2). Diese Schrägstrebe ist statisch zwar auch nicht befriedigend, aber doch ein gewisser Fortschritt.

Triebwerk

Die „Rocket“ besaß einen Innenrahmen mit außen liegenden Zylindern, das war an sich die Triebwerksbauart, die sich später weltweit durchsetzte. „Rocket“ war jedoch für längere Zeit die letzte Lokomotive von Stephenson in dieser Bauweise. Siehe hierzu auch Abschn. 3-1 . Da „Rocket“ im Dienst unruhig lief, was man wohl mit Recht u.a. auf die steile Lage der Zylinderachsen zurückführte, wurde schon 1831 die Neigung der Zylinder auf 8° vermindert, siehe Bailey / Glithero (2000).

Zusatz

Unter den wenigen Maschinen, die vom Typ „Rocket“ gebaut wurden, war die „Northumbrian“ von 1830, Warren (1923) S.240. Leider sind bei Warren Zeichnungen von zwei verschiedenen Maschinen wiedergegeben, so daß über konstruktive Einzelheiten keine Klarheit besteht. Jedenfalls war die Rahmenwange ein Kreuz-Fachwerkträger mit einer über die ganze Länge der Lokomotive gleichbleibenden Höhe von etwa 0,45 m. Er muß unvergleichlich viel steifer gewesen sein, als der Rocket-Rahmen. Wahrscheinlich war dies der Grund für diese Bauweise. Andererseits war es sicher schwierig, die Achslagerführungen darin einzufügen, auch war die Zugänglichkeit der Steuerungsteile wohl recht behindert. Da der Typ „Rocket“ im gleichen Jahr schon dem Typ „Planet“ weichen musste, ist diese an sich sehr interessante Ausführung offenbar nicht weiter verfolgt worden.

2-7 Die Lokomotive „Sans Pareil“

Baujahr 1829 Bauart : Bn2 Entwurf und Bau : Hackworth

Wichtigste Quellen : Matschoß (1908), Nachbau auf der Nürnberger Ausstellung 2010.

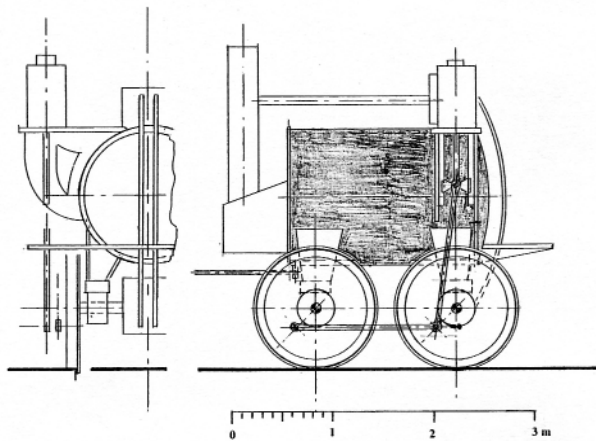


Abb. 2.7.1 Lokomotive „Sans Pareil“ 1829

Konsolen, an denen die Lager saßen, waren in z-Richtung verhältnismäßig lang. Die x- und y-Kräfte aus den Lagern übten daher relativ große, schädliche Momente um die x- und die y-Achse auf die Kesselanschlüsse aus. Zwischen den Konsolen und den Lagergehäusen waren große Blöcke (wohl aus Holz) angeordnet, von denen eine nennenswerte Federung aber nicht erwartet werden kann.

Die Räder waren solide und kunstvoll aus Holz gefertigt, natürlich mit aufgeschrumpften, stählernen Radreifen.

Allgemeinbeschreibung

Diese Lokomotive war eine der drei Teilnehmerinnen an den Rainhill-Vergleichsfahrten. Ihre Kennzeichen waren : Fehlen von Rahmen und Federung (siehe hierzu Abschn. 2.1), zwei vertikale Zylinder mit direktem Antrieb der Vorderachse, Kuppelstangen zum Anschluß der Kuppelachse.

Trotz ihres etwas exotischen Aussehens machte der Nachbau von „Sans Pareil“ auf uns einen harmonischen, angenehmen Eindruck.

Rahmen und Laufwerk

Einen Rahmen hatte die Maschine nicht, Zylinder und Achslager waren unmittelbar am Kessel befestigt, s.u.. Die

Triebwerk

Die Zylinder saßen an großen, gegossenen Konsolen am Kessel (siehe den Querschnitt), dies sehen wir als eine gute Lösung der Krafteinleitung an. Da es kein Federspiel gab, konnten die toten Räume im Zylinder klein bleiben. Die Kreuzkopfführungen waren mit den Konsolen vereinigt. Wenn man von der fehlenden Federung absieht, erscheint uns das Triebwerk gut gelungen zu sein.

Zusatz

Hackworth hat nach dem Vorbild von „Sans Pareil“ auch eine C-gekuppelte Lokomotive namens „Royal George“ entwickelt (Colburn (1871), Ahrons (1927)). Da ihm wohl auch Bedenken hinsichtlich des Fehlens einer Federung gekommen waren, ging er einen Kompromiß ein :

Die vordere Achse und die Zylinderanordnung entsprachen der „Sans Pareil“. Die beiden anderen Achsen waren jedoch gefedert, und zwar so, daß nur eine Feder auf jeder Seite der Lokomotive vorhanden war, die jedoch als Ausgleichshebel zwischen den beiden Achsen wirkte. Die horizontalen Kuppelstangen ließen das ja zu. Somit waren immerhin etwa 2/3 der Gesamtmasse gefedert und die Maschine hatte nach heutigen Anschauungen vier Stützpunkte, womit sich i.a. gut leben lässt.

2-8 Die Lokomotive „Novelty“

Baujahr 1829 Bauart : A1 n2t Entwurf : Ericsson, Bau : Braithwaite

Wichtigste Quellen : Matschoß (1908), Nachbau auf der Nürnberger Ausstellung 2010.

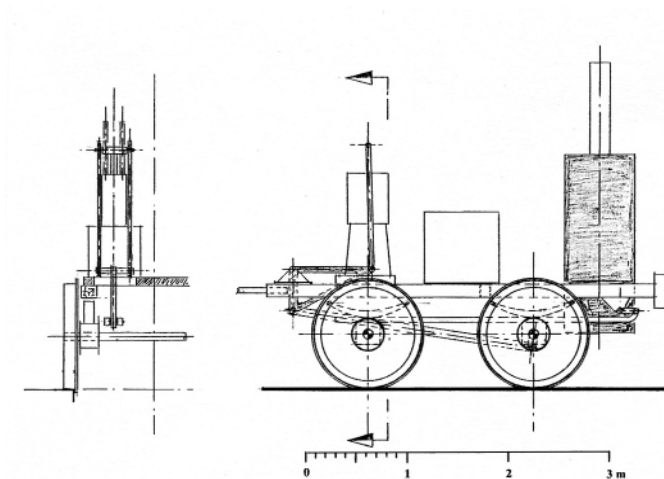


Abb. 2.8.1 Lokomotive „Novelty“ 1829

Allgemeinbeschreibung

„Novelty“ war die dritte Teilnehmerin an den Rainhill-Fahrten. Sie galt dort zunächst als Favoritin, was wir auf Anhieb nur schwer verstehen, dabei könnte die offensichtlich sehr geringe Masse der Lokomotive eine Rolle gespielt haben, ebenso der Name des Konstrukteurs, der damals auch im Schiff- und Schiffsmaschinenbau, schon Bedeutendes geleistet hatte.

Um die Masse der Lokomotive gering zu halten, verwendete Ericsson Speichenräder mit sehr dünnen Rundeisen-Speichen, deren Durchmesser war etwa 10 mm. Daran waren keine Kuppelzapfen zu

befestigen, u.a. deshalb die Achsfolge 1 A, die etwa eine Halbierung der möglichen Zugkraft zur Folge hatte. Dies ist ein hoher Preis für die erzielte Massenverminderung.

Der Kessel der „Novelty“ besaß einen besonderen Vorwärmer, siehe Colburn (1871) und Matschoß (1908) S. 786 . Seine Wirkungsweise ist nicht ganz klar, er kann aber jedenfalls kaum sehr wirkungsvoll gewesen sein.

Rahmen und Laufwerk

Der aus Holz gebaute, unbeschlagene Rahmen wurde in Querrichtung durch die Pufferbohle (vorn), eine Querstrebe zwischen den Radsätzen und die Maschinengrundplatte versteift. Die Kupplung mit dem Tender griff an einer Gabel an, die an die Rahmenlängsbalken anschloß. Die Lokomotive hat Blattfedern an beiden Achsen.

Erstaunlich ist die Führung der Radsätze : Die Lagergehäuse je einer Seite sind durch ein langes Flacheisen verbunden, das seinerseits über ein kurzes, waagerechtes Zwischenglied in x-Richtung

kraftschlüssig, in z-Richtung aber beweglich, an den Rahmen angeschlossen ist. Die Federn sitzen zwischen dem genannten Flacheisen und dem Rahmen. Eigentliche Radlagerführungen in x-Richtung können dabei entfallen. In der y-Richtung vermochten wir aber auch keinerlei Führung der Radsätze zu entdecken. Es scheint, dass man sie allein den Blattfedern überlassen wollte. Dafür sind diese aber keine geeigneten Maschinenelemente. Wir können uns nicht vorstellen, dass die „Novelty“ mit wesentlich mehr als Schrittgeschwindigkeit durch Gleisbögen fahren konnte, besonders wenn man berücksichtigt, dass die Zugkraft noch hinter dem Rahmenende angreift, die Lokomotive im Gleisbogen also mit einem großen Hebelarm um ihre z-Achse zu drehen bestrebt ist. Dabei wäre die y-Kraft auf die Federn besonders groß.

Triebwerk

Die Wahl stehender Zylinder könnte einen Grund darin haben, dass stehende Maschinen damals allgemein beliebt waren, wenn man auch schon erkannt hatte, daß sie u.U. vertikale Schwingungen der Lokomotive anregen. Sie verkürzen ja auch die Baulänge der Lokomotive (beides gilt für alle Lokomotiven mit vertikalen Zylindern). Ericsson koppelte die Zylinder von dem Federspiel ganz ab, indem er jeden Zylinder auf je einen sehr leichten, gut durchdachten Winkelhebel wirken ließ. Dieser bewegte eine lange, annähernd waagrecht liegende Schubstange, die ihrerseits die doppelt gekröpfte Treibachse antrieb. Bei dieser Anordnung spielt die Federung der Lokomotive keine Rolle mehr. Dies ist insgesamt eine saubere Lösung, die auch bei einer Reihe anderer Lokomotivtypen, siehe Ahrons (1927) S. 28, Verwendung fand.

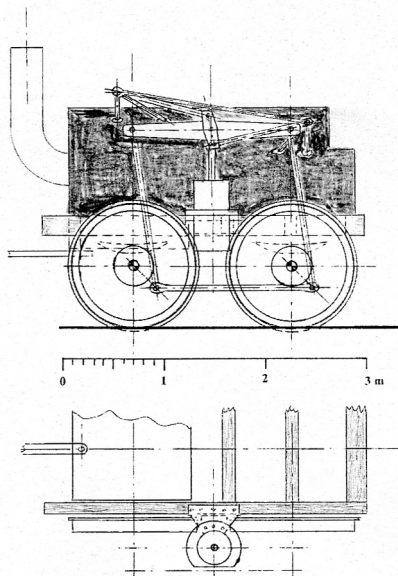
Bei dem Entwurf der Dampfmaschine wurde auch sehr auf eine geringe Bauhöhe geachtet. Der Kreuzkopf liegt über dem Zylinder, die zwei Pleuelstangen gehen an dem Zylinder vorbei nach unten (Maschinen dieser Art gab es damals mehrfach als Schiffsmaschinen) zu dem waagerechten Arm des Winkelhebels. Die Kreuzkopfführung besteht aus zwei vertikalen Rundstangen, die im oberen Zylinderkopf eingeschraubt sind, ihr oberes Ende ist ganz frei. Vergleiche dazu den Querschnitt bei der Skizze. Es ist fraglich, ob die Führungen den Beanspruchungen auf die Dauer gewachsen waren.

Der Misserfolg der „Novelty“ bei den Rainhill-Versuchen scheint uns unausweichlich gewesen zu sein.

2-9 Die Lokomotive „Marc Seguin“

Baujahr 1829 Bauart : B n2 Entwurf : Seguin Bau : Seguin

Wichtigste Quellen : Matschoß (1908), Nachbau auf der Nürnberger Ausstellung 2010.



Allgemeinbeschreibung

Die „Marc Seguin“ wurde auch für Rainhill gebaut, aber nicht rechtzeitig fertiggestellt. Die Zylinder waren seitlich neben dem Kessel vertikal am Rahmen befestigt, siehe Abb. 2.9.1. Interessant ist, daß Seguin für die Versorgung der Feuerung mit Verbrennungsluft zwei große Gebläse auf dem Tender vorsah. Sie wurden von den Rädern des Tenders angetrieben und drückten die Luft durch zwei große Segeltuchschläuche in den Brennraum. Ob das tatsächlich zu einer besonders guten Verbrennung führte, ist unbekannt.

Rahmen und Laufwerk

Der Rahmen war aus Holz und in Querrichtung mehrfach versteift. Der Anschluß der Federn für beide Achsen war einfach. Zur Auswirkung auf die Maschine siehe unten.

Zum Anschluß der Zylinder diente ein schweres,

Abb. 2.9.1 Lokomotive „Marc Seguin“ 1829

gegossenes Winkelstück, das mit einem am Zylinder angegossenen Flansch verschraubt, andererseits mit dem hölzernen Rahmenlängsträger verbolzt war. Zwar schloß ganz in der Nähe eine hölzerne Rahmen-Querversteifung an, die beim Arbeiten der Zylinder entstehenden Momente um die x-Achse konnten aber darauf nicht einwandfrei übertragen werden, da das Winkelstück die Quersteife nicht erfasste. Wir vermuten, dass diese Verbindung beim Fahren in kürzester Zeit zerstört worden wäre bzw. ist.

Triebwerk

Die Kolbenkraft wirkte zunächst auf die Mitte eines langen, zweiarmigen Hebels, der oberhalb der Zylinder lag, wir nennen ihn den „Brückenhebel“. Die an den Enden des Brückenhebels angreifenden vertikalen Schubstangen übertrugen daher jeweils die halbe Kolbenkraft. Jedes Treibrad wurde also direkt angetrieben. Jedoch musste unbedingt verhindert werden, dass die beiden Radsätze einmal nicht synchron liefen, was z.B. beim Schleudern eines Radsatzes vorkommen könnte und das Triebwerk schwer geschädigt hätte. Deshalb waren sie zusätzlich noch durch eine Kuppelstange verbunden. Damit diese von dem Zylinder frei ging, waren recht lange Kuppelzapfen nötig. Man vergleiche hierzu das Triebwerk der „Locomotion“.

Zur Geradföhrung des oberen Endes der Kolbenstange diente ein Watt'sches Parallelogramm. Es gab damals noch Schwierigkeiten bei der Fertigung von Kreuzkopf-Gleitbahnen, diese wären auch auf jeden Fall nur schwierig genügend fest anzubringen gewesen. Das Watt'sche Parallelogramm ist nun eine sinnreiche und an sich einfache Vorrichtung, die den gleichen Zweck erfüllt, siehe Abb. 2.9.1 . Die relativ vielen Gelenke machen die Föhrung aber wenig genau, zudem bietet sie in y-Richtung praktisch keine Föhrungskraft. Beides ist für die Kolbenstangendichtungen sehr nachteilig.

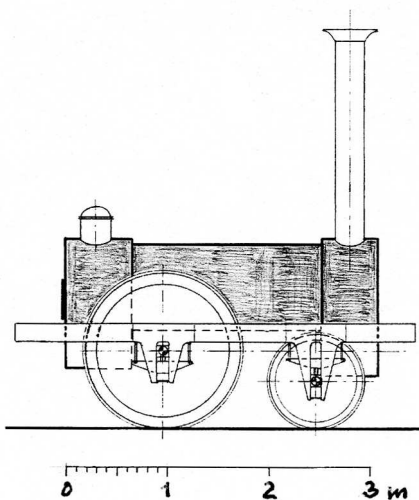
Bezüglich der Federung liegt hier der Fall vor, daß Pleuelstangen, Brückenhebel und damit auch der Kolben nicht zu den abgedeferten Teilen gehören, der Zylinder aber wohl. Darum mussten die toten Räume in den Zylindern so groß gemacht werden, daß der Kolben auch im ungünstigsten Fall nicht zum Anschlag an die Zylinderdeckel kommt. Das erhöhte den Dampfverbrauch der Maschine erheblich.

Auf beiden Seiten der Lokomotive war das Triebwerk gleich, die Treib- und Kuppelzapfen beider Seiten waren natürlich um 90° gegeneinander versetzt.

2-10 Die Lokomotive „Planet“

Baujahr 1830 Bauart : 1 A n2 Entwurf und Bau : R. Stephenson & Co.

Wichtigste Quellen : Warren (1923) und die bei Abschn. 2-12 genannten Quellen.



Die Stephensonsche Antriebsanordnung – Rahmen und Triebwerk

Aus den in Abschn. 3-2 erläuterten Gründen, baute Stephenson ab etwa 1830 keine A 1-Typen (wie „Rocket“) mehr, sondern ging auf die Bauart 1 A, („Planet“) über. Die Lokomotive hatte einen Außenrahmen aus Holz und zwischen den Rädern liegend angeordnete Zylinder und dementsprechend eine doppelt gekröpfte Treibachse, die durch insgesamt sechs Lager gestützt war. Diese neuartige Bauart nennen wir hier „Stephensonsche Antriebs-Anordnung“ bzw. „Stephensons arrangement of drive“, kurz „SA“. Sie blieb zwar nur eine Episode in der Entwicklung der Dampflokomotive, hat aber darin trotzdem eine große Bedeutung, denn Stephenson verwendete sie viele Jahre lang in fast allen seinen Neubauten, dadurch war sie in ganz Europa verbreitet und

Abb. 2.10.1 Lokomotive „Planet“ 1830

gelangte auch nach Nordamerika. Da sie im Schrifttum nicht angemessen gewürdigt worden ist, wollen wir die „SA“ hier etwas ausführlicher besprechen :

Stephenson wollte die Treibräder beidseitig lagern, um bei einem Bruch der Treibachse das Entgleisen der Lokomotive, das bei einer zweiachsigen Maschine höchstwahrscheinlich katastrophal ist, möglichst zu verhindern. Deshalb ordnete er zunächst den Hauptlängsträger des Rahmens außerhalb der Radebenen an (daher : „Außenrahmen“; hier war er aus Holz) und legte die Hauptlager (Lager 1, zur Nummerierung der Lager siehe Abb. 2.10.2 bis 2.10.4, s.S. 18) der Treibachse gefedert darunter, wofür die Achse über die Räder hinaus verlängert werden musste. Zweitens baute er auf jeder Seite ein Zwischenlager (Lager 2) auf der Treibachse nah am Rad ein. Damit waren die Treibräder wie beabsichtigt beidseitig gelagert.

Um nun die Treibachse auch im normalen Betrieb zu entlasten, wurden zwei weitere Zwischenlager (Lager 3) neben den Kröpfungen, zur Mittelebene der Lokomotive hin, vorgesehen. Dies geschah in der richtigen Einsicht, daß die Biegemomente in der Achse umso kleiner sind, je kleiner die Lagerabstände sind. Damit war die Treibachse sechsfach gelagert, Abb. 3.2.1.a).

Die vier Zwischenlager, Lager-Nr. 2 und 3, wurden in der x-Richtung von besonderen „Fundamentträgern“ gestützt, siehe Abb. 2.10.3. Die Abstützung in z-Richtung wäre sehr schwierig und schwer geworden, da sie das Federspiel des Hauptrahmens hätte ausgleichen müssen. Dieses Problem löste Stephenson, indem er auf die z-Abstützung ganz verzichtete. Dazu wurden die Zwischenlagergehäuse in Gabeln der Fundamentträger geführt, die nach unten und nach oben einige cm Spiel ließen, siehe Abb. 2.10.3, bei „Adler“ waren dies nach oben 3,0 cm und nach unten 3,5 cm, bezogen auf die Mittellage. Diese Anordnung der Lager und ihrer Stützkonstruktion ist im Maschinenbau höchst ungewöhnlich. Die Treibachse wird dabei gegen die in z-Richtung wirkenden Kräfte (dies sind die z-Komponenten der Schubstangenkräfte und die Radlasten) nur durch die beiden Lager 1 gestützt. Durch den großen Abstand der Lager 1 in y-Richtung verursachen die z-Kräfte sehr große Biegemomente in der Treibachse, denen wir nachgegangen sind :

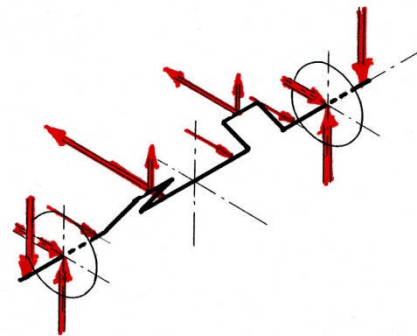


Abb. 2.10.5 Lastfall

Für die Lokomotiven „Adler“ und „Odin“ (Abschn. 2-12 bzw. 2-15), deren Treibachs-Abmessungen vorliegen, und von denen „Adler“ die „SA“ wie „Planet“ hat, haben wir eine überschlägige Berechnung der Treibachsen angefertigt, deren Aussagen im Fall

„Adler“ qualitativ auch für „Planet“ gelten . Die Abb. 2.10.5 zeigt für „Adler“ den berechneten Belastungsfall und in 2.10.6 als Ergebnis die Biegemomente in der Treibachse. Man sieht die sehr großen Biegemomente in der y-z-Ebene (M_{y-z}) und die im Vergleich dazu fast vernachlässigbaren Momente in der x-y-Ebene (M_{x-y}). Das kommt uns recht unausgewogen vor.

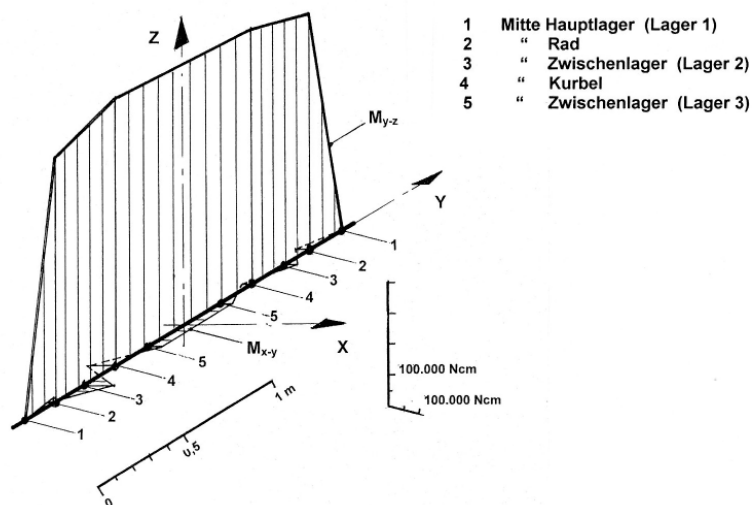


Abb. 2.10.6 Biegemomente in der Treibachse

Positiv ist aber, daß die M_{yz} einen etwa konstanten Anteil von etwa 800 000 Ncm haben und nur der darüber (bzw. darunter) liegende Anteil dynamisch ist. Man kann daher mit relativ günstigen zulässigen Spannungen rechnen.

Der gefährdete Querschnitt liegt in den Kurbelzapfen, die nur einen Durchmesser von 92 mm haben, d.h. ein Biege-Widerstandsmoment von 78 cm³. Damit ist dort die max. Biegespannung

$$\sigma_{\max} \approx 880\,000 / 78 = 11\,300 \text{ N/cm}^2$$

Die Werkstoffeigenschaften der Treibachse (Schweißeisen) wollen wir als annähernd gleich denen eines St 34 annehmen, siehe Abschn. 4-2. Für diesen Stahl findet man in einer älteren Tabelle (Wellinger (1963) S. 24) eine Streckgrenze

$$\sigma_s = 20\,000 \text{ N/cm}^2 .$$

Realistisch gesehen ist dafür σ_{\max} entschieden zu hoch, andererseits aber auch nicht utopisch. Jedenfalls darf man sich danach über das häufige Auftreten von Brüchen der Treibachse nicht wundern. Es wäre aber interessant, mehr über die damaligen Rechenverfahren und über die Technologie des Werkstoffes und der Fertigung zu wissen.

Die hier geschilderten Schwierigkeiten, die sich aus der Höhenverschieblichkeit der Zwischenlager ergeben, werden in dem uns zugänglichen Schrifttum leider nicht, bzw. in einer nicht verstandenen Weise besprochen. So schreibt z.B. Ahrons (1927) S. 21 von der Schwierigkeit, die sechs Treibachslager aufeinander auszurichten. Dabei war das Problem doch gerade, die Zwischenlager 2 und 3 so anzuordnen, daß sie in der y-z-Ebene nicht miteinander und mit den Lagern 1 fluchten_ mussten, sondern dem Federspiel und der Durchbiegung der Treibachse folgen konnten.

Es sei weiter angemerkt, daß Stephenson das Bedenkliche der höhenverschieblichen Lager klar war. Um dem wenigstens etwas abzuwehren, hat er eine gewisse Zeit lang diese Lager durch eine darüber oder darunter gesetzte kleine Blattfeder zum Tragen herangezogen. Aber auch dies war eine ganz unklare Lösung und dazu eine Komplizierung der ganzen Maschine und wurde von ihm selbst schon 1832 wieder aufgegeben.

Es gab ab 1835 nach Matschoß (1908) S. 797 und Warren(1923) S.317 auch Ausführungen mit nur drei Zwischenlagern. Dabei wurden die beiden mittleren Fundamentträger etwa ab hinterem Ende der Kreuzkopfgleitbahnen zu einem einzigen Träger zusammengeführt, der dann auf Mitte Lok ein höhenverschiebliches Lager trug. Siehe dazu Abb. 3.2.1.b). Das bedingte, daß die sonst an dieser Stelle sitzenden Exzenter für die Steuerung, seitlich auseinander geschoben werden mussten, was aber kein Nachteil war.

Die Fundamentträger selbst waren mit ihrem Vorderende an die hinteren Zylinderdeckel, mit ihrem Hinterende an den Stehkessel angeschlossen. Hierbei ergibt sich die Frage nach etwaigen Wärmespannungen in dem System Kessel-Fundamentträger. Dafür haben wir ebenfalls einen quantitativen Überschlag gemacht :

Der Temperaturunterschied zwischen Kessel und Fundamentträgern liegt in der Größenordnung von mindestens 50 K . Allein dadurch entsteht – wenn man eine sehr große Steifigkeit des Kessels voraussetzt, was hier eine zu ungünstige Annahme ist – in den Fundamentträgern eine Zugspannung von etwa 11 300 N / cm², das entspricht mehr als der halben Streckgrenze von St 34 s.o.. Während die äußeren Fundamentträger an die sehr steifen Stehkessel-Seitenwände stoßen, sind die beiden mittleren im dort unversteiften Blech der Stehkesselfrontwand befestigt. Dort wird es zu Verformungen und sehr ungünstigen Nietbeanspruchungen kommen, es sei denn, die Verbindung sei in x-Richtung verschieblich gewesen. Dafür gibt es aber in den alten Zeichnungen keine Anzeichen. Tatsächlich berichtet Asmus (1984) auch über Schäden, die in diesem Bereich aufgetreten seien. Klensch hat diese x-Verschieblichkeit bei dem Adler-Nachbau 1935 stillschweigend eingeführt – das ist den Bauzeichnungen des „Adler“-Nachbaues zu entnehmen, nicht aber seiner Veröffentlichung – und dadurch den Stehkessel vorteilhaft entlastet.

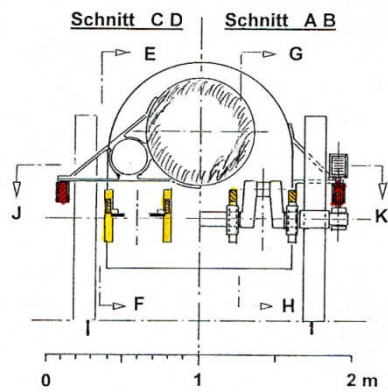


Abb. 2.10.2 SA-Triebwerk, Querschnitte

Kennzeichnungen:

- Rot:** Rahmen-Längsträger
- Gelb:** Fundamentträger
- Schraffiert:** Kessel

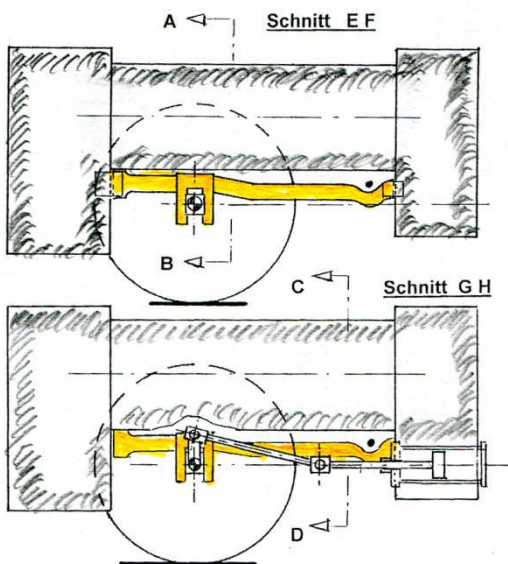


Abb. 2.10.3 SA-Triebwerk, Längsschnitte

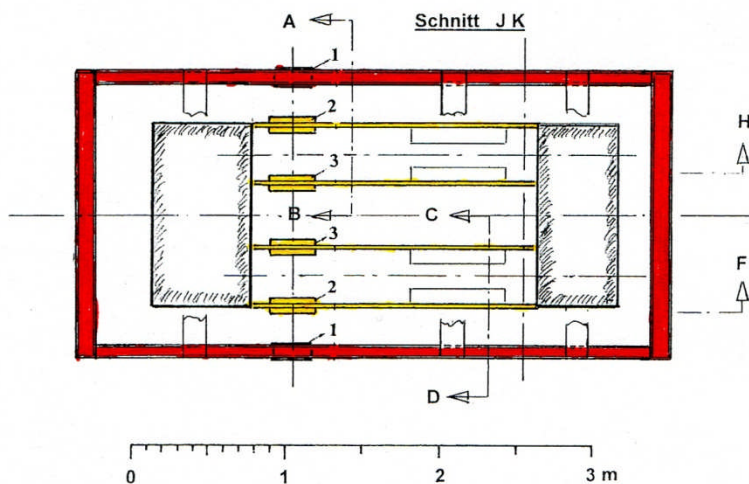


Abb. 2.10.4 SA-Triebwerk, Draufsicht

Natürlich kannte man seinerzeit die Wärmedehnungen. Deshalb überrascht es, daß man sich i.a. offenbar über ihre Auswirkungen bei einer komplizierten Maschine wenig Gedanken gemacht hat. Noch 1844 wurde bei der Beschreibung einer Lokomotive von Borsig ausdrücklich darauf hingewiesen, daß man die Wärmedehnungen des Kessels bei der Konstruktion der Lokomotive besonders beachtet habe.

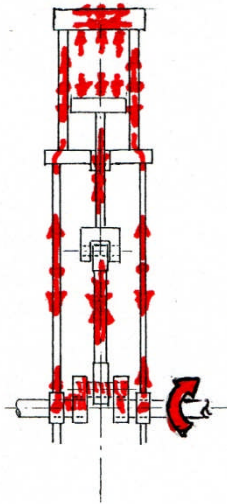


Abb. 2.10.7 Kraftfluß um die Dampfmaschine („Planet“)

Eine positive Eigenart der „SA“ ist der klar ausgebildete Kraftfluß im Triebwerk, siehe dazu Abb.2.10.7. Man erkennt dort, daß die Druckkraft, die vom Kolben letztlich auf die Lager der Kurbelwelle ausgeübt wird (und dabei das Drehmoment M_D bewirkt), von den Fundamentträgern als Zugkraft auf den Zylinderblock und schließlich den vorderen Zylinderdeckel zurück übertragen wird. Letzterer wird durch den Dampfdruck im Zylinder gegen die Zugkraft an Ort und Stelle gehalten. Dieser Kraftfluß ist in irgendeiner Form immer vorhanden, er war aber bei den ganz frühen Lokomotiven – und auch manchen späteren – viel komplizierter.

Die Entstehung der Zugkraft Z wird nach Abb. 2.10.8 deutlich, wenn man sich klar macht, daß das Rad mit seinem Lager gegen die Lagerführung drückt, wenn es durch das Drehmoment M_D (welches die Dampfmaschine erzeugt, s.o.) gedreht wird und auf der Schiene nicht gleitet. Diese Druckkraft ist gleich dem Anteil Z_R des dargestellten Rades an der Gesamt-Zugkraft Z . Z_R wird durch die Lagerführung in den Hauptrahmenträger und von dort zum Zughaken geleitet. Dies ist ein einfacher, gut zu beherrschender Kraftfluß. Sofern der

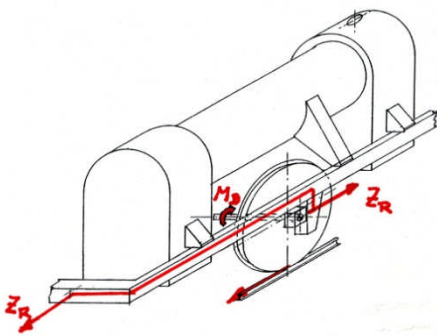


Abb. 2.10.8 Kraftfluß der Zugkraft Z (Zughaken am Rahmen)

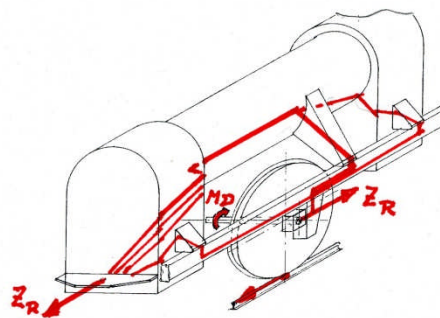


Abb. 2.10.9 Kraftfluß der Zugkraft Z (Zughaken am Kessel)

Zughaken allerdings am Kessel angeschlossen (Abb. 2.10.9), war der Kraftweg wesentlich komplizierter : Er führte vom Hauptrahmenträger über die Kesselkonsolen, von denen es meist drei auf jeder Seite gab, in den Kessel, vor allem in den Langkessel. In diesem lief er in den Stehkessel, an dessen Rückseite er in ein breites, waagerechtes Blech überwechseln musste, an dem der Zughaken schließlich angeschlossen. Dies ist ein statisch hoch unbestimmtes Problem und hat dazu mehrere 90°-Umleitungen mit hohen Spannungskonzentrationen. Praktisch sind die Spannungen hierbei nicht zu berechnen.

Trotzdem neigte man besonders bei Stephenson anfangs zu der Bauweise nach Abb. 2.10.9, wozu beigetragen haben mag, daß es sicher schwierig war ,den Anschluß der hölzernen hinteren Pufferbohle an die hölzernen Rahmenlängsträger wirklich dauerhaft herzustellen.

2-11 Die Lokomotive von Forrester

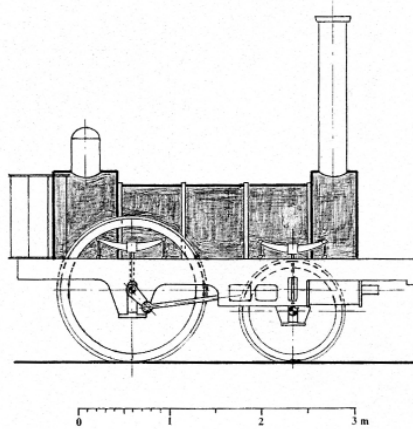


Abb. 2.11.1 Lokomotive von Forrester 1834

Baujahr 1834 Bauart : 1 A n2 Entwurf und Bau
: Forrester in Liverpool
Wichtigste Quellen : Colburn (1871); Jahn (1924)

Allgemeinbeschreibung

Diese Lokomotive haben wir hier aufgenommen, weil sie allem Anschein nach die erste ist, bei der die Zylinder liegend und in der Höhe von Mitte Treibachse außen am Rahmen befestigt sind. Damit ist hier schon eines der wesentlichen Kennzeichen der späteren Standardausführung verwirklicht worden. Leider sind die Skizzen in beiden Quellen so klein, daß wichtige Einzelheiten offen bleiben.

Rahmen und Laufwerk

Die Maschine hatte einen Außenrahmen, anscheinend war es ein Holzrahmen mit Blechbeschlag. Der Grund für die Verwendung eines Außenrahmens ist unklar, ein Innenrahmen hätte vieles einfacher gemacht. Möglicherweise wollte Forrester die Treibachslager außerhalb der Räder haben, um durch eine breitere Federbasis das Wanken der Lokomotive (Schwingungen um die x-Achse) zu vermindern.

Triebwerk

Die Kurbeln waren auf die verlängerte Treibachse aufgekeilt (sog. Aufsteckkurbeln). Dies bedeutete eine Vergrößerung der durch die Kolbenkraft auf die Treibachse ausgeübten Biegemomente. Nur so aber konnten die Zylinder direkt an dem Außenrahmen befestigt werden. Da es keine Innenzylinder gab, war die Treibachse ungekröpft und auch für Zwischenlager gab es keinen Bedarf. Das Triebwerk war also erfreulich einfach, Abb. 3.2.1.e). Allerdings war der Kraftfluß in Rahmen und Zylinder unsymmetrisch und erforderte deswegen eine kräftige und schubfeste Querverbindung zwischen den Rahmenwangen im Zylinderbereich. Das ist bis zum Ende des Dampflokomotivbaues so geblieben.

Diese Konstruktion führte dazu, daß die Zylinder sehr weit von der Mittelachse der Lok entfernt waren wodurch die Maschine zu relativ starken Schwingungen um die z-Achse („Schlingern“) neigte. Wegen dieser Eigenschaft führte sich die Bauart auch nicht recht ein.

2-12 Die Lokomotive „Adler“ (Typ „Patentee“)

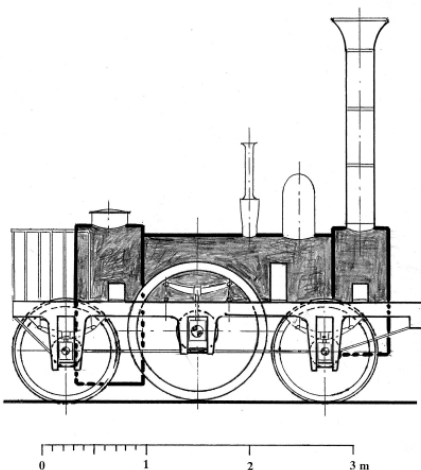


Abb. 2.12.1 Lokomotive „Adler“ 1835

Baujahr 1835 Bauart : 1A1n2 Entwurf und Bau : R.
Stephenson & Co.
Wichtigste Quellen : Warren (1923), Nachbau von 1935
auf der Nürnberger Ausstellung 2010, Generalplan und
Einzelzeichnungen des Nachbaues (DB-Museum
Nürnberg)

Allgemeinbeschreibung

„Adler“ war die erste, in Deutschland mit Erfolg eingesetzte Dampflokomotive. Sie wird hier vor allem gebracht, weil sie Stephenson's Typ „Patentee“ entsprach, wenn sie auch leichter als dessen Regelausführung war. Dieser Typ war aus der „Planet“ abgeleitet. Das wichtigste von einer ganzen Reihe von Patenten dazu trägt die

Nummer 6484 und stammt von 1833. Es bezog sich zunächst auf eine B1 n2-Lokomotive, gebaut wurden aber ganz überwiegend 1A1 n2-Maschinen. Die Unterschiede zur „Planet“ waren bis auf die zusätzliche Laufachse hinter dem Stehkessel und einen größeren Kessel gering. Die Laufachse war hinzugefügt worden, weil die zweiachsigen Lokomotiven zu Nickschwingungen um die y-Achse neigten (siehe insbesondere hierzu Jahn (1924) S. 23), außerdem ermöglichte die dritte Achse eine großzügigere Ausführung des Stehkessels und überhaupt einen leistungsfähigeren Kessel.

Für die technischen Einzelheiten vergleiche man die Ausführungen über die Lokomotive „Planet“ in Abschn. 2-10 .

Rahmen und Laufwerk

Die Rahmenträger bestanden aus einem im Querschnitt rechteckigen Holzkern aus Eschenholz (etwa 140 x 70 mm) der auf seinen vertikalen Flächen mit Stahlblech (etwa 8 mm) beschlagen war. Gegenüber Belastungen in der x-y-Ebene hatte der Kern dann im wesentlichen nur die Funktion eines Abstandshalters, während er bei Belastungen in der x-z-Ebene den Blechen als Versteifung gegen Beulen diente. Die Beschlagbleche – die mittels Durchgangsschrauben mit dem Kern verbunden waren – liefen über die Länge der Lokomotive durch. Die Lagerführungen aller Achsen waren auf diese Beschlagbleche aufgesetzt.

Eine Besonderheit der „Patentee“-Type war die spurkranzlose Ausführung der Treibräder. Sie sollte nicht etwa das leichtere Durchfahren von Gleisbögen ermöglichen, sondern die Treibachse, die ja doppelt gekröpft und daher recht empfindlich war, vor Stößen in y-Richtung schützen. Stephenson hatte darauf ein Patent genommen, wie lange er wirklich so gebaut hat, wissen wir nicht.

Triebwerk

Das Triebwerk entsprach völlig der Form „SA“, wie es in Abb. 2.10.2 bis 2.10.4 und 3.2.1.a) dargestellt ist. Die Kreuzkopf-Gleitbahnen waren an die Fundamentträger angeschraubt, dazu trugen letztere besondere Ansätze. Die Fundamentträger waren von Anfang an aus Stahl.

2-13 Die Lokomotive „La Seine“

Baujahr etwa 1835 Bauart : 1 A n2 Entwurf und Bau : E. Bury, Liverpool

Wichtigste Quellen : Armengaud (1839)

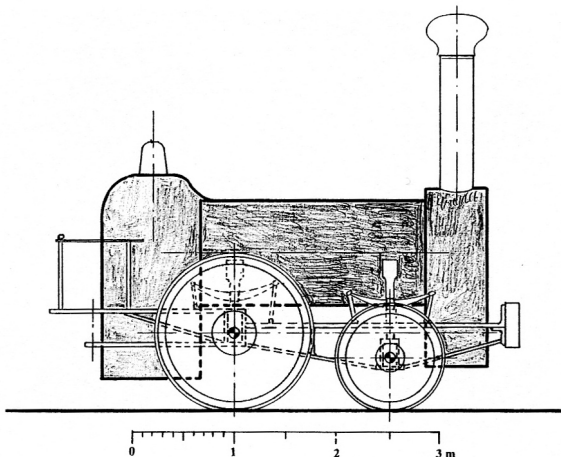


Abb. 2.13.1 Lokomotive „La Seine“ 1835

Allgemeinbeschreibung

Diese von Bury nach Frankreich gelieferte Lokomotive, deren genaues Baujahr unsicher ist, entspricht einer von ihm in relativ großer Zahl gebauten Type. Während man sie äußerlich fast mit der „Planet“ verwechseln könnte, weist sie im Rahmenbau und im Triebwerk eine völlig andere Konstruktion auf : Im Gegensatz zu „Planet“ liegt der Rahmen der „La Seine“ zwischen den Treibrädern, ist also ein Innenrahmen, wie bei „Rocket“. Anders als bei anderen Innenrahmen-Lokomotiven (z.B. „Rocket“), liegt hier aber auch das Triebwerk innen.

Bury hat damit eine geglückte, aber auch recht eigenwillige Konstruktion entwickelt, seine Lokomotiven waren auch wegen ihrer handwerklich besonders sauberen Ausführung berühmt. Leider hielt er noch unbeirrt an zweiachsigen Bauweisen fest, als damit die inzwischen verlangten Leistungen nicht mehr zu erbringen waren (weil die dafür nötige Kesselmasse für zwei Achsen zu groß war), was ihn in erhebliche Schwierigkeiten brachte.

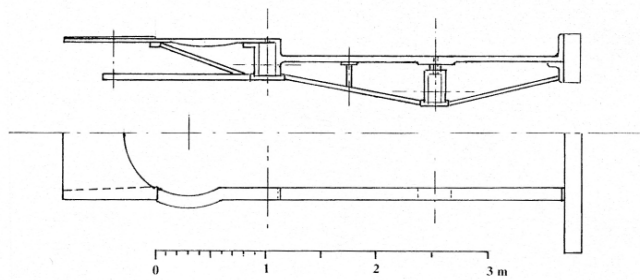


Abb. 2.13.2 Rahmen „La Seine“ nach Armengaud (1841)

Rahmen und Laufwerk

Burys Rahmen aus liegenden Flacheisen (Abb. 2.13.2) war sicherlich von Stephenson's Rahmen für die „Rocket“ (Abb. 2.6.2) beeinflusst. Man erkennt vor und hinter der Laufachse und hinter der Treibachse die für ein Träger-Fachwerk typischen Dreiecke, wenn sie auch keineswegs ideal ausgebildet waren. Immerhin bildet die Lagerführung der Treibachse einen recht steifen Übergang zwischen den

Rahmenteil vor und hinter der Treibachse. Die Flacheisen waren wesentlich dicker als bei der „Rocket“, nämlich etwa 40 mm gegenüber 25,4 mm bei dieser. Die Schrägstreben scheinen Rundeisen gewesen zu sein, ihre Endanschlüsse an den Rahmenteil bzw. den Achsgabelstegen gehen aus den Zeichnungen von Armengaud (1839) nicht hervor – wie man überhaupt diese Zeichnungen bei aller darstellerischen Schönheit als nicht sehr genau bezeichnen muß.

Triebwerk

Wie bei „Planet“ lagen die Zylinder und damit das Triebwerk zwischen den Rahmenwangen, deshalb war die Treibachse wieder doppelt gekröpft. Es fehlten aber die Fundamentträger und die Treibachse war nur in den Rahmenwangen gelagert, also nur zweimal, d.h. statisch bestimmt, was ein großer Vorteil ist. Damit gab es die bei „Planet“ ausführlich besprochenen vielen Schwierigkeiten der „SA“ nicht mehr. Dies war ein weiterer Schritt zu der dann klassisch gewordenen Bauart der Dampflokomotive. Hierbei war der Abstand der beiden Achslager wesentlich geringer als der Abstand der Außenrahmenlager bei „Planet“, nämlich etwa 1100 mm gegenüber etwa 1800 mm dort. Entsprechend kleiner wurden die maßgebenden Biegemomente in der Achswelle.

Der Kraftfluß zwischen den Zylindern und den Lagern der Treibachse musste bei dieser Maschine aber über den Kessel und die jenseits zwei Konsolen in den Rahmen gehen, eine ausgesprochen unerfreuliche Konstruktion, die einer auch nur halbwegs befriedigenden Berechnung der Spannungen im Material nicht zugänglich war.

2-14 Die Lokomotive „Saxonia“

Baujahr 1838 Bauart : B1 n2 Entwurf : Schubert Bau : Dresden-Übigau
Wichtigste Quellen : Schnabel (1988), Nachbau auf der Nürnberger Ausstellung 2010

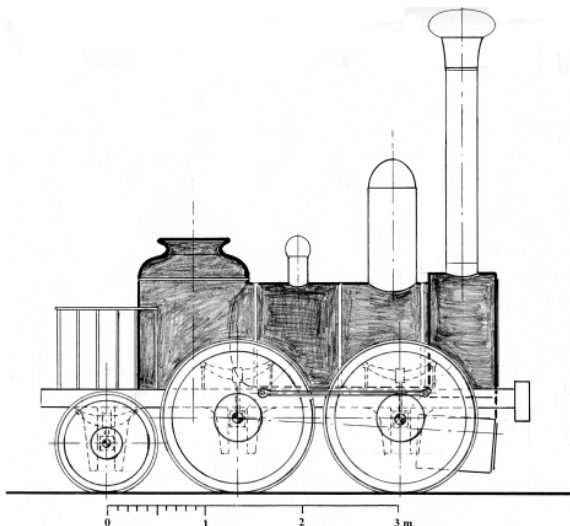


Abb. 2.14.1 Lokomotive „Saxonia“ 1838

Allgemeinbeschreibung

Man kann wohl annehmen, dass Schubert die „Adler“ genau besichtigt hat und auch die Burysche Konstruktion kannte, mit der die „Saxonia“ viele Ähnlichkeiten hat. Jedenfalls konnte er bei dem Entwurf der „Saxonia“ – der ersten in Deutschland entworfenen und gebauten, betriebsfähigen Lokomotive – die bei der „Planet“, Abschn. 2-10, erwähnten Triebwerks-Probleme geschickt vermeiden.

Auch die „Saxonia“ ist mehrfach umgebaut worden, z.B. wurde die Laufachse später entfernt, nach nur zwei Jahren aber wieder angebaut. Man hat

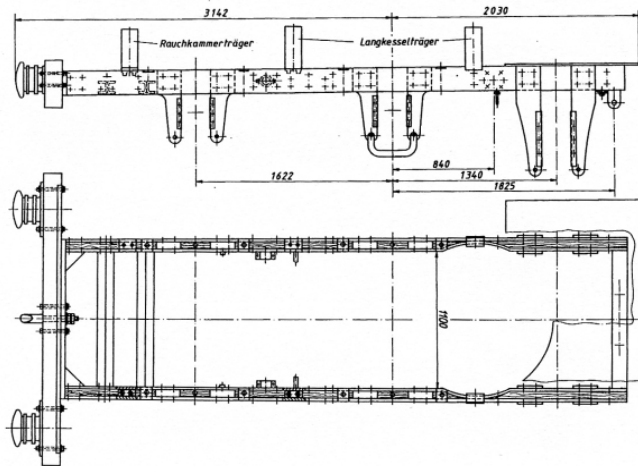


Abb. 2.14.2 Rahmen „Saxonia“ nach Schnabel (1988)

also anscheinend lange und aufwändig experimentiert.

Rahmen und Laufwerk

Der Rahmen – ein Innenrahmen, Abb. 2.14.2 – hatte einen Holzkern (etwa 200 x 50 mm), der mit verhältnismäßig dicken Blechen beschlagen war. Im Gegensatz zu den Beschlagblechen lief der Kern aber nicht durch, sondern war durch die etwa 50 mm dicken Wangen der Führungen für die Treibachslager unterbrochen, die ihn insoweit ersetzen. Damit waren die Treibachslager kräftiger geführt als bei den bisher behandelten Lokomotiven. Die

Achslagerführungen der Laufachse bestanden demgegenüber aus Blechen, die auf die Beschlagbleche aufgesetzt waren.

Um Platz für den ähnlich wie bei Bury ausgebildeten, im Horizontalschnitt weitgehend kreisrunden Stehkessel zu schaffen, waren die inneren Beschlagbleche in diesem Bereich an die äußeren herangeführt, so daß dort überhaupt kein Kern vorhanden war.

Bei dem Nachbau sind die seitlichen Konsolen Stephensonscher Art nicht vorhanden, die Rauchkammer ruht auf den unten erwähnten Querträgern, der Langkessel auf einem Sattel, der Stehkessel ist direkt an den Rahmen angeschlossen.

Triebwerk

Das Triebwerk der „Saxonia“ lag zwischen den Rahmenwangen, deshalb musste die Treibachse zweifach gekröpft sein. Die Lager der Treibachse saßen zwischen den Rädern und den Kröpfungen, weitere Lager fehlten, Abb. 3.2.1.d). Schubert traute sich also zu, die Treibachse so zu bauen und hatte damit Erfolg. Die Zylinder waren wie bei der „Patentee“ im Unterteil der Rauchkammer eingebaut und lagen sehr tief, damit das Triebwerk unter der Vorderachse angeordnet werden konnte. (Bei dem Nachbau wurde das Unterteil der Rauchkammer fortgelassen, die Zylinder hängen nun, unabhängig vom Kessel, an zwei kräftigen Querträgern, aber an ihrem alten Ort. Damit ist ihre Zugänglichkeit wesentlich verbessert worden und der Kraftfluß in dem ganzen System auch.)

2-15 Die Lokomotive „Odin“

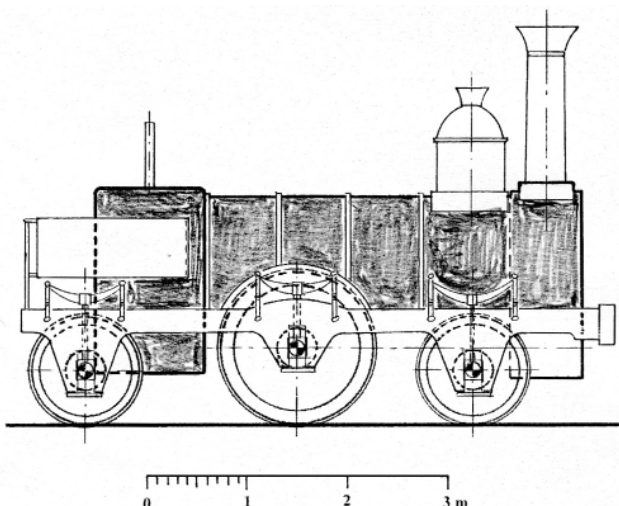


Abb. 2.15.1 Lokomotive „Odin“ 1846

Baujahr 1846 Bauart : 1A1 n2 Entwurf und Bau : Sharp Brothers & Co., Manchester Quelle : Bailey / Glithero (2004)

Allgemeinbeschreibung

„Odin“ war die erste Lokomotive in Dänemark, weshalb man Anfang des 21. Jahrhunderts dort einen betriebsfähigen Nachbau wünschte. Da auch in diesem Fall keinerlei Original-Zeichnungen zur Verfügung standen, wurde das Büro Bailey / Glithero in Hyde, England mit der Erstellung von Unterlagen für die eigentlichen

Konstruktionsarbeiten beauftragt. Das Ergebnis ist der Bericht Bailey / Glithero (2004), in dem auch die bei der Rekonstruktion zu überwindenden Schwierigkeiten eingehend beschrieben sind. Damit besitzen wir jedenfalls eine eingehende Darstellung über viele technische Einzelheiten einer Lokomotive jener Zeit, der Hauptgrund dafür, die Maschine hier zu besprechen.

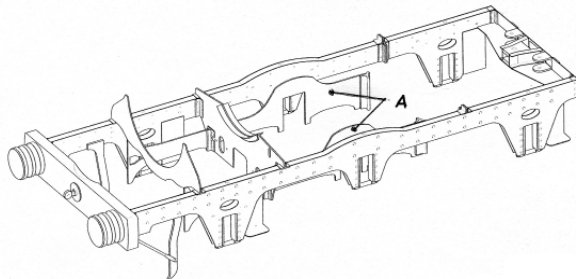


Abb. 2.15.2 Rahmen „Odin“ nach Bailey/Glithero (2004)

Rahmen und Laufwerk

Der Aufbau der Maschine zeigt deutliche Züge des Patentee-Typs. Der Rahmen hatte einen Kern von Eschenholz (222 x 76 mm), beidseitig mit 9,5 mm – Blechen beschlagen. Diese Bleche gingen in die Lagerführungen der drei Achsen über. Ein waagerechtes Deckblech (6,4 mm), das aber nicht durchgehend und deshalb für die Gesamtfestigkeit des Rahmens fast ohne Bedeutung war, schloß den Träger nach oben ab. Die

Tenderkupplung griff an der hinteren Pufferbohle an, der Kessel war also in vorteilhafter Weise von der Zugkraft der Maschine unberührt, siehe Abb. 2.10.8 .

Die Pufferbohlen und zwei Querbleche ergaben eine gute Querversteifung. Der Kessel ruhte zum einen in einem Sattel des zweiten der erwähnten Querbleche, zweitens stützte er sich über am Stehkessel anschließende, großflächige Blechkonsolen auf den Rahmen. Insgesamt dürfte diese Verbindung wesentlich zweckmäßiger gewesen sein, als die Konsolen des Patentee-Typs.

Zwei Fundamentträger sind vorhanden, mehr dazu siehe unten.

Triebwerk

Zwei liegende Zylinder befanden sich unterhalb der Rauchkammer, sie waren miteinander zu einem einzigen, sehr steifen Zylinderblock verschraubt. Auf jeder Seite war, wie erwähnt, ein (und nur ein) Fundamentträger zwischen der Kurbel und dem Rahmen-Träger angeordnet, dies ist ein deutlicher Unterschied zum Patentee-Typ. Der Fundamentträger („A“ in Abb. 2.15.2) verbindet die Zylinder mit dem Stehkessel, vgl. Abb.3.2.1.c). In ähnlicher Art wie in Abschn. 2-10 beschrieben, trug auch er ein höhenverschiebliches Lager für die Treibachse. Immerhin wurden – wenn das Zwischenlager in x-Richtung wirklich gut trägt ! – außer den Massenkräften wohl kaum freie Kräfte an den Kessel bzw. den Hauptrahmen der Lokomotive abgegeben. Andererseits scheint uns die Anordnung von Lager 2 so dicht am Lager 1 ein recht großer Aufwand im Verhältnis zu der dadurch bewirkten Verringerung der Beanspruchung der Treibachse zu sein. Möglicherweise war das Lager 2 aber hauptsächlich als Sicherung für den Fall eines Bruches der Treibachse gedacht.

Die Treibachse ist bei Bailey / Glithero (2004) in den Grundzügen vermaßt, deshalb haben wir auch für sie eine überschlägige Festigkeitsrechnung in der gleichen Art wie bei „Adler“ durchgeführt. Danach ist die Achse wesentlich niedriger belastet als die von „Adler“. Wie dort wirft diese Tatsache die gleichen Fragen bezüglich der Berechnungsmöglichkeiten und der technologischen Verfahren der Entstehungszeit der Maschine auf, die wir nicht beantworten können.

3-0 Der Entwicklungsgang

3-1 Von 1800 bis 1830

Die folgende Darstellung der ersten Schritte der Entwicklung der Dampflokomotive hat als Grundlage, was über die ersten Lokomotiven im wesentlichen in Abschn. 2 gesagt wurde. Selbstverständlich findet man im Schrifttum noch mehr Material, doch nur sehr wenig an handfesten Aussagen und Bewertungen des Fortganges der Entwicklung.

Wir vermuten, daß Trevithick die Konstruktion seiner Lokomotive so anging, daß er (stark verkürzt gesagt !) eine passende Dampfmaschine mit einem zu ihr passenden Kessel zusammenbaute und auf vier Räder stellte und Maschine und Räder über ein Zahnradgetriebe kuppelte. Er beurteilte die Festigkeit des Kessels dabei zutreffend als hoch genug, um die geometrische Lage der einzelnen Teile zueinander auch im Betrieb zu erhalten. Die Nachteile, die wir in Abschn. 2-1 schilderten, werden sich erst im Laufe der Zeit heraus gestellt haben. Deshalb sind Ausführungen **ohne Rahmen**, d.h. mit selbsttragendem Kessel, bis zum Ende der 20er-Jahre gebaut worden, siehe z.B. Abschn. 2-7 .

Abgesehen von Trevithicks Lokomotive hatten alle damaligen Maschine zwei Zylinder, die z.T. stehend hintereinander aus dem Kessel herausragend, z.T. stehend neben dem Kessel angeordnet waren. Das Triebwerk war sehr filigran aus relativ dünnen Stangen und Balancierhebeln aufgebaut. Derartige Lokomotiven entstanden in nennenswerter Anzahl bis etwa zum Ende der 20er-Jahre, vielfach für Werksbahnen von Kohlengruben (vgl. Abschn. 2-2 bis 2-5), einzelne waren nach Warren (1923) S. 11 ff. dort noch Jahrzehnte später in Betrieb.

Die ersten Maschinen mit einem besonderen Rahmen traten aber schon Ende der 10er-Jahre des 19. Jahrhunderts auf. Sie hatten einen **Innenrahmen**, d.h. der Rahmen lag zwischen den Ebenen der Räder. Dies ist die Art, in der auch die traditionellen, pferdebespannten Wagen für den Straßenverkehr seit alters gebaut wurden, dementsprechend baute man die Rahmen aus einfachen Holzbalken. Die Vorteile dieser Bauart und damit der Grund ihrer Einführung, sind die Möglichkeit einer guten Querversteifung des Rahmens und ggwbfs. die einfachere Federung, s.u., auch werden die Radsätze leicht, weil die Achsen kürzer und durch Biegung weniger beansprucht sind, was sinngemäß auch für die Rahmen-Querträger gilt. Ferner waren neben dem Kessel stehende Zylinder ohne Rahmen nur schwer zu verwirklichen. Man vergleiche dazu „Sans Pareil“, Abschn. 2-7 (wo es gelungen war) und „Marc Seguin“, Abschn. 2-9 (wo es misslang). Die Rahmenbeanspruchung war bei den zweiachsigen Maschinen überschaubar und nicht sehr hoch.

Offenbar erkannte man gegen Ende der 10er-Jahre auch die Bedeutung einer vernünftigen **Federung** für die Lokomotive. Gesichtspunkte dafür sind ebenfalls in Abschn. 2-1 zusammengestellt. Federn und die bei ihnen erforderlichen Achslagerführungen sind aber konstruktiv an einen Rahmen viel besser anzuschließen als unmittelbar an einen Kessel. Ob der Rahmen ein Innenrahmen oder ein Außenrahmen ist, spielt für die Federung keine große Rolle.

Die bis dahin entstandenen Maschinen arbeiteten durchweg vor Güterzügen. Als man Ende der 20er-Jahre auch den Personenverkehr aufnahm, fehlten dafür **schnellere Lokomotiven**. Es ist ein großes Verdienst der Leitung der Stockton-Darlington-Eisenbahn, einen Wettbewerb zur Schaffung derartiger Maschinen ausgeschrieben zu haben. Dieser führte 1829 zu den bekannten Vergleichsfahrten von Rainhill, die mit besonders dafür entworfenen und gebauten Lokomotiven beschickt wurden. Letzten Endes nahmen nur die drei hier in den Abschnitten 2-6, 2-7 und 2-8 beschriebenen Maschinen daran teil, von denen die „Rocket“ bekanntlich die mit Abstand besten Ergebnisse erzielte. Zu den Vergleichsfahrten möchten wir bemerken, daß sie natürlich nur einen Vergleich der reinen Leistungsdaten und des Fahrverhaltens ermöglichten. Dagegen konnte nach ihnen kaum etwas über die Schadensanfälligkeit und die Unterhaltungskosten der Maschinen gesagt werden.

Mit „Rocket“ begann eine neue Epoche im Lokomotivbau insofern, als die Kolbenkraft im Gegensatz zu den bis dahin verwendeten komplizierten Gestängen und Hebeln auf dem denkbar kürzesten Weg an den Treibzapfen der Räder angriff (vgl. hierzu Abb. 2.6.1) und dadurch auch eine einfache Federung der Maschine möglich wurde. Der aus Flachstählen aufgebaute Innenrahmen war ebenfalls ein neues, wenn auch noch nicht ausgereiftes Bauelement, siehe hierzu Abschn. 2-6 .

Die sehr in Eile entworfene und gebaute „Rocket“ war trotzdem eigentlich von Anfang an überholt, jedenfalls muß sich bei Stephenson schon vor 1829 die Erkenntnis durchgesetzt haben, daß a) die vorlaufenden großen Treibräder des Typs „Rocket“ leicht Entgleisungen der Lokomotive verursachen konnten (weil ein großes Rad leichter an der Schiene aufklettert als ein kleines) und daß b) die bis dahin verwendeten Treibachsen zum Bruch neigten, der mit großer Wahrscheinlichkeit ebenfalls zu einer schwerwiegenden Entgleisung führte.

3-2 Ab 1830

Um den im vorigen Abschnitt zum Schluß genannten Gefahren zu begegnen, entwickelte Stephenson einen ganz neuen Typ, der mit „Rocket“ kaum noch etwas gemeinsam hatte. Seine erste Vertreterin war die „Planet“, 1830, Abschn. 2-10. Im Hinblick auf a), s.o., wurde dabei aus der Bauart A1 der „Rocket“ eine 1A. Um nun auch bei einem Bruch der Treibachse die Lokomotive rollfähig zu halten (gemäß b) s.o.), wurden die Hauptrahmenträger – im Gegensatz zu „Rocket“ waren sie wieder aus Holz gebaut – **außerhalb der Treibräder, als „Außenrahmen“**, angeordnet und die Zylinder liegend zwischen ihnen. Damit war es möglich, die Treibachse auf beiden Seiten jedes Treibrades zu lagern, womit die Gefahr nach b) etwas eingeschränkt war, denn bei einem Achsbruch konnte das betr. Treibrad (jedenfalls theoretisch) noch etwas Last übernehmen, womit ein Umstürzen der Lokomotive verhindert wurde. Die Treibachse erhielt zusätzlich zwei weitere, höhenverschiebliche Lager, um sie wenigstens in der x-y-Ebene besser zu stützen. Diese Maschinenanordnung, die wir „SA“ nennen und in Abschn. 2-10 eingehender behandeln, und die bald durch das Hinzufügen einer Laufachse hinter dem Kessel ergänzt wurde, siehe Jahn (1924) S.24 ff., führte zu dem neuen Typ „Patentee“ von etwa 1833 (siehe Abschn. 2-12) und Abb. 3.2.1.a). Von ihm wurden große Stückzahlen gebaut, es wurden auch Lizenzen vergeben.

Der große Erfolg der Typen „Planet“ und „Patentee“ darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, daß die „SA“ auch erhebliche konstruktive Schwächen aufwies. Dies waren die vier höhenbeweglichen Zwischenlager der Treibachse, der unbefriedigende Kräfteverlauf zwischen Achslagern und Zughaken, sowie überhaupt das komplizierte System von Außenrahmen und Fundamentträgern. Deshalb blieb die „SA“ nur eine Episode – wenn auch eine sehr wichtige – in der Konstruktion von Dampflokomotiven. Stephenson brachte 1841 die „Long Boiler“-Lokomotive heraus und ersetzte damit die „Patentee“. Anstelle der „SA“ hatte der neue Typ einen als Plattenrahmen gebauten Innenrahmen, in dem die weiterhin doppelt gekröpfte Treibachse mit nur zwei Lagern gelagert war – entsprechend hier den Abschnitten 2-13 „La Seine“ und 2-14 „Saxonia“, Abb. 3.2.1.d), bei diesen Lokomotiven hatte man diesen Schritt schon weit früher getan. Offensichtlich waren inzwischen die Technik und das Vertrauen in sie so weit fortgeschritten, daß Stephenson sich dem nicht entziehen konnte. Dies war jedoch nach dem hier eigentlich betrachteten Zeitraum.

Auch die Wettbewerber von Stephenson entwarfen und bauten weiterhin technisch andersartige Lokomotiven. Dafür haben wir in den Abschnitten 2-11, und 2-13 bis 2-15 einige Beispiele angeführt. Stephenson selbst hat die „SA“ auch weiter entwickelt und zwar verminderte er zunächst ganz logisch die Zahl der Zwischenlager von vier auf drei, indem er die beiden inneren Fundamentträger ab den Kreuzkopf-Gleitbahnen zu einem vereinigte (siehe Abb. 3.2.1.b)). Zeitweilig baute er auch über oder unter den Zwischenlagern noch Federn ein, zog sie also begrenzt (und in praktisch unkontrollierbarem Maße) zum Tragen in z-Richtung mit heran. Das bewährte sich aber nicht. Eine entsprechende Konstruktion, noch von etwa 1860 (!), zeigt Jahn (1924), Abb. 15.

Soweit wir sehen, baute Forrester schon 1834 die erste Lokomotive mit **außen liegenden, am Außenrahmen befestigten Zylindern** (Jahn (1924) S.22), Abschn. 2-11 und Abb. 3.2.1 e). Ob auch noch ein Innenrahmen vorhanden war, geht aus den Skizzen nicht hervor, es ist aber unwahrscheinlich. Wenn man auch damals offenbar komplizierte Konstruktionen leichteren Herzens in Kauf nahm als etwa heute, so ist der Fortfall der schwierigen Einzelheiten der „SA“ (Fundamentträger, höhenverschiebliche Zwischenlager und, vor allem, die doppelt gekröpfte Treibachse) doch als ein wichtiger Fortschritt anzusehen. Warum Forrester bei dem Außenrahmen blieb, ist nicht klar, vermutlich wirkte die (damalige) Neuerung der außen liegenden Haupt-Treibachslager (Lager 1) da mit. Er wollte sicher nicht allzu viel Neues auf einmal wagen, was ein vernünftiges, ingenieurmäßiges Vorgehen ist.

Die erste Lokomotive mit **Innenrahmen und Außenzylindern** fanden wir bei Colburn (1871), Seite 52. Die Lokomotive mit der Bauart 2'B n2 soll 1837 von Eastwick & Harrison in Philadelphia, also in Amerika, gebaut worden sein. Sie verkörpert schon den Typ der „American Locomotive“, wie er dann über Jahrzehnte eine unglaublich weite Verbreitung erfuhr. Allerdings waren die Zylinder bei dieser Maschine noch an der Rauchkammer befestigt. Auch dies war wohl eine Erinnerung an viele vorhergehende Typen, die aber einen sehr verwickelten Kraftfluß zwischen Achse und Zylinder

bedingte. Damit war man der konstruktiv einfachsten Bauweise, die bis zum Ende der Dampflokomotivzeit vorherrschte, aber schon sehr nahe. Der entscheidende Schritt zum **Innenrahmen mit daran angeschlossenen Außenzylindern** wurde erst später getan, s.u.

Es erscheint uns bemerkenswert, daß die hier zuletzt genannte Maschine gleichzeitig mit dem „Patentee“-Typ auftrat und an sich nur wenig Beachtung erfuhren (Jahn (1924), S.33). Die Entwicklung verlief also keineswegs geradlinig sondern mit großen Überlappungen. Man war sich über die optimale Triebwerks-Anordnung eben noch im Unklaren, sie schälte sich erst aufgrund von jahrzehntelangen Versuchen und Betriebserfahrungen heraus. Die Vielzahl der gemachten Versuche berücksichtigen wir mit drei Maschinen :

Die erste sei die „La Seine“, eine 1A n2 die von Bury in Liverpool für Frankreich gebaut wurde, siehe Abschn. 2-13. Sie entstand praktisch gleichzeitig mit der „Planet“, hat aber einen Innenrahmen aus Flacheisen, der stärker und beanspruchungsgerechter als bei „Rocket“ aufgebaut ist, wenn auch noch nicht optimal. Die wegen der Innenzylinder wie bei „Planet“ doppelt gekröpfte Treibachse ist nur in den Rahmenwangen gelagert (Abb. 3.2.1.d)), die Stephenson'schen Zwischenlager gibt es hier also nicht, den günstigen Kraftfluß der „Planet“- od. „Patentee“-Maschine allerdings auch nicht. Trotzdem halten wir „La Seine“ für gelungener als diese, daß sie sich weniger durchsetzen konnte, hatte andere Gründe, siehe dazu Jahn (1924) S. 78.

Als zweite muß die „Saxonia“ von 1838 erwähnt werden, eine B1 n2, siehe Abschn. 2-14 und ebenfalls Abb. 3.2.1.d). Rahmen und Triebwerk hatten bei ihr im wesentlichen den gleichen Aufbau wie bei „La Seine“, also Innenrahmen, liegende Innenzylinder, nur zwei mal gelagerte Treibachse, was angesichts der Pionierrolle, die Schubert in Deutschland spielte, hoch anzuerkennen ist. Allerdings mußte die Treibachse noch doppelt gekröpft sein und der Rahmen folgte noch der Patentee-Bauweise, d.h. ein Holzkern ist mit starkem Blech beschlagen. Der Kern lief aber nicht durch, trug selbst also kaum. Auch Schubert versuchte nicht allzu viel Neues auf einmal.

Als letzte Maschine haben wir „Odin“, Abschn. 2-15, aufgenommen, eine 1A1 n2, die Sharp 1846 für Dänemark baute. Sie hatte die Achsanordnung des „Patentee“-Typs, wich von ihm aber grundlegend dadurch ab, daß die Treibachse auf jeder Seite durch nur ein höhenverschiebliches Zwischenlager gestützt wurde, Abb. 3.2.1.c). Das war, wenn wir es heute betrachten, ein Rückschritt, gegenüber „La Seine“ (1835) und „Saxonia“ (1838). Aber etwa zehn Jahre nach diesen Maschinen war die Besorgnis vor einem Bruch der Treibachse bei manchen Leuten noch so groß, daß man die umständliche Konstruktion in Kauf nahm.

Mit „Odin“ haben wir den selbst gesteckten Zeitrahmen schon etwas überschritten. Wir möchten aber sagen, daß Anfang der 40er-Jahre die Zeit des Tastens nach zuverlässigen und relativ einfachen Rahmen- und Triebwerkskonstruktionen vorbei war. Bemerkenswerterweise wurde die Bauweise, die sich schließlich weltweit durchsetzte – **Außenzylinder, am Innenrahmen befestigt**, Abb. 3.2.1.f) – vor allem in Amerika voran getrieben. Wir fanden diese Anordnung zum ersten mal bei der „Licking“, einer amerikanischen 2'A n2 von 1846, (White (1979), S. 45.

Dies alles bezieht sich auf die Anordnung von Rahmen und Zylindern. Grundsätzliche Änderungen daran gab es in dem hier behandelten Zeitraum bis etwa 1840, und auch bis zur Aufgabe des Baues von Dampflokomotiven, dann nicht mehr.

Es sei noch nachgetragen, daß die Entwicklung bei der Ausführung der Rahmen nach 1840 weiter ging : Die beplatteten Holzrahmen wurden bald aufgegeben, ebenso die fachwerkähnlichen Bauweisen von Stephenson und Bury. An ihre Stelle traten genietete Plattenrahmen aus Blechen, dann Barrenrahmen die aus dicken, gewalzten Blechen zusammengebaut waren – in Amerika nicht selten auch aus Stahlgussteilen. Diese gab es zwar in Europa auch, jedoch nur so selten, daß es kaum Zeugnisse darüber gibt. Später baute man daneben wieder Plattenrahmen aus Blechen, nunmehr aber geschweißt. In Amerika führten sich auch Rahmen aus Stahlguß („locomotive beds“) ein, bei denen beide Rahmenwangen mit den Querverbindungen, Zylindern und anderen Teilen aus einem einzigen Gussstück bestanden. Das alles lag aber weit hinter dem Zeitraum, mit dem wir uns hier beschäftigen wollten.

rot Hauptrahmen

gelb Fundamentträger

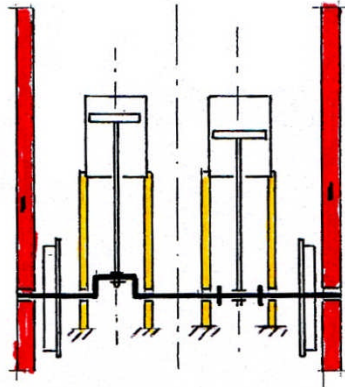


Abb. 3.2.1a

Die eigentliche Stephensonsche
Anordnung : SA mit 4 Zwischenlagern
(Abschn. 2-10 und 2-12)

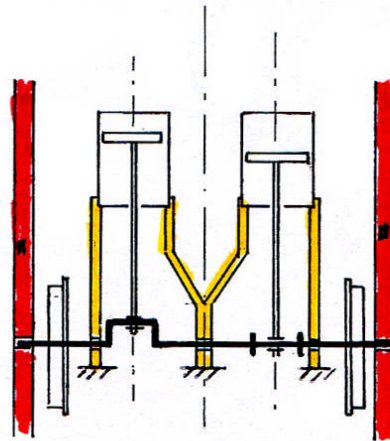


Abb. 3.2.1b

SA mit 3 Zwischenlagern
(Abschn. 2, S. 17)

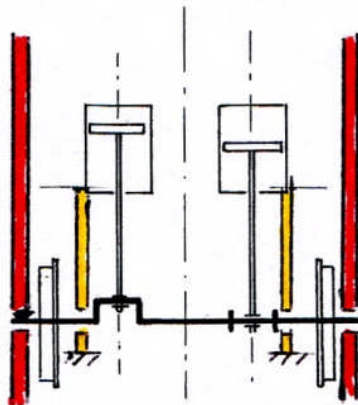


Abb. 3.2.1c

SA mit 2 Zwischenlagern
(Abschn. 2-15)

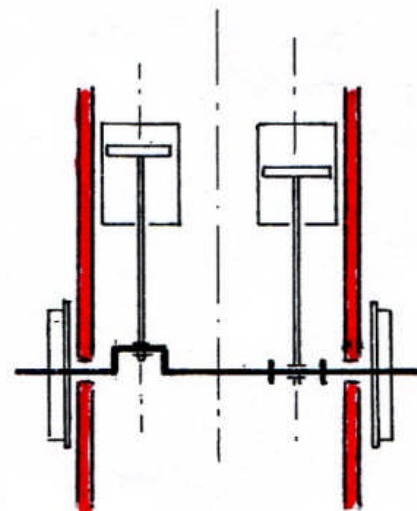


Abb. 3.2.1d

Anordnung ohne Zwischenlager
(Abschn. 2-13 und 2-14)

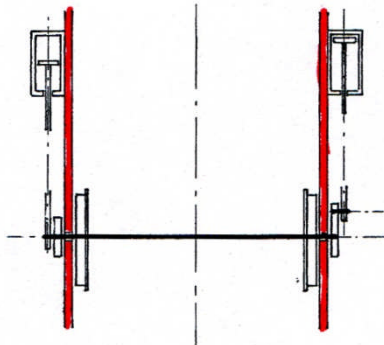


Abb. 3.2.1e

Außenrahmen - Außenzylinder
(Abschn. 2-11)

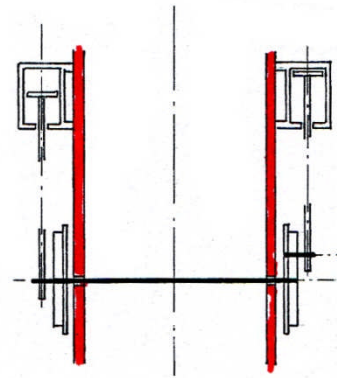


Abb. 3.2.1f

Innenrahmen - Außenzylinder
(Abschn. 3, S. 27)

4-0 Anhang

4-1 Schrifttumsverzeichnis

Kurzangabe	Ausführliche Angabe
Ahrons (1927)	Ahrons, E.L. „The British Steam Railway Locomotive 1825 – 1925“ The Locomotive Publishing Company Ltd. London 1927
Armengaud (1841) bzw. (1839)	Armengaud „Das Eisenbahnwesen“ Weimar 1841 Übersetzung des französischen Originals „L’Industrie des Chemins de Fer“, Paris 1839, durch Dr. Carl Hartmann. <u>Nachdruck</u> : Schäfer, Hannover 1980
Asmus (1984)	Asmus, Carl „Die Ludwigs-Eisenbahn“ Orell Füssli, Zürich und Schwäbisch Hall 1984, ISBN 3-280-015251
Bailey / Glithero (2000)	M. R. Bailey and John P. Glithero „The Engineering and History of Rocket“ National Railway Museum York 2000 ISBN 1-900747-18-9
Bailey / Glithero (2004)	M. R. Bailey and John P. Glithero „The Odin Project“ The Danish Railway Museum Odense 2004, ISBN 87-982227-7-5
Colburn (1871)	Colburn, Zerach „Locomotive Engineering . . . “ Bd. I (Text), Bd. 2 (Tafeln) London und Glasgow 1871
Gölsdorf (1978)	Gölsdorf, Karl „Lokomotivbau in Alt-Österreich 1837 – 1918“ Slezak, Wien 1978 ISBN 3-900134-40-5
Helmholtz (1930)	v. Helmholtz / Staby „Die Entwicklung der Lokomotive im Gebiete des Vereins Deutscher Eisenbahnverwaltungen . . . “ R. Oldenbourg, München und Berlin 1930
Jahn (1924)	Jahn, John „Die Dampflokomotive in entwicklungsgeschichtlicher Darstellung ihres Gesamtaufbaues“ Springer, Berlin 1924. <u>Nachdruck</u> : Hamecher, Kassel 1976, ISBN 3-920307-23-2
Klensch (1935)	Klensch, Carl, „Die Lokomotive „Adler“ der ersten deutschen Eisenbahn und ihre Nachbildung im Reichsbahnausbesserungswerk Kaiserslautern“ Organ für die Fortschritte im Eisenbahnwesen, 1935, S. 486 bis 491
Matschoß (1908)	Matschoß, Conrad „Die Entwicklung der Dampfmaschine“ Erster Band, Julius Springer, Berlin 1908

Schnabel (1988)	Schnabel, Heinz „Saxonia“ Transpress, Berlin 1988 ISBN 3-344-00351-8
Schöning (1940)	Schöning, P. und F.-W. „2B1-h1-Schnellfahr-Tender-Lokomotive“ Zeitschr. Die Lokomotive, 37. Jahrg. Juli 1940 S.93 und Organ für die Fortschritte . . . 95. Jahrg., S. 161
Warren (1923)	Warren, J.G.H. „A Century of Locomotive Building by Robert Stephenson &Co“ A.Reid & Co. Newcastle 1923 <u>Nachdruck</u> : Augustus M. Kelley, Publishers New York 1970.
Wellinger (1963)	Wellinger / Gimmel „Werkstofftabellen der Metalle“ Stuttgart 1963
White (1979)	White, John H. „A History of the American Locomotive Its Development 1830 – 1880“ The Johns Hopkins Press / Dover Publications New York 1979 ISBN 0-486-23818-0

4-2 Zu dem Haupt-Werkstoff der Lokomotiven

Bezüglich des wichtigsten Werkstoffes der Lokomotiven ist folgende Bemerkung wichtig : Wir werden dabei meist von „Stahl“ sprechen. Richtiger wäre die aber heute nicht mehr übliche Bezeichnung „Schweißisen“, die Engländer nannten es „wrought iron“. Stahl, d.h. Eisen (Fe) mit reduziertem Kohlenstoffgehalt und ggf. schon gewissen Legierungselementen, konnte damals nur in kleinsten Mengen hergestellt werden. Bei größeren Bauteilen wurden Bündel von Stäben aus solchem Material unter dem Schmiedehammer vollflächig zu Vormaterial von den erforderlichen Roh-Abmessungen feuerverschweißt – ein sehr schwieriges Verfahren – und dann bearbeitet. Zahlen für die Eigenschaften dieses Materials kennen wir nicht, wir nehmen an, daß es ganz grob dem entsprach, was bis vor kurzem als St 34 bezeichnet wurde und eine garantierte Bruchspannung von 34 000 N/cm² hatte. Dafür haben wir sie dem Tabellenbuch Wellinger (1963) entnommen.

4-3 Die Systematik der Bauart-Bezeichnung

Die Bauart der Lokomotive wird hier nach dem deutschen System bezeichnet. Sie besteht aus den zwei Gruppen „Achsbild“ und „Dampfmaschine“. Die folgende Erklärung ist etwas vereinfacht :

Das Achsbild wird beschrieben durch zunächst die Anzahl der vorderen Laufachsen, dann die Zahl der Antriebsachsen durch Großbuchstaben, A für eine Antr.-Achse, B für deren zwei, usw. Danach folgt die Anzahl der hinteren Laufachsen.

Die Dampfmaschine wird bezeichnet durch den Buchstaben h für Heißdampf oder n für Nassdampf und die Zahl der Zylinder.

Ein angehängtes t bedeutet Tenderlokomotive.

Zur Anwendung vergleiche man in den Überschriften der Unterabschnitte zu Abschn. 2 die Angabe für die "Bauart" mit den zugehörigen Skizzen.