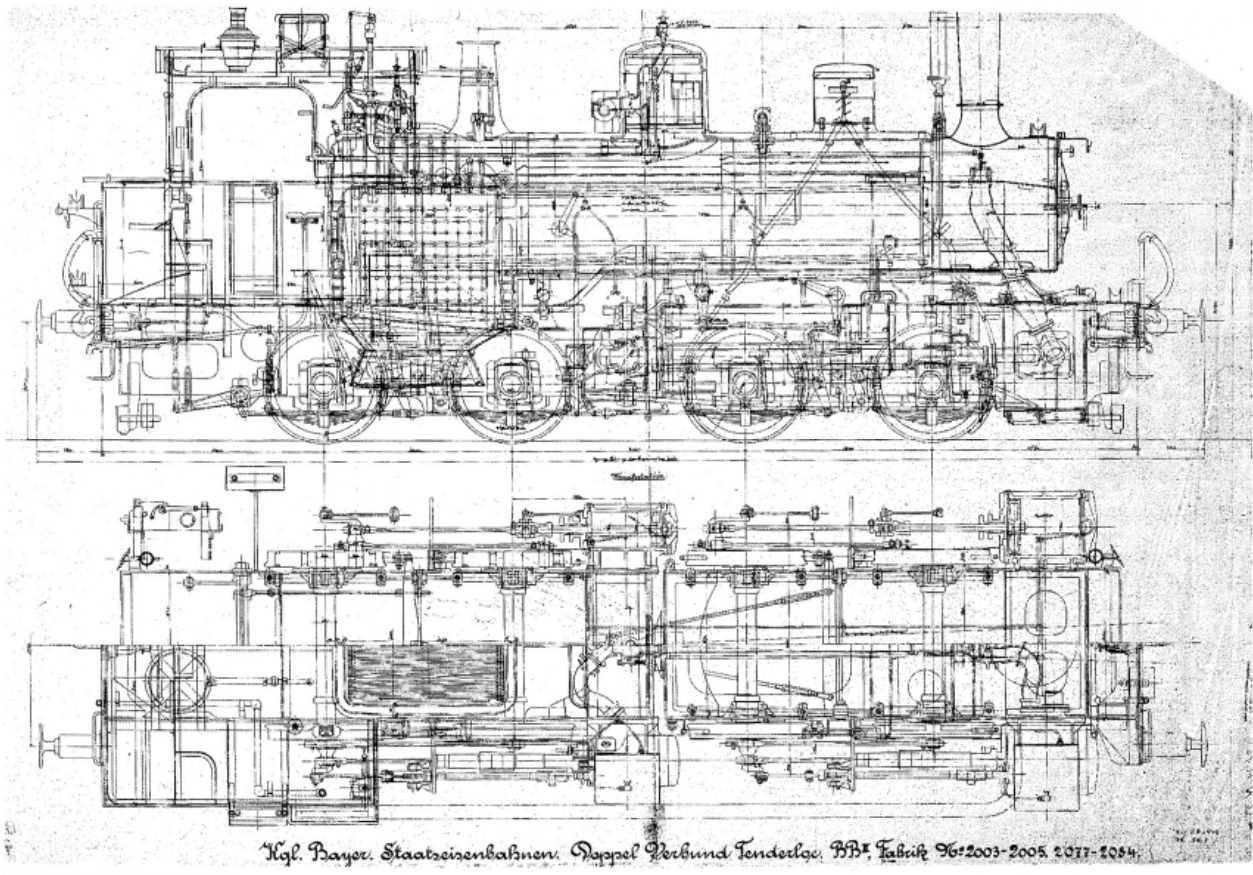


Über das Rahmen-Gelenk und den Rahmen von Mallet-Lokomotiven

Ein Beitrag zur Technikgeschichte



Über das Rahmen-Gelenk und den Rahmen von Mallet-Lokomotiven

Ein Beitrag zur Technik-Geschichte

Jan Hartmann

Technikgeschichte.org

Nürnberg 2015

Kapitel	Seite
1 Vorwort	1
2 Einführung	1
3 Das Rahmen-Gelenk	2
3.1 Das Zwei-Bolzen-Gelenk ZBG	2
3.2 Das Ein-Bolzen-Gelenk EBG	4
4 Zur Rahmenstruktur von Gelenk-Lokomotiven	7
4.1 Der Ausleger-Rahmen -- Allgemeine Überlegungen	7
4.2 Der Ausleger-Rahmen -- Berechnungen	9
5 Biographisches	11
5.1 Mallet und seine Patente	11
5.2 Rimrott	12
6 Offene Fragen	13
7 Schluß	13
8 Schrifttum	15
9 Abbildungen	17

Englisch abstract see Technikgeschichte.org

Der Verfasser behält sich alle Rechte an dieser Arbeit vor

Das Titelbild auf dem Umschlag zeigt einen Längsschnitt der Mallet-Lok
bayer BB II, später Baureihe 98.7 , B'B n4vt, Erbauer Maffei, erstes Baujahr 1899
Bemerkung zum Maßstab : Der Abstand zwischen 1. und 4. Achse beträgt 5 200 mm

1 Vorwort

Über die „Mallet-Lok“ ist schon viel geschrieben worden, denn sie zählt in mancher Hinsicht zu den Höhepunkten sowohl des Dampflokomotiv-Baues wie auch des Maschinenbaues überhaupt. Wir haben aber mehrfach, u.a. bei der Vorarbeit zu Hartmann (2011a) (siehe Schrifttums-Verzeichnis) festgestellt, daß Fragen, warum dies oder jenes so und nicht anders gebaut wurde, in dem uns zugänglichen Schrifttum (auch in den Lehrbüchern) unbeantwortet blieben. Nun kann man die umfangreiche technische Literatur aus der Zeit vor über hundert Jahren heute nicht mehr lückenlos ermitteln, geschweige denn durchsehen. Doch scheinen diese Fragen und die Antworten darauf in internen Berichten und persönlichen Notizbüchern und Kladden der einzelnen Konstrukteure weitgehend verschwunden zu sein. Das hat natürlich Gründe, die uns z.T. auch verständlich sind, ist aber heute ein großes Hindernis für ein wirkliches Verstehen der jeweiligen Konstruktionen und – was manchmal ebenso interessant ist – ihrer Entwicklung.

Es ist ja das Anliegen dieser Reihe von Beiträgen zur Technikgeschichte, auf solche Lücken aufmerksam zu machen und wenigstens einen Teil von ihnen einer befriedigenden Antwort näher zu bringen. Eine Art verspäteter Entwurfslehre für Mallet-Loks kann und soll dabei jedoch nicht entstehen. Die hiermit vorgelegte Arbeit ist vielmehr nur der Versuch, von zwei konstruktiven Merkmalen dieser Dampflokomotiv-Bauart – Rahmen-Gelenk und Rahmen – die Entwicklung so darzustellen, daß ein Zeitgenosse, dem die technischen Grundlagen nicht völlig fremd sind, sie auch heute danach etwas vertieft verstehen und beurteilen kann. Er sieht dann auch, wo noch besonderer Aufklärungsbedarf besteht. Nur ausnahmsweise werden wir näher auf Fragen der Lastannahmen und Festigkeitsrechnungen und dgl. eingehen. Daran mehr interessierte Leser mögen sich, wo wir hier nur Ergebnisse mitteilen, wegen weiterer Auskünfte an den Verfasser wenden.

In der Technik spielt, nächst dem Schöpfer der Naturgesetze und der Materie, der Mensch die maßgebende Rolle. Technik-Geschichte ist deshalb in hohem Maße auch eine Geschichte der beteiligten Menschen, das wollen wir in dieser technik-geschichtlichen Betrachtung nicht ganz übergehen. Wenn wir uns dabei auf die Namen Mallet und Rimrott beschränken, so geschieht das weil diese beiden Männer gerade das hier abgehandelte Gebiet sehr geprägt haben. Bei Mallet ist das ja überhaupt keine Frage. Ihm gegenüber hat Rimrott bei weitem nicht die gleiche Bekanntheit erreicht, doch scheint es uns nur recht und billig zu sein, sein Andenken bei den Eisenbahn-Ingenieuren und -Freunden lebendig zu erhalten. Das wollen wir hier tun und auch begründen.

Wie überhaupt die Reihe der „Beiträge zur Technik-Geschichte“, konnte auch diese Arbeit nur mit dem Beistand einer ganzen Reihe freundlicher Helfer entstehen. Insbesondere danken wir sehr herzlich den Herren

Dieter Führung / Patentanwalt, Clovis Asly / Übersetzungshilfen, Uwe Franz / DEV, Wolfram Bäumer / DME, Roland Hechtel und Helge Hufschläger / Firmenarchiv Krauss-Maffei, Klaus Wiebelitz / Bücherei des DB-Museums Nürnberg, Hermann Träger / Archiv DB-Museum Nürnberg, und schließlich meinen Söhnen Hellmut und Friedrich / englische Zusammenfassung und EDV-Umsetzung, beides waren sehr arbeitsintensive Aufgaben. .

2 Einführung

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts gab es schon eine Anzahl von Lokomotiv-Bauarten mit Antriebssystemen, die sich besonders stark gekrümmten Gleisbogen anpassen konnten. Für solche Bauarten wurden anfangs des 20. Jahrhunderts die Oberbegriffe „Gelenk-Lok“ oder auch, noch umfassender, „kurvenbewegliche Lok“ geprägt, welche letzterer sich aber nicht eingebürgert hat. Zu ihnen zählte man auch Maschinen mit Starrrahmen, bei denen die Stellung der Antriebsachsen und

/oder die Längen der Kuppelstangen während der Fahrt im Gleisbogen verändert wurden (u.a. die Bauarten Hagans, Helmholtz, Klose, Klien-Lindner und Luttermöller). Sie haben sich aber nicht durchsetzen können, weil sie in ihrem Aufbau gar zu vierteilig waren. Das Standardwerk über Gelenk-Lok ist Wiener (1930), zumal es davon einen Nachdruck gibt. Wiener behandelt weit über hundert mehr oder weniger verschiedene Bauarten und ist, nachdem die Entwicklung auf diesem Gebiet abgeschlossen ist, als Übersicht immer noch unübertroffen. Bei technischen Einzelheiten hat er aber notwendigerweise bedeutende Lücken, z.B. steht über die Themen dieser Arbeit bei ihm so gut wie nichts.

Wir werden nur die Gelenk-Lok der Bauart Mallet – als die meist gebaute Bauart – betrachten. Dabei beschränken wir uns aus zwei Gründen auf die beiden Baugruppen „Rahmen-Gelenk“ und „Rahmen“. Zum einen, weil die Dampfmaschine selbst in ihrer Ausführung als Verbundmaschine – auch besonders im Lokomotivbau – im Schrifttum schon sehr eingehend behandelt worden ist und insofern keine Besonderheit der Mallet-Bauweise mehr darstellt. Dies gilt auch für den Kessel. Zum anderen, weil die Technik-Geschichte unserer Meinung nach gerade bei diesen beiden Themen recht bewegt ist und interessante und überraschende Einsichten liefert.

Wenn wir in dieser Arbeit von „Gelenk-Lok“ sprechen, so meinen wir die Mallet patentierte Lokomotive die zwei Antriebseinheiten (in Mallets Patentschriften : *chassis*, hier im Text immer mit „AE“ abgekürzt) mit je eigenen Lauf- und Triebwerken und Rahmen besitzt, aber nur einen Kessel hat. Dieser ist seinerseits mit einer der AE fest verbunden und liegt auf der anderen nur auf. Die Maschinen der beiden AE sind nach Mallet dampfmäßig im Verbund geschaltet.

Als am Ende des 19. Jahrhunderts die Eisenbahn aus dem Zustand der tastenden Versuche auf allen Teilgebieten in den der planmäßigeren Entwicklung eines umfassenden Verkehrssystems übergang, wurden dringend kurvenbewegliche, leistungsfähige Lokomotiven benötigt. Da Mallet offensichtlich ein sehr gewissenhafter und erfinderischer Ingenieur war, der auch ein so vierteiliges Gebilde, wie es eine Gelenk-Lok ist, bis in die Einzelheiten durchdacht und durchkonstruiert hat, war die von ihm geschaffene Gelenk-Lok von Anfang an erfolgreich. Wobei wir nicht wissen, bis zu welchem Grad er persönlich konstruiert hat und wie viel Einfluß er auf seine Lizenznehmer nehmen konnte und nahm, – er selbst war ja kein Fabrikant. Jedenfalls regte seine Bauart natürlich die Wettbewerber dazu an, sie zu verbessern bzw. ähnliche Konstruktionen zu schaffen und damit u.a. Lizenzgebühren zu vermeiden. Das wollen wir nicht als Patentumgehung schlecht machen, es ist vielmehr Ausdruck der Tatsache, daß das Bessere stets des Guten Feind ist.

3 Das Rahmen-Gelenk

3.1 Das Zwei-Bolzen-Gelenk ZBG

Zu Mallets Patentansprüchen gehörte, daß die vordere AE mit der hinteren durch ein Gelenk so verbunden ist, daß nur Drehungen um die z-Achse möglich sind, während es Drehungen und Parallelverschiebungen um die anderen Achsen bzw. in allen Richtungen verhindert. Siehe hierzu Abb. 1 und Abschn. 5.1 .

Allgemein gilt : Zwei Körper können ihre gegenseitige Lage in sechsfacher Weise ändern (sechs „Freiheitsgrade“) : Sie können sich parallel zu sich selbst in den drei Richtungen X, Y und Z verschieben und sie können sich um die gleichen Richtungen drehen. Diese Möglichkeiten sind in den Skizzen von Abb. 1 dargestellt, wo die „Körper“ als stilisierte AE einer Mallet-Lok zu verstehen sind. 1.1 bis 1.3 zeigen Parallel-Verschiebungen um die Beträge dx , dy und dz , während Drehungen um die betr. Achsen durch die Drehwinkel α_x , α_y und α_z in 1.4 bis 1.6 dargestellt sind. Mittels Überlagerung dieser sechs Bewegungen kann jede beliebige Lage des einen Körpers in Bezug auf den anderen Körper erreicht werden.

Durch entsprechende konstruktive Ausführung des Gelenks, kann man nun einzelne Freiheitsgrade ausschließen. Z.B. baut man das Gelenk natürlich so, daß in Skizze 1.1 die

Verschiebung dx immer Null ist. Andernfalls könnten die beiden AE sich ja trennen. Einen Freiheitsgrad auszuschließen bedeutet also nicht, daß das Gelenk in der betr. Richtung wirkungslos ist, sondern eher das Gegenteil : Es muß die ganzen, in dieser Richtung max. auftretenden Kräfte oder Momente aufnehmen können, ohne daß die Lage der verbundenen Körper sich ändert.

In der folgenden Tabelle haben wir angekreuzt, welcher Freiheitsgrad nach Abb. 1 von den hier zu besprechenden Gelenkbauarten freigegeben wird :

Zeile	Gelenk-Typ	Abschn.	Abb.	dx	dy	dz	α_x	α_y	α_z
1	ZBG	3.1	8	-	-	-	-	-	x
2	Rimrott	3.2.1	9	-	-	x	x	x	x
3	EBG	3.2.2	10	-	-	-	-	-	x
4	Baldwin	3.2.2	15	-	-	x	x	x	x
5	Hedschas	3.2.2	19	-	x	x	x	(x)	x

Mallets o.a. Patentanspruch läuft somit darauf hinaus, daß von den sechs Freiheitsgraden nur der Fall 1.6 aus Abb. 1 möglich sein soll, das Schwenken der vord. AE um die vertikale Achse Z. Wir kennen keine wirklich schlüssige Begründung für diese Forderung – in Patentschriften sind derartige Begründungen nicht üblich. Als ihr Vorteil wird meist die Verminderung der Anzahl von gelenkigen Rohrverbindungen in den Dampfleitungen angegeben, doch wurden diese trotzdem oft vorgesehen, um Beanspruchungen der Leitungen durch die elastischen Formänderungen der ganzen Lokomotive zu vermeiden.

Eine verhältnismäßig einfache Lösung der gestellten Aufgabe ist das von uns so genannte Zwei-Bolzen-Gelenk, wir kürzen es als „ZBG“ ab. Es findet sich in den Patentschriften von Mallet, Patent (1889), Abb. 2, und in Salomon (1890) und in den Zeichnungen von vielen, ausgeführten Gelenk-Lok, vor allem aus dem letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts (z.B. Abb. 5, 7, 8, 20, 21). Heute werden solche Gelenke vielfach bei Sonder-Straßen-Fahrzeugen verwendet, dort dann meist aktiviert als „Knicklenkung“.

In der Abb. 3 sind die auf das Gelenk wirkenden Kräfte (Einfach-Pfeile) und Momente (Doppel-Pfeile) dargestellt, die sich alle aus n Anteilen zusammensetzen und unterschiedliche Vorzeichen haben können. Daraus lässt sich, wie schon erwähnt, jede beliebige Kombination von Kräften und Momenten bilden. Die Kräfte F_{Xn} bzw. F_{Yn} werden von den Bolzen zweischnittig, Abb. 4, aufgenommen, und erzeugen in ihnen Schubspannungen. Kräfte in z-Richtung, F_{Zn} , werden i.a. nicht von den Bolzen, sondern von den Scharnieren (siehe z.B. Abb. 12) getragen. Nach Distelbarth (1973) gab es aber auch den Fall, daß das Gelenk in z-Richtung so viel Spiel erhielt, daß es F_{Zn} -Kräfte überhaupt nicht aufnahm.

Die Größe der aufzunehmenden Kräfte, d.h. die Lastannahmen für die Konstruktion, wollen wir nur andeuten. Im Einzelnen waren sie offenbar mit den Auftraggebern bzw. den Aufsichtsbehörden abzustimmen. Hier ist jedoch zu sagen, daß man für die Größe von F_{X1} , den Pufferstoß, in Deutschland vielfach den Wert 1500 kN / Puffer findet, und zwar unabhängig von Größe und Geschwindigkeit der Lok. Das ist an sich sehr unbefriedigend, da die Massen von Lok und Zug und die Stoßgeschwindigkeit natürlich bei dem Stoßvorgang eine große Rolle spielen. Für uns ist hier aber nur wichtig, daß dies die größte, anzunehmende Belastung des Gelenks ist. F_{X2} ist die größtmögliche Zug- oder Schiebekraft einer AE. I.a. ist $F_{X1} \geq F_{X2}$, sie treten auch nicht gleichzeitig auf. F_{Yn} und M_{Zn} liegen vor, wenn beim Einlauf in einen Gleisbogen die eine AE von der anderen in die neue Richtung gedreht wird, was nur teilweise über die Spurkränze geschieht. Ein Moment M_{Xn} gibt es, wenn eine AE sich um die x-Achse dreht. Ein Moment M_{Yn} entsteht u.a., wenn die Lok an den Pufferbohlen angehoben wird. Distelbarth (1973) erwähnt, daß dies (er spricht von kleinen Lok) zulässig sei. Wir haben es für eine große Lok mit ZBG nachgerechnet, auch dort ist es möglich, zumindest wenn die Lokmasse ohne Wasser und Radsätze gerechnet wird.

Abb. 5 zeigt das klassische ZBG am Beispiel der ersten großen amerikanischen Mallet-Lok, einer etwa 1904 gebauten, in Abb. 6 gezeigten C'C n4v Lok (Bezeichnung nach dem üblichen deutschen System) beide Abb. nach Garbe (1907). Bei der Anordnung der beiden Bolzen (1) fällt auf, daß insbesondere der obere nicht annähernd in der Flucht der Oberkante der Rahmen der AE liegt. Die notwendige Kraftumleitung (2) ist schwer, der Anschluß an die hint. AE, der wahrscheinlich unmittelbar an das Zylindergussstück geht, ist leider nicht zu sehen. Die Bolzen haben 114 mm Ø, was Garbe für zu wenig hält, wie er überhaupt viel an der Lok beanstandet. Die sog. Pendelanker – hier fehlt eine einheitliche Benennung – werden nur auf Zug beansprucht. Sie verbinden das hintere, obere Ende der vord. AE mit dem vorderen, unteren Ende der hint. AE und sollen ein rechtsdrehendes Kippen der vord. AE um die y-Achse unmöglich machen, ebenso Drehungen um die x-Achse. Siehe auch Abb. 24. Das linksdrehende Kippen verhindern die schweren Niederdruck-Zylinder vorn an der vord. AE.

Abb. 7 nach Archiv (o.J.), stammt von einem 1 : 10 -Generalplan der von Maffei gebauten bayer. BB II, DRG-Baureihe 98.7 von 1899, siehe auch das Titelbild. Auch hier ist die Kraftüberleitung zwischen den beiden AE wenig glücklich. Der untere Bolzen ist an eine Schmierleitung angeschlossen, dem oberen fehlt der Anschluß, das dürfte ein Zeichenfehler sein. Pendelanker sind vorhanden, aber nur in der Draufsicht angedeutet.

Abb. 8 nach Humboldt (1908), stellt das ZBG einer regelspurigen B'B n4vt-Lok, von der Maschinenbau Humboldt in Köln gebaut, dar. Hier ist deutlich die gut gelungene Einfügung der Bolzen in den Kraftfluß an Ober- und Unterseite der Rahmen der AE erkennbar. Pendelanker sind in der hier fehlenden Draufsicht angedeutet.

3.2 Das Ein-Bolzen Gelenk EBG

3.2.1 Der Schritt zum EBG

Wenn die Einfachheit des ZBG auch bestechend ist, so zeigte sich doch, daß dieses Gelenk einen schwerwiegenden Nachteil hat. Im Schrifttum hat als erster – und schon recht kurz nach den ersten „Mallets“ – Rimrott (1892) darauf aufmerksam gemacht, er bemerkt im Zusammenhang mit einer Beschreibung des ZBG der Mallet-Ausführung (ohne den Namen Mallet zu erwähnen) :

„Die Kuppelungsbolzen übertragen hierbei die durch das Federspiel des einen Gestelles erzeugten Kräfte auf die Federn des andern. Die hierbei auftretenden Beanspruchungen können namentlich u.a. durch die Überhöhung des äußeren Bogenstranges an den Bogenenden so bedeutend werden, daß sie nach Ansicht des Verfassers die Gelenkigkeit der Lokomotive beeinträchtigen und zu häufigen Ausbesserungen Veranlassung geben werden.“

Ob in die „Ansicht des Verfassers“ schon erste Erfahrungen mit ausgeführten Maschinen eingeflossen sind, wissen wir nicht. Viele können es nicht gewesen sein, da Mallet-Gelenk-Lok ja erst 1888 überhaupt fuhren und Rimrott selbst mit ihnen nicht befasst war. Er muß sich seiner Sache aber recht sicher gewesen sein, denn er fährt an der gleichen Stelle fort :

„Verfasser dieses wendet bei seinen Entwürfen derartiger Lokomotiven nur einen Kuppelungsbolzen an, welcher möglichst im theoretischen Schnittpunkt und in Höhe der Buffermitten angebracht wird.“

(J.H. : Der „theoretische Schnittpunkt“ ist dabei in der Draufsicht der Schnittpunkt der Mittellinien der beiden AE bei Stellung der Lok im Gleisbogen)

Diese beiden Absätze geben die Begründung und die grundsätzliche Konstruktion des EBG an. Insofern sehen wir in Rimrott zwar nicht einen Mit-Erfinder der Gelenk-Lok, wohl aber den Erfinder des EBG. Er hat damit zugleich der weiteren Entwicklung der Gelenk-Lok nachhaltig die Richtung gewiesen, s.u. Mit der allseitigen Beweglichkeit des Gelenks wurde zwar der entsprechende Patentanspruch Mallets (siehe Abschn. 4.1, erster Absatz) verletzt, aber Patentstreitigkeiten gab es wohl nicht, weil Rimrott sich offenbar nichts patentieren ließ.

In Rimrott (1892) hat R. insbesondere die Unmöglichkeit von Drehungen um die x-

Achse bemängelt (s.o.). Nach seinem Entwurf, siehe Abb. 9, gibt er durch die Kugelform des Gelenkbolzens alle drei Drehungen frei und durch das Spiel der Kugel in z-Richtung auch die Parallelverschiebung in dieser Richtung. Beide Möglichkeiten sind grundsätzliche Unterschiede gegenüber Mallets Patentansprüchen.

3.2.2 Zur Konstruktion des EBG

Die Konstruktion des ersten Rimrott'schen EBG steht hier als Abb. 9 (die Abb. ist nach dem schlecht zu reproduzierenden Generalplan in Rimrott (1889) von uns umgezeichnet). Wenn nötig, muß der Kupplungsbolzen nach oben ausgebaut werden, weil darunter die Hauptzudampfleitung für die vordere AE liegt. Deshalb müssen für Arbeiten am Kupplungsbolzen der Kessel und das obere Bolzenlager abgenommen werden. Das scheint bei allen Mallets die Regel gewesen zu sein. Die Kugelbuchse muß horizontal geteilt sein, wie sie zusammengehalten wird, ist nicht zu sehen. Der Lagerträger hat alle auftretenden Kräfte in x- und y-Richtung aufzunehmen, er wird deshalb wesentlich breiter als hoch sein. Im Rahmen der vord. AE muß er fest liegen und dort alle Kräfte in x- und y-Richtung übertragen. Kräfte in z-Richtung treten gar nicht auf (außer Reibung!), weil zwischen Lagerträger und den beiden Bolzenlagern genügend Spiel ist. Damit dieses Spiel nicht erschöpft werden kann, müssen Pendelanker od. dgl. zwischen den beiden AE vorhanden sein, sie sind der Zeichnung aber nicht zu entnehmen. Rimrott erwähnt im Text das Erfordernis von Notkuppelleisen, sie sind jedoch nicht eingetragen. Diese Kuppelleisen, häufig ähnlich den Kupplungen zwischen Lokomotive und Tender, findet man dagegen auf verschiedenen einschlägigen Zeichnungen, vgl. hier z.B. Abb. 10, wo wir sie auch besprechen.

Für die Größe der zu übertragenden Kräfte gilt sinngemäß dasselbe wie in Abschn. 3.1 ausgeführt wurde.

Die Frage nach dem ersten Auftreten des EBG ist schwer zu beantworten. In Europa kennen wir nur eine Anwendung, und zwar bei der großen bayer. Gt 2×4/4, später Baureihe 96. Davon wurde ein erstes Los von 15 Maschinen ab 1913 in Dienst gestellt, 10 weitere folgten ab 1922. Lieferfirma war Maffei. Die beiden Lose zeigten kleinere Unterschiede vor allem bei Kessel und Maschine. Die Beschreibung (o.J.) bezieht sich auf das Baulos 2 (den Längsschnitt darin bezeichnen wir als Längsschnitt (2)), danach hatte Los 2 ein EBG, siehe Abb. 10.

Uns liegt ferner ein 1:10 – Längsschnitt vor, den wir als Längsschnitt (1) anführen. Nach Schornstein, Kesselaufbauten und Zylinder-Durchmessern zu urteilen, zeigt Längsschnitt (1) ganz klar das Baulos 1. Das Führerhaus sieht allerdings mehr nach Baulos 2 aus und trägt auch eine entsprechende Aufschrift: „Baujahr 1922“, was ganz unerklärlich ist. Gewisse Notizen auf der Zeichnung machen den Sachverhalt nicht klarer, wie es auch mit dem Zusammenhang zwischen den Fabrik-Nummern und den bayerischen Betriebsnummern der Fall ist. Der bei Weisbrod (1978) erwähnte Umbau einiger Maschinen im Jahr 1926 taucht auf Längsschnitt (1) einmal auf, wird aber nicht erläutert. Alles in allem gehen wir aber davon aus, daß im Zusammenhang mit dieser Arbeit Längsschnitt (1) die Maschinen von Baulos 1, Baujahre 1913/14 zeigt.

Die vorstehenden Überlegungen sind uns wichtig, weil im Längsschnitt (1), zwar durch den Hd-Zylinder verdeckt, aber gestrichelt gezeichnet, ganz klar ein EBG wie in Abb. 10 dargestellt ist, siehe Abb.11. Als erstes Baujahr von EBG in Europa sehen wir daher 1913 an, das erste Ablieferungsjahr von Baulos 1.

In Amerika finden wir in LD (1906) die erste Mallet-Lok, sie hatte ein ZBG, s. Abb. 5. Ein EBG erscheint zum ersten mal in LD (1912), die zwischen 1906 und 1912 erschienene LD-Ausgabe konnten wir nicht ermitteln. Die Baujahre sind in den LD-Ausgaben generell nicht angegeben. In dem Jahrgang 1912 sind aber Generalplan-Skizzen von elf großen Mallets, bis zur Anordnung (1'E)'E1', veröffentlicht worden. Sie decken für uns als Beispiele von abgelieferten Maschinen den Zeitraum zwischen 1906 und 1912 ab, und haben – wie auch alle Skizzen der Folgejahre bis 1947 (später als LC bezeichnet) – ausnahmslos ein EBG.

Den Stand unseres Wissens können wir z.Zt. also so angeben : Es scheint, als seien die ersten EBG etwa 1910 in Amerika, und 1913 in Europa gebaut worden. Damals war die Verbindung zwischen den Kontinenten schon sehr lebhaft, so daß man einen amerikanischen Einfluß bei den Maffei-Maschinen vermuten muß. Vielleicht war die Zeit für die Wiederbelebung von Rimrotts Erfindung aber auch einfach reif und die Entwicklungen liefen unabhängig voneinander. Aber vielleicht waren die Zusammenhänge auch überhaupt ganz anders.

Abb. 10 zeigt die Konstruktion des o.a. EBG der Gt 2×4/4 nach der Beschreibung (o.J.), d.h. für Baulos 2 . Mit (1) ist der Gelenkbolzen bezeichnet. Die Pendelanker (3) sieht man kaum. Im Gelenk-Bereich findet sich an Oberkante Rahmen eine Art Kuppelleisen (2). Wir vermuten darin eine *fail-safe*-Konstruktion (d.h. eine Konstruktion, die es auch bei einem völligen Versagen des EBG nicht zu einer Trennung der AE kommen lässt) wie bei den üblichen Kupplungen zwischen Lok und Tender. Für eine Erstaussführung ist das jedenfalls nicht unvernünftig.

In der Abb. 11 haben wir den Ausschnitt aus Längsschnitt (1) wiedergegeben der für Baulos 1 gilt. Die Hinweis-Zahlen sind die gleichen wie in Abb. 10. Nennenswerte Unterschiede zwischen den beiden EGB erkennt man nicht.

Wir sind davon ausgegangen, daß das ZBG verlassen wurde, um den beiden AE eine gewisse Beweglichkeit insbesondere um die x-Achse zu geben. Untersucht man die Abb. 10 und ähnliche, amerikanische Konstruktionen von diesem Gesichtspunkt aus, so stellt sich sofort die Frage, wie der Gelenkbolzen sich bei solchen Beanspruchungen verhielt. Beweglich um die x-Achse war er offensichtlich nicht, war er etwa ballig ? Nach allen uns zugänglichen Zeichnungen, u.a. Abb. 10 und 12 war das nicht der Fall, es würde auch neue Schwierigkeiten bringen. Dagegen finden wir im Zusammenhang mit den amerikanischen *locomotive beds* aus Gussstahl immer wieder eine zwar elegante, aber sehr steife Formgebung, die auch eine elastische Anpassung des Bolzens an das auf ihn wirkende, große Drehmoment sehr behinderte, siehe Abb. 13. Wir vermuten also, daß man ganz bewusst damit rechnete, diese Anpassung würde durch die elastische Verformung der ganzen Struktur der Lokomotive erfolgen, wie man sie gelegentlich auch beim Durchfahren eigentlich zu enger Kurven zugelassen hat.

Eine wesentlich leichtere, sonst ähnliche Konstruktion zeigt Abb. 14. Sie stammt von einer von Henschel gebauten kapspurigen C'C-Lok die Garbe (1920) beschrieben hat. Der Haltearm des Bolzens könnte nach der Zeichnung geschweißt sein, was allerdings von der Entstehungszeit her unwahrscheinlich ist. Auf die beiden in der rechten Bildhälfte sichtbaren Kesselauflagerungen (1) und (2) kommen wir im Abschn. 4 zu sprechen.

Die bisher besprochenen Arten von EBG hatten eine sehr starre Befestigung des Gelenk-Bolzens gemeinsam. Das ausgesprochene Gegenteil davon entwickelte Baldwin (die nach Zahl der gebauten Lokomotiven größte Lokomotivfabrik der Welt) ab etwa 1925 in den USA. Wir nennen es das Baldwin-Gelenk, BaG. Ziel war offenbar, eine zwanglose allseitige Beweglichkeit der AE gegeneinander wirklich zu erreichen. Das Gelenk sollte also außer Kräften in x- und y-Richtung gar keine Kräfte und Momente übertragen. Wegen der vielen starken Wettbewerber war man mit der Veröffentlichung von Einzelheiten sehr zurückhaltend, außer einem bearbeiteten Foto bei Wiener (1930) und den hier gebrachten Abbildungen kennen wir nur noch eine Darstellung. Wir beginnen mit der Abb. 15 . Sie zeigt einen Blick von hinten auf eine vord. AE. (1) ist ein Gelenkarm (*radius bar*), der sich um die in y-Richtung liegende Gelenkarm-Achse drehen kann. Die Lagersitze für diese Achse erkennt man in Abb. 16 als (2). Der Arm hat einen Durchbruch (3), in ihm ist der Gelenkbolzen gelagert – hier noch nicht eingebaut. Der Bolzen hat einen Kugelsitz, und greift insofern auf Rimrott, Abb. 9, zurück. Er muß also auch in einer mehrteiligen Kugelbuchse sitzen und kann so in der x-z- und der y-z-Ebene schwenken. In z-Richtung ist er in der hint. AE unverschieblich gelagert, dafür folgt der Gelenkarm aber zwanglos bei vertikalen Verschiebungen der AE gegeneinander. Auf diese elegante, wenn auch aufwändige Weise ist ein mechanisch einwandfreies Gelenk entstanden, das Baldwin anscheinend viel verwendet hat. Abb.

17, ein Ausschnitt aus Abb. 18, zeigt das BaG bei einer großen (2'C)'C Lok. (1) ist die Gelenkarm-Achse. Eine bessere Darstellung fanden wir leider nicht.

Eine weitere Gelenk-Bauweise (wir nennen sie „Hedschas-Bahn-Gelenk“), die gar keinen Bolzen der bisher beschriebenen Art aufweist, ist in Abb. 19 dargestellt, sie stammt aus der Veröffentlichung Keller (1908). Es handelt sich um eine von Henschel gebaute kapspurige (1'B)'C für die sog. Hedschas-Bahn, Damaskus – Mekka. Die Abb. zeigt, wie die Gelenkbolzen eines ZBG durch je ein Kuppelisen (1) u. (2) an Ober- und Unterkante der Rahmen der AE ersetzt sind. Die Kraftübertragung zwischen Rahmen und Kuppelisen geschieht durch kräftige Bolzen, die in balligen Löchern der Kuppelisen sitzen und durch besondere Gussstücke (3) mit den Rahmen verbunden sind. Die Kupplung wird durch eine schwere Blattfeder (4) vorgespannt, dafür dienen offensichtlich die üblichen Tender-Lok-Kupplungen als Vorbild. Zusätzlich sind noch zwei Federn (5) in y-Richtung vorhanden. Sie müssen in z-Richtung ein nennenswertes Spiel haben. An Stelle von Pendelankern sind zwei lange, d.h. weiche z-Federn (6) angeordnet, die nicht sehr wirksam sein können. Eine Begrenzung der z-Verschiebung der AE-Rahmen gegeneinander erfolgt wohl nur dadurch, daß die Kuppelisen in dieser Richtung zum Anschlag kommen, was uns bedenklich erscheint. Insgesamt dürfte das Gelenk unaufwändig sein und seine Aufgabe erfüllen, für große und relativ schnellfahrende Lokomotiven ist es aber kaum geeignet, weil nach unserer Ansicht die Kupplung der AE in y- und z-Richtung dafür zu weich ist.

4 Zur Rahmen-Struktur von Gelenk-Lokomotiven

4.1 Allgemeine Überlegungen

Mallet hat sich in seinen Patentschriften kaum zu der Rahmenstruktur geäußert. In der uns vorliegenden Ausgabe Patent (1889) heißt es im dritten Absatz nur (siehe auch Abschn. 5.1) :

„Die beiden AE sind durch ein Gelenk so zu einer Einheit verbunden, daß diese in der vertikalen Ebene starr ist und nur in der horizontalen Ebene beweglich. Die zwei Zylinder der einen AE sind i.a. die Hochdruckzylinder, die der anderen AE die Niederdruckzylinder einer Verbundanordnung“.

Hierzu siehe Abb. 2, aus Patent (1889), wonach sich also der Kessel mit dem Auflager n unmittelbar auf die vord. AE abstützt. Das Kippen um die y-Achse verhindert das mit mm bezeichnete ZBG. Auch die ersten, gebauten Mallets, siehe Salomon (1890), hier Abb. 20 und 21, die zweifellos unmittelbar auf Mallet zurückgehen, lassen an der Rahmenstruktur keine Besonderheiten gegenüber normalen Lok erkennen. Der Kessel stützt sich mit dem Stehkessel unmittelbar auf die hintere AE und mit der vorderen Kesselhälfte ebenso, aber in y-Richtung verschieblich, auf die vord. AE.ab.

Schon bald nach den ersten Mallet-Lok tauchen aber im Schrifttum Mallet-Lok auf, bei denen man mit einiger Mühe erkennen kann, daß der Rahmen der hinteren AE einen eigenartigen Ausleger nach vorne hat. Er „trägt“ dort etwa die halbe Kesselmasse, stützt sich seinerseits aber auf die vord. AE. Die Bezeichnung „Ausleger“ stammt von uns, denn in den uns bekannten Beschreibungen wird der Ausleger durchweg ignoriert, hat also auch keinen Namen. Allerdings erscheint er bei Meineke (1931) und bei Meineke (1949), bei letzterem auf S.160, Abb. 147, (hier als Abb. 22), jedoch so, als ob er eine Selbstverständlichkeit sei, die einer Erwähnung nicht bedürfe. Meineke schreibt dazu als Einleitung zu seinen weiteren Ausführungen, die der Lastverteilung in der vord. AE gelten :

„Auch die gegenseitige Stützung der Gestelle einer Mallet-Lokomotive erfordert besondere Betrachtungen, weil nach Abb. 147 die beiden Gestelle in waagerechter Richtung zwar gelenkig verbunden sind, in senkrechter Richtung aber wie ein starres Ganzes wirken müssen“.

Von Mallet selbst kennen wir keine Äußerungen zu dem Ausleger-Rahmen. Mallet (1900), ist ein Aufsatz der offensichtlich der Verkaufsförderung diente. Dort gibt M. Zusammenstellungen von Bahnverwaltungen an, die bis dahin seine Lok verwendeten. Dazu gehört eine Tafel mit Skizzen von sechs solchen Maschinen. Diese hatten alle Auslegerrahmen, d.h., Mallet hatte um 1900 jedenfalls keine Einwendungen dagegen.

Darüber hinaus haben wir im Schrifttum weder eine Erwähnung, noch eine Begründung, geschweige denn eine Lastannahme für die Ausleger finden können. Auch Meineke geht darauf nicht ein.

In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, ob in Europa am Ende der „Mallet-Zeit“ auch wieder Lok ohne Ausleger gebaut worden sind, wie es dann in Amerika nur noch geschah. Insbesondere betrifft diese Frage die schon mehrfach erwähnte bayer. Gt $2 \times 4/4$. Trotz der uns bekannten, guten General-Pläne der beiden Lieferungen dieser Maschine („Längsschnitt 1“ und „Längsschnitt 2“, ersterer im Maßstab $1 : 10$) können wir hier keine klare Auskunft erhalten. In Abb. 10 und Abb. 11 erkennt man in dem Gewirr von Linien oberhalb des Hd-Zylinders immerhin ein großes, vielleicht sogar gegossenes Knie (4), das der Anschluß des Auslegers an die hint. AE sein könnte. Falls das zutrifft, würde das bedeuten, daß auch diese Lok noch einen Ausleger-Rahmen hatten und Lok ohne Ausleger-Rahmen in Europa – im Gegensatz zu Amerika – nicht mehr gebaut worden seien. Wir wissen es aber bisher nicht.

Damit müssen wir nun den Blick auf Amerika richten. Dort waren schon Mallet-Lok für den Export und für die Waldbahnen der großen Rodungs-Firmen gebaut worden, teils schmal-, teils regel-spurig. (Kinsey(1984), S. 102 – 105. Z.B. noch 1936 eine 146 ts schwere (1'C)'C1' von Baldwin) Sie hatten aber noch keine Verwendung für die regelspurigen Linien des inneramerikanischen Verkehrs gefunden. Dies geschah erst 1904, als die Baltimore & Ohio Rail Road eine C'C Mallet für schweren Schiebedienst bauen ließ, die Bahn-Nr. 2400, siehe Abb. 5 und 6. Zu dieser Zeit wurden Mallets in Europa kaum noch gebaut (Ausnahmen : Ungarn bis 1919 und die oben erwähnte bayer. $2 \times 4/4$), während sie seitdem in Amerika eine großartige Entwicklung durchmachten. Diese gründete auf dem wachsenden Bedarf an Lokomotiven größter Leistung. Für die an das Lichtraumprofil, die Spurweite und die zulässige Achslast gebundene Lokomotive führt eine Leistungsvergrößerung aber immer zu einer Vergrößerung ihrer Länge. Damit kam man in Bereiche, in denen die an sich normalen Kurvenradien der amerikanischen Bahnen für Starr-Rahmen-Lok zu klein wurden. Das führte dann von selbst zur Anwendung der Mallet-Bauweise. Die o.a. Lok hatte noch europäische Merkmale (z.B. das ZBG), war aber doch im Hinblick auf die Rahmenstruktur davon schon ganz unabhängig : Sie hatte keinen Ausleger-Rahmen, der Kessel stützte sich vielmehr in zwei Punkten unmittelbar auf die vord. AE ab. Beispiele dafür siehe Abb. 14, Hinweise (1) und (2) und Abb. 18, Hinweise (2) und (3). Damit übernahm es der Kessel, die beiden AE parallel zur x-Achse zu halten, wobei schwer zu erfassende Beanspruchungen in ihm auftreten konnten. Dies war sicher ein wichtiger Grund, dem Kessel in Europa so etwas nicht zuzumuten, denn es ist kaum nachzuweisen, daß der Kessel diese Beanspruchungen aufnehmen kann, ohne an Zuverlässigkeit zu verlieren (es geht insbesondere um die Dichtigkeit der Nietnähte). Das wurde für größere Lokomotiven erst später eben durch die amerikanischen Kessel bewiesen. Jedenfalls war man wieder bei Mallets Anfängen angelangt und blieb bis zum Schluß dabei.

Der vorstehend skizzierte Entwicklungsgang ist als solcher u.W. bisher nicht beschrieben oder näher belegt worden. Es ist also nicht mehr als eine Vermutung unsererseits, wenn wir ihn wie folgt zusammenfassen :

Mallet sah keine Veranlassung, außer dem Kessel selbst, noch zusätzliche Bauteile (z.B. eben die Ausleger) für die Verbindung der drei Baugruppen (Kessel und zwei AE), vorzusehen. Die ihm vorschwebende Starrheit in der x-z-Ebene wollte er durch das ZBG im Verein mit dem sorgfältigen Federkraft-Ausgleich und Pendelankern erreichen.

Von seinen ersten Lizenznehmern schon hat das wohl einer, wohl gar Mallet selbst?, anders gesehen. Möglicherweise hat es Schäden an einem Kessel gegeben (insbesondere etwa undicht gewordene Nietnähte) die zu dem Wunsch führten, den Kessel von Kräften aus dem Fahrzeug zu entlasten.

Als Mittel dazu baute man den Ausleger. Das war aber u.E. ein Irrweg :

Erstens besteht ein sehr großer Unterschied in der Steifigkeit von Kessel und Ausleger. Die Trägheitsmomente (Einheit cm^4) dieser beiden Teile, bezogen auf die Querachse, sind nicht die einzige, aber eine sehr wichtige Einflussgröße für die Steifigkeit solcher Bauteile, sie verhalten sich bei dem von uns in Abschn. 4.2 durchgerechneten Beispiel wie 600 / 5 Das bedeutet : Wie auch immer die angenommenen Lagerungsbedingungen und Belastungen sind, der Ausleger erreicht nicht annähernd die Steifigkeit des Kessels. Er kann ihn daher gar nicht wirklich entlasten, zumal die angenommene Festeinspannung des Auslegers nur zu einem geringen Teil erreichbar ist.

Zweitens ist bei den etwa kurz vor 1900 gebauten Mallet-Lok der Ausleger seinerseits unmittelbar auf die vord. AE abgestützt, siehe Abb. 22. Die Last des Kessels wird also durch die Konstruktion der Auslegerspitzen hindurch auf dem denkbar kürzesten Weg in die AE weitergeleitet. Im Normalfall ist der Ausleger dann überhaupt nicht belastet. Sollte der genannte Lastweg einmal unterbrochen sein, z.B. dadurch, daß die vord. AE sich durch eine grobe Gleisunebenheit relativ stark senkt, so wird der Ausleger zwar kurz belastet, er stützt aber den Kessel auch dann aus den o.a. Gründen praktisch nicht. Eine andere Möglichkeit für das Auftreten dieses Belastungsfalles wäre, daß die Dicke der Gleitplatte zwischen Ausleger und dem Rahmen der AE zu klein oder zu groß ist – aus welchem Grund auch immer. Dieser Fall führt immer zu einer Belastung des Auslegers, die aber nicht höher sein kann, als bei dem im Abschn. 4.2 berechneten Fall, bei dem der Ausleger alle Kräfte tragen muß.

Bei Tenderloks, und die ersten Mallets waren vielfach Tenderloks, werden die seitlichen Wasserkästen i.a. eine Unterstützung im Bereich der vord. AE brauchen. Diese sollte möglichst den Bewegungen des Kessels folgen, um bewegliche Rohrleitungen oder Schläuche zu sparen. Da ist, wenn ein Ausleger vorhanden ist, der Anschluß daran naheliegend und sinnvoll. Der Ausleger könnte aber leichter sein, als die ausgeführten Ausleger. Siehe dazu Abschn. 4.2 .

Diese Dinge heute rechnerisch nachzuweisen ist schwierig, da sich, wie schon erwähnt, im Schrifttum keinerlei Hinweise auf den Ausleger oder gar ins einzelne gehende, zeichnerische Darstellungen davon finden. Man müsste eigentlich auch das elastische Verhalten der hint. AE und ihrer Verbindung mit dem Kessel in die Rechnung aufnehmen. So etwas war damals mindestens nicht praktikabel. Wir vermuten, daß die Ausleger-Konstruktion deshalb bald nachgeahmt wurde, denn der Gedanke, den Kessel als Träger zu entlasten, ist ja einleuchtend, besonders wenn man sich bei fehlenden Erfahrungen mit einer genaueren Berechnung schwer tut. Und auf unsicherem Boden geht man mit Recht „auf Nummer sicher“.

4.2 Der Ausleger-Rahmen – Berechnungen

Trotz unserer negativen Beurteilung des Auslegers, aber angesichts seiner weiten Verbreitung, wollten wir doch gerne nähere Einblicke in die Gedankengänge gewinnen, die ihm wohl zugrunde gelegen haben. Dafür bietet sich das Verfahren des *reverse engineering* an. Dabei rechnet man eine vorliegende Konstruktion unter Verwendung vermuteter Ausgangsgrößen nach und kann dann aus dem Ergebnis darauf schließen, ob die dabei gemachten Annahmen ihr wahrscheinlich zugrunde gelegen haben. Dazu muß man natürlich ins Einzelne gehende Unterlagen über die Konstruktion haben – und eben daran mangelte es uns zunächst.

In dieser Lage brachte uns der Glücksfall weiter, daß wir im Frühjahr 2015 bei dem Deutschen Eisenbahn-Verein (DEV) in Bruchhausen-Vilsen eine sehr weitgehend zerlegte, im Neuaufbau

befindliche Mallet-Lok (Bahnbezeichnung 7s) durch das freundliche Entgegenkommen des Vereins besichtigen und die Rahmenstruktur aufmessen konnten. Es handelt sich dabei um eine B*B n4vt Lok mit 1000 mm Spurweite und dem Baujahr 1898, Erbauer ist die Maschinenbau-gesellschaft Karlsruhe. Lokomotiven von dieser Größe und Bauart und mit verschiedenen Spurweiten wurden damals von mehreren Herstellern für viele Bahnen gebaut, so daß man fast von einer Art „Normalausführung“ für Schmalspurbahnen sprechen kann. Diese Lok hat einen Ausleger (in Abb. 23 Hinweis (1)), die wichtigsten Ergebnisse der Aufmessung zeigen Abb. 23 und die zugehörigen Fotos Abb. 24 – 28, einen Querschnitt durch den Ausleger Abb. 29. Eine etwas größere und normalspurige, sonst aber sehr ähnliche Lok (bayer. BB II, von 1899) zeigt das Titelbild. Auch an ihm sieht man, wie schwierig der Ausleger auf einem solchen Generalplan zu erkennen ist.

Im Sinne des *reverse engineering* soll uns nun die Beanspruchung des Auslegers einen Anhalt dafür geben, was die Karlsruher Ingenieure – sei es als erste, oder nicht – seinerzeit von ihm erwartet haben. Wir haben dafür folgenden denkbaren, in Betracht kommenden Belastungsfall gewählt : Annahme des Kessels als Träger auf zwei Stützen mit einer Einzellast F_K im Schwerpunkt, Belastung der Auslegerspitzen durch die Auflagerkraft des Kessels am vorderen Auflager und durch die anteilige Masse der seitlichen, gefüllten Wasserkästen. Festeinspannung der Auslegerarme an der hint. AE im Schnitt CD. Dieses statische Modell zeigt Abb. 30.

Zunächst haben wir Masse und Schwerpunktlage des Kessels berechnet. Die Masse beträgt danach einschl. Wasserfüllung und einem Zuschlag für feine Armaturen 8 310 kg, entsprechend also $F_K = 83\,100\text{ N} = 83,1\text{ kN}$. Der Schwerpunkt liegt der Länge nach 2,39 m vor der 4. Achse der Lok. Bei freier Auflagerung des Kessels sind seine Auflagerkräfte $F_A = 37,4\text{ kN}$, $F_B = 45,7\text{ kN}$. Die Wassermasse in den seitlichen Kästen ist nach den Hauptdaten der Lok 3,5 t entspr. $35\,000\text{ N} = 35,0\text{ kN}$, die Masse der Kästen selbst je 800 kg, zus. 1 600 kg, entspr. $16\,000\text{ N} = 16,0\text{ kN}$. Die Hälfte dieser beiden Massen belaste die Auslegerspitze, d.h. statt mit $F_B = 45,7\text{ kN}$ ist dort mit $F_B^+ = 45,7 + 17,5 + 8,0 = 71,2\text{ kN}$ zu rechnen.

Das Widerstandsmoment des ganzen Auslegers (siehe Abb. 29), berechnet für seine Oberkante im Punkt C, beträgt $W_o = 400\text{ cm}^3$. Auf den ersten Blick stört in der Abb. der fehlende Obergurt, er fehlt, weil der Kessel für ihn keinen Platz läßt. Es wäre wahrscheinlich möglich gewesen, noch ein Winkelprofil nach außen an den Steg zu setzen, das hat man aber offensichtlich nicht für nötig gehalten. Anscheinend hat man den ganzen Fall im Grunde schon ähnlich gesehen, wie wir es oben taten.

Rechnet man den Ausleger an der hint. AE in CD fest eingespannt (s. auch Abb. 25), so beträgt die Zugspannung in der Oberkante des Auslegers im Punkt C : $\sigma_C = 143\text{ N/mm}^2$.

Die Beurteilung dieser Spannung erfolgt heute nach viel weiter gehenden Überlegungen, als wir sie anstellen konnten. Wir verwenden hier eine Tabelle von zulässigen Spannungen, die eine längere Geschichte hat, und auf die Arbeiten von Bach und die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurückgeht. Für einen Bau-Stahl St 37 und eine Beanspruchung die zwischen „schwellend“ und „statisch“ liegt, finden wir dort $\sigma_{zul} = 70 - 105$ bzw. $110 - 165\text{ N/mm}^2$ angegeben. Das würde für unseren Fall bedeuten, daß die Beanspruchung zwar sehr hoch ist, aber noch einigermaßen vertreten werden kann. Die Konstruktion des Auslegers wird also ungefähr nach dem hier angewendeten oder einem ganz ähnlichen Belastungsfall erfolgt sein. Nach einer anderen Quelle soll etwa ein Baustahl St 40 verwendet worden sein. Dann könnte man die zulässigen Spannungen rund 8 % höher ansetzen, das würde die Verhältnisse noch etwas vereinfachen. In eine nähere Betrachtung der Zulässigkeit wollen wir jedoch nicht einsteigen.

Als Ergebnis halten wir also fest : Die Rahmen-Konstruktion mit einem Ausleger halten wir für unnötig, auch als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme (*fail-safe*) taugt sie nicht. Ausgelegt hat man

den Ausleger offenbar für einen sehr auf der sicheren Seite liegenden Lastfall, bei dem ein beträchtlicher Teil der halben Kesselmasse den Ausleger belastete.

5 Biographisches

5.1 Mallet und seine Patente

Jules-Théodore-Anatole Mallet wurde 1837 in Lancy in der französisch-sprachigen Schweiz geboren, wuchs aber vornehmlich in Frankreich auf. Er betätigte sich zunächst als Bauingenieur und arbeitete als solcher u.a. beim Bau des Suezkanals mit. Ab 1867 wandte er sich dem Maschinenbau zu, insbesondere der Entwicklung der Verbundlok, – übrigens ein Beispiel für die Breite der Ingenieur-Ausbildung der damaligen Zeit. Er nahm 1874 ein erstes französisches Patent auf die Verbundlok, danach eine ganze Anzahl weiterer Patente auf besondere Varianten und in anderen Staaten. Schließlich gewann er die sonst weniger bekannte Bayonne – Biarritzer Eisenbahn an der Küste der Biskaya dafür, 1877 eine B1 n2vt und 1878 eine C n2vt –Lok zu bestellen und einzusetzen, siehe Durrant (1974). Dies waren noch keine Gelenk-, sondern normale Starr-Rahmen-Loks, die sich wohl sofort bewährt haben. Von daher kann man Mallet mit Recht als den Vater der Verbundlok bezeichnen, denn er hat die ersten, tatsächlich betriebsfähigen Lokomotiven dieser Art entworfen.

Mallet kam auf der Suche nach Anwendungsmöglichkeiten für seine Verbundloks dann auf die Ausführung als Gelenk-Lok, so z.B. auf das nicht verwirklichte Projekt einer Schmalspurbahn auf Korsika, und hat 1885 ein französisches Patent auf eine Gelenk-Lok erhalten.

Schon bei den ersten wirklich ausgeführten Gelenk-Lokomotiven nach Mallets Patent, den 1888 gebauten Maschinen der Ausstellungsbahn der Pariser Weltausstellung von 1889 – siehe Salomon (1890) und Giesl (1986) S.372, hier Abb.19 und 20 – erlaubte die Gelenkverbindung zwischen den beiden AE keine Drehung um die y- und die x-Achse sondern nur um die z-Achse. Dieser von Mallet angegebene Aufbau fiel allerdings nur bei sehr genauer Betrachtung der Lokomotive auf und ist (etwa auch deshalb ?) im Schrifttum sehr vernachlässigt worden.

Wir kennen aus der Anfangszeit nur den Wortlaut von Mallets Patentanmeldung in der Schweiz – das von Durrant (1974) mit der Nr. 162,876 angegebene, ursprüngliche, 1884 angemeldete französische Patent, war nicht mehr zu ermitteln. Man darf aber wohl davon ausgehen, daß dies schweizerische Patent (Exposé D'Invention, Brevet No. 1100, 8 juin 1889, 4 h, Classe 230, (hier zitiert als : Patent (1889)), sich inhaltlich mit dem französischen Patent deckt. Soweit wir sehen konnten, sind in diesem und einer Reihe gleichzeitiger, weiterer Mallet-Patente alle Gelenk-Lok Verbund-Lok, aber bei weitem nicht alle Verbund-Lok auch Gelenk-Lok.

Bei dem Patent (1889) beschäftigen sich außer der Zusammenfassung nur 2 von 22 Absätzen der Beschreibung mit dem Aufbau des Rahmens bzw. des Laufwerks, während die übrigen Absätze der Verbund-Dampfmaschine gelten, die bis dahin offenbar noch nicht umfassend patentrechtlich geschützt war.

Die Absätze, die den Aufbau des Laufwerks ansprechen, seien hier in deutscher Übersetzung wiedergegeben :

Absatz 3 : (wie schon in Abschn. 4.1)

Die beiden AE sind durch ein Gelenk (charnière) so zu einer Einheit verbunden, daß diese in der vertikalen Ebene starr ist und nur in der horizontalen Ebene beweglich. Die zwei Zylinder der einen AE sind i.a. die Hochdruckzylinder, die der anderen AE die Niederdruckzylinder einer Verbundanordnung.

Absatz 8 :

Um der Maschine eine größere Stabilität in der Ebene des Gleises zu geben, soll die Gesamtheit der beiden AE eine gewisse Steifigkeit in dieser Ebene erhalten. Dies geschieht durch Anordnung von zwei Federelementen zwischen den AE oder zwischen den gebogenen Gleitbahnen und einem Festpunkt, wodurch die Verschiebung der vorderen AE

gehindert und diese in die Normallage zurück geführt wird. Diese Elemente können in beliebiger Weise wirken, es genügt, daß ihr Vorhandensein deutlich ist.

Zusammenfassung :

Ich beanspruche als mein Urheberrecht : Die Erfindung einer gegliederten Verbund-Lokomotive, dadurch gekennzeichnet, daß sie zwei AE mit je zwei, drei oder vier Achsen und zwei Zylindern besitzt, die AE zu einer Einheit verbunden sind durch ein Gelenk, das in der vertikalen Richtung starr ist und beweglich allein in der horizontalen Richtung, zwei Gruppen von Zylindern hat, die als Verbund-Dampfmaschine mit zwei- oder dreifacher Expansion entweder nur auf die Antriebsräder oder über Zahnräder auf eine Zahnstange wirken, das System kann also auf gewöhnliche Adhäsions-Lokomotiven oder reine Zahnrad-Lokomotiven oder schließlich auf gemischte Adhäsions- und Zahnrad-Lokomotiven angewendet werden.

Die ersten Gelenk-Lok nach Mallet wurden dann 1888 von der Maschinenfabrik Decauville in Petit-Bourg (jetziger Sitz in Corbeil, beide im Pariser Raum), gebaut. Es waren B'B n4vt mit 600 mm Spurweite die auf der Ausstellungsbahn der Pariser Weltausstellung von 1889 eingesetzt wurden, siehe Salomon (1890). Dabei haben sie sich im angestregten Dauerbetrieb offenbar voll bewährt. Auch später finden wir im Schrifttum immer wieder einmal den Hinweis, die Gelenk-Lok nach Mallet hätten trotz ihres vierteiligen Aufbaues keine besonders hohen Unterhaltungskosten erfordert. Das ist ein Zeichen für die ausgezeichnete, weitsichtige Ingenieurarbeit Mallets – wenn es auch immer klar war, daß eine vierteilige Bauart i.a. mehr Unterhalt erfordert als eine einfache. Seine Gelenk-Lok führten sich dann auch schnell ein und wurden in ganz Europa gebaut, wobei übrigens Frankreich nicht besonders hervortrat, was man doch erwartet hätte. In Deutschland und Österreich war u.a. die Firma Krauß (später Krauß-Maffei) in München und Linz an der Einführung stark beteiligt.

Mallet starb 1919 in Paris. In den Nachrufen der Fachpresse, wird er ganz überwiegend als der Erfinder der Verbund-Lok gefeiert, während seine Gelenk-Lok-Bauart mehr am Rande erwähnt wird. Diese Verteilung der Gewichte ist zwar nicht ganz aus der Luft gegriffen, denn Mallet selbst sah offenbar in der Weiterentwicklung der Verbund-Dampfmaschine für den Lokomotivbetrieb seine Haupt- und Lebensleistung. In Kenntnis der weiteren Entwicklung halten wir aber den Entwurf und die erfolgreiche, konstruktive Durcharbeitung der unzähligen Einzelheiten von Laufwerk und Triebwerk doch für eine dem durchaus gleichwertige Leistung.

Quellen : Durrant (1974), Nachrufe : SBZ (1919) S. 296; ZVDI (1920)

5.2 Rimrott

Fritz Rimrott wurde 1849 in Aschersleben (Sachsen-Anhalt) geboren. Er studierte Maschinenbau an der königl. Gewerbeakademie in Berlin und damals schon war sein Interessenschwerpunkt der Lokomotivbau. Seine Prüfungsaufgabe war eine Lokomotive von hoher Zugkraft. Während er noch in der Abschlussprüfung war und die Prüfungsarbeit schon abgegeben hatte (1879), muß er von Mallets Arbeiten erfahren haben. Da sich die Anforderungen seiner Aufgabe stark mit Mallets Entwürfen überschneiden, zog Rimrott seine Arbeit zurück und überarbeitete sie gründlich. Dabei kam eine Gelenk-Lok heraus mit zwei AE wie bei Mallet, jedoch war der Kessel im Gegensatz zu Mallet mit der vorderen AE starr verbunden. Das bedingte eine Anzahl von weiteren, schwierigen und stark von Mallet abweichenden Einzelheiten, vgl. Rimrott(1890). Insbesondere schlug R. ein EBG vor, siehe hier Abb. 9. Ab 1880 war er Maschinenmeister bei der Eisenbahndirektion Magdeburg. Rimrott machte dann eine erfolgreiche Laufbahn im Maschinendienst der Preußischen Staatseisenbahn, war dort ab 1904 zuständig für

Konstruktion und Beschaffung der Eisenbahnfahrzeuge. Später war er u.a. nacheinander Präsident der Eisenbahndirektionen Königsberg und Danzig.

Fritz Rimrott starb 1923.

Rimrotts Lokomotive ist offenbar nicht patentiert und niemals gebaut worden. R. begann etwa 1889 eine gewisse Vortragstätigkeit in technischen Vereinigungen, um für die Beschaffung von Gelenklokomotiven durch die Staatsbahn zu werben. Das war also zur gleichen Zeit, als die ersten Mallet-Gelenk-Lok in Dienst gestellt wurden und etwa zehn Jahre nachdem Rimrott seine Bauart entwickelt hatte. Deshalb ist es nicht ganz von der Hand zu weisen, wenn Rimrott damals häufig als der eigentliche Erfinder der Gelenk-Lok angesprochen wurde, was vornehmlich von v. Borries (siehe Rimrott (1890)) ausging. Im damaligen deutschen Schrifttum wurden die Mallet-Lok dann oft als „Bauweise Mallet-Rimrott“ bezeichnet. Das halten wir für sachlich nicht gerechtfertigt und führen es auf einen gewissen, harmlosen Patriotismus zurück, die Bezeichnung hat auch außerhalb Deutschlands keinen Eingang gefunden. Rimrott selbst hatte anscheinend die Überlegenheit der Mallet-Bauart eingesehen und enthielt sich in seinen Vorträgen einer ausdrücklichen Werbung für seinen eigenen Entwurf, was uns beides menschlich angenehm berührt.

Vielleicht war das auch der Grund, warum Rimrott seinen Entwurf und sein EBG offenbar nicht hat patentieren lassen, und erst etwa zehn Jahre nach der Erfindung damit an die technische Öffentlichkeit gegangen ist. Immerhin hatten die Hunderte von großen Mallets, die ab etwa 1910 bis in die 1950er Jahre in Amerika gebaut wurden, soweit uns bekannt ist, alle ein EBG. Dort ist man also nach der ersten Mallet-Lok, die noch ein ZBG hatte, sofort oder doch sehr bald auf das EBG übergegangen, und hat sich damit von den einschlägigen Absätzen der Mallet-Patente entfernt. Auch über diesen wichtigen Schritt als solchen findet man im Schrifttum nichts, was übrigens genau so für den Verzicht auf die Verbundwirkung der Dampfmaschine gilt, der in den 1930er Jahren in Amerika geschah und nach dem von der patentierten Mallet-Lok eigentlich nicht viel mehr übrig geblieben war.

Quellen : Killy (1998) und Rimrott (1890)

6 Offene Fragen

Wir lassen hier einige unbeantwortete Fragen folgen – natürlich gibt es noch viel mehr – und würden uns über Äußerungen dazu aus dem Kreis der Leser freuen :

- a) Wortlaut (französisch oder deutsch) des 1. Mallet-Patents von 1884 ?
- b) Gibt es Berichte über die erste Lok mit EBG in Amerika ?
- c) Wann und wo ist der erste Ausleger-Rahmen gebaut worden ?
- d) Ist darüber irgendwo etwas veröffentlicht worden ?
- e) Hatten die bayer. Gt $2 \times 4/4$ einen Ausleger-Rahmen oder nicht ?
- f) Ist eine Abhandlung über die Eignung des Kessels als eigentlicher Hauptträger der Gelenk-Lokomotive bekannt ?
- g) Sind spezielle Betriebs-Erfahrungen mit ZBG und EBG bekannt ?
- h) Wir würden gerne Verbindung mit Nachkommen von Fritz Rimrott aufnehmen. Kann da jemand helfen ?

7 Schluß

Es gibt ja die etwas blumig formulierte, aber ihrem Sinn nach technisch richtige Forderung, eine Lokomotive müsse sich „ an das Gleis anschmiegen“. Zur Zeit von Mallets Patentanmeldungen und bei den kleinen Maschinen jener Zeit hat seine Festlegung auf eine gegenseitige Beweglichkeit der Rahmenteile seiner Lok nur in der x-y-Ebene, die Erfüllung dieser Forderung noch nicht stark behindert. Das änderte sich aber wohl bald und es ist deshalb nicht

überraschend, daß Konstruktionen, die mehr Wert darauf legten, immer wieder versucht wurden und letzten Endes den Sieg davon trugen. Dazu gehört u.a. die Beweglichkeit der vord. AE um die x-Achse und die Reduzierung der Aufgaben des Gelenks auf die Übertragung von Kräften in der x- und der y-Richtung. Ebenso das Vertrauen darauf, daß der traditionelle Lokomotiv-Kessel durchaus geeignet sei, die beiden AE in der x-z-Ebene in einer Flucht zu halten.

Was ist also von Mallets Gedanken übrig geblieben, nachdem auch die Verbundwirkung der Dampfmaschine aufgegeben wurde ? Eigentlich nur – aber immerhin – die Formel „zwei AE, ein Kessel der mit der einen AE fest verbunden ist und auf der anderen frei aufliegt“. Diese Formel bestimmt ja auch das äußere Bild der Lok. Deshalb sind wir bei der Bezeichnung „Mallet-Lok“ geblieben, während die Amerikaner heute etwas umständlicher von der „*articulated single expansion engine*“ sprechen, aber damit technisch eindeutig sind.

Mallet hat manches von dieser Entwicklung ja noch erlebt, was er dazu gesagt hat, wissen wir nicht. Wir hoffen aber, daß der nüchterne Ingenieur, der er ja wohl war, die Änderungen „seiner“ Bauart ohne Verbitterung zur Kenntnis genommen hat, weil und soweit sie wirkliche Verbesserungen waren. Sein Hauptverdienst, eine Dampflok-Bauart geschaffen zu haben, die gleichzeitig sowohl äußerst kurvenbeweglich als auch für die höchsten Leistungen geeignet war, ist jedenfalls ganz unbestritten.

Und was haben wir heute zu Rimrott zu sagen ? Seinen Namen mit dem Mallets zu einem Begriff zu verbinden, halten wir für nicht angebracht. Dagegen hat er als Erfinder des Ein-Bolzen-Gelenks dem Bau immer leistungsfähigerer Dampflok-Bauarten eine Richtung gewiesen, die sich bis zum Beginn des Diesel- und des E-Zeitalters als tragfähig erwiesen hat. Das hat Rimrott in den Anfängen auch noch erlebt. Es liegt uns deshalb daran, diesem offenbar persönlich sehr rechtlich denkenden und bescheidenen Ingenieur – wenn auch spät – die Würdigung zukommen zu lassen, die er verdient hat.

8 Schrifttumsverzeichnis

Außer den in dieser Arbeit verwendeten Quellen sind hier noch einige weitere Titel aufgenommen worden, um die Zusammenstellung von historischen Texten zu dem Thema dieser Arbeit abzurunden.

Kurzangabe	Ausführliche Angabe
Archiv (o.J.)	Archiv des DB-Museums Nürnberg
Autorenkollektiv (1965)	Autorenkollektiv „Die Dampflokomotive“, Berlin, 2. Auflage 1965
Beschreibung (o.J.)	„Beschreibung der – h4v – Mallet-Güterzug-Tenderlokomotive Reihe 96°“ (Gt 2x4/4 bayerischer Bauart) Deutsche Reichsbahn, ohne Jahr
Birk (1890)	Birk, Alfred „Die neueren Fortschritte im Lokomotivbau vom Standpunkt des Eisenbahnbau-Ingenieurs“ in : Glasers Annalen für Gewerbe & Bauwesen Band 27 1890 II Juli – Dezember S. 125 – 130
Brückmann (1891)	Brückmann, E. „Kurvenbewegliche Lokomotiven von großer Zugkraft“ in „Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure“ Band ?, Jahrgang 1891, S. 951 – 956 und 1007 - 1012
Distelbarth (1973)	Distelbarth, Wolfgang „Schmalspurfahrzeuge in Sonderbauart“ Folge 5/6 der Schriftenreihe „Eisenbahnen und Museen“ (Monographien und Mitteilungen) Hrsgbr. : Deutsche Gesellschaft für Eisenbahngeschichte e.V. , Karlsruhe 1973
Durrant (1969)	Durrant, A. E. „The Garratt Locomotive“ David & Charles, Newton Abbot England 1969
Durrant (1974)	Durrant, A. E. „The Mallet Locomotive“ David & Charles, Newton Abbot England 1974
Garbe (1907)	Garbe, R. „Die Dampflokomotiven der Gegenwart“ Julius Springer, Berlin 1907
Garbe (1920)	Garbe, R. „Die Dampflokomotiven der Gegenwart“ Julius Springer, 2. Aufl. Berlin 1920
Giesl (1976)	Giesl-Gieslingen, Adolph „Lokomotiv-Athleten“ S. 87 ff, Slezak, Wien 1976 ISBN 3-900134-27-8
Giesl (1980)	Giesl-Gieslingen, Adolph „Der Lokomotivkessel – das unbekanntes Wesen“ in „Lok-Magazin“ Stuttgart 1980, Nr. 100, S. 8 - 19
Giesl (1986)	Giesl-Gieslingen, Adolph „Anatomie der Dampflokomotive“ Slezak, Wien 1986, ISBN 3-85416-089-5
Hartmann (2011a)	www.technikgeschichte.org dort : „Die Dampflokomotive am Ende ihrer Entwicklung“ Nürnberg 2011
Hartmann (2012a)	www.technikgeschichte.org dort : „Zur Rahmen- und Triebwerkskonstruktion der ersten Dampflokomotiven“ Nürnberg 2012
Henschel (1960)	Henschel-Werke G.m.b.H., „Henschel Lokomotiv-Taschenbuch Ausgabe 1960“ Kassel 1960
Heumann (1942)	Heumann, „Grundzüge des Bogenlaufs von Eisenbahnfahrzeugen“ Zeitschrift ‚Die Lokomotive‘, 39. Jahrg. 1942, S. 1 – 8 und 20 - 26
Hütte (1936)	„Hütte“ des Ingenieurs Taschenbuch, Teil I, 26. neubearbeitete Auflage., Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin 1936
Humboldt (1908)	Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure (Jahrg.1908 I) S. 432 - 433 : „Rundschau“

Kurzangabe	Ausführliche Angabe
Jahn (1907)	Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure (Jahrg.1907 II) S. 1046 – 1055, 1098 – 1106, 1141 – 1144 Jahn, John „Der Antriebsvorgang bei Lokomotiven“
Keller (1908)	Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure (Jahrgang 1908 II) S 1630-1634 und Tafel : Keller, H. „Sechssachsige kurvenbewegliche Güterzug-Verbundlokomotive der Hedschasbahn“ gebaut von Henschel & Sohn in Cassel
Killy (1998)	Killy u. Vierhaus (Hrsg) „Deutsche Biographische Enzyklopädie“ K.G. Saur, München 1998 Band 8 (Plett – Schmidseher) S. 313 Kurzbiographie Fritz Rimrott
Kinsey (1984)	Bohn, Dave „Kinsey, photographer“, vol. 3, Chronicle Books, San Francisco, 1984
LD (1906)	„Locomotive Dictionary“, 1. Edition, 1906, Simmons-Boardman, New York 1906
LD (1912)	„Locomotive Dictionary“, 3. Edition. 1912, Simmons-Boardman, New York 1912
LC (1941)	„Locomotive Cyclopedia“, 12. Edition, 1941, Simmons-Boardman, New York 1941
LC (1947)	„Locomotive Cyclopedia“, 13. Edition, 1947, Simmons-Boardman, New York 1947
Lotter (1909)	Lotter, Georg „Handbuch zum Entwerfen regelspuriger Dampflokomotiven“ R. Oldenbourg München und Berlin 1909
Lüttgerding (1942)	Lüttgerding, Heinr. „Biegespannungen und Kräfte im Lokomotiv-Barrenrahmen beim Anheben der Maschine ohne und mit Radsätzen“ in Zeitschrift „Die Lokomotive“ 39. Jahrg. 1942. Nr.3, S.44 – 46 und Nr. 4, S. 61 – 69
Mallet (1900)	Mallet, A. „Locomotive Compound Articulée Système Mallet“ dazu Tafel XXI (diese umfasst drei Blatt A4 liegend) in „Revue generale de chemin de fer“ Jahrg. 1900, 1.Halbjahr, S. 439 – 453
Meineke (1931)	Meineke, F. „Kurzes Lehrbuch des Dampflokomotivbaues“ Springer, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1931
Meineke (1949)	Meineke, F. u. Fr. Röhrs „Die Dampflokomotive Lehre und Gestaltung“ Springer, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1949
Metzeltin (1906)	Metzeltin „Kurvenbewegliche Lokomotiven“ in „Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure“ ZVDI Band 50, Jahrgang 1906 I und II, S. 151 – 156, 1176 – 1183 und 1217 – 1220
Niederstraßer (1957)	Niederstraßer, Leopold, „Leitfaden für den Dampflokomotivdienst“ Verkehrs-wissenschaftliche Lehrmittelgesellschaft m.b.H., Frankfurt/Main 1957 Nachdruck 1979 : Deutsche Gesellschaft für Eisenbahngeschichte e.V. Karlsruhe 1979, ISBN 3-921700-26-4
Pflug (1954)	Pflug,E. „Entwurfsgrundlagen einer Diesellokomotive mittlerer Leistung für den Rangierdienst bei der Deutschen Bundesbahn“ in „Glasers Annalen“ 78. Jahrgang 1954, Heft 6, S. 141 – 146
Rimrott (1889)	Rimrott, F. „Tender-Lokomotive für Bahnen mit starken Krümmungen und Steigungen“ in : Glasers Annalen für Gewerbe & Bauwesen Band XXV, 1889 II, Juli – Dezember, S. 6 - 8
Rimrott (1890)	Rimrott, F. „Über kurvenbewegliche Verbund-Tenderlokomotiven mit 4 Dampfzylindern“ in : Glasers Annalen für Gewerbe & Bauwesen, Band 26 1890 I Januar – Juli, S. 141 bis 147
Rimrott (1892)	Rimrott, F. „Über Lokomotiven für Gebirgsbahnen“ in : Organ für die Fortschritte . . . , 1892, 47. Band, S. 131 – 135
Salomon (1890)	Salomon, B. „Die Lokomotiven auf der Pariser Weltausstellung (1889)“ in „Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure“ _ ZVDI Band XXXIV, 12.Juli 1890, S. 706 - 713

Kurzangabe	Ausführliche Angabe
SBZ (1920)	Schweizerische Bauzeitung, Bd.LXXIV, (1919) Nr. 24, S.295 C.B. „+ Anatole Mallet“ . (französisch)
Weisbrod (1981)	Weisbrod/Petznick „Dampflokotiven deutscher Eisenbahnen Baureihe 97 – 99“ Transpress Berlin 1981 Lizenzausgabe alba Düsseldorf
Wiener (1930)	Wiener, Lionel „Articulated Locomotives“ Constable & Co. London 1930 Nachdruck 1970 : Kalmbach Publishing Co. 1027 North Seventh Street, Milwaukee, Wisconsin 53233
www.malletlok	www.malletlok.de/erfinder/biografie.htm Wikipedia
ZVDI (1906)	Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrg. 1906 II : S. 1176 – 1183 und 1217 – 1220 und Tafel 12 : Metzeltin „Kurvenbewegliche Lokomotiven“
ZVDI (1920)	Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrgang. 1920 I : S. 23 „Nachruf für A. Mallet“

9 Abbildungen

Die Herkunft der Abbildungen ist bei ihnen jeweils angegeben, dabei haben wir uns auf das Schrifttumsverzeichnis bezogen. Abbildungen ohne eine solche Angabe stammen vom Verfasser, bei ihm liegen auch sämtliche Rechte an der Arbeit.

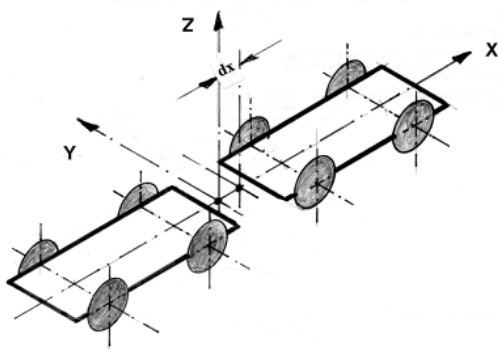


Abb. 1.1

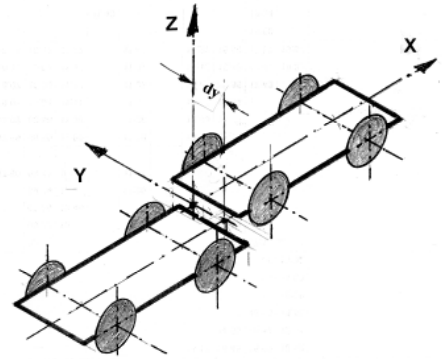


Abb. 1.2

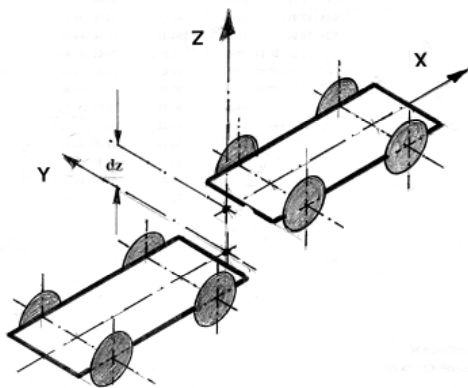


Abb. 1.3

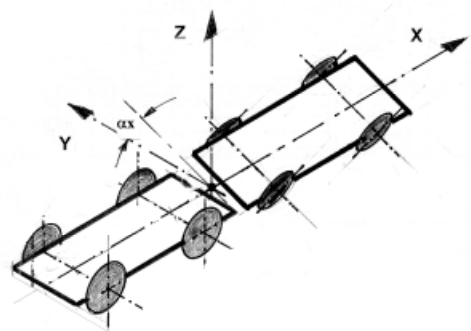


Abb. 1.4

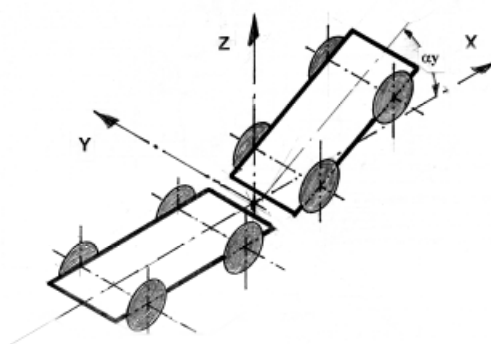


Abb. 1.5

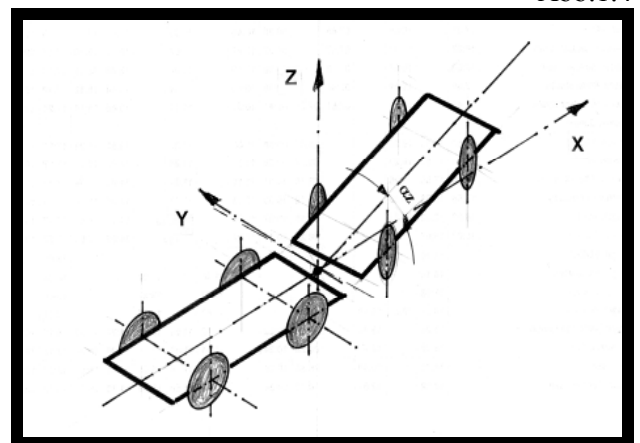


Abb. 1.6

Abb. 1 Koordinatensystem und Freiheitsgrade des Rahmen-Gelenks

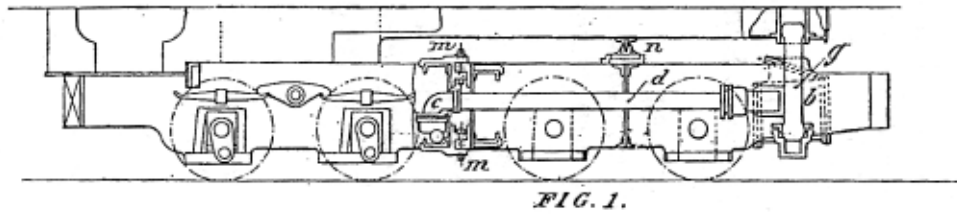


Abb. 2 Laufwerk nach Patentschrift (Patent (1889))

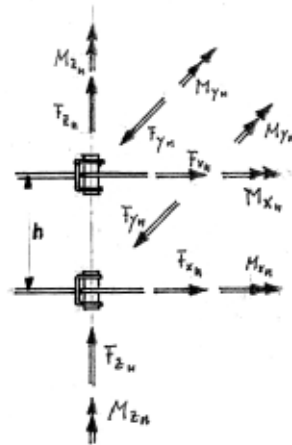


Abb. 3 Kräfte und Momente am ZBG

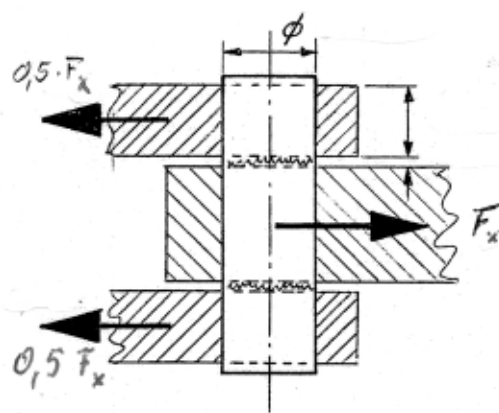


Abb. 4 Schubspannungen in den Gelenkbolzen

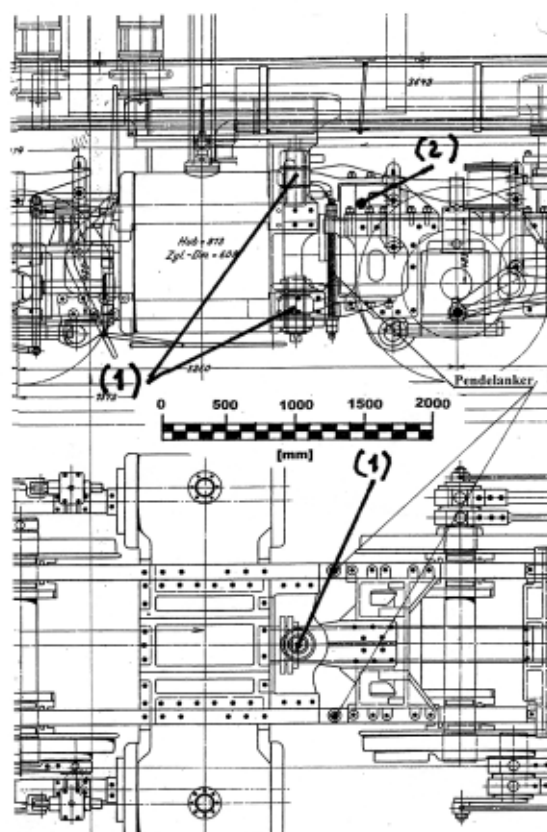


Abb. 5 ZBG der B&O-Lok Bahn-Nr. 2400
 (1) Gelenkbolzen (2) Kraft-Umleitungs-Stück
 (Garbe (1907))

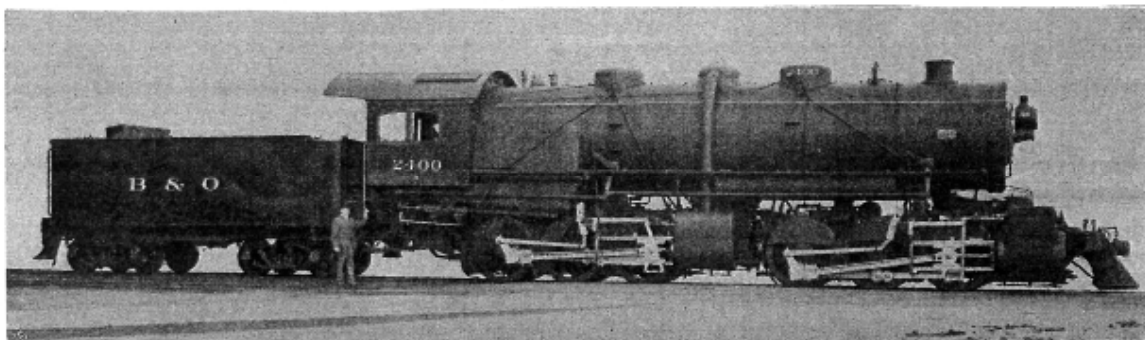


Abb. 6 B&O-Lok Bahn-Nr. 2400
(Garbe (1907))

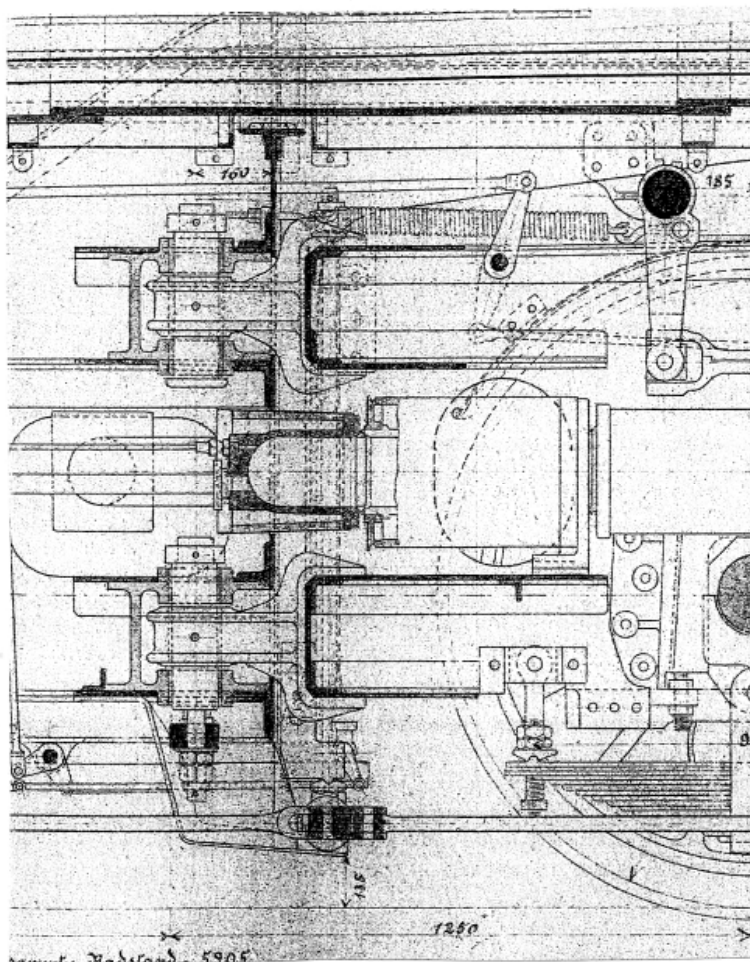


Abb. 7 ZBG Lok bayer BB II von 1898 (Archiv (o.J.))

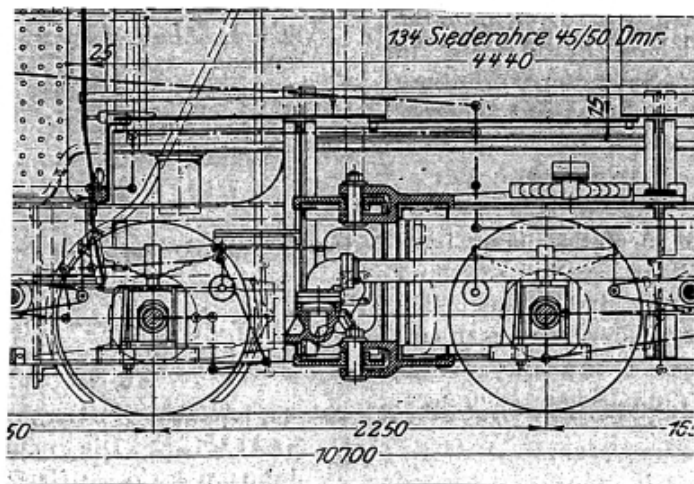


Abb. 8 ZBG einer Lok B'B h4v (nach Humboldt (1908))

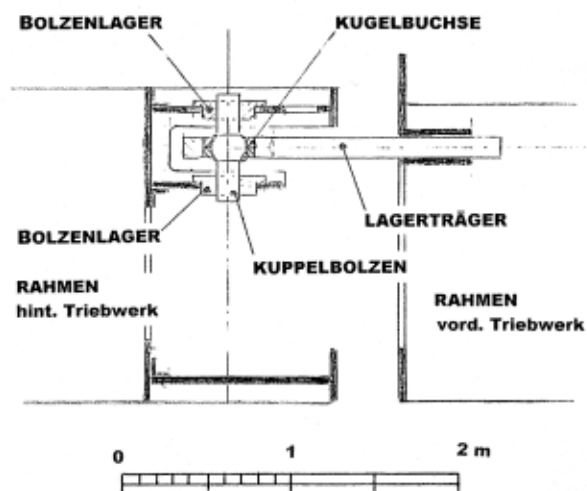
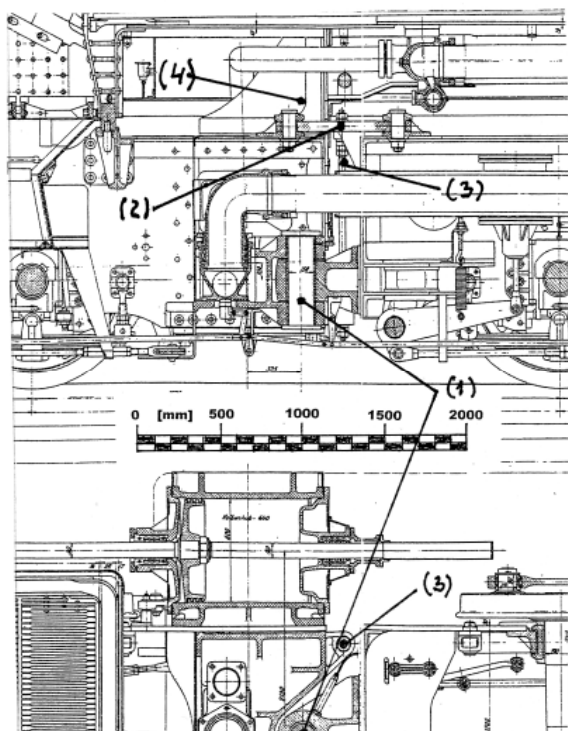
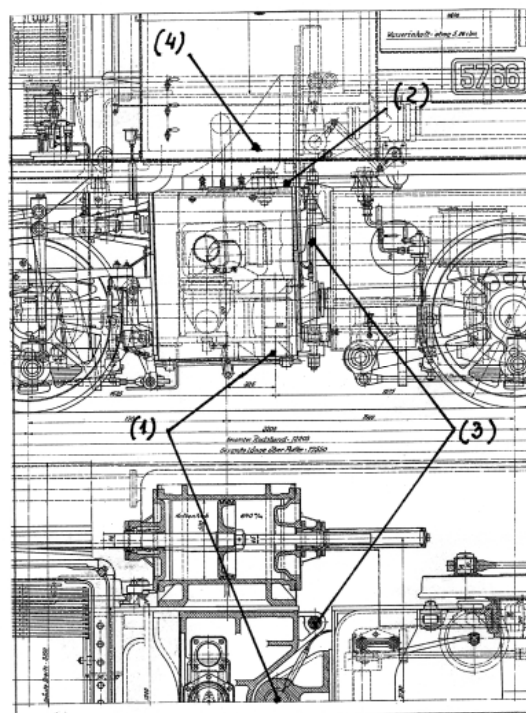


Abb. 9 EBG von Rimrott (J.H. nach Rimrott (1889))

**Abb. 10**

EBG der Lok bayer. 2×4/4 , Bauos 2
 (1) Kuppelbolzen (2) Kuppeleisen
 (3) Pendelanker (4) Ausleger-Knie ?
 (Beschreibung (o.J.)

**Abb. 11**

EBG der Lok bayer. 2×4/4 , Bauos 1
 (1) Kuppelbolzen (2) Kuppeleisen
 (3) Pendelanker (4) Ausleger-Knie ?
 (Längsschnitt 1)
 (Etwas kleinerer Maßstab als Abb. 10)

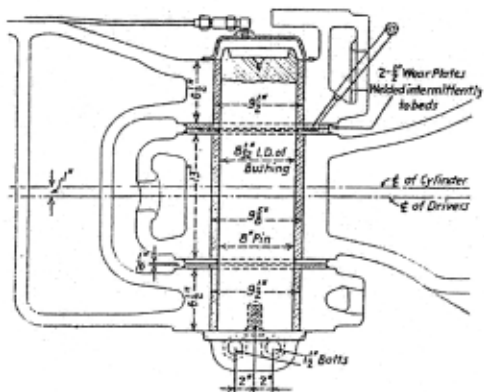


Abb. 12 Bolzen eines EBG (nach LC 1947, S. 614, Fig. 8.27)

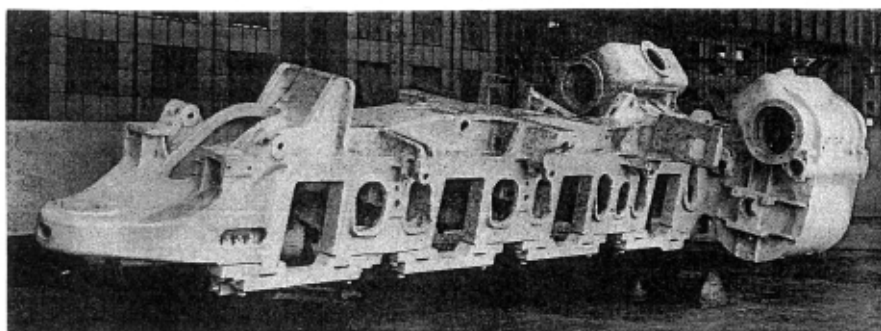


Abb. 13 Locomotive bed einer vord. AE (LC 1938, S. 630, Fig. 1377)

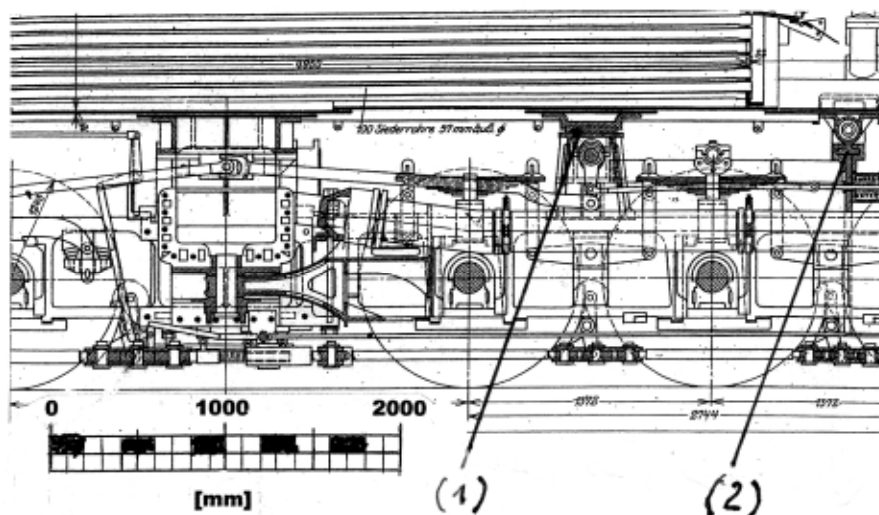


Abb. 14 EBG einer C'C – Lok
 (1) hinteres Kessellager (2) vorderes Kessellager (Garbe (1920), Tafel 37)

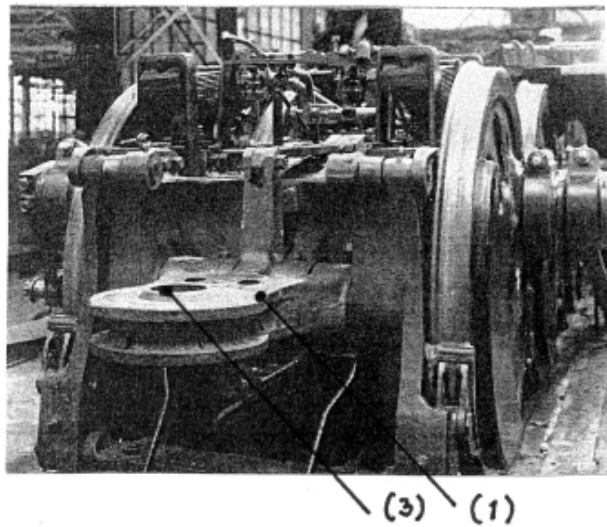


Abb. 15 Baldwin-Gelenk
(1) Gelenkarm (3) Durchbruch für Kuppelbolzen
(nach LC 1938, S. 635, Fig. 1388)

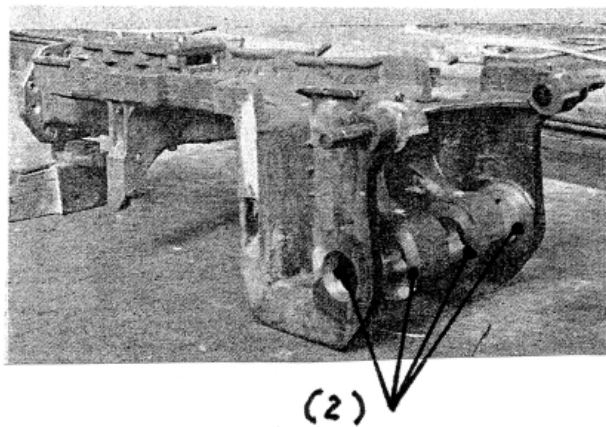


Abb. 16 Baldwin-Gelenk
Zentralgussstück des Rahmens der vord. AE, von hinten
(2) Lagersitze für Gelenkarmachse
(nach LC 1938, S. 635, Fig. 1386)

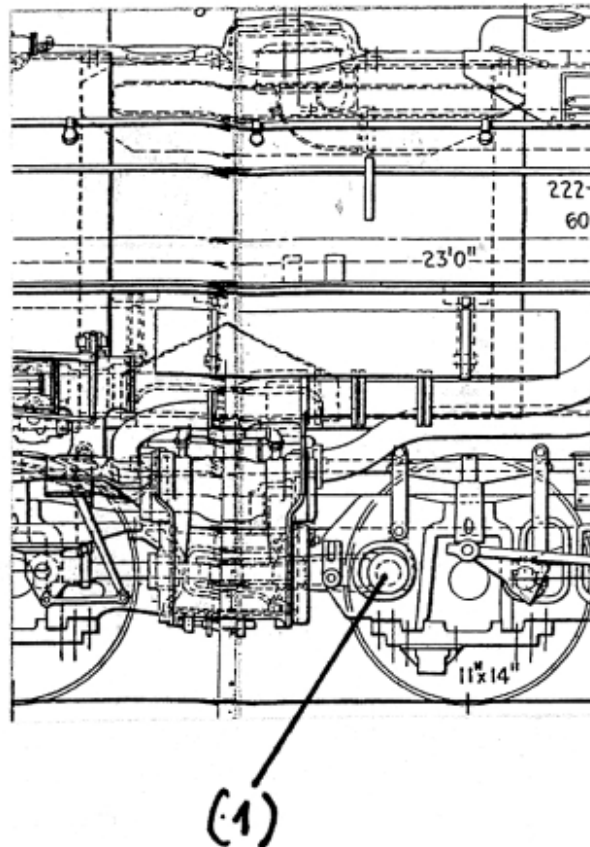
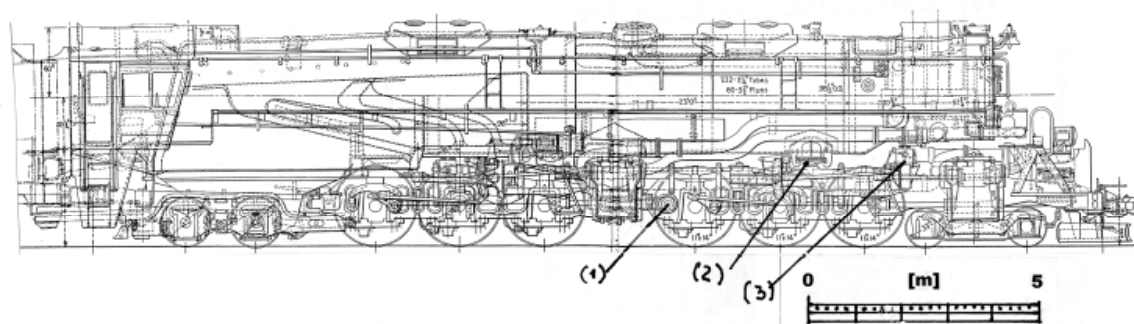


Abb. 17 Baldwin-Gelenk

Zylinder und BaG einer (2'C)'C 2' h4 Baujahr etwa 1945,

(1) Gelenkarmachse (Ausschnitt aus Abb. 18) (nach LC 1947, S. 144 / 145, Fig. 264)

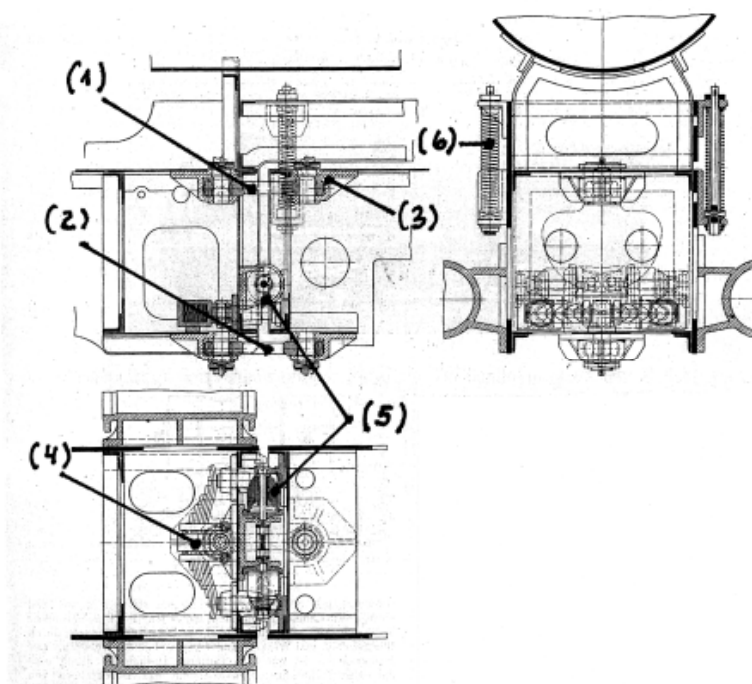
**Abb. 18**

Baldwin-Gelenk

Längsschnitt einer (2'C)'C 2' h4 Baujahr etwa 1945

(1) Gelenkarmachse (2) hinteres Kessellager (3) vorderes Kessellager

(nach LC 1947, S. 144 / 145, Fig. 264)

**Abb. 19**

Hedschas-Bahn-Gelenk

(1) Kuppeleisen oben (2) Kuppeleisen unten (3) Kuppeleisen-Halterung

(4) x-Feder (Blattfeder) (5) y-Federn (6) z-Federn

(nach ZVDI 1908 II, S. 1632, Fig. 3 – 5)

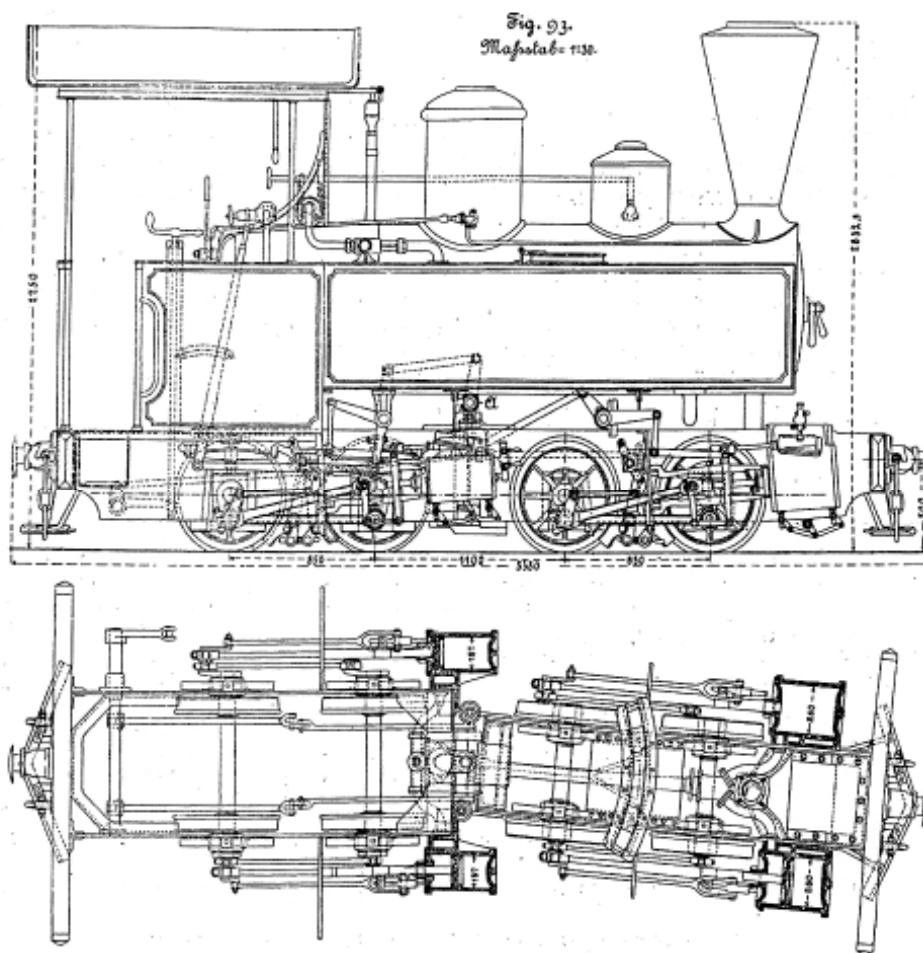


Abb. 20 Gen. Plan der ersten Mallet-Gelenk-Lok, 1888 (Salomon (1890))

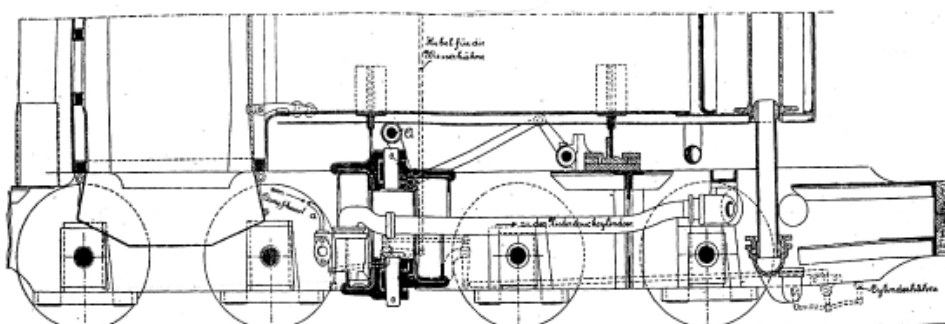
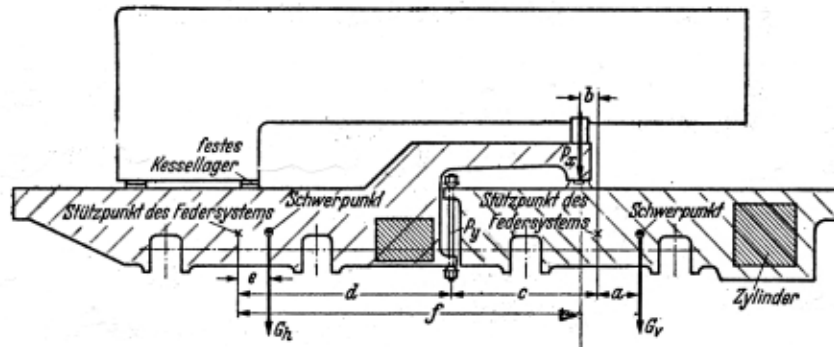


Abb. 21 ZBG und Kesselabstützung auf vord. AE (nach Salomon (1890))

**Abb. 22**

Kräfte an der vorderen AE, Ausleger-Rahmen (Meineke (1949), Abb. 147)

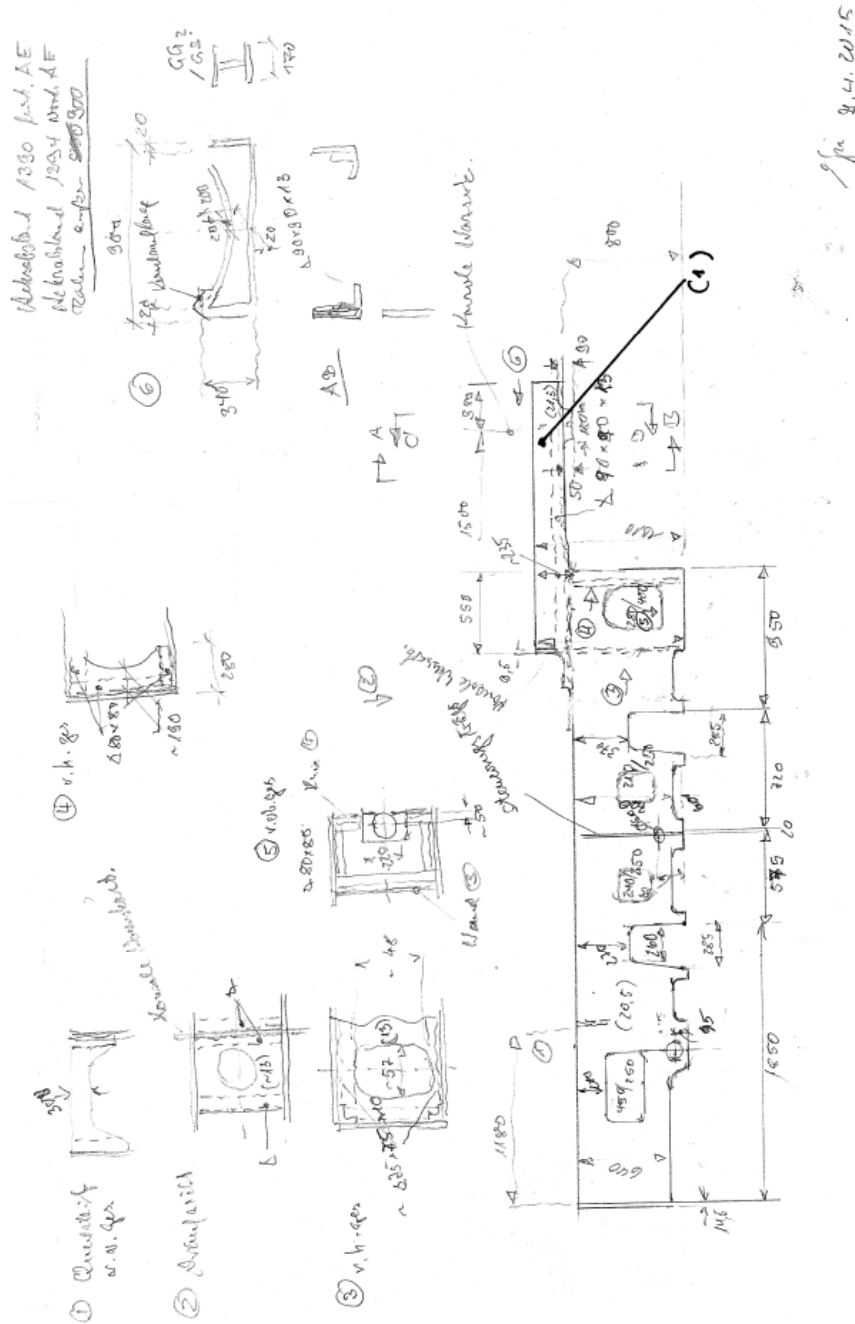


Abb. 23
Wiederaufbau Lok DEV 7 s Ergebnis der Aufmessung der hint. AE (Ausschnitt)
(1) Ausleger

**Abb. 24**

Wiederaufbau Lok DEV 7 s Gelenk-Bereich, rechte Seite, von seitlich vorn, Ausleger, Pendelanker, Konsole für Wasserkasten, Auflager auf vord. AE

**Abb. 25**

Wiederaufbau Lok DEV 7 s Gelenk-Bereich, linke Seite. Kurz links von dem oberen Kopf des Pendelankers, wo Unterkante Ausleger horizontal wird, ist der Schnitt CD nach Abb. 30



Abb. 26

Wiederaufbau Lok DEV 7 s linke Seite, von seitlich hinten, ND-Zylinder



Abb. 27

Wiederaufbau Lok DEV 7 s unterer Gelenkbolzen-Kopf von rechts



Abb. 28
Wiederaufbau Lok DEV 7 s
oberer Gelenkbolzen-Fuß von rechts

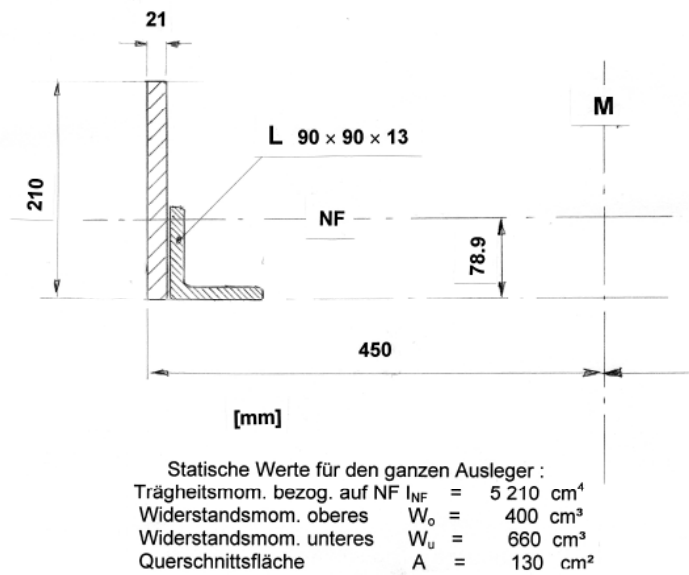


Abb. 29

Wiederaufbau Lok DEV 7 s. Querschnitt CD des Auslegers

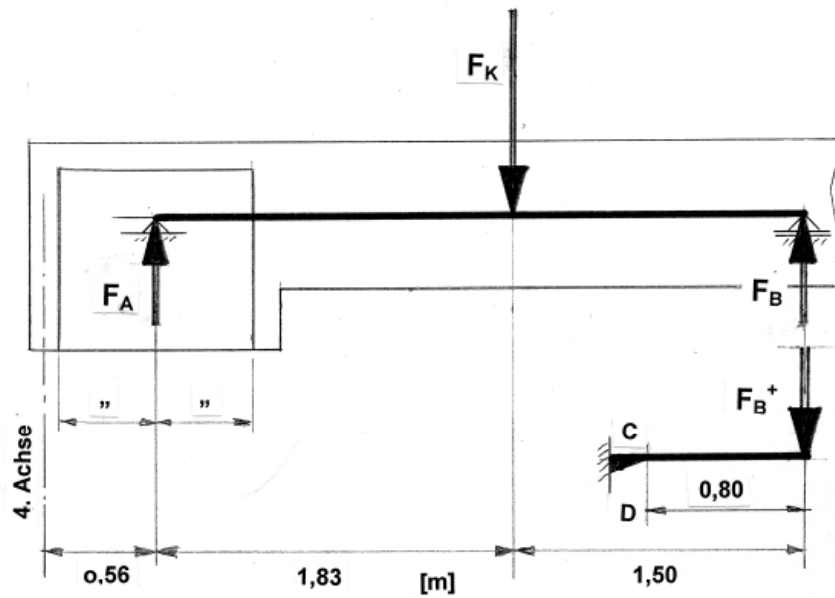


Abb. 30

Wiederaufbau Lok DEV 7 s. Statisches Modell für Auslegerberechnung