

Kolbenmaschine, andererseits durch die Verwendung von Wasserröhrenkesseln bei sehr stark forciertem Zuge begründet. Der Zug wurde durch einen Ventilator erzeugt, welcher mit einer der Turbinenwellen direkt verbunden ist und die Luft unter einer Pressung von ungefähr 200 mm Wassersäule in den Heizraum drückte.

Insofern große Leistungen bei verhältnismäßig geringen Gewichten der Maschinerie als eine Folge der erhöhten Kolbengeschwindigkeit erreicht werden, ist damit kein Verlust, im Gegenteil ein wenn auch nicht bedeutender thermodynamischer Gewinn verbunden. Forcierter Zug ohne gleichzeitige Vergrößerung der Heizfläche hat eine Verminderung des Wirkungsgrades zur Folge. Bei Kolbenmaschinen entspricht einer bestimmten Größe der Maschine auch ein bestimmtes Expansionsverhältnis dem günstigsten Verhältnisse zwischen Leistung und Gewicht derselben; wird dieses Expansionsverhältnis überschritten, dann wiegt der Gewinn an Kesselgewicht das vermehrte Gewicht der Maschine nicht auf, und umgekehrt wird bei größerer als der in diesem Sinne günstigsten Füllung das verminderte Maschinengewicht durch die Vermehrung des Kesselgewichtes mehr als ausbalanciert.

211. Lokomotivmaschinen. Die gewöhnliche einfache Lokomotivmaschine besteht aus zwei auf einem starren Rahmen unter dem Frontende des Kessels gelagerten horizontalen oder nahezu horizontalen direktwirkenden Maschinen, welche durch zwei auf ein und derselben Achse unter 90° versetzte Kurbeln gekuppelt und durch eine der bekannten Flachschieber-, Coulissen- oder Lenkersteuerungen gesteuert sind. Die Maschinen arbeiten zumeist ohne Kondensation; der Auspuffdampf dient, wie an früherer Stelle bereits erörtert, zur Erzeugung des künstlichen Zuges; bei einzelnen Maschinen wird ein Teil desselben, ungefähr $\frac{1}{5}$, zum Vorwärmen des Speisewassers benützt. Das während der Fahrt benötigte Speisewasser wird in Reservoirs zu beiden Seiten des Kessels oder im Tender der Maschine mitgeführt.

Auf der Kurbelachse befinden sich die beiden Triebräder, deren Reibungswiderstand auf den Schienen die zur Fortbewegung erforderliche Kraft bildet. Bei vielen Maschinen sind zur Vergrößerung der Zugkraft zu jeder Seite derselben zwei gleich große Triebräder angebracht und durch außerhalb liegende Kuppelstangen verbunden. Bei Güterzuglokomotiven pflegt man auch drei und vier Triebräder zu jeder Seite zu kuppeln, um einen noch größeren Teil des Gewichtes der Lokomotive zur Erzeugung der Zugkraft auszunützen. Man bezeichnet diese Anordnungen mit dem Ausdrücke „Vierkuppler“, „Sechskuppler“ und „Achtkuppler“. Gebräuchlicher ist es jedoch, die Anzahl der gekuppelten Lokomotiv-

achsen in ein Verhältnis zur Gesamtzahl der Achsen zu setzen; und zwar pflegt man dies Verhältnis durch einen echten Bruch auszudrücken, dessen Zähler die Anzahl der gekuppelten und dessen Nenner die Gesamtzahl der Lokomotivachsen bildet. Auf den meisten Hauptbahnstrecken, wo nicht besondere Verhältnisse zur Anwendung besonderer Lokomotivgattungen nötigen, dienen dieselben Lokomotiven für die Beförderung der Personen- und Schnellzüge, nur pflegt man, in Folge der sich stetig steigenden Ansprüche des Schnellzugverkehrs an die Fahrgeschwindigkeit und Zugbelastung, die neueren und stärkeren Lokomotiven für den Schnellzugsdienst, die älteren und weniger leistungsfähigen für den Personenzugsdienst zu verwenden.

Seit dem Jahre 1880 ist man immer mehr und mehr zu der $\frac{3}{4}$ gekuppelten Lokomotive für den ganzen Personenverkehr übergegangen, da das durch die geforderte Leistungsfähigkeit bedingte Gesamtgewicht für die bis zu jenem Zeitpunkte gebräuchlichen drei Lokomotivachsen viel zu groß wurde und man andererseits in anbetracht der erhöhten Fahrgeschwindigkeit auch einen ruhigeren Gang und geringere Beanspruchung der Gleise erreichen wollte. Die meisten Lokomotiven dieser Anordnung haben vorne unter der Rauchkammer ein zweiachsiges Drehgestell nach amerikanischem Muster; dabei liegt die Triebachse gewöhnlich vor, die Kuppelachse hinter oder unter dem Feuerkasten des Kessels.

Lokomotiven mit drei gekuppelten Achsen sind in Amerika vielfach in Gebrauch; auch auf dem europäischen Festlande finden dieselben für Strecken mit starken Steigungen zunehmenden Eingang.

Die dreiachsige Lokomotive wird nur dort angewendet, wo an den Betrieb geringe Anforderungen gestellt werden oder die Leistungsfähigkeit durch Anwendung der Verbundwirkung entsprechend gesteigert wurde.

Die Bedingungen des Güterverkehrs, große Massen mit möglichst geringen Kosten zu befördern, fordern eine tunlichste Ausnützung der Zugkraft der Maschinen.

Bei den Güterzuglokomotiven werden daher, um das ganze Gewicht für die Zugkraft nutzbar zu machen, auf europäischen Bahnen sämtliche Achsen der Lokomotive gekuppelt. In Amerika pflegt man hingegen, um ruhigeren Gang und leichtere Beweglichkeit in den scharfen Krümmungen zu sichern, entweder ein Drehgestelle oder eine weniger belastete vordere Laufachse zu geben.

Die Anzahl der gekuppelten Achsen beträgt gewöhnlich 3 bis 5, je nach der Größe der geforderten Zugkraft. Auf europäischen Bahnen mäßiger Steigung ist die $\frac{3}{5}$ gekuppelte Lokomotive die gebräuchlichste Bauart; für Strecken mit starken Steigungen werden in Österreich, Frankreich und Rußland die $\frac{4}{4}$ gekuppelten Lokomotiven verwendet; in Eng-

land reicht in anbetracht der dort üblichen geringen Belastung der Züge die $\frac{3}{3}$ gekuppelte Bauart im allgemeinen aus; nur für schwere Kohlenzüge kommen $\frac{4}{4}$ gekuppelte Lokomotiven in Verwendung. Amerika benützt nur $\frac{4}{4}$, bei besonders hohen Anforderungen in neuerer Zeit auch $\frac{5}{5}$ gekuppelte Maschinen.

Die Cylinder der Maschinen liegen entweder außerhalb oder innerhalb der Triebräder.

Bei Lokomotiven mit innenseitigen Cylindern liegen die beiden Cylinder innerhalb des Gestellrahmens nebeneinander; die Schubstangen derselben greifen an der in diesem Falle doppelt gekröpften Triebachse an. Bei Maschinen mit außenseitigen Cylindern sind diese so weit von einander entfernt, daß sie außerhalb des Gestellrahmens montiert sind und deren Schubstangen an den an der Außenseite der Triebräder, welche zugleich die beiden Kurbeln bilden, befindlichen Zapfen angreifen. Durch diese Anordnung wird die Kröpfung der Triebachse, der wundeste Punkt im Bau der Lokomotive, vermieden. Infolge der fortwährend wechselnden Beanspruchung und des so häufig geänderten Drehungssinnes der Lokomotivkurbelachse neigt dieselbe ganz besonders zu Brüchen und muß daher nach einer durch die Erfahrung bestimmten Benützungsdauer, um der Gefahr eines Bruches vorzubeugen, ausgewechselt werden.

In Deutschland, Österreich-Ungarn, der Schweiz, Rußland, Italien und Amerika wird den Außencylindern der Vorzug gegeben, wegen der besseren Übersicht der Triebwerksteile und Vermeidung der gekröpften Achsen. In England, Frankreich und Belgien werden vorwiegend Innencylinder angewendet, weil diese Anordnung einen festeren und einfacheren Zusammenbau des Vorderteiles der Lokomotive, geschütztere Lage des Triebwerkes, geringere Wirkung der Gegengewichte auf die Gleise und geringere Wärmeverluste durch Ausstrahlung der Cylinder und Steuerkästen bietet. Bei ausreichendem Achsstande läßt sich jedoch mit beiden Bauarten ruhiger Gang erzielen.

Bei Innencylindern wird fast ausschließlich Innensteuerung angewendet; die Schieberflächen liegen entweder einander zugekehrt zwischen den Cylindern oder geneigt, ungefähr einen rechten Winkel einschließend, über denselben. Bei Außencylindern wendet man der geschützteren Lage wegen mit Vorliebe Innensteuerung an, wenn nicht andere Verhältnisse die Außensteuerung bedingen.

Nachdem bei Innencylindern, bedingt durch den Gestellrahmen, wenig Raum für die Maschinen bleibt, so pflegt man die beiden Schieber Rücken an Rücken in einem gemeinschaftlichen Schieberkasten unterzubringen und dieselben so flach als möglich zu bauen. Bei Verwendung von Lenkersteuerungen legt man die Schieber auch horizontal auf den Rücken der

Cylinder. Lenkersteuerungen bieten speziell bei Innencylindermaschinen den Vorteil, daß jener Teil der Kurbelachsenlänge, welcher bei Coulissensteuerungen für die Excenter benötigt wird, zur Verbreiterung der Hauptlager, der Kurbelzapfenlager, sowie zur Verstärkung der Kurbelwangen ausgenützt werden kann. Auf dem Kontinente wird als Lenkersteuerung die Heusingersteuerung, in England die Joysteuerung mit Vorliebe verwendet. (Siehe VIII. Abschnitt, § 141.)

Hinsichtlich der Detailausführung der Lokomotivmaschinen sei auf die bereits bei Besprechung der Lokomotivkessel angeführten neueren Schriften „*Das Eisenbahnmaschinenwesen der Gegenwart*“, erster Abschnitt, erster Teil, „*Die Lokomotiven*“ und G. Meyer, *Grundzüge des Eisenbahn-Maschinenbaues*, erster Teil, hingewiesen. Bezüglich der allgemeinen Anordnung einzelner Details sei jedoch hier im Zusammenhange nachstehendes bemerkt.

Die Gestalt der Dampfeylinder richtet sich nach ihrer Lage zum Rahmen. Der Spielraum zwischen Kolben und Deckel bzw. Boden beträgt 8 bis 10 mm; die Cylinder müssen mit Beibehaltung der Deckel um 8 bis 10 mm nachgebohrt werden können. Der hintere Deckel wird als Bodenhäufig mit dem Cylinder aus einem Stück gegossen, wodurch eine Dichtungsfläche erspart wird. Die Deckel werden zweckmäßig, um sie einschleifen zu können, außen kreisrund abgedreht und durch einen aufgelegten Flanschring aus Schweißeisen befestigt. Im anderen Falle erfolgt die Abdichtung des Deckels durch geriffelte Kupferblechstreifen.

Die Kolben werden aus mittelhartem Stahl hergestellt, ebenso die Kolbenstangen und in die Kolben warm eingezogen und vernietet oder mit Bolzen und Muttern versehen. Die Stärke der Kolbenstange wird gewöhnlich mit 0,15 bis 0,175 des Cylinderdurchmessers angenommen. Bei Verbundlokomotiven nimmt man beide Stangen gleich stark an.

Die Dichtung der Kolben erfolgt jetzt allgemein durch gußeiserne selbstspannende Ringe von 16 bis 30 mm Breite und 10 bis 16 mm Stärke. Die Stege zwischen den Kolben werden 13 bis 18 mm breit gemacht. Die Zahl der Ringe beträgt zumeist zwei; in England und Amerika werden vielfach drei schmälere Ringe angewendet.

Nach dem Vorgange der Marine hat man in neuerer Zeit auch bei den Lokomotiven Metallstopfbüchsen für die Kolben- und Schieberstangen eingeführt, nachdem die vegetabilischen und mineralischen Dichtungen dem erhöhten Dampfdrucke und der gesteigerten Temperatur nicht mehr genügend widerstanden. Man wendet die Metalliederungen zumeist in der Weise an, daß sie nur dichten, ohne die Stange zu führen, wodurch geringere Reibung und längere Dauer der Dichtungen und Stangen erreicht wird. Eine geeignete Metallmischung, durch welche Brüche und

Ausschmelzungen der Dichtungsringe tunlichst vermieden werden, ist hierbei von größter Wichtigkeit; eine solche Mischung besteht z. B. aus 89 Teilen Zinn, 7 Teilen Antimon und 4 Teilen Kupfer.

Die Geradführungen werden meistens aus zwei Gleitschienen gebildet; diese Führung verdient auch den Vorzug vor der ein- und viergeleisigen; erstere wird nur dann angewendet, wenn es z. B. bei kleinen Triebrädern an Raum für zwei Schienen mangelt; die letztere Anordnung ist in England bei Innencylindern beliebt und besteht für jeden Kreuzkopf aus vier parallelen Flachschiene. Diese Schienen sind am besten aus Flußeisen mit gehärteter Oberfläche. Zum Nachstellen derselben dienen Zwischenlager an den Befestigungsstellen.

Die Kreuzköpfe sind der Bauart der Gleitschienen entsprechend geformt. In Deutschland wird die Gabel gewöhnlich aus Schweißeisen mit gußeisernen, rotgußgefütterten Gleitschuhen hergestellt; doch finden in neuerer Zeit Kreuzköpfe, welche aus einem Stück Stahlformguß gebildet sind, des geringeren Gewichtes und der Einfachheit wegen eine immer zunehmende Anwendung. Die Rotgußfutter nützen sich stark ab; Gleitschuhe aus Hartguß zeigen sehr geringe Abnutzung, sind aber gegen Staub sehr empfindlich; am besten scheinen nach den bisherigen Erfahrungen Futter aus Weißmetall zu sein.

Die Schubstangen sollen mit Rücksicht auf den Einfluß der abwechselnd bewegten Massen so leicht als möglich, also tunlichst in den Formen gleicher Widerstandsfähigkeit gehalten werden, ohne scharfe Übergänge und Ecken, weil bei plötzlichen Querschnittsübergängen und stark auftretenden Belastungen nur zu leicht Brüche eintreten. Der Stangenschaft wird hochkantig, rechteckig oder noch besser I-förmig geformt. Für die Stangenköpfe soll wenn möglich die geschlossene Form gewählt werden; an offenen Köpfen bei Innencylindern treten selbst bei zähstem Material der Stange leicht Brüche in den Kanten ein. Die Länge der Kurbelstangen soll nicht kleiner als die sechsfache Länge der Kurbel gewählt werden, da sich sonst leicht ein unruhiger Gang bemerkbar macht. Als Stangenmaterial empfiehlt sich bestens Flußeisen oder zäher Stahl. Die Stangenlager bestehen in der Regel aus hartem Rotguß, z. B. 82 Teile Kupfer, 17 Teile Zinn und 1 Teil Blei.

Gleiches gilt, mit Ausnahme der Länge, für die Kuppelstangen.

Die Berechnung und Anbringung der Gegengewichte in den Triebrädern wurde bereits in § 182 erörtert.

Verbundlokomotiven. Es ist heute noch eine offene Frage, ob die Anwendung der Verbundlokomotive bestimmte Vorteile bietet, wenn außer der Ökonomie des Brennstoffverbrauches auch die Bequemlichkeit der Fahrt sowie die Kosten der Reparaturen inbetracht kommen.

Wenngleich die Geschichte der Verbundlokomotive bis zum Jahre 1834 zurück verfolgt werden kann, in welchem Jahre der deutsche Ingenieur G. M. Roentgen in Frankreich ein Patent auf eine Expansionsdampfmaschine mit unabhängigen und kombinierten Cylindern, anwendbar auch auf Eisenbahnmaschinen, nahm, begann doch die eigentliche Entwicklung der Verbundlokomotive erst von dem Zeitpunkt an, als der schweizerische Ingenieur A. Mallet aus Genf sich mit derselben zu beschäftigen begann. Mallet studierte seit dem Jahre 1867 die Verbundschiffmaschine auf wissenschaftlicher Grundlage und kam hierbei 1874 auf den Gedanken, die Verbundwirkung auch auf Lokomotivmaschinen anzuwenden. Im Oktober 1874 nahm derselbe in Frankreich sein erstes Patent auf eine Verbundlokomotive. In der Patentschrift sowie in einer 1875 in der *Revue industrielle* erschienenen Abhandlung spricht sich Mallet eingehend über die allgemeine Anwendung von Verbundlokomotiven mit zwei und vier Cylindern und unter 0° bzw. 90° versetzten Kurbeln, sowie über eine neue Anfahrvorrichtung aus.

Nach vielfachen Bemühungen kamen 1876 drei $\frac{2}{3}$ gekuppelte Verbundtenderlokomotiven nach Mallets Entwürfen von Schneider & Co. in Creuzot für die Bayonne-Biarritz-Bahn gebaut, als erste Verbundlokomotiven der Welt in Betrieb. Die Cylinder hatten 240 bzw. 400 mm Durchmesser bei 450 mm Hub; das Volumsverhältnis betrug somit 1:2,78.

Diese drei Maschinen arbeiteten gleichmäßig und ruhig und erzielten gegen gleich starke Zwillinglokomotiven eine 25% Brennstoffersparnis. Das Verbindungsrohr zwischen Hochdruck- und Niederdruckcylinder ging durch die Rauchkammer, wodurch einerseits ein genügender Fassungsraum desselben in seiner Eigenschaft als Receiver, andererseits eine Trocknung des Dampfes vor seinem Eintritte in den Niederdruckcylinder erzielt wurde. Um das Anfahren zu ermöglichen, war an der Maschine ein Reduktionsventil angebracht, durch dessen Vermittelung Dampf von geringerer als der Kesselspannung direkt in den Niederdruckcylinder eingelassen werden konnte. Die Umsteuervorrichtung war so eingerichtet, daß durch eine einzige Bewegung beide Cylinder betätigt wurden, andererseits der Füllungsgrad für jeden der beiden Cylinder getrennt eingestellt werden konnte.

Die günstigen Ergebnisse dieser ersten Verbundlokomotiven veranlaßten auch andere Bahnen, Versuche mit diesem Maschinensystem zu machen. Französische Schmalspurbahnen erzielten 1877, die russische Südostbahn 1879 günstige, die österreichische Kaiser-Ferdinand-Nordbahn jedoch in demselben Jahre ungünstige Erfolge. Im Jahre 1880 wurden von F. Schichau in Elbing die ersten Verbundlokomotiven in Deutschland gebaut. Das Cylindervolumverhältnis wurde auf 1:2,25 reduziert. Die

Kohlensparnis betrug 16,5%. Die zusammengehörigen Füllungsgrade waren für den Hochdruckcylinder 0,2, 0,4, 0,6 und 0,8; für den Niederdruckcylinder 0,32, 0,5, 0,66 und 0,8. Zum Anfahren diente ein kleines Druckminderungsventil, welches Dampf von $\frac{1}{3}$ der Kesselspannung in den Verbinder ließ und nach erfolgtem Anfahren vom Führer geschlossen wurde. Bei den in den Jahren 1883 und 1884 gebauten Güterzug- und Schnellzuglokomotiven zeigte es sich jedoch, daß diese Anfahrvorrichtung nicht wirksam genug funktioniere, um straff gekuppelte Züge genügend rasch und sicher anzuziehen. Mußte der große Kolben anziehen, dann entwickelte sich der hierzu erforderliche Dampfdruck nicht rasch genug; mußte der Hochdruckkolben anziehen, dann übte der Verbinderdruck einen so starken Gegendruck auf denselben aus, daß der Differenzdruck oft nicht genügte.

Die meisten Patente, welche in den folgenden Jahren auf Anfahrvorrichtungen genommen wurden bezweckten, den Verbinder während des Anfahrens zeitweilig gegen den großen Cylinder abzuschließen, damit der Arbeitsdruck auf den großen Kolben nicht als schädlicher Gegendruck auf den kleinen Kolben wirkt. Das Absperrmittel war entweder ein Ventil, eine Klappe oder ein Gitterschieber. Die Anordnung wurde hierbei so getroffen, daß das Absperrorgan von dem Kesseldampfe reduzierter Spannung auf seinem Wege zum Schieberkasten des großen Cylinders selbsttätig geschlossen und so lange geschlossen erhalten wurde, bis der aus dem kleinen Cylinder ausströmende Dampf sich im Verbinder so weit verdichtet hatte, daß er das Organ wieder eröffnete und damit den Zutritt frischen Dampfes in den Verbinder bzw. Niederdruckcylinder absperrte.

Zur Druckverminderung des Kesseldampfes wendete man entweder verengte Rohre oder besondere Druckverminderungsventile bzw. Kolbenschieber an. Außerdem war auf dem Verbinder oder dem Schieberkasten des großen Cylinders ein Sicherheitsventil angebracht, damit der Druck ein bestimmtes Maß nicht überschreite. Nur bei den Anfahrvorrichtungen von Krauß, Lindner und Gölsdorf wurde der Verbinder nicht vom kleinen Cylinder abgeschlossen, sondern der Gegendruck in diesem durch andere Mittel beschränkt.

Das Malletsche Lokomotivsystem bietet den Vorteil, daß es die Umwandlung der gewöhnlichen Zwillingmaschine in eine Verbundmaschine gestattet und daß die Anzahl der bewegten bzw. arbeitenden Teile nicht größer ist, wie jene der gekuppelten Einfachexpansionsmaschine; der Nachteil des Systems liegt nur in der Unsymmetrie der Maschine. Mallet empfahl daher die Anwendung von vier Cylindern und zwar je einen Hochdruck- und Niederdruckcylinder in Tandemaufstellung zu jeder Seite der Maschine. Eine andere symmetrische Anordnung wurde benützt, bei welcher die

beiden Hochdruckcylinder außenseitig und die beiden Niederdruckcylinder innenseitig angeordnet sind. Die englische Nordost-Eisenbahn benützt Innenseitverbundmaschinen mit parallel nebeneinander liegenden Cylindern und auf dem Rücken derselben arbeitenden, durch Joysteuerung gesteuerten Schiebern. Auf amerikanischen Bahnen laufen Lokomotiven mit gekuppelten Verbundmaschinen derart angeordnet, daß die beiden Cylinder der beiden Einzelmaschinen unmittelbar übereinander angeordnet sind; das Volumsverhältnis derselben beträgt 1 : 3.

Die eingehendsten Versuche über die Verbundwirkung bei Lokomotivmaschinen wurden von F. W. Webb auf der London-Nordwestbahn seit dem Jahre 1881 in großem Stile durchgeführt. Webb benützt bei seinem System drei Cylinder. Die beiden gleich großen Hochdruckcylinder sind außerhalb angeordnet und arbeiten auf zwei unter 90° versetzte Kurbelzapfen der rückwärtigen Triebachse. Der gemeinschaftliche, entsprechend groß dimensionierte Niederdruckcylinder liegt unterhalb der Rauchkammer und arbeitet auf die in der Mitte gekröpfte vordere Triebachse. Die beiden Triebachsen sind nicht gekuppelt; die Stellung der Niederdruckkurbel zu den Hochdruckkurbeln ist daher nicht unverrückbar, sondern gestattet eine gewisse Veränderlichkeit im Falle ungleichen Gleitens der Triebräder. Es ist dies jedoch ohne wesentliche Folgen in anbetracht des großen Volumens des Receivers und der Gleichförmigkeit, mit welcher die beiden Hochdruckcylinder Dampf an denselben abgeben. Der Receiver wird, wie bei der Malletschen Anordnung, durch die langen, durch die Rauchkammer geführten Übergangsrohre gebildet.

Zur Betätigung der drei Flachschieber dient die Joysteuerung; die Schieber der beiden Hochdruckcylinder liegen unterhalb derselben, der Schieber des Niederdruckcylinders auf dessen Rücken; infolge dieser Anordnung heben sich die Schieber der Hochdruckseiten etwas vom Spiegel ab, wenn die Maschine bei geschlossenem Dampfventil abwärts fährt. Die ganze Anordnung der Maschine ist vollkommen symmetrisch und bietet zugleich den Vorteil der größeren Zugkraft von vier Triebrädern, ohne den Nachteilen der Kuppelstangen; außerdem ist nur eine der beiden Triebachsen gekröpft und nachdem die Kröpfung in der Mitte der Achse liegt, bleibt genügend Raum für lange Lagerstellen derselben.

Die vielen Mängel, welche die Verbundlokomotive zu Anfang ihrer Einführung besaß, sind heute, dank der eingehenden Versuche, welche namentlich auf den preußischen Staatsbahnen durchgeführt wurden, meistens richtig erkannt und daher größtenteils behoben. Die Anwendung der Verbundwirkung bei Lokomotiven nimmt daher mit jedem Jahre zu. Die Zweicylinderverbund-Eilzugslokomotive hat sich in Österreich, Deutschland, Rußland und der Schweiz nahezu vollkommen eingebürgert, während in

Frankreich die Viereylindermaschine bevorzugt wird; diese Bauart wird aber voraussichtlich auch bald in anderen Ländern eingeführt werden, nachdem die Anforderungen an die Zugkraft der Maschinen in steter Zunahme begriffen sind. Von den anlässlich der Pariser Ausstellung 1900 ausgestellt gewesenen 65 Lokomotiven war fast die Hälfte (32) Eilzugslokomotiven; von diesen waren 11 Stück Zwillingslokomotiven, 7 Zweicylinder- und 14 Viereylinderverbundmaschinen. Die französischen Eilzugsverbundmaschinen hatten fast durchwegs 340/550 mm Cylinderdurchmesser bei 640 bis 650 mm Hub (Volumsverhältnis 1 : 2,6). Die österreichischen Maschinen 500/750 bis 500/800 mm Cylinderdurchmesser (Volumsverhältnis 1 : 2,25) bei 600 bis 720 mm Hub. Die Eilzugsmaschinen Deutschlands 330/520 bis 450/670 mm Cylinderdurchmesser (Volumsverhältnis 1 : 2,48 bis 1 : 2,22) bei 600 bis 650 mm Hub. Die Eilzugsmaschinen Rußlands 360/580 bis 500/730 mm Cylinderdurchmesser (Volumsverhältnis 1 : 2,33 bis 1 : 2,12) bei 610 bis 650 mm Hub.

Hinsichtlich der Steuerung sei an dieser Stelle noch bemerkt, daß in neuerer Zeit statt der Flachschieber angeblich mit bestem Erfolge entlastete Doppelkolbenschieber bei den Lokomotiven der französischen Staatsbahn eingeführt wurden. Das Schiebergehäuse ist so nahe als möglich an den Cylinder gerückt; der Kesseldampf strömt zwischen den Schiebern ein, während der Abdampf an den Enden austritt und über dem Gehäuse hinweg abströmt. Diese Schieber (System Ricour) sollen bis 1 Million km gelaufen sein, ohne daß die geringste Abänderung erforderlich gewesen wäre. Nachdem dieser Kolbenschieber jedoch bei keiner anderen, selbst nicht bei französischen Bahnen, Eingang gefunden hat, so dürften doch die Vorteile desselben (leichte Umsteuerbarkeit, geringerer schädlicher Raum, geringerer innerer Widerstand der Maschine und verminderte Schieberabnutzung) durch die Nachteile dieser Konstruktion aufgewogen werden.

Seit einigen Jahren macht sich im Baue der Lokomotivmaschine neuerdings ein Wandel fühlbar, hervorgerufen durch das Bestreben, die Vorteile des überhitzten Dampfes auch für diese Gattung von Maschinen nutzbar zu machen.

Die Tatsache, daß überhitzter Dampf im Gegensatze zu gesättigtem Dampf ein schlechter Wärmeleiter ist, daher bei genügender Überhitzung und den wirtschaftlichen Füllungsgraden einer Coulissen- oder Lenkersteuerung jeder nennenswerte Niederschlag im Cylinder vermieden werden kann, während gesättigter Dampf durchschnittlich 30% seines Gewichtes bei der Arbeit in den Cylindern durch Niederschlag verliert, eröffnete die Aussicht, auf die einfache Zwillingsbauart der Lokomotivmaschine zurückkehren und somit bei kleinstem Gewichte erhöhte Leistungsfähigkeit, also wirtschaftlicheren Betrieb erzielen zu können.

Um die Vorteile der zweistufigen Dampfdehnung ausnützen zu können, mußten bei Lokomotiven die bisherigen Spannungen von höchstens 10 Atmosphären verlassen und zu Spannungen von 12, 14, in neuerer Zeit sogar 16 Atmosphären, entsprechend einer Dampftemperatur von rund 200° C, übergegangen werden. Dieser hohe Druck, vereint mit der erhöhten Temperatur, hatte eine wesentliche Erhöhung der Anschaffungs- und Erhaltungskosten des Kessels und der Feuerkiste zur Folge, welchen eine nicht besonders namhafte Kohlenersparnis gegenübersteht. Der Verbundart mit zwei Cylindern haften außerdem infolge der zur Längsachse der Lokomotive unsymmetrischen Bauart der Maschine Mängel an, welche mit der Größe der Lokomotive und der Fahrgeschwindigkeit derselben nicht unerheblich wachsen. Andererseits ist die Größe der Maschine beschränkter wie jene der Zwillingmaschine, weil der Niederdruckcylinder sehr bald Dimensionen erhalten muß, welche das Normalprofil unter Umständen überschreiten können.

Diese Gründe haben daher zur Teilung der einfachen großen Verbundmaschine in zwei kleinere Verbundmaschinen geführt. Ein wirtschaftlicher Fortschritt wurde durch diese Bauart natürlich nicht erzielt, der Vorteil derselben liegt in der Beseitigung der erwähnten Nachteile der Zweicylinderverbundmaschine, sowie in dem Umstande, daß durch die Verteilung des Dampfdruckes auf vier Arbeitskolben und vier Kurbeln die Anfangsdrücke vermindert und die Gleichförmigkeit des Ganges infolge leichteren Ausgleiches der hin- und hergehenden Massen erhöht wurde. Berücksichtigt man jedoch, daß eine viercylindrige Maschine für gleiche Leistung größere Niederschlagsverluste ergibt als die Zweicylindermaschine, daß ferner die Reibungsverluste infolge der doppelten Anzahl von Schiebern, Stopfbüchsen und des vermehrten Gestänges jedenfalls größer sein werden als bei der ungeteilten Verbundmaschine, daß die Übersicht und Bedienung erschwert, endlich die Instandhaltung kostspieliger sein wird, so ergibt sich wohl von selbst, daß die Anwendung der Viercylinderverbundmaschine nur dann gerechtfertigt erscheint, wenn eine Zweicylindermaschine wegen der räumlichen Ausdehnung ihres Niederdruckcylinders und der damit verbundenen Nachteile an der Grenze ihrer Zugkraft und Schnelligkeit angelangt ist.

Die Rückkehr zur einfachen Naßdampfzwillingsmaschine, deren Zugkraft und Geschwindigkeit fast ebenso gesteigert werden kann, wie jene der Viercylinderverbundmaschine, ist jedoch durch den verhältnismäßig großen Kohlen- und Wasserverbrauch sehr erschwert.

In dieser Notlage befindet sich der Lokomotivbau; ein glücklicher Ausweg scheint durch die Einführung einfacher Dampfdehnung in zwei Cylindern, unter Benützung überhitzten Dampfes gefunden zu sein.

Bei der Einführung der Heißdampfmaschine war nicht die Frage zu beantworten, ob die Einführung der Dampfüberhitzung als solche die theoretisch nachweisbaren und durch die Erfahrung an ortsfesten und Schiffsmaschinenanlagen erwiesenen thermischen Vorteile auch für den Lokomotivbetrieb bringen werde, sondern ob es möglich sei, die Lokomotive mit ihrer auf den kleinsten Raum beschränkten Kesselanlage und ihrer in Wind und Wetter arbeitenden Dampfmaschine so zu bauen, daß in einfacher und sicher wirkender Weise Heißdampf von durchschnittlich 300° C erzeugt und in den Cylindern der Maschine dauernd und betriebs-sicher verarbeitet werden kann.

Diese Bedenken überwindend, wurde nach vielen, teilweise vergeblichen Versuchen des um die Einführung des Heißdampfes hochverdienten Ingenieurs W. Schmidt, einen brauchbaren, gut funktionierenden Überhitzer für Lokomotivkessel zu schaffen, vor etwa vier Jahren ein Überhitzer, welcher aus einem im Langkessel eingebauten weiten Flammrohr bestand, bei einer $\frac{2}{4}$ -gekuppelten Schnellzuglokomotive, sowie bei einer $\frac{2}{4}$ -gekuppelten Personenzuglokomotive der königlichen Eisenbahndirektion Hannover, beziehungsweise Cassel, verwendet. Dieser Überhitzer von 445 mm lichten Durchmesser ist zentrisch in den Langkessel eingebaut; in diesem Flammrohre befindet sich ein System von 24 haarnadelförmig gebogenen Überhitzerröhren von 30 mm Durchmesser. Die Gesamtheizfläche des Kessels beträgt 85 qm, die Überhitzerfläche 18 qm.

Die Feuergase werden durch Blasdampf aus der Feuerbüchse in das Flammrohr eingesaugt und treten durch regulierbare Schlitze am vorderen Ende des Rohres in die Rauchkammer*). Diese beiden Lokomotiven befinden sich nun seit ungefähr drei Jahren im Dienste der genannten Direktionen und haben die gehegten Erwartungen hinsichtlich des Heißdampfbetriebes vollauf bestätigt. Die mit dem nicht genügend feuerbeständigen Flammrohrüberhitzer gesammelten Erfahrungen haben jedoch zum Verlassen dieser Konstruktion und zur Verwendung von **Rauchkammerüberhitzern** geführt. Diese Überhitzerbauart paßt sich den Formen des Lokomotivkessels in viel vollkommenerer Weise an als der Langkesselüberhitzer und steht nun bereits seit ungefähr $1\frac{1}{2}$ bis 2 Jahren bei verschiedenen Lokomotiven in dauerndem Betrieb. Diese Maschinen haben sich bisher infolge ihrer einfachen Bedienung, ihrer großen Leistungsfähigkeit bei verhältnismäßig geringem Kohlen- und Wasserverbrauch und des sicheren Anfahrens nur bestens bewährt und den Beweis erbracht, daß eine nach den, in der verhältnismäßig so kurzen Zeit gewonnenen

1) Zeichnung und Beschreibung dieses Überhitzers siehe: E. Brückmann, *Die Lokomotiven der Pariser Weltausstellung 1900*, Z. d. V. Deutscher Ing. 1901, S. 1663.

Erfahrungen gebaute einfache zweicylindrige Zwillingsheißdampfmaschine den zwei- und viercyllindrigen Verbundlokomotivmaschinen gleicher Gattung überlegen ist, das Verlassen des Naßdampfes daher keinen Fehlgriff, sondern einen wesentlichen Fortschritt im Lokomotivbau und Betrieb bedeutet.

Der nach Entwürfen Schmidts gebaute Überhitzer besteht aus 62 Röhren von 30 bis $33\frac{1}{2}$ mm innerem Durchmesser, welche der Form der Rauchkammerwandung entsprechend so gebogen sind, daß sie der Hauptsache nach drei konzentrische ringförmige Lagen bilden. Die nach oben abgebogenen Enden dieser Rohrbündel sind in den Boden je einer langen Dampfkammer eingewalzt, die rechts und links vom Schornstein an der Rauchkammerwand angebracht sind.

Dem Überhitzer wird ein Teil der in der Feuerbüchse entwickelten heißen Verbrennungsgase direkt zugeführt; hierzu dient ein im unteren Teile des Langkessels zwischen den Siederohren eingebautes Flammrohr von 280 bis 300 mm Durchmesser. Die Heizgase strömen aus der Feuerkiste durch dieses cylindrische Rohr nach dem in der Rauchkammer eingebauten Überhitzer, umspülen sämtliche Überhitzerrohre und ziehen dann, aus dem Überhitzer austretend, gemeinsam mit den aus den Siederohren austretenden Heizgasen durch den Schornstein ab.

Das Temperaturgefälle der Heizgase vom Eintritt in das Flammrohr bis zum Austritt in den Schornstein kann auf rund 800°C geschätzt werden und genügt, um den Naßdampf von 192°C bei länger andauernder Fahrt auf 330°C zu erhitzen. Die Messungen ergaben, daß in der Mitte des Überhitzungsraumes eine Durchschnittstemperatur von 700°C herrscht und daß die abziehenden Gase im Mittel eine Temperatur von 350°C besitzen. Die Temperatur des Dampfes im Schieberkasten beträgt durchschnittlich 300°C .

Mit der Verwendung so hoch überhitzten Dampfes ging der konstruktive Umbau der Dampfmaschine selbst Hand in Hand. Zur Steuerung dienen Kolbenschieber mit innerer Einströmung und äußerer Ausströmung. Hierdurch wurde nicht nur eine natürliche völlige Entlastung gewährleistet, sondern auch der weitere Vorteil erreicht, daß die Stopfbüchsen am Schieberkasten entfallen, nachdem zu beiden Seiten der Schieber nur die geringe Auspuffspannung herrscht, welche sich in einfachen, genügend langen Führungen verliert. Die Schieber gehen daher so leicht, daß sie bei jedem Kesseldrucke von Hand aus hin und her bewegt werden können; infolgedessen können auch die Steuerteile leichter als bei gewöhnlichen Naßdampflokomotiven hergestellt werden und versprechen aus dem gleichen Grunde eine längere Lebensdauer.

Als Dampfkolben hat sich nach vielen Versuchen der einfache schwedische Kolben mit drei etwas abgeänderten Dichtungsringen vorzüglich

bewährt. Die Abänderung besteht darin, daß die Dichtungsringe nicht zum Tragen des Kolbens, sondern lediglich nur zum Abdichten dienen und durch den hinter sie tretenden Dampf an die Cylinderwandung angedrückt werden.

Hinsichtlich der Detailausführung der Überhitzer sowie der Dampfmaschine der Heißdampflokomotive sei auf die in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrgang 1901 und 1902, veröffentlichten Berichte über die Lokomotiven der Pariser Ausstellung 1900 von E. Brückmann, sowie auf „Die Anwendung von hochüberhitztem Dampf im Lokomotivbetrieb“ von Garbe, 1902 Heft 5 und 6 verwiesen; letztere Arbeit enthält auch eine umfassende Zusammenstellung der bisher mit Heißdampflokomotiven erzielten Betriebsergebnisse. Eine Gegenüberstellung der von zwei Heißdampf- und zwei Verbundschnellzugslokomotiven auf derselben Strecke und unter sonst gleichen Verhältnissen erzielten Betriebsergebnisse zeigen heute bereits, daß die Verbundmaschine bei gleicher Leistung durchschnittlich um 11 bis 12% mehr Kohle und über 30% mehr Wasser verbraucht als die Heißdampflokomotive. Berücksichtigt man hierbei, daß die erst vor zwei Jahren erbauten Heißdampflokomotiven heute nicht auf der Höhe der Erfahrung stehen können, daher noch einen gewissen Vervollkommnungsprozeß durchmachen werden, daß die Maschinen ohne Hilfsvorrichtung leicht anfahren, ihre Bedienung keine anderen Anforderungen stellt als die gewöhnliche Naßdampfzwillingsmaschine, dann kann kaum mehr ein Zweifel bestehen, daß die Anwendung des Heißdampfes mit bedeutenden Vorteilen für den Lokomotivbetrieb verbunden ist. Die durch den Wegfall der Dampfniederschläge vermehrte Leistungsfähigkeit des Kessels, sowie die bekannte Dünflüssigkeit des hoch überhitzten Dampfes erleichtern auch dem Konstrukteur ungemein die Aufgabe, Dampflokomotiven für die höchsten noch praktisch verwendbaren Geschwindigkeiten in einfachsten Formen zu bauen.
