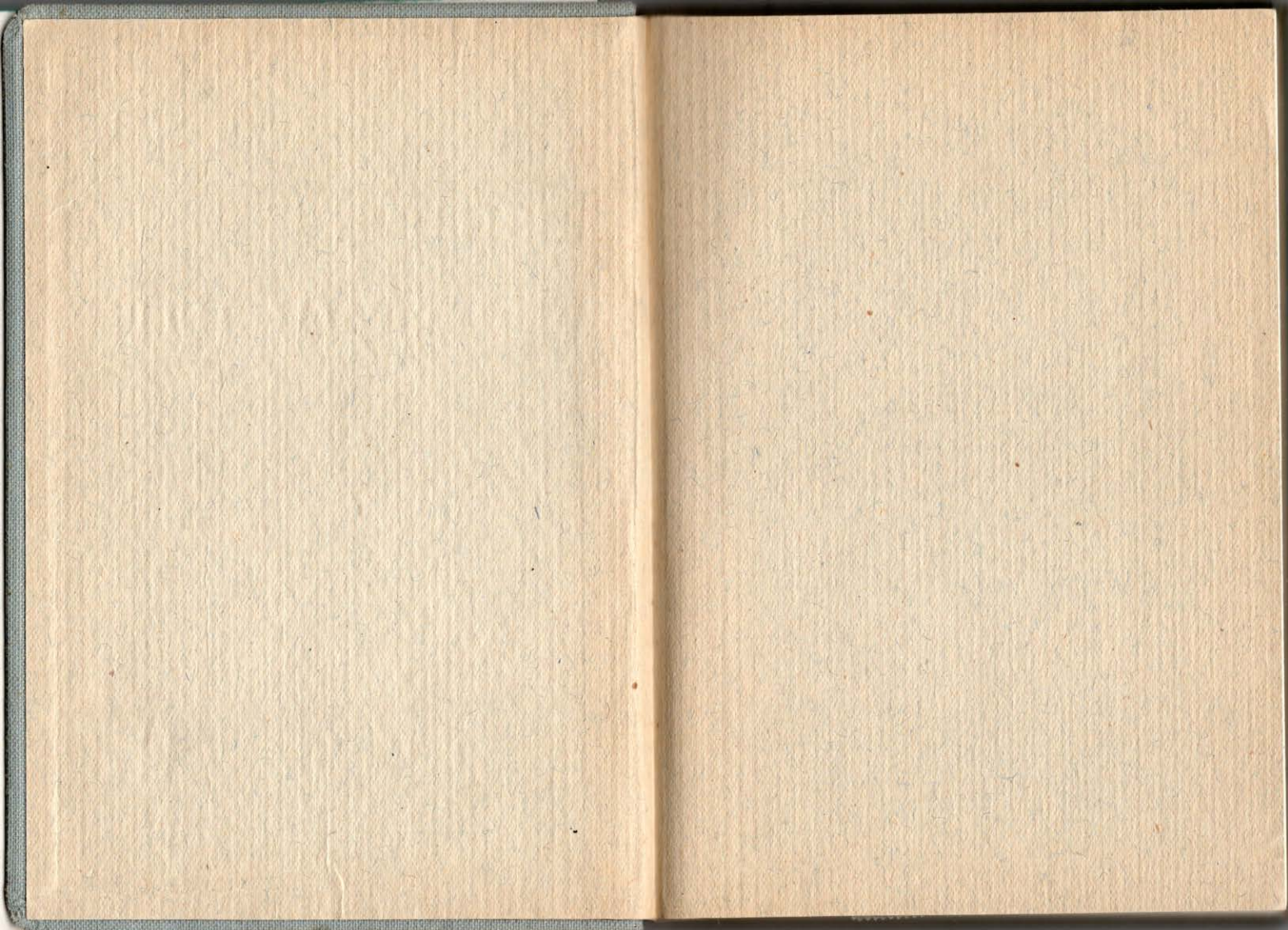


HENSCHEL-

LOKOMOTIV-TASCHENBUCH





V. Henschel

A. d. Reichsbahn

1956.



HENSCHEL

LOKOMOTIV-TASCHENBUCH

AUSGABE 1952

HENSCHEL & SOHN  KASSEL

[Handwritten signature]

1952

[Handwritten signature]



HENSCHEL

LOKOMOTIV-TASCHENBUCH

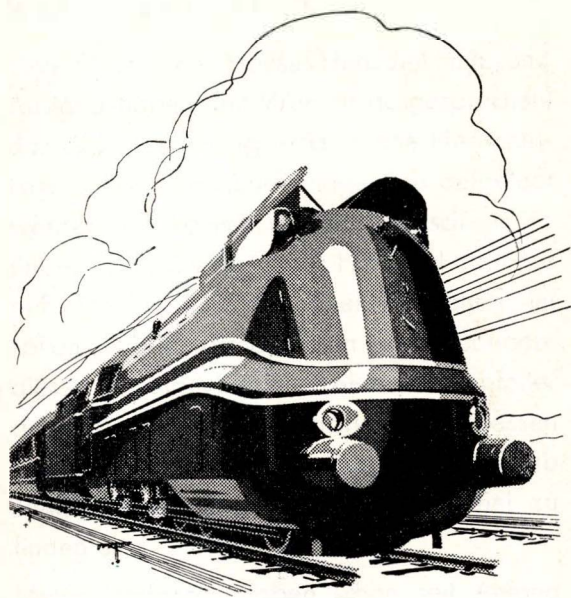
AUSGABE 1952

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das Recht der
Übersetzung in fremde Sprachen.

Copyright by Henschel & Sohn GmbH, Kassel, Germany

1952

HENSCHEL & SOHN - KASSEL





ZUM GELEIT

Viele Freunde des Hauses Henschel im In- und Ausland haben den Wunsch ausgesprochen, das 1935 letztmalig erschienene Henschel-Lokomotiv-Taschenbuch möge neu aufgelegt werden. Ich komme diesem Wunsch um so lieber nach, als das Haus Henschel nicht nur auf eine Tradition von über 100 Jahren im Lokomotivbau zurückblicken kann, sondern diesen Lokomotivbau auch als einen Eckpfeiler des Unternehmens betrachten muß, dessen Grundlagen bereits weitere zweieinhalb Jahrhunderte zuvor im Hause Henschel zu finden sind.

Meine Vorfahren haben schon seit Anfang des 17. Jahrhunderts den Stück- und Glockenguß erfolgreich betrieben. Bei dem Kommen

des technischen Zeitalters war die Familie Henschel bereits 1777 in Kassel mit einem Gießereiunternehmen verankert.

In der Folgezeit entstanden Henschel-Feuerspritzen, Hochöfen, Werkzeugmaschinen, Brückenkonstruktionen, Kunstgußarbeiten, maschinelle Ausrüstungen für den Bergbau und das Salinenwesen, Wasserturbinen, Wassersäulengebläse, Druckpressen, Dampfkessel und u. a. Dampfmaschinen.

Aus diesem mannigfaltigen Arbeitsbereich, dessen technische Grundlagen im 17. und 18. Jahrhundert zum Teil erst geschaffen werden mußten, kristallisierte sich seit Mitte des 19. Jahrhunderts der Lokomotivbau als tragende Säule des Werkes heraus und begründete die Weltgeltung des Hauses Henschel & Sohn.

Die fortschreitende Entwicklung des Verkehrswesens legte den Gedanken nahe, daß sich das Haus Henschel außer dem Bau von Schienenfahrzeugen auch dem von Straßenverkehrsmitteln zuwandte. So wuchs seit rund 30 Jahren als zweite Säule des Unternehmens der Henschel-Kraftwagenbau zu seiner heutigen Bedeutung heran.

Das vorliegende Buch soll nun unter Berücksichtigung des Henschel-Lokomotivbaus das Gesamtgebiet der Zugförderung behandeln. Damit will es dem Eisenbahn-Fachmann ein wertvolles Hilfsmittel und allen Freunden des Eisenbahnwesens sowie dem technischen Nachwuchs ein willkommener Berater sein.

U. - R. + in d. H.

Kassel, im September 1952

INHALT

	Seite
Die Henschel-Werke	9
Die Triebfahrzeuge auf der Schiene	17
Die verschiedenen Zugförderungssysteme	19
Bestimmungen	25
Bindungen an die Fahrstrecke	28
Kennzeichnung der Triebfahrzeuge	44
Grundlagen zur Ermittlung der Hauptabmessungen / Widerstände / Reibungszugkraft / Schlepplasten	47
Fahrzeuglauf	68
Rahmen / Abfederung / Bremse	87
Die Kolbendampflokomotive	99
Ermittlung der Hauptabmessungen	101
Gelenklokomotiven	149
Amerikanische Lokomotivberechnung	152
Abmessungen ausgeführter Dampflokomotiven	164
Bauliche Einzelheiten	179
Sonderbauarten von Dampf-Fahrzeugen	235
Der elektrische Zugbetrieb	257
Die Zugförderung mit Verbrennungsmotor	271
Zahlentafeln	285
Stichworte	340
Bildtafeln	353

Die

HENSCHEL & SOHN in KASSEL

stützt sich bei Berücksichtigung der von der R. Wolf AG, Abteilung Lokomotivfabrik Hagans in Erfurt, von den Linke-Hofmann-Busch-Werken in Breslau und von der Hanimag, Hannover-Linden, erworbenen Anteile auf die Erfahrung des Baues und Betriebes von **mehr als 45 000 Lokomotiven.**

Von den im eigenen Hause erbauten Lokomotiven sind über 20 500 für das **Inland** bestimmt gewesen, darunter bis Mitte 1952 über 13 200 für deutsche Staatsbahnen.

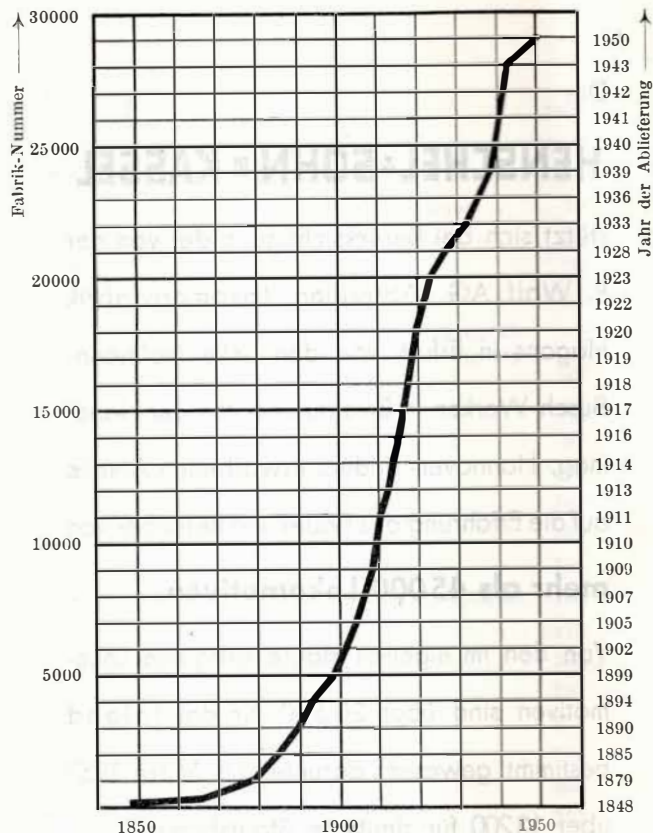


Bild 1. Entwicklung des Henschel-Lokomotivbaues
dargestellt nach den Stückzahlen der abgelieferten Lokomotiven

Über 7600 Henschel-Lokomotiven sind bis Mitte 1952 ins Ausland geliefert worden. Von diesen gingen

1103 nach Italien und ehem. Kolonien	325 nach der Türkei
633 nach Indien	320 nach Rußland
530 nach Holland und ehem. Kolonien	235 nach Portugal u. Kolonien
528 nach Frankreich und Kolonien	223 nach Chile
462 nach Südafrika	213 nach Brasilien
443 nach Argentinien	212 nach Dänemark
400 in die ehem. Österr.-Ungarische Monarchie	197 nach Jugoslawien
398 nach Rumänien	173 nach Ägypten
397 nach Spanien und Kolonien	151 nach China und der Mandschurei
	142 nach Japan
	126 nach Bulgarien
	100 nach Ungarn (seit 1919)

Henschel exportierte erstmalig nach

Holland im Jahre 1857	Türkei im Jahre 1895
Italien im Jahre 1876	Schweiz im Jahre 1896
Rumänien . . . im Jahre 1878	Ägypten im Jahre 1901
Portugal im Jahre 1878	Indonesien . . . im Jahre 1901
Rußland im Jahre 1878	Spanien im Jahre 1903
Dänemark . . . im Jahre 1879	Südafrika im Jahre 1903
Frankreich . . . im Jahre 1883	Japan im Jahre 1904
Österreich . . . im Jahre 1883	Portug. Afrika im Jahre 1905
Argentinien . . im Jahre 1886	Mexiko im Jahre 1907
China im Jahre 1886	Bulgarien im Jahre 1908
Serbien im Jahre 1886	Norwegen im Jahre 1908
Ungarn im Jahre 1886	Brasilien im Jahre 1909
Chile im Jahre 1888	Siam im Jahre 1909
Luxemburg . . . im Jahre 1892	Indien im Jahre 1913

Einige der Henschelschen **Serien-Lokomotivtypen** haben eine verhältnismäßig *hohe Stückzahl* erreicht. So wurden bisher gebaut

über 110 Stück von der 250 PS-Industrielokomotive
 125 Stück von der 200 PS-Industrielokomotive
 132 Stück von der 125 PS-Industrielokomotive
 145 Stück von der 270 PS-Industrielokomotive
 200 Stück von der 250 PS-Baulokomotive
 213 Stück von der 40 PS-Baulokomotive
 236 Stück von der 400 PS-Industrielokomotive
 237 Stück von der 90 PS-Baulokomotive
 263 Stück von der 200 PS-Baulokomotive
 360 Stück von der 70 PS-Baulokomotive
 390 Stück von der 125 PS-Baulokomotive
 500 Stück von der 50 PS-Baulokomotive
 550 Stück von der 30 PS-Diesel-Lokomotive DG 26
 659 Stück von der 160 PS-Baulokomotive
 674 Stück von der 60 PS-Baulokomotive
 750 Stück von der 15 PS-Diesel-Lokomotive DG 13

Henschel erbaute

1848 seine erste Lokomotive, die 2B-Personenzug-Lokomotive „Drache“ für die Hessische Friedrich Wilhelms-Nordbahn
 1892 seine erste Schneeschleuder-Maschine, bestimmt für die Direktion Hannover der Kgl. Preußischen Staatsbahnen
 1898 eine der beiden ersten Schmidt-Heißdampf-Lokomotiven, Gattung P4¹ der Kgl. Preußischen Staatsbahnen
 1904 die 2B2-Schnellbahn-Lokomotive der Kgl. Preußischen Staatsbahnen

1917 die erste Einheits-Lokomotive, Gattung G 12, die von verschiedenen deutschen Länderbahnen verwendet wurde

1925 die erste Hochdruck-Lokomotive, die 2C-Dreizylinder-Verbund-Schnellzug-Lokomotive H 17 206 der Deutschen Reichsbahn

1926 die 2C-Heißdampf-Zwilling-Personenzug-Lokomotive T 38 3255 mit 1B2-Abdampfturbinen-Triebtender der Deutschen Reichsbahn

1928 die ersten Kohlenstaubfeuerungs-Lokomotiven der Bauart „Stug“, Gattung G 12 der Deutschen Reichsbahn

1931 die erste Henschel-Kondens-Lokomotive, bestimmt für die Argentinischen Staatsbahnen

1933 den ersten Schnell-Triebwagen mit Hochdruck-Dampfanlage und selbsttätiger Kesselregelung, bestimmt für die Lübeck-Büchener Eisenbahn-Gesellschaft

1933 die erste elektrische Schnellzug-Lokomotive für 130 km/h Höchstgeschwindigkeit mit Einzelachs-Antrieb durch Tatzenlager-Motoren, Reihe E 05 der Deutschen Reichsbahn. — Elektrischer Teil: SSW, Berlin

1935 die elektrische 75 t-Tagebau-Lokomotive für 900 mm Spur der Riebeckischen Montanwerke A.G., Grube von der Heydt

1935 die Stromlinien-Tender-Lokomotive für den Lübeck-Büchener Doppeldeck-Stromlinienzug, den ersten deutschen Dampfzug für Zug- und Schiebebetrieb

1938 die Diesel-electrische 4400 PS-Schnellzug-Lokomotive der Rumänischen Staatsbahnen. — Dieselmotoren: Gebr. Sulzer A.G., Winterthur. — Elektrischer Teil: BBC, Baden/Schweiz

1939 die 450 PS-Dampf-Tagebau-Lokomotive für 900 mm Spur (Gelenk-Bauart Henschel) für die Grube Phönix der Aktiengesellschaft für Braunkohlenverwertung, Mumsdorf/Thür.

1939 die elektrische 150 t-Lokomotive für 1435 mm Spur mit 25 t Achsdruck der Riebeck'schen Montanwerke AG, Otto-Scharf-Grube. — Elektrischer Teil: SSW, Berlin

1939 die elektrische 6500/8000 PS - Schnellfahr - Lokomotive Reihe E 19 der Deutschen Reichsbahn. — Elektrischer Teil: SSW, Berlin

1941 die 1 Do 1 - Stromlinien-Dampf-Lokomotive mit Einzelachs-antrieb, Betr.-Nr. 19 1001 der Deutschen Reichsbahn

1943 die erste Kondens-Lokomotive der Deutschen Reichsbahn

1950 eine meterspurige 300 PS-Einrahmen-Tender-Lokomotive für eine Gleiskrümmung von nur 15 m Halbmesser

1950 die beiden ersten Neubau-Typen der Deutschen Bundesbahn: die E-Heißdampf-Güterzug- und Verschiebe-Tenderlokomotive Reihe 82 für 70 km/h Höchstgeschwindigkeit und die 1 C 1 - Heißdampf - Personenzug-Lokomotive, neue Reihe 23

1951 die 1 E-Güterzug-Lokomotive mit Franco-Crosti-Vorwärmer Reihe 42⁹⁰ der Deutschen Bundesbahn

Das lokomotivtechnische Arbeitsgebiet der

HENSCHEL & SOHN in KASSEL

LOKOMOTIVEN aller Größen - Spurweiten - Antriebsarten

Gefeuerte Dampflokomotiven
Feuerlose Dampf-Lokomotiven
Hochdruck-Dampf-Lokomotiven
Elektrische Lokomotiven
Diesel-elektrische Lokomotiven
Diesel-hydraulische Lokomotiven
Diesel-mechanische Lokomotiven
Schneeschilder
Schnee-Räumer
Schnee-Pflüge

ferner

Dampf-Triebwagen
Motor-Triebwagen
Brennstaub-Feuerungen für Lokomotiven
Ölfeuerungs-Anlagen für Lokomotiven
Elektrische Beleuchtungs-Anlagen einschl. Turbogeneratoren für Dampffahrzeuge
Anlagen zur Rückgewinnung des Speisewassers (Kondens-Lokomotiven)
Kuprodukt-Feuerbuchsen
Stehbolzen (insbes. Bauarten „Henschel“ u. „Troß-Henschel“)
Schüttelrost Bauart „Henschel“
Mischvorwärmer Bauart „Henschel“
Kreiselpumpen Bauart „Henschel“ für Kesselspeisung
Nicht saugende Dampfstrahlpumpen
Dampfbläsewerke Bauart „Latowsky“
Sicherheits-Ventile Bauart „Ackermann“

Ersatzteile

Instandsetzung von Lokomotiven und Kesseln

HOCHDRUCK-DAMPFANLAGEN

Sonstige Arbeitsgebiete

KRAFTWAGEN

Schwerlastwagen

Sonder-Fahrzeuge aller Art, wie

Motorhydraulische Kipper . Sattelschlepper . Sprengwagen . Fäkalienwagen . Schlamm- und Abwasserwagen . Müllwagen . Kraftstoff-Kesselwagen . Feuerwehrfahrzeuge
Omnibusse für 30—90 Personen (mit Anhängerbetrieb bis zu 150 Personen)

Oberleitungs-Omnibusse für 90 (mit Anhängerbetrieb für 150) Personen

Einbau-Diesel-Motoren für Lastkraftwagen und Omnibusse
Einbau-Diesel-Motoren für Schlepper und ortsfeste Anlagen

Ersatzteile für

Henschel-Lastkraftwagen, Henschel-Omnibusse, Henschel-Obusse,
GMC-Lastkraftwagen

Instandsetzung von Kraftfahrzeugen und Motoren

STRASSENBAU-MASCHINEN

Dampf- und Dieselmotor-Dreiradwalzen, Dieselmotor-Tandemwalzen, Straßenaufreißer, sonstige Zubehör-Fahrzeuge

INDUSTRIE-MOTOREN

zum Einbau in Fahrzeuge aller Art, sowie für ortsfeste Anlagen von 12—140 PS

ALLGEMEINER MASCHINENBAU

Werkzeugmaschinen, Werkzeuge und Vorrichtungen, Zahnräder und Getriebe, Kessel und Behälter, Schweißkonstruktionen, Grauguß, Freiform- und Gesenkschmiedestücke, Preßteile

Die Triebfahrzeuge auf der Schiene

Man unterscheidet

Lokomotiven = Triebfahrzeuge, die ausschließlich der Beförderung des angehängten Wagens, der Schlepplast, dienen, also *keine Nutzlast* mit sich führen.

Triebwagen = Triebfahrzeuge, die zusätzlich zur Kraftherstellung Anlage und den Kraftübertragungsorganen mit Einrichtungen zur Beförderung von Nutzlast (Personen oder Gütern) versehen sind. In beschränktem Umfange können sie auch zum Befördern einer Schlepplast (Anhänger) herangezogen werden.

Eine Sondergattung der Triebwagen bildet der *Schiennen-omnibus*, der durch Übertragen der Baugrundsätze der Straßenfahrzeuge auf das Schienenfahrzeug entstanden ist.

Unter *Triebzug* versteht man einen Zug, der sich aus einem oder mehreren Triebwagen und einer entsprechenden Zahl von Anhängern zusammensetzt.

Für den

Antrieb der Triebfahrzeuge

stehen vorzugsweise zur Verfügung

die **Kolbendampfmaschine** mit unmittelbarem Antrieb der Treibräder

der Dampfmotor (schnellaufende Dampfmaschine)	} mit mechanischer, elektrischer oder hydraulischer Kraftübertragung
die Dampfturbine	
der Verbrennungsmotor , insbesondere der Dieselmotor	

der **Elektromotor**

Für die Zukunft werden als weitere Antriebsmittel hinzutreten

die Gasturbine	} mit mechanischer, elektrischer oder hydraulischer Kraftübertragung
die Kohlenstaubturbine	

Die **Kolbendampflokomotive** bestreitet gegenwärtig schätzungsweise noch etwa 80÷90 % der gesamten Zugförderung auf der Schiene.

Die **elektrische Zugförderung** umfaßt nach dem Stand von Anfang 1952 von den Strecken

der USA insgesamt	etwa	2,0 %
der Dänischen Staatsbahnen	"	2,2 %
der Ungarischen Staatsbahnen	"	3,3 %
der Belgischen Nationalbahnen	"	3,5 %
der Südafrikanischen Staatsbahnen	"	4,4 %
der Britischen Eisenbahnen	"	4,7 %
der Deutschen Bundesbahn	"	5,7 %
der Chicago, Milwaukee, St. Paul & Pacific Ry	"	6,2 %
der Spanischen Nationalbahnen	"	6,5 %
der Pennsylvania Railroad	"	7,6 %
der Französischen Nationalbahnen (SNCF)	"	10,0 %
der Österreichischen Bundesbahnen	"	19,3 %
der Virginian Railway, USA	"	20,7 %
der Norwegischen Staatsbahnen	"	20,8 %
der Niederländischen Eisenbahnen	"	27,6 %
der Italienischen Staatsbahnen	"	34,8 %
der Schwedischen Staatsbahnen	"	41,0 %
der Paulista-Bahn, Brasilien	"	47,0 %
der Marokkanischen Eisenbahn-Gesellschaft (franz. Marokko)	"	52,0 %
der Bahnen in der Schweiz insgesamt	"	90,0 %
der Schweizerischen Bundesbahnen	"	100,0 %

Die **Motorzugförderung** hat in den USA eine entscheidende Bedeutung erlangt. Es beträgt dort (Anfang 1952) der Anteil der Diesel-elektrischen Lokomotive am gesamten Lokbestand nach der Stückzahl etwa 25 %, an den Verkehrsleistungen der Vollbahnen im Strecken- und Verschiebedienst etwa 59 %. In den Jahren 1951/52 wurden für USA-Vollbahnen keine Dampflokomotiven beschafft.

Das **Gebiet kleiner Leistungseinheiten** (bis zu etwa 50 PS) ist eine fast unumstrittene Domäne der Motorlokomotive geworden. Diese zeigt sich hier der Dampflokomotive durch geringeren Beschaffungspreis, höhere Zugkraft bei geringen Geschwindigkeiten (bis zu etwa 4÷6 km/h) und Wegfall des Bereitstellungsverbrauches überlegen.

Auf leichten Plantagenbahnen in Übersee hat sich die **Dampflokomotive** in gewissem Umfang auch in diesen kleinen Einheiten behauptet, da der Brennstoff hier vielfach als Abfallprodukt zur Verfügung steht (Holz, Zuckerrohr, Zuckerrohr-Rückstände [Ampass, Bagasse], Fruchtrückstände, Palmkernschalen).

Beurteilung der verschiedenen Zugförderungs-Systeme

Überschlägige Angaben

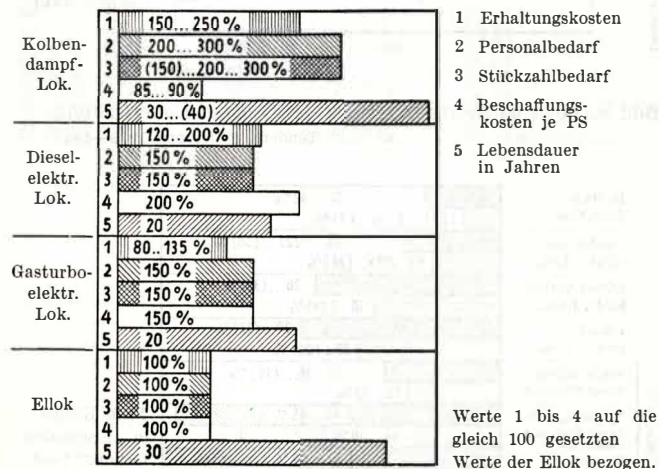
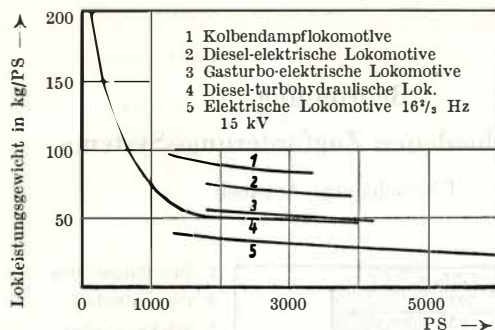


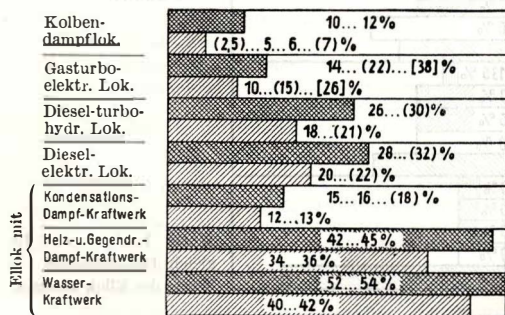
Bild 2. Größenordnung der Wirtschaftlichkeitszahlen

Nach Kother in „Eisenbahntechnik“ 1949, S. 91



Nach Kother
in „Eisenbahn-
technik“ 1949
S. 91

Bild 3. Lokomotivleistungsgewicht je Treibrad-Dauerleistung
Tendenz in Europa 1939—1949



Nach Kother
in „Eisenbahn-
technik“ 1949
S. 91

Bild 4. Höchst- und Jahreswirkungsgrade zwischen Rohenergie und Lokomotivtreibrad

▨ Höchstwirkungsgrade
▨ Jahreswirkungsgrade

(....) = seltener vorkommende Werte
[....] = wahrscheinlich technisch erreichbare Grenzwerte

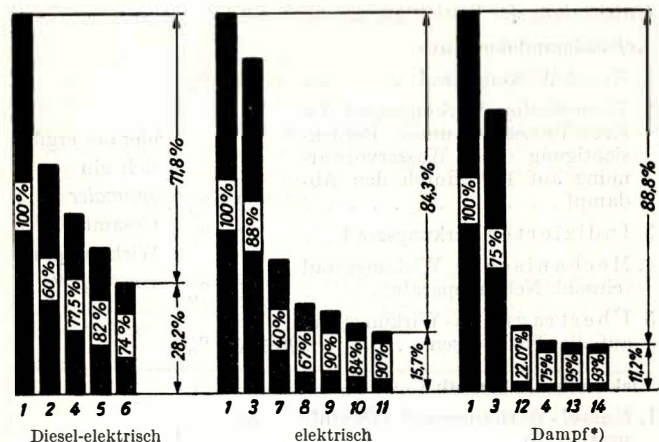


Bild 5. Gesamtwirkungsgrad der verschiedenen Antriebsarten

Nach Dugas in MTZ Beiheft 1 (1949) S. 3

- 1 Kraftstoff
- 2 Theoretischer Wirkungsgrad des Diesel-Kreis-Prozesses (für ein volumetrisches Verdichtungsverhältnis von 16)
- 3 Kesselwirkungsgrad
- 4 Indizierter Wirkungsgrad
- 5 Mechanischer Wirkungsgrad des Motors (einschließlich Neben-Apparate)
- 6 Übertragungs-Wirkungsgrad auf die Achsen
- 7 Theoretischer Wirkungsgrad des Kreis-Prozesses
- 8 Indizierter Wirkungsgrad und mechanische und elektrische Wirkungsgrade des gesamten Turbo-Wechselstrom-Umformers (einschl. Nebenapparate)
- 9 Wirkungsgrad der Übertragung zwischen dem Werk und der Unterstation
- 10 Umformer-Wirkungsgrad und Energieübertragungs-Wirkungsgrad zwischen dem Eintritt in die Unterstationen und dem Stromabnehmer einschließlich der Stromrücklaufverluste
- 11 Elektro-mechanischer Wirkungsgrad der Lokomotive an den Treibachsen
- 12 Theoretischer Wirkungsgrad des Kreis-Prozesses
- 13 Mechanischer Wirkungsgrad (einschl. Nebenapparate)
- 14 Übertragungs-Wirkungsgrad auf die Achsen

* Verbundlok für 20 atü, Überhitzung auf 400° C, vollkommener Auspuff, Speisewasser-Vorwärmung

Unterteilung der Wirkungsgrade nach Bild 5

Kolbendampflokomotive

1. Kessel-Wirkungsgrad	75 %	hieraus ergibt sich ein optimaler Gesamt-Wirkungsgrad von 11,2 %
2. Theoretischer Wirkungsgrad des Kreis-Prozesses, unter Berücksichtigung der Wasservorwärmung auf 100° durch den Abdampf	22,1 %	
3. Indizierter Wirkungsgrad	75 %	
4. Mechanischer Wirkungsgrad (einschl. Nebenapparate)	95 %	
5. Übertragungs-Wirkungsgrad auf die Treibachsen	90÷95 %	

Elektrische Lokomotive

1. Kessel-Wirkungsgrad (Dampfkraftwerk)	88 %	hieraus ergibt sich ein Gesamt-Wirkungsgrad von 15,7 %
2. Theoretischer Wirkungsgrad des Kreis-Prozesses	39÷40 %	
3. Indizierter Wirkungsgrad einschl. mechanischem und elektrischem Wirkungsgrad des gesamten Turbo-Wechselstrom-Umformers (einschl. Nebenapparate)	67 %	
4. Wirkungsgrad der Übertragung zwischen dem Werk und der Unterstation	90 %	
5. Umformer-Wirkungsgrad und Energieübertragungs-Wirkungsgrad zwischen dem Eintritt in die Unterstationen und dem Strom-Abnehmer einschl. der Stromrücklauf-Verluste	84 %	
6. Elektro-mechanischer Wirkungsgrad der Lokomotive an den Treibachsen	90 %	

Dieselelektrische Lokomotive

1. Theoretischer Wirkungsgrad des Diesel-Kreis-Prozesses (für ein volumetrisches Verdichtungsverhältnis von 16)	58÷62 %	hieraus ergibt sich ein Gesamt-Wirkungsgrad von 28,2 %
2. Indizierter Wirkungsgrad	77,5 %	
3. Mechanischer Wirkungsgrad des Motors (einschl. Nebenapparate)	82 %	
4. Übertragungs-Wirkungsgrad auf die Achsen	74 %	

Vergleichsweise Bewertung der verschiedenen Zugförderungsarten

(nach Kiefer, „New York Central Bahn, 1947“, Bericht von Wolff, Glasers Annalen 72, 1948, S. 1).

Zahlentafel 1

Wichtigste Betriebseigenschaften	Erfüllung der Betriebseigenschaften in %				Wechselstrom-lok
	Kolbendampf-lok	Verbrennungsmotor-Lokomotive	Dieselelektr.	Dieselhydraulisch	
Freiheit von Rauchgasen	0	90... 95	90... 95	90... 95	100
Unabhängigkeit von ortsfesten Anlagen	80	95	95	98	0
Energiewirtschaftlichkeit	25... 40	95... 100	95... 100	60... (95... 100)	100
Mögliche Zuggewichte	25... 50	25... 60	30... 65	30... 65	100
Steigungs- und Beschleunigungsvermögen	25... 50	40... 60	45... 65	45... 65	100
Reisegeschwindigkeit:					
Ebene	90... 75	100... 80	100... 80	100... 80	100
Hügelland	60... 50	80... 70	80... 65	80... 70	100
Gebirge	40... 20	60... 40	55... 35	60... 40	90... 70
Wirtschaftlichkeit:					
Verkehrsstärke } klein	60... 100	80... 100	75... 100	90... 100	60... 90
} mittel	100... 75	100... 90	100... 90	100	90... 95
} groß	75... 60	80... 70	80... 70	100... 80	95... 100
Ausnutzungsmöglichkeit der Strecken- und Endbahnhöfe	35... 50	50... 70	50... 70	50... 70	100

Entwurf und Bau von Lokomotiven und Triebwagen

sind im wesentlichen bedingt durch

- die Spurweite
- den zulässigen Achsdruck
- die zugelassene Fahrzeug-Umgrenzung
- die Betriebsbedingungen und damit die geforderten Leistungen und Zugkräfte (abhängig von Schlepplast und Fahrgeschwindigkeit)
- die vorliegenden Streckenverhältnisse (Steigungen, Krümmungen, Tragfähigkeit der Kunstbauten, Größe der Drehscheiben und Schiebebühnen, Entfernung der Wasser- und Brennstoff-Speisepunkte voneinander)
- die Beschaffenheit von Wasser und Brennstoff
- die geforderte Fahrgeschwindigkeit sowie die zugelassene Höchstgeschwindigkeit
- die gesetzlichen und polizeilichen Bestimmungen über den Bau und den Betrieb von Lokomotiven.

Angebote und Entwürfe

stützen sich auf die Kenntnis der Betriebsbedingungen, die durch folgende Punkte gekennzeichnet sind:

a) allgemein

1. Art des Betriebes (Dampf, Elektrizität oder Verbrennungsmotor; Lokomotive oder Triebwagen)
2. Anzahl der anzubietenden Triebfahrzeuge
3. Spurweite
4. Zulässige Umgrenzungsmaße des Fahrzeuges
5. Zulässiger Gesamt-Achsstand, sonst Durchmesser der Drehscheiben
6. Zulässiger Achsdruck, sonst Schienengewicht in kg/m bzw. Widerstandsmoment des Schienenguerschnittes, ferner Schwellenabstand von Mitte zu Mitte
7. Streckenplan mit Steigungen und Gleiskrümmungen, sonst:
Länge der Bahnstrecke, größte Steigung sowie Länge dieser Steigung, kleinster Krümmungshalbmesser sowie zugehörige Spurerweiterung, Halbmesser und Länge von Gleisbögen, die in starken Steigungen liegen. — Größe dieser Steigungen, ungünstigste Weiche
8. Zulässiges Metergewicht des Fahrzeuges bzw. sonstige Vorschriften über das Befahren von Brücken
9. Art und Höhenlage der Zug- und Stoßvorrichtungen
10. Verwendungszweck und vorgesehene Betriebsprogramm des Fahrzeuges, möglichst Dienstfahrplan mit Angabe der jeweiligen Schlepplast (Wagengewicht + Nutzlast) und Fahrgeschwindigkeit,

sonst: Schlepplast und Geschwindigkeit a) auf ebener Strecke
b) auf größter Steigung

11. Größte Fahrgeschwindigkeit
12. Nähere Angaben über gewünschte Ausrüstung bzw. Sondereinrichtungen (wie Bremse, Heizung, Beleuchtung, Wälzlager u. a.)

b) zusätzlich für **gefeuerte Dampflokomotiven**

1. Bauart (Tender- oder Schleppenderlokomotive, Straßenbahnlokomotive, Abraumlokomotive, Zwillings-, Drilling-, Vierling- oder Verbundlokomotive, Heißdampf- oder Naßdampflokomotive, Gelenklokomotive nach Mallet, Garratt usw.)
2. Sonderausrüstung (Vorwärmer, Schüttelrost, Kraftumsteuerung, usw.)
3. Angaben über Speisewasser und Brennstoff (Heizwert!)
4. Wasser- und Brennstoffvorräte der Lokomotive, sonst Entfernung der Wasser- und Brennstoff-Speisepunkte voneinander

c) zusätzlich für **feuerlose Lokomotiven**: siehe S. 250

d) zusätzlich für **elektrische Lokomotiven**

1. Betriebsart (Fahrtleistungsbetrieb, Speicherbetrieb, oder beides in einem Fahrzeug vereinigt)
2. Fahrleitung (Oberleitung, dritte Schiene, sonstige Anordnung)
3. Stromart (Gleichstrom, Wechselstrom, Drehstrom; Fahrleitungsspannung, Anzahl der Phasen und Perioden)
4. Tägliche Betriebsdauer
5. Nur für Speicherfahrzeuge: Kapazität (Betriebsdauer) für eine Ladung

e) zusätzlich für **Verbrennungsmotor-Fahrzeuge**

1. Bauart der Antriebsmaschine (Vergasermotor oder Dieselmotor)
2. Brennstoff (Schweröl, Benzin, Flüssiggas, Sauggas, Reichgas)
3. Höhenlage der Bahnstrecke über Meeresspiegel
4. Kraftübertragung (mechanisch, elektrisch oder hydraulisch).

Grundlegende Bestimmungen betreffend Bau und Betrieb von Dampflokomotiven in Deutschland

1. für Lokomotiven auf Bahnen des **allgemeinen Verkehrs**¹⁾

- a) Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (BO) vom 17. 7. 1928, letzte Ausgabe vom 1. 3. 1943
- b) Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Schmalspurbahnen (BOS) vom 1. 8. 1943
- c) Eisenbahn-Signalordnung (ESO) vom 1. 8. 1935, zusammen mit den Ausf.-Bestimmungen vereinigt im Signalebuch (SB)
- d) Technische Vereinbarungen über den Bau und den Betrieb der Haupt- und Nebenbahnen (TV) vom 1. 12. 1930²⁾

¹⁾ Bahnen „des allgemeinen Verkehrs“ sind solche, für welche die BO gilt. Ihr wesentliches Merkmal kann darin gesehen werden, daß sie nicht nur dem öffentlichen Verkehr dienen, sondern auch Anteil am *allgemeinen* Verkehr haben. Bei Privatbahnen ist diese Voraussetzung gegeben, wenn sie *unmittelbaren* Anschluß — wenn auch mit Umsteigen oder Umladen — an das Netz der Deutschen Bundesbahn besitzen, oder wenn sie für sich allein eine so

- e) Grundzüge für den Bau und den Betrieb der Lokalbahnen (Grz) vom 1. 12. 1930²⁾
- f) Technische Einheit im Eisenbahnwesen (TE) Fassung 1938³⁾
- g) Übereinkommen über die gegenseitige Benutzung der Personen- und Gepäckwagen im Bereich des Vereins Mitteleurop. Eisenb.-Verw. (VPÜ) vom 1. 10. 1938²⁾³⁾
- h) Übereinkommen über die gegenseitige Benutzung der Personen- und Gepäckwagen im internationalen Verkehr (RIC) vom 1. 10. 1938³⁾
- i) Übereinkommen über die gegenseitige Benutzung der Güterwagen im Bereiche des Vereins Mitteleuropäischer Eisenbahn-Verwaltungen (VWÜ) vom 1. 1. 1935, letzte Ausgabe vom Oktober 1941²⁾³⁾
- j) Übereinkommen über die gegenseitige Benutzung der Güterwagen im intern. Verkehr (RIV) vom 1. 1. 1948³⁾
- k) Verzeichnis der zulässigen Achslasten und Meterlasten für Wagen (VAM) vom 20. 5. 1951³⁾⁴⁾

2. für Lokomotiven der Deutschen Bundesbahn

- a) bis e) und k) wie oben.
- l) Verdingungsordnung für Leistungen (ausgenommen Bauleistungen) (VOL)
- m) Besondere Bedingungen für die Lieferung von Dampflokomotiven, Tendern und Ersatzteilen
- n) Toleranzvorschriften für Dampflokomotiven
- o) Richtlinien für das Vermessen von Lokomotiven
- p) Vorläufiges Baustoffverzeichnis für Lokomotiven und Tender
- q) Lieferungs- und Fertigungsbedingungen (jeweils für die einzelnen beim Bau der Lokomotiven und Tender verwendeten Werkstoffe und Einzelteile)

große Ausdehnung haben, daß ihre Bedeutung über diejenige einer rein örtlichen Einrichtung hinausgeht.

Bahnen des allgemeinen Verkehrs sind demzufolge alle voll- und schmalspurigen Bahnen der Deutschen Bundesbahn und der Deutschen Reichsbahn. Ausgenommen sind einige kurze Strecken von zusammen 60 km Länge in den Eisenbahndirektionsbezirken Hamburg, Kassel, Köln, Münster und Schwerin.

²⁾ Der Verein Mitteleuropäischer Eisenbahn-Verwaltungen besteht nicht mehr. Die von ihm herausgegebenen Vereinbarungen und Übereinkommen (d, e, g und i) sind jedoch noch nicht förmlich außer Kraft gesetzt. Da sie als älteste

3. für Lokomotiven auf Bahnen des **nicht** allgemeinen öffentlichen Verkehrs⁵⁾

- e) und k), soweit im Einzelfall in Betracht kommend
- r) Vereinfachte Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung (vBO) vom 10. 2. 1943
- s) Vereinfachte Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung für Schmalspurbahnen (vBOS) vom 25. 7. 1943
- t) Vereinfachte Eisenbahn-Signalordnung (vESO) vom 15. 4. 1943, veröffentlicht im vereinfachten Signaltuch (vSB)
- u) Gesetz über Kleinbahnen und Privatanschlußbahnen vom 18. 7. 1892 mit Ausführungsanweisung vom 13. 8. 1898⁶⁾
- uu) Bau- und Betriebs-Vorschriften für nebenbahnähnliche Kleinbahnen mit Maschinenbetrieb vom 15. 1. 1914⁶⁾

4. für Lokomotiven auf Bahnen des **nicht** allgemeinen **nicht** öffentlichen Verkehrs⁵⁾

- u) und uu) wie oben
- v) Allgemeine polizeiliche Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln vom 17. 12. 1908. — Über zugelassene Ausnahmen siehe „Bundesanzeiger“ 19/1952
- w) Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel vom 18. 6. 1926, letzte Ausgabe vom September 1929
- x) Vorschriften über die Behandlung der Dampfkessel-Anlagen und Dampflokomotiven in sicherheits- und bau-polizeilicher Beziehung (Kesselvorschriften) vom 24. 2. 1912
- y) Allgemeines Berggesetz vom 24. 6. 1865 mit den ergänzenden Bergpolizeiverordnungen über Gruben- u. Anschlußbahnen, erlassen von den einzelnen Oberbergämtern⁶⁾⁷⁾

und ausführlichste Bestimmungssammlung die Grundlage aller anderen deutschen und zwischenstaatlichen Übereinkünfte und Anordnungen auf dem Gebiete des Eisenbahnwesens sind, werden sie zweckmäßigerweise weiterhin zur Erläuterung und Begründung der auf ihnen aufbauenden Bestimmungen verwendet werden müssen.

⁵⁾ Die Bestimmungen f bis k beziehen sich nicht unmittelbar auf Lokomotiven, sondern im wesentlichen auf Wagen, die im zwischenstaatlichen Verkehr die Landesgrenzen überschreiten. Sie müssen aber bei der Verwendung von Lokomotiven ins Ausland auf eigenen Rädern und für den Bau von lokomotiv-ähnlichen Fahrzeugen (Heizkesselwagen, Kranwagen m. Dampftrieb, Schneeschleudern, Beleuchtungswagen) sowie von Dampftriebwagen beachtet werden.

5. **Zusätzlich** für alle in Deutschland gebauten Lokomotiven (soweit nicht bei Auslandslieferungen der Besteller ausdrücklich andere Bestimmungen vorschreibt)

z) Deutsche Industrienormen (DIN) einschl. Deutsche Lokomotivnormen (LON)

- 4) Das VAM ersetzt das bisherige Achsdruckverzeichnis des ehemaligen Vereins Deutscher (Mitteleuropäischer) Eisenbahn-Verwaltungen (VAchSV).
- 5) Bahnen des *nicht* allgemeinen öffentlichen Verkehrs sind in Deutschland die nebenbahnhähnlichen Kleinbahnen, Bahnen des nicht öffentlichen Verkehrs die Privatanschlußbahnen.
- 6) Die Kleinbahn- und Bergesetze und -Vorschriften sind, da vom ehemaligen Königreich Preußen erlassen, nur für die Bundesländer im früheren preußischen Staatsgebiet gültig.
- 7) Gruben- und Grubenanschlußbahnen unterliegen nicht den allgemeinen Eisenbahn- und Kleinbahngesetzen, sondern dem Berggesetz.

Bindungen an die Fahrstrecke

Die Spurweite

ist das lichte Maß zwischen den Schienenköpfen, senkrecht zur Gleisachse gemessen⁸⁾. Nur Frankreich versteht unter Spurweite das Maß von Mitte bis Mitte Schienenkopf. Regelspur und französische Spur weichen so wenig voneinander ab, daß sie beide von den gleichen Fahrzeugen benutzt werden können.

Radsätze mit neuen Spurkränzen haben etwa 10÷12 mm Spielraum im neuen Gleis ohne Spurerweiterung. Abweichungen vom Grundmaß der Regelspur sind auf gerader Strecke nach TV § 2 (4) und BO 1928 § 9 (4) nach oben um 10 mm, nach unten um 3 mm zugelassen.

Die Grundmaße der gebräuchlichsten Spurweiten

381 mm	1'—3"	Ausstellungs- und Vergnügungsbahnen, einige öffentliche Bahnen Englands
457 mm	1'—6"	Einige öffentliche Bahnen in England, Ausstellungs- und Vergnügungsbahnen in USA
500 mm	1'—7 ¹¹ / ₁₆ "	Förderbahnen für Baugerüste, Steinbrüche, Torfstiche, Ziegeleien, Bergwerke
508 mm	1'—8"	Küstenbahn in England, Ausstellungs- und Vergnügungsbahnen
533 mm	1'—9"	Ausstellungs- und Vergnügungsbahnen
597 bzw. 600 mm	1'—11 ¹ / ₂ "	Kleinbahnen in Deutschland, Brasilien, Chile, Jugoslawien, Litauen, Polen; Bau-, Feld-, Industrie- u. Militärbahnen

⁸⁾ Nach TV § 2 (2) und BO § 9 (1) soll die Spurweite 14 mm unter Schienenoberkante gemessen werden.

610 mm	2'	Australien (Tasmanien), Indien (u. a. Darjeeling — Himalayan), Südafrika, Venezuela
700 mm	2'—3 ⁹ / ₁₆ "	Feld- und Plantagenbahnen auf Java, Cuba
750 mm	2'—5 ¹ / ₂ "	Deutschland, Ägypten, Argentinien, Estland, Indonesien, Lettland, Litauen, Norwegen, Paraguay, Peru, Polen, Rumänien, Russische Militärbahn, Spanische Kolonien, Türkei
760 bzw. 762 mm	2'—6"	Ägypten, Australien (Victoria), Bulgarien, Ceylon, Chile, Cuba, Cypern, Goldküste, Hindustan, Japan, Jugoslawien, Korea, Nigeria, Österreich, San Domingo, Sierra Leone, Tschechoslowakei, Ungarn
785 mm	2'—6 ⁷ / ₈ "	Oberschlesien, Werks- und Hafenbahnen in Dänemark
860 mm	2'—9 ⁷ / ₈ "	Kalkwerke, Zementfabriken (vereinzelte)
891 mm	2'—11 ¹ / ₁₆ "	Schweden
900 mm	2'—11 ⁷ / ₁₆ "	Deutschland (insbesondere Grubenbahnen, behelfsmäßige Bahnen für Bauzwecke), Portugal, Rumänien
914 mm	3'	Columbien, Cuba, Guatemala, Hawaii, Honduras, Irland, Insel Man, Mexiko, Panama, Paraguay, Peru, Philippinen, Portugiesisch-Ostafrika, Salvador, Schweden, Venezuela, Vera-Cruz
950 mm	3'—1 ³ / ₈ "	ehem. Italienische Kolonien, Sizilien
1000 mm	3'—3 ³ / ₈ "	Deutschland, Abessinien, Ägypten, Algier, Argentinien, Australien, Belgien, Belg. Kongo, Bolivien, Brasilien, Chile, China, Columbien, Frankreich, Französisch-Westafrika, Griechenland, Hindustan, Indochina, Irak, Jugoslawien, Luxemburg, Madagaskar, Malaya, Pakistan, Polen, Portugal, Portugiesisch-Westafrika, Portorico, Rußland, Schweiz, Siam, Spanien, Spanische Kolonien, Tanganjika, Togo, Tunis, Uganda, Ungarn
1050 mm	3'—5 ³ / ₈ "	Französische Kolonien, Hedschas, Syrien, Tunis
1067 mm	3'—6"	Angola, Australien, Belg. Kongo, Benguela, Chile, Costa-Rica, Ecuador, Goldküste, Indonesien, Japan, Mozambique, Neufundland, Neu-Seeland, Nicaragua, Nigeria, Norwegen, Nyassaland, Philippinen, Portugiesisch-Ost- und Westafrika, Queensland, Rhodesien, Schweden, Südafrika, Sudan, Tasmanien, Venezuela
1100 mm	3'—7 ⁵ / ₁₆ "	Straßenbahn Braunschweig, Lübeck u. a.
1435 mm	4'—8 ¹ / ₂ "	Europa (außer Frankreich, Irland, Portugal, Rußland, Spanien), Ägypten, Algier, Argentinien, Australien, Chile, China, Cuba, Ecuador, Hawaii, Irak, Iran, Jamaica, Kanada, Korea, Lettland südlich der Düna, Litauen, Mandschurei, Marokko, Mauritius, Mexiko, Nahost, Palästina, Paraguay, Peru, Trinidad, Türkei, Tunis, Uruguay, USA
1500 mm	4'—11"	Frankreich (Grundmaß Mitte bis Mitte Schienenkopf)
1524 mm	5'	Estland, Finnland, Lettland nördlich der Düna, Mandschurei, Panama, Rußland, Sibirien
1600 mm	5'—3"	Australien, (Südastralien u. Victoria), Brasilien, Irland
1676 mm	5'—6"	Argentinien, Ceylon, Chile, Indien (Hindustan), Pakistan, Portugal, Spanien

Die Überhöhung

des äußeren Schienenstranges in Gleisbögen wirkt der Fliehkraft entgegen. Durchfährt ein Zug einen Gleisbogen vom Halbmesser R (in m) mit einer Fahrgeschwindigkeit V (in km/h), so wird die Fliehkraft aufgehoben durch eine Überhöhung

$$h = \frac{s^2 V^2}{127 R} \quad \text{in mm}$$

wenn s = Entfernung von Mitte bis Mitte Schiene in mm.

Für Regelspur mit $s = 1500$ mm gilt dann $h = 11,8 \frac{V^2}{R}$ in mm.

In Rücksicht auf die Züge, die die Gleisbögen nicht mit der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit $V_{\max}$ durchfahren, benützt die Deutsche Bundesbahn die Überhöhungen in der Regel nach der Gleichung

$$h = 8 \frac{V_{\max}^2}{R}$$

Die Oberbauvorschriften der Deutschen Bundesbahn begrenzen (in Übereinstimmung mit TV 1930 § 20, 1. Nachtrag vom 1. 10. 31) die Überhöhung auf $h_{\max} = 150$ mm. Die Überhöhungen in Weichen überschreiten bei der Deutschen Bundesbahn nur in seltenen Fällen $h = 100$ mm. In neuerer Zeit sind Bestrebungen im Gange, die Größtüberhöhungen in Streckengleisen zu ermäßigen, da sie für Züge, die mit geringeren Geschwindigkeiten verkehren, besonders in Gleisbögen mit $R > 1000$ m in mehrfacher Hinsicht nachteilig sind.

Die Höchstgeschwindigkeiten von Reisezügen bestimmt die Deutsche Bundesbahn für $R \geq 275$ m nach der Gleichung $V_{\max} \leq 4,25 \sqrt{R}$, diejenigen von Schnelltriebwagen für $R \geq 300$ m nach der Gleichung $V_{\max} \leq 4,5 \sqrt{R}$.

Hieraus ergeben sich folgende

Höchstgeschwindigkeiten und Größtüberhöhungen Zahlentafel 2

V in km/h		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Reisezüge	R (m)	100	100	125	150	150	175	200	225	250	275	350	350	400	450
	h (mm)	55	70	90	90	115	120	125	130	140	145	130	145	145	145
Schnelltriebwagen	R (m)											300	350	350	400
	h (mm)											150	145	150	150

V in km/h		95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160
Reisezüge	R (m)	500	550	600	700	800	800	900	1000	1000	1100	1200	1300	1400	1500
	h (mm)	145	145	145	140	130	145	140	135	145	145	140	140	135	135
Schnelltriebwagen	R (m)	450	500	550	600	700	700	800	800	900	1000	1100	1100	1200	1300
	h (mm)	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150

Die Spurerweiterung

soll Fahrzeugen mit 3 und mehr im Rahmen unverschieblich gelagerten Achsen das Durchfahren der Gleiskrümmungen erleichtern. Bindende Maße sind in TV und BO nicht vorgeschrieben. Es empfehlen sich die Werte der nachstehenden Zahlentafel. Die Klammermaße geben Spurerweiterungen an, die noch vielfach üblich sind.

Zahlentafel 3

Krümmungshalbmesser in m	Spurweite in mm				
	1435	1000	900	750	600
	Spurerweiterung in mm				
1000	0 (2)	0 (1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)
800	0 (3)	0 (2)	0 (1)	0 (0)	0 (0)
600	0 (9)	0 (5)	0 (3)	0 (2)	0 (0)
500	0 (12)	0 (8)	0 (6)	0 (4)	0 (2)
450	0 (13)	0 (10)	0 (8)	0 (5)	0 (3)
400	0 (15)	0 (12)	0 (10)	0 (6)	0 (3)
350	0 (17)	0 (13)	0 (11)	0 (7)	0 (4)
300	0 (19)	0 (14)	0 (12)	0 (8)	0 (4)
250	5 (21)	0 (15)	0 (13)	0 (9)	0 (6)
200	5 (24)	5 (17)	5 (14)	0 (10)	0 (7)
175	10 (25)	5 (18)	5 (15)	5 (11)	0 (7)
150	10 (27)	10 (20)	10 (16)	5 (12)	5 (8)
125	15 (28)	10 (22)	10 (18)	10 (13)	5 (8)
100	20 (30)	15 (24)	10 (20)	10 (14)	5 (10)
90	20 (30)	15 (25)	15 (21)	10 (15)	10 (10)
75	20 (32)	20 (25)	15 (24)	15 (16)	10 (12)
60	20 (32)	20 (28)	15 (25)	15 (18)	10 (12)
50	20 (35)	20 (28)	15 (25)	15 (20)	10 (14)
40	20 (35)	20 (30)	15 (28)	15 (22)	10 (16)
30	20 (35)	20 (30)	15 (28)	15 (22)	10 (18)
20	—	—	15 (28)	15 (22)	10 (18)

Die Spurerweiterung wird zumeist durch Hinausrücken der inneren Schiene hergestellt.

Nach BO § 9(3) sind für Gleiskrümmungen von 300 m Halbmesser an aufwärts keine Spurerweiterungen erforderlich; die Spurerweiterung darf auf Hauptbahnen 30 mm, auf regelspurigen Nebenbahnen 35 mm nicht überschreiten.

Die früheren deutschen Länderbahnen sahen Spurerweiterungen in Gleisbögen mit $R \leq 800$ bis 900 m vor, und zwar bis zu 30 mm für $R = 100$ m. Versuche der Deutschen Reichsbahn haben jedoch erwiesen, daß durch die Spurerweiterung die Fahrwiderstände erhöht, die Abnutzung der Bogenaußenschienen und der Spurkränze erheblich vergrößert und die Sicherheitsgrade gegen Entgleisung herabgesetzt werden. Sie beseitigte deshalb durch die Oberbauvorschriften 1928 die Spurerweiterung in Streckengleisbögen bis herab zu $R = 300$ m und in Weichenbögen bis herab zu $R = 215$ m. In Gleisbögen mit $R < 300$ m und in Weichenbögen mit $R < 215$ m hingegen mußte die Spurerweiterung mit Rücksicht auf ältere, nicht genügend bogenbewegliche Lokomotiven beibehalten werden; sie wurde aber erheblich ermäßigt.

Die Oberbauvorschriften 1948 der Deutschen Bundesbahn bestimmen für Gleisbögen					
	mit $R \geq 300$ m	eine Spurerweiterung von	0 mm		
.. ..	.. $R < 300 \div 200$ m		.. 5 ..		
.. ..	.. $R < 200 \div 150$ m		.. 10 ..		
.. ..	.. $R < 150 \div 120$ m		.. 15 ..		
.. ..	.. $R < 120 \div 100$ m		.. 20 ..		
.. Weichenbögen	.. $R \geq 215$ m		.. 0 ..		
.. ..	.. $R = 190 \div 175$ m		.. 6 ..		

Da die Abnutzung der Bogenaußenschienen und der Spurkränze seit Fortfall bzw. Ermäßigung der Spurerweiterungen erheblich zurückgegangen sind, werden Laufwerksanordnungen bei mehrachsigen Fahrzeugen angestrebt, die einen Fortfall der Spurerweiterung auch in Gleisbögen mit $R < 215$ m ermöglichen. Mit Abnahme des Halbmessers wachsen die Anlaufwinkel stark an, daher ist deren Vergrößerung durch die Spurerweiterung in Gleisbögen mit kleinen Halbmessern besonders nachteilig.

Zahlentafel 4

Neuere deutsche Schienenprofile

Profil	Schienen- gewicht kg/m	Schienenhöhe mm	Widerstands- moment cm ⁴
S 24	24,43	115	97,3
S 33	33,47	134	155
Pr 8	41,38	138	193,1
S 41	40,95	138	196
S 45	45,44	142	215
S 49	49,07	148	239

Der zulässige Achsdruck

ist von der Schienenstärke und dem Schwellenabstand abhängig.
Zahlentafel 5

Schienen- gewicht 1)	Schienen- höhe mm	Widerstands- moment W_x cm ⁴	Zulässiger Achsdruck $A = 2 Q$ in t bei einer Schwellenentfernung (von Mitte zu Mitte Schwellen gemessen) in cm					
			50	60	70	80	90	100
4,50	50	7,39	1,48	1,23	1,06	0,92	0,82	0,74
6,75	65	15,2	3,04	2,54	2,18	1,90	1,69	1,52
10,0	70	24,4	2,88	4,06	3,48	3,06	2,72	2,44
12,0	80	33,9	6,78	5,66	4,84	4,24	3,76	3,39
14,0	80	36,9	7,38	6,16	5,28	4,62	4,10	3,69
15,0	93	49,3	9,86	8,22	7,04	6,16	5,48	4,93
18,3	93	58,1	11,62	9,68	8,30	7,26	6,46	5,81
20,0	100	66,8	13,36	11,14	9,54	8,36	7,42	6,68
24,43	115	97,3	19,45	16,20	13,90	12,15	10,80	9,73
33,47	134	155,0	—	—	22,15	19,40	17,20	15,50
40,95	138	196,0	—	—	—	24,50	21,80	19,60
49,07	148	239,0	—	—	—	—	26,60	23,90

*) Gerechnet mit 7,85 kg/dm³, zulässige Gewichtsabweichung $\pm 6\%$.

Den Belastungsangaben liegt die Formel

$$\text{Raddruck } Q = \frac{4 \cdot \sigma_b \cdot W_x}{L \text{ [in cm]}} \text{ in kg}$$

nach DIN 5901/02 zu Grunde, wobei $\sigma_b = 1250 \text{ kg/cm}^2$ eingesetzt ist.

Für höhere Fahrgeschwindigkeiten (hohe dynamische Beanspruchung des Oberbaues) bleibt der zulässige Achsdruck unter obigen Tabellenwerten.

In USA pflegt man — mindestens 14 mittelschwere oder schwere Schwellen unter einer Schiene von 30 Fuß = 9,15 m Länge vorausgesetzt — den zulässigen Raddruck (nicht Achsdruck) anzunehmen

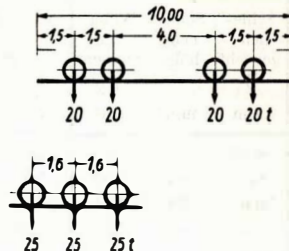
für leichte Schienen (bis zu 60 pounds per yard) . . . zu 250 lbs.
für mittelschwere Schienen (60–90 pounds per yard) zu 300 lbs.
für schwere Schienen (über 90 pounds per yard) . . . zu 350 lbs.

bezogen auf ein Schienengewicht von 1 pound per yard.

Beispiel: Der Raddruck auf Schienen von 40 pounds per yard Gewicht darf betragen $40 \times 250 = 10\,000 \text{ lbs.}$

Der Achsdruck ist verteilt bis auf 40 t gestiegen.

Verkehrslast
für neue und zu erneuernde Brücken
nach BO § 16 (3)



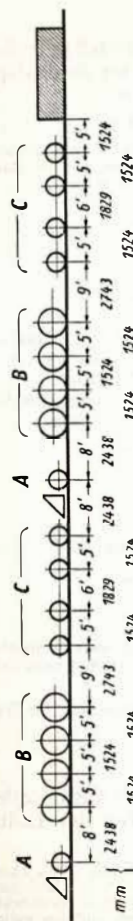
Die vorm. Deutsche Reichsbahn hat für die Einteilung der Strecken verschiedene *Lastenzüge* aufgestellt, deren wesentliche Merkmale aus folgender Tabelle hervorgehen:

Zahlentafel 6

Bezeichnung der Strecke	Größter zulässiger Achsdruk (Einzelnachsen) t	Größtes zulässiges Mietergewicht der Fahrzeuge t/m
N	25	13,67
E	25	8,89
G	20	8,18
H (= 0,9 G)	18	7,36
J (= 0,8 G)	16	6,54
K (< 0,8 G)	< 16	< 6,54

...Cooper's standard loading'

Zahlentafel 7



Das schraffierte Feld rechts in der Zeichnung stellt die gleichförmig verteilte Last des Wagenzuges dar.

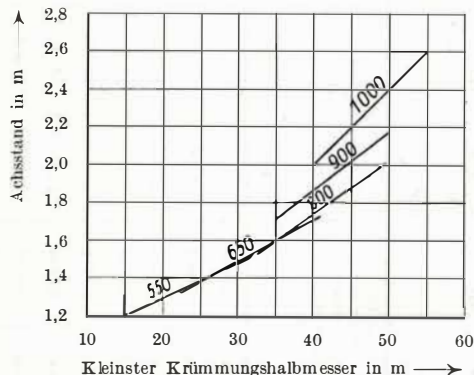
Lasten- zug	Gewicht auf Lokomotiv- Laufachse A		Gewicht auf jeder der 4 gekuppelten Achsen B		Gewicht auf jeder der 4 Tenderachsen C		Gleichförmig verteilte Last des Wagensatzes	
	lbs	kg	lbs	kg	lbs	kg	lbs per lineal foot	kg/m
E 27	13 500	6 124	27 000	12 247	17 550	7 960	2 700	4 000
E 30	15 000	6 808	30 000	13 608	19 500	8 845	3 000	4 470
E 35	17 500	7 938	35 000	15 876	22 750	10 319	3 500	5 200
E 40	20 000	9 072	40 000	18 144	26 000	11 794	4 000	5 960
E 45	22 500	10 206	45 000	20 412	29 250	13 268	4 500	6 700
E 50	25 000	11 340	50 000	22 680	32 500	14 742	5 000	7 450
E 55	27 500	12 474	55 000	24 947	35 750	16 216	5 500	8 200
E 60	30 000	13 608	60 000	27 215	39 000	17 690	6 000	8 940

Der feste Achsstand

muß bei *regelspurigen* Fahrzeugen, die kein Drehgestell aufweisen, nach BO § 30 mindestens 2500 mm betragen, bei Schmalspurfahrzeugen nach vBOS § 30 mindestens 2000 mm.

Drehgestelle werden von dieser Vorschrift nicht betroffen.

Bei Kleinlokomotiven darf der feste Achsstand bis auf 1500 mm verringert werden, wenn sie nur an solchen Stellen Verwendung finden, wo die Bauart der Weichen und Kreuzungen einen derart kurzen Achsstand zuläßt.



Die Zahlen an den Kurven bedeuten die Spurweite in mm

Bild 8. Achsstand und Gleiskrümmung

Für regelspurige Lokomotiven mit Drehgestellen sind feste Achsstände von 0 bis über 6000 mm ausgeführt worden. Die neuere Entwicklung geht dahin, den festen Achsstand so klein wie möglich zu halten.

Für Schmalspurlokomotiven werden als größte feste Achsstände die Werte des obenstehenden Schaubildes empfohlen.

Das Lademaß

wird durch die Begrenzungslinie festgelegt, die bei Mittelstellung des Fahrzeugs im geraden Gleis von keinem Teil der Ladung überschritten werden darf.

Auf deutschen Vollspurstrecken gilt das Lademaß I (VAM, Blatt 1), das mit der Begrenzung II für Wagen (siehe Bild 12) übereinstimmt. Das Lademaß I gilt auch auf fast allen Strecken Österreichs, Ungarns, der Tschechoslowakei, Südslawiens, Polens und Rumäniens. Es gilt annähernd auch auf den meisten

Strecken Luxemburgs, Dänemarks, Bulgariens, Griechenlands und der Türkei. (Abweichungen nur im Gebiet der Räder, für Ladungsbemessungen also bedeutungslos). Die Lademaße, die für Sendungen nach anderen ausländischen Bahnen eingehalten werden müssen, sind dem VAM zu entnehmen. Eine Beschränkung auf die Begrenzungslinie für *Transitwagen* (VAM Blatt 2) sichert die Übergangsmöglichkeit nach beinahe allen europäischen Hauptstrecken (siehe untenstehendes Bild 9).

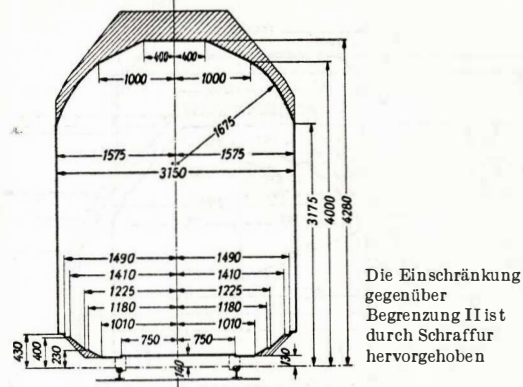


Bild 9. Begrenzungslinie der *Transitwagen* nach der «Technischen Einheit» (TE)

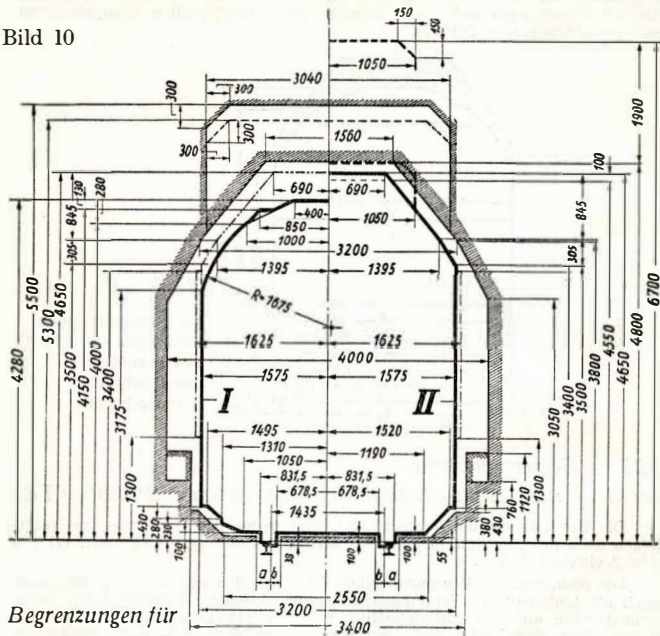
Die Breitenmaße der Transitwagen sind wegen des Befahrens von Gleisbögen nach der „Technischen Einheit im Eisenbahnwesen“ (TE) Art. III § 6 Abs. 2 einzuschränken.

Die obenstehende Begrenzungslinie dient bei den deutschen Eisenbahnen auch als Lademaß für Sendungen, die ohne besondere Prüfung ihrer Querschnittsmaße auf alle Auslaststrecken mit internationalem Verkehr übergehen sollen. Die Breitenmaße der nach dieser Linie verladenen Sendungen sind wegen des Befahrens von Gleisbögen nach besonderen Vorschriften weiter einzuschränken.

Die Umgrenzungsmaße für die deutschen Bahnen.

Die *Umgrenzung des lichten Raumes* gibt an, wie weit benachbarte Anlagen an das Gleis heranreichen dürfen. Sie ist so bemessen, daß zwischen Fahrzeug und festen Bauten ein hinreichender Spielraum bleibt. Der *Regellichtraum* gilt in der Geraden und in Gleisbögen mit 250 m Halbmesser und mehr.

Bild 10



Lokomotiven, Tender und Triebwagen

im Stillstand bei Mittelstellung im geraden Gleis nach BO §§ 11 u. 28

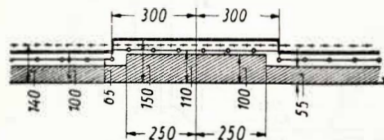
Begrenzung I ist maßgebend, sofern nicht Begrenzung II besonders genehmigt.

Begrenzung II darf an Stelle Begrenzung I nur mit Genehmigung des Verkehrsministers angewendet werden. Für Fahrzeuge mit Oberleitung und für Fahrgestelle der Kleinlokomotiven auch ohne besondere Genehmigung zugelassen.

Weitere Erläuterungen auf Seite 39.

Die *Begrenzung der Fahrzeuge* ist durch eine senkrecht zur Gleisachse gedachte Querschnittsfläche festgelegt, deren Umrisse von den Teilen des Fahrzeuges erreicht werden dürfen. Diese Umgrenzung muß auch bei abgenutzten Radreifen eingehalten werden.¹⁾ Die nach außen aufschlagenden Einsteigetüren von Triebwagen und Wagen dürfen bei Mittelstellung der Fahrzeuge im geraden Gleis die Umgrenzung des Regellichttraumes seitlich um nicht mehr als 50 mm überschreiten. In Gleiskrümmungen müssen die zulässigen Breitenmaße der Fahrzeugbegrenzung so weit eingeschränkt werden, wie es für das Befahren von Gleisbögen und Weichenbögen erforderlich ist.

Bild 11
Untere Begrenzungslinie
für Lokomotiven, Tender
und Triebwagen, die auf
Zahnstangen-
strecken
übergehen sollen



- | | |
|---|--|
|  | { Regellichtraum nach BO § 11. |
|  | { gültig in der Geraden und in Bögen von 250 m Halbmesser u. mehr |
|  | { Obere Begrenzung des lichten Raumes auf Strecken mit Oberleitung für <i>neue</i> Überbauten und Tunnel nach BO § 11 |
|  | { Obere Begrenzung des lichten Raumes auf Strecken mit Oberleitung für <i>vorhandene</i> Überbauten und Tunnel nach BO § 11 |
|  | { Einschränkung des Regellichtraumes bei den Gleisen, die nicht als durchgehende Hauptgleise und sonstige Ein- und Ausfahr Gleise von Zügen mit Beförderung von Reisenden dienen |
|  | Begrenzungen für Lokomotiven, Tender und Triebwagen |
|  | Begrenzung für Signalscheiben und Signallaternen |
|  | Begrenzung für Signalscheiben, Signallaternen und Leinenhaspel |
|  | Begrenzung für Teile, aus denen Dampf ausströmt |
|  | Höchste und tiefste Arbeitsstellung des Stromabnehmers |
|  | Begrenzung für eingeschraubte oder aufgehängte Kupplungsstelle |
|  | vgl. BO § 28 (8) und (11). {etr. Bremsklötze, unmittelbar auf die Schienen wirkende Bremssteile, Sandstreuer, Bahnräumer und unbefestigte Teile} |

a	≥ 150 mm für unbewegliche Gegenstände, die nicht fest	} mit d. Fahrschiene verbunden sind
a	≥ 135 mm für unbewegliche Gegenstände, die fest	
b	41 mm für Einrichtungen, die das Rad an der inneren Stirnfläche führen	
b	≥ 45 mm an Wegeübergängen	b ≥ 70 mm für alle übrigen Fälle

¹⁾ Nach BO § 28 (8) u. (11) dürfen Bremsklötze, Sandstreuer, Bahnräumer und unabgefederte Teile bis auf 65 bzw. 55 mm über SO herabreichen.

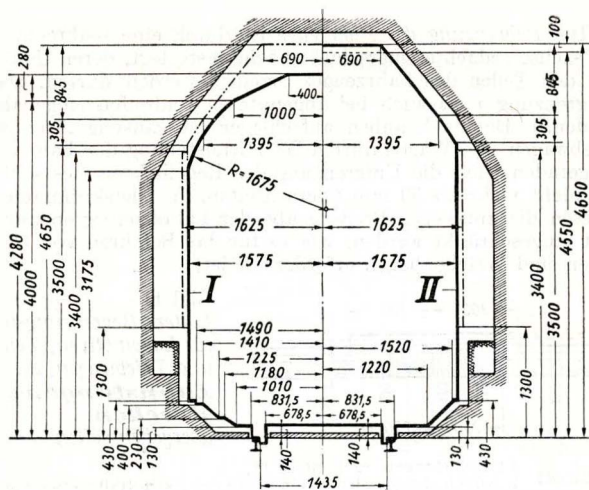


Bild 12. Begrenzungen für **Wagen** nach BO § 28

Begrenzung I maßgebend, sofern nicht die Anwendung der Begrenzung II besonders genehmigt ist.

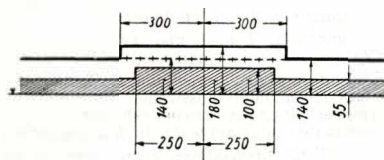


Bild 13

Untere Begrenzungslinie für Wagen, die auf **Zahnstangenstrecken** übergehen sollen

-  Regellichtraum nach BO § 11, gültig in Bögen von 250 m Halbmesser (Abmessungen auf S. 38, Bild 10)
-  Begrenzungen für Wagen in geradem Gleis
-  Begrenzung für Signalscheiben und Signallaternen
-  Begrenzung für Signalscheiben, Signallaternen und Leinenhaspel
-  Begrenzungen für eingeschaubte oder aufgehängte Kupplungsteile

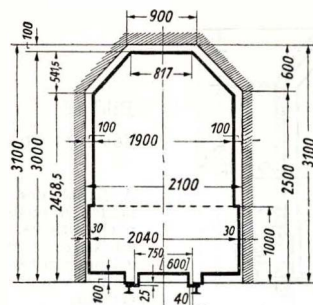


Bild 14

600 und 750 mm Spur

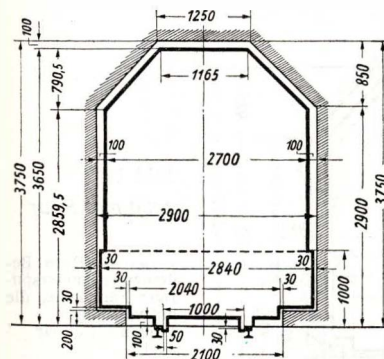


Bild 15

1000 mm Spur

Umgrenzung des lichten Raumes und Fahrzeugbegrenzung für bestehende Schmalspurbahnen

nach §§ 11 und 28 der „Ausführungsbestimmungen zu den Abschnitten II, III und IV der Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung. — Gültig für Schmalspurbahnen“ vom 4. Nov. 1904, Ausgabe 1907

bzw. §§ 7 und 16 der „Bau- und Betriebsvorschriften für nebenbahnähnliche Kleinbahnen mit Maschinenbetrieb“ vom 15. Januar 1914.

Diese Umgrenzungsmaße sind in den heutigen Vorschriften *nicht* mehr enthalten. Für Neubauten, umfassendere Umbauten und neue Fahrzeuge von Schmalspurbahnen gelten vielmehr Bild 16 und 17 auf Seite 42.

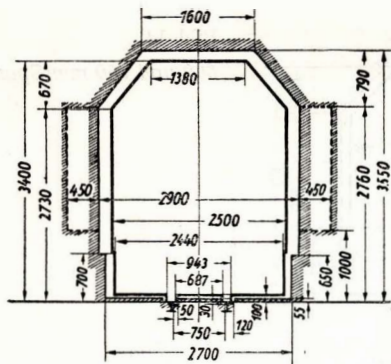


Bild 16
750 mm Spur

Außerhalb des lichten Raumes sind noch seitliche, durch schmalere Schraffur gekennzeichnete Räume von je 450 mm Breite freizuhalten

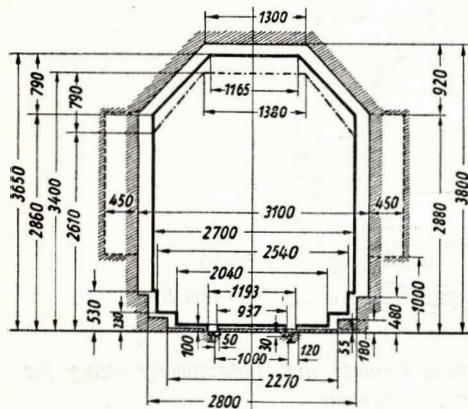


Bild 17
1000 mm Spur

— — — — — Obere Begrenzung meterspuriger Fahrzeuge, die auf vollspurige Wagen verladbar sind

Umgrenzung des lichten Raumes im geraden Gleis für **Neubauten und umfassendere Umbauten von Schmalspurbahnen** und Begrenzungslinie für **neue** Fahrzeuge bei Mittelstellung im geraden Gleis

nach §§ 11 und 28 der vBOS vom 25. Juni 1943. Für Gleiskrümmungen enthalten die angeführten §§ besondere Anweisungen.

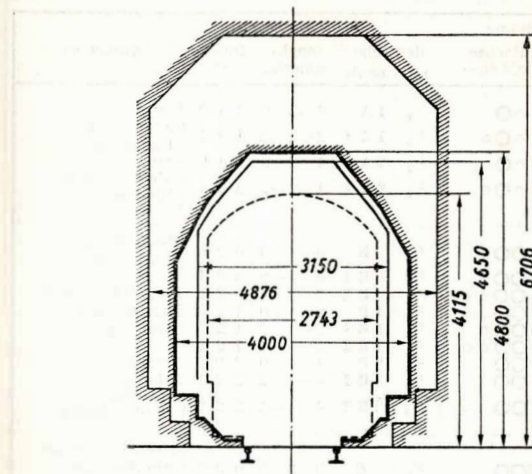


Bild 18. Größenvergleich von Umgrenzungsmaßen für Regelspur

- | | | |
|--|--|---------------|
| | Umgrenzung des lichten Raumes in USA | } Deutschland |
| | Umgrenzung des lichten Raumes nach BO § 11 | |
| | Fahrzeugbegrenzung II nach BO § 28 | |
| | Fahrzeugbegrenzung für englische Bahnen | |

Der Regellichtraum der russischen Eisenbahnen (1524 mm Spurweite) zeigt eine größte Breite von 3600 mm und eine größte Höhe von 5250 mm.

Kennzeichnung der Lokomotiven und Triebwagen

Die Achsanordnung und ihre Bezeichnung

Achsanordnung < vorn ○ Laufachse ○ getr. Achse	Bezeichnung			Kennwort
	deutsche alt	engl.- amerik.	franz. 2)	
< ○ ○	1 1/2	1 A	2—2—0	1 1 0 Planet
< ○ ○ ○	1 1/3	1 A 1	2—2—2	1 1 1 { Jenny Lind, Buddicom
< ○ ○ ○	1 1/3	2 A	4—2—0	2 1 0 Crampton
< ○ ○ ○ ○	1 1/4	2 A 1	4—2—2	2 1 1 { Single Driver, Bicycle
< ○ ○	2 1/2	B	0—4—0	0 2 0 { 4-wheel switcher, 4 wheeler
< ○ ○ ○	2 1/3	B 1	0—4—2	0 2 1
< ○ ○ ○ ○	2 1/4	B 2	0—4—4	0 2 2 Forney 4-Coupled
< ○ ○ ○ ○ ○	2 2/3	1 B	2—4—0	1 2 0 Four wheeler
< ○ ○ ○ ○ ○	2 3/4	1 B 1	2—4—2	1 2 1 Columbia
< ○ ○ ○ ○ ○	2 5/4	1 B 2	2—4—4	1 2 2
< ○ ○ ○ ○ ○	2 5/4	2 B	4—4—0	2 2 0 American
< ○ ○ ○ ○ ○	2 5/5	2 B 1	4—4—2	2 2 1 Atlantic
< ○ ○ ○ ○ ○	2 1/6	2 B 2	4—4—4	2 2 2 { Reading Double Ender
< ○ ○ ○	3 1/3	C	0—6—0	0 3 0 { 6-wheel switcher, Bourbonnais, Sixcoupler
< ○ ○ ○ ○	3 1/4	C 1	0—6—2	0 3 1
< ○ ○ ○ ○ ○	3 1/5	C 2	0—6—4	0 3 2 Forney 6-Coupled
< ○ ○ ○ ○ ○	3 1/5	1 C	2—6—0	1 3 0 Mogul
< ○ ○ ○ ○ ○	3 1/5	1 C 1	2—6—2	1 3 1 Prairie
< ○ ○ ○ ○ ○	3 1/5	1 C 2	2—6—4	1 3 2 Adriatic
< ○ ○ ○ ○ ○	3 1/6	2 C	4—6—0	2 3 0 Ten wheeler
< ○ ○ ○ ○ ○	3 1/5	2 C 1	4—6—2	2 3 1 Pacific
< ○ ○ ○ ○ ○	3 1/7	2 C 2	4—6—4	2 3 2 Baltic, Hudson
< ○ ○ ○ ○ ○	4 1/4	D	0—8—0	0 4 0 { 8-wheel switcher, 8-Coupler
< ○ ○ ○ ○ ○	4 1/5	D 1	0—8—2	0 4 1
< ○ ○ ○ ○ ○	4 1/6	D 2	0—8—4	0 4 2
< ○ ○ ○ ○ ○	4 1/5	1 D	2—8—0	1 4 0 Consolidation
< ○ ○ ○ ○ ○	4 1/6	1 D 1	2—8—2	1 4 1 Mikado
< ○ ○ ○ ○ ○	4 1/7	1 D 2	2—8—4	1 4 2 Berkshire
< ○ ○ ○ ○ ○	4 1/6	2 D	4—8—0	2 4 0 Twelve wheeler
< ○ ○ ○ ○ ○	4 1/7	2 D 1	4—8—2	2 4 1 Mountain, Mohawk
< ○ ○ ○ ○ ○	4 1/8	2 D 2	4—8—4	2 4 2 { Pocono, Confederation Niagara, Northern

Achsanordnung < vorn ○ Laufachse ○ getr. Achse	Bezeichnung			Kennwort
	deutsche alt	engl.- neu ¹⁾	franz. 2)	
< ○ ○ ○ ○ ○	5/5	E	0—10—0	0 5 0 { 10-wheel switcher, 10-Coupler
< ○ ○ ○ ○ ○	5/6	E 1	0—10—2	0 5 1 Union
< ○ ○ ○ ○ ○	5/8	1 E	2—10—0	1 5 0 Decapod
< ○ ○ ○ ○ ○	5/7	1 E 1	2—10—2	1 5 1 Santa Fé, Lorraine
< ○ ○ ○ ○ ○	5/8	2 E 2	2—10—4	1 5 2 Texas, Selkirk
< ○ ○ ○ ○ ○	5/7	2 E	4—10—0	2 5 0 Mastodon
< ○ ○ ○ ○ ○	5/8	2 E 1	4—10—2	2 5 1 { Overland, Sierra, Southern Pacific Super Mountain
< ○ ○ ○ ○ ○	6/6	F	0—12—0	0 6 0 Centipede
< ○ ○ ○ ○ ○	6/7	1 F	2—12—0	1 6 0
< ○ ○ ○ ○ ○	6/8	1 F 1	2—12—2	1 6 1 Javanic
< ○ ○ ○ ○ ○	6/9	1 F 2	2—12—4	1 6 2
< ○ ○ ○ ○ ○	6/8	2 F	4—12—0	2 6 0
< ○ ○ ○ ○ ○	6/9	2 F 1	4—12—2	2 6 1
< ○ ○ ○ ○ ○	6/10	2 F 2	4—12—4	2 6 2 Union Pacific

Durch Zusatzbezeichnungen zur Darstellung der Achsfolge lassen sich die kennzeichnenden Eigenarten der Lokomotive in knappster Form festlegen.

LON 52 (2. Ausgabe vom Mai 1937) führt an:

1. die Dampfart (h = Heißdampf, n = Naßdampf)
 2. die Anzahl der Dampfzylinder (in Form einer arabischen Ziffer)
 3. die Art der Dampfdehnung (v = Verbundwirkung; einfache Dampfdehnung wird nicht besonders gekennzeichnet).
 4. eine besondere Kennzeichnung für vom Hauptraum unabhängige Achsen (mit einem über der Zeile stehenden Beistrich bzw. durch Klammern). — Wir haben von dieser Kennzeichnung im allgemeinen abgesehen.
- Zweckmäßigerweise fügt man noch hinzu:
5. den Verwendungszweck (G = Güterzuglokomotive, P = Personenzuglokomotive, S = Schnellzuglokomotive)
 6. die Art des Unterbringens der Vorräte (t = Tenderlokomotive; Schleppentenderlokomotiven werden nicht besonders gekennzeichnet).
 7. bei Gelenklokomotiven die Bauart (Mallet, Garratt usw.), ebenso bei Sonderbauarten (Franco-Crosti u. a.).

Beispiele:

2 C 1 h 4 v S-Lok. = dreifach gekuppelte Heißdampf-Vierzylinder-Verbund-Schnellzuglokomotive mit vorderem Drehgestell und hinterer Laufachse sowie besonderem Tender.

1 E 1 h 2 Gt-Lok. = fünffach gekuppelte Heißdampf-Zwillings-Güterzug-Tenderlokomotive mit vorderer und hinterer Laufachse.

Die deutsche Kennzeichnung der Tender berücksichtigt die Anzahl und Anordnung der Achsen und den Wasservorrat, z. B.:

- 3 T 12 = dreiachsiger 12 m³-Tender
 4 T 31,5 = vierachsiger 31,5 m³-Tender (alle Achsen im Hauptraum)
 2*2 T 31,5 = vierachsiger 31,5 m³-Tender mit einem zweiachsigen Drehgestell und zwei im Hauptraum gelagerten Achsen.

Achsanordnung			Bezeichnung			Kennwort (nur für Bau- art Mallet)
< vorn	o Laufachse o Geotr. Achse	alte deutsche	neue deutsche ¹⁾	englisch- amerikanische	französische ²⁾	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{3} + \frac{2}{2}$	B B	0-4-0+0-4-0	020+020	Yellowstone
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{3} + \frac{2}{2}$	B B	2-4-0+0-4-0	120+020	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{4} + \frac{2}{3}$	B B	0-4-0+0-4-2	020+021	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{4} + \frac{2}{4}$	B B	2-4-2+2-4-2	121+121	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{6} + \frac{2}{5}$	B B	4-4-2+2-4-4	221+122	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{3} + \frac{3}{3}$	C C	0-6-0+0-6-0	030+030	Alleghany Union Pacific, Challenger
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{3} + \frac{3}{4}$	C C	0-6-0+0-6-2	030+031	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{3} + \frac{3}{5}$	C C	2-6-0+0-6-0	130+030	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{3} + \frac{3}{5}$	C C	2-6-0+0-6-2	130+031	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{3} + \frac{3}{5}$	C C	2-6-2+2-6-2	131+131	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{3} + \frac{3}{5}$	C C	2-6-0+0-6-6	130+033	Yellowstone
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{3} + \frac{3}{5}$	C C	4-6-0+0-6-4	230+032	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{2}{6} + \frac{2}{5}$	C C	4-6-2+2-6-4	231+132	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{4}{4} + \frac{4}{4}$	D D	0-8-0+0-8-0	040+040	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{4}{5} + \frac{4}{4}$	D D	2-8-0+0-8-0	140+040	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{4}{5} + \frac{4}{5}$	D D	2-8-0+0-8-2	140+041	Yellowstone
< o o o o o	o o o o o	$\frac{4}{5} + \frac{4}{6}$	D D	2-8-0+0-8-4	140+042	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{4}{6} + \frac{4}{6}$	D D	2-8-2+2-8-2	141+141	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{4}{6} + \frac{4}{6}$	D D	4-8-0+0-8-4	240+042	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{4}{7} + \frac{4}{7}$	D D	4-8-2+2-8-4	241+142	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{5}{5} + \frac{5}{5}$	E E	0-10-0+0-10-0	050+050	Yellowstone
< o o o o o	o o o o o	$\frac{5}{6} + \frac{5}{6}$	E E	2-10-0+0-10-2	150+051	
< o o o o o	o o o o o	$\frac{7}{8} + \frac{7}{8}$	(D)/D	2-8-0+0-8-2	140+040+041	3)

Beispiele von Gelenk-Lokomotiven

¹⁾ Einzelschienenantrieb wird durch den Zusatz 0 hinter dem die Anzahl der angetriebenen Achsen kennzeichnenden Buchstaben zum Ausdruck gebracht, z. B. 1-0-Lokomotive. Bei Gelenklokomotiven, die aus mehreren je für sich allein arbeitsfähigen oder aus einem verfahren Bestandteilen ohne gemeinsamen Überbau zusammengesetzt sind, werden die Bezeichnungen der einzelnen Teilfahrzeuge durch ein Plus-Zeichen verbunden, z. B. elektrische 1C0+Co1-Lokomotive. — Laufachsen mit abschaltbarem Hilfstriebswerk werden durch kleine Buchstaben (a, b, c) bezeichnet, z. B. 2 Ca-Lokomotive (Schleppachse mit Booster).

²⁾ Nach einer seitener anzutreffenden Darstellung wird das Drehgestell mit B, eine einzelne Laufachse mit P bezeichnet, z. B. P₂ statt 1-2-0, B 3 P statt 2-3-1. — Die französische Bezeichnungswiese ist durch die Sowjetrussischen Staatsbahnen übernommen worden.

³⁾ Beispiel einer Mallet-Lokomotive mit Triebtender.

Die Ermittlung der Hauptabmessungen

von Triebfahrzeugen setzt die Kenntnis der gewünschten bzw. technisch voraussichtlich möglichen *Leistungs- und Zugkraftkurve* voraus.

Die Abhängigkeit zwischen Leistung, Zugkraft und Fahrgeschwindigkeit ist gegeben durch den Ausdruck

$$N = \frac{ZV}{270} \quad \text{in PS}$$

Hierin ist N = Leistung in PS, Z = Zugkraft in kg,
 V = Fahrgeschwindigkeit in km/h.

Wird das **Kilowatt (kW)** als Leistungseinheit gewählt, so gilt entsprechend

$$N = \frac{ZV}{367} \quad \text{in kW}$$

denn 1 PS = 736 Watt 1 kW = 1,36 PS

Begriffsbestimmungen:

Man unterscheidet

1. hinsichtlich der **Leistung**

- Kesselleistung bzw. Motorleistung
- Leistung im Zylinder bzw. an der Motorwelle; *Indizierte Leistung* N_i
- Leistung am (Treib-)Radumfang N_r
- Leistung am Zughaken bzw. Tenderzughaken; *Effektive Leistung* N_e

2. hinsichtlich der **Zugkraft**

- Zugkraft aus der Kesselleistung bzw. der Motorleistung
- Indizierte Zugkraft Z_i
- Zugkraft am (Treib-)Radumfang Z_r
- Zugkraft am Zughaken bzw. Tenderzughaken; *Effektive Zugkraft* Z_e

Das Diagramm zeigt die Zugkraft Z auf der vertikalen Achse und die Fahrgeschwindigkeit V auf der horizontalen Achse. Eine Kurve stellt die Zugkraft dar, die mit zunehmender Geschwindigkeit abnimmt. Eine horizontale Linie markiert die Reibungszugkraft. Der Bereich zwischen der Kurve und der Reibungszugkraft für Geschwindigkeiten $V > a$ ist schraffiert und als 'Zugkraftgewinn durch erhöhte Leistung' bezeichnet. Die Punkte a und b sind auf der horizontalen Achse markiert, wobei a die Geschwindigkeit bei der Reibungszugkraft entspricht.

a und b: Reibungsgeschwindigkeit für geringere bzw. höhere Leistung

Eine Erhöhung der Leistung schiebt die Reibungsgeschwindigkeit weiter hinauf und ermöglicht bei den jeweiligen Fahrgeschwindigkeiten erhöhte Zugkräfte (Bild 19).

Aus der Zugkraftkurve ergeben sich mit Hilfe des Zugwiderstandes das *Schlepplasten-Diagramm* und das *s-V-Diagramm*, die beide als Grundlagen für die Dienstfahrpläne dienen (siehe S. 66).

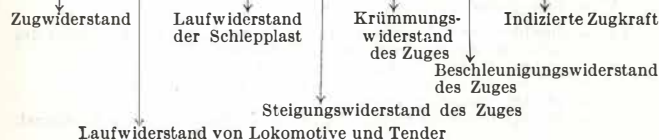
den Trägheitswiderstand der zu beschleunigenden Massen (nur bei Geschwindigkeitsänderungen)

(= Widerstand auf
ebener, gerader
Strecke im Behar-
rungszustand des
Zuges)

Steigungswiderstand
Krümmungs-
widerstand

*Beschleunigungs-
widerstand*

$$W_Z = W_{L+T} + W_W + W_S + W_r + W_b = Z_1 \quad \text{in kg}$$



Mit $W_b = 0$ ist der Zug im Beharrungszustand (gleichförmige Geschwindigkeit)
 > 0 wird der Zug beschleunigt (Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit)
 < 0 wird der Zug verzögert (Verringerung der Fahrgeschwindigkeit)

1. Laufwiderstand der üblichen Kolben-Dampf-Lokomotive nach *Strahl* für den Beharrungszustand auf ebener, gerader Strecke

$$W_{L+T} = 2,5 G_0 + c_1 G_T + c_2 F \frac{(V + \Delta V)^2}{100} + 0,04 Z_i \quad \text{in kg}$$

mit G_0 = Dienstgewicht in t von Lokomotive und Tender, soweit es von den nicht gekuppelten Achsen auf die Schienen übertragen wird. G_0 ist

zunächst zu schätzen, wobei der Tender mit halben Vorräten angenommen werden kann. Werden für die Laufachsen und die Tenderachsen **Wälzlager** verwendet, so sinkt der Beiwert auf etwa $1,8 \div 2,0$.

G_T = Reibungsgewicht der Lokomotive in t

F = Querschnittsfläche der Lokomotive in m^2 , die den Luftwiderstand hervorruft ($F = 10 \div 12 m^2$ bei Vollbahnlokomotiven, bei kleineren Lokomotiven entsprechend geringer)

c_1 = Beiwert, abhängig von der Anzahl der gekuppelten Achsen und der Dampfzylinder:

	5,8	für 2	gekuppelte Achsen bei 2	Dampfzylindern
=	5,9	"	2	"
=	6,0	"	2	"
=	7,3	"	3	"
=	7,4	"	3	"
=	7,5	"	3	"
=	8,4	"	4	"
=	8,5	"	4	"
=	8,6	"	4	"
=	9,3	"	5	"
=	9,4	"	5	"
=	9,5	"	5	"
=	10,0	"	6	"
=	10,15	"	6	"
=	10,3	"	6	"

c_2 = 0,6 für die übliche Lokomotive

= 0,33 für die Lokomotive mit teilweiser „Stromlinien“-Verkleidung

= 0,25 $\div$ 0,3 für die Lokomotive mit vollständiger „Stromlinien“-Verkleidung

V = Fahrgeschwindigkeit in km/h

ΔV = Zuschlag zur Fahrgeschwindigkeit in km/h, der die Erhöhung des Luftwiderstandes durch Wind berücksichtigt:

- = 0 bei Windstille (kommt selten in Betracht)
- = 12 bei mittelstarkem Seitenwind (üblicher Zuschlag)
- = 20 bei starkem Seitenwind
- = 30 bei besonders heftigen und andauernden Stürmen, z. B. Mistral.

2. Laufwiderstand der elektrischen Lokomotive für den Beharrungszustand auf ebener, gerader Strecke (in Anlehnung an die Formel von Strahl auf S. 49)

$$W_L = 2,5 G_0 + c_1 \cdot G_T + c_2 F \frac{(V + \Delta V)^2}{100} \quad \text{in kg}$$

mit G_0 = Gewicht auf den Laufachsen in t

c_1 = 5,0 für Einzelachsantrieb mit Hohlwellen

= 4,5 für Tatzenlagermotoren und für Buchli-Antrieb

= 5,4 $\div$ 9,0 für Stangenantrieb je nach Zahl der Kuppelachsen

c_2 = 0,25 $\div$ 0,3 für Lokomotiven mit runder Kopfform ($F = 11,4 m^2$)

= 0,4 $\div$ 0,45 für Lokomotiven mit eckiger Kopfform ($F = 10,5 m^2$)

3. Laufwiderstand von Lokomotiven und Triebwagen mit Verbrennungsmotoren für den Beharrungszustand auf ebener, gerader Strecke (Näherungsformel)

$$W_L \text{ bzw. } W_T = c_1 \cdot c_2 \cdot G + c_3 F \frac{(V + \Delta V)^2}{100} \quad \text{in kg}$$

mit V = Fahrgeschwindigkeit in km/h

ΔV = Zuschlag für Seitenwind in km/h

G = Lokomotiv- bzw. Triebwagengewicht in t

F = Querschnittsfläche des Fahrzeuges einschl. Dachaufbauten (in der Regel etwa $10 m^2$)

Beiwerte (Mittelwerte für übliche Betriebsverhältnisse):

c_1 = 1 für gut unterhaltenen Oberbau

c_2 = 2,5 $\div$ 3,5 „ Motorlokomotiven

= 2,5 „ ältere Triebwagen (mit Gleitlagern)

= 2,2 „ neuere „ (mit Wälzlagern)

= 1,6 „ mehrteilige Schnelltriebwagen

c_3 = 0,225 „ zweiachsige Triebwagen mit runder Kopfform

= 0,25 „ vierachsige „ „ eckiger „

= 0,375 „ zweiachsige „ „ eckiger „

= 0,425 „ vierachsige „ „ eckiger „

= 0,225 „ zweiteilige Schnelltriebwagen

= 0,30 „ dreiteilige „

= 0,36 „ vierteilige „

= 0,50 $\div$ 0,70 für Motorlokomotiven

Triebwagen-Anhänger können berücksichtigt werden durch die Formel

$$W_A = n [1,5 c_1 \cdot G_A + c_3 \cdot F_A \frac{(V + \Delta V)^2}{100}] \quad \text{in kg}$$

mit n = Anzahl der Anhänger-Wagen

c_3 = 0,13 für Anhänger mit runder Kopfform

= 0,15 „ „ eckiger „

Die Laufwiderstände von **Motorlokomotiven für Industrie- und Grubenbahnen** können nach folgender Aufstellung angenommen werden;

Zahlentafel 8

Spurweite in mm	Laufwiderstand in kg/t	
	Grubenbahnen	Förderbahnen über Tage
500	12 $\div$ 15	12 $\div$ 13
600	11 $\div$ 13	10 $\div$ 12
750	8 $\div$ 10	8
1000	—	6

4. Laufwiderstand des Wagenzuges für den Beharrungszustand auf ebener, gerader Strecke

a) Allgemein

nach Strahl

$$w_w = 2,5 + \frac{(V + \Delta V)^2}{k}$$

in kg/t Schlepplast

mit $k = 4000$ für D-Züge, Eilzüge, Schnellzüge und schwere Güterzüge von gleichförmiger Zusammensetzung (Kohlen-, Erz-, Großgüterwagenzüge)

= 3000 für gewöhnliche Personenzüge (verschiedene Wagentypen in einem Zuge!)

= 2500 für Eilgüterzüge (zumeist kurze Wagen, verhältnismäßig viele Zwischenräume)

= 2000 für Güterzüge gemischter Zusammensetzung (beladene und unbeladene, offene und verdeckte Wagen in beliebiger Folge)

= 1000 für Leerwagenzüge aus zweiachsigen Güterwagen

ΔV = Zuschlag für Seitenwind in km/h (wie in der Formel für den Lokomotivwiderstand)

b) Genauere Werte für langsam fahrende Züge (etwa $V \leq 40$ km/h) nach der nachgelassenen Formel von Strahl

$$w_w = 2 + (0,007 + m) \frac{V^2}{100}$$

in kg/t Schlepplast

mit $m = 0,025$ für Züge gleichförmiger Zusammensetzung (D-Züge, Eilzüge, Kohlen-, Erz-, Großgüterwagenzüge)

= 0,033 für gewöhnliche Personenzüge

= 0,040 für Eilgüterzüge

= 0,050 für gewöhnliche Güterzüge gemischter Zusammensetzung

= 0,100 für Leerwagenzüge

c) Genauere Werte für schnell fahrende Züge (mit Gleitlagern!) nach Sauthoff

$$w_w = 1,9 + b \cdot V + 0,0048 \frac{1}{G_w} (n + 2,7) f \cdot (V + 12)^2$$

in kg/t

mit G_w = Gewicht des Wagenzuges in t dienstfähig

n = Anzahl der Wagen (Zuschlag 2,7 berücksichtigt Sog des letzten Wagens)

f = 1,55 m² = Äquivalentfläche eines älteren D-Zugwagens

= 1,45 m² = „ neueren „

= 1,15 m² = „ von 2- u. 3-achsigen Personenzugwagen

b = 0,0025 für vierachsige Drehgestell-Wagen

= 0,0040 „ dreiachsige Wagen

= 0,0070 „ zweiachsige Wagen

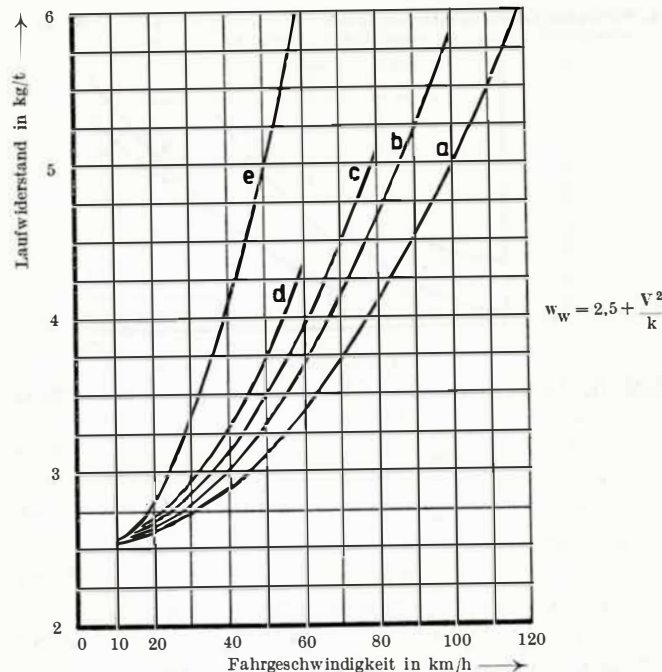


Bild 20. Laufwiderstand der Schlepplast nach Formel 4a für $\Delta V = 0$

$k = 4000$ für Kurve a = 3000 für Kurve b = 2500 für Kurve c
= 2000 für Kurve d = 1000 für Kurve e

d) Laufwiderstand von Rollböcken 12÷14 kg/t.

e) Bei **Bahnen mit rauhem Betrieb** (Bau-, Feld-, Wald-, Werk- und Industriebahnen) vernachlässigt man zweckmäßigerweise den Einfluß der Fahrgeschwindigkeit und rechnet durchweg mit einem Laufwiderstand von 8÷12 kg/t für die Lokomotive und 4÷8 kg/t für die Schlepplast.

Im Tagebau (nach „Braunkohle“ 1950, S. 145)

$w_L = 10\div12$ kg/t für Regelspur, 15÷25 kg/t für 900 Spur

$w_W = 5\div7$ kg/t für Regelspur, 7÷10 kg/t für 900 Spur

5. Für Übersichtsrechnungen empfehlen sich Formeln, die den gesamten Laufwiderstand des Zuges (Lokomotive + Schlepplast) erfassen:

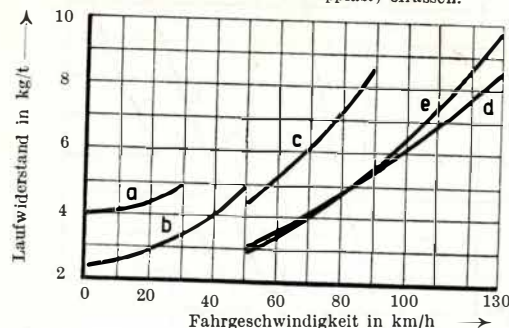


Bild 21. Laufwiderstände von Zügen (Lokomotive + Schlepplast) von Bau-, Feld- und Waldbahnen:

- $w = 4 + \frac{V^2}{1000}$ in kg/t Kurve a
von Vollbahnen für geringe Fahrgeschwindigkeiten (Clark):
 $w = 2,4 + \frac{V^2}{1000}$ in kg/t Kurve b
von Vollbahnen für mittlere Fahrgeschwindigkeiten (Erfurt):
 $w = 2,4 + \frac{V^2}{1300}$ in kg/t Kurve c
von Vollbahnen für große Fahrgeschwindigkeiten (v. Borries):
 $w = 1,6 + 0,3 V \frac{V + 50}{1000}$ in kg/t Kurve d
von Vollbahnen für große Fahrgeschwindigkeiten (Barbier):
 $w = 1,6 + 0,456 V \frac{V + 10}{1000}$ in kg/t Kurve e

6. Die in USA gebräuchlichen Widerstandsformeln geben gegenüber den deutschen etwas höhere Werte an. Es ist mit 1 ton = 2000 lbs. und w = Widerstand in pounds per ton, Q = Gewicht der Schlepplast in tons, V = Geschwindigkeit in miles per hour

der Laufwiderstand

- a) von Schmalspur- und — nach amerikanischen Begriffen — „leichten“ Regelpurlokomotiven + Tendern

$$W_L + T = 5 + 0,004 V^2 \text{ in pounds per ton}$$

- b) von schweren Regelpurlokomotiven + Tendern

$$W_L + T = 4,3 + 0,003 V^2 \text{ in pounds per ton}$$

- c) von Personenwagen bis zu 45 tons und Güterwagen beliebigen Gewichts

$$W_w = 1,5 + \frac{106 + 2 V}{G + 1} + 0,001 V^2 \text{ in pounds per ton,}$$

wobei G das Gewicht eines Wagens in tons bedeutet

- d) von Personenwagen über 45 tons

$$W_w = 4,3 + 0,0017 V^2 \text{ in pounds per ton.}$$

7) Widerstandswerte für Wagen mit Luftreifen

Man kann einen Laufwiderstand von 11–15 kg/t annehmen. Der Widerstand steigt mit der Fahrgeschwindigkeit und wird andererseits um so geringer, je höher der Luftdruck im Reifen (Reifeninnendruck) ist.

Nach Revue Générale des Chemins de Fer, 1949, S.19, bzw. Glasers Annalen, 1951, S. 251, wurden an leeren französischen Micheline-Wagen von 14 t Gewicht bei 100 km/h Fahrgeschwindigkeit und einem Reifeninnendruck von 9 atü der reine Rollwiderstand zu 6,7 kg/t, der Luftwiderstand zu 8,0 kg/t, der Gesamtwiderstand (Laufwiderstand) mithin zu 14,7 kg/t ermittelt. Bei Versuchen mit voll ausgelasteten Wagen zu 21 t Dienstgewicht ergab sich ein geringerer Rollwiderstand von nur 5,47 kg/t.

8. Verschiedenes

Bei Gleitlagern mit Umlaufschmierung (Isothermos, Peyinghaus u. a.) beträgt die Reibungszahl im Mittel 0,002 (Lagerreibung etwa zwei- bis viermal geringer als bei Polsterlagern).

Bei Anwendung von Wälzlagern ist der durch die Achslagerreibung hervorgerufene Anteil des Laufwiderstandes um etwa 30%, der Laufwiderstand selbst damit um 10–15% geringer.

Bei hohen Geschwindigkeiten (etwa über 130 km/h) lohnt sich die Anwendung der „Stromlinien“form. Die hierdurch bedingte Verringerung des Luftwiderstandes bringt bei einer Dampf-Lokomotive — je nach Lokomotivgröße und Fahrgeschwindigkeit — etwa 10–20% Leistungsersparnis.

Für Zahnrad-Lokomotiven und -Triebwagen kann der Laufwiderstand zu 16–32 kg/t angenommen werden.

Der Steigungswiderstand

beträgt $w_s = s$ kg/t Zuggewicht, wenn die Strecke sich über einer waagerechten Grundlinie von 1000 m Länge um s Meter erhebt.

Zahlentafel 9

Steigung	w_s in kg/t	Steigung	w_s in kg/t
1: ∞ bzw. 0 ‰	0	1: 100 bzw. 10 ‰	10
1: 1000 bzw. 1 ‰	1	1: 80 bzw. 12,5 ‰	12,5
1: 500 bzw. 2 ‰	2	1: 60 bzw. 16,6 ‰	16,6
1: 400 bzw. 2,5 ‰	2,5	1: 50 bzw. 20 ‰	20
1: 333 bzw. 3 ‰	3	1: 40 bzw. 25 ‰	25
1: 250 bzw. 4 ‰	4	1: 25 bzw. 40 ‰	40
1: 200 bzw. 5 ‰	5	1: 20 bzw. 50 ‰	50
1: 166 bzw. 6 ‰	6	1: 17 bzw. 58,8 ‰	58,8
1: 125 bzw. 8 ‰	8	1: 10 bzw. 100 ‰	100

Der Krümmungswiderstand kann angenommen werden

1. nach untenstehendem Bild 22
2. nach den vom Achsstand abhängigen Formeln

$$w_k = \frac{140 A + 66s}{R} \text{ in kg/t für Hauptbahnen}$$

$$w_k = \frac{110 A + 50s}{R} \text{ in kg/t für Nebenbahnen}$$

mit R = Krümmungshalbmesser in m

A = Achsstand in m

s = Spurweite in m

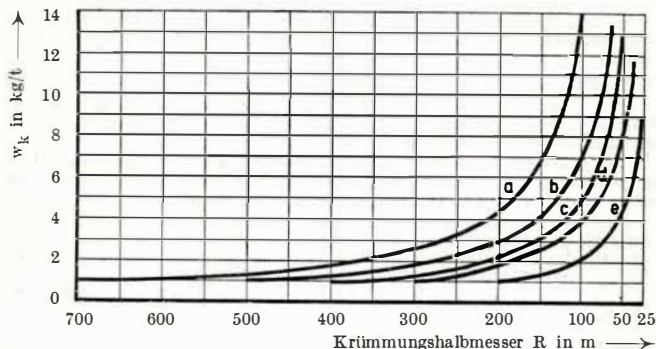


Bild 22. Krümmungswiderstand

für 1435 mm Spurweite und darüber (Formeln von Röckl)

$$w_k = \frac{650}{R-55} \text{ kg/t wenn } R > 300 \text{ m, Kurve a}$$

$$w_k = \frac{500}{R-30} \text{ kg/t wenn } R < 300 \text{ m, Kurve b}$$

für 1000 mm Spurweite $w_k = \frac{400}{R-20} \text{ kg/t}$ Kurve c

für 750 mm Spurweite $w_k = \frac{300}{R-10} \text{ kg/t}$ Kurve d

für 600 mm Spurweite $w_k = \frac{200}{R-5} \text{ kg/t}$ Kurve e

wenn R = Krümmungshalbmesser in m

3. für Regelspur nach den *Frankischen Formeln*

$$w_k = \frac{A}{R} \left(180 - 1000 \frac{A}{R} \right) \text{ in kg/t für Personenzüge}$$

$$w_k = \frac{A}{R} \left(180 - 2000 \frac{A}{R} \right) \text{ in kg/t für Güterzüge}$$

Hierbei ist A = fester Achsstand der Fahrzeuge in m

4. nach *Protopapadakis* (sofern auf besonders genaue Angaben Wert gelegt wird)

$$\text{zu } w_k = (158,4 s + 103,4 A) : R \text{ in kg/t für Sommerbetrieb}$$

$$= (118,8 s + 77,5 A) : R \text{ in kg/t für Winterbetrieb}$$

in gemäßigttem Klima. Hierbei A = Achsstand in m

s = Spurweite in m

R = Krümmungshalbmesser in m.

Die w_k -Werte beziehen sich auf den ganzen Zug (Lokomotive, Tender und Schlepplast). Man setze Durchschnittswerte von A ein.

Der Krümmungswiderstand wird nur für den Teil des Zuges berücksichtigt, der sich tatsächlich im Gleisbogen befindet.

Grade und Halbmesser von Gleisbögen

Zahlentafel 10

Grad	Halbmesser in m	Grad	Halbmesser in m
1	1746	16	109,1
2	873	18	97
3	582	20	87,3
4	436,5	22	79,4
5	349,2	24	72,75
6	291	26	67,2
7	249,4	28	62,4
8	218,3	30	58,2
9	196,2	35	49,9
10	174,6	40	43,65
11	160,5	45	38,8
12	145,5	50	34,9
13	134,3	60	29,1
14	124,7	70	24,9
15	116,4	80	21,8

In England und Amerika werden die Gleisbögen vielfach nach *Grad* angegeben. Bedeutet D die Bezeichnung der Kurve in Grad und r den Halbmesser in englischen Fuß, so ist $D = \frac{5730}{r}$. Soll eine nach Grad angegebene Krümmung in deutscher Bezeichnungsweise ausgedrückt werden, so ist zu setzen $R = \frac{1746}{D}$, wobei R den Halbmesser in Metern bedeutet.

D ist die Winkelabweichung der Gleisrichtung auf 100 ft Länge des Gleisbogens bei 360° Winkelteilung, mit genügender Genauigkeit auch der Zentralkwinkel auf 100 ft Sehnenlänge.

Der Beschleunigungswiderstand

ist gegeben durch

$$w_b = \frac{1000}{9,81} \cdot b (1 + c) \quad \text{in kg/t Zuggewicht}$$

mit b = Beschleunigung in m/sec^2

c = Zuschlag für umlaufende Massen

= $0,03 \div 0,1$ für Wagen

= $0,08 \div 0,1$ für übliche Dampflokomotiven

= $0,15 \div 0,3$ für elektrische Lokomotiven

Im Beharrungszustand (bei gleichmäßiger Fahrt) ist $w_b = 0$.

Die „mittlere“ Beschleunigung errechnet sich aus

$$b_m = \frac{v_2 - v_1}{t} = \frac{V_2 - V_1}{3,6 t} \quad \text{in m/sec}^2$$

wenn v = Fahrgeschwindigkeit in m/sec

V = $3,6 v$ = Fahrgeschwindigkeit in km/h

v_1 bzw. V_1 = Fahrgeschwindigkeit bei Beginn der Beschleunigungsperiode

v_2 bzw. V_2 = Fahrgeschwindigkeit am Ende der Beschleunigungsperiode

$$\text{Beschleunigungszeit } t = \frac{v_2 - v_1}{b_m} = \frac{V_2 - V_1}{3,6 b_m} \quad \text{in sec}$$

$$\text{Beschleunigungsweg } l = (v_2 - v_1) t = \frac{V_2 - V_1}{3,6} \cdot t \quad \text{in m}$$

Genaue Werte ergeben sich mit

$$b = \frac{dv}{dt} \dots \dots t = \int \frac{1}{b} dv \dots \dots l = \int \frac{v}{b} dv$$

Das **Anfahren** ist ein ungleichförmiger Beschleunigungsvorgang

$$\text{mit } v_1 \text{ bzw. } V_1 = 0 \text{ und } w_b \sim \frac{4 V_2^2}{1}$$

Der reibungsbedingte zusätzliche Anfahrwiderstand kann angenommen werden¹⁾

zu $20 \div 26 \text{ kg/t}$ für Lokomotiven und Tender

$12 \div 20 \text{ kg/t}$ für die Schlepplast

etwa 2 kg/t bei Verwendung von Wälzlager

¹⁾ Übergang von Ruhe zur Bewegung, Überwindung des „Abreißwiderstandes“ aller geschmierten Gleitflächen, wie Zylinderauflagen, Lager usw., besonders bei niedrigen Temperaturen.

Die übliche Anfahrbeschleunigung beträgt

für Dampflokomotiven	..	im Streckendienst	$0,04 \div 0,07 \text{ m/sec}^2$
		.. Verschiebedienst	$0,10 \div 0,20 \text{ m/sec}^2$
		.. Stadtbahnbetrieb	$0,15 \div 0,30 \text{ m/sec}^2$
für elektrische Lokomotiven	..	.. Güterzugdienst	$0,2 \text{ m/sec}^2$
		.. Schnellzugdienst	$0,3 \text{ m/sec}^2$
		.. Personenzugdienst	$0,4 \text{ m/sec}^2$
für elektrische Triebwagen	..	.. Fernverkehr	$0,4 \div 0,6 \text{ m/sec}^2$
		.. Vorortverkehr	$0,6 \div 0,8 \text{ m/sec}^2$
		auf Stadtschnellbahnen	$0,8 \div 1,0 \text{ m/sec}^2$
für den amerikanischen P.C.C.-Straßenbahnwagen	bis zu		$2,0 \text{ m/sec}^2$

Von $1,2 \text{ m/sec}^2$ Beschleunigung an muß man mit körperlichem Unbehagen rechnen.

Größtmögliche Beschleunigung für Stahlreifen auf Schienen etwa 2 m/sec^2 , für Gummireifen auf Schienen etwa 3 m/sec^2 .

Hohe Beschleunigungen werden vom Schnellverkehr auf Kurzstrecken (Stadtbahnen, Vorortbahnen) gefordert. Im Fernverkehr sind sie von geringerer Bedeutung, der durch sie erzielbare Zeitgewinn läßt sich hier auch durch geringfügige Erhöhung der Dauer-Fahrgeschwindigkeit erreichen. Hohe Beschleunigungen verursachen hohen Kostenaufwand. Es ist daher von Fall zu Fall zu prüfen, ob der Zeitgewinn diese Kosten rechtfertigt.

Die Reibung zwischen Treibrad und Schiene

Treibrad und Schiene wirken zusammen als Reibungsgetriebe. Zwischen Rad und Schiene herrscht die Reibung der Ruhe, falls das Rad nicht „schleudert“.

Die Zugkraft wird durch diese *Haftreibung* zwischen antriebenem Rad und Schiene erzeugt.

Der Ausdruck für die *Zugkraft am Radumfang* ist

$$Z_u = \mu G_r \quad \text{in kg}$$

wobei μ = Reibungsziffer (= Kennwert der Reibung zwischen Rad und Schiene)

G_r = Reibungsgewicht in kg , d. h. die Summe der Gewichte, mit denen die angetriebenen Achsen auf die Schienen drücken. Bei Tenderlokomotiven wird zumeist ein Mittelwert mit halben Vorräten eingesetzt.

Die **Höchstwerte** $\mu_{\max}$, mit denen gerechnet werden kann, sind durch Versuche ermittelt (untenstehendes Bild). Sie fallen mit wachsender Fahr-
geschwindigkeit. Bei höheren Geschwindigkeiten streuen die Werte stark.

Die größtmögliche Zugkraft am Radumfang $Z_{\max}$ ist die **Zugkraft an der Reibungsgrenze**. Man bezeichnet sie als **Reibungszugkraft Z_r** .

Damit ein „Schleudern“ der Räder vermieden wird, muß sein

$$Z_r \leq \mu_{\max} \cdot G_r$$

Regelwert $\mu = 1/5 \div 1/6 = 200 \div 165 \text{ kg/t}$ (gilt auch für nasse Schienen)

Kleinstwert $= 1/10 \div 1/20 = 100 \div 50 \text{ kg/t}$ bei feuchtem Wetter, Schneefall, Eis, Staub, Laub auf den Schienen

Noch erreichbar $\mu = 1/3,3 = 300 \text{ kg/t}$ bei Zuhilfenahme eines zuverlässigen Sandstreuers

$= 1/3,8 = 263 \text{ kg/t}$ bei mindestens 4 gekuppelten Achsen

Vielfach üblich $\mu = 1/4,2 = 238 \text{ kg/t}$ bei Tenderlokomotiven mit vollen Vorräten } ohne Zuhilfenahme eines Sandstreuers

Für **Gummireifen auf Stahlschienen** kann bei etwa 6 atü Innendruck des Reifens gerechnet werden mit $\mu = 1/2 \div 1/1,43 = 500 \div 700 \text{ kg/t}$.

Der im **englischen Lokomotivbau** übliche **Adhesive factor** oder **Factor of adhesion** ist gleichbedeutend mit dem reziproken Wert von μ , beispielsweise also gleich $1:\mu = 4 \div 5$.

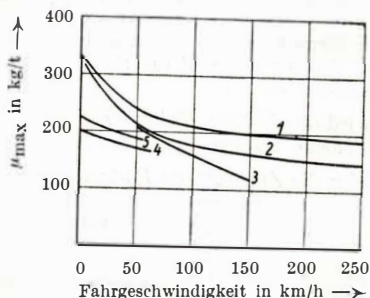


Bild 23. **Haftwerte (Reibungsziffern) zwischen Treibrad und Schiene**

Gültig für trockene Schienen. Für feuchte Schienen etwa 70% dieser Werte.

Kurve 1 nach Curtius und Kniffler } siehe Kother in „Eisenbahntechnik“
Kurve 2 nach Kother } 1949, S. 51
Kurve 3 nach Müller }

Damit der Fahrplan auch unter ungünstigen Verhältnissen eingehalten werden kann, empfehlen sich nach den Erfahrungen der Deutschen Bundesbahn für die **Konstruktion der s-V-Diagramme** (siehe S. 66) im Anfahrbereich folgende Reibungswerte:

Kurve 4: $\mu \sim 1/6,25 = 160 \text{ kg/t}$ für Lokomotiven mit gekuppelten Achsen (Zwillings-Dampflokotiven, Diesellokomotiven, elektr. Verschiebelokotiven)

Kurve 5: $\mu \sim 1/4,9 = 204 \text{ kg/t}$ für Drilling-Kolbendampflokotiven

Für Lokomotiven mit Einzelachs-Antrieb (insbesondere elektrische Lokotiven) kann eingesetzt werden $\mu \sim 1/5,82 \div 1/6,5 = 172 \div 182 \text{ kg/t}$

Die Fahrzeuge sind in der Steuerung so ausgelegt, daß sie die „physikalische“ Reibungszugkraft Z_r erreichen können.

Das Reibungsgewicht

wird nur im Bereich geringer Geschwindigkeiten (gemäß S. 48 bis zur „Reibungsgeschwindigkeit“) voll ausgenutzt, in den meisten Fällen also nur kurzzeitig benötigt. Es ist daher grundsätzlich richtig, eine nur vorübergehend erforderliche Erhöhung des Reibungsgewichtes nicht durch eine zusätzliche Kuppelachse, sondern durch eine **abschaltbare Triebachse** zu bewirken. Beispiel: Der im Dampflokotivbau eingeführte „Booster“ (siehe S. 229).

Erhöhtes Reibungsgewicht ermöglicht bei gegebenem μ eine höhere Reibungszugkraft. Die Reibungsgeschwindigkeit sinkt entsprechend (siehe untenstehendes Bild).

Die volle Größe des Reibungsgewichtes wird **dauernd** lediglich zuweilen auf Steilrampen oder beim Betrieb von Schleppzeugen (Lokotiven, Lokotraktoren, Klein-Lokotiven auf leichten Förderbahnen) in Anspruch genommen.

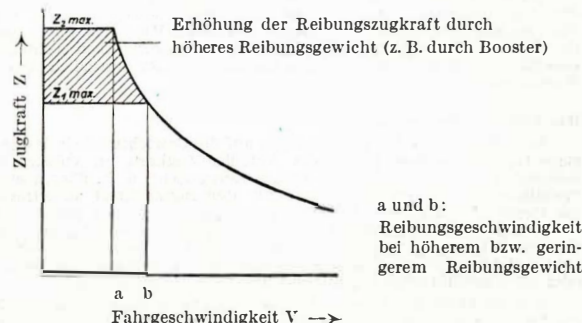


Bild 24. **Zugkraftgewinn durch Erhöhung des Reibungsgewichtes**

Das Reibungsgewicht bzw. die Reibungszugkraft ist entscheidend für die Beantwortung folgender Fragen:

1. Welches Zuggewicht bzw. welche Schlepplast kann unter den gegebenen Voraussetzungen in Gang gesetzt und unterhalb der Reibungsgeschwindigkeit befördert werden?
2. Mit welcher Anfahrbeschleunigung kann gerechnet werden?
3. Welche Steigung kann von dem betreffenden Zug in reinem Reibungsbetrieb genommen werden?

Die absolute Höhe des Reibungsgewichtes ist für diese Ermittlungen weniger wesentlich als sein *relativer* Anteil am Gesamtgewicht des Zuges.

Der Begriff „Spezifisches Zuggewicht“ ermöglicht mit genügender Annäherung einen schnellen Überblick über die möglichen Schleppleistungen:

Spezifisches Zuggewicht = Zuggewicht : Reibungsgewicht

$$G_{z \text{ spez}} = \frac{G_z}{G_r} = \frac{G_{(L+T)} + G_w}{G_r}$$

Für 1 t Reibungsgewicht wird die Reibungszugkraft $Z_r = 1000 \mu$ in kg

Dieses Z_r kommt restlos der Fortbewegung des Reibungsgewichtes zugute, wenn der Zug ausschließlich angetriebene Achsen aufweist (Tenderlokomotiven ohne Laufachsen bei Leerfahrt, Triebwagen oder Triebzüge mit Allachsantrieb). Es ist in diesem Falle $G_{z \text{ spez}} = 1$.

Sobald der Zug auch nur *eine* nicht angetriebene Achse mitführt, wird $G_{z \text{ spez}} > 1$, und für die Fortbewegung der Gewichtseinheit des Zuges steht nur noch ein entsprechend geringerer Anteil von Z_r zur Verfügung.

Diese „Anteilige Zugkraft“ beträgt beispielsweise 50 % von Z_r , wenn der Zug gewichtsmäßig zur Hälfte aus dem Reibungsgewicht, zur Hälfte aus „geschlepptem“ Gewicht zusammengesetzt ist. Hierbei ist unter „geschlepptem“ Gewicht verstanden das auf den *nicht* angetriebenen Achsen ruhende Gewicht des Triebfahrzeuges einschließlich Tender zuzüglich Gewicht des Wagenzuges.

Das zulässige Zuggewicht

In Bild 25 (Seite 63) ist — bezogen auf die Gewichtseinheit des Eisenbahnzuges $G_z = 1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$ — die Anteilige Zugkraft in Abhängigkeit vom Reibungswert μ über dem Spezifischen Zuggewicht, d. h. über dem Prozentverhältnis der Anteiligen Zugkraft zur Reibungszugkraft aufgetragen. Über der Grundlinie sind ferner die Zugwiderstände aufgetragen. Nunmehr läßt sich aus dem Diagramm abgreifen, *welches Zuggewicht* unter den gegebenen Umständen mit dem betreffenden Reibungsgewicht *befördert werden kann*. Zieht man von diesem Zuggewicht das Gewicht des Triebfahrzeuges (einschl. Tender) oder der Triebfahrzeuge ab, so verbleibt die *zulässige Schlepplast*.

Für die Fahrt des Zuges auf ebener Strecke ist unabhängig von der Fahr- geschwindigkeit ein gleichbleibender Widerstand von $w \infty = 10 \text{ kg/t}$ voraus- gesetzt. Dieser Wert soll den Anfahrwiderstand, den Laufwiderstand und den Krümmungswiderstand einschließen.

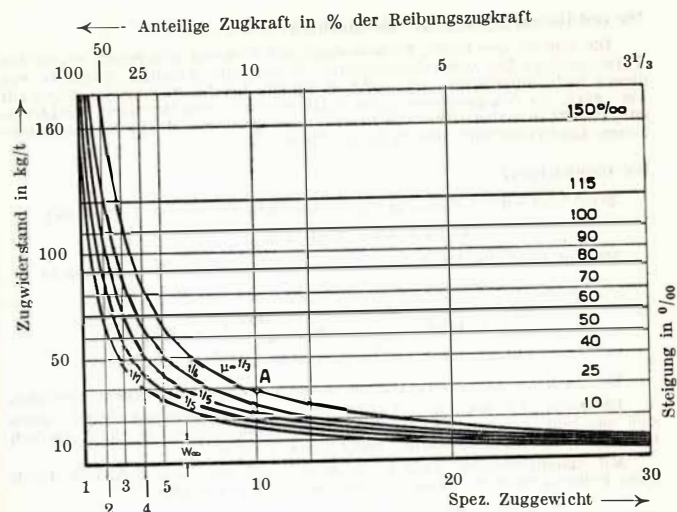


Bild 25. Spezifisches Zuggewicht und Anteilige Zugkraft¹⁾

$w \infty = 10 \text{ kg/t}$ = angenommener Anfahr- und Laufwiderstand auf ebener, gerader Strecke

(übliche Werte des spez. Zuggewichtes $G_{z \text{ spez}}$

- etwa 1 ÷ 3 für Triebwagen
- 1 ÷ 5 für Triebzüge
- 2 ÷ 5 für Lokomotivzüge auf Steilrampen
- 6 ÷ 13 für deutsche Personen- und Schnellzüge
- 7 ÷ 26 für deutsche Güterzüge
- vereinzelt bis 57 für schwerste Güterzüge in USA.

Beispiel: Mit dem Spez. Zuggewicht 10 (Punkt A des Bildes) kann auch unter günstigsten Voraussetzungen (höchstmöglicher Reibungswert $\mu = 1/30$ durch Sandstreuen!) keine höhere Zugkraft als etwa 34 kg je Tonne Zuggewicht ausgeübt und keine stärkere Steigung als 24 ‰ überwunden werden.

¹⁾ Siehe „Glaser's Annalen“ 1948, S. 83 und 101 sowie 1949, S. 72/73.

Die erzielbaren (Anfahr-)Beschleunigungen

Die Summe aus Lauf-, Krümmungs- und Steigungswiderstand ergibt den Zugwiderstand im Beharrungszustand. Soweit die Anteilige Zugkraft von diesem nicht aufgezehrt wird, steht sie für die Beschleunigung des Zuges zur Verfügung. Zu den aus diesem „Zugkraftüberschuß“ resultierenden Beschleunigungen tritt in vielen Fällen die Beschleunigungsreserve, die in dem angenommenen Laufwiderstand von 10 kg/t enthalten ist.

Die Grenzsteigung

Bezeichnet s die Steigung in ‰, w den Zugwiderstand in kg/t, so gilt

$$G_z (s + w) = 1000 \mu G_r$$

Hieraus folgt die für Reibungsbahnen noch mögliche Grenzsteigung zu

$$s = 1000 \mu \cdot \frac{G_r}{G_z} - w = \frac{1000 \mu}{G_{z \text{ spez}}} - w \quad \text{in } \text{‰}$$

Demnach: Je kleiner $G_{z \text{ spez}}$ um so stärker die noch mögliche Steigung.

Die unter den jeweiligen Umständen möglichen Grenzsteigungen lassen sich aus Bild 25 abgreifen. Der praktische Eisenbahnbetrieb bleibt vielfach aus Gründen erhöhter Sicherheit unter diesen Werten.

Mit gummibereiteten Rädern lassen sich bei trockenen Schienen durch reine Reibung noch wesentlich steilere Strecken bewältigen.

Stärkste Steigungen auf Reibungsbahnen

bis 1: 4,2 = 240 ‰	versuchsweise befahren	} Trlebwagen
1: 7,88 = 127 ‰	Straßenbahn Lausanne	
1: 9,26 = 109 ‰	Straßenbahn Remscheid	
1: 11 = 91 ‰	Herkulesbahn Kassel-Wilhelmshöhe	
1: 16,7 = 60 ‰	Übliche Grenzsteigung für Vollbahnen (Halberstadt-Blankenburg, Ilmenau-Schleusingen).	

Oberhalb der Reibungsgrenze müssen Zahnstange oder Zugseil hinzugezogen werden.

Der Bereich der Zahnstange ist durch folgende Zahlen umrissen:

Steigung 1: 2,08 = 480 ‰	Pilatus-Bahn
1: 2,65 = 377 ‰	Mount Washington
1: 4 = 250 ‰	Vitznau-Rigi-Bahn
1: 6,7 = 150 ‰	Achensee-Bahn
1: 10 = 100 ‰	Honau-Lichtenstein
1: 28,5 = 35 ‰	Bosnien

Gleichzeitiger Reibungs- und Zahnradbetrieb mit „Vereinigten“ Reibungs- und Zahnrad-Lokomotiven bzw. Triebwagen bis zu etwa 150 ‰, auf noch steileren Strecken reiner Zahnradantrieb.

Im Braunkohlentagebau haben sich folgende Grenzsteigungen als zweckmäßig erwiesen (siehe „Braunkohle“ 1949, S. 21):

Reibungsbahn	1:25 = 40 ‰
Zahnradbahn	} 1:10 = 100 ‰
Schrägaufzug mit Kettenzug	
Zwillingssschrägaufzug mit Druckwagen. . .	1: 5 = 200 ‰
Doppelzwillingssschrägaufzug mit Gefäßen . .	1: 2,5 = 400 ‰

Die Schlepplasten

die vom Triebfahrzeug befördert werden können, ergeben sich als Quotient der Zugkraft am (Tender-)Zughaken und des spezifischen Wagenwiderstandes, also

$$G_w = \frac{Z_e}{w_w} = \frac{Z_1 - W_{L+T}}{w_w} \quad \text{in t}$$

mit Z_1 = indizierte Zugkraft in kg

Z_e = effektive Zugkraft (am Zughaken) in kg

Üblich ist die Ermittlung der Schlepplasten für den Beharrungszustand ($w_b = 0$).

Bevorzugt wird das s - V -Diagramm, bei dem die Schlepplasten als Funktion der Steigung s und der Fahrgeschwindigkeit V verzeichnet sind (Beispiel: Bild 26).

Weniger häufig ist das Schlepplasten-Diagramm („Zuglasten-Schaubild“) anzutreffen, das die Steigung in Abhängigkeit von Schlepplast und Fahrgeschwindigkeit darstellt (Beispiel: Bild 27).

Eine zahlenmäßig bestimmte Schlepplast wird nach dem Z - V -Diagramm untersucht. Hierbei läßt sich die für die Beschleunigung auswertbare „überschüssige Zugkraft“ bei der jeweiligen Steigung abgreifen (Bild 29).

Für das Aufstellen der Belastungstafeln auf Grund der s - V -Diagramme rechnet die Deutsche Bundesbahn — wie auf S. 61 bereits dargelegt — nicht mit dem tatsächlich erreichbaren, durch die physikalische Reibungsgrenze oder die größte Zylinderfüllung bedingten Z_{max} . Sie nimmt vielmehr als „größte“ Anfahrzugkraft diejenige bei einem niedrigeren Reibungswert nach Bild 24 an, damit das planmäßige Anfahren ohne Schleudern und Zeitverlust auch unter ungünstigen Verhältnissen gesichert ist. Bei einer normal ausgelegten Dampf-Lokomotive entspricht dies einem größten mittleren Kolbendruck von etwa (0,6 p). Die unausgenutzte Fläche 1 in Bild 28 ist die Reserve für Ausnahmefälle sowie für erhöhte Beschleunigungen.

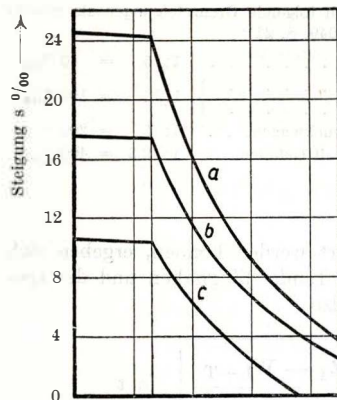


Bild 26. s-V-Diagramm

- a = Personenzug mit 400 t Schlepplast
 b = Schnellzug mit 600 t Schlepplast
 c = Güterzug mit 1000 t Schlepplast

Beide Diagramme beziehen sich auf die Baurihe 41 der Deutschen Bundesbahn

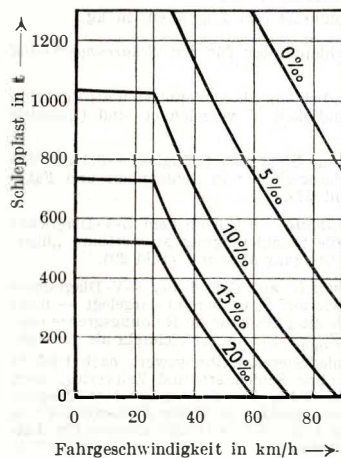


Bild 27. Schlepplasten-Diagramm

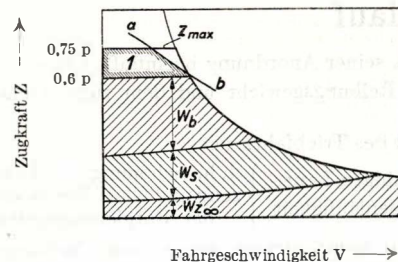
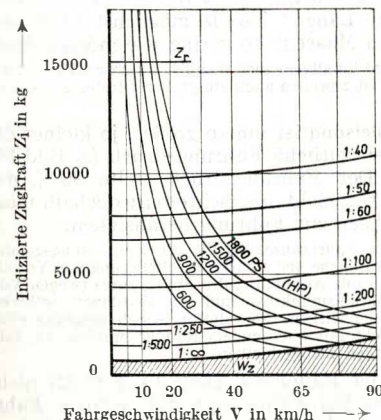


Bild 28. Auswertung der Zugkraft

- $W_{Z\infty}$ = Laufwiderstand auf ebener Strecke
 W_s = Steigungswiderstand
 W_b = üblicher Beschleunigungswiderstand [bei Dampflok einem mittleren Kolbendruck von ca. 0,6 p entsprechend]

Z_{max} = höchstmögliche Maschinenzugkraft [bei Dampflok der Höchstfüllung entsprechend, wobei der mittlere Kolbendruck etwa 0,75 p beträgt]
 a—b = Einschränkung von Z_{max} durch die physikalische Reibungsgrenze
 Fläche 1 = Reserve für kurzzeitige Beschleunigungen, beispielsweise beim Anfahren. Bei Steilrampenfahrten kann Fläche 1 verschwindend klein werden.



Der Fahrzeuglauf

Das Laufwerk wird in seiner Anordnung beeinflusst von dem erforderlichen Reibungsgewicht und dem zugelassenen Achsdruck

dem Gesamtgewicht des Triebfahrzeuges

der Rücksicht auf ruhigen Lauf } d. h. Schonung von Fahr-
der gewünschten Bogenläufigkeit } zeug und Gleis, Vermeiden
der Entgleisungsgefahr

Die Zahl der angetriebenen Achsen folgt aus Reibungsgewicht und Achsdruck.

Laufachsen werden erforderlich, wenn das Fahrzeuggewicht auf den angetriebenen Achsen allein nicht untergebracht werden kann, oder wenn bei höheren Fahrgeschwindigkeiten eine Verbesserung der „Führung“ im Gleis angezeigt erscheint.

Ruhiger Lauf ist in der Geraden wie im Gleisbogen zu erwarten, wenn die „geführte Länge“ jeweils möglichst groß und die „überhängenden Massen“ so gering wie möglich sind. Der feste Achsstand wird im allgemeinen möglichst kurz gehalten (vielfach gleich Null), doch ist zuweilen auch ein größerer fester Achsstand von Vorteil.

Die **Sicherheit gegen Entgleisung** ist um so größer, je kleiner die Richtkraft bzw. der seitliche Führungsdruck (s. Bild 32) gehalten werden. Der Führungsdruck sollte 90 % des ruhenden Raddruckes nicht überschreiten; deshalb möglichst 2 oder 3 Achsen zur Führung heranziehen.

Rauhe Anlauffläche des Spurkranzes erhöht die Entgleisungsgefahr, daher Polieren der Anlauffläche und Spurkranzschmierung von Vorteil. Die Gefahr wächst auch mit Abnutzung des Spurkranzes (wegen Verlagerung des Berührungspunktes) und der Zeitdauer, während welcher die Seitendrucke wirken. Sie nimmt jedoch entgegen einer weit verbreiteten Ansicht mit wachsendem Raddurchmesser ab, falls die Spurkranzabnutzungen mäßig bleiben.

Der **Anlaufwinkel** führender Räder soll nach TV § 67 (2) nicht größer als 2° sein. Bei Fahrzeugen für geringe Fahrgeschwindigkeit (z. B. Baulok) sind bis etwa 4° üblich.

Nach Eckhardt (Organ 1941, S. 11) ist der zulässige Anlaufwinkel α auch vom Raddurchmesser abhängig; nach Vogel von der Richtkraft P (siehe Bild 32). Die Vogelsche Kennzahl $C_a = P/\alpha$ gibt Aufschluß über

die zu erwartende Abnutzung von Spurkranz und Bogenaußenschiene. Sie sollte einen Wert von 100 kg nicht überschreiten. — Über Maßnahmen zur Verringerung des Anlaufwinkels siehe S. 72 unten.

Die **Spurkranzabnutzung** ist um so stärker, je größer der Anlaufwinkel, die Spurerweiterung und die seitliche Richtkraft, je rauer die Anlauffläche und je kleiner der Raddurchmesser. Radsätze, bei denen die Laufkreise der beiden Räder im Durchmesser auch nur geringfügig von einander abweichen, versuchen in der Geraden einseitig anzulaufen und verursachen vorzeitigen Verschleiß des anlaufenden Spurkranzes.

Die **Lebensdauer der Radreifen** hängt von Bauart und Verwendungszweck des Fahrzeuges, Zustand des Oberbaues, Art des Verkehrs und den Baustoffen von Rad und Schiene ab. Einen rohen Anhalt geben folgende Zahlen für Vollbahnen bei 75 mm Reifendicke: Bei Schnellzuglokomotiven Radreifenberichtigung nach einer Laufleistung von rund 120 000 km, Radreifen-Erneuerung nach 500 000–900 000 km Gesamtaufleistung, Lebensdauer 4–8 Jahre. Bei Güterzuglokomotiven Berichtigung nach rund 60 000 km Laufleistung, Erneuerung nach rund 340 000 km Gesamtaufleistung, Lebensdauer etwa 5 Jahre. Mittlere Lebensdauer der Radreifen von Wagenradsätzen etwa 16 Jahre. Radreifenschmierung verlängert die Lebensdauer wesentlich.

Beim Bogenlauf

sucht sich das Fahrzeug in Richtung seiner Längsachse zu bewegen. Es wird in die wechselnde Fahrtrichtung durch die seitlichen Richtkräfte abgedrängt, die die Schienen auf die „führenden“ Achsen ausüben. Welche Stellung das Fahrzeug im Gleis einnimmt, hängt von vielerlei Faktoren ab, kann also nicht ohne genauere Untersuchung beurteilt werden. Man darf jedoch für die Untersuchung des Bogenlaufes mit genügender Genauigkeit in erster Annäherung voraussetzen, daß sich die letzte feste Achse radial zum Gleisbogen einzustellen versucht.

Man pflegte diese Einstellung des Fahrzeuges vielfach als die „statische“ zu bezeichnen und stellte ihr die „dynamische“ gegenüber, bei der — wie man annahm — unter dem Einfluß der Fliehkraft bei hohen Fahrgeschwindigkeiten (etwa von 70 km/h an) *alle* Achsen an der äußeren Schiene anzulaufen versuchen. In Wirklichkeit trifft das nicht zu. Diese Einstellung ist vielmehr nur dann möglich, wenn zusätzlich am Fahrzeugende eine von einem anderen Fahrzeug herrührende Kraft nach außen drückt.

In Gleisbögen mit den schon vielfach üblichen kleinen Spurspielen herrscht die sogenannte „Spießgangstellung“ vor.

Bei geringer Fahrgeschwindigkeit oder Stillstand sucht das Fahrzeug in überhöhtem Gleis unter Überwindung der Reibung auch vorn nach innen zu rutschen. Dieser „Abtriebsüberschuß“ kann zu sehr hohen Drücken an der Innenschiene führen (Entgleisungsgefahr).

Große Führungskräfte können die ordnungsgemäße Gleislage verändern und einen unstetigen Verlauf des Gleisbogens zur Folge haben. Die Beanspruchungen treten dann stoßartig auf und verstärken den Übelstand fortlaufend. Gleiche Erscheinungen sind beim Gleisbogen ohne Übergangskurve zu erwarten. Es müssen also auch in Rücksicht auf die Gleislage möglichst niedrige Richtkräfte angestrebt werden.

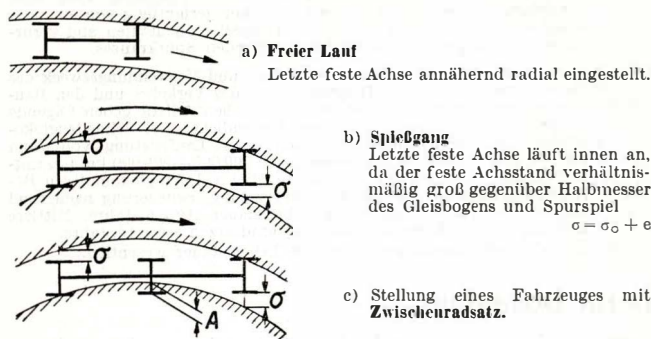
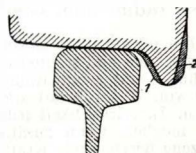


Bild 30. Grundsätzliche Fälle der Fahrzeugstellung im Gleisbogen

Die Spurrkranze von „Zwischenradsätzen“ müssen häufig um das Maß A schwächer gedreht sein (Bild 30 c). Besser noch ist Seitenverschieblichkeit um $A + \sigma$, da diese Achsen dann keine starken, der Fahrtrichtungsänderung entgegen wirkenden Momente ausüben. Für das Durchfahren von Bogenweichen kommt zusätzlich noch die „Rückenschwächung“ des Spurrkranzes in Betracht. Spurrkranzlose Radsätze sind nicht zu empfehlen, da sich mit der Zeit ein „falscher“ Spurrkranz herausbildet und damit der ursprüngliche Zweck hinfällig wird. Zudem klettern sie unter Umständen auf Flügelschienen von Herzstücken auf und verursachen hierbei starke Stoßbeanspruchungen.

Bild 31. Rad und Schiene

- 1 = übliche Spurrkranzschwächung
2 = Rückenschwächung



Die Gestaltung des Laufwerkes

richtet sich nach der Forderung, daß die engsten Gleisbögen ohne Schwierigkeiten und mit erträglichen Führungskräften durchfahren werden können und in den Herzstücken der Weichen und Kreuzungen möglichst kein „Verdrängen“ fester Zwischenradsätze auftritt.

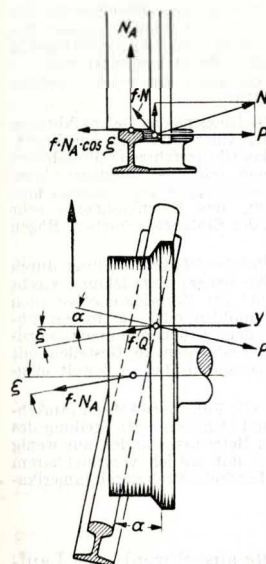


Bild 32. Die Kräfte am anlaufenden Rad
(Begriffsbestimmungen)

- α = Anlaufwinkel
 N_A = senkrechter Normaldruck (im wesentlichen Reaktion des Raddruckes Q)
 N = Spurrkranz-Normaldruck (nach innen und schräg nach oben gerichtet)
 P = Richtkraft oder Schienenrichtkraft = waagerechte Komponente des Spurrkranz-Normaldruckes, der genau genug senkrecht zur Fahrzeug-Längsachse angenommen werden kann
 f = Reibungswert an den Radaufstandspunkten (neuerdings mit μ bezeichnet)
 ϵ = Winkel zwischen Radsatz-Querrichtung und Gleitrichtung des Rades nach innen
 $f \cdot N$ = Gleitreibungswiderstand zwischen Spurrkranz und Schienenflanke
 $f \cdot N_A$ = waagerechter Gleitreibungswiderstand zwischen Schienenkopf und Radreifen-Laufläche.

Reibungsmittelpunkt = Fußpunkt des Lotes vom Mittelpunkt des Gleisbogens auf die Fahrzeug-Längsachse bzw. die Gestell-Längsachse. Bei Fahrzeugen mit Nebenzustellen treten mehrere Reibungsmittelpunkte auf.

Aufschluß über die Gesamtanstrengung des Fahrzeuges und des Gleises in Querrichtung gibt der Fahrungsdruck
 $Y \approx P - f \cdot N_A \cdot \cos \epsilon$ (bei echten Richtkräften)

Diese Forderungen bedingen in den meisten Fällen besondere bauliche Maßnahmen:

Man unterscheidet nach Heumann

1. **Einrahmenfahrzeuge:** Sämtliche Radsätze in gemeinsamem Rahmen. Querverschieblichkeit eines oder mehrerer Radsätze, wobei diese sich entweder unabhängig voneinander verschieben können (Gölsdorf-Achsen) oder zu zweien in einem Beugnot-Gestell vereinigt sind (Bild 36).
2. **Gliederfahrzeuge:** Einrahmiges Hauptgestell, einer oder mehrere Endradsätze als Lenkachsen oder in Drehgestellen angeordnet.
3. **Gelenkfahrzeuge:** Aufteilung des Fahrzeuges in Teilfahrzeuge oder Gestelle, die an ihren Enden durch Gelenke miteinander verbunden sind (z. B. Bauart Mallet, zwei- oder mehrteilige elektrische oder Motor-Fahrzeuge).

4. **Brückenfahrzeuge:** Unterteilung des Laufwerkes in zwei Drehgestelle, die durch Mittelgelenke (Drehzapfen) mit dem auf ihnen ruhenden Fahrzeugkörper oder Haupttrahmen, unter sich aber nicht unmittelbar verbunden sind (z. B. Drehgestell-Wagen, Garratt-, Fairlie-, Meyer-Lokomotiven).
5. **Kombinationen** zwischen 1. bis 4. Beispiel: Gelenklokomotive mit Brücke wie E 94 der Deutschen Bundesbahn (Bild 313).

Nach *Heumann* ist beim *Durchfahren* des Gleisbogens das Gelenkfahrzeug hinsichtlich seitlicher Schienendrücke, Krümmungswiderstand und Spurkranzverschleiß günstiger als das Brückenfahrzeug, das Gliederfahrzeug hinsichtlich des Spurkranzverschleißes dem Brückenfahrzeug teilweise überlegen; beim *Einfahren* in den Gleisbogen das Brückenfahrzeug infolge der doppelten Übersetzungswirkung der Drehgestelle sehr günstig, das Gelenkfahrzeug sehr ungünstig, das Gliederfahrzeug insbesondere bei der Einfahrt in flachere Bögen sehr ungünstig.

Im Endergebnis liegen die *Vorzüge beim Brückenfahrzeug*, bedingt durch dessen verhältnismäßig niedrige Richtkräfte. Die neuere Entwicklung strebt daher an, nach dem Vorbild der elektrischen und der Motorlokomotive auch die Dampflokomotive als Brückenfahrzeug auszubilden oder sie in der üblichen Form des *Gliederfahrzeuges* weitgehend dem Brückenfahrzeug anzugleichen. Das kann dadurch geschehen, daß die Endachsen zu Gestellen mit *festem* Drehpunkt vereinigt werden und die Zwischenradsätze — soweit möglich — Seitenverschieblichkeit erhalten.

Man kommt damit dem Ziele sehr nahe, daß alle Führungs-Achsen tatsächlich ständig an der Schiene „geführt“ werden und sich somit die Stellung des Fahrzeuges im Gleisbogen bei den verschiedenen Betriebszuständen nur wenig ändert. Beim üblichen Krauss-Helmholtz-Gestell mit seitlich verschiebbarem Drehpunkt sowie dem seitlich ausschwenkbaren Laufachs-Drehgestell (amerikanisches Drehgestell) ist dies *nicht* der Fall.

Einrahmen-Fahrzeuge

(im wesentlichen also Lokomotiven *ohne* ausschwenkbare Laufachsen) eignen sich in der üblichen Ausführung wegen der „überhängenden Massen“ nur für verhältnismäßig geringe Fahrgeschwindigkeiten. Beugnot-Endgestelle erlauben höhere Geschwindigkeiten.

Seitlich verschiebbare Radsätze (Gölsdorf-Achsen) erleichtern bzw. ermöglichen das Durchfahren des Gleisbogens. Sie zeichnen sich durch einfache Bauweise aus und erfordern keine zusätzlichen Baugewichte (Beispiele auf Seite 82). Seitlich verschiebbare *Endachsen* verstärken die Schlingerbewegungen, verschlechtern das Einfahren in den Gleisbogen und erhöhen den seitlichen Schienendruck auf die führende Achse, daher auch starke Spurkranzabnutzung. Es empfiehlt sich, solche Achsen mit Rückstellvorrichtung zu versehen und damit zur Führung der Lokomotive heranzuziehen. Gleichzeitig wird damit erreicht, daß beim Einfahren die Beanspruchungen des Fahrzeugrahmens mildere ausfallen.

Klien-Lindner-Hohlachsen wie auch durch *Zahnräder gekuppelte Endachsen* (Seite 378—380) haben gegenüber den einfachen seitlich verschiebbaren (Gölsdorf-)Achsen den Vorteil kleinerer Anlaufwinkel. Sie sind zumeist mit Rückstellfedern versehen. Einen minimalen Anlaufwinkel ermöglicht die *Liechty-Achssteuering* (Seite 400).

Gliederfahrzeuge

(wie *Lok* mit ausschwenkbaren *Laufachsen*) können durch einarmige „Lenk“-Gestelle oder durch zweiarmige „Dreh“-Gestelle geführt werden, wenn die Gestelle durch kräftige Rückstellvorrichtungen für sanftes Einlaufen in den Kurven und Dämpfen der Schlingerbewegungen sorgen. Bei Rückstellung durch Federn wird das anteilige Lokomotivgewicht über Gleitflächen auf das Dreh- oder Lenkgestell abgestützt, die infolge der stark schwankenden, unkontrollierten Reibungswiderstände zuweilen ein *ruckweises* Einstellen des Gestells zur Folge haben. Vorspannung der Rückstellfeder etwa 10 % des Achsdruckes. Hiervon $\frac{1}{20}$ Spannungserhöhung je cm Durchbiegung. Die Rückstellung durch Pendelwiegen oder Pendelstützen hat den Nachteil, daß der Haupttrahmen in der Gleiskrümmung durch das Ausschlagen der Pendel angehoben wird und die gekuppelten Achsen entlastet, falls ihre Federn nicht mit denen der Laufachse verbunden sind. Dennoch wird diese Anordnung vielfach bevorzugt, da hier eine *stetige* Bewegung des Gestells gesichert ist. Zwei- und mehrachsige *Drehgestelle mit festem Drehpunkt* bedürfen keiner Rückstellvorrichtung.

Lenkgestelle

Das Lenkgestell mit Drehpunkt wird üblicherweise als *Bisselgestell* eingeführt, das Drehgestell erscheint mit 2 Laufachsen in der bekannten Form des „*amerikanischen*“ Drehgestells oder als Vereinigung einer Lauf- und einer Kuppelachse in einem Rahmen als *Krauß-Helmholtz-Gestell* und Abarten. Die genannten Drehgestelle eignen sich für die höchsten Fahrgeschwindigkeiten; ihre Drehpunkte werden zumeist seitlich verschiebbar angeordnet.

Das *Zara-Gestell* unterscheidet sich vom Krauß-Helmholtz-Gestell dadurch, daß der Drehgestellrahmen nicht zur toten Last, sondern zum abgederten Teil der Lokomotive gehört.

Die *theoretische Deichsellänge* eines Lenkgestells ist bei radialer Stellung der Achse $l = \frac{s^2 - s_1^2}{2s}$, wenn $s = s_1 + a$ mit a = Abstand der Lenkachse von der ersten im Haupttrahmen fest gelagerten Achse und s_1 = der Abstand der ersten im Haupttrahmen fest gelagerten Achse von einem ihr parallelen Radius der Gleiskrümmung. l ist vom Halbmesser der Gleiskrümmung unabhängig.

Das *HV1-Gestell* (Henschel-Vogel 1-Gestell, Bild, 34) ist eine Fortentwicklung des Bisselgestells. Bei ihm ist das Deichselgestell nicht am Haupttrahmen, sondern (ähnlich dem Helmholtz-Gestell) an der benachbarten Kuppelachse angelent und damit unabhängig von den durch die Lagerspiele bedingten Eigenschwingungen des Hauptrahmens. Es folgt hieraus *größere Laufruhe* des HV1-Gestells.

Die *Adams*-Achse schwenkt, um einen gedachten Drehpunkt in gekrümmten Führungen gleitend, seitlich aus. Sie ist als deichselloses Lenkgestell aufzufassen, eignet sich aber als führende Achse nicht für hohe Fahrgeschwindigkeiten, da sie sich in der Führung ruckweise einstellt. Wie bei den oben erwähnten Gleitstützen treten auch hier sehr stark schwankende unkontrollierbare Reibungswiderstände auf. Diese fallen geringer aus bei Federdämpfung in Querrichtung.

Das *deichsellose Henschel*-Lenkgestell (siehe Bild 324 auf S. 398) ist für höchste Fahrgeschwindigkeiten geeignet und hat bei elektrischen und Diesel-elektrischen Lokomotiven (Bild 344/45 auf S. 406) Verwendung gefunden. Der üblicherweise von der Deichsel des Bisselgestells eingenommene Raum wird vom Tatzenlagermotor beansprucht. Es gleicht in seiner Wirkungsweise den üblichen Bisselgestellen: Auf der in Längsmittlebene der Lokomotive geneigt im Hauptrahmen gelagerten Lenkerwelle 1 ist „vorn“ ein langer, „hinten“ ein kurzer Lenkerhebel (2 und 3) aufgeschrumpft. Die Enden dieser beiden Lenkerhebel liegen bei Mittelstellung des Lenkgestells in Höhe der Laufachsmitte. Die Verbindungslinie der Hebelenden schneidet die Mittellinie der Lenkerwelle im ideellen Drehpunkt P des Lenkgestells. Beim Drehen der Lenkerwelle bewegen sich die Hebelenden auf dem Mantel eines Kegels, dessen Spitze im ideellen Drehpunkt des Lenkgestells liegt. Die Enden der Lenkerhebel sind achslagerartig derart im Lenkgestellrahmen geführt, daß der Lenkgestellrahmen der Bewegung der Hebelenden nur in waagerechter, nicht aber in senkrechter Ebene folgen kann. Beim Ausschlagen der Lenkerwelle in der Gleiskrümmung folgt das Lenkgestell also der Horizontalprojektion der Verbindungslinie der Hebelenden. Da auch diese stets durch die Kegelspitze, mithin auch durch den ideellen Drehpunkt des Lenkgestells geht, ist die Wirkungsweise eines Bisselgestells erwiesen.

Wird — wie in Bild 324 strichpunktiert angegeben — die Laufachse von der benachbarten, seitlich verschiebbaren Kuppel- oder Treibachse durch im Hauptrahmen gelagerte, an den Stirnseiten der Achswellen angreifende seitliche Führungshebel 4 hinsichtlich des Seitenausschlages in Abhängigkeit gebracht, so ergibt sich die *Wirkungsweise eines Krauß-Helmholtz-Drehgestells mit festem Drehpunkt*.

Die Größe des Laufachs-Ausschlages ist auf Bild 324 mit s angegeben.

Zweiachsige Bisselgestelle sind lauftechnisch nicht günstiger als einachsige, denn es kann immer nur *eine* der beiden Achsen wirksam führen. Das zweiachsige Bisselgestell ersetzt man in USA häufig durch ein zweiachsiges selbständiges Fahrzeug, welches zwischen Lokomotivrahmen und Tender geschaltet ist und die antilige Kesselast unmittelbar, also ohne Vermittlung des Lokomotiv-Hauptrahmens übernimmt.

Dreh- bzw. Laufgestelle mit *festem* Drehpunkt für Triebfahrzeuge

1. bei denen *zwei* Achsen führen

- a) das **Krauß-Helmholtz**-Gestell mit *festem* Drehpunkt. Eine im Hauptrahmen gelagerte, seitlich verschiebbare Kuppelachse (zumeist End-Kuppelachse) ist mit der benachbarten Laufachse gelenkig durch einen Hebel verbunden, der sich um einen unverschieblichen Punkt des Hauptrahmens dreht.¹⁾
- b) das (Baldwin-) **Beugnot**-Gestell (Bild 36). Zwei im Hauptrahmen seitlich verschiebbar gelagerte Radsätze sind durch einen Hebel mit festem Drehpunkt derart voneinander abhängig, daß sie sich beim Ausschwenken des Hebels in entgegengesetzter Richtung verschieben. Beide Achsen führen gleichzeitig. Der Beugnot-Hebel verleiht dem Fahrzeug hervorragende Laufruhe (die Höchstgeschwindigkeit der E-Tenderlokomotive Reihe 94 [T 16] der Deutschen Bundesbahn konnte durch nachträglich eingebaute Beugnot-Hebel von 45 auf 70 km/h gesteigert werden).

2. bei denen *drei* Achsen führen:

- a) das **Eckhardt II**-Gestell (Bild 39). Es vereinigt ein Beugnot-Gestell (2 Kuppelachsen) mit einer bisselartig angelenkten Laufachse. Rückstellvorrichtung lediglich für die Bisselachse.
- b) das **IV 2**-Gestell (Henschel-Vogel 2-Gestell, Bild 41). Vereinigung eines Helmholtz-Gestells mit festem Drehpunkt (seitlich verschiebbare Kuppelachse und ausschwenkbare Laufachse) mit einer weiteren am mittleren Laufradsatz bisselartig angelenkten Laufachse. Rückstellvorrichtung lediglich für die End-Laufachse oder zwischen beiden Laufachsen.
- c) das **Schwartzkopff-Eckhardt**-Gestell (Bild 38). Verbindung einer Laufachse mit den beiden folgenden Kuppelachsen. Beide Kuppelachsen in einem Beugnot-Gestell vereinigt, Laufachse bisselartig an die zweite Kuppelachse angelenkt.
- d) das **Meinecke**-Gestell (Bild 37). Verbindung einer Laufachse mit den beiden folgenden Kuppelachsen. Beide Kuppelachsen in einem Beugnot-Gestell vereinigt, dessen Drehpunkt nicht im Hauptrahmen, sondern am Endpunkt eines zweiten Beugnot-Hebels gelagert ist. Dieser zweite Hebel hat einen festen Drehpunkt im Hauptrahmen und faßt vorn die radial ausschwenkbare Laufachse.
- e) das **Lotter**-Gestell (Bild 40). Verbindung eines zweiachsigen amerikanischen Drehgestells mit der nachfolgenden Kuppelachse durch einen Beugnot-Hebel. Der Hebel greift vorn am Drehzapfen des Drehgestells an, sein Drehpunkt ist fest im Hauptrahmen gelagert.

3. bei denen *vier* Achsen führen:

- a) Das **Kando**-Gestell (Bild 42). Es erfaßt 2 Laufachsen und 2 gekuppelte Achsen, zwingt also 4 Achsen gleichzeitig zum Führen des Fahrzeuges. Es kann als eine Vereinigung des Lotter-Gestells mit dem Meinecke-Gestell aufgefaßt werden.

Drehgestell-Skizzen auf den folgenden Seiten.

¹⁾ Bild 35 zeigt das Krauß-Helmholtz-Gestell mit seitlich verschiebbarem Drehpunkt.

Dreh- und Lenkgestelle

Erläuterungen auf Seite 73 und 75

- × feste Achse
- ↕ seitenverschiebbliche Achse
- ↗ ausschwenkbare Achse

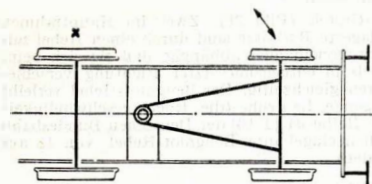


Bild 33. Bissel-Gestell

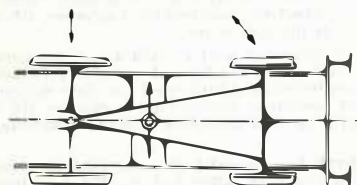


Bild 34. Krauss-Helmholtz-Gestell

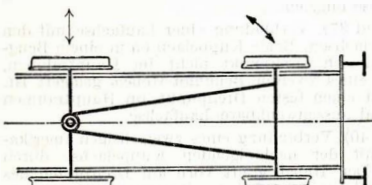


Bild 35. Henschel-Bangert-Gestell

Das Henschel-Bangert-Gestell kann aufgefaßt werden als Krauss-Helmholtz-Gestell ohne Drehzapfen, wobei die in diesem angreifenden Rückstellkräfte bzw. -vorrichtungen anteilmäßig auf die Laufachse und die Kuppelachse verteilt sind und dort jeweils direkt angreifen. Sowohl die Laufachse wie die Treibachse sind mit Rückstellvorrichtung versehen.

Das Henschel-Vogel I-Gestell unterscheidet sich vom Henschel-Bangert-Gestell dadurch, daß die Kuppelachse, an die die Bisselachse mit ihrem Drehpunkt angelenkt ist, nicht seitenverschieblich ist.

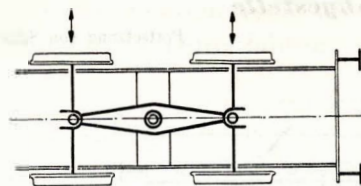


Bild 36. Baldwin-Beugnot-Gestell

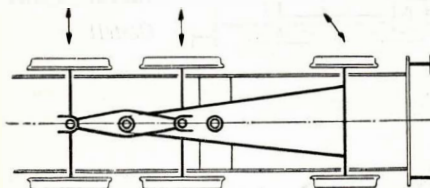


Bild 37. Meineke-Gestell

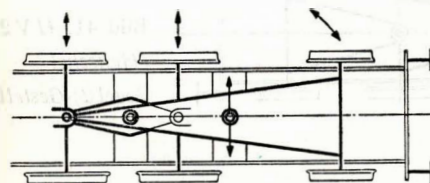


Bild 38. Schwartzkopf-Eckhardt-Gestell

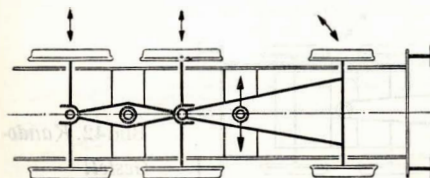


Bild 39. Eckhardt II-Gestell

Dreh- und Lenkgestelle

Fortsetzung von Seite 76/77

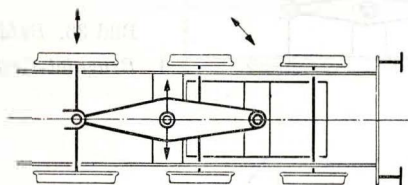


Bild 40. Lotter-Gestell

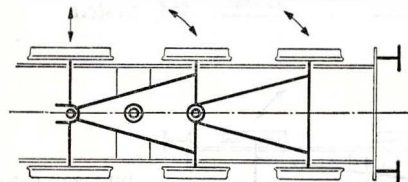


Bild 41. HV2
(Henschel -
Vogel 2)-Gestell

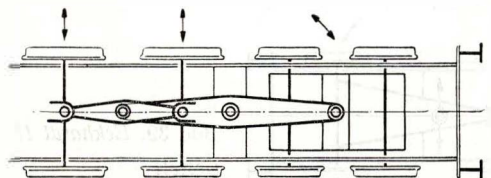


Bild 42. Kando-Gestell

Beispiele für Lokomotiven verschiedener Achsanordnung beim Durchfahren eines Gleisbogens

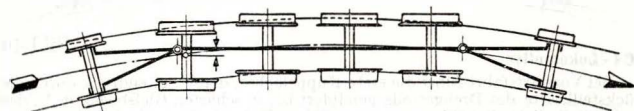


Bild 43

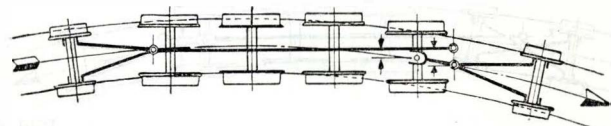


Bild 44

101 - Lokomotiven

- I. An beiden Enden je ein Bisselgestell mit Rückstellvorrichtung. Letzte Kuppelachse ohne Rückstellung seitlich verschiebbar. Führung bei Vorwärtsfahrt durch die vordere Kuppelachse, bei Rückwärtsfahrt durch die 3. Kuppelachse, die infolge der großen, in seitlicher Richtung „überhängenden“ Massen trotz des mildernden Einflusses der Bissel-Rückstellung einen verhältnismäßig hohen Seitendruck aufzunehmen hat. Nur in schärferen Gleisbögen führt die Gölsdorf-Achse (Bild 43).
- II. Gegenüber Fall I verbesserte Anordnung: Vorderes Krauß-Helmholtz-Gestell mit seitlich verschiebbarem Drehpunkt. Bei Vorwärtsfahrt sind höchste Geschwindigkeiten zulässig (Bild 44). — Höchste Geschwindigkeiten für beide Fahrrichtungen, wenn die beiden letzten Achsen ebenfalls in einem Krauß-Helmholtz-Gestell vereinigt sind.
- III. Hinteres Krauß-Helmholtz-Gestell mit seitenverschieblichem Drehpunkt, vorderes Eckhardt II-Gestell. Fester Achsstand gleich Null. Für beide Fahrrichtungen höchste Geschwindigkeiten (untenstehendes Bild).

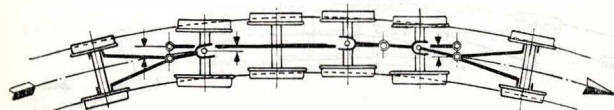
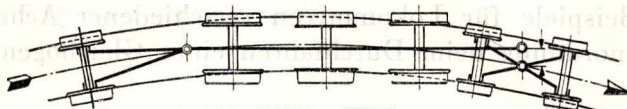


Bild 45



2 C 1 - Lokomotive

Bild 46

Bei Vorwärtsfahrt führt die erste Kuppelachse, deren Seitendruck durch die Rückstellkräfte des Drehgestells gemildert ist, in scharfen Gleisbögen u. U. das Drehgestell allein. Bei Rückwärtsfahrt führt die letzte Kuppelachse. Die Rückstellvorrichtung des Bisselgestells verringert den Seitendruck der letzten Kuppelachse. Hohe Geschwindigkeit nur für Vorwärtsfahrt zulässig (Bild 46).

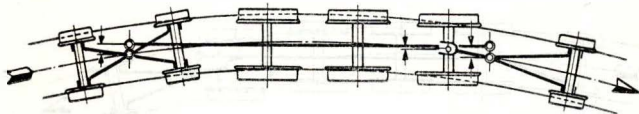


Bild 47

1 C 2 - Lokomotiven

- I. Vorderes Krauß-Helmholtz-Gestell, hinteres amerikanisches Drehgestell, beide mit seitlich verschiebbarem Drehpunkt. Für beide Fahrtrichtungen sind höchste Geschwindigkeiten zugelassen (Bild 47).
- II. Hinteres amerikanisches Drehgestell durch zweiachsiges Bisselgestell ersetzt, dessen Vorderachse möglichst seitenschieblich. Gegenüber Fall I verkürzte geführte Länge, hohe Geschwindigkeit nur für Vorwärtsfahrt zulässig (Bild 48).
- III. Die drei letzten Achsen zu einem HV 2-Gestell vereinigt. Fester Achsstand gleich Null. Für beide Fahrtrichtungen höchste Geschwindigkeiten (Bild 49).

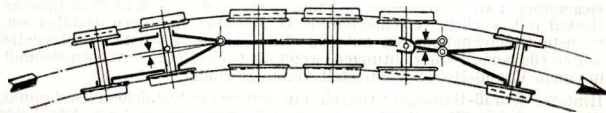


Bild 48

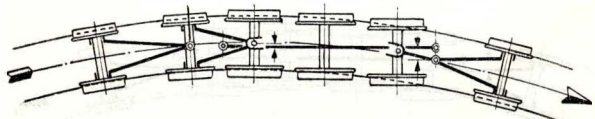


Bild 49

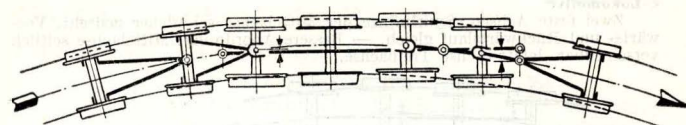


Bild 50

1 D 2 - Lokomotive

Vorderes Eckhardt II-Gestell, hinteres HV 2-Gestell, Spurkränze der mittleren Achse nach Bedarf geschwächt. Fester Achsstand gleich Null (Bild 50).

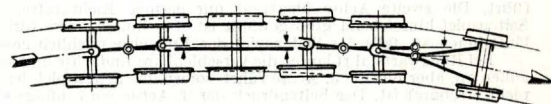


Bild 51

1 E - Lokomotiven

- I. Vorderes Krauß-Helmholtz-Gestell mit seitenschiebblichem Drehpunkt. Letzte Kuppelachse seitenschieblich nach Gölsdorf, mittlere Kuppelachse mit geschwächten Spurkränzen.
- II. Wie Fall I, jedoch die beiden letzten Kuppelachsen zu einem Beugniot-Gestell zusammengefaßt.
- III. Vorderes Eckhardt II-Gestell, hinteres Beugniot-Gestell. Vierte Achse (Treibachse) unverschieblich gelagert, ihre Spurkränze nach Bedarf geschwächt. Fester Achsstand gleich Null (Bild 51).

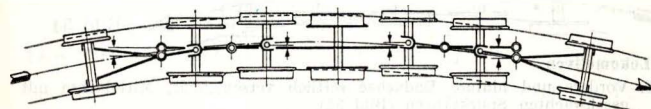


Bild 52

1 E 1 - Lokomotiven

- I. Vorderes Krauß-Helmholtz-Gestell mit seitlich verschiebbarem Drehpunkt, hinteres Bisselgestell, Spurkränze der 3. und der 4. Kuppelachse schwächer gedreht.
- II. Vorderes und hinteres Eckhardt II-Gestell. Mittlere Achse fest im Rahmen gelagert, ihre Spurkränze nach Bedarf geschwächt. Fester Achsstand gleich Null (Bild 52).

C-Lokomotive

Zwei feste Achsen, Spurkränze der Mittelachse schwächer gedreht. Vorwärts- und Rückwärtslauf gleich. — Bessere Anordnung: Mittelachse seitlich verschiebbar, letzte Achse Treibachse.



Bild 53

D-Lokomotiven

I. Zwei feste Achsen. Zweite Achse zwecks Verringerung der seitlichen Schienenkräfte als Gülsdorf-Achse ausgebildet. Seitlich verschiebbare Endachse, daher große in waagerechter Richtung überhängende Masse mit ihren laufftechnischen Nachteilen.

Bei Vorwärtsfahrt laufen zwar 2 Achsen an, aber nur die erste Achse führt. Die zweite Achse überträgt nur geringe Richtkräfte, sofern ihr Seitenspiel hinreichend groß gewählt ist. Die hintere feste (dritte) Achse läuft innen an, falls das Seitenspiel der Endachse reichlich genug ist.

Bei Rückwärtsfahrt laufen die verschiebbare Endachse und die 3. Achse außen an, aber nur die 3. Achse führt, sofern das Seitenspiel der Endachse nicht erschöpft ist. Der Seitendruck der 3. Achse wird infolge der großen überhängenden Masse unerwünscht hoch. — Von einer gewissen „Kleinheit“ der Gleiskrümmung ab übernimmt die verschiebbare Endachse die Führung, deren Seitenspiel nunmehr erschöpft ist. Die 3. Achse läuft dann außen nicht mehr an. Dieser Fall ist der günstigere, da wesentlich größere geführte Länge, wenn auch die Spurkranzabnutzung größer ausfällt (Bild 53).

II. Beide Mittelachsen fest im Haupttrahnen gelagert, Endachsen radial ausschwenkbar als Hohlachsen (s. S. 380) oder mit Zahnradkupplung nach S. 378. Dann kleine Anlaufwinkel.

III. Erste und zweite Achse in einem Beugnot-Gestell vereinigt, dritte und vierte Achse fest. Spurkränze der dritten Achse u. U. schwächer gedreht. Höhere Fahrgeschwindigkeiten zulässig.

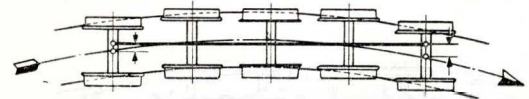


Bild 54

E-Lokomotiven

I. Vordere und hintere Endachse seitlich verschiebbar, Mittelachse mit geschwächten Spurkränzen (Bild 54).

II. Zahnradgekuppelte Endachsen.

III. 1. und 2. bzw. 4. und 5. Achse zu je einem Beugnot-Gestell vereinigt. Dann höhere Fahrgeschwindigkeiten möglich (bei Regelspur bis etwa 80 km/h).

(Bild 55)

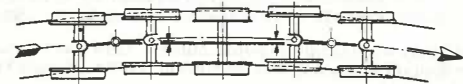


Bild 55

Die Untersuchung des Bogenlaufes

hat zum Ziel die Ermittlung:

- a) der Richtkräfte bzw. Führungsdrücke
- b) der Kennzahlen für die Abnutzung der Spurkränze
- c) der Kennzahlen für die Entgleisungssicherheit

die insgesamt als die wichtigsten Merkmale für die Beurteilung des Fahrzeuglaufes anzusehen sind. In welcher Weise und mit Hilfe welcher verschiedenen Methoden die Untersuchungen durchzuführen sind, hat *Heumann* in „Grundzüge der Führung der Schienenfahrzeuge“ in »Elektrische Bahnen« 1951, S. 81 u. f. dargelegt.

Die *tatsächliche Stellung des Fahrzeuges im Gleisbogen* ist durch die Kräfte bedingt, die an Gleis und Fahrzeug angreifen oder in den Rückstellvorrichtungen wirken. Sie läßt sich nur durch Berechnung ermitteln. Hierbei muß man von einer *geschätzten* Stellung ausgehen und diese dann nach den Ergebnissen der Rechnung korrigieren.

Die angreifenden Kräfte werden an Hand des vorläufigen (geschätzten) Stellungsbildes nach dem *Minimum-Verfahren* von *Heumann* oder dem rechnerischen Verfahren *Uebelacker-Vogel* ermittelt. Diese Untersuchung stellt fest, ob das geschätzte Stellungsbild den tatsächlichen Verhältnissen entspricht oder nicht. Ist dies nicht der Fall, so muß die Fahrzeugstellung berichtigt und die Berechnung in zweiter, u. U. auch in dritter Annäherung wiederholt werden.

Das Fahrzeug steht „richtig“ im Gleisbogen, wenn seine Längsachse im „Reibungsmittelpunkt“ senkrecht zum Halbmesser des Gleisbogens verläuft. Nach *Heumann* stellt sich das Fahrzeug im Gleisbogen bei hinterem Freilauf so ein, daß die Richtkraft (s. Bild 32) der außen führenden Radsätze ein *Minimum* wird. Über das Minimum-Verfahren siehe *Heumann* in »Die Lokomotive« 1942, S. 1 und 20 sowie »Elektrische Bahnen« 1951, S. 109 u. f. — Nöthen in »Die Lokomotive« 1942, S. 129 (Anwendungsbeispiel). — *Heumann* im »Organ« 1941, S. 209 (betr. Schubachsen, d. h. seitlich verschiebbare Achsen).

Das Stellungsbild wird nach *Roy* oder *Vogel* dargestellt.

Für die *geschätzte* Stellung gelte als *Grundsatz*: Die in Fahrzeugrichtung erste feste Achse sucht *außen* anzulaufen, die letzte feste Achse sucht *innen* anzulaufen oder aber bei großem Seitenspiel *frei* zu laufen, d. h. sich annähernd *radial* zum Mittelpunkt des Gleisbogens einzustellen.

Bei angenäherten Ermittlungen können das Lagerspiel, die Elastizität von Fahrzeug und Gleis sowie die Abnutzung von Spurkranz und Schiene vernachlässigt werden (also *neuer* Zustand von Fahrzeug und Gleis vorausgesetzt).

In Bild 56 und 57 ist das Beispiel einer 1-D-Lokomotive mit vorderem Bisselgestell für Vorwärtsfahrt dargestellt.

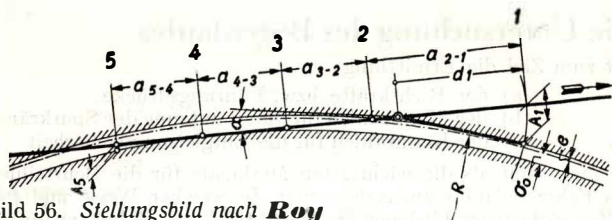


Bild 56. Stellungsbild nach Roy

- a = Achsstand
 d_1 = Deichsellänge des Bisselgestells
 R = Halbmesser des Gleisbogens
 σ_0 = Grundspurspiel im Gleis
 e = Spurerweiterung
 $\frac{1}{2}\sigma_0$ = die Hälfte des Grundspurspieles, von der Gleisachse aus nach außen aufgetragen
 $\frac{1}{2}\sigma_0 + e$ = $\frac{1}{2}$ Grundspurspiel + Spurerweiterung, von der Gleisachse aus nach innen abgetragen
 A_1 = radialer Seitenausschlag der Laufachse 1
 A_5 = Seitenspiel der letzten Kuppelachse 5
 α = Anlaufwinkel (in verzerrtem Maßstab dargestellt)

Der Gleisbogen wird nach Roy als Kreisbogen dargestellt. Die Längenmaße des Fahrzeuges (z. B. Achsstände) werden *parallel*, die Breitenmaße des Fahrzeuges (z. B. Seitenverschiebungen von Achsen) *senkrecht* zur Längsachse des Fahrzeuges gemessen. Die Breitenmaße des Gleises (z. B. Spurerweiterung) werden *radial* zum Mittelpunkt des Gleisbogens abgegriffen.

Maßstab für die Kurveneinstellung nach Roy

Zahlentafel 11

Breitenmaßstab	1:b =	1:1	1:2	1:4	
Längenmaßstab für	$\left\{ \begin{array}{l} n = 5 1:bn = \\ n = 10 1:bn = \\ n = 12 1:bn = \\ n = 20 1:bn = \end{array} \right.$	1: 5 1:10 1:12 1:20	1:10 1:20 1:24 1:40	1:20 1:40 1:48 1:80	
	Maßstab des Krümmungs- halbmessers R für	$\left\{ \begin{array}{l} n = 5 . . . 1:bn^2 = \\ n = 10 . . . 1:bn^2 = \\ n = 12 . . . 1:bn^2 = \\ n = 20 . . . 1:bn^2 = \end{array} \right.$	1: 25 1:100 1:144 1:400	1: 50 1:200 1:288 1:800	1: 100 1:400 1:576 1:1600

Ist der Breitenmaßstab (in welchem Spurkranzspiel, Spurerweiterung und Seitenausschlag bzw. Seitenverschiebung der Achsen erscheinen) 1:b und der Längenmaßstab (Achsstände!) 1:b · n, so muß der Halbmesser R des Gleisbogens aufgetragen werden im Maßstab 1:b · n².

Das Roysche Verfahren ist für Einzelfahrzeuge von mittlerer Länge in Gleisbögen bis herab zu etwa 180 m genau genug, wenn $n \leq 10$ gewählt wird. In allen anderen Fällen gibt Roy zu ungünstige (zu große) Seitenausschläge; es empfiehlt sich dann, das Verfahren von Vogel anzuwenden, das bei den europäischen Bahnen heute allgemein üblich ist:

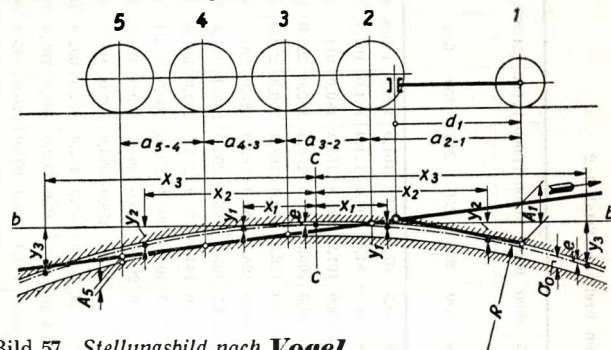


Bild 57. Stellungsbild nach Vogel

Zeichenerklärung siehe S. 84

Der Gleisbogen wird nach Vogel¹⁾ von der Scheiteltangente b-b aus mit Hilfe der x- und y-Werte der Zahlentafel 12 (S. 86) festgelegt. Sämtliche Breitenmaße werden *senkrecht*, sämtliche Längenmaße *parallel* zur Grundlinie b-b (nicht etwa zur Fahrzeugachse!) gemessen. Der Längenmaßstab ist im Gegensatz zum Royschen Verfahren unabhängig von dem Maßstab, in welchem die Gleiskrümmung dargestellt wird.

Wählt man $n = 1$ als Breitenmaßstab, so ergibt sich als Ausdruck für die Ordinaten der Gleisachse

$$y = \frac{l^2}{2000 R \cdot b} \text{ in mm}$$

mit l = tatsächlicher Abstand des Punktes der Gleisachse von Radius C-C in mm

und R = Halbmesser des Gleisbogens in m.

Die Abszissen x der Zeichnung ergeben sich, wenn man die wirklichen Abstände l im beliebigen Maßstab abträgt, beispielsweise in 1:40, 1:50 oder 1:100 (vorteilhafte zugehörige Breitenmaßstäbe 1:1 oder 1:2).

¹⁾ Siehe „Organ f. d. Fortschr. d. Eis.-W.“ 1926 S. 354.

Beispiel für einen Längenmaßstab 1:40 und einen Breitenmaßstab 1:2

Zahlentafel 12

Wirkliche Längen l	Verkürzte Längen $x = \frac{l}{40}$	Breitenmaßstab 1:2																Längenmaßstab 1:40			
		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000	Breitenmaßstab 1:2			
300	0,83	3,33	7,5	13,3	20,8	30,0	40,8	53,3	67,5	83,3	101,0	120,0	140,8	163,2	187,5	213,0	240,0				
250	1,0	4,0	9,0	16,0	25,0	36,0	49,0	64,0	81,0	100,0	121,0	144,0	169,0	196,0	225,0	256,0	290,0				
200	1,25	5,0	11,25	20,0	31,3	45,0	61,3	80,0	101,2	125,0	151,3	180,0	211,3	245,0	281,3	320,0	360,0				
150	1,32	5,25	11,8	21,1	32,9	47,4	64,5	84,3	106,5	131,6	159,0	189,0	222,0	257,0	295,0	336,0	380,0				
120	1,4	5,6	12,5	22,2	34,7	50,0	68,1	88,9	112,5	139,0	168,0	200,0	234,0	275,0	312,0	358,0	400,0				
100	1,56	6,25	14,05	25,0	39,1	56,25	76,6	100,0	126,5	156,0	189,0	225,0	263,0	306,0	352,0	400,0	450,0				
80	1,7	6,7	15,0	26,7	41,7	60,0	81,7	106,7	135,0	166,7	202,0	240,0	281,6	326,5	375,0	427,0	480,0				
60	1,82	7,15	16,0	28,5	44,6	64,2	87,0	114,0	144,0	178,0	215,0	252,0	301,0	350,0	401,0	458,0	520,0				
40	2,08	8,34	18,76	33,4	52,0	75,0	102,0	133,5	168,8	208,4	250,0	302,0	360,0	422,0	490,0	562,0	640,0				
30	2,5	10,0	22,5	40,0	62,5	90,0	122,5	160,0	202,5	250,0	302,0	360,0	422,0	490,0	562,0	640,0	716,0				
20	2,78	11,1	25,0	44,4	69,4	100,0	136,0	177,5	224,0	278,0	336,0	400,0	468,0	544,0	622,0	716,0	802,0				
15	3,6	14,3	32,0	57,0	89,5	129,0	175,0	228,0	290,0	358,0	432,0	512,0	602,0	700,0	802,0	916,0	1040,0				
10	4,17	16,68	37,5	66,7	104,2	150,0	204,0	266,5	337,5	417,0	503,0	600,0	705,0	819,0	940,0	1064,0	1280,0				
5	5,0	20,0	45,0	80,0	125,0	180,0	245,0	320,0	405,0	500,0	605,0	720,0	845,0	980,0	1125,0	1280,0	1500,0				

Ordinaten für das Aufzeichnen der Gleisachse y in mm

Rahmen und Abfederung

Der Rahmen (gleichgültig, ob Platten- oder Barrenrahmen) ist auf Festigkeit nachzuprüfen hinsichtlich

- der Beanspruchung beim Anheben der Lokomotive an beiden Rahmenenden, die (bei Berücksichtigung des mildernden Einflusses der Kesselpendelbleche) 1000 kg/cm² möglichst nicht überschreiten soll (siehe Lüttgerding in „Lokomotive“, 1942, S. 44 und 61).
- der Beanspruchungen durch die Kolbenkräfte nach Leitzmann - v. Borries (Theoretisches Lehrbuch des Lokomotivbaues, 1911, S. 667) oder Meineke (ZVDI 1924, S. 276. — Lehrbuch 1931, S. 148. — Lehrbuch Meineke-Röhre, 1949, S. 141).

Außenrahmen sind teurer als Innenrahmen, ermöglichen aber bessere Zugänglichkeit für Tragfedern und Achslager.

Geschweißte Rahmen ermöglichen gegenüber den üblichen Platten- oder Barrenrahmen eine nennenswerte Gewichtsersparnis (etwa 8—10%). Bei der Baureihe 23 der Deutschen Bundesbahn (Bild 290 und 310) beträgt diese Ersparnis etwa 1,8 t.

Stahlgußrahmen, bei denen die Rahmenwangen mit den Rahmenverbindungen, den Achslagerführungen, den Pufferträgern usw. in einem Stück gegossen sind, zeichnen sich durch verhältnismäßig geringes Baugewicht und durch sehr hohe Widerstandsfähigkeit aus. Nachteilig sind die hohen Modell- und Formkosten, die den Stahlgußrahmen nur bei hohen Stückzahlen lohnend erscheinen lassen. Schwierig die Wiederinstandsetzung durch Unfall verformter Rahmen. Größere Rahmen dieser Art bisher nur in USA ausgeführt. — Bei Dampflokomotiven pflegt man auch den Rauchkammerträger und die Dampfzylinder in das Gußstück einzubeziehen.

Die Abfederung

dämpft die durch Unebenheiten der Fahrbahn entstehenden Stöße. Sie gleicht außerdem Abweichungen der Auflagerpunkte der Räder von der SO aus, so daß die Drücke auf die Schienen annähernd unverändert bleiben. Beim Stoß muß eine Arbeit aufgenommen werden. Je länger der Aufnahmeweg, desto kleiner die Stoßkräfte. Müssen die Stöße nur von der Elastizität des Werkstoffes der tragenden Bauteile aufgenommen werden, so bedeutete dies kurze Wege und hohe Kräfte.

Durch Einschalten von stark nachgiebigen Federn ergeben sich lange Wege und geringe Kräfte auf das Fahrzeug.

Die nicht abgedeuteten „toten Lasten“ (Radsätze, Achslager, zum Teil auch Lenkgestell- oder Drehgestell-Rahmen) werden deshalb so niedrig wie möglich gehalten.

Für die Abfederung werden vorzugsweise geschichtete Blattfedern verwendet, da diese dank ihrer Eigenreibung die etwa auftretenden Schwingungen zu dämpfen vermögen.

Wird auf besonders weichen Lauf Wert gelegt, so schaltet man der Blattfeder eine Schraubenfeder vor.

Die *Standsicherheit des Fahrzeuges* ist um so größer, je breiter die Federbasis ist und je höher die Stützpunkte liegen. In dieser Hinsicht ist der Außenrahmen dem Innenrahmen gegenüber vorzuziehen, die Anordnung der Tragfedern über den Achslagern (USA-Praxis) günstiger als diejenige unter den Achslagern.

Berechnung der geschichteten Dreieckfeder (Blattfeder)

- Mit n = Anzahl der Federblätter
 n' = Anzahl der durchgehenden Federblätter
 b = Breite eines Federblattes in cm
 h = Stärke (Höhe) eines Federblattes in cm
 Q = auf den Federbund wirkende „ruhende“ Belastung in kg
 l = halbe Länge des oberen Federblattes in cm
 $=$ Mitte Bund bis Mitte Hängeisen
 σ_b = Bieigungsbeanspruchung in kg/cm² bei ruhender Last

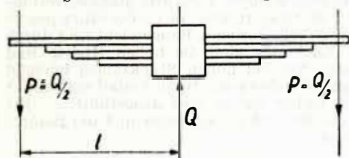


Bild 58. Geschichtete Dreieckfeder (Blattfeder)

ergibt sich
$$\frac{Q}{2} \cdot l = \frac{1}{6} n b h^2 \sigma_b$$

und

$$n = \frac{3 Q l}{b h^2 \sigma_b}$$

sowie
$$\sigma_b = \frac{3 Q l}{n \cdot b \cdot h^2} \equiv \frac{f_0 \cdot h \cdot E (n + \frac{n'}{2})}{l^2 \cdot n} \quad \text{in kg/cm}^2$$

Man läßt zu

- $\sigma_b = 4000 \div 4500 \text{ kg/cm}^2$ bei Lokomotiven mit sehr großen Überhängen (z. B. Baulokomotiven)
 $= 5000 \div 5500 \text{ kg/cm}^2$ bei kurzen Federn
 $= 5500 \div 6500 \text{ kg/cm}^2$ bei langen Federn
 $\sigma_{b \max} = 11000 \text{ kg/cm}^2$ bei größter Durchfederung.

Die Deutsche Bundesbahn rechnet mit $4500 \div 5000 \text{ kg/cm}^2$ bei ruhender Last.

Der gefährliche Querschnitt liegt in Federmitte und sollte nicht durch Keilnuten oder Nietlöcher geschwächt werden.

Die Durchbiegung der Feder ist bei ruhender Last

$$f_0 = \frac{3 Q l^3}{b h^3 E (n + \frac{n'}{2})} = \frac{l^2 \sigma_b \cdot n}{h E (n + \frac{n'}{2})} \quad \text{in cm}$$

oder $f_0 = Q \cdot c$, wenn $c = \frac{3 l^3}{b h^3 E (n + \frac{n'}{2})}$

Man verwendet c als Maß für die *Weichheit der Feder* und bezeichnet es als *Federkonstante*.

Es beträgt

- die Elastizitätszahl $E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$
 die übliche Durchbiegung unter ruhender Last $40 \div 50 \text{ mm}$
 die spezifische Durchfederung (Durchbiegung der Feder) $0.3 \div 0.6 \text{ cm/t}$
 die übliche unbelastete Pfeilhöhe $45 \div 75 \text{ mm}$
 die übliche Pfeilhöhe unter ruhender Last $0 \div 10 \text{ mm}$
 das übliche Achslagerspiel während der Fahrt $20 \div 25 \text{ mm}$
 das größte Achslagerspiel (= größtmögliche zusätzliche Federdurchbiegung bei auftretenden Stößen) $30 \div 45 \text{ mm}$; es ist nachzuprüfen, ob die Feder bei dieser Durchbiegung noch bruchsicher bleibt!

Die von der Feder aufgenommene *Arbeit* beträgt bei ruhender Last

$$A_0 = f_0 \frac{Q}{2} = \frac{f_0^2}{2e} \quad \text{in cmkg}$$

Im Betrieb ist die Feder von vornherein mit Q belastet; es treten noch *Stoßkräfte* hinzu.

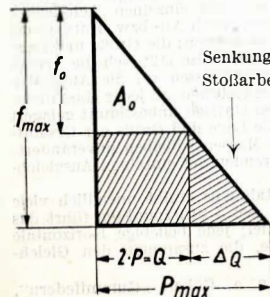


Bild 59. Federdiagramm

Die durch Aufnahme von Stoßarbeit bedingte Änderung der Federspannung ΔQ soll möglichst gering gehalten werden, sonst Gefahr des Federbruchs, Entgleisungsgefahr wegen zu starker Entlastung der führenden Achse. Je härter die Feder, um so größer die Spannungsänderung bei gleicher Arbeitsaufnahme, um so kleiner die Änderung der Durchfederung. Es sind daher „weiche“ Federn zu bevorzugen.

Gleiche Arbeitsaufnahme durch Stoß ruft an derselben Feder kleine Spannungsänderung bei hoher Belastung, große Spannungsänderung bei geringer Belastung hervor. Bei gleicher Weichheit der Feder fahren die Fahrzeuge somit um so ruhiger, je schwerer sie belastet sind.

Federausgleich

Die Verbindung einzelner Tragfedern durch Ausgleichhebel erhöht die Sicherheit und Ruhe des Laufes, denn der auf eine Achse der Ausgleichgruppe treffende Stoß wird zugleich auf die Tragfedern der übrigen Achsen übertragen; die Achsbelastungen verändern sich um so weniger, je mehr Achsen in einer Ausgleichgruppe vereinigt sind. Für einen wirksamen Ausgleich eignen sich besonders zweiarmlige Hebel mit möglichst geringem Winkelausschlag, nicht so günstig sind Winkelhebel mit Zugstangen. Querliegende Ausgleichhebel begünstigen das Wanken, sind mithin für schnellfahrende Lokomotiven untunlich. Federn, die auf verschiedenen Seiten der Schwerebene der abgefederten Massen liegen, sollen nicht miteinander durch Ausgleichhebel verbunden werden. Dennoch findet man häufig dreiachsige Drehgestelle, bei denen alle Federn einer Seite durch Ausgleichhebel miteinander verbunden sind.

Jede Federausgleichgruppe kann rechnerisch durch eine ideale Feder ersetzt und damit als ein Stützpunkt angesehen werden. Dieser Stützpunkt gibt die Lage der Resultierenden aus den einzelnen Federbelastungen derselben Gruppe an; er braucht bei zwei benachbarten Federn nicht mit dem Drehpunkt des Ausgleichhebels zusammenzufallen.

Bei Dreipunktstützung ist das Federungssystem statisch bestimmt. Diese Anordnung ist insbesondere bei schlechter Gleislage zu empfehlen und herrscht traditionsgemäß noch heute in USA vor.

Innerhalb einer Ausgleichgruppe ist die Lage des Stützpunktes durch die Teilungen der Ausgleichhebel eindeutig bedingt; die einzelnen Achsdrücke können jedoch bei mindestens 3 Ausgleichgruppen durch An- bzw. Entspannen der Tragfedern innerhalb enger Grenzen geändert werden; die Größe und Lage der Resultierenden bleibt unverändert. In gleicher Weise läßt sich die Verteilung der Last ohne Verschieben der abgefederten Massen auf die Ausgleichgruppen in ihrer Gesamtheit beeinflussen, falls der Rahmen auf jeder Maschinen- seite in mindestens 3 ideellen Stützpunkten, also statisch unbestimmt gelagert ist; die Lage der einzelnen Stützpunkte sowie die Lage und Größe der Gesamt- Resultierenden (Schwerpunkt der abgefederten Massen!) bleiben unverändert; es ändern sich die Achsdrücke und die Resultierenden der einzelnen Ausgleich- gruppen.

Die statisch unbestimmte Lagerung des Rahmens ergibt unendlich viele verschiedene Möglichkeiten der Lastverteilung. Bei 3 Stützpunkten führt das zeichnerische Verfahren von Clapeyron zum Ziel; jede beliebige Horizontale des Schaubildes ergibt je 3 Stützpunktdrücke, die zusammen den Gleich- gewichtsbedingungen genügen (Bild 60).

Über Gummi als Federungselement siehe u. a. Göbel: „Gummifedern“, Springer-Verlag 1945.

Bei guter Gleislage kann auf den Federausgleich verzichtet werden (z. B. in England üblich!)

Untersuchung der Einstellung des Lokomotivrahmens auf Ablaufbergen nach Wittrock im „Organ f. d. Fortschritte d. Eisenbahnwesens“ 1926, S. 199.

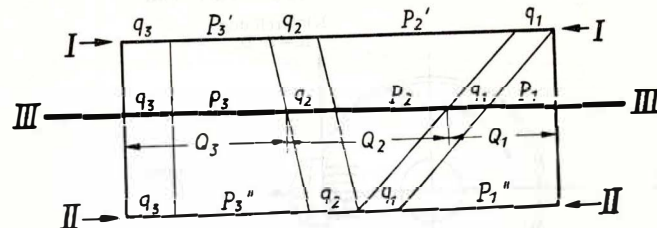


Bild 60. Das Verfahren von Clapeyron

Bezeichnungen: q = Totlast, P = abgefederte Last, $Q = P + q$ = Achsdruck
Zustand I: Achse 1 völlig entlastet, hierdurch P_2 und P_3 statisch bestimmt.
Zustand II: Achse 2 entlastet, hierdurch P_1 und P_3 statisch bestimmt.

Der Übergang von Zustand I auf Zustand II erfolgt geradlinig und ergibt unendlich viele mögliche Zustände III, wobei unter P auch mehrere Achsen zu einer Gruppe zusammengefaßt sein können.

Die Bremse

wird vorwiegend als *Klotzbremse* ausgebildet.

Vielfach wird diese — neuerdings insbesondere bei amerikanischen Dieselelektrischen Vollbahnlokomotiven — durch eine Triebwerk-Bremse ergänzt.

Die **Wirkung der Klotzbremse** beruht auf der Umsetzung der lebendigen Kraft des rollenden Zuges in Reibungs- und Zerspanungsarbeit.

Beim rollenden Rad ist die Reibung zwischen Rad und Schiene wesentlich wirksamer als beim gleitenden; deshalb ist der Bremsdruck so zu wählen, daß die Rollgrenze nahezu erreicht, aber nicht überschritten wird.

Die bremsende Klotzreibung beträgt $K = f \cdot D$

wenn D = Bremsdruck (Klotzdruck der gebremsten Achsen insgesamt)
 f = Reibungszahl (Reibwert) Rad/Bremsklotz
Ist ferner μ = Reibungszahl Rad/Schiene
 G_B = Bremsgewicht (entspr. der Summe der von den gebremsten Achsen auf die Schienen wirkenden Achsdrücke)
 W_Z = Laufwiderstand des Zuges

so muß sein $K_{\max} \leq \mu G_B$ und $D_{\max} \leq \frac{\mu G_B}{f}$
wenn ein Gleiten der Räder vermieden werden soll.

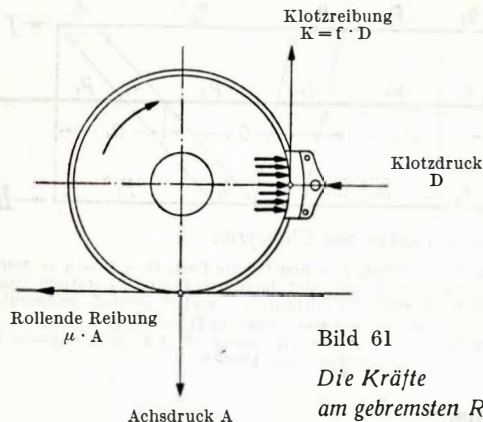


Bild 61
Die Kräfte
am gebremsten Rad

Bei eben noch rollendem Rad ist der erzielte Bremswiderstand $W_b = W_z + K_{\max}$.

Für die Reibung zwischen Rad und Schiene kann die Reibungszahl μ in den Grenzen der Haftreibung nach Bild 23 ausgenutzt werden. Bei üblichen Betriebsbremsungen im Bereich mittlerer Fahrgeschwindigkeiten pflegt man mit einem gleichbleibenden $\mu = \frac{1}{7} \sim 0,15$ zu rechnen.

Der Klotz-Reibungswert f verringert sich gemäß Bild 62 mit wachsender Fahrgeschwindigkeit. Er muß daher der Geschwindigkeit angepaßt werden, wenn die Rollgrenze nicht überschritten werden soll.

Erfahrungsgemäß wird ein Gleiten der Räder bei mittleren und niedrigen Fahrgeschwindigkeiten vermieden, wenn $D_{\max} \leq G_B$ und $K_{\max} \leq f \cdot G_B$.

Der größte Bremsdruck wird infolgedessen
bei schnellfahrenden Lokomotiven bis zu etwa 230 %
bei langsam fahrenden Lokomotiven bis zu etwa 70 %
des mittleren Dienstgewichtes festgelegt.

Der spezifische Klotzdruck sollte 20÷22 kg/cm² nicht überschreiten.

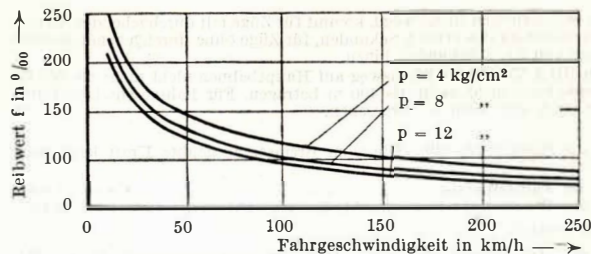


Bild 62. Reibwert zwischen Rad und Bremsklotz. — Voraussichtlicher Verlauf bei hohen Geschwindigkeiten

(nach Kother in „Elektr. Bahnen“ 1941, Ergänzungsheft Seite 98).
 p = Anpreßdruck des Bremsklotzes

Bei Reibungsbremsen mit Kunstbelag kann mit einem gleichbleibenden Reibungswert Kunstbelag/Rad von etwa 0,35 gerechnet werden.

Der **Bremsweg L** ermittelt sich aus der Arbeitsgleichung für die Vernichtung der lebendigen Kraft des Zuges.

Soll der Zug aus einer Geschwindigkeit V_2 km/h auf V_1 abgebremst werden, so ist

$$K' \cdot L = f' D \cdot L = \frac{1000 G_z}{g} \cdot \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2} - (G_z \cdot w_m \pm s G_z) L$$

mithin der **Bremsweg**

$$L = \frac{\frac{1000 G_z}{2 g} (v_2^2 - v_1^2)}{f' D + G_z (w_m \pm s)}$$

in m

- Hierbei ist G_z = Zuggewicht in t
 D = Bremsdruck in kg
 f' = „mittlerer“ Klotz-Reibungswert
 K' = „mittlere“ Klotzreibung
 w_m = mittlerer Laufwiderstand des Zuges in kg/t
 s = Steigungswiderstand in kg/t (im Gefälle negativ)
 v = $\frac{V}{3,6}$ = Fahrgeschwindigkeit in m/sec

Die in obigen Formeln unberücksichtigt gebliebene lebendige Kraft (kinetische Energie) der umlaufenden Massen kann durch ein um etwa 5 % erhöhtes V in Rechnung gestellt werden.

Zum rechnerischen Bremsweg L kommt für Züge mit durchgehender Bremse ein *Verzugszuschlag* von etwa 3 Sekunden, für Züge ohne durchgehende Bremse ein solcher von 5–8 Sekunden hinzu.

Nach BO § 55 soll der Bremsweg auf Hauptbahnen nicht mehr als 700 m, auf Nebenbahnen nicht mehr als 400 m betragen. Für Fahrgeschwindigkeiten über 110 km/h sind 1000 m vorgesehen.

Für die *Handbremse* gilt: Die vom Bremsler ausgeübte Kraft kann nach TV § 60 (3)

bei der Spindelbremse bis zu 50 kg
bei der Wurfhebelbremse (einschl. Gewicht) ebenfalls . . . bis zu 50 kg eingesetzt werden.

Bei der Hebelbremse darf das Übersetzungsverhältnis 1:40 nicht überschreiten. Hierbei waagerechte Projektion des kleinen Hebels mindestens 10 mm.

Der Bremsklotzdruck der Handbremse muß mindestens 40 % des auf die gebremsten Achsen entfallenden Anteils des Dienstgewichtes betragen, bei Tenderlokomotiven mindestens 20 % des Dienstgewichtes bei vollen Vorräten.

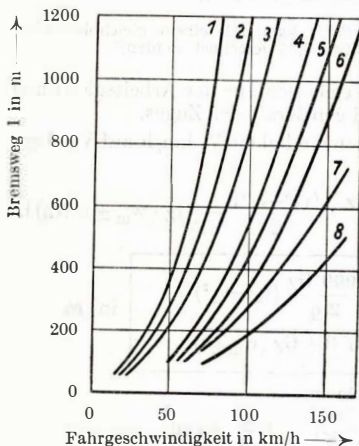


Bild 63. *Bremswege in der Ebene durch Versuche ermittelt*

Aus „Knorr-Eisenbahn-Kalender“ 1952

- 1 Güterzug mit 30 Bremsen
- 2 Güterzug mit 50 Bremsen
- 3 Güterzug mit 75 Bremsen
- 4 Personenzug

- 5 Schnellzug mit Kksbr
- 6 „ „ Hkssbr
- 7 Schnelltriebwagen mit Trommel- und Schienenbremse
- 8 Schnelltriebwagen mit Hkssbr und Schienenbremse

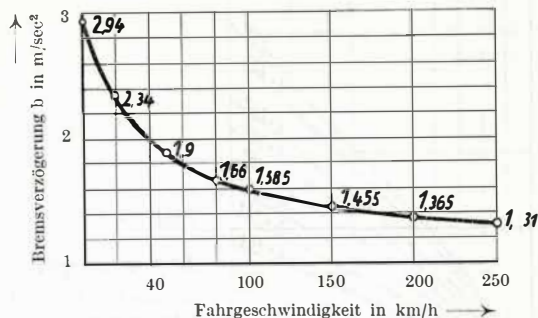


Bild 64. *Größtmögliche Bremsverzögerungen auf Grund der Haftreibungswerte von Kothor (nach Bild 23)*

Die **Bremsverzögerung** kann bis zur Reibungsgrenze zwischen Rad und Schiene getrieben werden.

Bezeichnet μ den Reibungswert Rad/Schiene, so ist die höchste ausnutzbare Verzögerung $b_{\max} = 9,81 \cdot \mu$ in m/sec^2

Darüber hinausgehende Verzögerungen erfordern besondere Maßnahmen (Schienenbremse, Gummibereifung).

Die *übliche* Bremsverzögerung beträgt bei durchgehenden Güterzugbremsen mit 30 % Bremsachsen etwa 0,35 m/sec^2
bei Schnellbahnbremsen etwa 0,9–1,0 m/sec^2
Angestrebt wird eine Verzögerung von 1,5 m/sec^2

Verzögerungen über 1,5 m/sec^2 lassen Unannehmlichkeiten für die Fahrgäste erwarten (zum Vergleich: Bis etwa 3,0 m/sec^2 bei üblichen Bremsungen von Kraftfahrzeugen). Vereinzelt werden höhere Verzögerungen ausgenutzt, beispielsweise

- 1,77 m/sec^2 (Straßenbahn Glasgow)
- bis 2,22 m/sec^2 (Brooklyn-Manhattan Transit Company)
- 3 m/sec^2 (PCC-Straßenbahnwagen)
- 4 m/sec^2 (Notbremsung Straßenbahn Stockholm).

Mit dem elektrischen Micheline-Triebwagen wurden bis zu 4 m/sec^2 erreicht. Aus 140 km/h wurde der Wagen auf 140 m in 9,6 sec zum Halten gebracht.

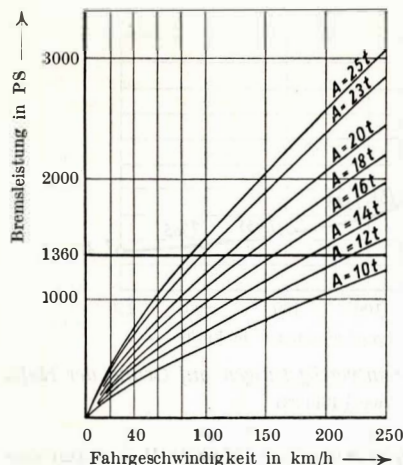


Bild 65

Bremsleistungen

die zum Erzielen der Bremsverzögerungen nach Bild 64 erforderlich sind.

A = Achsdruck (= 2 Q)

Die **Bremsleistung** je gebremster Achse

$$\text{ergibt sich zu } N_B = \frac{1000 A}{g} \cdot \frac{b v}{75} = 1,363 A \cdot b \cdot v \text{ in PS}$$

wenn A = Achsdruck in t

b = Bremsverzögerung in m/sec²

v = Fahrgeschwindigkeit in m/sec

Bei gleichbleibender Verzögerung wächst die erforderliche Bremsleistung mit dem Achsdruck und der Fahrgeschwindigkeit.

Die höchste erzielbare Bremsleistung $N_{B \max}$ ist durch die zulässige Erwärmung von Bremsklotz und Radreifen bedingt. Übermäßige Erwärmung kann zum Brechen des Bremsklotzes, auch zum Aufschweißen von Klotzmaterial auf den Radreifen führen.

Zu den Lokomotiven mit höchster Bremsleistung, die sich im Betrieb bewährten, zählt die E 19 der Deutschen Bundesbahn: Bremsleistung je Achse mit vier Bremsklötzen etwa 1360 PS. Diese 1360 PS mögen als *Grenzleistung* für die *Klotzbremse* angesehen werden (s. Bild 65).

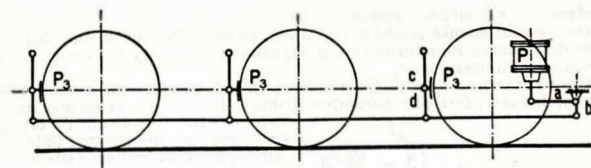


Bild 66. Beispiel einer einseitigen Bremsung

D = gesamter Klotzdruck P_{zy1} = Kolbenkraft im Bremszylinder

$$P_3 = P_1 = P_2 \quad D = P_{zy1} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c+d}{c}$$

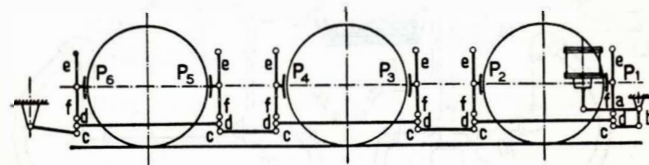


Bild 67. Beispiel einer doppelseitigen Bremsung

$$D = 6 \times P_{zy1} \cdot \frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} \cdot \frac{e+f}{e}$$

Die *durchgehenden* Bremsen ermöglichen ein Bremsen des ganzen Zuges von einem Punkte aus und werden vorzugsweise mit Luft betrieben, die in einem Spannungszustand zum äußeren Luftdruck steht. Sie müssen im Falle einer unbeabsichtigten Zugtrennung selbsttätig in Wirksamkeit treten; der Spannungszustand zwischen Bremsleitung und Außenluft muß also nicht während des Bremsens, sondern bei gelöster Bremse vorhanden sein.

Dieser Forderung können bei Verwendung von *Druckluft* nur *indirekt* wirkende Bremsen genügen, bei denen die Luftpumpe nicht unmittelbar auf die Bremszylinder, sondern auf den als Speicher gedachten Luftbehälter arbeiten muß, von dem aus dann durch geeignete Steuerventile die Bremskolben beeinflusst werden.

Das *Bremsgestänge* der Klotzbremse ist zumeist mit Ausgleichhebeln versehen, so daß gleiche Klotzdrücke gewährleistet sind.

Anordnung der Druckluftbremse auf S. 396.

Die Saugluftbremse zeichnet sich durch größte Einfachheit aus, hat aber infolge des geringen Bremsdruckes von nur etwa $0,5 \text{ kg/cm}^2$ den Nachteil großer und schwerer Bremszylinder.

Verbreitung: Nebenbahnen in Deutschland, Frankreich, Österreich, der Tschechoslowakei; fast alle Schmalspurbahnen Bulgariens, Jugoslawiens, der Schweiz; fast alle Bahnen Portugals und Spaniens; die meisten Bahnen in Afrika, England, Indien; viele Bahnen in Australien, Indochina, Indonesien, Südamerika.

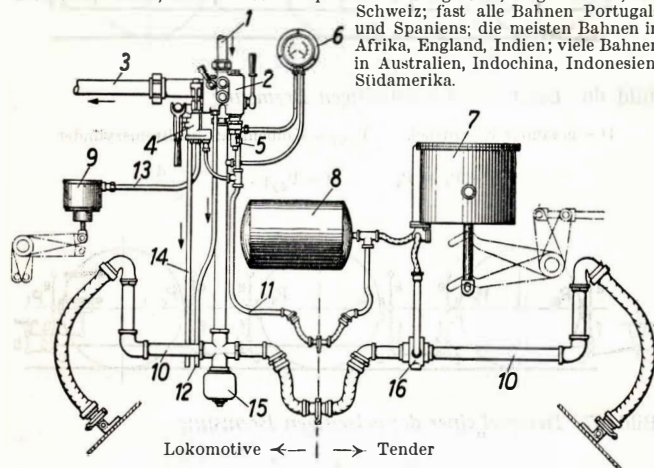


Bild 68. Vereinigte Saugluft- und Dampfbrms-Einrichtung

Die englisch beeinflussten Bahnen pflegen die Saugluftbremse nur für Tender und Wagenzug vorzusehen. Die Lokomotive erhält Dampfbrms, die gleichzeitig mit der Saugluftbremse mittels eines gemeinsamen Führerbrmsventils (Brms-Ejektor) in Tätigkeit gesetzt, aber auch unabhängig von ihr betätigt werden kann.

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| 1 Dampfleitung | 9 Dampfbrmszylinder |
| 2 Luftsauger (Ejektor) | 10 Hauptluftleitung |
| 3 Abdampfleitung | 11 Behälterleitung |
| 4 Dampfbrmsventil | 12 Entwässerung zum Luftsauger |
| 5 Löseventil zur Saugluftbremse | 13 Dampfbrmsleitung |
| 6 Vakuummeter | 14 Abdampfng. zur Dampfbrms |
| 7 Vakuum-Bremszylinder | 15 Tropfbecher |
| 8 Vakuum-Behälter | 16 Abzweigstück (Syphon) |

Triebwerkbrmsen verringern den Verschleiß an Bremsklötzen. Sie haben sich für längere Gefällstrecken eingebürgert, werden aber bei elektrischen und Dieselfahrzeugen neuerlings zuweilen auch für übliche Betriebsbrmsungen herangezogen (Gegendruckbrms s. S. 230). Bei hohen Fahrgeschwindigkeiten (über etwa 100 km/h) werden auch die Lokomotiv-Laufachsen abgebrms.

Die Kolben-Dampflokomotive

üblicher Bauart besitzt die Vorzüge

einfachster Bauweise
großer Widerstandsfähigkeit und geringer Empfindlichkeit im Betriebe
großer Anspruchslosigkeit in der Unterhaltung
niedrigen Beschaffungspreises
hoher Lebensdauer.

Es können unter bestimmten Voraussetzungen fast alle festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffe unter dem Lokomotivkessel verfeuert werden.

Ihre Nachteile sind

- das verhältnismäßig hohe Eigengewicht
- das hohe Gewicht der mitzuführenden Wasser- und Brennstoff-Vorräte
- die nicht ständige Betriebsbereitschaft (erforderliche Anheizzeit etwa $5\frac{1}{2}$ Stunden bei kaltem. $1\frac{1}{2}$ Stunden bei vorgewärmtem Speisewasser)
- die verhältnismäßig hohen Anforderungen an die Güte des Speisewassers und des Brennstoffes
- der verhältnismäßig hohe Schmierölverbrauch
- die Verunreinigung der Lokomotive und ihrer Umgebung durch Rauch und Ruß
- die vom Personal verlangte körperliche Arbeit
- der Verbrauch von Brennstoff auch in der Bereitschaft
- der niedrige wärmetechnische Wirkungsgrad (bei billigen Kohlen allerdings unwesentlich)
- die störenden Bewegungen mit ihren nachteiligen Einwirkungen auf Fahrzeug und Gleis
- die Beschränkung des Fahrtbereiches durch Verschlacken des Rostes (bei Steinkohlenfeuerung nach Verfeuerung von jeweils etwa $1\frac{1}{2}$ t Kohle je m^2 Rost)
- die Notwendigkeit von Kohlen- und Wasserstationen sowie Entschungsanlagen in verhältnismäßig dichten Abständen.

Man unterscheidet

Naßdampf-Lokomotiven, bei denen der im Kessel entwickelte Dampf unmittelbar den Zylindern zugeführt wird

Heißdampf-Lokomotiven, bei denen der Dampf auf seinem Wege zu den Zylindern durch einen Überhitzer geleitet wird und dort durch zusätzliche Wärmeaufnahme einen gasähnlichen Zustand annimmt

Tender-Lokomotiven (tank engines), die ihre Wasser- und Brennstoff-Vorräte selbst mit sich führen

Schleppender-Lokomotiven (tender engines), bei denen die Wasser- und Brennstoff-Vorräte auf einem besonderen Fahrzeug (Tender) mitgeführt werden

Halbtender-Lokomotiven = Tenderlokomotiven mit zusätzl. Hilfstender

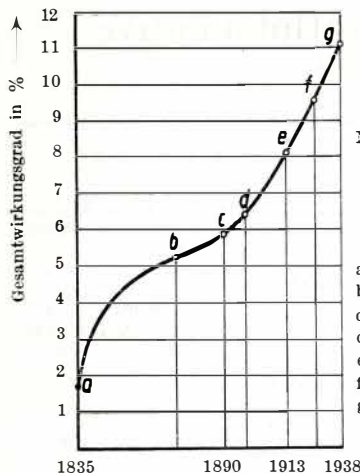


Bild 69. Entwicklung des indizierten wärmewirtschaftlichen Wirkungsgrades

Nach Dugas in MTZ, Beiheft 1949, S. 5

- a) 1,7 %
- b) Erste Verbundlokomotive
- c) 5,8 %
- d) Erste Heißdampflokomotive
- e) 8,3 %
- f) 9,6 % im Jahre 1925
- g) 11,2 % bei 20 atm Kesseldruck, Überhitzung auf 400°C und vollkommenem Auspuff

Die Kolbendampflokomotive der klassischen Bauart kennzeichnet sich durch unmittelbaren Antrieb (kein Übersetzungsgetriebe zwischen Dampfzylinder und Treibachse) Heizrohrkessel Feuerbüchse mit Verankerung durch Stehbolzen selbsttätige, der jeweiligen Leistung entsprechende Feueranfachung durch Blasrohr.

In ihren Grundzügen ist sie seit Stephenson's „Rocket“ vom Jahre 1829 unverändert geblieben.

Der technische Fortschritt kommt zum Ausdruck

- in der Erhöhung von Leistung, Zugkraft und Geschwindigkeit
- in der Senkung des spezifischen Lokomotivgewichtes
- in der Güte und der besseren Ausnutzung der Werkstoffe
- in der Verbesserung der Laufeigenschaften
- in der Verbesserung der Herstellungsverfahren
- in der Steigerung des Wirkungsgrades (obiges Bild) und damit der Wirtschaftlichkeit.

Die Ermittlung der Hauptabmessungen von neu zu entwerfenden Lokomotivbauarten stützt sich auf Erkenntnisse aus wissenschaftlichen Versuchs- und praktischen Erfahrungswerten, denen naturgemäß entsprechende Toleranzen anhaften. Den Erkenntnisschatz ständig zu vermehren und damit die Spielräume möglichst klein zu halten, ist das Ziel der technischen Forschung und des Versuchswesens.

Man kann mit günstigsten Näherungswerten arbeiten, wenn sich der Neuentwurf eng an eine vorhandene, erprobte Lokomotivgattung anlehnt.

Zur Ermittlung der Hauptabmessungen

Die Strahlsche Kurve

gibt eine für den Entwurf von Kolbendampflokomotiven üblicher Bauart genügend genaue Annäherung an die Wirklichkeit. Sie stellt die indizierte Leistung N_i (in PS) in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit V (in km/h) bei annähernd gleichbleibender Heizflächenbelastung dar. Die höchste Dauerleistung N_i' wird bei einer „günstigsten“ Geschwindigkeit V' erzielt, der eine „günstigste“ Zugkraft Z_i' zugeordnet ist.

Die Leistungskurve verläuft

$$\text{für } \frac{V}{V'} < 1 \text{ als Parabel. } \dots \dots \dots \frac{N_i}{N_i'} = 0,6 \left(2 - \frac{V}{V'} \right) \cdot \frac{V}{V'} + 0,4$$

$$\text{für } \frac{V}{V'} > 1 \text{ nach dem Ausdruck } \dots \dots \dots \frac{N_i}{N_i'} = \frac{1}{2} \left(3 - \frac{V}{V'} \right) \cdot \sqrt{\frac{V}{V'}}$$

Die Zugkraftkurve verläuft

$$\text{für } \frac{V}{V'} < 1 \text{ nach dem Ausdruck } \dots \dots \dots \frac{Z_i}{Z_i'} = 0,6 \left(2 - \frac{V}{V'} \right) + 0,4 \frac{V'}{V}$$

$$\text{für } \frac{V}{V'} > 1 \text{ nach dem Ausdruck } \dots \dots \dots \frac{Z_i}{Z_i'} = \frac{1}{2} \left(3 - \frac{V}{V'} \right) \cdot \sqrt{\frac{V'}{V}}$$

Strahlsche Kurve

Zahlentafel 13

$\frac{V}{V'} =$	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
$\frac{N_i}{N_i'} =$	0,66	0,7	0,78	0,85	0,91	0,95	0,98	0,99	1,0	0,999	0,985	0,969	0,948	0,919
$\frac{Z_i}{Z_i'} =$	2,65	2,35	1,96	1,70	1,51	1,35	1,22	1,11	1,0	0,91	0,825	0,746	0,675	0,612

Die Strahlsche Kurve bietet für den Entwurf genügend Sicherheits-Spielraum. Ausgeführte, gut unterhaltene Vollbahnlokomotiven zeigen einen geringeren Leistungsabfall, als er nach Strahl zu erwarten ist. Nach Versuchswerten mit Einheitslokomotiven der Deutschen Reichsbahn hat Heise eine „berichtigte Kurve“ aufgestellt (umstehendes Bild).

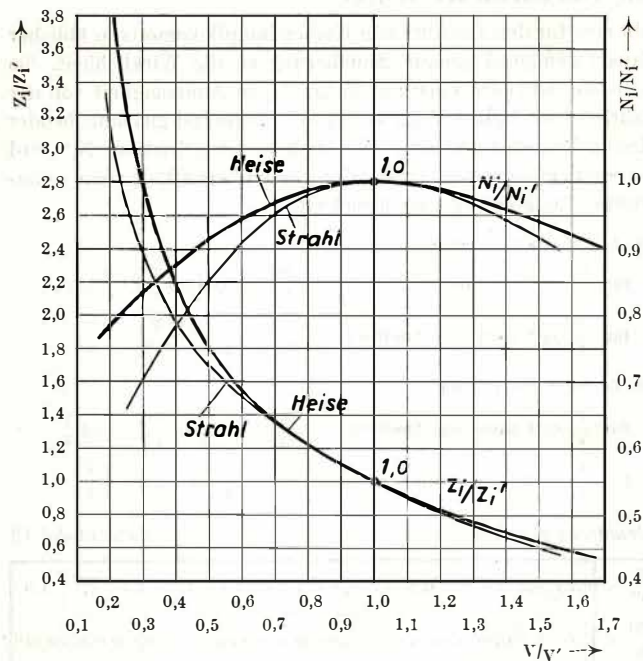


Bild 70. Strahlsche Kurve mit Berichtigung nach Heise

Siehe „Lokomotive“ 1942, S. 151

Die Bestimmung der Kesselabmessungen

setzt in erster Linie die Kenntnis der geforderten höchsten Dauerleistung N_i' voraus. Bezeichnet d_i' in kg/PS_i-h den kleinsten stündlichen Dampfverbrauch für die Leistungseinheit — der bei der günstigsten Geschwindigkeit zu erwarten ist — so beträgt die erforderliche *stündliche Dampfzerzeugung* des Kessels

$$D_h = 1,1 \cdot N_i' \cdot d_i' \quad \text{in kg/h.}$$

Der Faktor 1,1 berücksichtigt hierbei angenähert den Bedarf von zusätzlichen Dampfverbrauchern¹⁾.

Bei Anwendung eines Mischvorwärmers (S. 189) werden etwa 10 % dieser Dampfmenge zurückgewonnen, der Wasserverbrauch beträgt dann nur etwa 90 % der Dampfzerzeugung.

¹⁾ Genauere Werte:

Es beträgt der *zusätzliche Frischdampfverbrauch*

a) für die Speisevorrichtungen zum Speisen von 100 l Wasser:

Frischdampfstrahlpumpe	etwa 11 kg	} kein thermischer Verlust!
Abdampfstrahlpumpe	etwa 1,5 ÷ 3,5 kg bei 12 atü.	
	steigt mit wachsendem Kesseldruck rasch an	

Kolbenspeisepumpe	etwa 2,5 kg	} eine Fördermenge von 250 l/min vorausgesetzt
Verbund-Kolbenspeisepumpe	etwa 1,8 ÷ 2,0 kg	

Henschel-Turbo-Speisepumpe siehe S. 191

Fahrpumpe etwa 0,42 kg

b) für die Dampfheizung etwa 55 ÷ 80 kg/h je D-Zugwagen

c) für die Luftsaugebremse etwa 100 ÷ 260 kg/h

d) für die Luftdruckbremse

allgemein etwa 50 ÷ 100 kg/h

zweistufige Luftpumpe mit einer Förderleistung von 2000 l/min entspannter

(angesaugter) Luft	etwa 10,8 kg je 100 Doppelhübe
oder etwa 5,4 kg je 1000 l geförderter entspannter Luft	

Doppelverbund-Luftpumpe gleicher Leistung etwa 3,6 kg je 1000 l geförderter entspannter Luft

e) für den Booster siehe S. 229

f) für den Stoker siehe S. 188

g) für die elektrische Beleuchtung durch Turbodynamo siehe S. 231

Bei Verwendung von *Heißdampf* mit 250 ÷ 300° C in geeigneten Fällen Ersparnisse bis etwa 40 % gegenüber obigen Angaben (bis etwa 55 % bei 400° C).

Der günstigste spezifische Dampfverbrauch d_1' kann nebenstehendem Schaubild 71 entnommen werden.

Der spezifische Dampfverbrauch ergibt sich nach Achterberg¹⁾ für Heißdampf-Zwilling-Lokomotiven zu

$$d_1' = \left(a - \frac{t_{ii}}{b}\right) \cdot \left(e - \frac{d}{f}\right) \text{ in kg/PSih.}$$

Hierbei ist d = Zylinderdurchmesser in cm
 t_{ii} = Heißdampftemperatur in °C

a , b , e und f sind Konstanten, für die bei einer Kesselanstrengung $A = 3,6$ (siehe Seite 107) nach Meineke²⁾ mit geringer Abwandlung der ursprünglichen Werte zu setzen ist:

$a = 13,0$	$b = 59$	bei 12 atil Kesseldruck
$= 12,4$	$= 64$	„ 14 „
$= 11,8$	$= 69$	„ 16 „
$= 10,8$	$= 80$	„ 20 „
$e = 1,24$	$f = 250$	

Für Naßdampf-Zwilling-Lokomotiven kann gesetzt werden

$$d_1' = 13,4 - \frac{d}{31,5} \text{ in kg/PSi-h.}$$

Die feuerberührte Verdampfungsheizfläche

ergibt sich zu

$$H_v = \frac{D_h}{b} \text{ in m}^2$$

wenn b = mittlere Heizflächenbelastung in kg/m²-h ist (d. h. die stündlich auf 1 m² feuerberührte wasserverdampfende Heizfläche im Durchschnitt erzeugte Dampfmenge in kg).

Die wasserberührte Verdampfungsheizfläche beträgt etwa $(1,08 \div 1,1) \cdot H_v$.

Mit der wasserberührten (nicht der feuerberührten) Heizfläche rechnet man im englischen wie auch im amerikanischen Lokomotivwesen. Ebenso gibt man im deutschen Lokomotivbau den Gepflogenheiten der Abnehmerkreise entsprechend die wasserberührte Heizfläche für die gängigen Typen von Bau-, Werk-, Industrie- und Feldbahnlokomotiven an (vergl. Seite 176/177).

Die Wertigkeit der Heizfläche nimmt mit der Entfernung vom Rost aus sehr stark ab. Die erzielbare Verdampfung hängt fast ausschließlich von der Größe der Rostfläche und der Ausbildung der Feuerbüchse ab. Allein 35 ÷ 40 % der erzeugten Dampfmenge werden von der Feuerbüchsheizfläche erzeugt. Auch eine geringfügige Vergrößerung der Feuerbüchsheizfläche — beispielsweise durch Wasserkammern — erhöht die mittlere rechnerische Heizflächenbelastung verhältnismäßig stark. Eine Vergrößerung der Heizfläche über das etwa 50fache der Rostfläche ist von nur geringem Einfluß auf die Dampferzeugung.

¹⁾ Siehe Organ f. d. Fortschritte d. Eisenbahnwesens 1931, S. 482.

²⁾ Siehe Organ f. d. Fortschritte d. Eisenbahnwesens 1940, S. 210 und 365 — Bundesbahn 1950, S. 87 — Meineke-Röhrs 1949, S. 70.

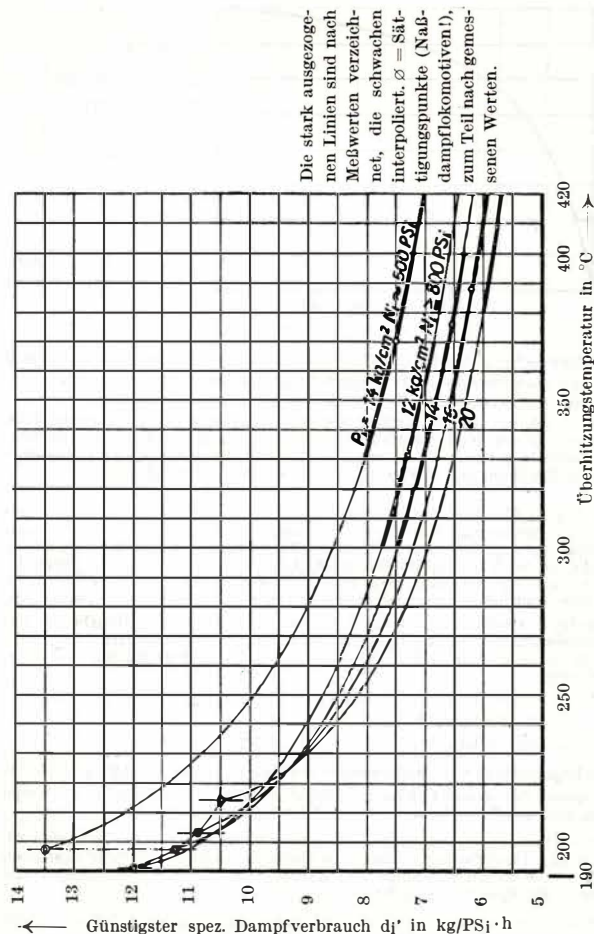


Bild 71. d_1' -Werte für Zwillinglokomotiven in Abhängigkeit von der Überhitzung

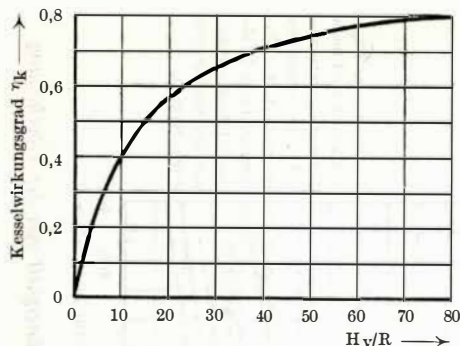


Bild 72. *Thermischer Kesselwirkungsgrad in Abhängigkeit von H_V/R*

Nach Meineke-Röhrs
1949, S. 23

Vergl. hierzu
Bild 73 u. 75

Amerikanische Versuche (vergl. S. 156) ergaben eine mittlere Belastung der *wasserberührten* Feuerbüchsheizfläche von 267 kg/m²·h der *wasserberührten* Rohrheizfläche von 48,6 kg/m²·h

Das Abnehmen der Wertigkeit der Heizfläche mit der Entfernung vom Rost kommt in der Wirkungsgradkurve über dem Verhältnis H_V/R zum Ausdruck. Übermäßig hohes H_V/R erfordert höheres Baugewicht, dem eine entsprechende Erhöhung des Wirkungsgrades *nicht* gegenübersteht.

Die *mittlere Heizflächenbelastung* b ist als ein für die Festlegung des Kessels wichtiger Rechnungswert aufzufassen. b ist unter sonst gleichen Voraussetzungen naturgemäß um so größer, je höher der Anteil der Feuerbüchsheizfläche (direkten Heizfläche) an der Verdampfungsheizfläche ist. Obere Grenze gegeben durch die Rücksicht auf die Schonung der Feuerbüchsenrohrwand, für die erfahrungsgemäß eine Rauchgastemperatur bis etwa 1240° C zuträglich ist (Seite 116). Man macht b zweckmäßigerweise abhängig vom Verhältnis Rohrheizfläche: Feuerbüchsheizfläche = H_R/H_b und kann für *Großlokomotiven* mit einer Rostgröße $R \geq 2$ m² und bei Vorwärmung des Speisewassers auf rd. 95° C zulassen etwa:

$$\begin{aligned} b &= 50 \div 54 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h} \text{ für } H_R/H_b \geq 11 \\ &= 57 \div 60 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h} &= 11 \div 9 \\ &= 65 \div 80 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h} &= 9 \div 7 \end{aligned}$$

Für Lokomotiven *ohne* Speisewasservorwärmer ist mit etwa 0,9 b zu rechnen. Bei diesen Belastungen bleiben die Erhaltungskosten der Kessel in tragbaren Grenzen, und das Kesselbaugewicht wird hinlänglich ausgenutzt.

Höhere Werte lassen sich auch im Dauerbetrieb erzielen (bis um 100 kg/m²·h), falls Rost und Feuerbüchse für das Verfeuern entsprechender Brennstoffmengen ausreichen. Sie gehen allerdings auf Kosten des Kesselwirkungsgrades und verstärken die Reparaturanfälligkeit.

Für *kleinere Lokomotiven* ($R < 2$ m²) entnehme man b der Zahlentafel 14.

Bei kleineren *Napfdampf*lokomotiven rechnet man je nach der Drehzahl (60 ÷ 240/min) mit 2,4 ÷ 4,0 PSi je m² *wasserberührter* Verdampfungsheizfläche.

Die nach obigen Darlegungen mögliche Heizflächenbelastung b setzt mindestens eine Treibrad-Umdrehung in der Sekunde voraus.

Für die Bemessung der **Feuerbüchsheizfläche** (direkte Heizfläche, Strahlungsheizfläche) H_b empfehlen C. Th. Müller und Klie¹⁾ eine spezifische Wärmebelastung der Feuerbüchsheizfläche zu

$$\frac{B_h \cdot H_u}{H_b} \leq 0,6 \cdot 10^6 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$$

mit B_h = verfeuerte Brennstoffmenge in kg/h
 H_u = unterer Heizwert des Brennstoffes in kcal/kg

somit
$$H_b \geq \frac{1,67}{10^6} B_h \cdot H_u = \frac{B_h \cdot H_u}{600000} \text{ in m}^2$$

Diese Regel gewährleistet größtmögliche Schonung des Kessels (Temperatur der Feuerbüchsenrohrwand nicht über etwa 1240° C, keine Gefahr des Rohrlaufens, keine unzulässigen Biegebungsbeanspruchungen der Stehbolzen). Sie trifft auf die vor 1950 entwickelten deutschen Einheitslokomotiven nicht zu (abgesehen von der Baureihe 50 bzw. 52). Diese werden daher im Betrieb stärker belastet, als es wünschenswert erscheint.²⁾

Für $H_R/H_b = 9 \div 7$ sei die Feuerbüchsheizfläche möglichst $H_b \sim 6$ R.

Von einer gewissen Grenze an — etwa für $H_R/H_b < 9$ — läßt sich das empfohlene H_b nur durch *besondere bauliche Maßnahmen* verwirklichen:

1. durch lange, schmale und möglichst tiefreichende Feuerbüchse, wie sie seinerzeit von Garbe verfochten wurde. Die Grenze dieser Bauart liegt bei etwa 3,5 m Rostlänge (längere Roste lassen sich von Hand kaum besichtigen!), entsprechend etwa $R = 3,5$ m² bei Regelspurlokomotiven,
2. durch Einbau einer Verbrennungskammer (Beispiel Bild 328). Vorteile: Große Strahlungsheizfläche, kürzere Heiz- und Rauchrohre. — Nachteile: Erhöhtes Baugewicht, zusätzliche Stehbolzen und Deckenanker.
3. durch Einbau von Wasserkammern (Thermosyphons). — Besserer Wasserumlauf, aber größere Empfindlichkeit hinsichtlich der Unterhaltung und hinderlich bei Arbeiten in der Feuerbüchse.
4. durch Einbau von Wasserumlaufrohren (zumeist nur als Auflager für die Feuerbrücke gedacht)

Der von *Strahl* eingeführte Begriff *Kesselanstrengung* (bzw. Rostanstrengung) bedeutet die stündlich auf 1 m² Rostfläche entwickelte Wärmemenge

$$A = \frac{B_h \cdot H_u}{R \cdot 10^6}$$

mit B_h = verfeuerte Brennstoffmenge in kg/h
 H_u = unterer Heizwert des Brennstoffes in kcal/kg

¹⁾ Vgl. in diesem Zusammenhang Klie in „Glaser's Annalen“ 1952, S. 47.

²⁾ Vgl. Widdecke in „Die Lokomotive“ 1941, S. 79.

Für deutsche Steinkohle mit 7000 kcal/kg Heizwert ergibt sich bei einer

Kesselanstrengung $A = 2 \quad 3 \quad 4 \quad 5 \quad 6$
eine Rostbelastung $B_h/R = 286 \quad 429 \quad 572 \quad 714 \quad 857 \text{ kg/m}^2\text{-h}$

Für Großlokomotiven ($R \geq 2 \text{ m}^2$) gilt: $A = 3$ als gute Dauerleistung
4 als größte Dauerleistung
5 als vorübergehende Höchstleistung

$A = 3 \div 4$ wird als Berechnungsgrundlage empfohlen, bei kleineren Lokomotiven lehne man sich an die Werte der nachfolgenden Zahlentafel an:

Rost- und Heizflächenbelastungen (Steinkohle von 7000 kcal/kg Heizwert). Zahlentafel 14

Rostfläche R m^2	H_V/R	Rostbelastung B_h/R $\text{kg/m}^2\text{-h}$	Heizflächenbelastung b $\text{kg/m}^2\text{-h}$
$\geq 2,0$	etwa 50 ÷ 55	etwa 500	nach S. 106
1,5	48 ÷ 52	450	etwa 52
1,0	46 ÷ 50	380	43
0,6	45 ÷ 47	300	37
0,4	40 ÷ 44	250	33
0,2	26 ÷ 30	200	26

Ein Stoker (siehe S. 188) ermöglicht Rostbelastungen bis etwa $1200 \text{ kg/m}^2\text{-h}$, allerdings auf Kosten des Kesselwirkungsgrades.

Die Größe der **Rostfläche**

ist gegeben durch

$$R = \frac{B_h}{B_h/R} \quad \text{in } \text{m}^2$$

Gilt R für westfälische Steinkohle von $H_u = 7000 \text{ kcal/kg}$ Heizwert, so kann man annehmen eine

Rostfläche $R' = 0,9 \quad R$ für Preßkohle, grobstückige Steinkohle, Koks
 $= 1,2 \quad R$ für feinkörnige Steinkohle, böhm. Hartbraunkohle
 $= 1,25 \quad R$ für Holz (ib. Mittelwert für gutes Holz). (S. hierzu ergänzende Bemerkung unten)
 $= 2,0 \quad R$ für Anthrazit und Staubkohle

Für Koksfeuerung wurde vielfach ausgeführt $H_V/R' \sim 80 \div 100$

Braunkohle erfordert individuelle Behandlung. H_V/R' schwankt je nach der Elgenart des Brennstoffes in den weiten Grenzen von etwa 25 ÷ 60

Bei Holzfeuerung unterschiedliche Verhältnisse je nach der Art des Holzes. Übliche Rostfläche $R' = 1,25 \quad R$. An sich braucht R gegenüber Kohlefeuerung nicht vergrößert zu werden, da Holz beliebig hoch schichtbar. Man achte aber auf möglichst großes Feuerbüschvolumen. — Bei $R' > R$ kann der Luftüberschuß zu groß werden. Zuweilen deckt man dann allseitig eine etwa 80 ÷ 150 mm breite Fläche des Rostes ab und schützt so die Feuerbüschwände vor Kaltluft.

Für gutes Holz (z. B. Birkenholz) gilt: $B_h/R' \leq 800 \text{ kg/m}^2\text{-h}$ Holz, höchstens $1000 \text{ kg/m}^2\text{-h}$ (entsprechend etwa $400 \text{ kg/m}^2\text{-h}$ bei Steinkohle)

Gleiche Dampferentwicklung bei 1 t Steinkohle wie bei 6 ÷ 7 m³ m³ Birkenholz

Luftüberschuß 3 ÷ 4 (bei Steinkohle etwa 1,3 ÷ 1,6).
 Erforderliche Luftmenge für 1 kg Holz etwa 3,86 m³
 1 kg Steinkohle etwa 8,75 m³.

Empfehlenswert: Luftgeschwindigkeit im Rost höchstens 6,5 m/sec

Freie Rostfläche $\sim 0,4 \quad R'$

Feine Rostspalten, damit gute Luftverteilung (vgl. Seite 112 unten)

Selbsttätige Rostbeschickung muß bei festen Brennstoffen vorgesehen werden wenn der stündliche Brennstoffverbrauch mehr als 2 ÷ 2,5 t beträgt (siehe S. 188: Stoker).

Über Ölfeuerung s. S. 235.

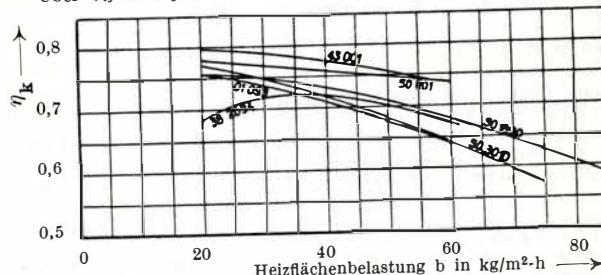


Bild 73. Kesselwirkungsgrade einiger Lokomotiven nach Reichsbahn-Versuchen 1928—1943

Lok 50 001 . . Blasrohrdurchmesser 155 mm 50 3010 . . ohne Vorwärmer
 50 1890 . . „ 150 mm

Der stündliche Brennstoffbedarf B_h läßt sich bei bekanntem D_h

ermitteln aus der Verdampfungsziffer¹⁾ $Z = \frac{D_h}{B_h} = \eta_k \cdot \frac{H_u}{i'' - t_w}$

$$\text{zu } B_h = \frac{D_h (i'' - t_w)}{\eta_k \cdot H_u} \quad \text{in kg/h}$$

mit i'' = Wärmeinhalte des Arbeitsdampfes in kcal (nach Dampftafel!)
 t_w = Speisewassertemperatur in °C
 η_k = Kesselwirkungsgrad
 $\sim 0,66$ für $b = 60 \text{ kg/m}^2\text{-h}$ bei Speisung durch Strahlpumpe
 $(t_w = 15^\circ\text{C})$
 $\sim 0,70$ für $b = 60 \text{ kg/m}^2\text{-h}$ bei Speisewasservorwärmg. auf 90°C .

1) Die Verdampfungsziffer Z gibt an, wieviel kg Dampf durch Verfeuern von 1 kg Brennstoff erzeugt werden kann.

Richtwerte $Z = 3$ für Holz $Z = 6 \div 9$ für Steinkohle
 $= 3 \div 4$ für Torf $= 10 \div 12$ für Öl
 $= 3,5 \div 5$ für Braunkohle

Der **Brennstoffverbrauch** je PS_{ih} kann für Steinkohle von etwa 7000 kcal/kg Heizwert bei üblichen Kesseldrücken und günstigster Geschwindigkeit im Mittel angenommen werden

zu $0,8 \div 1,0$ kg für Heißdampf-Verbund
 $0,9 \div 1,1$ kg für Heißdampf mit einfacher Dampfdehnung
 $1,2 \div 1,4$ kg für Naßdampf-Verbund
 $1,4 \div 1,8$ kg für Naßdampf mit einfacher Dampfdehnung. } genauere Ermittlung nach S. 109

Der Brennstoffverbrauch je PS_{gh} beträgt bei mittleren Geschwindigkeiten etwa das 1,25fache der auf PS_i bezogenen Werte.

Verbrauch an Steinkohlen für Vollbahnlokomotiven

beim Anheizen etwa 50 kg je m^3 Wasser im Kessel
 beim Anfahren des Zuges von 0 km/h bis Beharrungsgeschwindigkeit etwa $50 \div 90$ kg
 bei kleinen Verschiebewegungen einschl. Zwischenpausen auf Unterwegsbahnhöfen etwa $2,3 \div 3,6$ kg/min
 bei Aufenthalt über 15 min Dauer etwa 25 kg je m^2 Rostfläche u. Stunde
 bei Leerfahrt der Lokomotive etwa $5 \div 7$ kg/km.

Elne Einheitslokomotive der Deutschen Bundesbahn verbraucht im Mittel
 $11 \div 15$ kg Steinkohle je Lokomotiv-Kilometer
 $18 \div 20$ kg Steinkohlen je 1000 tkm Zuggewicht einschl. Lokomotive.

Kohlenverbrauch für Nebenleistungen (s. Wilh. Müller: Fahrdynamik 1940, S. 64):

Fahrt zum und vom Zug	$0,75 \cdot R$ kg/min	} (R = Rostfläche in m^2)
Für Verschiebedienst	$0,75 \cdot R$ kg/min	
Stillstand während der Zugfahrt und in fahrbereitem Zustand vor dem Zug	$0,6 \cdot R$ kg/min	
Hereitschaft	$0,20 \cdot R$ kg/min	
Ruhe im Feuer	$0,13 \cdot R$ kg/min	

Für Heißdampflokomotiven nimmt man die außen gemessene (feuerberührte) **Überhitzerheizfläche** — gerechnet bis zum Eintritt der Überhitzerrohre in die Rauchkammer —

$$\text{zu } H_{\bar{u}} = \left(\frac{1}{3} \div \frac{1}{2,2} \right) H_v \text{ in } m^2.$$

Kleinere Überhitzer (bis herunter zu etwa $\frac{1}{5,5} H_v$) finden sich zuweilen bei Lokomotiven amerikanischen Ursprungs und wirken hierbei mehr als eine Art Dampftrockner; man beschränkt in solchen Fällen die Überhitzerheizfläche zugunsten der Verdampfungsheizfläche, um die Lokomotiven auf gewissen Strecken stärker überlasten zu können.

Bei hoher Dampfüberhitzung kann mit etwa $7 m^2$ Überhitzerheizfläche je t stündlich erzeugten Dampfes gerechnet werden.

	Bei Überhitzung auf	250	300	400° C
beträgt die Ersparnis	an Wasser	etwa 25	35	45 %
	an Kohle	etwa 6	12	21 %

gegenüber Naßdampf von gleichem Druck.

Mit welcher Überhitzerheizfläche eine bestimmte Temperatur des Arbeitsdampfes erreicht werden kann, läßt sich *genau* lediglich auf Grund einer ausführlichen *Wärmeberechnung* ermitteln.

Lokomotiven ohne Vorwärmer (etwa $15^\circ C$ Speisewassertemperatur) erreichen unter sonst gleichen Bedingungen eine um rd. $30^\circ C$ höhere Überhitzung als solche mit Speisewasser von etwa $95^\circ C$, da der Überhitzer bei ihnen eine geringere Dampfmenge zu verarbeiten hat.

Einen Anhalt für die zweckmäßige Überhitzergröße gibt Bild 74.

Die Größe des Überhitzers ist von dem Verhältnis H_r/H_b abhängig. Der Überhitzer muß um so größer werden, je größer der Anteil der Feuerbüchsenheizfläche an der gesamten Verdampfungsheizfläche ist.

Die **Kesselrohre** erfüllen die Forderung günstigsten Wärmeüberganges und geringsten Strömungswiderstandes, wenn die

Rohrkennziffer $K = \frac{h}{Q} = \frac{4 l}{d}$ eingehalten ist, wobei
 Q = Rauchgasquerschnitt des Rohres (also abzüglich etwaiger Überhitzerrohr-Querschnitte)

h = von Gasen bespülte Wandfläche (Heizfläche) des Rohres.

l = Rohrlänge d = innerer Rohrdurchmesser

Es soll $\left\{ \begin{array}{l} \text{für Heizrohre } K_1 = 400 \div 450 \\ \text{für Rauchrohre } K_2 = 420 \div 470 \end{array} \right\}$ dann bei Heiz- und Rauchrohren etwa gleiche Abgastemperaturen sein

Abweichend hiervon ist aus konstruktiven Gründen

$K_3 \sim 250$ bei Kleinlokomotiven mit $l \leq 2500 \div 3000$ mm

Daten zum Bestimmen des zweckmäßigen Rohrdurchmessers auf Zahlen-tafel 15, Seite 113. Bei Rauchrohren muß jeder der mit Überhitzer-elementen verschieden stark besetzten Abschnitte gesondert behandelt werden.

(Rauchrohre = von Überhitzer-elementen besetzte Heizrohre.)

Über die Belastung der Kesselrohre amerikanischer Lokomotiven siehe S. 162

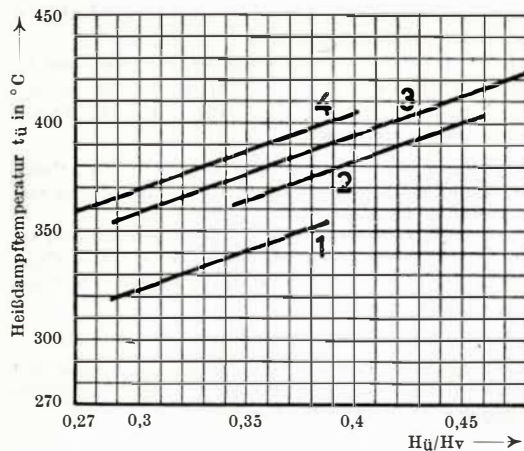


Bild 74. Näherungswerte für die erzielbare Überhitzung

- 1 Große Feuerbüchse ($H_T/H_b \sim 9$), mittlerer Abstand der Überhitzer-Umkehr-Enden von Feuerbüchsen-Rohrwand 700 mm, hohe Rauchrohr-Kennziffern, geringe Temperatur der Abgase aus den Rauchrohren
- 2 Feuerbüchse mit $H_T/H_b \sim 10$ ähnlich Fall 1, Umkehrenden-Abstand 350 mm, niedrigere Rauchrohr-Kennziffern als unter 1
- 3 Kleine Feuerbüchse ($H_T/H_b \sim 11,5 \div 13,5$), Umkehrenden-Abstand 500 mm
- 4 Wie 3, jedoch höhere Temperatur der Abgase aus den Rauchrohren

Bei Lokomotiven *ohne* Abdampfvorwärmer ist die Dampftemperatur um $25 \div 30^\circ \text{C}$ höher, als im Schaubild angegeben.

Hinweise für die bauliche Durchbildung des Kessels:

Es soll sein

die freie Rostfläche so groß, wie es die Eigenart des Brennstoffs zuläßt:

bei Steinkohle	0,25 $\div$ 0,5	der Rostfl., Rostspalten	10 $\div$ 13 mm breit
Braunkohle	0,2 $\div$ 0,3	der Rostfl., Rostspalten	6 $\div$ 8 mm breit
Koks	0,3 $\div$ 0,5	der Rostfl., Rostspalten	10 $\div$ 13 mm breit
Torf	0,14 $\div$ 0,2	der Rostfl., Rostspalten	10 $\div$ 15 mm breit
Holz	0,14 $\div$ 0,2	der Rostfl., Rostspalten	6 mm breit,
		üblich jedoch	8 $\div$ 15 mm breit

der gesamte von den Aschkastenklappen freigegebene Luftquerschnitt mindestens $1/3$ der Rostfläche

Zahlentafel 15

Zu Seite 111

Rohrquerschnitte und Rohrkenziffern									
Heizrohre u. unbesetzte Rauchrohre	Rohrbezeichnung	Heizfläche	Gasquerschnitt	Überhitzer		Überhitzerheizfläche		Rohrkenziffern K je lfd m	
				Überhitzerrohre im Gasquerschnitt des Rauchrohrs vollbesetzt mit II	Bezeichnung	vollbesetzt mit II (2 Überhitzer) cm^2	halbbesetzt mit II m^2	Heizrohr oder unbesetztes Rauchrohr I	Rauchrohr vollbesetzt mit II halbbesetzt mit III
				Anzahl					
38 x 2,5	0,1038	8,55						121,1	
44,5 x 2,5	0,124	12,25						101,0	
51 x 2,5	0,1445	16,6						87,0	
54 x 2,5	0,154	18,85						81,7	
60 x 3	0,1698	22,9						74,1	
63,5 x 3	0,1807	26,0						69,6	
70 x 2,5	0,204	33,2						61,5	
76 x 3	0,22	38,5						57,17	
79 x 3	0,2294	41,9						54,8	
108 x 3,75	0,316	79,4	4	25 x 3	59,7	69,5	0,3144	39,8	105,6
118 x 4	0,3455	95,0	4	30 x 3,5	66,72	80,86	0,3772	35,4	108,4
135 x 4	0,393	122,7	4	35 x 4	84,22	103,49	0,44	32,0	98,9
143 x 4,25	0,4225	142,1	4	38 x 4	77,3	100,0	0,4776	0,2388	112,2
152 x 4,25	0,451	162,0	4	38 x 4	96,6	119,3	0,4776	0,2388	93,1
171 x 4,5	0,509	206,0	4	38 x 4	116,6	139,3	0,4776	0,2388	79,6
185 x 5	0,55	240,5	6	30 x 3,5	163,58	—	0,5658	24,7	65,65
			6	30 x 3,5	197,58	—	0,5658	22,85	56,4

Kenziffer eines Rauchrohres = Summe der Kennziffern der einzelnen Rohrabschnitte I—III

Es soll sein

die Roststabbreite = 16 mm nach LON
 = 10 mm für flußeisener Roststäbe
 stark verbreitert, wenn die Brennzone hochgelegt werden soll, damit die Roststäbe kühl gehalten werden können, beispielsweise bei Anthrazit. Zuweilen wird in solchem Falle der Rost aus gelochten Platten gebildet

die Beziehung zwischen Rostfläche und Gasquerschnitt $R/q = 6,0 \div 7,5$ mit $R = \text{Rostfl. in m}^2$, $q = \text{ges. Gasquerschnitt in den Röhren in m}^2$
 die Feuerbüchseheizfläche $\frac{1}{7} \div \frac{1}{12}$ der Rohrheizfläche
 der Wassersteg zwischen den Röhren mindestens 16, möglichst 20 mm
 der Dampfraum im Kessel gleich dem $20 \div 22$ fachen Inhalt eines Zwillings-Zylinders, oder für

kleine Naßdampfkessel	~ $\frac{5500}{H_v + 250}$	} in Liter je m ² fb. Verdampfungsheizfläche
große Naßdampfkessel	~ $\frac{8000}{H_v + 500}$	
	~ $\frac{6000}{H_v + 200}$	
Heißdampfkessel	~ $\frac{6000}{H_v + 200}$	

die vom Dampfraum beanspruchte Sehhöhe im Langkesselquerschnitt etwa $\frac{1}{4}$ des Kesseldurchmessers bei niedrigstem, etwa $\frac{1}{8}$ bei höchstem Wasserstand

der Unterschied zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wasserstand (Höhe des Speiseraumes) $120 \div 180$ mm

die Größe der Verdampfungsoberfläche in % der m²-Größe der fb. Verdampfungsoberfläche mindestens

$3,7 \frac{H_v + 50}{H_v + 6}$ für Naßdampfkessel

$3,3 \frac{H_v + 110}{H_v + 10}$ für Heißdampfkessel

die Beanspruchung der Verdampfungsoberfl. $750 \div 1000$ kg Dampf/m²-h der Wasserraum in l je m² fb. Verdampfungsoberfläche

etwa $31 + \frac{120}{H_v}$ für kleine Naßdampfkessel

etwa $33 + \frac{250}{H_v}$ für große Naßdampfkessel

etwa $37 + \frac{400}{H_v}$ für Heißdampfkessel

die Feuerbüchse (Krebstiefe) für langflämmigen Brennstoff (deutsche Steinkohle, Holz, Torf) mindestens 500 mm

kurzflämmigen Brennstoff (Anthrazit, Staubkohle, Braunkohle, feine Steinkohle) mindestens 200, möglichst $250 \div 500$ mm
 Koks (möglichst auch für Holz) mindestens 700 mm

der Abstand der Überhitzer-Umkehrenden von der Feuerbüchsenwand etwa $400 \div 700$ mm, bei Verbrennungskammer bis herunter zu etwa 200 mm

die Dauerleistung des Heizers höchstens 2 t Kohlen/Stunde, darüber hinaus ist der Einbau eines Stokers erforderlich (siehe S. 188).

Auf den Stehkessel entfallen etwa $60 \div 95$ l Wasser je m² Feuerbüchseheizfläche.

Der niedrigste Wasserstand liegt nach § 3 der „Allg. poliz. Best.“ 100 mm über Feuerbüchsedecke.

Die Kesseldruckprobe muß nach BO § 43 (9) bei Kesseln mit einem Probedruck von 1,3 p, mindestens aber (p + 5) atü vorgenommen werden, wenn p = zulässiger Kesseldruck.

Für Lokomotiven, die nicht der Aufsicht der Deutschen Bundesbahn unterstehen, ist gemäß den „Allgemeinen polizeilichen Bestimmungen über die Anlegung von Landdampfkesseln“ nach dem Stand vom 31. 12. 1944 mit einem Probedruck von 1,3 p, mindestens aber mit (p + 1) atü zu rechnen, sofern keine Sonderbestimmungen vorliegen.

Zweckmäßige Schütthöhe auf dem Rost (Brennschichthöhe) von

Anthrazit	70 ÷ 80 mm
Steinkohle	90 ÷ 130 mm
Deutscher Braunkohle	200 ÷ 300 mm
Holz	300 ÷ 600 mm

Die Höhenlage des Lokomotivkessels innerhalb der baulich möglichen Grenzen beeinflusst die Standsicherheit der Lokomotive bei den bisher üblichen Geschwindigkeiten nicht wesentlich. Hohe Kessellage wirkt günstig auf die Ruhe des Lokomotivlaufes ein, beschränkt aber die Fahrgeschwindigkeit in Gleisbögen.

Ausgeführte Lokomotiven „höchster Kessellage“ Zahlentafel 16

Spur S mm	Bauart	Bahn	Höchst- geschw. km/h	Kesselmitte über SO h in mm	$\frac{h}{S}$	Erstes Baujahr
600	1 D 1 + Tender	Südafrikan. Staatsb.	30	1750	2,92	1912
750	1 E 1 - Tenderlok.	Deutsche Reichsbahn	30	2100	2,8	1928
1000	2 C 1 - Drill.-Schnellzuglok.	Siamesische Staatsb.	80	2560	2,56	1928
1000	1 E 2	Araraquara-Bahn (Brasilien)	80	2700	2,70	1938
1067	1 B 1 - Tenderlok.	Deli-Bahn (Indonesien)	68	2700	2,53	1928
1067	2 C 1 class 16 E	Südafrikan. Staatsb.	113	2819	2,63	1935
1435	1 C 1 P-Lok., Reihe 23	Deutsche Bundesbahn	120	3250	2,27	1950
1435	1 D 2 - Schnellzuglok.	Österr. Bundesbahn	110	3400	2,37	1928
1524	2 G 2 Klasse AR	Russische Staatsbahn	60	3650	2,38	1935

Zur Ermittlung der Wärmeübertragung im Kessel und der Heißdampf Temperatur

Zum Verbrennen von 1 kg Steinkohle sind erforderlich etwa $11 \text{ kg} = 9 \text{ Nm}^3$ Frischluft.

Auf 1 kg Steinkohle kommt eine Rauchgasmenge von etwa $13 \div 14 \text{ kg} = 10,8 \div 11,7 \text{ Nm}^3$.

Der Luftüberschuß der Feuerung beträgt $30 \div 70 \%$ der zum Verbrennen theoretisch erforderlichen Luftmenge.

Es beträgt bei Verbrennung von Steinkohle

die Rosttemperatur (Feuerbett-Temperatur) und die Temperatur unmittelbar über dem Rost zwischen 1300 und 1500°C (Einfluß der Strahlung)

die Temperatur im Feuerraum $1100 \div 1500^\circ \text{C}$

die Temperatur der Rauchgase an der Rauchkammerrohrwand in Abhängigkeit von der Heizflächenbelastung $320 \div 420^\circ \text{C}$

der Unterdruck im Aschkasten $5 \div 20 \text{ mm WS}$. (Er sollte sein möglichst 0 mm WS)

der Unterdruck im Feuerraum nahe der Feuerbüchse-Rohrwand $25 \div 65 \text{ mm WS}$

der Unterdruck in der Rauchkammer 70 bis 130 mm WS (bis zu 400 mm WS versuchsweise bei französischen Lok um Rostbelastungen von etwa $1000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ zu erreichen),

die mittlere Dampfgeschwindigkeit in den Überhitzerrohren etwa $20 \div 22 \text{ m/sec}$

die mittlere Rauchgasgeschwindigkeit in den Rohren etwa $30 \div 40 \text{ m/sec}$

die Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten $4 \div 6 \text{ m/sec}$

der Wandungsdruck des Dampfes im Blasrohrkopf bis zu etwa $0,2 \text{ at}$.

Wegen der Vielzahl der Einflüsse läßt sich die Heißdampf Temperatur an Hand von Vergleichswerten nur angenähert beurteilen. Genauere Ergebnisse setzen eine exakte Wärmeübertragungsrechnung voraus, die alle Einzelheiten genauer zu erfassen gestattet. Dabei ist zu beachten:

1. Verbrennung auf dem Rost

Verbrennungsverluste abhängig von der Rostanstrengung. Mittlere Werte Bild 78.

Luftüberschuß in den Grenzen von $1,2 \div 1,8$ schwankend, kleinere Werte bei hoher Rostanstrengung.

Brenntemperatur der Kohle auf dem Rost abhängig von Heizwert und Gehalt der Kohle an flüchtigen Bestandteilen, Luftüberschuß, Feuerbüchseheizfläche sowie Größe und Lage des Feuerschirmes.

Da auf dem Rost nur ein Teil des Wärmeinhaltes der Kohle frei wird und außerdem Wärme abgestrahlt wird, bleibt die Rost-Temperatur weit unter der theoretischen Höchsttemperatur.

2. Wärmeübergang in der Feuerbüchse

Temperatur der Gase in der Feuerbüchse nicht konstant, sondern zunächst entsprechend dem Verbrennen der flüchtigen Bestandteile zunehmend, erst im letzten Teil des Weges der Gase durch die Feuerbüchse abnehmend.

Temperatur der Gase an der Feuerbüchse-Rohrwand von der Summe der vorstehend genannten Einflüsse abhängig. Durchschnittswerte ergeben die Gleichungen von Syromjatnikoff

$$t_e = 670 \left(\frac{B_h \cdot H_u}{10^6 H_b} \right)^{0,3} - 100 \left(\frac{B_h \cdot H_u}{10^6 H_b} \right)^3$$

$$\text{und Klie} - \text{C. Th. Müller} \quad t_e = 1416 \left(\frac{A \cdot R}{H_b} \cdot \tau_f \right)^{0,228}$$

In den Gleichungen ist nicht berücksichtigt der Luftüberschuß und der Gehalt der Kohle an flüchtigen Bestandteilen. Sie gelten daher nur für bestimmten Luftüberschuß (etwa $1,35 - 1,45$) und normale Kohlsorten.

Gesamte in der Feuerbüchse übertragene Wärme gegeben durch

$$Q_F = B_h \cdot H_u \cdot \tau_f - Q_{\text{Str}} - G \cdot c_p \cdot t_e$$

Q_{Str} = Verlust durch Strahlung in den Aschkasten $\approx 2 \%$ der aufgewandten Wärmemenge, G = Gasgewicht in kg/h

τ_f = Wirkungsgrad der Feuerung (Verbrennung)

Rauchgasgewicht nach Bild 80 (Steinkohle) und Bild 81 (flüssige Brennstoffe) unter Berücksichtigung der Verluste an Unverbranntem (Kohlenstoffgehalt von Asche und Schlacke, Rauchkammerlösch, Funkenauswurf).

Verteilung der Rauchgase auf Heiz- und Rauchrohre abhängig vom Querschnittsverhältnis, den Strömungswiderständen in den Rohren und dem Druckunterschied zwischen Feuerbüchse und Rauchkammer.

Dieser Druckunterschied ist, bedingt durch die Stellung des Feuerschirmes und die Strömung der Gase um den Feuerschirm, oft für den oberen und unteren Teil der Rohrwand verschieden, so daß er bei der Bestimmung der Gasverteilung berücksichtigt werden muß.

3. Wärmeübertragung in den Heiz- und Rauchrohren

Während in der Feuerbüchse der Hauptanteil der Wärme durch die Strahlung der leuchtenden Flamme, der Gase und der glühenden Kohle auf dem Rost übertragen wird, ist die Gasstrahlung in den Rohren wegen ihrer Abhängigkeit von der Schichtdicke nur gering und nur in den nicht von Überhitzerrohren besetzten Rauchrohren von Einfluß. In den Rohren erfolgt die Wärmeübertragung in der Hauptsache durch Konvektion.

Wärmeübergangszahl zwischen Gas und Rohrwand abhängig von Gasgeschwindigkeit, Gastemperatur und Rohrdurchmesser.

Die von Schack aus einer Vielzahl von Versuchen entwickelten Gleichungen

$$\text{ergeben } \alpha_1 = (3,6 + 0,002 t) \frac{w_0^{0,75}}{d^{0,25}}$$

mit t = mittlere Gastemperatur im Rohr in $^\circ \text{C}$

w_0 = Gasgeschwindigkeit in m/sec , bezogen auf Normalzustand von 0°C und 760 mm QS .

Die Formeln anderer Forscher geben zum Teil abweichende Werte an.

Da d im Nenner steht, geben also kurze Kessel mit engen Rohren bessere Ergebnisse als lange Kessel mit weiteren Rohren. Für gleiche Ein- und Austrittstemperatur und gleiche Gasgeschwindigkeit erfordern weite Rohre eine etwas größere Heizfläche bzw. größere Rohrkenzziffern als engere Rohre.

$$\text{Wärmedurchgangszahl } k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Es ist δ Wandstärke des Rohres bzw. des Kesselstein- oder Rußbelages in mm.

Der Ausdruck $\sum \frac{\delta}{\lambda}$ erfährt den Wärmedurchgang durch die Rohrwand und den Ruß- und Kesselsteinbelag.

$$\text{Wärmeleitzahl } \lambda \begin{cases} \text{für Stahl} & 45\,000 \\ \text{Kesselstein} & 100 \div 2000 \text{ je nach Zusammensetzung} \\ \text{Ruß} & 100 \end{cases}$$

Da λ für Kesselstein und Ruß viel kleiner als für Stahl ist, so haben die Verunreinigungen großen Einfluß auf den Wärmedurchgang.

Die **Wärmeübergangszahl** α_2 zwischen Rohr und siedendem Wasser ist groß gegen α_1 , so daß der Wärmedurchgang im Wesentlichen durch α_1 (Gasgeschwindigkeit) und die Verunreinigungen der Rohroberfläche bedingt ist. Der obige Ausdruck für die Wärmedurchgangszahl k wird daher zweckmäßig dadurch ersetzt, daß man α_1 mit einem sogen. „Verunreinigungsfaktor“ β multipliziert. Es wird dann $k = \beta \cdot \alpha_1 = (0,9 \div 0,95) \alpha_1$

Zur Berücksichtigung der **Wärmeabstrahlung der Kesseloberfläche** ist von der gesamten, durch die Verdampfungsheizfläche übertragenen Wärmemenge ein Abzug vorzunehmen, der bei **voller Kesselanstrengung** je nach Fahrgeschwindigkeit etwa 1-1,5 % der aufgewendeten Wärmemenge $B_h \cdot H_u$ beträgt. Die abgestrahlte Wärmemenge ist unabhängig von der Kesselanstrengung, so daß der Anteil von $B_h \cdot H_u$ bei geringerer Kesselanstrengung wächst.

4. Dampferzeugung

Die Dampferzeugung des Kessels ergibt sich aus

$$D = \frac{Q}{i'' - t_w}$$

mit t_w = Speisewassertemperatur in °C
und i'' = Wärmeinhalte des Sattdampfes in kcal/kg

Für i'' ist ein Dampfgehalt von 0,97 bis 0,98 anzunehmen. Nur in Ausnahmefällen tritt größere Dampf Feuchtigkeit auf.

5. Überhitzung

Die **Heißdampf Temperatur** erhält man als abschließendes Ergebnis, indem die im Überhitzer erzielte Wärmehaltssteigerung ($i - i''$) zum Wärmehalt des Sattdampfes hinzuaddiert wird; die zu dem so gefundenen Wärmehalt i des Heißdampfes zugehörige Dampftemperatur wird am besten aus dem i -s-Diagramm ermittelt (s. S. 408).

6. Wärmebilanz

Durch Aufstellung einer **Wärmebilanz** am Schluß der Rechnung kann überprüft werden, ob die ermittelten Abgastemperaturen den übertragenen Wärmemengen entsprechen. Für den Langkessel muß die den Rauchgasen entzogene Wärmemenge gleich der von den Heizflächen aufgenommenen Wärmemenge sein.

Daten zur Wärmeberechnung des Kessels

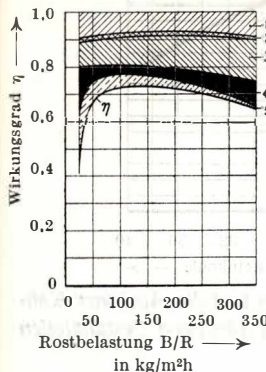


Bild 75. Kesselverluste

Nach Meineke-Röhrs, 1949, S. 24

- Fläche 1 Verlust durch Unverbranntes
- „ 2 Verlust durch unvollständige Verbrennung
- „ 3 Abhitze-Verluste
- „ 4 Strahlungs-, Aschkasten-, Funken-Verluste
- „ 5 Abkühlungs-Verluste

η = Kesselwirkungsgrad

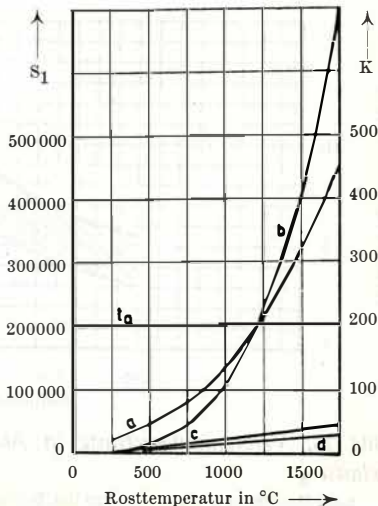
Kesselanstrengung $A = 3$

Bild 76

Bild 76. Wärmeübergang durch Strahlung und Leitung in Abhängigkeit von der Rosttemperatur

Aus „Hanomag-Nachrichten“ 1924, S. 200

- a = Linie des Wärmedurchgangs für Strahlung K in kcal/m²-h
- b = Linie des Wärmeübergangs durch Strahlung S_1 in kcal/m²-h, bezogen auf die Kesselheizfläche
- c = Wärmeübergang bei reiner Berührung für $K = 30$ in kcal/m²-h
- d = Wärmeübergang bei reiner Berührung für $K = 20$ in kcal/m²-h
- t_a = Wandtemperatur des Kessels



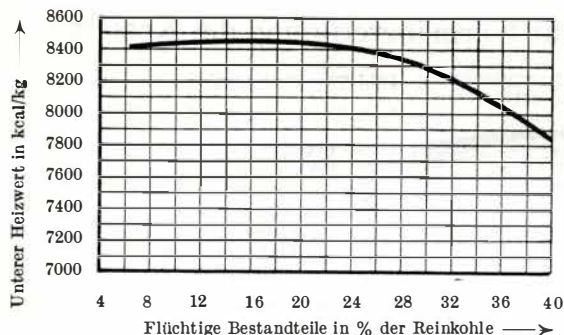


Bild 77. Untere Heizwerte der Ruhrkohlen und der Aachener Kohlen in Abhängigkeit von ihrem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen

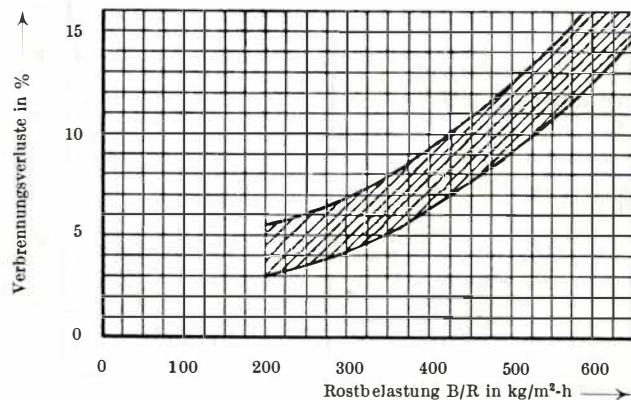


Bild 78. Verbrennungsverluste in Abhängigkeit von der Rostbelastung

nach Messungen an Lokomotiven der Deutschen Bundesbahn

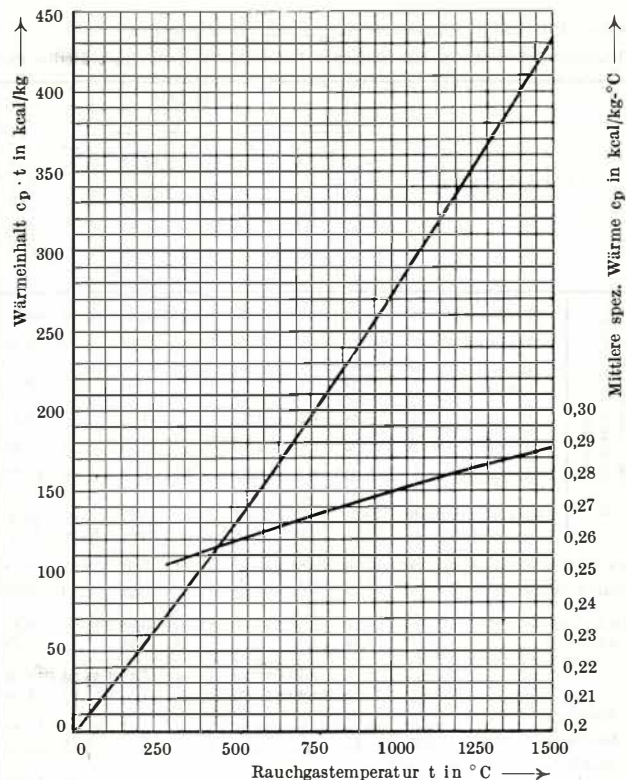


Bild 79. Mittlere spez. Wärme und Wärmeinhalt der Rauchgase von Westfälischer Steinkohle

Gültig für 1,3 bis 1,5 fachen Luftüberschuß und 6 bis 13,5 % Verlust an Unverbranntem, wobei der größere Verlust geringerem Luftüberschuß zugeordnet ist. Verbrennungsluft 0,6 Gewichtsprozent Feuchtigkeit. (Spez. Wärmen nach D. D. Wagman Res. Pap. 1634 / Febr. 1945. — BWK 1950, Heft 6 und 7, Arbeitsblatt 46).

Daten zum Verbrennungsvorgang nach Brückmann:

„Heißdampflokomotiven mit einfacher Dehnung des Dampfes“, Berlin und

Wiesbaden: C. W. Kreidels Verlag 1920, S. 635

Zahlentafel 17

Art des Heizstoffes			Steinkohle						
			1	2	3	4	5	6	7
			Westfälischer Anthrazit	Steinkohlen-Ziegel	Westfälische Kohle	Schlesische Kohle	Gemäßte backende Gruskohle	Belgische Gruskohle	Schantung-Fangese-Kohle
100 Gewichtsteile luftgetrockneten Heizstoffes enthalten:	Kohlenstoff . C		85,42	82,0	80,0	75,0	67,08	67,90	64,97
	Wasserstoff . H		3,82	4,2	4,7	5,0	5,00	4,55	3,89
	Sauer- und Stick-Stoff $\left\{ \begin{matrix} O \\ N \end{matrix} \right.$		4,68	3,7	6,0	10,0	3,33	10,35	5,58
	Schwefel . S		1,23	1,2	1,5	1,0	1,25	—	0,99
	Aufges. Wasser W		0,95	1,7	1,3	2,5	18,34	1,20	5,80
	Asche . . .		3,90	7,2	6,5	6,5	5,00	16,00	18,77
	Heizwert: Bombe h_c n. Verbdsformel h_v		7975 7882	7750 7746	7650 7655	7100 7162	6610 6684	6500 6438	6224 6157
Zur vollk. Verbrenng. nötige rechn. Luftmg.		L_{k1} kg I_{k1} m ³	10,04 8,49	10,81 8,32	10,67 8,20	10,00 7,69	9,38 7,22	8,97 6,89	8,66 6,66
Rechn. Rauchgasmenge	n = 1	kg m ³	12,19 8,98	11,90 8,80	11,86 8,80	11,36 8,48	10,48 7,93	10,25 7,65	10,17 8,23
	n = 1,5	kg m ³	17,31 13,23	17,30 12,96	17,19 12,90	16,36 12,33	15,17 11,54	14,74 11,09	14,50 11,56
	n = 1,6	kg m ³	18,31 14,08	18,38 13,79	18,26 13,72	17,36 13,09	16,11 12,26	15,63 11,78	15,37 12,23
	n = 1,7	kg m ³	19,52 14,92	19,47 14,62	19,33 14,54	18,36 13,86	17,05 12,98	16,76 12,47	16,23 12,89
Verbrennungs-Wärme T_0 für $\eta \cdot h_c$	$\eta = 1$ $\eta = 0,88$	n = 1 n = 1	2809 2472	2784 2450	2745 2416	2575 2266	2476 2178	2642 2372	2713 2388
	$\eta = 0,88$	n = 1,5 n = 1,6 n = 1,7	1740 1643 1556	1676 1576 1488	1660 1563 1475	1584 1494 1413	1536 1451 1374	1622 1529 1447	1647 1551 1466

Braunkohle					Holz		Erdöl			
8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Oberlayerische Molasse-Kohle	Serbische Segne-Kohle	Braunkohlen-Ziegel	Böhmische	Sächsische	Quebracho	Kiefern	Blauöl von Peime	Naphtha-Rückstände von Baku	Naphtha-Rückstände von Java, Langkat	Naphtha-Rückstände von Baku
53,0	59,47	52,0	47,72	45,40	47,97	40,5	85,53	87,1	87,59	86,30
4,0	3,94	4,3	4,20	3,73	5,08	5,0	11,40	11,7	11,66	13,60
12,0	20,69	16,0	8,87	10,72	37,51	34,0	—	1,2	0,28	0,10
5,0	—	2,0	0,32	3,59	—	—	—	—	0,23	—
9,0	13,00	17,0	24,79	29,27	8,22	20,0	—	—	0,15	—
17,0	2,90	8,7	14,10	7,29	1,22	0,5	0,07	—	0,09	—
5200 5089	5081 5132	4800 4827	4425 4620	4319 4321	4500 3949	3950 3378	10006 10234	10220 10405	10383 10472	11460 10930
7,20	7,33	6,79	6,59	6,22	5,67	4,94	14,06	14,06	14,15	14,67
5,54	5,64	5,23	5,07	4,57	4,36	3,80	10,81	10,81	10,88	11,28
8,55 6,41	9,20 6,92	8,49 6,45	7,83 6,02	7,61 5,84	8,29 6,32	7,40 5,74	14,79 11,37	15,10 11,62	15,11 11,66	15,67 12,34
15,03 11,39	12,86 9,74	11,89 9,07	11,12 8,55	10,71 8,24	11,12 7,63	9,87 7,64	21,82 16,77	22,13 17,02	22,18 17,09	23,01 17,78
17,19 13,05	13,60 10,30	12,57 9,59	11,78 9,06	11,33 8,71	11,69 8,06	10,36 8,02	23,23 17,86	23,54 18,10	23,60 18,18	24,47 19,01
13,59 10,29	14,33 10,87	13,24 10,11	12,44 9,57	11,96 9,04	12,26 9,37	10,86 8,40	24,63 18,94	24,94 19,19	25,02 19,28	25,94 20,03
2568 2259	2310 2032	2335 2055	2296 2020	2306 2029	2241 1972	2146 1889	2351 für $\eta = 1$ und $n = 1,4$ u. $1,5$ u. $1,6$	2348	2359	2376
1589 1499 1418	1456 1378 1308	1475 1397 1326	1437 1358 1288	1454 1377 1307	1476 1406 1342	1432 1366 1306	1739 1633 1538	1746 1647 1547	1752 1646 1553	1769 1661 1567

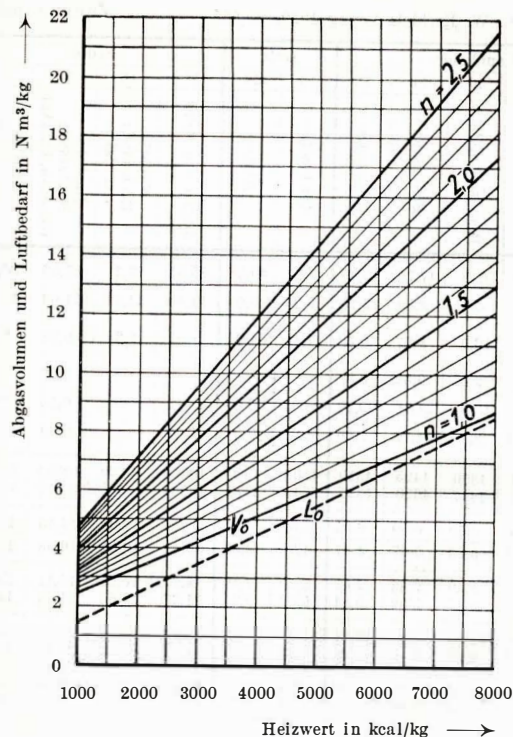


Bild 80. Abgasvolumen und Luftbedarf für **feste** Brennstoffe
nach Rosin und Fehling
Erläuterungen unter nebenstehendem Bild 81

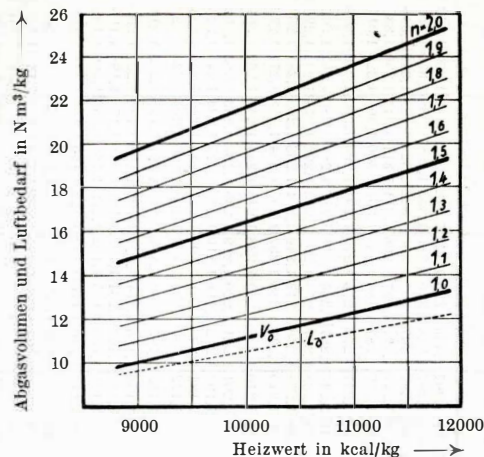


Bild 81. Abgasvolumen und Luftbedarf für **flüssige** Brennstoffe
Nach Rosin und Fehling: „Das Jt-Diagramm der Verbrennung“

1 N m^3 = 1 Normal-Kubikmeter nach DIN 1871 = 1 m^3 bei 0°C
und 760 mm QS = 10,33 m WS

L_0 = Luftbedarf } bei der nur theoretisch denkbaren Verbrennung
 V_0 = Abgasvolumen } ohne Luftüberschuß ($n = 1,0$)

Bei praktischen Verbrennungsvorgängen beträgt das tatsächliche Abgasvolumen $V_0 + (n - 1) \cdot L_0$ (in Bild 80 und 81 verzeichnet für Luftüberschüsse von 150 bzw. 100 %).

Das Luftgewicht in kg/m³ in Abhängigkeit von Feuchtigkeit und Barometerstand

(Aus „Regeln für Leistungsversuche an Ventilatoren und Kompressoren“, VDI-Verlag 1929)

Zahlentafel 18

Temperatur des trockenen Thermo- meters	720 mm QS				730 mm QS				740 mm QS				750 mm QS				760 mm QS				770 mm QS			
	relat. Feuchtigk.		relat. Feuchtigk.		relat. Feuchtigk.		relat. Feuchtigk.		relat. Feuchtigk.		relat. Feuchtigk.		relat. Feuchtigk.		relat. Feuchtigk.		relat. Feuchtigk.		relat. Feuchtigk.		relat. Feuchtigk.		relat. Feuchtigk.	
	60	80	100	%	60	80	100	%	60	80	100	%	60	80	100	%	60	80	100	%	60	80	100	%
— 10	1,271	1,271	1,271	1,289	1,289	1,289	1,289	1,289	1,307	1,307	1,307	1,325	1,325	1,325	1,342	1,342	1,360	1,360	1,360	1,360	1,360	1,360	1,360	1,360
— 8	1,261	1,261	1,261	1,279	1,279	1,279	1,279	1,279	1,297	1,297	1,297	1,315	1,315	1,315	1,332	1,332	1,350	1,350	1,350	1,350	1,350	1,350	1,350	1,350
— 6	1,252	1,252	1,252	1,270	1,270	1,270	1,270	1,270	1,288	1,288	1,288	1,306	1,306	1,306	1,322	1,322	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340	1,340
— 4	1,243	1,243	1,243	1,260	1,260	1,260	1,260	1,260	1,278	1,278	1,278	1,296	1,296	1,296	1,311	1,311	1,330	1,330	1,330	1,330	1,330	1,330	1,330	1,330
— 2	1,234	1,233	1,232	1,251	1,250	1,250	1,250	1,250	1,268	1,268	1,267	1,285	1,285	1,285	1,301	1,300	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320	1,320
± 0	1,225	1,224	1,223	1,242	1,241	1,240	1,240	1,240	1,258	1,257	1,257	1,276	1,275	1,275	1,291	1,290	1,310	1,310	1,310	1,310	1,310	1,310	1,310	1,310
± 2	1,216	1,215	1,214	1,233	1,232	1,231	1,231	1,231	1,249	1,248	1,247	1,266	1,265	1,265	1,282	1,281	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300	1,300
± 4	1,207	1,206	1,205	1,224	1,223	1,222	1,222	1,222	1,240	1,239	1,238	1,257	1,256	1,256	1,273	1,272	1,291	1,290	1,290	1,290	1,290	1,290	1,290	1,290
± 6	1,198	1,197	1,196	1,215	1,214	1,213	1,213	1,213	1,231	1,230	1,229	1,248	1,247	1,246	1,264	1,263	1,282	1,281	1,281	1,281	1,281	1,281	1,281	1,281
± 8	1,189	1,188	1,187	1,205	1,204	1,203	1,203	1,203	1,221	1,220	1,219	1,239	1,237	1,237	1,255	1,254	1,273	1,272	1,272	1,272	1,272	1,272	1,272	1,272
± 10	1,180	1,179	1,178	1,196	1,195	1,194	1,194	1,194	1,212	1,211	1,210	1,230	1,229	1,228	1,245	1,244	1,263	1,262	1,262	1,262	1,262	1,262	1,262	1,262
± 12	1,172	1,170	1,169	1,187	1,186	1,185	1,185	1,185	1,203	1,202	1,201	1,221	1,220	1,219	1,235	1,234	1,253	1,252	1,252	1,252	1,252	1,252	1,252	1,252
± 14	1,163	1,161	1,160	1,178	1,177	1,176	1,176	1,176	1,194	1,193	1,192	1,212	1,211	1,210	1,226	1,225	1,244	1,243	1,243	1,243	1,243	1,243	1,243	1,243
± 16	1,154	1,152	1,151	1,169	1,168	1,167	1,167	1,167	1,185	1,183	1,181	1,203	1,201	1,199	1,217	1,215	1,235	1,233	1,233	1,233	1,233	1,233	1,233	1,233
± 18	1,145	1,143	1,141	1,161	1,159	1,157	1,157	1,157	1,176	1,174	1,172	1,194	1,192	1,190	1,208	1,206	1,225	1,223	1,223	1,223	1,223	1,223	1,223	1,223
± 20	1,136	1,134	1,132	1,152	1,150	1,148	1,148	1,148	1,167	1,165	1,163	1,185	1,183	1,181	1,199	1,197	1,216	1,214	1,214	1,214	1,214	1,214	1,214	1,214
± 22	1,127	1,125	1,123	1,143	1,141	1,139	1,139	1,139	1,158	1,156	1,154	1,176	1,174	1,172	1,190	1,188	1,207	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205	1,205
± 24	1,118	1,116	1,114	1,134	1,132	1,130	1,130	1,130	1,149	1,147	1,144	1,167	1,164	1,162	1,181	1,178	1,197	1,195	1,195	1,195	1,195	1,195	1,195	1,195
± 26	1,110	1,107	1,104	1,125	1,123	1,121	1,121	1,121	1,140	1,138	1,135	1,158	1,155	1,152	1,172	1,169	1,188	1,186	1,186	1,186	1,186	1,186	1,186	1,186
± 30	1,094	1,090	1,087	1,109	1,105	1,101	1,101	1,101	1,120	1,118	1,116	1,140	1,136	1,132	1,154	1,150	1,169	1,167	1,167	1,167	1,167	1,167	1,167	1,167
± 34	1,077	1,072	1,068	1,092	1,087	1,082	1,082	1,082	1,101	1,102	1,097	1,122	1,117	1,112	1,136	1,131	1,150	1,148	1,148	1,148	1,148	1,148	1,148	1,148
± 38	1,059	1,053	1,047	1,071	1,066	1,062	1,062	1,062	1,080	1,084	1,078	1,104	1,098	1,092	1,118	1,112	1,131	1,129	1,129	1,129	1,129	1,129	1,129	1,129
± 42	1,041	1,034	1,027	1,056	1,049	1,042	1,042	1,042	1,060	1,065	1,058	1,086	1,079	1,072	1,100	1,093	1,112	1,110	1,110	1,110	1,110	1,110	1,110	1,110
± 46	1,023	1,015	1,007	1,039	1,030	1,022	1,022	1,022	1,042	1,046	1,038	1,068	1,060	1,052	1,082	1,074	1,093	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091
± 50	1,005	0,995	0,985	1,020	1,010	1,000	1,000	1,000	1,020	1,025	1,015	1,050	1,040	1,030	1,064	1,054	1,073	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071	1,071

Tafel des **gesättigten** Wasserdampfes
nach den VDI-Wasserdampf-Tabellen 1941

1-s-Diagramm S. 408

Zahlentafel 19

Dampfdruck absolut ata kg/cm ²	Temperatur t °C	Flüssigkeits- wärme i' kcal/kg	Ver- dampfungs- wärme r kcal/kg	Rauminhalt v'' m ³ /kg	Spez. Gewicht γ'' kg/m ³
1	99,09	99,12	539,4	1,725	0,5797
2	119,62	119,87	525,9	0,9016	1,109
3	132,88	133,4	516,9	0,6166	1,622
4	142,92	143,6	509,8	0,4706	2,125
5	151,11	152,1	503,7	0,3816	2,621
6	158,08	159,3	498,5	0,3213	3,112
7	164,17	165,0	493,8	0,2778	3,600
8	169,61	171,3	489,5	0,2448	4,085
9	174,53	176,4	485,6	0,2189	4,568
10	179,04	181,2	481,8	0,1981	5,049
11	183,20	185,6	478,3	0,1808	5,530
12	187,08	189,7	475,0	0,1664	6,010
13	190,71	193,5	471,9	0,1541	6,488
14	194,13	197,1	468,9	0,1435	6,967
15	197,36	200,6	466,0	0,1343	7,446
16	200,43	203,9	463,2	0,1262	7,925
17	203,35	207,1	460,4	0,1190	8,405
18	206,14	210,1	457,8	0,1126	8,886
19	208,81	213,0	455,2	0,1068	9,366
20	211,38	215,8	452,7	0,1016	9,846
21	213,85	218,5	450,2	0,09682	10,33
22	216,29	221,0	447,7	0,09246	10,82
23	218,61	223,4	445,2	0,08843	11,31
24	220,81	225,7	442,7	0,08468	11,81
25	222,91	227,9	440,2	0,08119	12,31
26	224,91	230,0	437,7	0,07794	12,81
27	226,81	232,0	435,2	0,07484	13,31
28	228,61	233,9	432,7	0,07188	13,81
29	230,31	235,7	430,2	0,06904	14,31
30	231,91	237,5	427,7	0,06631	14,81
31	233,41	239,2	425,2	0,06368	15,31
32	234,81	240,9	422,7	0,06114	15,81
33	236,11	242,5	420,2	0,05869	16,31
34	237,41	244,1	417,7	0,05633	16,81
35	238,61	245,6	415,2	0,05404	17,31
36	239,81	247,1	412,7	0,05182	17,81
37	240,91	248,5	410,2	0,04966	18,31
38	241,91	249,9	407,7	0,04755	18,81
39	242,91	251,2	405,2	0,04549	19,31
40	243,81	252,5	402,7	0,04347	19,81
41	244,71	253,8	400,2	0,04149	20,31
42	245,51	255,0	397,7	0,03954	20,81
43	246,31	256,2	395,2	0,03762	21,31
44	247,01	257,4	392,7	0,03573	21,81
45	247,71	258,5	390,2	0,03387	22,31
46	248,31	259,6	387,7	0,03203	22,81
47	248,91	260,7	385,2	0,03021	23,31
48	249,41	261,7	382,7	0,02841	23,81
49	249,91	262,7	380,2	0,02662	24,31
50	250,31	263,7	377,7	0,02485	24,81
51	250,71	264,6	375,2	0,02309	25,31
52	251,01	265,5	372,7	0,02134	25,81
53	251,31	266,4	370,2	0,01960	26,31
54	251,51	267,2	367,7	0,01787	26,81
55	251,71	268,0	365,2	0,01614	27,31
56	251,91	268,8	362,7	0,01442	27,81
57	252,01	269,5	360,2	0,01270	28,31
58	252,11	270,2	357,7	0,01100	28,81
59	252,21	270,9	355,2	0,00930	29,31
60	252,31	271,5	352,7	0,00761	29,81
61	252,31	272,1	350,2	0,00593	30,31
62	252,31	272,7	347,7	0,00425	30,81
63	252,31	273,2	345,2	0,00257	31,31
64	252,31	273,7	342,7	0,00089	31,81
65	252,31	274,2	340,2	0,00021	32,31
66	252,31	274,7	337,7	0,00000	32,81
67	252,31	275,2	335,2	0,00000	33,31
68	252,31	275,7	332,7	0,00000	33,81
69	252,31	276,2	330,2	0,00000	34,31
70	252,31	276,7	327,7	0,00000	34,81
71	252,31	277,2	325,2	0,00000	35,31
72	252,31	277,7	322,7	0,00000	35,81
73	252,31	278,2	320,2	0,00000	36,31
74	252,31	278,7	317,7	0,00000	36,81
75	252,31	279,2	315,2	0,00000	37,31
76	252,31	279,7	312,7	0,00000	37,81
77	252,31	280,2	310,2	0,00000	38,31
78	252,31	280,7	307,7	0,00000	38,81
79	252,31	281,2	305,2	0,00000	39,31
80	252,31	281,7	302,7	0,00000	39,81
81	252,31	282,2	300,2	0,00000	40,31
82	252,31	282,7	297,7	0,00000	40,81
83	252,31	283,2	295,2	0,00000	41,31
84	252,31	283,7	292,7	0,00000	41,81
85	252,31	284,2	290,2	0,00000	42,31
86	252,31	284,7	287,7	0,00000	42,81
87	252,31	285,2	285,2	0,00000	43,31
88	252,31	285,7	282,7	0,00000	43,81
89	252,31	286,2	280,2	0,00000	44,31
90	252,31	286,7	277,7	0,00000	44,81
91	252,31	287,2	275,2	0,00000	45,31
92	252,31	287,7	272,7	0,00000	45,81
93	252,31	288,2	270,2	0,00000	46,31
94	252,31	288,7	267,7	0,00000	46,81
95	252,31	289,2	265,2	0,00000	47,31
96	252,31	289,7	262,7	0,00000	47,81
97	252,31	290,2	260,2	0,00000	48,31
98	252,31	290,7	257,7	0,00000	48,81
99	252,31	291,2	255,2	0,00000	49,31
100	252,31	291,7	252,7	0,00000	49,81
101	252,31	292,2	250,2	0,00000	50,31
102	252,31	292,7	247,7	0,00000	50,81
103	252,31	293,2	245,2	0,00000	51,31
104	252,31	293,7	242,7	0,00000	51,81
105	252,31	294,2	240,2	0,00000	52,31
106	252,31	294,7	237,7	0,00000	52,81
107	252,31	295,2	235,2	0,00000	53,31
108	252,31	295,7	232,7	0,00000	53,81
109	252,31	296,2	230,2	0,00000	54,31
110	252,31	296,7	227,7	0,00000	54,81
111	252,31	297,2	225,2	0,00000	55,31
112	252,31	297,7	222,7	0,00000	55,81
113	252,31	298,2	220,2	0,00000	56,31
114	252,31	298,7	217,7	0,00000	56,81
115	252,31	299,2	215,2	0,00000	57,31
116	252,31	299,7	212,7	0,00000	57,81
117	252,31	300,2	210,2	0,00000	58,31
118	252,31	300,7	207,7	0,00000	58,81
119	252,31	301,2	205,2	0,00000	59,31
120	252,31	301,7	202,7	0,00000	59,81
121	252,31	302,2	200,2	0,00000	60,31
122	252,31	302,7	197,7	0,00000	60,81
123	252,31	303,2	195,2	0,00000	61,31
124	252,31	303,7	192,7	0,00000	61,81
125	252,31	304,2	190,2	0,00000	62,31
126	252,31	304,7	187,7	0,00000	62,81
127	252,31	305,2	185,2	0,00000	63,31
128	252,31	305,7	182,7	0,00000	63,81
129	252,31	306,2	180,2	0,00000	64,31
130	252,31	306,7	177,7	0,00000	64,81
131	252,31	307,2	175,2	0,00000	65,31
132	252,31	307,7	172,7	0,00000	65,81
133	252,31	308,2	170,2	0,00000	66,31
134	252,31	308,7	167,7	0,00000	66,81
135	252,31	309,2	165,2	0,00000	67,31
136	252,31	309,7	162,7	0,00000	67,81
137	252,31	310,2	160,2	0,00000	68,31
138	252,31	310,7	157,7	0,00000	68,81
139	252,31	311,2	155,2	0,00000	69,31
140	252,31	311,7	152,7	0,00000	69,81
141	252,31	312,2	150,2	0,00000	70,31
142	252,31	312,7	147,7	0,00000	70,81
143	252,31	313,2	145,2	0,00000	71,31
144	252,31	313,7	142,7	0,00000	71,81
145	252,31	314,2	140,2	0,00000	72,31
146	252,31	314,7	137,7	0,00000	72,81
147	252,31	315,2	135,2	0,00000	73,31
148	252,31	315,7	132,7	0,00000	73,81
149	252,31	316,2	130,2	0,00000	74,31
150	252,31	316,7	127,7	0,00000	74,81
151	252,31	317,2	125,2	0,00000	75,31
152	252,31	317,7	122,7	0,00000	75,81
153	252,31	318,2	120,2	0,00000	76,31
154	252,31	318,7	117,7	0,00000	76,81
155	252,31	319,2	115,2	0,00000	77,31
156	252,31	319,7	112,7	0,00000	77,81
157	252,31	320,2	110,2	0,00000	78,31
158	252,31	320,7	107,7	0,00000	78,81
159	252,31	321,2	105,2	0,00000	79,31
160	252,31	321,7	102,7	0,00000	79,81
161	252,31	322,2	100,2	0,00000	80,31
162	252,31	322,7	97,7	0,00000	80,81
163	252,31	323,2	95,2	0,00000	81,31
164	252,31	323,7	92,7	0,00000	81,81
165	252,31	324,2	90,2	0,00000	82,31
166	252,31	324,7	87,7	0,00000	82,81
167	252,31	325,2	85,2	0,00000	83,31
168	252,31	325,7	82,7	0,00000	83,81
169	252,31	326,2	80,2	0,00000	84,31
170	252,31	326,7	77,7	0,00000	84,81
171	252,31	327,2	75,2	0,00000	85,31
172	252,31	327,7	72,7	0,00000	85,81
173	252,31	328,2	70,2	0,00000	86,31
174	252,31	328,7	67,7	0,00000	86,81
175	252,31	329,2	65,2	0,00000	87,31
176	252,31	329,7	62,7	0,00000	87,81
177	252,31	330,2	60,2	0,00000	88,31
178	252,31	330,7	57,7	0,00000	88,81
179	252,31	331,2	55,2	0,00000	89,31
180	252,31	331,7	52,7	0,00000	89,81
181	252,31	332,2	50,2	0,00000	90,31
182	252,31	332,7	47,7	0,00000	90,81
183	252,31	333,2	45,2	0,00000	91,31
184	252,31	333,7	42,7	0,00000	91,81
185	252,31	334,2	40,2	0,00000	92,31
186	252,31	334,7	37,7	0,00000	92,81
187	252,31	335,2	35,2	0,00000	93,31
188	252,31	335,7	32,7	0,00000	93,81
189	252,31	336,2	30,2	0,00000	94,31
190	252,31	336,7	27,7	0,00000	94,81
191	252,31	337,2	25,2	0,	

Tafel des **überhitzten** Wasserdampfes
nach den VDI-Wasserdampftafeln 1941

i-s-Diagramm S. 408

Zahlentafel 20

Dampf- druck absolut ata kg/cm ²	Temperatur des Dampfes		Über- hitzung °C	Wärme- inhalt des Dampfes aus Wasser von 0 °C i'' kcal/kg	Raum- inhalt v'' m ³ /kg	Spez. Gewicht γ'' kg/m ³
	ge- sättigt °C	über- hitzt °C				
13	190,5	200	9,5	671,7	0,159	6,301
		220	29,5	683,8	0,168	5,960
		240	49,5	694,9	0,176	5,669
		260	69,5	705,6	0,185	5,414
		280	89,5	715,9	0,193	5,187
		300	109,5	726,2	0,201	4,980
		320	129,5	736,5	0,209	4,794
		340	149,5	746,7	0,216	4,621
		360	169,5	756,9	0,224	4,460
		380	189,5	767,1	0,232	4,314
14	194	400	209,5	777,3	0,239	4,177
		200	6	670,2	0,146	6,835
		220	26	682,7	0,155	6,456
		240	46	694,0	0,163	6,131
		260	66	704,7	0,171	5,851
		280	86	715,2	0,179	5,602
		300	106	725,6	0,186	5,379
		320	126	735,9	0,193	5,173
		340	146	746,2	0,201	4,985
		360	166	756,4	0,208	4,812
15	197	380	186	766,7	0,215	4,651
		400	206	776,9	0,222	4,505
		200	3	668,5	0,136	7,380
		220	23	681,5	0,144	6,954
		240	43	693,0	0,152	6,601
		260	63	703,9	0,159	6,293
		280	83	714,5	0,166	6,021
		300	103	725,0	0,173	5,777
		320	123	735,3	0,180	5,556
		340	143	745,7	0,187	5,353
16	200,5	360	163	756,0	0,194	5,165
		380	183	766,3	0,200	4,993
		400	203	776,6	0,207	4,831
		220	19,5	680,3	0,134	7,457
		240	39,5	692,0	0,141	7,072
		260	59,5	703,1	0,148	6,749
		280	79,5	713,8	0,155	6,443
		300	99,5	724,4	0,162	6,181
		320	119,5	734,8	0,168	5,938
		340	139,5	745,2	0,175	5,721

Fortsetzung von Zahlentafel 20: **Tafel des überhitzten** Wasserdampfes

Dampf- druck absolut ata kg/cm ²	Temperatur des Dampfes		Über- hitzung °C	Wärme- inhalt des Dampfes aus Wasser von 0 °C i'' kcal/kg	Raum- inhalt v'' m ³ /kg	Spez. Gewicht γ'' kg/m ³
	ge- sättigt °C	über- hitzt °C				
16	200,5	360	159,5	755,5	0,181	5,519
		380	179,5	765,9	0,188	5,333
		400	199,5	776,2	0,194	5,163
17	203,5	220	16,5	679,0	0,125	7,975
		240	36,5	691,0	0,133	7,547
		260	56,5	702,3	0,139	7,189
		280	76,5	713,1	0,146	6,868
		300	96,5	723,8	0,152	6,583
		320	116,5	734,2	0,158	6,325
		340	136,5	744,7	0,164	6,090
		360	156,5	755,1	0,170	5,875
		380	176,5	765,4	0,176	5,675
		400	196,5	775,8	0,182	5,492
18	206	250	44	695,7	0,128	7,825
		300	94	723,2	0,143	6,988
		350	144	749,4	0,158	6,345
		400	194	775,4	0,172	5,824
		450	244	801,5	0,186	5,388
19	209	250	41	694,9	0,121	8,299
		300	91	722,5	0,135	7,396
		350	141	748,9	0,149	6,711
		400	191	775,0	0,163	6,154
		450	241	801,1	0,176	5,692
21	214	250	36	692,9	0,108	9,251
		300	86	721,3	0,122	8,224
		350	136	748,0	0,134	7,446
		400	186	774,3	0,147	6,821
		450	236	800,5	0,159	6,305
26	225	250	25	687,8	0,085	11,732
		300	75	717,9	0,097	10,325
		350	125	745,6	0,108	9,302
		400	175	772,3	0,118	8,503
		450	225	799,0	0,127	7,849
31	234,5	250	15,5	682,1	0,070	14,364
		300	65,5	714,5	0,080	12,495
		350	115,5	743,0	0,089	11,206
		400	165,5	770,4	0,098	10,212
		450	215,5	797,4	0,106	9,407

Schluß von Zahlentafel 20: *Tafel des überhitzten Wasserdampfes*

Dampfdruck absolut ata kg/cm ²	Temperatur des Dampfes		Überhitzung °C	Wärmeinhalt des Dampfes aus Wasser von 0 °C i'' kcal/kg	Rauminhalt v'' m ³ /kg	Spez. Gewicht γ'' kg/m ³
	gesättigt °C	überhitzt °C				
36	243	250	7	675,5	0,058	17,188
		300	57	710,8	0,068	14,741
		350	107	740,5	0,076	13,148
		400	157	768,4	0,084	11,945
		450	207	795,8	0,091	10,983
41	250,5	300	49,5	707,0	0,059	17,074
		350	99,5	737,8	0,066	15,131
		400	149,5	766,5	0,073	13,704
		450	199,5	794,3	0,080	12,575
46	257,5	300	42,5	702,9	0,051	19,497
		350	92,5	735,1	0,058	17,161
		400	142,5	764,4	0,065	15,489
		450	192,5	792,7	0,071	14,186
50	262,5	300	37,5	699,5	0,046	21,519
		350	87,5	732,9	0,053	18,818
		400	137,5	762,8	0,059	16,938
		450	187,5	791,4	0,065	15,487
60	274,5	300	25,5	690,0	0,037	26,932
		350	75,5	727,1	0,043	23,121
		400	125,5	758,7	0,048	20,644
		450	175,5	788,2	0,053	18,793
70	284,5	300	15,5	679,2	0,030	33,014
		350	65,5	721,0	0,036	27,670
		400	115,5	754,4	0,041	24,474
		450	165,5	784,9	0,045	22,183
80	293,5	300	6,5	666,8	0,025	39,968
		350	56,5	714,3	0,031	32,531
		400	106,5	750,0	0,035	28,450
		450	156,5	781,6	0,039	25,641
100	309,5	350	40,5	699,2	0,023	43,346
		400	90,5	740,4	0,027	36,900
		450	140,5	774,7	0,030	32,841
120	323	350	27	681,4	0,018	56,338
		400	77	730,0	0,022	46,125
		450	127	767,4	0,025	40,453
140	335	350	15	660,1	0,014	72,886
		400	65	718,4	0,018	56,370
		450	115	759,8	0,021	48,520

Das Triebwerk

ist zweckmäßig bemessen, wenn es folgende Bedingung erfüllt:

*Günstigste indizierte **Zugkraft** der Lokomotive*

$$Z_i' = \left(\frac{z}{2} \cdot \frac{d^2 s}{D} \right) \cdot p_m' = C_1 \cdot p_m' \quad \text{in kg}$$

Somit **Zylinderdurchmesser** (bei Verbundlokomotiven Durchmesser der Niederdruckzylinder d_{ND})

$$d = \sqrt{\frac{D}{z/2} \cdot \frac{Z_i'}{s \cdot p_m'}} \quad \text{in cm}$$

Hierbei ist D = Treibraddurchmesser in mm
 d = Zylinderdurchmesser (bei Verbundlokomotiven nur der Niederdruckzylinder d_{ND}) in cm

s = Kolbenhub in mm
 z = Anzahl der Zylinder (bei Verbundlokomotiven nur der Niederdruckzylinder)

p_m' = mittlerer Kolbendruck in atü bei der günstigsten Füllung, die bei der günstigsten Fahrgeschwindigkeit V eingestellt wird (bei Verbundlokomotiven der mittlere Kolbendruck des Gesamtdiagrammes Hochdruck + Niederdruck, wirksam gedacht im Niederdruckzylinder)

$$C_1 = \frac{z}{2} \cdot \frac{d^2 s}{D} = \text{Zugkraft-Kennziffer}$$

$$= \frac{d^2 s}{D} \quad \text{für Zwillinglokomotive}$$

$$= 1,5 \cdot \frac{d^2 s}{D} \quad \text{für Drillingslokomotive}$$

$$= 2 \cdot \frac{d^2 s}{D} \quad \text{für Vierlingslokomotive}$$

$$= 0,5 \frac{d_{ND}^2 \cdot s}{D} \begin{cases} \text{für Zweizylinder-Verbundlokomotive} \\ \text{für Dreizylinder-Verbundlokomotive mit 1 Niederdruckzylinder} \end{cases}$$

$$= \frac{d_{ND}^2 \cdot s}{D} \begin{cases} \text{für Vierzylinder-Verbundlokomotive} \\ \text{für Dreizylinder-Verbundlokomotive mit 2 Niederdruckzylindern} \end{cases}$$

Die **größte** indizierte **Zugkraft** (größte Zylinderzugkraft) beträgt bei etwa 80—90 % Höchstfüllung und p_k atü Kesseldruck für einfache Dampfdehnung

$$\text{etwa } Z_{i \max} = (0,75 \div 0,85) \cdot p \cdot \frac{d^2 s}{D} = (0,75 \div 0,85) \cdot p \cdot C_1 \quad \text{in kg}$$

bei Verbundwirkung, falls das Zylinderraumverhältnis $\frac{V_{ND}}{V_{HD}} \sim 2$

$$\text{etwa } Z_{i \max} = 0,5 \cdot p \cdot \frac{d_{ND}^2 \cdot s}{D} \cdot \frac{z_{ND}}{2} = 0,5 \cdot p \cdot C_1 \quad \text{in kg}$$

Als *Dauerzugkraft* wird $Z_{i\max}$ nur selten in Anspruch genommen.
Bei Gelenklokomotiven sollte man an der Reibungsgrenze mit nur $0,9 Z_{i\max}$ rechnen.

Zieht man von Z_i den Eigenwiderstand von Lokomotive und Tender (nach S. 49) ab, so erhält man die *effektive* Zugkraft Z_e (= Zugkraft am Zughaken).

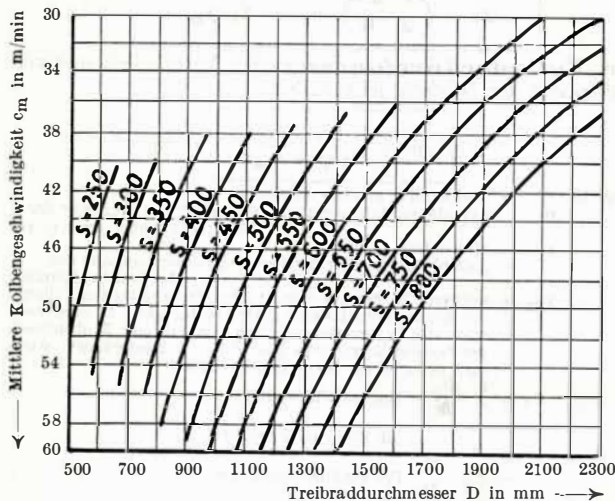


Bild 82. Mittlere Kolbengeschwindigkeit in Abhängigkeit von Kolbenhub s und Treibraddurchmesser bei 10 km/h Fahrgeschwindigkeit

Fahrgeschwindigkeit $V = 0,03 c_m \cdot \frac{D\pi}{s}$ in km/h
mit c_m = mittlere Kolbengeschwindigkeit in m/min
 V = Geschwindigkeit in km/h, s = Kolbenhub in mm,
 D = Treibraddurchmesser in mm, n = minutliche Drehzahl,
Mittlere Kolbengeschw. $c_m = \frac{V \cdot s}{1,8 D \pi} = 0,177 \frac{V \cdot s}{D}$ in m/sec
 $= \frac{2 s \cdot n}{1000} = 10,62 \frac{V \cdot s}{D}$ in m/min

Vgl. hierzu Bild 83, Seite 134 und Bild 105, Seite 159.

Der *Treibraddurchmesser* ist möglichst nach DIN 1574/76 zu wählen. Er wird von der zulässigen minutlichen Umdrehungszahl beeinflusst (siehe unten). Die mittlere Kolbengeschwindigkeit bei höchster Fahrgeschwindigkeit sollte nicht größer als $8 \div 9$ m/sec sein.

Minutliche Drehzahl

$$n = 5310 \frac{V}{D}$$

V = Geschwindigkeit in km/h und D = Treibraddurchmesser in mm.

Höchstwerte der minutlichen Drehzahlen bei der größten zulässigen Fahrgeschwindigkeit nach TV § 69 Zahlentafel 21

1	2	3	4	5	6
Lokomotiven mit in einem vorderen Drehgestell vereinigten Lauftradsätzen oder mit vorderem Krauß-Helmholtz-Drehgestell	Lokomotiven mit vorderem Lauftradsatz oder vorderem Deichselgestell	Lokomotiven ohne vorderen Lauftradsatz			Lokomotiven mit Triebgestellen
mit hinterem Lauftradsatz ohne hinteren Lauftradsatz mit hinterem Drehgestell oder Deichselgestell ohne hinteres Drehgestell oder Deichselgestell		bei einem verschiebbaren Endradsatz	bei zwei verschiebbaren Endradsätzen		
$n = 340^*)$	$n = 300$	$n = 260^1)$	$n = 240^2)$	$n = 180^3)$	$n = 220$

¹⁾ Bei einem im Verhältnis zu den überhängenden Massen langen, festen Achsstand darf die Drehzahl bis auf 300 erhöht werden.

²⁾ Ist die Bauart der Kupplung zwischen Lokomotive und Tender imstande, Schlingerbewegungen zu dämpfen, so darf die Drehzahl bis auf 300 erhöht werden.

³⁾ Ist die Bauart der Kupplung zwischen Lokomotive und Tender imstande, Schlingerbewegungen zu dämpfen, so darf die Drehzahl bis auf 220 erhöht werden.

⁴⁾ Bei Schnellfahrlokomotiven ist man bis etwa 415 gegangen.

Für Lokomotiven mit Innenzylindern, für Lokomotiven mit drei Zylindern bei Kurbelwinkeln von 120° oder für Vierzylinder-Lokomotiven mit gegenläufigem Triebwerk dürfen die Drehzahlen um 10 % erhöht werden.

Der Durchmesser der Treibräder elektrischer Lokomotiven und elektrischer Triebwagen soll, wenn die Fahrzeuge Stangenantrieb haben, mindestens so groß gewählt werden, daß bei neuen Radreifen die Drehzahl 350 in der Minute bei der höchsten Fahrgeschwindigkeit nicht überschritten wird.

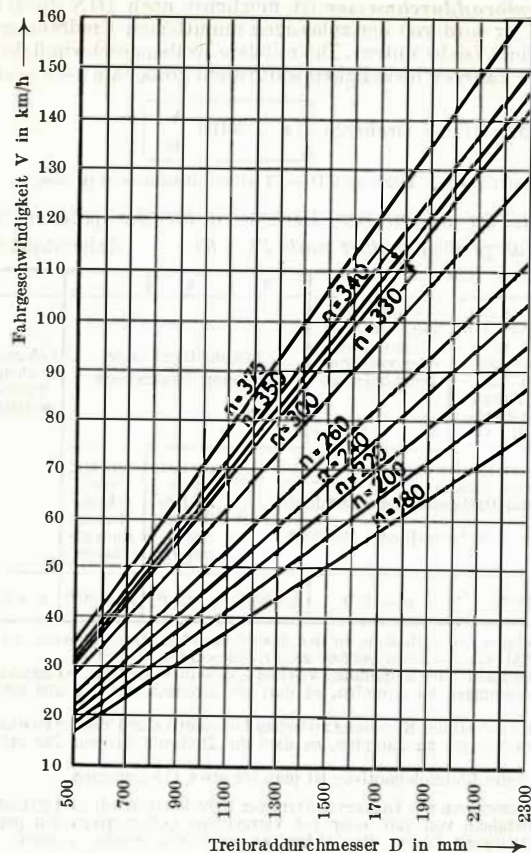


Bild 83. Treibraddurchmesser, Fahrgeschwindigkeit und minutliche Drehzahl n

Für D , $V_{\max}$ und V' von Vollbahnlokomotiven werden folgende Werte empfohlen:

Zahlentafel 22

Lokomotivgattung	Treibrad- durchmesser	Höchst- geschw.	Günstigste Geschw.
	D mm	$V_{\max}$ km/h	V' km/h
Schnellfahr-Lokomotive	2300	180	120 ÷ 160
Schnellzug-Lokomotive	2000	130	100 ÷ 120
Personenzug-Lokomotive	1750	110	80 ÷ 100
Eilgüterzug-Lokomotive	1600	90	70 ÷ 80
Güterzug-Lokomotive	1400	80	60 ÷ 70
Lokomotive für Nahgüterzüge und Verschlebedienst	1400	70	40 ÷ 60
Verschlebe-Lokomotive	1100	50	30 ÷ 40

Der „günstigste“ mittlere **Kolbendruck** P_m' in atü beträgt in Anlehnung an *Strahl*

Zahlentafel 23

für Kesseldruck atü	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
bei einfacher Dampfdehnung	3,6	3,7	3,82	3,92	4,03	4,15	4,25	4,35	4,48	4,58	4,69	4,8	4,9	4,95
bei Verbund- wirkung	3,4	3,5	3,6	3,71	3,81	3,92	4,03	4,13	4,23	4,35	4,43	4,52	4,63	4,75

Die zugehörigen Füllungen liegen nach *Strahl* zwischen 20 und 30 %, als Drehzahlen können 3 ÷ 4 ½ je Sek. vorausgesetzt werden.

Obige P_m' -Werte tragen der Tatsache Rechnung, daß die **Zylinderverluste**

- oberhalb V' mit wachsender Drehzahl zunehmen, da bei kleinen und kleinsten Füllungen der Eintrittsdampf stark gedrosselt wird
- unterhalb V' mit abnehmender Drehzahl wachsen, da bei mittleren und großen Füllungen die Expansion des Dampfes unvollständig ist.

Neuere Versuche haben gezeigt, daß der Einfluß dieser beiden Verlustquellen geringer ist als ursprünglich angenommen (siehe die Berichtigung der Strahlischen Kurve auf S. 102). Das trifft hauptsächlich auf die Einströmdrosselung zu.

Als sehr schädlich hat sich hingegen die Drosselung des Dampfes in den Ausströmwegen herausgestellt, auf die die Leistungskurve recht empfindlich reagiert. Sehr ungünstig wirkt die Gegendruckbremse in ihrer üblichen Form. (Auf die durch sie bedingte Erhöhung des Dampfverbrauches wird auf Bild 87 hingewiesen). Je nach der Vollkommenheit, mit der eine „strömungsgünstige“ Ausbildung der Ausströmwege erzielt wird, zeigt sich eine mehr oder weniger starke Hebung des bei Strahl fallenden Zweiges der N_i -Kurve. Damit verlagert sich der Leistungsscheitel, V' rückt weiter hinaus. Vielfach fällt bei ausgeführten Lokomotiven V' mit V_{max} zusammen. Die Leistungskurve zeigt dann keinen Abfall, p_m' sinkt entsprechend der höheren Drehzahl (vergl. Bild 87 auf S. 141).

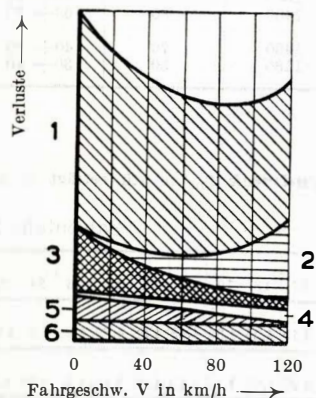


Bild 84. Zylinderverluste
nach Meineke-Röhrs 1949, S. 69.

Fläche 1 Flächenschaden
„ 2 Drosselverluste
„ 3 Verluste durch unvollständige Expansion

Fläche 4 Verluste durch äußere Abkühlung
„ 5 Lässigkeits-Verluste
„ 6 Raumschaden

Der **Zylinderdurchmesser**, der sich nach obigen Darlegungen über V' bzw. p_m' ergibt, darf grundsätzlich noch nicht als *endgültig* angesehen werden. Vorerst müssen vielmehr die Reibungszugkraft Z_r und das Reibungsgewicht G_r entsprechend den auf S. 59/63 erläuterten Angaben zu einander abgestimmt sein. Gegebenenfalls erfordert dies eine nachträgliche Berichtigung des d -Wertes.

Das Strahlische Verfahren stellt die Forderung nach bester Dampfwirtschaft in den Vordergrund, es berücksichtigt aber nicht die Ansprüche des Lokomotivbetriebes auf zweckentsprechende Reibungszugkraft und auf möglichst großen **Zugkraftbereich**¹⁾. Die Ergebnisse, die nach Strahl erzielt werden, setzen daher einen verhältnismäßig weiten Toleranzbereich voraus.

Zu genaueren Werten führt folgender Gedankengang:

Der Eisenbahnbetrieb verlangt von der Lokomotive neben guter Dampfwirtschaft eine zweckentsprechende Anpassung an die Reibungsgrenze und einen möglichst großen **Zugkraftbereich**. Diese drei Bedingungen sind erfahrungsgemäß erfüllt, wenn

- die höchste Fahrgeschwindigkeit unter Vollast noch mit Füllungen erreicht werden kann, die einen ruhigen Lauf der Lokomotive gewährleisten, das sind 25–30 %. Hierbei wird die höchste Fahrgeschwindigkeit zumeist mit der „günstigsten“ zusammenfallen. Bei geringerer Leistung (Teillast) werden diese Füllungen beibehalten, und es wird mit gedrosseltem Dampf gefahren.
- an der üblichen Reibungsgrenze (d. h. bei $\mu \sim 1/5$) Füllungen von 40–50 % eingestellt werden. Vergrößert man die Füllung über diese Werte hinaus, so läßt sich die Reibungszugkraft bis zu der durch Z_{lmax} bzw. μ_{max} gegebenen Grenze erhöhen (siehe S. 60/61).

Diese Gedankengänge weisen den Weg zu Zylinderabmessungen, die den verschiedenartigen Forderungen gut entsprechen.

Für Lokomotiven mit einfacher Dampfdehnung gibt Zahlen-
tafel 24, S. 138, zweckentsprechende Anhaltswerte zur Ermittlung
des Zylinderdurchmessers.

Sie beruht auf den Erfahrungen des praktischen Betriebes und steht im Einklang mit den Ergebnissen neuerer Versuche.

Die Zahlentafel gibt zugleich einen Überblick über den zweckmäßigen Verwendungsbereich der Lokomotive. Kennzeichnende Abweichungen vom günstigen Bereich sind auf Bild 85 erläutert.

¹⁾ Die größtmögliche Zugkraft (an der Reibungsgrenze!) und die kleinste Zugkraft (bei Höchstgeschwindigkeit!) umschließen den **Zugkraftbereich**, der durch das Verhältnis

$$\frac{Z_{max}}{Z_{min}} = \frac{p_{mr}}{p_m''} \text{ gekennzeichnet werden kann.}$$

p_{mr} = mittl. Kolbendruck an der Reibungsgrenze.
 p_m'' = mittl. Kolbendruck bei Höchstgeschwindigkeit.

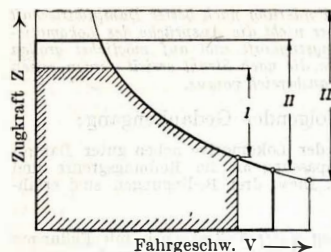


Bild 85. Zugkraftbereiche

festgelegt durch Reibungsgewicht, Höchstgeschwindigkeit und Kesselleistung, die für den Entwurf einer Lokomotive zumelst vorgeschrieben, bei vorhandenen Typen gegeben sind.

- IIIIIIII I. Zugkraftbereich zu klein, ergibt sich
- a) bei begrenzter Höchstgeschwindigkeit
 - oder b) bei zu kleinem Reibungsgewicht im Verhältnis zur Höchstgeschwindigkeit und Kesselleistung
- II. Anzustrebender Normalfall. Zugkraftbereich etwa 2,7—3,0
- III. Zugkraftbereich zu groß (bis etwa 4), erfordert sorgfältige Bemessung von Zylinder, Steuerung u. schädlichem Raum, ergibt sich
- a) bei überhöhter Höchstgeschwindigkeit
 - oder b) bei im Verhältnis zu Höchstgeschwindigkeit und Kesselleistung sehr großem Reibungsgewicht

Zugkraftbereiche und mittlere Kolbendrücke für Lokomotiven mit einfacher Dampfdehnung Zahlentafel 24

p atm	für $V' = V_{\max}$			für Z bei $\mu \sim 1/3$ [200 kg/l]			Zug- ²⁾ kraft- bereich $\frac{p_{m_r}}{p_m}$	a) C_a $= \mu/p_{m_r}$
	$p_m^* = a^* p$ atm	a^*	Füllung ε %	$p_{m_r} = a_r p$ atm	a_r	Füllung ε %		
12	2,6	0,217	etwa 25—30	7,8	0,65	etwa 52	3,0	25,6
14	3,0	0,214	..	8,7	0,621	48	2,9	23
16	3,4	0,2125	..	9,6	0,6	45,5	2,82	20,8
18	3,8	0,211	..	10,5	0,583	44	2,76	19
20	4,2	0,21	..	11,4	0,57	43	2,72	17,5

1) Vorausgesetzt wird, daß die „günstigste“ Geschwindigkeit mit der Höchstgeschwindigkeit zusammenfällt. Die diesen Fahrzeugzustand kennzeichnenden Größen sind hier mit Doppelbeistrich (") versehen.

2) Vorausgesetzt ist eine Reibungszugkraft $Z_r = 1/3 G_r$ (bei Tenderlokomotiven Mittelwert von G_r mit etwa $2/3$ der Vorräte einsetzen!)

3) $C_a = \frac{C_1}{G_r} = \frac{\mu}{p_{m_r}}$ Garbesche Reibungscharakteristik

Im praktischen Betrieb stimmt der Zugkraftbereich mit den in Zahlentafel 24 genannten günstigsten Werten häufig nicht überein, da Reibungsgewicht, Leistung und Höchstgeschwindigkeit noch anderweitigen Bedingungen unterliegen.

Es ist dann der tabellarische p_m -Bereich dem vorgesehenen Zugkraftbereich entsprechend so zu vergrößern bzw. zu verkleinern, daß beide Grenzwerte p_m und p_m^* sich in etwa gleichem Verhältnis ändern. Richtwerte gibt untenstehendes Bild.

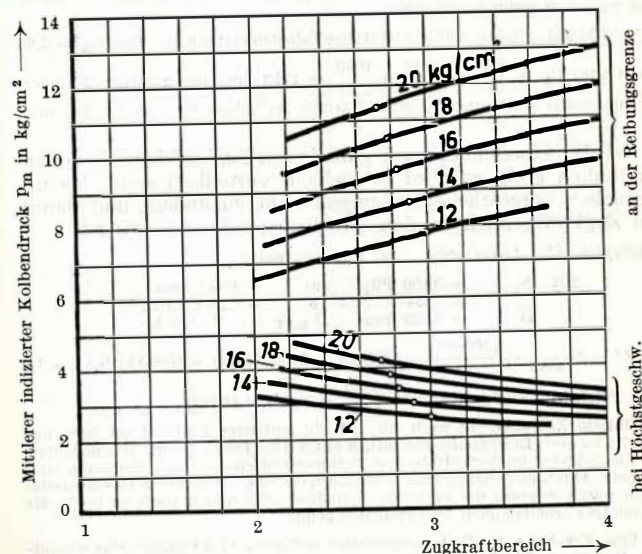


Bild 86. Zugkraftbereich und mittlerer Kolbendruck bei verschiedenen Kesseldrücken

1. Beispiel: 1 C1-Personenzug-Lokomotive Reihe 23 der Deutschen Bundesbahn

$$\begin{array}{llll} \text{mit } N_1 & = 1650 \text{ PS} & s & = 660 \text{ mm} \\ G_r & = 54 \text{ t} & p & = 16 \text{ kg/cm}^2 \\ D & = 1750 \text{ mm} & V_{\max} & = 110 \text{ km/h} \end{array}$$

$$\text{also } Z'' = Z_{V_{\max}} = \frac{1650 \cdot 270}{110} = 4050 \text{ kg}$$

$$Z_r = 54 \cdot 200 = 10800 \text{ kg für } \mu = 1/5$$

$$\text{Damit ergibt sich ein Zugkraftbereich } \frac{P_{m_r}}{P_m} = \frac{10800}{4050} = 2,66 \text{ (kleiner als}$$

Tabellenwert 2,82!) Es ist daher p_m' gegenüber dem Tabellenwert etwas zu vergrößern, p_{m_r} etwas zu verkleinern, und zwar so, daß das Verhältnis der beiden Werte der obigen Forderung entsprechend mit 2,66 erhalten bleibt. Man wird also rechnen mit etwa

$$P_m' = 3,51 \text{ atü} \dots P_{m_r} = 9,35 \text{ atü (statt des Tabellenwertes 9,6)} \dots P_{m_r}/P_m' = 2,66$$

$$\text{Somit wird } C_1 = \frac{d^2 s}{D} = \frac{10800}{9,35} = \frac{4050}{3,51} = 1153 \text{ und der gesuchte Zylinderdurchmesser } d = 553 \text{ mm. Ausgeführt wurde die Lokomotive mit } d = 550 \text{ mm.}$$

Ist die Abweichung vom günstigsten Zugkraftbereich außergewöhnlich groß, so wird es vielfach vorteilhaft sein, das ursprünglich vorgesehene Reibungsgewicht zu ändern und damit den Zugkraftbereich an den Tabellenwert heranzubringen:

2. Beispiel: 2 D1-Lokomotive, 1000 mm Spurweite

$$\begin{array}{llll} \text{mit } N_1 & = 1400 \text{ PS} & s & = 600 \text{ mm} \\ G_r & = 54 \text{ t} & p & = 13,4 \text{ kg/cm}^2 \\ D & = 1220 \text{ mm} & V_{\max} & = 70 \text{ km/h} \end{array}$$

$$\text{also } Z'' = Z_{V_{\max}} = \frac{1400 \cdot 270}{70} = 5400 \text{ kg} \dots Z_r = 54 \cdot 200 = 10800 \text{ kg bei } \mu = 1/5$$

$$\text{Folglich: Zugkraftbereich } \frac{10800}{5400} = 2,0, \text{ (zu klein!)} \text{)}$$

Obigem Z_r entspricht nach Bild 86 ein mittlerer Kolbendruck von nur etwa 7,2 kg/cm². Er liegt also wesentlich unter dem Tabellenwert. Das bedeutet, daß die Zylinder im Verhältnis zum Reibungsgewicht reichlich bemessen sind und beim Anfahren Neigung zum Schleudern besteht. Bei höheren Geschwindigkeiten wären dagegen die mittleren Zylinderdrücke immer noch zu hoch, die Lokomotive arbeitet nicht wirtschaftlich genug.

Eine Erhöhung des Reibungsgewichtes auf etwa 67,5 t bringt eine wesentliche Besserung. Die Lokomotive wird dann nicht als 2 D1, sondern als 1 E1 ausgeführt. Somit ist

$$\begin{array}{l} Z_r = 67,5 \cdot 200 = 13500 \text{ kg, also 25 \% höher als ursprünglich vorgesehen,} \\ \text{Zugkraftbereich } \frac{13500}{5400} = 2,5 \dots \text{ } p_m \text{-Bereich etwa } 3,14 \text{—} 7,85 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Zylinderdurchmesser } d = 590 \text{ mm.} \end{array}$$

In anderen Fällen empfiehlt sich eine Änderung der ursprünglich vorgesehenen Höchstgeschwindigkeit, die u. U. eine Änderung des Treibradurchmessers zur Folge hat:

3. Beispiel: 1 E1-Lokomotive, 1000 mm Spurweite mit $N_1 = 1830 \text{ PS}$,

$$G_r = 75,4 \text{ t, } D = 1220 \text{ mm, } p = 14 \text{ kg/cm}^2, V_{\max} = 60 \text{ km/h}$$

$$\text{Dann } Z'' = Z_{V_{\max}} = \frac{1830 \cdot 270}{60} = 8240 \text{ kg, also } Z_r = 75,4 \cdot 200 = 15080 \text{ kg bei } \mu = 1/5$$

Folglich Zugkraftbereich $\frac{15080}{8240} = 1,83, \text{ (zu klein!)} \text{)}$ Zwecks Vergrößerung des Zugkraftbereiches empfiehlt es sich, die Höchstgeschwindigkeit auf etwa 80 km/h zu steigern. Dann ergibt sich dieser zu $\frac{15080}{6180} = 2,44$. Die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit bedingt einen größeren Treibradurchmesser von etwa 1400 mm. Der Verwendungsbereich der Lokomotive wird hierdurch erweitert.

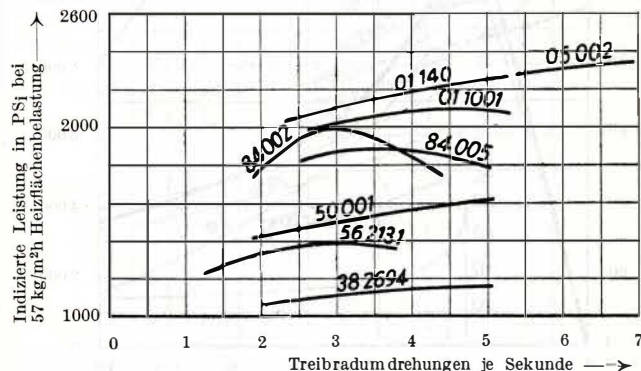


Bild 87. Indizierte Leistungen und günstigste Geschwindigkeiten einiger Lokomotiven nach Reichsbahnversuchen 1930 ÷ 1943

Bei ausreichend bemessenen Schiebern und guter Dampfführung steigt die Leistungskurve stetig an, andernfalls ausgeprägte Scheitelbildung. Ungünstiger Einfluß der Drillanordnung bei Lok 011001, die unter der Zwillinglok 01140 liegt. Lok 84002 mit 20 atü Kesseldruck erreicht höhere Leistung als 84005 mit 16 atü, zeigt aber stärkeren Leistungsabfall, (da Gegendruckbremse).

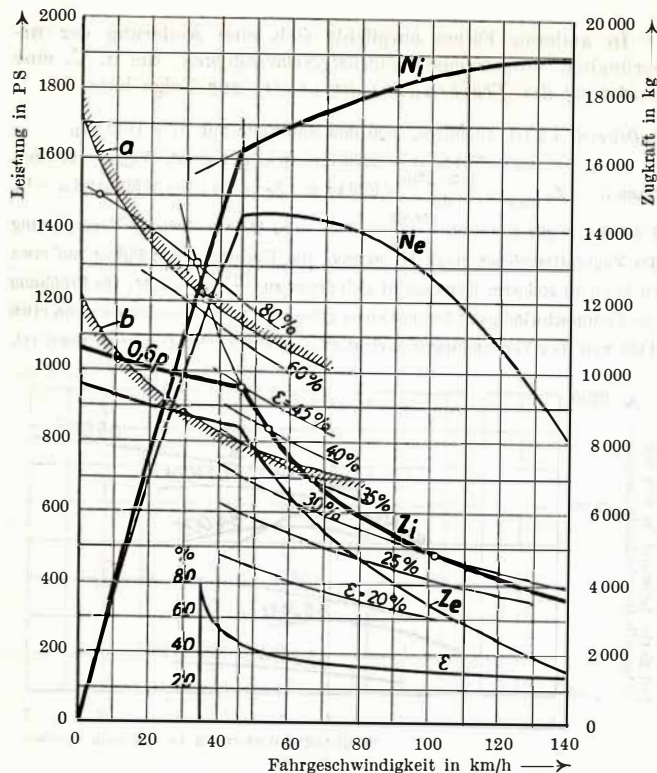


Bild 88. Kennlinien einer Heißdampf-Zwilling-Lokomotive am Beispiel der Baureihe 03 der Deutschen Bundesbahn

N_i = indizierte Leistung N_e = effektive Leistung (am Tender-Zughaken)
 Z_i = indizierte Zugkraft Z_e = effektive Zugkraft (am Tender-Zughaken)
 ε = Zylinderfüllung in %
 $0,6 p$ = mittlerer Kolbendruck für den Mittelwert der Reibungszugkraft
 Linie a bzw. b = physikalische Reibungsgrenze bei trockenen bzw. schlipfrigen Schienen

Verbundlokomotiven

werden fast nur noch als Vierzylinder-Lokomotiven ausgeführt. Vereinzelt sind Dreizylinder-Verbund-Lokomotiven mit 1 Hochdruck- und 2 Niederdruck-Zylindern gebaut worden.

Die Zweizylinder-Verbundlokomotive hat heute lediglich geschichtliche Bedeutung (ungleiche Triebwerk-Gewichte, Schwierigkeiten beim Anfahren).

Die Verbund-Lokomotive zeigt sich *vornehmlich im Gebiet der größeren Zugkräfte bei mittleren Geschwindigkeiten überlegen*, sofern ihre Kesselleistung voll ausgenutzt wird. Dampfersparnis dann im Mittel etwa 4%, zum Teil allerdings durch höhere Beschaffungs- und Unterhaltungskosten aufgewogen. Bei Teillast ist die Wirtschaftlichkeit fraglich. Bei besonders sorgfältiger Durchbildung der Steuerung und der Strömungswege des Dampfes läßt sich die Überlegenheit der Verbund-Lokomotive über dem ganzen Geschwindigkeitsbereich aufrechterhalten und gegenüber guten Zwillingslokomotiven eine Dampfersparnis von etwa 10% erzielen. Heißdampf-Verbund-Lokomotiven sind nur von etwa 800 PS an wirtschaftlich.

Der Nutzen der Verbundwirkung erklärt sich aus

der Unterteilung des Temperaturgefälles im Zylinder, daher geringere Zylinderverluste (insbesondere geringere Niederschlagsverluste)

der Verringerung der Druckunterschiede an Kolben und Schiebern, daher geringere Undichtigkeitsverluste. Der im Hochdruck-Zylinder durch Undichtigkeit verlorengehende Dampf wird überdies im Niederdruckzylinder noch ausgenutzt

der Unterteilung des Druckgefälles, daher Verringerung der Verluste, die durch den schädlichen Raum bedingt sind

der vollkommeneren Dehnung des Dampfes, da die höchste Füllung im Hochdruckzylinder begrenzt ist (Verbundlokomotive als Anwendungsfall des Limited cut off anzusehen. Vergl. S. 223). Bei zu weit getriebener Dehnung, also zu kleinen mittleren Kolbendrücken, können allerdings die größeren Wandungsverluste diesen Gewinn wieder zunichte machen.

Das *Zylinder-Raumverhältnis* hat auf die Wirtschaftlichkeit der Lokomotive nur geringen Einfluß.

Übliche Werte $V_{ND}/V_{HD} = 2,1 \div 2,6$ (bei Zweizylinder-Verbund etwa 2,8—3,0, da dann gleiche Arbeitsverteilung auf beide Zylinder).

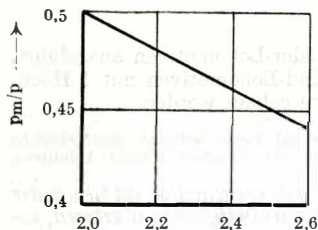


Bild 89

Mittlerer Kolbendruck von
Verbundlokomotiven bei 65÷70 %
Füllung im Hochdruckzylinder

Zylinder-Raumverhältnis $V_{ND}/V_{HD} \rightarrow$

Je kleiner V_{ND}/V_{HD} , umso größer die erzielbare Höchstfüllung und damit die größtmögliche Zugkraft. Die kleineren Raumverhältnisse (etwa 2,1÷2,25) kommen demnach für Lokomotiven in Betracht, bei denen eine möglichst hohe Reibungs-Zugkraft ausgebaut werden soll (z. B. Steilrampen-Lokomotiven). Ist die Kesselleistung im Verhältnis zum Reibungsgewicht reichlich (Schnellzug-Lokomotiven), so sind Raumverhältnisse von etwa 2,4÷2,6 zweckmäßig.

Welche mittleren Kolbendrücke bei dem jeweiligen Zylinder-Raumverhältnis erreicht werden können, zeigt Bild 89.

Die **Gesamtleistung** ist lediglich von der Größe des Niederdruck-Zylinders abhängig. Der Hochdruck-Zylinder beeinflusst dagegen die Verteilung der Arbeit auf die Kurbeln und die obere Grenze der Zugkraft.

Bei **Vier-Zylinder-Verbund-Lokomotiven** ist gleiche Leistungsverteilung auf Hoch- und Niederdruck-Zylinder nicht unbedingt erforderlich, jedoch muß darauf geachtet werden, daß der Leistungsanteil der Niederdruckzylinder nicht zu klein wird. Die Niederdruckfüllung ist daher gegenüber der Hochdruckfüllung nur soweit zu vergrößern, wie es zum Erzielen guter Hochdruck-Diagramme erforderlich ist. Eine konstante Niederdruckfüllung von etwa 70% gibt zwar einwandfreie Hochdruckdiagramme, jedoch wird der Verbinderdruck geringer und der Leistungsanteil der Niederdruck-Zylinder zu klein. Bewährte Füllungsverhältnisse sind 25/35, 30/38, 35/40, 40/45, darüber hinaus gleiche Füllungen im Hoch- und Niederdruckzylinder. Die Form der Dampfdiagramme läßt sich günstig beeinflussen, wenn man dem HD-Zylinder einen größeren schädlichen Raum gibt als dem ND-Zylinder. Vielfach ausgeführte Werte sind 20÷24 % für die HD-Zylinder und 15÷17,5 % für die ND-Zylinder.

Dreizylinder-Verbund-Lokomotiven erfordern gleiche Leistungsverteilung auf die 3 Zylinder, damit die Spitzen des Tangential-Druckdiagrammes nicht zu ungleichförmig werden, es entfällt also nur $\frac{1}{3}$ der Gesamtleistung auf den Hochdruckzylinder. Der Verbinderdruck ist daher bedeutend größer als bei 4-Zyl.-Lokomotiven, und die Füllung im ND-Zylinder kleiner als im HD-Zyl.

Für die **Bemessung der Zylinderdurchmesser** der Verbundlokomotive gelten sinngemäß die gleichen Überlegungen wie bei einfacher Dampfdehnung. Die größte Zugkraft ist jedoch durch

den Inhalt der Hochdruckzylinder begrenzt. Es lassen sich mittlere Zylinderdrücke von höchstens $(0,45 \div 0,5)p$ erzielen. Hierzu sind Hochdruckfüllungen von 65÷70 % erforderlich. Man wird daher die Zylinder so bemessen, daß mit diesen Hochdruckfüllungen das Reibungsgewicht mit $\mu \sim \frac{1}{5}$ ausgenutzt ist.

Bei Höchstgeschwindigkeit und voller Kesselanstrengung soll der mittlere Druck etwa $(0,17 \div 0,19)p$ betragen. Kleinere Drücke ergeben meist eine Schleifenbildung in den Diagrammen der Hochdruckzylinder.

Der **Zugkraftbereich** ist — da ja theoretisch der mittlere Kolbendruck auf etwa 0,5 p beschränkt ist — bei Verbundanordnung kleiner als bei einfacher Dehnung. Größere Werte als etwa 2,5 ergeben meist bei hohen Geschwindigkeiten zu kleine p_m -Werte und damit erhöhten Dampfverbrauch.

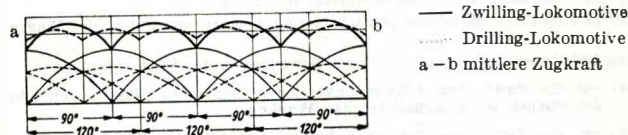


Bild 90.

Zugkraft-Vergleich zwischen Zwillings- und Drilling-Lokomotive (Tangentialdruckdiagramm) für eine Treibrad-Umdrehung

Die Zylinderanordnung

ist von wesentlichem Einfluß auf den Verlauf der am Radumfang ausgeübten Zugkraft und auf die Intensität der störenden Bewegungen.

Das **Tangentialdruckdiagramm** verläuft am ungleichförmigsten bei der Zweizylinder-Verbundlokomotive mit konstanter Füllung des Niederdruckzylinders. Es folgen mit fallendem Ungleichförmigkeitsgrad die Zwillingslokomotive mit um 90° versetzten Kurbeln; — die Vierzylinder-Lokomotive von v. Borries, bei der die beiden benachbarten Kurbeln einer Maschinenseite unter sich um 180°, zum Triebwerkspaar der gegenüberliegenden Maschinenseite um 90° versetzt sind; — die Drillinglokomotive und schließlich die Vierzylinder-Verbundlokomotive. Die gleichförmigste Zugkraftlinie ist mit einer Anordnung erreicht worden, bei der die Kurbeln derselben Maschinenseite zueinander um 135°, zu denen der anderen Seite um 45° versetzt sind.

Die Reibungszugkraft der *Drillinglokomotive* darf um etwa 8 % über derjenigen einer entsprechenden *Zwillinglokomotive* liegen (vergl. S. 61). Vielfach muß der Drilling-Ausführung aus räumlichen Gründen der Vorzug gegeben werden.

Die störenden Bewegungen sind um so geringer, je näher die Zylinder und damit die unausgebalancierten hin- und hergehenden Massen dem Schwerpunkt der abgefederten Massen sind.

Man unterscheidet folgende störende Bewegungen:

1. Regelmäßig wiederkehrende *fortschreitende* Bewegungen des Schwerpunktes
 - a) in *Längsrichtung* der Lokomotive: das **Zucken**
 - b) in *senkrechter* Richtung (Aufwärts- und Abwärtsbewegung): das **Wogen**
2. Regelmäßig wiederkehrende *drehende* Bewegungen des Schwerpunktes
 - a) um die durch den Schwerpunkt der abgefederten Massen gehende *Längsachse* der Lokomotive: das **Wanken**
 - b) um die durch den Schwerpunkt der abgefederten Massen gehende *Querachse* der Lokomotive: das **Nicken**
 - c) um die *senkrechte* Schwerachse der Lokomotive: das **Drehen** und das **Schlingern**.

Am Zucken, Drehen und Schlingern nimmt die *ganze* Lokomotive teil. Die übrigen störenden Bewegungen sind Schwingungen des abgefederten Teiles der Lokomotive.

Drillinglokomotiven mit 120° versetzten Kurbeln zeigen keine Zuckbewegung, hingegen sind die Schlingermomente stärker als bei einer entsprechenden *Zwillinglokomotive* mit Außenzylindern. — Die Vierlinglokomotive von v. Borries mit zwei gegenläufigen Kurbeln auf jeder Maschinenseite zuckt nicht und schlingert weniger als die Drillinglokomotive mit um 120° versetzten Kurbeln oder als die *Zwillinglokomotive* mit Außenzylindern. — Lokomotiven mit doppelten, gegenläufigen Triebwerken zucken nicht, schlingern jedoch etwa ebenso stark wie entsprechende *Zwillinglokomotiven* mit Außenzylindern.

Vollständig aufgehoben sind die Zuck- und Schlingerbewegungen bei Lokomotiven mit Schlichschem Ausgleich (s. Garbe 1920, S. 105), bei Getriebelokomotiven (S. 247) treten sie praktisch nicht in Erscheinung, bei Turboantrieb (S. 247) entfallen die Ursachen dieser störenden Bewegungen. Die *Zwillinglokomotive* besitzt den Vorzug größter Einfachheit. Sie herrscht daher trotz ihrer lauftechnischen Nachteile vor.

Nur zum überschlägigen Nachprüfen!

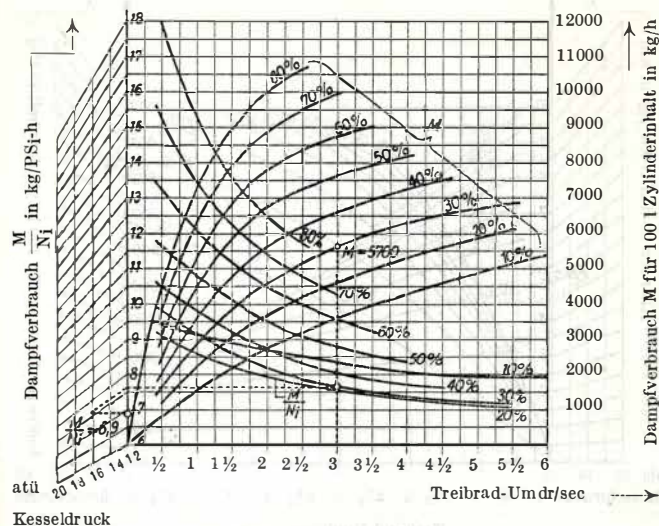


Bild 91. Der stündliche spezifische **Dampfverbrauch** von Heißdampf-Zwillinglokomotiven in Abhängigkeit von Füllung, Drehzahl und Kesseldruck

Voraussetzungen: Heizflächenbelastung $50 \div 60$ kg/m²-h, Überhitzung auf 350–400° C.

Kurvenschar M gibt den Dampfverbrauch in kg/h für 100 l Inhalt je Zylinder einer *Zwillinglokomotive* an.

Kurvenschar $\frac{M}{N_i}$ gibt den Dampfverbrauch in kg je indizierte PS-Stunde an.

Die Leistung N_i bezieht sich auf 100 l Inhalt je Zylinder einer *Zwillinglok*.

Beispiel: Gegeben sind 3 Treibrad-Umdr/sec, 16 atü Kesseldruck und 30% Füllung. Es folgt hieraus ein stündlicher Dampfverbrauch

von $M = 5700$ kg je 100 l Zylinderinhalt

und von $\frac{M}{N_i} = 6,9$ kg je indizierte Pferdestärke.

Nur zum überschlägigen Nachprüfen!

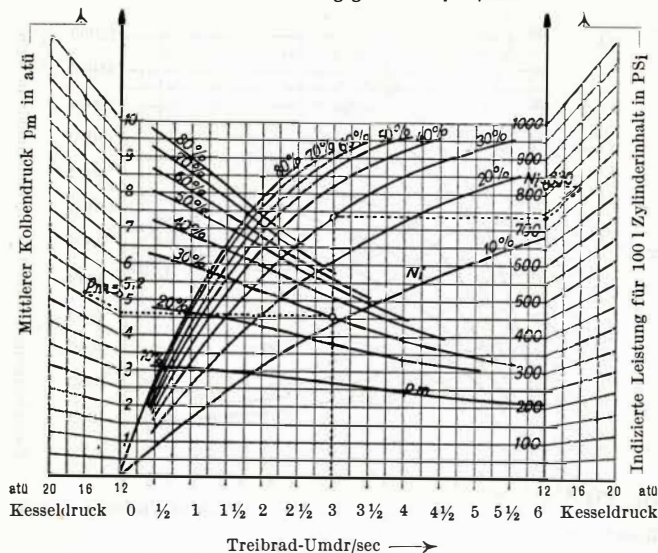


Bild 92. Indizierte spezifische **Leistung** und mittlerer **Kolbendruck** von Heißdampf-Zwillinglokomotiven in Abhängigkeit von Drehzahl und Füllung

Es ist N_i = indizierte Leistung für 100 l Inhalt je Zylinder einer Zwillinglokomotive

$$p_m = \frac{3}{160} \cdot \frac{N_i}{n} = \text{mittlerer Kolbendruck in atü}$$

Voraussetzungen: Heizflächenbelastung $50 \div 60 \text{ kg/m}^2\text{-h}$, Überhitzung auf $350\text{—}400^\circ \text{C}$.

Beispiel: Gegeben sind 3 Treibrad-Umdr/sec, 16 atü Kesseldruck und 30 % Füllung. Es folgen hieraus eine indizierte Leistung von $N_i = 830 \text{ P}_{sj}$ je 100 l Zylinderinhalt und ein mittlerer Kolbendruck von $p_m = 5,2 \text{ atü}$.

Zur Gelenklokomotive

muß man übergehen, wenn die erforderliche Anzahl der gekuppelten Achsen größer ist, als sich in *einem* Hauptrahmen zweckmäßig vereinigen läßt. Eine Unterteilung des Hauptrahmens ist bei schnellfahrenden Lokomotiven üblich, wenn mehr als 4, bei verhältnismäßig langsam fahrenden Lokomotiven, wenn mehr als 6 gekuppelte Achsen vorgesehen werden müssen. Die Gelenklokomotive kommt den Forderungen günstigen Fahrzeuglaufes entgegen (siehe S. 68 u. f.).

Von Bedeutung sind folgende Bauarten:

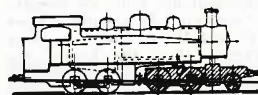


Bild 93

Die Mallet-Lokomotive

(s. Nr. 50, Zahlentafel S. 170 und Nr. 59 u. 60, Zahlentafel S. 174)

kennzeichnet sich durch einen mit dem hinteren Teil des Kessels fest verbundenen Hauptrahmen, der nur bis etwa Kesselmitte nach vorn reicht, und durch ein *Dampf-drehgestell*, welches nach Art eines Bisselgestells vorn an den Hauptrahmen angelenkt ist. Das Vorderende des Kessels lagert auf Gleitflächen des Treibgestelles. Das Treibgestell neigt trotz Rückstellvorrichtung stark zum Schlingern, da seine zu bewegend Masse gering gegenüber den wechselnden Zylinderkräften ist. Die große Masse des frei vorstehenden Kessels bewirkt hohe Seitendrucke auf die festen Achsen des Hauptrahmens, es können daher für die Mallet-Lokomotive grundsätzlich nur *verhältnismäßig* geringe Fahrgeschwindigkeiten zugelassen werden. Der schwerste Mangel ist die ungünstige waagerechte Führung bei Rückwärtsfahrt. Die Nachteile treten um so weniger in Erscheinung, je größer die Lokomotiveinheit ist. In USA fahren gewisse Bauarten von Mallet-Lokomotiven mit Höchstgeschwindigkeiten bis etwa 125 km/h .

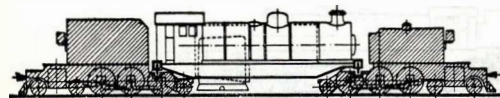
Die Mallet-Lokomotive ist die einzige zweiteilige Gelenk-Lokomotive. Alle anderen Gelenk-Bauarten weisen mindestens drei Hauptteile auf.

Die Mallet-Type wird als Tenderlokomotive wie als Lokomotive mit Schleppender gebaut. Die leistungsfähigsten und schwersten Dampflokomotiven, die je gebaut wurden, sind Mallets.

Bild 94

Die Garratt- bzw. Beyer-Garratt-Lokomotive

(s. Nr. 51 ÷ 56 u. 58 ÷ 60, Zahlentafel S. 170)



ist für *höchste* Fahrgeschwindigkeiten geeignet und fährt in beiden Richtungen gleich gut. Sie besteht aus zwei die Vorräte tragenden Dampf-drehgestellen, die durch einen Kessel und den Führerstand tragenden Kesselrahmen gelenkartig miteinander verbunden sind.

Der Stehkessel ist in seiner Gestaltung durch keinerlei Lauf- und Triebwerkteile beengt, kann vielmehr das volle Maß der Fahrzeugumgrenzung ausnutzen. Mit der Garratt-Bauart lassen sich somit unter Anwendung *einfacher* baulicher Mittel *größte Kesselleistungen* erzielen. Die große Längenentwicklung ist in solchen Fällen ein ausschlaggebender Vorteil, in denen in Rücksicht auf die zulässige Brückenbelastung ein geringes Metergewicht eingehalten werden muß.

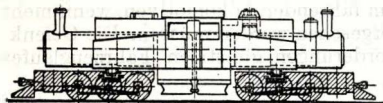


Bild 95

Die Fairlie-Lokomotive

kennzeichnet sich durch Doppelkessel und zwei Dampfdruckgestelle; die Vorräte sind beiderseits der Langkessel untergebracht. Fahrtechnisch ist sie ungünstiger als die Bauart Garratt, aber günstiger als die Bauart Mallet und entspricht etwa der Modified Fairlie (siehe Bild 96). Die Fairlie-Lokomotive kommt für neuzeitliche Ausführungen nicht in Betracht.

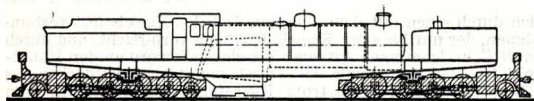


Bild 96

Die Modified Fairlie

(s. Nr. 57, Zahlentafel S. 170)

ist fahrtechnisch günstiger als die Mallet. Sie besitzt einen durchgehenden Hauptrahmen, der den Kessel und den Führerstand, vor dem Kessel den Wasserbehälter, hinter dem Führerstand den Brennstoffbehälter und den Rest des Wasservorrats trägt. Das Ganze ruht auf 2 Dampfdruckgestellen, die zum Verringern des Schlingerns mit je einer Rückstellvorrichtung versehen sind. Zwischen den Drehgestellen sitzt der Stehkessel; dieser kann — wie bei Garratt — das volle Umgrenzungsprofil ausnutzen. Es lassen sich also auch mit Modified Fairlie höchste Kesselleistungen unter Anwendung einfacher Mittel erzielen. — Modified Fairlie ist als Abart sowohl der Günther-Meyer- (siehe Bild 98) wie auch der oben dargestellten ursprünglichen Fairlie-Bauart anzusehen.

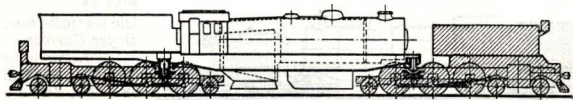


Bild 97. Die Garratt-Union-Lokomotive

Eine Vereinigung von Garratt und Modified Fairlie stellt die unter der Bezeichnung *Garratt-Union* bekanntgewordene Lokomotivbauart dar.

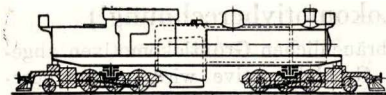


Bild 98

ie Günther-Meyer-Lokomotive

— heute zumeist in der Spielart Kitson-Meyer auftretend — unterscheidet sich von Modified Fairlie lediglich dadurch, daß die Vorräte hauptsächlich *beiderseits* des Kessels, keinesfalls vor dem Kessel angeordnet sind.

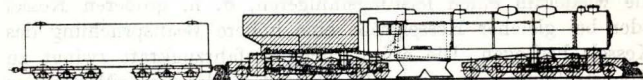


Bild 99. Die Henschel-Gelenklokomotive 1935

unterscheidet sich von einer Garratt durch konstante Belastung des vorderen Treibgestelles. Die Wasservorräte — die bei Garratt auf dem vorderen Treibgestell untergebracht sind — werden in einem besonderen Wasserwagen mitgeführt. Diese Maßnahme ermöglicht die *Verwirklichung größter Kesselabmessungen* und das Mitnehmen großer Wasservorräte.

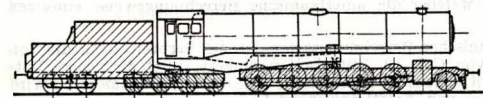


Bild 100. Die Henschel-Gelenklokomotive 1950

ist durch die Verwendung eines Jakobs-Drehgestells gekennzeichnet. Sie kann als Vereinigung der Bauart 1935 mit einer Schleppenderlokomotive aufgefaßt werden. Der Tender ist organisch in das Laufwerk der Lokomotive einbezogen. Die Forderungen guter Fahrzeugführung im Gleis sind erfüllt, soweit dies bei Stangenantrieb möglich ist. (Weiterentwicklung unter Anwendung des Einzelachsantriebes nach Bild 188/89, S. 248.)

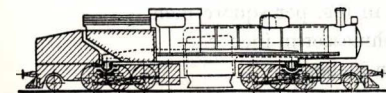


Bild 101

Die Golwé-Lokomotive

weist zwei Dampfdruckgestelle auf, die dicht an den Stehkessel herangerückt sind. Das vordere Drehgestell sitzt unter dem Langkessel, das hintere Drehgestell trägt den Wasserbehälter, der den auf der Verlängerung des Kesselrahmens angeordneten Brennstoffbehälter U-förmig umfaßt.

Die amerikanische Lokomotivberechnung¹⁾

ist auf die in den USA gebräuchlichen Größtlokomotiven abgestellt. Die amerikanische Großlokomotive wird notwendigerweise mit kleineren Zylindern ausgerüstet, als sie in Rücksicht auf sparsamsten Dampfverbrauch zweckmäßig sind. Um die gleiche Zugkraft zu erhalten, die mit den „zweckmäßigsten“ Zylindern erreicht wird, muß man mit höheren Füllungen fahren, die wiederum einen leistungsfähigeren, d. h. größeren Kessel oder bei gleicher Kesselgröße eine höhere Beanspruchung des Kessels bedingen. Die erforderliche Anfahrzugkraft zwingt zu Höchstfüllungen von etwa 90 % und – da diese Maßnahme meist noch nicht ausreicht – zum Einbau eines Boosters (s. S. 229). Aus dem Bestreben heraus, das sich aus den knappen Zylindern ergebende unwirtschaftliche Fahren mit hohen Füllungen bei höheren Geschwindigkeiten zu unterbinden, ist die Einrichtung des „limited cut-off“ (s. S. 223) entstanden.

Der Übergang von der Zwilling- zur Drilling- oder Vierling-Bauart rückt die Grenze, oberhalb welcher die amerikanische Berechnungsweise einsetzen muß, weiter hinaus.

Von den amerikanischen Berechnungsarten ist am verbreitetsten die von *Baldwin*. Diejenige von *Cole* ist historisch verankert, durch die neuere Entwicklung des Lokomotivbaues aber überholt. Für Streckenlokomotiven wird vielfach das Verfahren von *Kiesel* angewendet.

I. Baldwin geht von der Höchstzugkraft am Radumfang aus. Diese ist bei einfacher Dampfdehnung

$$a) \quad T = \frac{0,85 P \times C^2 \times S}{D}$$

worin¹⁾ T = Höchstzugkraft am Treibradumfang in lbs.

P = Kesseldruck in lbs. per square inch

C = Zylinderdurchmesser in inches

S = Kolbenhub in inches

D = Treibraddurchmesser in inches

Die Höchstzugkraft von *Verbundlokomotiven* ermittelt Baldwin

¹⁾ Siehe S. 304: Englische und amerikanische Maße.

b) bei Vierzylinder-Verbund (mit Ausnahme von Gelenklokomotiven) und Tandem-Verbund

$$\text{zu} \quad T = \frac{S \times P}{D} \left(\frac{2}{3} C^2 + \frac{C^2}{4} \right)$$

c) bei Zweizylinder-Verbund mit einem Zylinderraumverhältnis von 2,35 : 2,40

$$\text{zu} \quad T = \frac{C^2 \times S \times 0,6 P}{D}$$

d) bei Mallet-Vierzylinder-Verbund

$$\text{zu} \quad T = \frac{C^2 \times S \times 1,7 P}{(R + 1) \times D}$$

Liegt das Zylinderraumverhältnis von Mallet-Lokomotiven zwischen 2,35 und 2,40, so wird Formel d) ersetzt durch

$$e) \quad T = \frac{C^2 \times S \times 1,2 P}{D}$$

In obigen Formeln (b bis e) ist

C = Durchmesser des Hochdruckzylinders in inches

c = Durchmesser des Niederdruckzylinders in inches

R = Zylinderraumverhältnis.

Setzt man eine stündliche Dampferzeugung von 12 lbs per square foot wasserberührter Verdampfungsoberfläche (= 58,6 kg/m²) und einen Dampfverbrauch der Naßdampflokomotive von 28, der Heißdampflokomotive von 21 lbs. per HP hour (= 12,6 bzw. 9,43 kg je PS-h am Radumfang) voraus, so ergeben sich die Schaulinien von Bild 102 und 103; diese stellen die Beziehungen zwischen Zugkraft, Fahrgeschwindigkeit und wasserberührter Verdampfungsoberfläche (enthalten im Wert T/H!) dar.

Die *Leistungseinheit* (1 HP) wird erfüllt, wenn 33 000 Pfund im Zeitraum einer Minute 1 Fuß hoch gehoben werden.

Somit ergibt sich die *Leistung aus der Zylinderzugkraft* zu

$$f) \quad \text{HP} = \frac{P_m \times L \times A \times N}{33000}$$

mit HP = Leistung in HP

P_m = mittlerer Kolbendruck in lbs. per square inch

L = Kolbenhub in feet

A = Kolbenfläche eines Zylinders in square inches

N = Anzahl der in 1 Minute von den Kolben durchlaufenen Hubwege (= 4 je Radumdrehung einer Zwillinglokomotive)

oder zu g)

$$\text{HP} = \frac{T_m \times V}{375}$$

mit V = Stundengeschwindigkeit in miles

und T_m = zu P_m und V gehörige Zugkraft am Treibradumfang in Pfund (lbs.)

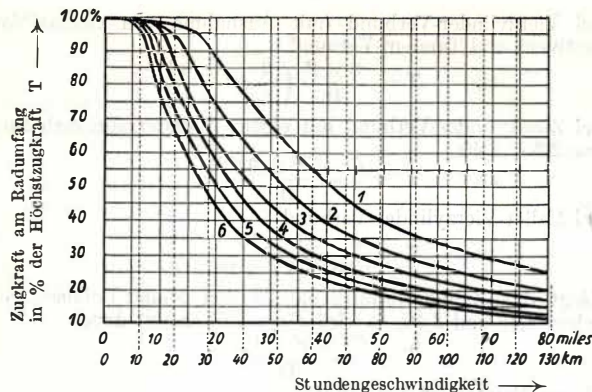


Bild 102. Zugkraft und Geschwindigkeit von **Naßdampf-**lokomotiven nach Baldwin

Voraussetzungen:

Stündliche Dampferzeugung = 12 lbs. per square foot
wasserberührter Verdampfungsheizfl. (= 58,6 kg/m²)
stündlicher Dampfverbrauch = 28 lbs. per HP
(= 12,6 kg/PS) am Radumfang

Es gilt Schaulinie

$$\begin{array}{ll}
 1 \text{ für } \frac{T}{H} = 8 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 39 & 4 \text{ für } \frac{T}{H} = 14 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 68,5 \\
 2 \text{ für } \frac{T}{H} = 10 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 49 & 5 \text{ für } \frac{T}{H} = 16 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 78 \\
 3 \text{ für } \frac{T}{H} = 12 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 58,5 & 6 \text{ für } \frac{T}{H} = 18 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 88
 \end{array}$$

Hierbei ist T = Höchstzugkraft am Treibradumfang in lbs. [gemäß Formel a) auf S. 152]

H = wasserberührte Verdampfungsheizfläche in square feet

Z_{Rmax} = Höchstzugkraft am Treibradumfang in kg (mit 0,85 p)

H_{wb} = wasserberührte Verdampfungsheizfläche in m²

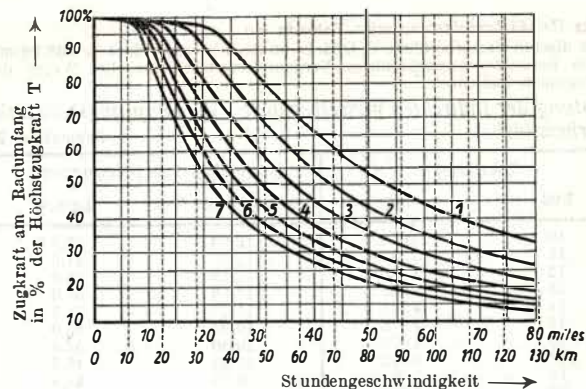


Bild 103. Zugkraft und Geschwindigkeit von **Heißdampf-**lokomotiven nach Baldwin

Voraussetzungen:

Stündliche Dampferzeugung = 12 lbs. per square foot
wasserberührter Verdampfungsheizfl. (= 58,6 kg/m²)
stündlicher Dampfverbrauch = 21 lbs. per HP
(= 9,43 kg/PS) am Radumfang

Es gilt Schaulinie

$$\begin{array}{ll}
 1 \text{ für } \frac{T}{H} = 8 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 39 & 4 \text{ für } \frac{T}{H} = 14 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 68,5 \\
 2 \text{ für } \frac{T}{H} = 10 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 49 & 5 \text{ für } \frac{T}{H} = 16 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 78 \\
 3 \text{ für } \frac{T}{H} = 12 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 58,5 & 6 \text{ für } \frac{T}{H} = 18 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 88 \\
 & 7 \text{ für } \frac{T}{H} = 20 \text{ bzw. } \frac{Z_{R\max}}{H_{wb}} = 97,5
 \end{array}$$

Hierbei ist T = Höchstzugkraft am Treibradumfang in lbs. [gemäß Formel a) auf S. 152]

H = wasserberührte Verdampfungsheizfläche in square feet

Z_{Rmax} = Höchstzugkraft am Radumfang in kg (mit 0,85 p)

H_{wb} = wasserberührte Verdampfungsheizfläche in m²

Als *Heizflächenbelastung* setzt Baldwin ein für die direkte wasserberührte Heizfläche 55 lbs. per square foot = 268 kg/m², für die *indirekte* wasserberührte Verdampfungsheizfläche die Werte der nachfolgenden Zahlentafel.

Belastung der indirekten wasserberührten Verdampfungsheizfläche (Rohrheizfläche)
Zahlentafel 25

Rohrlänge		Stündliche Dampferzeugung	
Fuß	mm	lbs. per square foot	kg/m ²
10	3 048	13,00	63,5
11	3 353	12,55	61,0
12	3 658	12,10	59,0
13	3 963	11,65	57,0
14	4 267	11,25	54,5
15	4 572	10,90	53,0
16	4 877	10,50	51,0
17	5 182	10,20	49,5
18	5 487	9,85	47,5
19	5 791	9,50	46,3
20	6 096	9,20	45,0
21	6 401	8,95	43,5
22	6 706	8,65	42,5
23	7 011	8,40	41,0
24	7 316	8,20	40,0

Der spezifische Dampfverbrauch ergibt sich aus Zahlentafel 26

Dampfverbrauch, bezogen auf die Stundenleistung am Radumfang
Zahlentafel 26

Kesseldruck		Spezifischer Dampfverbrauch			
		Naßdampf		Heißdampf	
lbs. per sq. inch	atü	lbs. per HP per hour	kg/PS-h	lbs. per HP per hour	kg/PS-h
100	7,03	34,50	15,5	25,75	11,5
120	8,44	32,00	14,3	24,00	10,7
140	9,84	30,50	13,6	22,75	10,2
160	11,25	29,30	13,1	22,00 ÷ 19,80	9,85 ÷ 8,8
180	12,66	28,60	12,8	21,45 ÷ 19,20	9,6 ÷ 8,6
200	14,06	28,00	12,5	21,00 ÷ 18,70	9,4 ÷ 8,4
220	15,47	27,50	12,3	20,65 ÷ 18,30	9,3 ÷ 8,2
240	16,87	27,10	12,1	20,35 ÷ 18,10	9,1 ÷ 8,1
260	18,28	26,80	12,0	20,10 ÷ 17,85	9,0 ÷ 8,0
285	20,04	26,50	11,8	19,90 ÷ 17,75	8,9 ÷ 7,9

II. Cole betrachtet die *Leistung* in Abhängigkeit von der Kolbengeschwindigkeit. Er setzt für Zwillingslokomotiven

$$h) \quad HP = \frac{(0,85 P \times f) \times c \times 2A}{33000}$$

mit c = mittlere Kolbengeschwindigkeit in feet per min

P = Kesseldruck in lbs. per square inch

A = Kolbenfläche eines Zylinders in square inches

f = „Geschwindigkeitszahl“, welche das Verhältnis der bei höchster Dauerleistung auftretenden Zugkraft T' zur Höchstzugkraft T angibt; sie entspricht mithin den Ordinaten der auf S. 154 und 155 dargestellten Kurven.

Die höchste Dauerleistung erreichen Naßdampflokomotiven bei 700 feet per min = 3,56 m/sec, Heißdampflokomotiven bei 1000 feet per min = 5,08 m/sec Kolbengeschwindigkeit. Die zugehörigen Geschwindigkeitszahlen sind f = 0,412 für Naßdampf und f = 0,445 für Heißdampf. Naßdampflokomotiven bleiben bei weiterer Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit auf dieser höchsten Dauerleistung unverändert bis zu einer Kolbengeschwindigkeit von 1000 feet per min., bei der die Heißdampflokomotive ihren Höchstwert erreicht (siehe Bild 104).

Die *Rostfläche* bemißt Cole

$$i) \text{ für Naßdampf zu } \frac{HP \times 4}{120} = \frac{HP}{30} \text{ in square feet}$$

$$k) \text{ für Heißdampf zu } \frac{HP \times 3,25}{120} = \frac{HP}{36,9} \text{ in square feet}$$

wobei vorausgesetzt ist eine Rostbelastung 120 lbs. per square foot per hour = 586 kg/m²·h bei einem Heizwert von 14000 BTU ~ 7800 kcal/kg, entsprechend einer Verdampfungsziffer 6,75.

Die *wasserberührte Verdampfungsheizfläche*

$$l) \quad H = \frac{D_i \cdot HP}{b}$$

ergibt sich nach Cole aus den *eindeutig* festgelegten Zahlenwerten des spezifischen Dampfverbrauchs

D_i = 27 lbs. per indicated HP-hour = 12,2 kg/PS_i-h für Naßdampf,
= 20,8 lbs. per indicated HP-hour = 9,4 kg/PS_i-h für Heißdampf

und einer Belastung der wasserberührten Verdampfungsheizfläche von $b = 13\frac{3}{8}$ lbs. per square foot per hour = $65,25 \text{ kg/m}^2\cdot\text{h}$.

Einem nach den Formeln i bis l bemessenen Kessel wird eine *Kesselkapazität* von 100 % zugesprochen. Lokomotiven mit kleinerem Kessel ist eine geringere Kesselkapazität zu eigen; bei ihnen ist die obere Leistungsgrenze durch die Leistungsfähigkeit des Kessels begrenzt, die eine (nach Coleschen Ansichten) volle Ausnutzung der Zylinderleistung nicht zuläßt. Ihre Leistungsschaulinie muß man im Verhältnis zur Kesselkapazität herabsetzen.

Die Colesche Kesselkapazität von 100 % wird fast nur von amerikanischen Größtlokomotiven erreicht. Alle anderen Lokomotivgattungen besitzen wohl ausnahmslos eine geringere Kesselkapazität, sind also mit *größeren* Zylindern versehen, als sie nach Cole zu dem ausgeführten Kessel gehören.

Cole's Annahmen — höchste Dauerleistung bei 1000 feet per min. Kolbengeschwindigkeit, 20,8 lbs. per indicated HP hour Dampfverbrauch treffen auf die modernen amerikanischen Heißdampflokomotiven nicht mehr zu (vergl. Zahlentafel S. 156 und Bild 106).

Ergänzende Betrachtungen zu den ursprünglichen Cole'schen Formeln bringt Lipetz in „Railway Age“ 1933/I, S. 243.

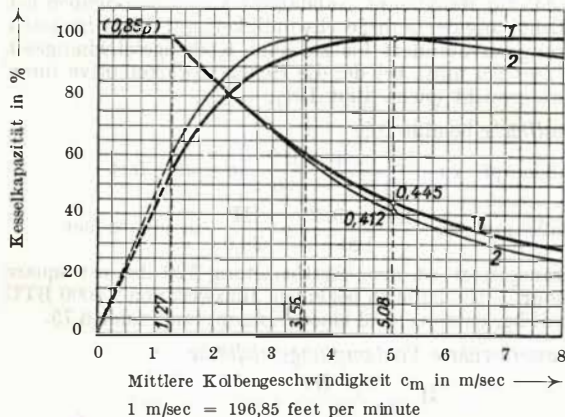
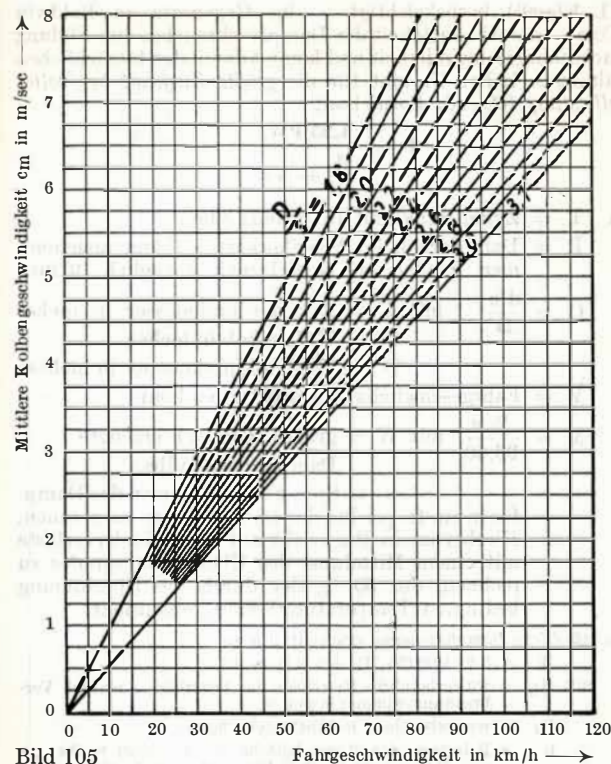


Bild 104. Zylinder-Leistung und -Zugkraft nach Cole

Kurven 1 = Heißdampf; Kurven 2 = Naßdampf

Eine Tafel zum Umrechnen der Kolbengeschwindigkeit in die Fahrgeschwindigkeit findet sich auf nebenstehendem Bild, S. 159.



III. Kiesel¹⁾ berücksichtigt — im Gegensatz zu Baldwin und Cole — die Abhängigkeit des Dampfverbrauches von Füllung wie auch Fahrgeschwindigkeit und kommt damit den tatsächlichen Verhältnissen nahe. Er gibt für die *größte Zugkraft bei voller Kesselleistung* folgende Formel an:

$$T = \frac{1,95 \text{ PM}}{\frac{M}{C} + V}$$

worin T = Zylinderzugkraft in pounds (lbs.)

P = Dampfdruck im Schieberkasten (kann angenommen werden zu Kesseldruck abzüglich 10 lbs.)

$$C = \frac{d^2 s}{D}$$

mit d = Zylinderdurchmesser in inches
s = Kolbenhub in inches
D = Treibraddurchmesser in inches

V = Fahrgeschwindigkeit in miles per hour

$$M = \frac{W_v}{36,66} \quad \text{mit } W = \text{größte stündlich erzeugte Dampfmenge in lbs.}$$

v = Spezifisches Volumen des Dampfes in cu. ft. per lb., der Dampfzettel zu entnehmen. Hierbei ist in Rücksicht auf die Zylinderverluste mit einem Mittelwert des Überhitzungsgrades zu rechnen, der 50 % der durch die Überhitzung bedingten Temperaturerhöhung entspricht.

Die stündliche Dampferzeugung ermittelt sich zu

$$W = 0,9 \cdot 1,08 (55 H_b + b H_r) \text{ in lbs.}$$

mit H_b = wasserberührte Heizfläche der Feuerbüchse einschl. Verbrennungskammer in sq. ft.

H_r = wasserberührte Rohrheizfläche in sq. ft.

b = Belastung der Rohrheizfläche (tube factor) in lbs. per
squ. ft. per hour (nach Zahlentafel 25, Seite 156).

Der Faktor 1,08 gilt nur für Lokomotiven mit Speisewasservorwärmer oder Abdampfinjektor, der Faktor 0,9 berücksichtigt den Dampfverbrauch der Hilfsmaschinen und der Heizung (vergl. S. 103).

Die Kiesel'sche Formel gilt nicht für Fahrgeschwindigkeiten unter 20 miles per hour!

¹⁾ Nach Johnson: „The steam locomotive“, New York 1944, S. 167.

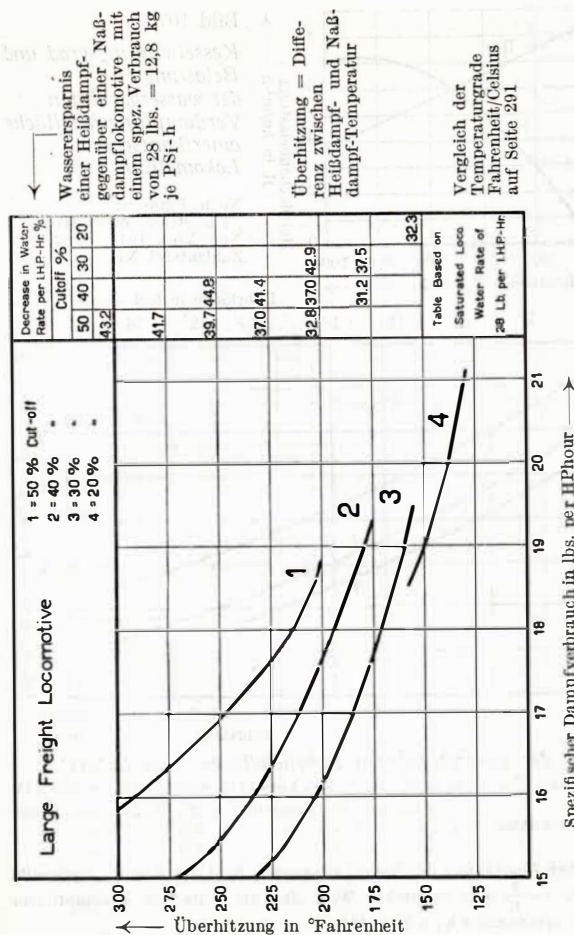
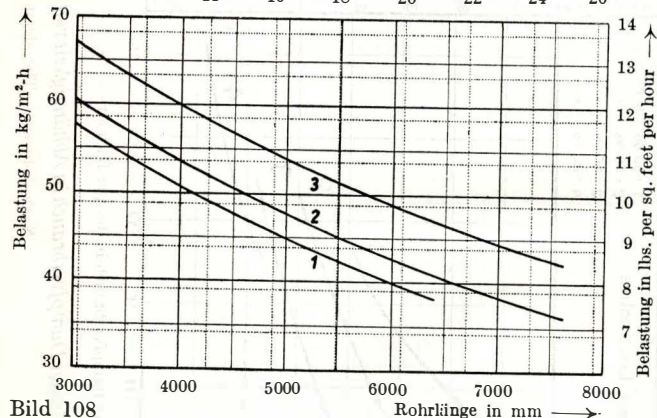
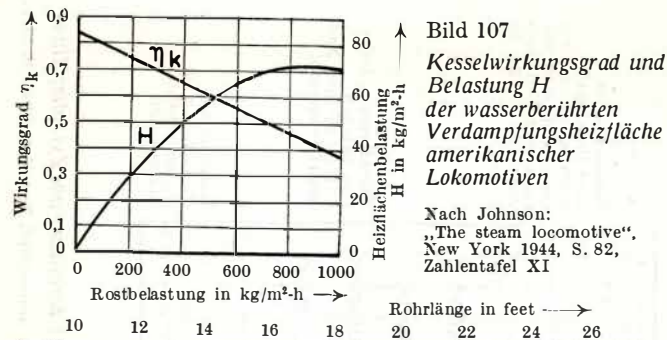
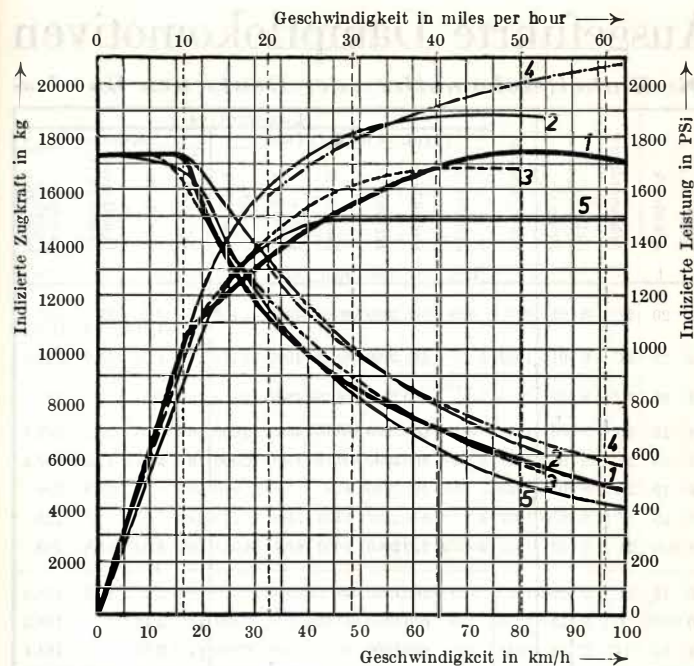


Bild 106. Spezifischer Dampferbrauch in Abhängigkeit von Überhitzung und Zylinderfüllung

Nach Johnson: 'The steam locomotive', New York 1944, S. 124.



Zur kritischen Beurteilung der Rohrabmessungen dient der Begriff „Hydraulic mean depth“ ($=\frac{1}{K}$, d. h. reziproker Wert der im deutschen Lokomotivbau üblichen Rohr Kennziffer K, s. Seite 111).



- 1 nach Strahl
- 2 nach Cole (bei 100 % Kesselkapazität)
- 3 nach Cole (bei einer Kesselkapazität von 89 %, die nach den Erläuterungen von S. 158 der ausgeführten Kesselgröße etwa entspricht)
- 4 nach Kiesel
- 5 nach Baldwin

Ausgeführte Dampflokomotiven

Die Einheitslokomotiven der Deutschen Bundes-

Lfd. Nr.	Achsdruk t	Achsanordnung	Gattung*)	Reihe¹)	Erstes Baujahr	Lokomotive									
						Trieb- und Laufwerk					Kessel				
						Zylinder Ø	Kolbenhub	Treibrad Ø	Lauftrad Ø	Fester Achsstand	Gesamt-Achsstand	Kesseldruck	Rostfläche	Feuerbüchsenheizfläche fb.	Verdampferheizfläche fb.
						mm	mm	mm	mm	mm	mm	atü	m²	m²	2m
1	20	2 C 1	S	01	19273 (1950)	600	660	2000	1000/1250	4600	12 400	16	4,5 (4,31)	17 (21,8)	247 (216,4)
2	20	2 C 1	S	0110	1937	3 × 500	660	2000	1000/1250	4600	12 400	16	4,32	16,9	246,9
3	20	2 C 1	S	02	1925	2 × 460 720	660	2000	850/1250	4600	12 400	16	4,5	17	247
4	18	2 C 1	S	03	1930	570	660	2000	1000/1250	4500	12 000	16	4,09	16,1	203,7
5	18	2 C 1	S	0310	1937	3 × 470	660	2000	1000/1250	4500	12 000	16	3,9	15,9	203,4
6	19	2 C 2	S	05	1934	3 × 450	660	2300	1100	5100	13 900	207	4,7	18,5	256
78)	19	2 C 2	S	05003	1937	3 × 450	660	2300	1100	5100	13 825	207	4,39	22,7	228
8	18/20 ^{a)}	2 D 2	S	06	1936	3 × 520	720	2000	1000	6750	14 525	207	5,04	18,8	289
9	18	1 C 1	P	23	1940	550	660	1750	1000/1250	2050	10 700	16	3,9	15,9	177,6
10	17/19 ^{b)}	1 C 1	P	23	1950	550	660	1750	1000/1250	2000	9 900	16	3,11	17,1	156,2
11	15	1 C	P	24	1940	500	660	1500	850	1800	6 300	14	2,05	8,7	104,4
12	18/20 ^{a)}	1 D 1	G	41	1934	520	720	1600	1000/1250	3700	12 050	207	4,09	16,2	203,7
13	18	1 E	G	42	1943	630	660	1400	850	3300	9 200	16	4,7	19,3	199,6
14	20	1 E	G	43	1926	720	660	1400	850	3400	9 650	14	4,7	18	237
15	20	1 E	G	44	1925	3 × 600	660	1400	850	3400	9 650	14	4,7	18	237
16	20	1 E	G	44	19363 (1950)	3 × 550	660	1400	850	3400	9 650	16	4,55	18 (21,3)	238 (196,3)

*) S = Schnellzuglokomotive; P = Personen-zuglokomotive; G = Güterzuglokomotive; St = Schnellzugtenderlokomotive; Pt = Personen-zugtenderlokomotive; Gt = Güterzugtenderlokomotive. — Sämtl. Gattungen für Schmalspurlokomotive

1) Zum Typenprogramm der Deutschen Bundesbahn gehören die Baureihen 23 neu, 41, 44, 45, 65, 66, 82 und 83

2) Bei Verbundlokomotiven ist die mit (0,5 p) errechnete Zugkraft angegeben

der Regelbauart

bahn und der Deutschen Reichsbahn

Zahlentafel 27

Lokomotive				Vorräte		Tender				Gesamt-Achsstbd. von Lok u. Tender	Zugkraft ²⁾ (0,75 p)	Größe Geschwindigkeit	Kleinsten Krümmungshalbmesser
Kessel	Gewichte					Gewichte							
Überhitzer- heizfläche außen	Reibungs- gewicht	Leergewicht	Dienst- gewicht	Wasser	Kohle	Rad Ø	Gesamt- Achsstand	Leergewicht	Dienst- gewicht	mm	kg	km/h	m
m²	t	t	t	m³	t	mm	mm	t	t	mm			
85,0 (95,0)	59,7	99,9	111,1	34	10	1000	5700	29,9	74,2	20 320	14 250	130	140
86,0	59,0	101,6	111,8	38	10	1000	6000	33	81	20 370	14 800	140	140
85,0	60,3	103,9	111,1	30	10	1000	4750	28,5	68,5	19 250	13 700 ³⁾	130	140
72,2	54,3	91,0	100,3	34	10	1000	5700	29,9	74,2	20 370	12 800	130	140
72,2	55,2	92,8	101,2	34	10	1000	5700	29,9	74,2	20 225	13 100	140	140
90,0	57,6	118,5	129,9	37	10	1100	5900	38	85	22 075	13 100	175	140
81,9	56,0	114,0	124,0	38,5	12	1100	6150	40,5	91	22 275	13 100	175	140
132,5	72/80 ⁴⁾	129,8	141,8	38	10	1000	6000	33,2	81,2	22 450	21 900	140	140
64,1	53,9	80,1	88,3	26	8	1000	5700	25,5	59,5	19 015	13 650	110	140
73,8	50/56 ⁵⁾	74,8	82,9	31	8	1000	5700	22,4	61,4	17 625	13 650	110	140
37,4	45,1	52,2	57,0	17	6	1000	3800	18,8	41,8	13 270	11 550	90	140
72,2	70/78 ⁴⁾	92,6	101,9	34	10	1000	5700	29,9	74,2	20 175	18 250	90	140
75,8	85,5	88,2	96,6	30	10	970	5800	18,7	53,7	19 000	22 500	80	140
100,0	96,6	100,9	110,8	32	10	1000	5700	33,5	75,5	19 190	25 600	70	140
100,0	99,4	103,7	114,1	32	10	1000	5700	33,5	75,5	19 190	26 700	70	140
100,0 (86,0)	95,0	99,9	109,8	34	10	1000	5700	29,9	74,2	19 190	25 650	80	140

3) Klammerzahlen gelten für Umbau-Lokomotiven mit Verbrennungskammer

4) Kuppelachsdruk wahlweise 18 oder 20 t

5) Kuppelachsdruk wahlweise 17 oder 19 t

6) Mit Zahnradgekuppelten Endachsen

7) Später auf 16 kg/cm² herabgesetzt

8) Auf Rostfeuerungs umgebaute Kohlenstaublokomotive mit Verbrennungskammer

9) Entwurf

Fortsetzung von Zahlentafel 27:

Die Einheitslokomotiven der Deutschen Bundes-

Lfd. Nr.	Achsdruk t	Achsanordnung	Gattung*)	Reihe ¹⁾	Erstes Baujahr	Lokomotive									
						Trieb- und Laufwerk					Kessel				
						Zylinder Ø	Kolbenhub	Treibrad Ø	Laufbad Ø	Fester Achsstand	Gesamt-Achsstand	Kesseldruck	Rostfläche	Feuerbüchsenheizfläche fb.	Verdampfungsheizfläche fb.
						mm	mm	mm	mm	mm	mm	atü	m ²	m ²	m ²
17	16/24 ¹⁾	1E1	G	45	1940 ³⁾ (1950) 1939	3 × 520	720	1600	1000/1250	5550	13 600	207	4,8	18,7 (23,2)	310,5 (269)
18	15	1E	G	50		600	660	1400	850	3300	9200	16	3,9	15,9	177,6
19	15	1E	G	52	1942	600	660	1400	850	3300	9200	16	3,9	15,9	177,6
20	18	2C2	St	61	1934	460	750	2300	1100	5100	14 350	207	2,75	14,2	151,9
21	18	2C3	St	61	1939	3 × 390	660	2300	1100	5100	15 025	207	2,79	14,3	150
22	20	2C2	Pt	62	1928	600	660	1750	850	5000	13 300	14	3,5	15	195,3
23	15	1C1	Pt	64	1940	500	660	1500	850	—	9 000	14	2,05	8,7	104,4
24	17	1D2	Pt	65	1950	570	660	1500	850	8750	11 975	14	2,66	14,8	140,2
25	15	1C2 ²⁾	Pt	66	1952	470	660	1600	850	1850	10 450	16	1,95	11,9	87,9
26	15	1B1	Pt	71	1934	310	660	1500	850	8000	8 400	207	1,37	5,5	67,5
27	17	C	Gt	80	1926	450	550	1100	—	3200	3 200	14	1,5	6,6	69,6
28	17	D	Gt	81	1927	500	550	1100	—	4200	4 200	14	1,78	7,7	95,9
29	18	E	Gt	82	1950	600	660	1400	—	—	6 600	14	2,3	12,6	122,2
30	15	1D2 ³⁾	Gt	83	1952	520	660	1400	850	3300	11 575	16	2,3	12,6	122,2
31	18	1E1	Gt	84	1934	3 × 500	660	1400	850	—	11 700	16	3,76	14,2	210
32	20	1E1	Gt	85	1932	3 × 600	660	1400	850	3400	12 500	14	3,5	15	195,3
33	15	1D1	Gt	86	1938	570	660	1400	850	1700	10 300	14	2,32	10	117,3
34	17	E	Gt	87 ⁴⁾	1926	600	550	1100	—	3400	6 200	14	2,34	10	117,3
35	15	C	Gt	89	1934	420	550	1100	—	3300	3 300	14	1,42	6,1	82,2
36	15	C	Gt	89	1934	420	550	1100	—	3300	3 300	14	1,42	6,02	67,9
37	9,3	1E1	K	997 ³⁾	1928	450	400	800	550	4000	7 600	14	1,75	6,7	80,3
38	8,0	1D1	K	993 ²⁾	1932	380	550	1100	550	3975	8 075	14	1,62	5,8	60,5
39	10	1E1	K	992 ²⁾	1932	500	500	1000	550	3600	8 700	14	1,78	7,7	95,9

Fußnoten auf S. 164/165. — Lfd. Nr. 37/38/39 für 750/900/1000 mm Spur

bahn und der Deutschen Reichsbahn

Lokomotive				Vorräte		Tender				Gesamt-Achstd. von Lok u. Tender	Zugkraft ⁽²⁾ (0,75 p)	Größte Geschwindigkeit	Kleinstes Krümmungs- halbmesser
Kessel	Gewichte					Gewichte							
Überhitzer- heizfläche außen	Reibungs- gewicht	Leergewicht	Dienst- gewicht	Wasser	Kohle	Rad Ø	Gesamt- Achstand	Leergewicht	Dienst- gewicht	mm	kg	km/h	m
m ²	t	t	t	m ³	t	mm	mm	t	t	mm			
120,6 (120,0)	90,8/98,8 ⁴⁾	114,7	126,7	38	10	1000	6000	33,2	81,2	21 775	27 500	90	140
64,1	75,3	78,6	86,8	26	8	1000	5700	25,5	59,5	18 890	20 200	80	140
63,7	75,7	75,9	84,0	30	10	970	5800	18,7	58,7	18 890	20 200	80	140
69,2	56,7	100,5	129,1	17	5	—	—	—	—	—	10 350	175	180
69,2	56,3	112,9	146,3	21	6	—	—	—	—	—	9 800	175	180
72,5	60,8	97,9	123,6	14	4,3	—	—	—	—	—	14 250	100	140
37,4	45,7	58,5	75,2	9	3	—	—	—	—	—	11 550	90	140
62,9	68,0	81,0	108,0	14,3	4,8	—	—	—	—	—	15 000	85	140
43,8	45,0	65,0	90,0	14	5	—	—	—	—	—	10 950	90	140
28,6	29,9	45,4	58,6	7	3	—	—	—	—	—	6 750	90	140
25,5	54,4	44,3	54,4	5	2	—	—	—	—	—	10 600	45	140
34,0	67,5	52,0	67,5	8	3	—	—	—	—	—	13 100	45	140
51,9	91,6	69,7	91,6	11	4	—	—	—	—	—	17 800	70	140
51,9	60,0	74,0	102,7	16	5	—	—	—	—	—	15 300	80	140
85,0	91,3	100,5	125,5	13,7	3	—	—	—	—	—	21 200	80	85
72,5	99,7	107,5	133,6	14	4,5	—	—	—	—	—	26 700	80	140
47,0	59,4	68,0	87,3	9	4	—	—	—	—	—	16 100	80	140
47,0	85,6	68,0	85,6	9	3	—	—	—	—	—	18 900	45	100
—	45,8	35,3	45,8	4,5	2,6	—	—	—	—	—	9 250	45	140
24,1	46,6	36,2	46,6	4,8	2,6	—	—	—	—	—	9 250	45	140
29,0	46,2	43,7	56,2	6	2,5	—	—	—	—	—	10 600	30	50
30,6	32,0	35,0	44,0	3	1,7	—	—	—	—	—	7 550	50	50
34,0	50,0	55,0	66,0	8	3	—	—	—	—	—	13 100	40	50

Lfd. Nr.	Spur	Größter Achsdruck	Achsanordnung	Eigentümer bzw. Bestimmungsland	Trieb- und Laufwerk					
					Zylinder Ø	Kolbenhub	Treibrad Ø	Lauftrab Ø	Fester Achsstand	Gesamt-Achsstand
1	1524	15,4	1 A 1	Lettische Staatsbahn . . .	320	520	1500	1050	3900	5700
2	1000	14,0	B	Hohenlimburger Kleinb. ⁶⁾	380	400	900	—	1500	1500
3	1435	17,8	B	Stahlwerk in Frankreich . .	380	500	1000	—	2000	2000
4	1435	16,0	B 1	Bergedorf-Geesthacht . .	350	550	1200	900	2200	4200
5	1067	10,0	1 B 1	Deli-Bahn (Sumatra) ¹⁾ *)	350	550	1300	760	4700	7000
6	1435	18,5	1 B 1	Vormalige Lübeck-Büchener E. G. ⁶⁾	400	660	1980	1000	3000	8750
7	1524	17,1	1 B 1	Lettische Staatsbahn ⁴⁾ . .	430	630	1720	900	2700	8400
8	860	12,8	C	Zementfabrik Alsen	420	400	860	—	2500	2500
9	1435	15,9	1 C	Süddeutsche E. G.	480	550	1200	800	3500	6000
10	1676	16,7	C 1	Hafenb. Kalkutta (Indien)	406	610	1168	762	3353	5029
11	750	5,0	1 C 1	Norwegische Staatsbahn	260	400	824	573	1830	5430
12	750	7,8	1 C 1	Kleinbahn in Finnland ¹⁾ . .	390	430	900	525	2300	6300
13	1067	10/11	1 C 1	Vierfontain (Süd-Afrika) ²⁾	381	508	991	625	2800	6600
14	1435	13,0	1 C 1	Swatow Chow-Chow (China)	450	610	1372	750	3658	7670
15	1435	14/16	1 C 1	Sachsenwerk	480	550	1200	800	3000	7600
16	1435	16,3	1 C 1	Mecklenb. Friedrich-Wilhelms-Eisenbahn . .	520	630	1500	1000	3800	9000
17	1435	16,8	1 C 1	Halberstadt-Blankenburger E. G. *)	530	660	1400	850	3600	9000
18	1524	16,7	1 C 1	Lettische Staatsbahn ³⁾ ⁴⁾	480	630	1720	900	3800	9500
19	1000	10,1	1 C 2	Burma-Railway (Indien)	381	559	1092	782/724	3048	7950
20	1067	12,1	2 C 2	Indonesische Staatsbahnen	485	600	1500	775	3500	11100
21	1524	17,3	2 C 2	Finnische Staatsbahnen ²⁾	530	660	1830	1030	4800	12700
22	600	5,2	D	Unterharzer Berg- und Hüttenwerke	300	300	650	—	1485	2200
23	1000	6,2	D	Tungpu Railway (China) . .	350	360	720	—	1800	2700
24	1000	11,0	D	Bayer-Werke Leverkusen ⁷⁾	430	400	850	—	1250	3150
25	1000	14,5	D	Brasilian. Nordwest-Bahn	540	450	950	—	2700	4000
26	1000	14,6	D	Sorocabana (Brasilien) ³⁾	540	450	950	—	2700	4000
27	1435	20,0	D	Dortmund-Hörde	600	600	1200	—	2860	4290
28	600	6,7	1 D	Amboim Ry (Portug.-Westafrika) ¹⁾	360	400	800	550	2000	4825
29	750	6,0	1 D	Kreis Jerichow	360	410	850	500	2200	5200

*) Bauart Hanomag

2) Ölföhrung

1) Holzöhrung

3) Wahlweise Holz- oder Kohlenöhrung

Henschel-TENDER-Lokomotiven

Kessel	Kesseldruck	Rostfläche	Verdampfungsfläche i. b.	Überhitzerheizfläche außen	Wasser	Brennstoff	Gewichte			Zugkraft (0,75 p)	Größte Geschwindigkeit	Kleinstes Krümmungsradius	Kennziffer
							Reibungs-gewicht	Leergewicht	Dienst-gewicht				
atü	m ²	m ²	m ²	m ²	m ³	t	t	t	t	kg	km/h	m	
14	1,25	51,2	21,8	3,3	1,7	15,4	30,0	37,2	3720	75	180	21 994	
15	0,8	27,1	13,0	2,7	0,6	28,0	23,0	28,0	7250	15	20	22 737	
16	1,34	67,9	—	4	1,1	35,5	27,5	35,5	8650	45	40	28 600	
16	1,25	48,5	20,5	5	2,1	32,0	34,0	43,0	6740	60	80	23 280	
12	1,43	58,7	28,7	4,6	2	20,0	29,7	38,8	4700	70	145	H 24 001	
16	1,4	75,4	26,0	9,3	3,5	36,5	52,5	69,0	6400	120	140	22 814	
15	1,91	97,4	34,4	8	2,5	34,1	52,1	68,0	7620	105	180	23 089	
14	1,3	62,3	29,0	3	1,1	38,2	30,0	38,2	8620	35	80	26 477	
13	1,8	96,3	33,5	6	2	47,7	46,7	60,0	11400	60	120	23 877	
14,8	1,68	95,7	—	9,1	2,5	49,9	49,8	65,8	9580	45	76	28 594	
12	0,67	30,1	11,3	2,1	0,5	14,8	16,2	20,6	2940	40	50	28 463	
13	1,35	48,6	23,0	4	1,5	23,4	26,4	34,4	7500	50	90	23 876	
12	1,95	75,2	—	5	2	30/33	35,2	45,4	6650	40	85	28 892	
12	1,3	69,5	27,5	6,5	2,5	39,0	39,7	51,5	8100	60	100	21 849	
14/16	2,08	98,4	42,6	7	2,5	42/48	52,8	68,7	11090/12670	70	100	24 751	
14	1,89	103,5	42,7	9,3	3,5	48,8	59,5	77,0	11950	80	140	22 911	
16	2,55	118,5	46,0	8	3	50,4	62,8	79,3	15900	75	140	H 35 009	
15	2,2	111,8	40,1	9	0,8 ³⁾	49,9	67,0	82,0	9550	105	180	23 085	
12,7	1,19	83,0	—	7	3	30,2	41,0	54,7	7050	56	76	21 632	
12	3,0	130,0	48,5	10	3	36,2	58,2	78,1	8500	80	150	18 158	
16	3,5	171,5	66,2	14	6	51,5	90,9	117,8	12150	110	180	26 132	
15	0,7	30,3	—	2	0,4	20,6	16,6	20,6	4700	15	24	23 332	
12	0,93	47,7	—	2,5	0,7	24,7	19,3	24,7	5550	25	35	22 373	
14	1,35	68,8	—	6,5	1,5	42,5	32,1	42,5	9100	30	15	27 109	
14	2,01	100,0	35,0	5,7	4,2 m ³	58,0	46,6	58,0	14500	40	80	25 064	
14	2,0	90,0	35,0	5,7	1,5	58,3	46,8	58,3	14500	40	80	22 943	
14	3,1	188,9	—	9	2,7	80,0	61,5	80,0	18900	45	80	24 421	
12	1,4	54,5	—	4	3	26,7	23,0	30,6	5840	40	40	28 457	
13	0,9	44,3	21,0	3,5	1,1	24,0	23,0	29,7	6125	45	50	24 367	

4) Lokomotive kann wahlweise auch mit Treibrädern von 1400 mm Ø versehen werden

6) Straßenbahnlokomotive

7) Mit Zahnradantrieb der Endachsen

5) Stromlinienlokomotive

Fortsetzung von **Eine Auslese bemerkenswerter Henschel-**
Zahlentafel 28:

Lfd. Nr.	Spur mm	Größter Achsdruk t	Achsanordnung	Eigentümer bzw. Bestimmungsland	Trieb- und Laufwerk						
					Zylinder Ø mm	Kolbenhub mm	Treibrad Ø mm	Lauftrab Ø mm	Fester Achstand mm	Gesamt- Achstand mm	
30	1067	12,2	D 1	Mozambique (Port.-Ostaf.)	450	500	1000	850	3600	5350	
31	750	7,0	1 D 1	Mittelpommersche Kleinb.	390	430	850	500	3300	6900	
32	1000	10,0	1 D 1	Portugiesische Nordbahn	450	600	1350	750	1500	9180	
33	1067	12,2	1 D 1	Indonesische Staatsb.*)	485	600	1106	774	8500	9000	
34	1435	16,0	1 D 1	Prignitzer E. G.	570	660	1400	850	5100	10300	
35	1435	18,0	1 D 1	Halberstadt - Blankenbg.*)	640	600	1250	850	1700	10800	
36	1524	15,0	1 D 1	Finnische Staatsbahnen*)	570	650	1600	960	3700	10550	
37	1000	14,8	2 D 2	Minas del Rif (Marokko)	520	540	1060	720	8600	11 100	
38	1435	18,0	2 D 2	Niederländische Eisenb. ...	4 × 420	660	1550	930	5250	14050	
39	750	8,5	E	Deutsche Bundesbahn ...	430	400	800	—	1860	3720	
40	1000	10,6	E	Südharz-Eisenbahn ...	500	500	1000	—	2400	4600	
41	1067	11,3	E	Quellmane (Port.-Ostaf.)	480	500	1000	—	2400	4800	
42	1435	20,0	E	Georgsmarienhütte ...	700	660	1300	—	6200		
43	1435	20,7	E	Roddergrube ...	700	660	1300	—	3100	6200	
44	1524	14,7	E	Finnische Staatsbahnen*)	570	650	1270	—	2900	5800	
45	1435	19,9	1 E 1	Ibbenbüren ¹⁴⁾ ...	720	660	1300	850	3100	11600	
46	1435	20	1 E 1	Türkische Staatsbahnen ...	3 × 570	660	1400	850	3400	12500	
47	1435	16,8	F	Bulgarische Staatsb.*) ...	1 × ⁶²⁰ 800	700	1300	—	4335	7225	
48	1067	10,0	1 F 1	Indonesische Staatsb.*) ...	540	510	1102	774	3750	10250	
49	900	14,7	B B	Grube Phönix (Thür.) ¹⁴⁾ ...	4 × 330	430	800	—	1850	10 100	
50	1000	9,1	C C	Deutsche Reichsbahn ¹⁵⁾ ...	2 × ⁴⁰⁰ 820	450	900	—	2500	7000	
51	610	4,0	1 C 1 1 C 1	Südafr. Staatsbahnen*) ...	4 × 229	406	762	533	1727	12344	
52	610	7,0	1 C 1 1 C 1	Südafr. Staatsbahnen*) ...	4 × 305	406	833	530	1905	10300	
53	1000	12,5	1 C 1 1 C 1	La Robla (Spanien*) ...	4 × 420	550	1070	720	2600	20000	
54	1000	9,0	2 C 1 1 C 2	Rio Grandedo Sul*) ...	4 × 356	610	1143	735	2600	20080	
55	1067	13,5	2 C 1 1 C 2	Südafr. Staatsbahnen*) ...	4 × 406	660	1372	762	2896	21 260	
56	1000	10,5	1 D 1 1 D 1	Siamesische Staatsb. ¹⁶⁾ ...	4 × 430	550	1050	762	3600	20000	
57	1067	13,3	1 D 1 1 D 1	Südafr. Staatsb. ⁸⁾ ...	4 × 457	610	1156	724	3887	21 285	
58	1000	10,7	2 D 1 1 D 2	Brasil. Nordwestb. ¹⁰⁾ ...	4 × 406	610	1219	724	2718	24 105	
59	1067	13,5	2 D 1 1 D 2	Südafr. Staatsbahnen Klasse GO ¹⁰⁾ ...	4 × 470	660	1372	762/864	4394	24867	
60	1067	15,2	2 D 1 1 D 2	Südafr. Staatsbahnen Klasse GM ¹⁰⁾ ...	4 × 521	660	1372	762/864	4394	26 010	

*) Bauart Hanomag ²⁾ Ölfuehrung ⁸⁾ Bauart Garratt ¹¹⁾ Bauart Mallet
¹⁾ Holzfeuerung ⁵⁾ Bauart Modified Fairlie ¹⁰⁾ Bauart Beyer-Garratt ¹²⁾ Dampftrockner

TENDER-Lokomotiven

Typenskizze auf Seite 407
 Bilder auf Seite 355, 364, 367, 371, 393, 394

Kessel atm	Rostfläche m ²	Verdampfungs- oberfläche m ²	Heiz- fläche außen m ²	Vorräte		Gewichte			Zugkraft (0,75 p) ¹³⁾ kg	Größe Geschwindigkeit km/h	Kleiner Krum- mungsbahmness. m	Kennziffer
				Wasser m ³	Brennstoff t	Reibungs- gewicht t	Leergewicht t	Dienst- gewicht t				
13	1,6	89,7	—	10	2,5	48,5	42,3	57,9	9870	80	35	28379
13	1,3	54,4	26,0	3	1,1	28,0	28,5	34,8	7500	30	70	21780
13	1,9	102,3	49,0	6,5	1,8	39,7	42,8	55,4	9950	75	70	21875
12	2,4	106,0	35,0	9	3	48,7	52,1	68,7	10950	45	150	H 4 641
14	2,34	117,3	47,0	9	3,5	64,0	68,0	86,0	16100	70	140	22909
16	3,12	145,0	55,0	9	3	72,0	83,3	102,0	23600	60	140	H 46 023
12	2,11	122,0	38,0	7,5	4	59,0	70,3	86,0	11900	80	180	H 46 015
14	3,2	190,4	—	12	3,2	59,0	68,0	91,0	14500	45	80	23278
14	3,16	167,2	54,0	14	4,5	72,0	101,6	126,4	15800	90	200	21782
14	1,6	64,2	24,5	4,5	2	42,2	32,5	42,2	9690	30	50	19757
14	1,82	76,6	25,5	5	2	53,0	43,0	53,0	13100	40	60	20573
13	1,6	90,2	—	10	2,5	56,3	40,5	56,3	11250	35	80	22075
14	3,6	169,6	64,8	10,5	3,5	100,0	79,0	100,0	26125	45	140	25221
14	3,72	166,3	61,1	10,5	4,3	103,5	82,7	103,5	26125	45	140	24822
12	2,11	122,0	38,0	6	2,6	73,5	59,5	73,5	15100	50	180	H 55 007
14	4,05	199,6	72,9	12	4	99,2	100,6	123,8	27600	50	140	23 331
16	4,0	205,2	78,6	14,5	5	100,0	108,4	136,0	27600	70	140	25225
15	4,6	252,5	—	12	5	100,7	78,1	100,7	16300 ¹³⁾	50	120	H 6 640a
12	2,6	118,0	40,8	8,5	3	60,0	61,6	78,0	12200	45	150	H 6 841
14	2,3	100,7	9,15 ¹²⁾	6,8	2,5	58,8	44,8	58,8	12100	25	50	24292
14	1,85	82,7	34,0	4,5	1,5	54,0	45,3	54,0	13450 ¹³⁾	30	90	15167
12,6	0,98	39,3	9,0	4,5	2	23,9	29,9	38,2	5300	35	50	H 35 359
12,6	1,8	77,0	13,2	8,1	4	42,0	46,0	62,5	8600	40	50	H 35 351
13	3,2	133,0	36,0	15	8	75,0	80,0	108,0	17700	50	90	H 35 357
14	4,0	114,6	44,5	11,1	7,2	54,0	78,0	102,2	14200	65	70	22047
13	4,1	189,0	52,0	18,2	10	80,2	103,2	143,1	15500	80	90	21053
13	4,3	167,5	54,0	18	5,4	83,1	90,7	121,3	18900	50	150	23 109
12,7	4,93	192,0	67,5	20,9	9,2	106,0	115,8	154,9	21000	50	90	20706
14	4,53	180,5	34,4	19	6,0	85,6	116,7	149,7	17400	70	90	25257
14	5,02	175,5	41,9	7,3 ¹⁵⁾	14,2	107,7	143,5	173,8	22400	75	85	28705
14	5,94	233,2	68,8	10,9 ¹⁵⁾	14,1	120	154,7	187,0	27500	75	85	28680

¹³⁾ Bei Verbundlok. Zugkraft mit ¹⁴⁾ Braunkohlen- ¹⁵⁾ Weiterer Wasservorrat
 (0,5 p) errechnet. bricketfeuerung auf besonderem Wasserwagen

Eine Auslese bemerkenswerter Henschel

Lfd. Nr.	Spur mm	Größter Achsdurch- messer t	Achsanordnung	Eigentümer bzw. Bestimmungs- land	Lokomotive							
					Trieb- und Laufwerk						Kessel	
					Zylinder Ø mm	Kolbenhub mm	Treibrad Ø mm	Lauf- rad Ø mm	Fester Achsstand mm	Gesamt- Achsstand mm	Kesseldruck atm	Rostfläche m²
31	1435	18,5	1 D 1	Türkische Staatsb. . .	650	660	1750	850/1250	3800	11 900	16	4,0
32	1676	20,5	1 D 1	Chilenische Stb. . . .	620	711	1422	870/1067	4725	10 550	15	5,2
33	1676	14,5	2 D	Beira-Alta (Portugal)	2 x 420	650	1630	915	3700	9850	16	3,97
34	600	5,5	2 D 1	San Paulo & Minas Ry Co (Brasilien)²)	350	400	770	550	2700	6780	12	1,6
35	1000	13,5	2 D 1	Brasilianische Nord- west-Bahn²)	550	550	1220	695/735	3900	9 800	13,4	4,0
36	1000	13,9	2 D 1	Argentinische Stb.⁵)	500	610	1270	780/914	4115	9880	14	4,1
37	1067	13,8	2 D 1	Rhodesische Stb. . .	533	660	1372	724/854	4394	9881	14	3,34
38	1067	17,5	2 D 1	Südafrikan. Staatsb. Klasse 12 A	610	660	1295	723/834	4114	9 779	13	3,76
39	1067	18,0	2 D 1	Südafrikan. Staatsb. Klasse 15 B	610	711	1524	864	4800	10 871	14,8	5,76
40	1067	18,6	2 D 1	Südafrikan. Staatsb. Klasse 23	610	711	1600	864	3353	11 290	15,8	5,76
41	1435	17,0	2 D 1	Bulgarische Stb. (R.03)	3 x 500	700	1650	1000/1250	5700	11 500	16	4,87
42	1676	16,2	2 D 1	Spanische Nordbahn*)	2 x 460	700	1750	850/1220	5550	12 675	16	5,0
43	1067	18,8	2 D 2	Südafrikan. Staatsb. Klasse 25	609	711	1524	762	4801	11 582	14,8	6,5
44	1676	20,5	2 D 2	Chilenische Staatsb. .	620	711	1676	870	5340	12 910	17	6,5
45	700	4,5	1 E	Plantagenbahn 2) 12) .	330	400	700	—	1800	3 400	13	1,4
46	1000	7,3	1 E	Tungpu-Bahn (China)	450	500	1000	700	3600	6 900	13	2,1
47	1000	10,0	1 E	Staatsb. v. Indochina)	500	550	1100	760	2800	8 300	12	2,65
48	1435	14,0	1 E	Staatsb. v. Uruguay³)	530	660	1525	914	1675	9 350	16	3,9
49	1435	17,0	1 E	Iranische Staatsb.⁵)	630	720	1450	1000	3200	9 000	15	4,5
50	1435	18,5	1 E	Türkische Staatsb. .	650	660	1450	850	3800	10 300	16	4,0
51	750	5,7	1 E 1	Kleinbahnlokomotive	400	370	800	550	—	7050	13	1,6
52	1000	12,5	1 E 1	Brasil. Zentralbahn .	515	660	1156	663/749	3690	10 560	16	6,0
53	1000	15,2	1 E 1	Argentin. Staatsb.⁵)	585	610	1219	780/914	5284	10 389	14	4,1
54	1000	15,8	1 E 1	Sorocabana (Brasil.)	3 x 530	560	1220	630/863	3900	10 100	14	4,95
55	1067	13,5	1 E 1	Mozambique (Portug.) Ostafrika	546	610	1220	711/838	3900	10 600	13	5,0
56	1435	17,0	2 E	Bulgarische Staatsb. .	3 x 520	700	1450	850	5300	10 900	16	4,87
57	1000	16,0	2 E 1	Faustla-B. (Brasil.)²)	3 x 530	560	1220	630/863	3900	11 295	14	5,6
58	1600	20,0	1 E 2	Brasilian. Zentralb. .	665	711	1435	833/1080	4800	13 800	16	8,7
59	1067	11,0	1 D D	Indonesische Stb. *)¹¹)	2 x 450	610	1102	714	3600	11 650	14	4,1
60	1000	12	1 D D 2	Brasilian. Zentralb. 11)	4 x 432	560	1067	630/743	3600	14 750	14,8	7,0

*) Bauart Hanomag

¹) Bei Verbundlokomotiven ist die mit
(0,5 p) errechnete Zugkraft angegeben.

²) Holzfeuerung

³) Ölfeuerung

⁵) Kondens-Lokomotive mit Ölfeuerung

Lokomotiven mit SCHLEPPENDER

Lokomotive					Tender				Gesamt- Achsstand von Lok und Tender	Zugkraft (0,75 p) ¹⁾	Größe Geschwindigkeit	Kleiner Krum- mungshalbmesser	Kennziffer
Kessel		Gewichte			Vorräte		Gewichte						
Verdampfer- heizfläche in m ²	Überhitzer- heizfläche außen m ²	Reibungs- gewicht t	Leergewicht t	Dienst- gewicht t	Wasser m ³	Brennstoff t	Leergewicht t	Dienstgew. t					
224,0	106,0	74,0	95,0	105,0	29	8	27,6	64,0	19400	19200	100	150	23 135
295,5	97,4	81,0	101,0	113,0	34	8	32,0	74,0	19750	21600	80	180	—
198,0	68,0	58,0	78,0	86,0	23	7	24,0	54,0	19200	13 100 ¹⁾	90	180	21 573
60,2	18,6	22,0	26,9	30,0	7,5	4,5	8,8	20,8	13500	5750	30	70	20 695
174,0	65,0	54,0	69,0	78,0	17	18 m ³	19,4	47,2	17500	13650	70	90	22 872
223,7	68,0	55,1	74,2	83,9	10,4	9,5	44,1	65,5	20 955	12 600	60	120	23 904
155,7	36,2	55,1	75,1	82,7	30	12,2	33,4	75,3	23 360	14 400	75	85	27 386
214,4	56,8	69,7	87,6	97,7	27	11,9	28,1	67,0	18 780	18 500	60	90	21 046
292,5	74,0	72,0	94,6	109,5	27,3	14,2	28,6	70,1	19 969	19 200	80	84	23 000
292,5	74,0	74,3	101,3	114,2	43,3	18,3	47,6	109,2	23 837	19 600	88	84	23 742
224,1	81,9	68,0	99,6	108,0	28	13	29,0	70,0	19 605	19 090	100	140	25 931
231,4	83,6	64,6	94,3	104,2	ohne Tender geliefert				15 300 ¹⁾		110	160	H 47 000
289,5	61,6	75,1	108,5	122,0	47,7	18,3	42,8	108,8	24 706	19 200	90	85	28 731
324,5	119,5	81,0	121,0	135,0	30	8	33,0	71,0	22 110	20 800	110	180	22 741
48,5	—	21,4	19,3	21,4	6	3 m ³	6,3	14,5	9080	6000	30	35	28 454
113,0	—	37,5	37,5	42,5	14	4	12,0	30,0	14 200	9850	40	100	22 952
140,0	50,6	50,0	51,0	56,5	14	5	15,4	37,6	13 440	11 025	50	100	H 56 000
150,0	43,0	70,0	72,3	79,8	21,5	8,5 m ³	22,3	52,7	17 385	14 600	90	120	25 052
212,5	76,0	89,1	90,8	99,3	21	7,5	24,3	51,9	17 385	22 160	60	130	24 068
225,0	105,8	92,5	97,0	106,5	29	8	26,2	63,2	18 960	23 130	70	120	24 000
70,1	24,5	28,5	32,5	37,0	10	4	5,0	22,5	13 153	7 210	30	30	26 167
179,5	66,0	62,1	72,5	81,8	18	10	19,7	47,5	18 253	14 400	65	70	23 825
224,4	82,0	75,4	80,4	91,1	28	10,3	30,3	68,8	20 288	18 000	60	120	23 586
269,0	94,4	79,0	81,9	93,5	17	7	18,9	42,9	17 167	20 250	60	70	21 577
184,0	70,0	67,5	74,5	85,0	22	8,5	23,0	53,5	18 815	14 500	80	100	28 626
224,1	80,0	85,0	100,7	109,6	28	13	29,0	70,0	19 605	23 500	75	140	25 933
285,0	110,1	79,8	91,2	103,7	18	15,2	20,5	57,3	20 131	20 250	70	90	22 994
328,4	120,0	100,0	130,6	145,8	30	15	35,0	80,0	26 870	26 400	75	130	23 830
194,0	64,9	88,0	86,7	96,0	18,5	7,5	17,5	43,3	18 570	18 900 ¹⁾	50	150	H 45 440
218,0	85,0	96,0	106,0	117,5	18	12	22,5	52,5	21 930	21 600	45	70	23 445

¹¹) Bauart Mallet

¹²) Mit Zahnradantrieb der Endachsen

*) Bilder p. 363.

Regeltypen von Henschel- Bau- und Industrie-

Lfd. Nr.	Spur ¹⁾	Achsanordnung	Größter Achsdruck	Nennleistung	Trieb- und Laufwerk					Kessel				Vorräte		
					Zylinder-Ø	Kolbenhub	Treibrad-Ø	Fester Achsstand	Gesamt-Achsstand	Kesseldruck	Rostfläche	Heizfläche w ²⁾	Überhitzer- heizfläche	Wasser	Kohle	
	mm		t	PS	mm	mm	mm	mm	mm	atm	m ²	m ²	m ²	m ³	t	
1	600	B	3,8	40	200	250	550	1100	1100	12	0,35	16,1	—	0,6	0,3	
2		B	4,5	50	220	300	650	1200	1200	12	0,4	18,5	—	0,6	0,3	
3		B	5,5	70	250	300	650	1400	1400	12	0,5	25	—	0,8	0,5	
4		B	6,5	90	280	300	650	1600	1600	12	0,54	27,5	—	1,25	0,6	
5	900	B	9,1	125	300	400	800	1800	1800	12	0,72	37,8	—	1,8	0,7	
6		B	10,3	160	320	400	800	1800	1800	12	0,83	44	—	2,0	0,7	
7		B	11,2	200	340	400	800	1800	1800	12	1,0	53	—	2,5	0,8	
8		B	12,8	250	350	400	800	1800	1800	13	1,2	65	—	2,5	1,0	
9	C _{Gr}	B	12,6	400	420	400	900	2500	2500	14	1,31	65	29	3,0	1,2	
10		B	12,7	350	430	400	900	2500	2500	14	1,7	69	29	3,0	1,4	
11	1435	B	10,4	125	300	400	850	1800	1800	13	0,72	37,8	—	2,2	0,6	
12		B	11,0	160	320	400	850	1800	1800	13	0,83	44	—	2,5	0,7	
13		B	12,6	200	320	500	950	2500	2500	13	1,0	53	—	3,2	0,8	
14		B	14,2	250	360	500	950	2500	2500	13	1,2	65	—	3,5	0,9	
15		C	12,6	350	400	550	1100	3100	3100	13	1,47	85	—	4,0	1,1	
16		C	14,7	400	430	550	1100	3100	3100	13	1,6	100	—	4,5	1,3	
17		C	15,1	475	450	550	1100	3100	3100	13	1,6	88	21	4,5	1,3	
18		C _{Gr}	15,8	375	450	550	1100	3100	3100	13	2,0	100	—	5,0	1,6	
19		C	16,8	450	460	550	1100	3100	3100	13	1,8	114	—	5,0	1,6	
20		C	17,1	550	480	550	1100	3100	3100	13	1,8	90	25	5,0	1,6	
21		C _{Gr}	17,7	425	460	550	1100	3100	3100	13	2,2	114	—	6,0	3,2	
22		C	18,8	550	520	550	1100	3100	3100	13	2,1	136	—	5,0	1,6	
23		C	19,1	650	520	550	1100	3100	3100	13	2,1	105	34	5,0	1,6	
24		C _{Gr}	19,4	500	520	550	1100	3100	3100	13	2,5	136	—	5,0	2,4	
25		D	D	16,0	600	540	550	1100	2860	4200	14	2,3	152	—	8,0	2,0
26			D	16,4	725	540	550	1100	2860	4200	14	2,3	118	36	7,0	2,0
27	D		20	675	650	600	1200	4500	4500	14	2,6	164,4	—	8,5	3,0	
28	D		20	850	650	600	1200	4500	4500	14	2,6	135,6	49,3	8,5	3,0	
29	E	E	16,6	800	600	600	1200	2860	5720	14	3,2	200	—	9,6	3,0	
30		E	16,8	950	600	600	1200	2860	5720	14	3,0	155	55	9,6	3,0	
31		E	20	1200	700	660	1300	—	6200	14	3,6	183	64,8	10,5	3,5	
32		1E1	20	1450	720	660	1300	3100	11600	14	4,05	220	72,9	12,0	4	

1) Die Lokomotiven werden auch in jeder anderen technisch möglichen Spur geliefert.

2) Die Heizflächen sind in dieser Zusammenstellung entsprechend den Gepflogenheiten der in Frage kommenden Abnehmerkreise nicht als feuerberührte, sondern als wasserberührte angegeben.

3) Länge für Regelspur einschließlich, für Schmalspur ausschließlich Puffer.

LokomotivenSteinkohlenfeuerung, soweit nicht besonders gekennzeichnet.
Br = Braunkohlenfeuerung. Bilder auf Seite 362, 365, 369

Dienstgewicht ²⁾	Außenmaße			Zugkraft		Höchst- geschwindigkeit	Kleinst- er Krüm- mungsab- messer	Schlepplast [Wagengewicht + Nutzlast] ⁴⁾ in t auf gerader Steigung von								Geschwindigkeit bei dieser Leistung etwa
	Länge ³⁾	Breite	Höhe	(0,6 p)	(0,75 p)			1 : 500	1 : 200	1 : 100	1 : 50	1 : 33 1/3	1 : 25	1 : 20		
															t	
7,6	3900	1800	2800	1310	1640	15	12	175	120	75	45	30	25	15	7,5	
9,0	4500	1800	2800	1610	2010	20	14	215	145	95	55	35	25	20	7,0	
11,6	4450	1925	2900	2075	2590	20	18	275	190	120	70	45	35	25	7,5	
13,6	5000	2175	2800	2600	3260	20	22	350	240	155	90	60	45	35	7,5	
18,2	5600	2200	3120	3240	4050	30	26	430	295	190	105	70	50	40	8,5	
20,6	5750	2350	3150	3680	4600	30	26	490	335	220	120	80	60	45	9,5	
22,4	5900	2450	3150	4160	5200	30	26	555	380	245	140	95	70	50	10,0	
25,6	6300	2450	3150	4780	5970	30	26	640	440	285	160	105	80	60	10,5	
37,8	8450	2550	3400	6575	8220	35	60	875	600	390	215	145	105	80	13,0	
38,2	8450	2550	3200	6900	8640	35	60	920	630	410	230	155	110	85	11,5	
20,8	7000	2500	3100	3300	4130	30	26	510	330	205	110	75	50	40	9,5	
22,0	7000	2500	3100	3760	4700	30	26	585	380	235	130	85	60	45	9,5	
25,2	7600	2600	3400	4200	5260	35	70	650	425	265	145	95	65	50	10,0	
28,4	8200	2700	3550	5320	6650	35	70	830	545	340	185	125	90	65	9,5	
37,8	9000	2900	3800	6240	7800	40	90	965	630	390	215	140	100	75	11,5	
44,1	9450	2900	3700	7230	9050	40	90	1120	730	455	245	160	115	85	11,7	
45,3	9450	3000	3700	7900	9860	40	90	1220	800	500	270	180	130	95	9,5	
47,4	9700	3000	3900	7900	9860	40	90	1220	800	500	270	180	130	95	9,5	
50,4	9800	3100	3950	8260	10320	40	90	1275	835	520	280	185	130	95	11,7	
51,3	9800	3100	3950	8950	11200	40	90	1380	910	565	300	205	145	110	12,5	
53,0	9850	3100	3950	8260	10320	40	90	1275	835	520	280	185	130	95	10,5	
56,4	10000	3100	4180	10540	13180	40	90	1645	1075	670	370	245	175	130	10,0	
57,3	10000	3100	4100	10540	13180	40	90	1645	1075	670	370	245	175	130	11,0	
58,2	10100	3100	4100	10540	13180	40	90	1645	1075	670	370	245	175	130	9,0	
64,3	11000	3100	4100	12300	15400	40	100	1910	1255	780	430	285	205	155	10,5	
65,6	11000	3100	4100	12300	15400	40	100	1910	1255	780	430	285	205	155	12,5	
78,0	11250	3100	4200	17750	22200	50	100	2800	1840	1155	640	430	315	240	12	
80,0	11250	3100	4200	17750	22200	50	100	2800	1840	1155	640	430	315	240	13,5	
83,0	12900	3100	4250	15100	18900	45	140	2355	1540	960	525	350	250	190	11,5	
84,0	12950	3100	4250	15100	18900	45	140	2355	1540	960	525	350	250	190	13	
100,0	13600	3100	4200	21000	26125	45	140	3300	2160	1360	750	500	365	280	12,5	
123,8	14900	3050	4280	22100	27600	50	140	3440	2250	1400	765	505	360	270	13,5	

4) Voraussetzung: Lokwiderstand 10 kg/t, Wagenwiderstand bei Schmalspur 5 kg/t, bei Regelspur 4 kg/t. Die angeführten Schlepplasten gelten für Dauerleistung (0,6 p), kurzzeitig vermögen die Lokomotiven größere Lasten zu ziehen (0,75 p).

5) Dienstgewicht mit Ausrüstung versteht sich für Lfd. Nr. 1—8 und 11—14 einschl. Dampf- und Acetylenbeleuchtung, für Lfd. Nr. 9 und 10, 15—35 einschl. Druckluftbremse und elektrischer Beleuchtung.

Die Elna-Lokomotiven

Die vereinfachten deutschen Nebenbahn-Lokomotiven sind unter der abgekürzten Bezeichnung *Elna-Lokomotiven* bekannt geworden. Dieser Name rührt her vom Engeren Lokomotiv-Normen-Ausschuß, der die Typisierung bearbeitete und eine Untergruppe des Deutschen Lokomotiv-Normen-Ausschusses bildet. Die Sonderausstattung der Elna-Lokomotiven richtet sich jeweils nach den Wünschen des Bestellers.

Neuerdings werden höhere Fahrgeschwindigkeiten verlangt. Es haben daher gegenüber den Elna-Typen die 1 C1- und die 1 D1-Tenderlokomotiven an Bedeutung gewonnen.

Die Hauptabmessungen der Elna-Lokomotiven

Hierzu Bild 254 S. 369 Zahlentafel 31

Type	1	2	3	4	5	6
Achsdruck	12		14		16	
Achsanordnung	1 C		1 C		1 C	
Dampfart	N		H		N	
N = Nadelstift	H		H		H	
II = Heißdampf	N		N		N	
Zylinderdurchmesser mm	380	410	410	430	430	450
Kolbendurchmesser mm	550	550	550	550	550	550
Treibradurchmesser mm	1100/1200	1200	1100	1100/1200	1200	1100
Lauftrachdurchmesser mm	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Achstand, fest mm	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Achstand, gesamt mm	12	12	12	12	12	12
Kesselfläche m ²	66,1	49,3	79,2	58,6	95	70,3
Verd.-Heizfl., feuerb. m ²	1,2	1,2	1,4	1,66	1,4	1,66
Überh.-Heizfl., außen m ²	3,5	17,1	21,4	21,4	21,4	25,7
Wasservorrat t	1	5	5	5	6	6
Kohlenvorrat t	45/50	50/65	1,2	1,2	1,6	1,9
Größte Geschw. km/h	6500/5950	7560/6950	6950	7630	7630	8350
Zugkraft (0,75 t) kg	31,5	32,5	36,55	37,45	38,2	39,2
Leergewicht etwa t	38,5	39,5	36,2	37,2	38,6	40,6
Reibungsgewicht etwa t	38,5	39,5	45	45,9	48,6	49,6
Dienstgewicht etwa t	38,5	39,5	45	45,9	48,6	49,6

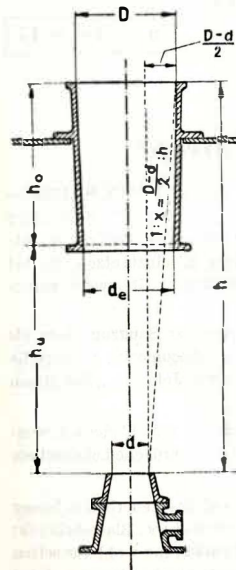
Die Gewichte verstehen sich *ohne* Sonderausstattungen wie Luftbremse, Heizung, Lüftung, Beleuchtung, Wasserreiner, Vorwärmer und Geschwindigkeitsmesser.

Bauliche Einzelheiten zur Kolbendampflokomotive

Der Kessel und seine Ausrüstung

Die Saugzuganlage

Schornstein und Blasrohr sind wesentlich für die Leistungsfähigkeit des Kessels. Anzustreben sind tiefe Lage des Blasrohres, weites Blasrohr und großer Schornsteinquerschnitt, dann geringer Rückdruck auf den Kolben.



Nach Versuchen der Deutschen Reichsbahn sind zweckmäßig:

Blasrohr-Querschnitt

$$f = 40 + 0,62 \cdot H_v \text{ in cm}^2$$

mit H_v = feuerberührte

Verdampfungsheizfläche in m²;

Schornsteinmaße

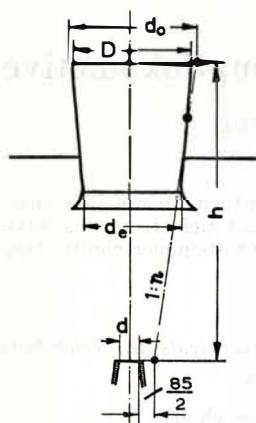
$$\frac{D-d}{h} = \frac{1}{8-0,019 f}$$

Die Werte beruhen auf Erfahrungen mit deutscher Steinkohle.

Bild 110

Schornstein und Blasrohr nach Nordmann
im „Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens“ 1930, S. 238.

Berechnung von Saugzuganlagen nach Koch in „Die Lokomotive“, 1942, S. 71.



Schornstein-
und Blasrohr-Durchmesser in mm

$$d_0 = 0,167 h + (d + 85)$$

Vorteilhafte Neigung des
Schornsteinkegels

$$n = 10 \div 15$$

Bild 111. Schornstein und Blasrohr nach **Strahl**

Die *Strahlschen Formeln* (Organ 1911, S. 321 — ZVDI 1913, S. 1739 — Eisenbahntechnik der Gegenwart 1912, S. 328) lassen sich mit genügender Genauigkeit auf jeden beliebigen Brennstoff anwenden; an Stelle der tatsächlichen Rostfläche R ist die reduzierte Rostfläche R' einzusetzen, die bei Verfeuerung deutscher Steinkohle von etwa 7000 kcal/kg Heizwert vorzusehen wäre.

Über *amerikanische* Überlegungen zur Bemessung der Saugzuganlage als Bestandteil der „Locomotive front ends“ siehe u. a. „Locomotive Cyclopedia of American Practice“, 13th edition, 1947, S. 296, sowie Johnson „The steam locomotive“, New York 1944, S. 34.

Mehrfach-Blasrohre unterteilen den Dampfstrahl in verschiedene Einzelstrahlen und bewirken durch die vergrößerte Dampfstrahloberfläche bei gleichem Gegendruck u. U. erhöhte Feueranfachung.

Um die Blasrohrwirkung dem wechselnden Zustand des Feuerbettes besser anpassen zu können, verwendet man vielfach *verstellbare* Blasrohrköpfe; deren Nachteil ist darin zu erblicken, daß die Blasrohrmündung wohl nur selten auf die günstigste Wirkung hin einwandfrei eingestellt werden kann und bei unrichtiger Einstellung noch nachteiliger ist als das stets nahezu richtig bemessene feste Blasrohr.

Stehbolzen

können für Kesseldrücke bis zu etwa 25 atü verwendet werden. Darüber hinaus kommen Sonderbauarten von Lokomotivkesseln in Betracht (siehe Seite 240). Die Berechnung der Stehbolzen (nach LON 2061) berücksichtigt im wesentlichen die Beanspruchung durch den Kesseldruck und schließt auf Grund von Erfahrungen die durch höhere Wärmeausdehnung der Feuerbüchse im Betrieb bedingten Biegebungsbeanspruchungen ein.

Nach neueren Erkenntnissen werden die Stehbolzen jedoch noch weit stärker durch dauernd zunehmende bleibende Verformungen des Hinterkessels beansprucht. Bei Stahlfeuerbüchsen kommt hinzu, daß die Feuerbüchse sich im Betrieb mit der Zeit in ihren Maßen verkürzt. Es ergibt sich hieraus eine zusätzliche Biegebungsbeanspruchung der Stehbolzen, und zwar in entgegengesetztem Sinn, als bisher angenommen wurde.

Die Auswirkung dieser Einflüsse kann gemildert werden:

- durch bauliche Maßnahmen, die den Widerstand gegen die Verformung des Hinterkessels erhöhen (beispielsweise durch Einbau von Bodenring-Querankern).
- durch zweckmäßiges Gestalten der Stehbolzen. Die Stehbolzen müssen so geformt sein, daß sie möglichst stark verbogen werden können, ehe eine plastische Verformung eintritt. Diese von den Stehbolzen aufzunehmende Formänderungsarbeit muß also möglichst groß sein, damit beim Erkalten des Kessels den auf die Verformung des Hinterkessels wirkenden Kräften höchster Widerstand entgegengesetzt wird. Außerdem soll der Stehbolzen so geformt sein, daß überelastische Verformungen sich gleichmäßig auf große Längen verteilen und daher in den einzelnen Querschnitten gering bleiben.

Der *BTH-Stehbolzen* (*Bauart Tross-Henschel*) erfüllt obige Forderungen weitgehend, stellt also eine optimale Lösung des Problems dar.

Für *kupferne Feuerbüchsen* kommen folgende Ausrüstungen in Betracht:

- Kupferne Gewindestehbolzen* in den mäßig erhitzten Zonen.
In der Feuerzone höher beanspruchter kupferner Feuerbüchsen werden kupferne Stehbolzen oft undicht, was zu starken Abzehrungen an Wänden und Stehbolzen führt. Daher
- Einbau von *Kuprodurovorschuh*en (ausscheidungshärtbare Kupfermehrstofflegierung mit 98% Cu), mit den kupfernen Wandteilen verschweißt, insbesondere in den unteren Teilen der Feuerbüchsenwand und der Türwände.
- Gewindestehbolzen aus Stahl oder besser *Kupferpanzerstahl* (KPS), für Kuprodurowandteile. KPS-Stehbolzen zeichnen erfahrungsgemäß selbst in jahrelangem Betrieb nicht ab, noch werden sie undicht. Auch ein Brechen dieser Stehbolzen in Kuprodurovorschuh wurde nicht beobachtet.

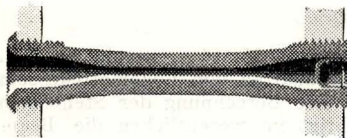


Bild 112
Henschel-Aufdornstehbolzen

d) Gewindestehbolzen als *Henschel-Aufdornstehbolzen* (siehe obiges Bild). Die Bolzengewinde werden mit geringem Untermaß gegenüber dem Muttergewinde ausgeführt und dadurch ohne Schaftverdrehung sowie ohne Verletzung der Gewinde leicht von Hand eingeschraubt. Das Abdichten erfolgt auf besonders einfache Weise durch Eintreiben eines zu der paraboloidähnlichen Aufdornhöhlung passenden Aufreibdornes mittels eines Preßlufthammers, der auch das Lösen des Dornes nach dem Aufweiten bewirkt (Bilder 113/114).

Bei Bolzen mit durchgehender Bohrung wird in der Regel auf der Stehkesselseite eine Verschlusskappe aus dem gleichen Baustoff wie für den Stehbolzen eingesetzt, die mit einem Verschlüßdöpper gesichert wird, ohne daß der Kopf gebördelt zu werden braucht (Bild 115).

Auf der Feuerbüchseseite der kupfernen Stehbolzen wird ein kräftiger, breiter, gut anliegender Ringkopf unter Verwendung eines Bördeldöppers (Bild 116) gebildet, der während des Arbeitens von Hand oder mittels besonderen Drehhammers gedreht werden muß. Das Lösen der eingetriebenen und festsitzenden Aufreibdorne geschieht mit dem gleichen Preßlufthammer, der das Eintreiben der Dorne besorgt. Der Preßlufthammer besitzt eine Henschel-Dorn-Eintreib- und Rückzieheinrichtung.

Der Henschel-Aufdornstehbolzen wird sowohl als Kupfer- wie auch als KPS- oder Stahl-Gewindestehbolzen ausgeführt.

Bei **Stahlfeuerbüchsen** hat sich das *Einschweißen von gewindefreien Stahlstehbolzen* gut bewährt, richtige Bauform und richtige Schweißfolge vorausgesetzt. Die Stehbolzen werden zumindest feuerbüchseseitig mit Spiel eingebaut. Das Spiel zwischen Bolzen und Bohrung, das mindestens 0,5 mm betragen soll, nimmt einen Teil der Wärmeausdehnung der besonders erhitzten Wandteile auf und vermindert dadurch sowohl die Durchwölbung des Hinterkessels als die Schrumpfung der Feuerbüchse.

Eingeschweißte durchgehend *zylindrische* Bolzen haben den Nachteil, daß ihr gefährlicher Querschnitt mit dem Querschnitt des größten, durch die Schweißnaht bedingten Festigkeitsverlustes zusammenfällt. Dieser Querschnitt wird infolge der hohen Spannungsspitze bei plastischen Verformungen besonders stark gelängt. Außerdem entsprechen diese Bolzen nicht der Forderung höchster zulässiger Formänderungsarbeit. Es sind daher bei zylindrisch gewindefreien eingeschweißten Stehbolzen infolge überelastischer Verbiegung oft Brüche beobachtet worden.

Der feste *BTH*-Stehbolzen vermeidet diese Nachteile weitgehend und eignet sich daher für das Einschweißen in Stahlfeuerbüchsen. Seine Köpfe sind so dimensioniert (Bild 117), daß der Festigkeitsabfall in der Nähe der Schweißnaht ausgeglichen wird.



Bild 113
Preßlufthammer

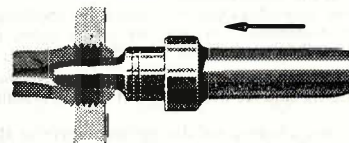


Bild 114
Aufreibdorn

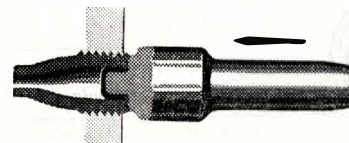


Bild 115
Verschlüßdöpper

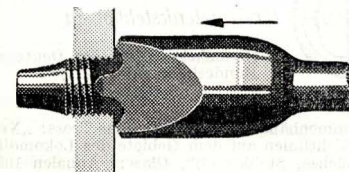


Bild 116
Bördeldöpper

Werkzeuge für den Einbau des Henschel-Aufdornstehbolzens

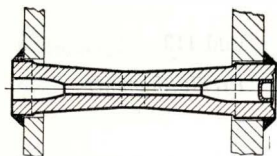


Bild 117. Gewindeloser
BTH-(Tross-Henschel-)Stehbolzen

Auch KPS-Stehbolzen haben sich in Stahlfeuerbüchsen gut bewährt. Sie können ebenfalls gewindelös eingeschweißt werden und ersetzen dank ihrer Korrosionssicherheit in vielen Fällen die Gelenkstenbolzen.

Der auf S. 182 oben erläuterte Henschel-Auforn-Gewinde-Stehbolzen findet auch für Stahlfeuerbüchsen Anwendung. Es empfiehlt sich dann, die überstehenden Kopfenden in der Feuerbüchse dicht zu schweißen.

Gelenkstenbolzen werden als Kugel- oder noch besser als Kreuzgelenkstenbolzen ausgeführt. Feuerbüchseitig sind sie wie feste BTH-Bolzen gestaltet und verschweißt.

Man sollte die Anzahl der Gelenkstenbolzen auf das geringstmögliche Maß beschränken, da sich die unerwünschte Durchwölbung des Hinterkessels mit zunehmender Zahl von Gelenkstenbolzen erhöht.

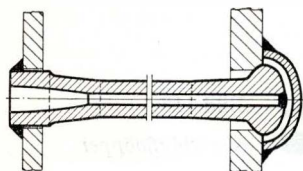


Bild 118. Gewindeloser
Kugel-Gelenkstenbolzen

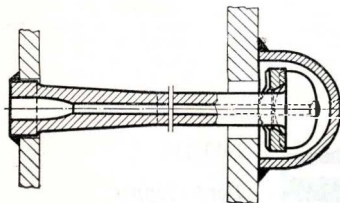


Bild 119. Gewindeloser BTH-
Kreuzgelenkstenbolzen

(Gelenkstenbolzen der Deutschen Bundesbahn auf S. 402)

Über die mit Stehbolzen zusammenhängenden Fragen siehe Tross: „Neue Erkenntnisse und Konstruktions-Richtlinien auf dem Gebiete des Lokomotiv-Hinterkessels (Stehbolzen, Feuerbüchse, Stehkessel)“, Glasers Annalen 1951, S. 234, 257 u. 293.

Ankerlose Kessel sind ausgeführt worden

1. mit zylindrischem „Steh“-Kessel und zylindrischer Wellrohr-Feuerbüchse (Lentz, Krauss). Unzulässige Formänderungen der Wellrohr-Feuerbüchse konnten bisher nicht vermieden werden.

2. mit einem System von senkrechten, oben in einen Dampfsammler einmündenden Wasserrohren, die die Stehkessel- und die Feuerbüchsenwände mit ihren Ankern und Stehbolzen ersetzen. Voraussetzung ist gutes Speisewasser. — Derartige Wasserrohrkessel sind bisher in nennenswertem Umfang lediglich bei den Ungarischen Staatsbahnen eingeführt worden, und zwar nach der Bauart Brotan. Auch zwei von Henschel & Sohn gebaute Lokomotiven der Baureihe 42 (siehe S. 359) waren mit Brotan-Kesseln versehen.

Entwurfsgewichte für genietete Kessel

Wieviel Quadratmeter fb. Verdampfungsoberfläche können in 1 Tonne Lokomotiv-Dienstgewicht (ausschl. Tender) untergebracht werden?

Zahlentafel 22

	Heizfläche fb. m ²	fb. Heizfläche je Tonne Dienstgewicht in m ²			
		Naßdampflokomotiven		Heißdampflokomotiven	
		Regelspur	Schmalspur	Regelspur	Schmalspur
Lokomotiven mit Schlepptender	80 ÷ 110	2,2 ÷ 2,6	2,3 ÷ 2,8	etwa 2,2	1,8 ÷ 2,4
	120 ÷ 160	2,3 ÷ 2,8	2,8 ÷ 3,0	2,2 ÷ 2,6	2,2 ÷ 2,7
	170 ÷ 210	2,5 ÷ 3,4	—	2,3 ÷ 2,6	3,0 ÷ 3,2
	220 ÷ 310	3,15 ÷ 3,5	—	2,2 ÷ 2,8	2,4 ÷ 2,8
Tender-Lokomotiven	40 ÷ 70	1,8 ÷ 2,1	1,7 ÷ 2,1	1,4 ÷ 2,0	1,6 ÷ 2,0
	80 ÷ 110	1,8 ÷ 2,3	1,9 ÷ 2,3	1,2 ÷ 1,5	1,6 ÷ 2,1
	120 ÷ 150	1,8 ÷ 2,3	2,0 ÷ 2,3	—	etwa 2,2
	160 ÷ 200	2,3 ÷ 2,4	2,0 ÷ 2,2	1,7 ÷ 2,0	1,8 ÷ 2,3

Welches Kesselleergewicht in t ist für je 10 m² feuerberührter Verdampfungsoberfläche einzusetzen?

Zahlentafel 33

Heizfläche fb. m ²	Kesseldruck atü	Kesselgewicht in t	
		Runder Stehkessel	Stehkessel nach Belpaire
50	12	etwa 0,9	etwa 1,0
100	12 ÷ 14	0,88 ÷ 1,2	0,95 ÷ 1,9
150	14	0,86 ÷ 1,1	0,92 ÷ 1,7
200	16	0,84 ÷ 1,2	0,88 ÷ 1,6
300	20	0,82 ÷ 1,1	0,84 ÷ 1,3

Angegebene Gewichte verstehen sich ohne Kessel-Ausrüstung u. ohne Überhitzer.

Der vollständig geschweißte Lokomotivkessel ermöglicht — je nach Größe der Lokomotive — Gewichtsparsnise bis zu etwa 1 1/2 t bei europäischen Bauarten.

Ausführungsbeispiel S. 402: Kessel der Baureihe 23 der Deutschen Bundesbahn.

Kennzeichnende Merkmale:

Verbrennungskammer — Große Bodenringbreite — Bodenring U-förmig, mit den Stedenen stumpf angeschweißt — Feuerloch durch Stumpfschweißen der gekümpelten Umbege — Stumpfschweißung für Feuerbüchse, Stehkessel und Langkessel — Rauchkammerrohrwand mittels T-förm. Ring an Langkessel angeschweißt — Rauchkammer mittels Winkelringes an Rohrwand angesetzt.

Feuerbüchsen aus Stahl

sind leichter und billiger als solche aus Kupfer, ihre Lebensdauer kann bei sachgemäßer Behandlung etwa ebenso groß wie die einer Kupferbüchse sein. Bei hohen Drücken (von 16÷18 atü an) *müssen* sie angewendet werden, da mit steigender Wassertemperatur das Kupferblech stark an Festigkeit einbüßt.

Stahlfeuerbüchsen sind empfindlich gegen plötzliche Abkühlung und empfänglich für den Ansatz von Kesselstein, da Stahl und Kesselstein etwa den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten haben, der Kesselstein sich also bei Wärmedehnungen nicht vom Stahlblech löst. Bei weichem Wasser hingegen ist die geschweißte Stahlfeuerbüchse mit Stahlstehbolzen zuverlässig. Bei Verfeuerung stark schwefelhaltiger Kohle ist die Stahlfeuerbüchse der Kupferbüchse gegenüber vorzuziehen.

Stahlfeuerbüchsen erfordern in weiterem Umfange die Verwendung von Gelenk-Stehbolzen (S. 184).

Als *Werkstoffe* kommen in Betracht:

1. Izett II-Stahl mit 40÷50 kg/mm² Zugfestigkeit

2. Stahl nach A.S.T.M. Specification¹⁾ A 30—46:

Grade A: Zugfestigkeit 38,7÷45,7 kg/mm² (55÷65 000 lbs. per sq. in.)
oder

Grade B: Zugfestigkeit 33,7÷40,7 kg/mm² (48÷58 000 lbs. per sq. in.)

Der Schüttelrost Bauart *Henschel*

kennzeichnet sich dadurch, daß die „Finger“ an ihren äußeren Enden durch Ansätze nach unten verlängert sind — und zwar so weit, daß diese Ansätze beim Schütteln immer noch zwischen den Fingern der anliegenden Elemente bleiben.

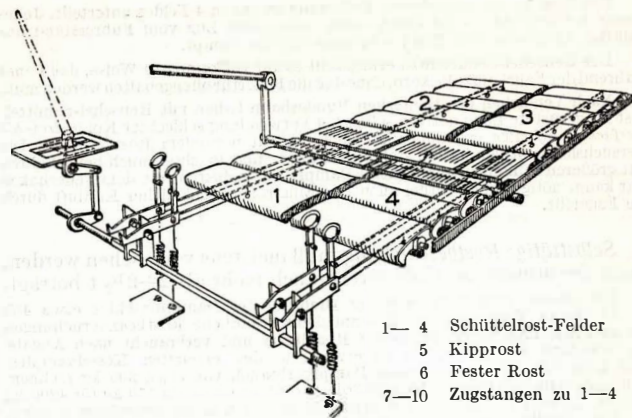
Hierdurch wird vermieden, daß beim Schütteln

die Rostspalten vergrößert werden — was bekanntlich besonders bei niedrigem Feuer das Einströmen nicht genügend vorgewärmter Verbrennungsluft begünstigt und damit zu schädlichen Spannungen in der Feuerbüchse führen kann

ein Verklemmen der Finger eintritt.

Die Verlängerung der Finger nach unten bedeutet eine Vergrößerung der Rostoberfläche und hat damit bessere Vorwärmung der Verbrennungsluft und bessere Kühlung, d. h. längere Lebensdauer des Rostes zur Folge.

Die ursprünglichen Rostspalten bleiben selbst bei längerem Betrieb in ihrer vollen Breite erhalten, da die Finger dank ihrer Ansätze während einer längeren Zeit aneinander vorbeigleiten, als beim üblichen Schüttelrost möglich. Die sich ansetzenden feinen Schlacken werden restlos abgerieben.



Endroststab

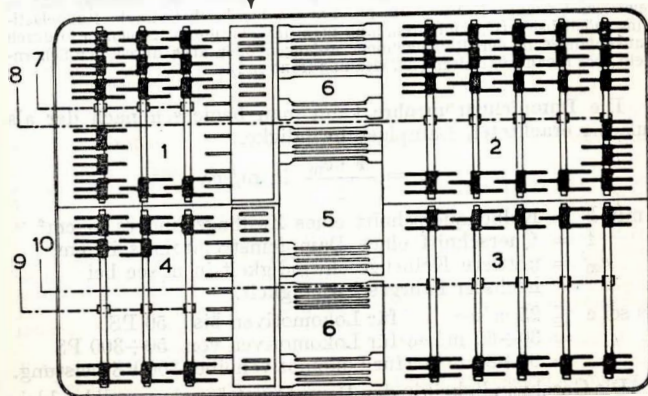


Bild 120. Der Henschel-Schüttelrost

¹⁾ American Society for Testing Materials.

Der Rost ist der einfacheren Bedienung wegen in 4 Felder unterteilt. Jedes dieser Schüttelfelder wird durch einen besonderen Zug vom Führerstand aus betätigt, und zwar von Hand oder auch mittels Dampf.

Der Henschel-Schüttelrost ermöglicht es auf vollkommene Weise, das Feuer während der Fahrt aufzulockern, ohne daß die Feuertür offengehalten werden muß.

Nach Versuchen der Deutschen Bundesbahn haben mit Henschel-Schüttelrost ausgerüstete Lokomotiven selbst bei Verwendung schlechter Kohle drei- bis vierfache Laufzeiten gegenüber Lokomotiven mit normalem Rost erreicht. Die Versuchslokomotiven hatten stets helles Feuer und machten auch beim Fahren mit größeren Füllungen ausreichend Dampf. Das Arbeiten mit dem Feuerhaken war kaum nötig, damit entfiel auch das Einströmen schädlicher Kaltluft durch die Feuertür.

Selbsttätige Rostbeschickung muß meistens vorgesehen werden, wenn der stündliche Kohlenverbrauch mehr als $2\frac{2}{3}$ t beträgt.

Ein *Stoker* fördert je nach der Drehzahl der Dampfmaschine etwa 450 bis 11500 kg Kohle/Stunde. Er ermöglicht stündliche Rostbeanspruchungen bis zu etwa 1200 kg Kohle je m² Rostfläche und verbraucht nach Angabe der Standard *Stoker Co.* bis zu etwa 3% des erzeugten Kesseldampfes. Man kann mit einem stündlichen Dampfverbrauch von etwa 390 kg rechnen, wenn insgesamt 1250 kg Kohlen gefördert werden; von etwa 550 kg für 4200 kg Kohlen. Es sind *Stoker* für Leistungen bis zu 20 t/h Kohle ausgeführt worden.

Der Standard *Stoker HT* bedingt ein zusätzliches Baugewicht von rd. 2450 kg. Hiervon entfallen etwa 1860 kg auf den Tender, die restlichen 590 kg auf die Lokomotive.

Beim Zerkleinern und Fördern der Kohle mittels einer Schnecke fällt in gewissem Umfange Kohlenstaub an. Um die hierdurch bedingte Rußbelästigung möglichst gering zu halten, muß man unverbrannten Kohlenstaub durch Funkenfänger in der Rauchkammer abfangen oder aber durch den Schornstein hoch hinausschleudern (self cleaning front end).

Die **Dampfeinströmröhre** kann man bemessen nach der als zulässig erachteten Dampfgeschwindigkeit

$$c = \frac{F \cdot c_m}{f} \text{ in m/sec}$$

mit F = Kolbenquerschnitt eines Zwillingszylinders in cm²

f = Querschnitt eines Dampfeinströmröhres in cm²

c_m = mittlere Kolbengeschwindigkeit in m/sec bei höchster Fahrgeschwindigkeit.

Es sei $c \leq 25$ m/sec für Lokomotiven bis 50 PS
 $= 30 \div 60$ m/sec für Lokomotiven von 50 ÷ 300 PS
 $= 60 \div 80$ m/sec für Lokomotiven über 300 PS Leistung.

Die Geschwindigkeit in den **Dampfausströmröhren** soll bei kleineren Lokomotiven das 0,5fache, bei größeren das 0,6 ÷ 0,7fache der oben angegebenen Werte betragen.

Speisewasser-Vorwärmer

Das Vorwärmen des Speisewassers auf 90 ÷ 100° C bringt bei 10° C Frischwassertemperatur eine Brennstoffersparnis bzw. eine Leistungssteigerung von mehr als 10 %, beim *Franco-Crosti*-Vorwärmer infolge der höheren Vorwärmtemperatur (bis rd. 180° C) eine solche von etwa 18 ÷ 20 %.

Es bestehen folgende Möglichkeiten:

1. Vorwärmen durch einen Teil (etwa $\frac{1}{6} \div \frac{1}{7}$) des Abdampfes: *Abdampfvorwärmer*
 - a) *Oberflächenvorwärmer*. — Nur wirksam, wenn die Wasserrohre von Verunreinigungen frei gehalten werden. Ausnutzungsgrad im Betrieb erfahrungsgemäß etwa 60 %.
 - b) *Mischvorwärmer* (Heinl, Worthington, ACFJ, Dabeg, Knorr, Henschel u. a.). Beginnt den Oberflächenvorwärmer zu verdrängen dank seiner Vorzüge: Keine Verschlechterung des Wirkungsgrades mit der Betriebsdauer Rückgewinnung von etwa 15 % Speisewasser Schonung des Kessels, da das Speisewasser im Speicher entgast und teilenthärtert wird Das mit dem niedergeschlagenen Abdampf in den Kessel gelangende Öl stört den Kesselbetrieb kaum. Es wird im Mischvorwärmer durch den Kesselstein gebunden. Die Ölreste werden zusammen mit dem Kesselstein entfernt.

2. Vorwärmen durch die Rauchgase: *Abgasvorwärmer*

Es hat sich keine der zahlreichen versuchten Bauarten auf die Dauer bewährt.

3. Vereinigter Abdampf- und Abgas-Vorwärmer *Franco-Crosti* (Bild S. 401).

Hoher Wirkungsgrad (in Italien bis etwa 20% Ersparnis festgestellt), bei gleichbleibender Kesselleistung kein nennenswertes Mehrgewicht gegenüber der Normalausführung.

Der *Henschel-Mischvorwärmer* mit Heißwasserspeicher zeichnet sich durch besonders einfache und betriebssichere Bauweise aus.

Das Speisewasser wird durch einen Teil des Zylinder-Abdampfes mittels einer im Speicher unter Wasser liegenden Mischdüse aufgeheizt. Der mit dem Pumpenabdruck betriebene Abdampfstrahlheber zur Sicherung des Wasserstandes ist ebenfalls in den Wasserspeicher eingebaut.

Bei Tenderlokomotiven (Bild 121) wird der Heißwasserspeicher in einfacher Weise durch eine Trennwand im Wasserkasten gebildet. Der Heißwasserspeicher ist im Betrieb stets bis zur Überlaufkante gefüllt, kann aber mit dem Aufbrauchen des Wasservorrates im Hauptbehälter gänzlich leergepist werden. Dieser Wasservorrat bleibt kalt, so daß der Injektor als zweite Speiseeinrichtung jederzeit benutzt werden kann.

Bei Schleppenderlokomotiven sitzen die Wasserkammern beiderseits der Rauchkammer (Bild 122).

Der Dampfstanstellschieber ist das einzige Organ, das bedient werden muß. Sonstige Regelorgane, Rückschlagventile, Schwimmer usw. enthält die Anlage nicht. Die Rohranordnung fällt damit sehr einfach aus.

Zusätzliche Baugewichte je nach Größe der Lokomotive etwa 0,5 ÷ 1,0 t.

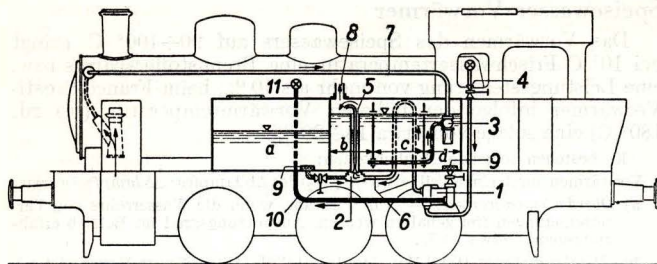


Bild 121

Henschel-Mischvorwärmanlage MVT an einer Tenderlokomotive

- === Dampf
 ▨ Gemisch von Warm- und Kaltwasser
 — Heißwasser
 ▩ Kaltwasser

- 1 Turbo-Speisepumpe
- 2 Abdampf-Strahlheber
- 3 Abdampf-Strahlvorwärmer
- 4 Dampfanstellschieber
- 5 Überlaufrohr
- 6 Turbopumpen-Abdampf-Leitung
- 7 Zylinderabdampf-Leitung
- 8 Entlüftung
- 9 Sieb am Wasserkasten
- 10 Heißwasser-Speiseleitung
- 11 Kesselspeiseventil

- a Tender-Wasserkasten
 b Kaltwasser-Kammer (bei Lok mit Schlepptender seitlich der Rauchkammer)
 c Heißwasserspeicher
 d Heißwasser-Kammer (bei Lok mit Schlepptender seitlich der Rauchkammer).

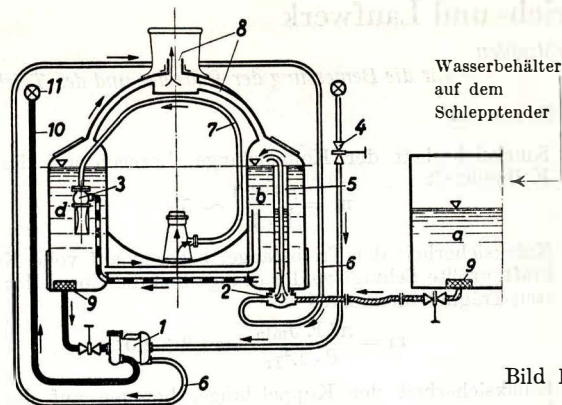


Bild 122

Henschel-Mischvorwärmanlage MVC an einer Lokomotive mit Schlepptender

Bezeichnungen wie unter nebenstehendem Bild 121

Die **Henschel-Turbo-Speisepumpe** (Bild S. 360 u. 405) arbeitet bei niedrigem Dampfverbrauch und sehr geringem Wartungsaufwand selbst bei aufdampfendem Speisewasser betriebssicher.

Einstufige Bauart, geringer Raumbedarf

Fördermenge normal $15 \text{ m}^3/\text{h} = 250 \text{ l/min}$

Förderdruck normal 16 atü

Durch Änderung der Düsen in Turbine und Pumpe kann der Förderdruck bis 25 atü, die Fördermenge bis $21 \text{ m}^3/\text{h}$ entspr. $\sim 350 \text{ l/min}$ gesteigert werden.

Drehzahl etwa 10 000 U/min.

Gewicht etwa 100 kg (äußerst niedrig!).

Dampfverbrauch $2 \div 2,5\%$ der geförderten Wassermenge (relativ geringer bei größeren Einheiten)

Zum Vergleich: Gewicht einer 125 l-Kolbenpumpe	etwa 380 kg
250 l-Kolbenpumpe	etwa 500 kg
350 l-Pumpe Nielebock-Knorr	etwa 600 kg

Trieb- und Laufwerk

Richtzahlen

für die Bemessung der Radsätze und des Triebwerks

Es betrage

die Knicksicherheit der Kolbenstange, bezogen auf die volle Kolbenkraft

$$m = \frac{\pi^2 E J}{P \cdot L^2} \sim 5$$

die Knicksicherheit der Pleibstange, bezogen auf volle Kolbenkraft, größte Schräglage der Stange und die Ebene des kleinsten Trägheitsmomentes

$$m = \frac{\pi^2 E J_{\min}}{P \cdot L^2_{\text{Tr}}} = 1,2 \div 2,0$$

die Knicksicherheit der Pleibelstange, bezogen auf die beim Sandstreuen zu übertragende Stangenkraft und auf die Ebene des kleinsten Trägheitsmomentes $m = 2 \div 3$

die größte Schräglage der Pleibstange nicht unter 1:5

die größte Flächenpressung zwischen Kreuzkopf-Gleitplatte und Gleitbahn $p = 8 \text{ kg/cm}^2$ (bei höheren p -Werten muß die Gleitplatte mit Weißmetallfutter versehen werden)

die größte Flächenpressung zwischen Kreuzkopfbolzen und vorderem Pleibelstangenlager $p = 250 \div 380 \text{ kg/cm}^2$

die größte Flächenpressung
im Pleibelstangenlager $p = 120 \div 150 \text{ kg/cm}^2$
im Pleibelstangenlager $p = 80 \div 130 \text{ kg/cm}^2$

die größte, durch das ruhende Gewicht im Lauf- oder Pleibelachs-lager hervorgerufene Flächenpressung $p = 12 \div 17 \text{ kg/cm}^2$ (die waagrecht wirkende, durch die Zylinderkräfte hervorgerufene Beanspruchung der Pleib- und Pleibelachs-lager beträgt etwa das 3fache von p !)

der Reibungswert der Gleitbahn
(= größte Flächenpressung $\times$ mittlere Pleibengeschwindigkeit bei höchster Fahrgeschwindigkeit) $\xi \leq 30 \div 45$

der Reibungswert (= größte Flächenpressung $\times$ größte Pleibgeschwindigkeit)

des Pleibelseitigen Pleibelstangenlagers $\xi \leq 140 \div 400$
der Pleibelstangenlager am Pleibelzapfen $\xi = 60 \div 100$
am Pleibelzapfen $\xi = 140 \div 200$

die größte Durchbiegung der Gleitbahn $\leq 1,5 \text{ mm}$

die größte Biegebungsbeanspruchung des Pleibelzapfens bei punktförmig gedachtem Kräfteangriff $\sigma_b \leq 1200 \div 1500 \text{ kg/cm}^2$

die Spannung in den schwächsten Teilen von gekröpften Achsen $1600 \div 2000 \text{ kg/cm}^2$

die Wanddicke des Dampfzylinders mit $d = \text{Zyl.-Durchm. in cm}$
für Hochdruck $\delta = 0,025 d + 1,5 \text{ in cm}$
für Niederdruck $\delta = 0,015 d + 1,5 \text{ in cm}$

der Achsschenkeldurchmesser nach v. Borries
(„Hütte“ III, 25. Auflage, S. 882)

für Pleibelachsen $d = 6 \sqrt[3]{P (D + 500)} \text{ in mm}$

für Laufachsen $d = 65 \sqrt[3]{P} \text{ in mm}$

wenn P die gesamte ruhende Achsbelastung in t und D den Raddurchmesser in mm bezeichnet. Die „Eisenbahntechnik der Gegenwart“ (Kreidels Verlag, 1912, S. 382) bemißt die Achsschenkel nach der Biegebungsbeanspruchung durch den Dampfdruck, der mit dem Abstand von Mitte Zylinder bis zum Auslauf der Achshohlkehle an der Radinnenseite als Hebelarm wirkend angenommen wird. Es soll die sich hieraus ergebende Biegebungsbeanspruchung sein $\sigma_b \leq 900 \div 1200 \text{ kg/cm}^2$
Vorschriften über die Berechnung der Achswellen für *Wagen* und *Tender* finden sich in TV § 51 und BO § 32.

die Anzahl der Speichen eines Rades = Laufradiusdurchmesser in Dezimetern (möglichst *ungerade* Speichenzahl!)

Die *Pleib- und Pleibelstangen* müssen bei höheren Drehzahlen nicht allein auf Knicksicherheit, sondern auch auf die zusätzlichen Beanspruchungen hin nachgeprüft werden, die durch die „Peitsch“wirkung der bewegten Stangenmassen hervorgerufen werden.

Die Zylinder von 450 mm Durchmesser an aufwärts pflegt man im europäischen Lokomotivbau mit *vorn durchgehender* Pleibelstange zu versehen.

Die Gegengewichte

in den Treib- und Kuppelrädern dienen zum *Ausgleich der bewegten Triebwerksmassen*. Die umlaufenden Massen werden völlig ausgeglichen. Die hin- und hergehenden Massen gleicht man durch umlaufende Gegengewichte teilweise aus; der übliche Ausgleich schwankt zwischen 15 und 60 %. Schnellfahrende Zwillinglokomotiven mit Außenzylindern laufen erfahrungsgemäß hinreichend ruhig, wenn mindestens 30 % der hin- und hergehenden Massen ausgeglichen sind. Bei Drilling-Schnellzuglokomotiven sollten die hin- und hergehenden Massen der äußeren Triebwerke zu etwa 35 %, diejenigen des inneren Triebwerkes zu etwa 50 % ausgeglichen werden.

Die „freien Fliehkräfte“ sollen nach TV § 69 (3) bei höchster Fahrgeschwindigkeit nicht mehr als 15 % des ruhenden Raddruckes betragen. Im Ausland erreichen die freien Fliehkräfte oft 40 % des ruhenden Raddruckes. In England gleicht man bei schweren Schmalspurlokomotiven bis zu 80 % der hin- und hergehenden Massen aus, in USA pflegt man etwa $\frac{1}{100}$ bis $\frac{1}{200}$ des Lokomotivgewichtes ohne Tender (d. h. 2,5 bis 3,5 %) an waagrecht bewegten Massen jeder Seite unausgeglichen zu lassen (vergleiche hierzu Zahlentafel 34, S. 203).

Das Gegengewicht im Radkörper erhalte die Form einer Sichel.

Die umlaufenden Massen müssen an derselben Achse ausgeglichen werden, an der sie angreifen. Der Ausgleich der hin- und hergehenden Massen kann auf sämtliche gekuppelten Achsen verteilt werden.

Ein vollkommener Massenausgleich ist mit Hilfe gegenläufiger Gewichte möglich (Meineke in ZVDI 1932, S. 202), praktisch aber noch nicht durchgeführt.

Die Gegengewichte der Zwillinglokomotive mit Außenzylindern

1. Ausgleich der umlaufenden Massen.

Zu den umlaufenden Massen rechnen die Radkurbeln (abzüglich der Speichen), die Treib- und Kuppelzapfen, die Kuppelstangen und $\frac{3}{5}$ der Treibstangengewichte, ferner die etwa auf der Achswelle sitzenden Hubscheiben, deren Winkelneigung besonders zu berücksichtigen ist.

Jedes umlaufende Gewicht G_u ist auf den Kurbelhalbmesser r zu beziehen; greift es im Abstand r' von Achsmittle an, so ist sein auf den Kurbelhalbmesser bezogenes Gewicht $(G_u \cdot \frac{r'}{r})$.

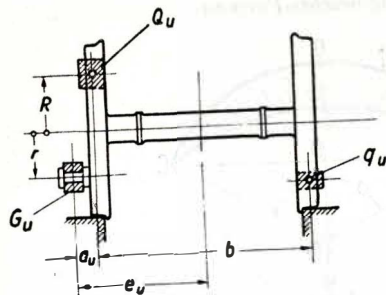


Bild 123

Ausgleich der umlaufenden Massen

Da die Gewichte in verschiedenen Ebenen umlaufen, müssen sie zu einem gedachten *resultierenden* umlaufenden Gewicht $G_{u, res}$ zusammengesetzt werden. Laufen die einzelnen Gewichte G_{u1}, G_{u2}, G_{u3} usw. in Ebenen mit den Abständen e_1, e_2, e_3 usw. von der senkrechten Mittelebene der Lokomotive um, so beträgt die Entfernung des resultierenden umlaufenden Gewichtes von der Mittelebene der Lokomotive

$$e_u = \frac{G_{u1} \cdot e_1 + G_{u2} \cdot e_2 + G_{u3} \cdot e_3 + \dots}{G_{u1} + G_{u2} + G_{u3} + \dots}$$

Hieraus ergibt sich der Abstand zwischen der Schwerlinie von $G_{u, res}$ und der Schwerlinie des Gegengewichts am gleichen Radkörper zu

$$a_u = e_u - \frac{b}{2} \quad (\text{siehe obiges Bild}).$$

Liegt das auszugleichende resultierende Gewicht *nicht* in Radebene, so sind zu seinem Ausgleich zwei Gegengewichte nötig:

1. Gegengewicht Q_u im *gleichen* Radkörper
2. Gegengewicht q_u im *gegenüberliegenden* Radkörper.

Ist R = Abstand des Gegengewichtsschwerpunktes von Radmitte, so ist das erforderliche Gegengewicht im *gleichen* Radkörper

$$Q_u = G_u \cdot \frac{a_u + b}{b} \cdot \frac{r}{R}$$

Gegengewichts-Formen

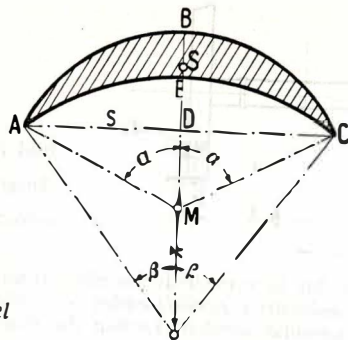


Bild 124. Sichel

Fläche F = (Segment A B C D A - Segment A E C D A)
 Moment der Fläche F = Segment A E C D A $\times$ X
 Schwerpunktsabstand MS = Moment der Fläche F geteilt durch Fläche F

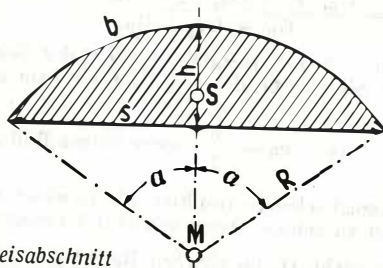


Bild 125. Kreisabschnitt

$$\text{Fläche } F = \frac{R^2}{2} \cdot \left(\frac{2a \cdot \pi}{180} - \sin 2a \right) = \frac{R(b-s) + sh}{2}$$

$$\text{Schwerpunktsabstand } MS = \frac{s^3}{12 F}$$

und das erforderliche Gegengewicht im gegenüberliegenden Radkörper

$$q_u = G_u \cdot \frac{a_u}{b} \cdot \frac{r}{R}$$

Die beiden Gegengewichte Q_u und q_u des gleichen Radkörpers sind um 90° zueinander versetzt, so daß das für den Ausgleich der umlaufenden Massen erforderliche resultierende Gegengewicht sein muß:

$$\sqrt{Q_u^2 + q_u^2}$$

2. Ausgleich der hin- und hergehenden Massen (Kolben, Kolbenstange, Kreuzkopf und $\frac{2}{3}$ des Pleuellstangenengewichtes).

Die hin- und hergehenden Massen lassen sich durch umlaufende Gewichte nur teilweise ausgleichen. Sie greifen im Abstand e_h von der Mittelebene der Lokomotive an, folglich:

$$a_h = e_h - \frac{b}{2}$$

Das resultierende Gewicht für den Ausgleich der hin- und hergehenden Massen wird auf möglichst viele gekuppelte Achsen verteilt. Läßt sich in einem Rade ein Gegengewichtsanteil Q_h für den Ausgleich der hin- und hergehenden Massen unterbringen, so entspricht dieser einer ausgeglichenen Masse von

$$\left(Q_h \cdot \frac{b}{b + a_h} \cdot \frac{R}{r} \right)$$

woraus sich der prozentmäßige Anteil am Gesamtausgleich ergibt.

3. Das auszuführende Gegengewicht ergibt sich zu

$$Q = \sqrt{(Q_u + Q_h)^2 + (q_u + q_h)^2}$$

Üblicherweise eilt bei Vorwärtsfahrt die rechte Kurbel um 90° vor; es muß dann bei Vorwärtsfahrt das Gegengewicht des rechten Rades gegenüber der durch Kurbel und Achsmittellinie um den Winkel φ voreilen; das Gegengewicht des linken Rades eilt nach, es kann mithin für beide Radkörper derselben Achse das gleiche Modell verwendet werden (siehe umstehendes Bild 126).

Der Ablenkungswinkel φ

$$\text{ermittelt sich aus } \tan \varphi = \frac{(q_u + q_h)}{(Q_u + Q_h)} = \frac{a}{a + b}$$

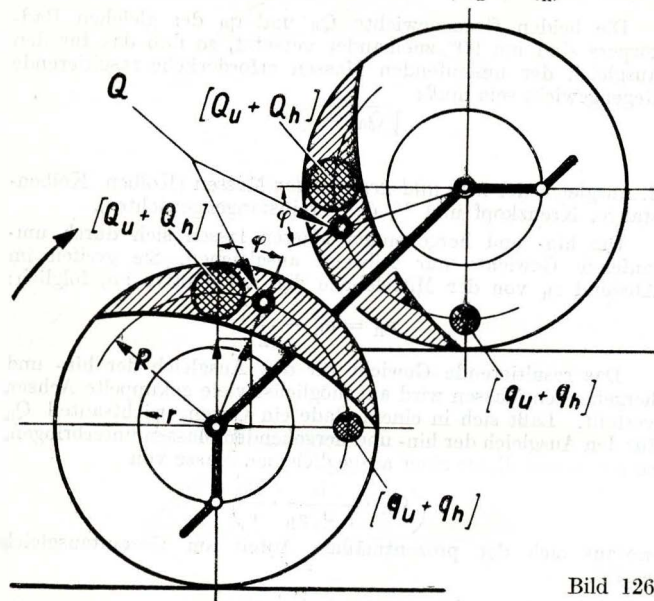


Bild 126

Die Gegengewichte der Zwillingslokomotive mit Außenzylindern

4. Die Höchstgeschwindigkeit der Lokomotive wird (soweit sie nicht durch andere Vorschriften begrenzt ist) durch die zulässige Größe der freien Fliehkräfte festgelegt.

Ist G_h in kg der Anteil eines Gegengewichtes, der zum Ausgleichen der hin- und hergehenden Massen dient, so wirkt die größte freie Fliehkraft in der Radebene

$$\text{mit } C_{\max} = \frac{G_h}{g} \cdot R \cdot \omega_{\max}^2 \quad \text{in kg.}$$

Hieraus folgen $V_{\max} = 1,8 \cdot \omega_{\max} \cdot D$

$$\text{und } n_{\max} = \frac{1000 V_{\max}}{60 D \pi} = 16,7 \frac{V_{\max}}{D \pi}$$

mit $V_{\max}$ = Höchstgeschwindigkeit in km/h

$n_{\max}$ = minutliche Drehzahl bei Höchstgeschwindigkeit

$\omega_{\max}$ = Winkelgeschwindigkeit bei $V_{\max}$

D = Treibraddurchmesser in m

g = Erdbeschleunigung in m/sec²

R = Abstand des Gegengewichtsschwerpunktes von Radmitte in m

Die Gegengewichtsberechnungen aller Lokomotivbauarten gehen auf die an der Zwillingslokomotive mit Außenzylindern erläuterten Grundbegriffe zurück.

Es empfiehlt sich, die Gegengewichtsberechnung von *Drillinglokomotiven* nach Najork durchzuführen (siehe Glasers Annalen 1915/II, S. 149). Dieses Verfahren hat neben einer allerdings nicht erheblichen Verminderung des Ausgleichgewichtes den konstruktiv willkommenen Vorzug, daß die Winkelnäigung des Gegengewichtes von vornherein unabhängig von den sonstigen Verhältnissen mit 30° gegeben ist.

Unter „*Auswuchten*“ eines Radsatzes versteht man ein rohes Nachprüfen der Gegengewichte am fertiggestellten Radsatz.

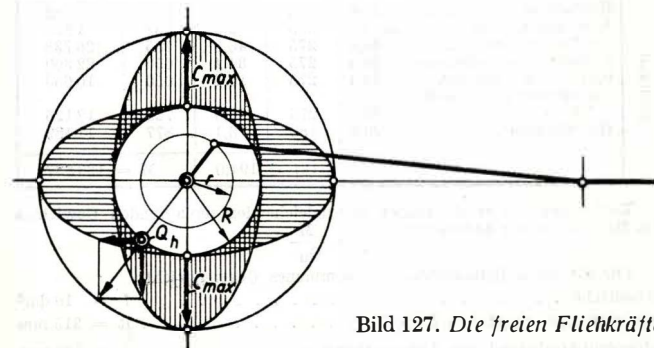


Bild 127. Die freien Fliehkräfte

- = mit den Massenkräften der hin- und hergehenden Gewichte im Gleichgewicht befindliche Fliehkräfte
- = freie Fliehkräfte

Zahlenbeispiel

Gegengewichtsberechnung für eine vierfach gekuppelte Lokomotive mit Außenzylindern nach nebenstehender Skizze 128.

I. Auslegung der umlaufenden Gewichte

	Auszugl. Gewicht kg	Schwerp- Abst. von Radmitte mm	Auf Kurbel- kreis bez. Gewicht kg	Abstand v. Mittel- ebene der Lok. mm	Moment bezüg- lich Mittelebene der Lok. mmkg
Vorderes u. hinteres Kuppelrad	Kurbelarm	24,5	265	23,6	540
	Rest der Speichen	~ 2,0	250	1,8	533
	Kuppelzapfen (außer- halb Nabe)	7,0	275	7,0	575
	0,53 Kuppelstange	18,6	275	18,6	650
	$G_u = 51,0$			$M = 29818$	
2. Kuppelrad	Kurbelarm	24,5	265	23,6	540
	Rest der Speichen	~ 2,0	250	1,8	533
	Kuppelzapfen	7,0	275	7,0	575
	0,47 vord. Kuppelstange	16,4	275	16,4	650
	0,48 mittl. Kuppelstange	31,6	275	31,6	650
	$G_u = 80,4$			$M = 48928$	
Treibrad	Kurbelarm	55,0	278	55,8	540
	Rest der Speichen	~ 3,0	225	2,5	533
	0,6 Treibstange	46,8	275	46,8	785
	0,52 mittl. Kuppelstange	34,4	275	34,4	650
	0,47 hintere Kuppelst.	16,4	275	16,4	650
	Treibzapfen (außerhalb Nabe)	25,0	275	25,0	725
	Gegenkurbel	20,0	180	13,1	877
	$G_u = 194,0$			$M = 130837$	

Entfernung des resultierenden ausgleichenden umlaufenden Gewichtes von Mittelebene der Lokomotive

$$e_u = \frac{M}{G_u}$$

Für sämtliche Kuppelräder angenommenes Gegengewicht:

Sichelfläche $f = 10 \text{ dm}^2$

Schwerpunktsabstand von Radmitte $R = 315 \text{ mm}$

Schwerpunktsabstand von Lokomotivmitte $\frac{b}{2} = 535 \text{ mm}$

Vorderes und hinteres Kuppelrad:

$$e_u = \frac{29818}{51} = 585 \text{ mm}$$

$$a_u = e_u - \frac{b}{2} = 585 - 535 = 50 \text{ mm}$$

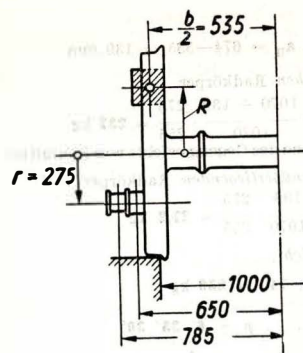
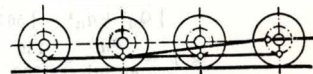


Bild 128

Maße zum Zahlenbeispiel

Treibrad-Durchmesser 1050 mm



Dann erforderliches Gegengewicht im gleichen Radkörper

$$Q_u = G_u \cdot \frac{b + a_u}{b} \cdot \frac{r}{R} = 51 \cdot \frac{1070 + 50}{1070} \cdot \frac{275}{315} = 47 \text{ kg}$$

erforderliches Gegengewicht im gegenüberliegenden Radkörper

$$q_u = G_u \cdot \frac{a_u}{b} \cdot \frac{r}{R} = 51 \cdot \frac{50}{1070} \cdot \frac{275}{315} = 2,1 \text{ kg}$$

resultierendes Gegengewicht ~ 48 kg

$$\text{tg } \varphi = \frac{a_u}{a_u + b} = \frac{50}{1070} \dots \varphi = 2^\circ 40' 32''$$

Zweites Kuppelrad:

$$e_u = \frac{48928}{80,6} = 607 \text{ mm} \quad a_u = 607 - 535 = 72 \text{ mm}$$

$$Q_u = 80,6 \cdot \frac{1070 + 72}{1070} \cdot \frac{275}{315} = 76 \text{ kg}$$

$$q_u = 80,6 \cdot \frac{72}{1070} \cdot \frac{275}{315} = 4,8 \text{ kg}$$

resultierendes Gegengewicht ~ 77 kg

$$\text{tg } \varphi = \frac{72}{1142} \dots \varphi = 3^\circ 36' 27''$$

Gewählt für alle Kuppelräder $\varphi = 3^\circ$.

Treibrad:

$$e_u = \frac{130 \cdot 837}{194} = 674 \text{ mm} \dots \dots a_u = 674 - 535 = 139 \text{ mm}$$

Erforderliches Gegengewicht im gleichen Radkörper

$$Q_u = G_u \cdot \frac{b + a_u}{b} \cdot \frac{r}{R} = 194 \cdot \frac{1070 + 139}{1070} \cdot \frac{275}{255} = 237 \text{ kg}$$

(hierbei $R = 255 \text{ mm}$ = Schwerpunktsabstand des Gegengewichts von Radmitte).

Erforderliches Gegengewicht im gegenüberliegenden Radkörper

$$q_u = G_u \cdot \frac{a_u}{b} \cdot \frac{r}{R} = 194 \cdot \frac{139}{1070} \cdot \frac{275}{255} = 27,2 \text{ kg}$$

Tatsächlich auszuführendes Gegengewicht:

$$\sqrt{Q_u^2 + q_u^2} = \sqrt{56169 + 740} = 239 \text{ kg}$$

$$\text{tg } \varphi = \frac{a_u}{a_u + b} = \frac{139}{1209} \dots \dots \varphi = 6^\circ 33' 30''$$

Ausführung des Treibrad-Gegengewichts ($R = 255 \text{ mm}$):
 gesamte Sichelfläche $f_s = 17,8 \text{ dm}^2$
 Sichelfläche des Bleiausgusses $f_{bl} = 12,2 \text{ dm}^2$ } in beiden Fällen gleicher Schwerpunktsabstand,

Bei 20 mm Stärke der Seitenwände des Stahlgußkörpers ergibt sich die Breite b des Gegengewichts aus

$$239 = f_s \cdot b \cdot 7,86 + f_{bl} \cdot (b - 0,4) \cdot (11,25 - 7,86)$$

↓ ↓
 spez. Gew. von Stahlguß
 spez. Gew. von Blei

$$= 17,8 \cdot b \cdot 7,86 + 12,2 \cdot (b - 0,4) \cdot 3,39 = 140b + 41b - 16,5$$

$$\text{zu } b = \frac{239 + 16,5}{181} = 1,41 \text{ dm}$$

Ausgeführt $b = 140 \text{ mm}$

Am Treibrad nur umlaufende Gewichte ausgeglichen:

II. Ausgleich der hin- und hergehenden Gewichte

	Gewicht kg	Abstand von Lokomotivmitte mm	Moment mmkg
Kolben und Stange ..	100,5		
Kreuzkopf	103,0		
0,4 Treibstange	31,2		
	$G = 234,7$	785	184 240

$$\text{Dann ist } e_h = \frac{184 \cdot 240}{234,7} = 785 \text{ mm}$$

$$a_h = 785 - 535 = 250 \text{ mm}$$

Es sollen bedingungsgemäß 50 % der hin- und hergehenden Gewichte ausgeglichen werden. Bei einer angenommenen Breite von $b = 130 \text{ mm}$ beträgt das Gegengewicht $\sim 10,0 \cdot 1,3 \cdot 7,86 = 102 \text{ kg}$. Zum Ausgleichen der hin- und hergehenden Gewichte stehen demnach zur Verfügung:

im vorderen Kuppelrad etwa $102 - 48 = 54$
 im zweiten Kuppelrad etwa $102 - 77 = 25$
 im hinteren Kuppelrad etwa $102 - 48 = 54$ } 133 kg

Also Anteil der Gegengewichte zum Angleichen der hin- und hergehenden Gewichte $GH = 133 \text{ kg}$.

Dieser entspricht einer ausgeglichenen Masse von

$$\text{etwa } Q_h = \frac{b}{b + a_h} \cdot \frac{R}{r} = 133 \cdot \frac{1070}{1070 + 250} \cdot \frac{315}{275} = 123 \text{ kg}$$

d. h. ≈ 53 % der hin- und hergehenden Gewichte.

III. Die freien Fliehkräfte sind am größten bei 1. u. 4. Kuppelachse.

Bei Höchstgeschwindigkeit $V = 45 \text{ km/h}$ ist
 $n = \frac{45000}{1,05 \cdot 60} = 228 \text{ Umdr/min} \dots \omega = \frac{V}{1,8 D} = \frac{45}{1,8 \cdot 1,05} = 23,7$

$$C_{\text{max}} = m \cdot R \cdot \omega^2 = \frac{54}{9,81} \cdot 0,315 \cdot 23,7^2 = 970 \text{ kg.}$$

Das sind 18,4 % des ruhenden Raddruckes von 5250 kg.

Sind nur 15 % erwünscht, so wird

$$C_{\text{max}} = 790 \text{ kg} \dots \omega = \sqrt{\frac{790 \cdot 9,81}{54 \cdot 0,315}} = \sqrt{458} = 21,4$$

Zulässig demnach $V_{\text{max}} = 1,8 \cdot 1,05 \cdot 21,4 \sim 41 \text{ km/h}$.

Verhältnis der unausgeglichenen hin- und hergehenden Gewichte zum Gesamtlokomotivgewicht neuzeitlicher USA-Lokomotiven bei Höchstgeschwindigkeit

Zahlentafel 34. Nach Johnson: „The steam locomotive“, New York 1944, S. 268.

Bahnverwaltung	N. Y. N. H. & H.	A. C. L.	N. Y. C.	N. Y. C.	C. M. & St. P. & P.
Achsanordnung und Klasse	4-6-4	4-8-4	4-6-4	4-6-4	4-4-2
Gesamt-Lokomotivgewicht in lbs.	363 300	460 270	360 000	350 000	286 000
Unausgeglichene hin- und hergehende Gewichte einer jeden Seite in lbs.	1 074	1 724	630	1 239	692
Verhältnis der unausgeglichenen hin- und hergehenden Gewichte zum Lokomotivgewicht	$\frac{1}{340}$	$\frac{1}{266}$	$\frac{1}{571}$	$\frac{1}{283}$	$\frac{1}{413}$
Unausgeglichenes Gewicht auf 1000 lbs. Lokomotivgewicht in lbs.	2,94	3,75	1,75	3,54	2,42

Die Steuerung

besteht aus der *inneren* Steuerung, unter der man im wesentlichen den Dampfverteiler versteht, und aus der *äußeren* Steuerung, die dem Antrieb des Dampfverteilers dient.

Der *Dampfverteiler* wird bei der überwiegenden Anzahl der neueren Lokomotiven als Kolbenschieber mit einfacher, innerer Einstromung des Dampfes ausgebildet. Bei Ventilsteuerungen geht man mit der Ventilbeschleunigung bis zu etwa 580 m/sec^2 . Der Antrieb des Dampfverteilers erfolgt durch Zusammensetzen der Bewegungen zweier Antriebspunkte der äußeren Steuerung, in selteneren Fällen (bei Anwendung von Ellipsenlenkern oder von umlaufenden Nocken) von nur *einem* Antriebspunkt aus.

Steuerungen, bei denen der Dampfauslaß in zwangläufiger Abhängigkeit von der Verstellung der Füllung steht, leiden bei kleineren Füllungen an übermäßig hoher Vorausströmung und Verdichtung. Anzustreben ist daher (bis zu einer gewissen Grenze!) Unabhängigkeit der Verstellung des Dampfauslasses von der Veränderung des Dampfeinlasses, wie sie beispielsweise bei der Caprotti-Ventilsteuerung verwirklicht ist. — Der *schädliche Raum* im Dampfzylinder wird so knappwie möglich bemessen; er beträgt bei Kolbenschiebersteuerungen etwa 10 %.

Die *Dampfgeschwindigkeit im Schieberspiegel* von Kolbenschieber-Steuerungen kann angenommen werden zu $v_m = 300 \text{ m/sec}$, bezogen auf den bei 20 % Füllung und mittlerer Kolbengeschwindigkeit vorhandenen Einstrom-Dampfquerschnitt. Die zugehörigen minutlichen Treibrad-Drehzahlen ermitteln sich nach der Kontinuitätsgleichung zu

$$n = \frac{30}{s} \cdot \frac{300 f}{F} = \frac{9000 f}{s F}$$

wenn s = Kolbenhub in m F = Kolbenquerschnitt in cm^2
 f = Einstrom-Dampfquerschnitt in cm^2 bei mittlerer Kolbengeschwindigkeit für 20 % Füllung.

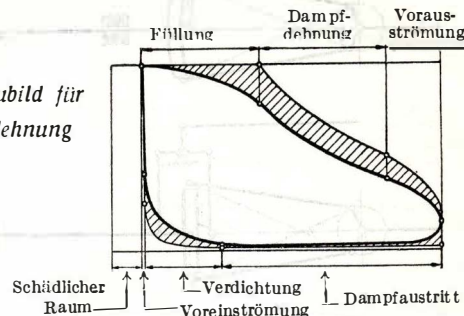
Die entsprechende Fahrgeschwindigkeit beträgt mit D = Treibraddurchmesser in m

$$V = \frac{60 D \pi n}{1000} \quad \text{in km/h.}$$

Dieses V stellt gleichzeitig die Höchstgeschwindigkeit dar, wenn mit 20 % als geringster Füllung gefahren werden sollte (vgl. S. 214 und Zahlentafeln 77 und 78, S. 398/399).

Bild 129

Dampfdruckschaubild für einfache Dampfdehnung



Die schraffierte Fläche zeigt die durch Drosselung und Abkühlung entstandenen Verluste.

Dampfdehnung und Verdichtung verlaufen nach dem Ausdruck

$$\begin{aligned} p \cdot v^n &= \text{const.} \\ \text{mit } n &= 1 && \text{für die Ausdehnung von Naßdampf} \\ n &= 1,1 \div 1,25 && \text{für die Ausdehnung von Heißdampf je nach Grad der Überhitzung} \\ n &= 1,2 && \text{für die Verdichtung.} \end{aligned}$$

Die *kennzeichnenden Punkte des Dampfdruckschaubildes* werden durch die Ausströmdeckung i , die Einstromdeckung e und das lineare Voreilen v bestimmt; sie werden jedoch nicht von den tatsächlichen Abmessungen dieser Größen, sondern vom *Verhältnis* dieser Maße zueinander beeinflusst (s. Zahlentafel 35, S. 214 und Bilder S. 217).

Die bekanntesten Lokomotivsteuerungen

a) für *gemeinsam* betätigten Dampfeinlaß und -auslaß

1. Die *Stephenson-Steuerung* (Bild 130 a), 1842 von Howe, Vorschlosser bei Rob. Stephenson, erfunden, zeichnet sich durch kleinste Zahl an Gelenken und kurze Baulänge aus, erfordert jedoch große Bauhöhe und läßt sich nicht in einer senkrechten Ebene ausbilden, Antrieb durch 2 Hubscheiben. Schwinde gekrümmt. Beim Umsteuern wird die Schwinde gehoben oder gesenkt. Großer

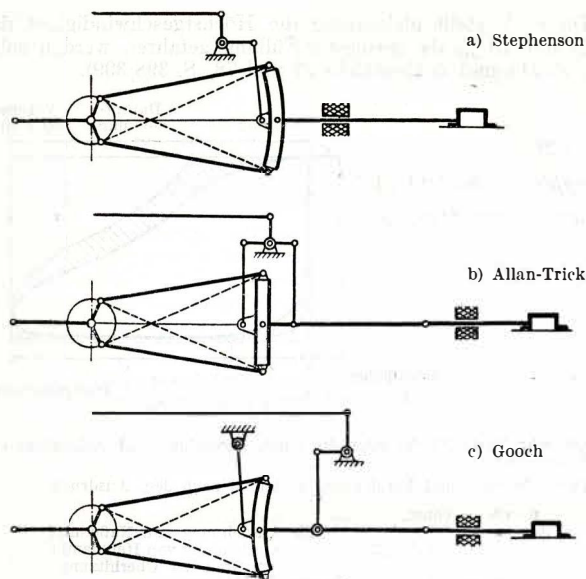


Bild 130. Schwingensteuerungen mit zwei Exzentern

Einfluß des Federspiels auf die Dampfverteilung, da Schieberebene geneigt zur Zylinderachse. Scheitellinie gekrümmt; das lineare Voreilen nimmt bei gekreuzten Stangen mit zunehmender Füllung zu, bei offenen mit zunehmender Füllung ab. Die Stephenson-Steuerung eignet sich bei Verwendung offener Stangen besonders für Lokomotiven mit hohen Drehzahlen, da die Scheitellinie ziemlich scharf gekrümmt ist.

2. Die *Allan-Trick-Steuerung* (Bild oben), 1855 von dem Engländer Alex Allan, unabhängig hiervon etwas später von dem Deutschen Trick, Ingenieur bei Kessler-Eßlingen, erfunden, beansprucht große Baulänge, aber mäßige Bauhöhe. Antrieb durch 2 Hubscheiben. Schwinde gerade (einfache Herstellung). Beim Umsteuern werden die Schwinde und die Schieberschubstange gleichzeitig gehoben bzw. gesenkt. Schieberebene geneigt zur Zylinderachse, daher großer Einfluß des Federspiels auf die Dampfverteilung. Scheitellinie flacher als bei Stephenson, daher eignet sich die Allan-Steuerung bei Verwendung gekreuzter Stangen besonders für langsam fahrende Lokomotiven (geringere Drehzahlen).

3. Bei der *Gooch-Steuerung* (Bild 130 c) wird durch Heben und Senken der Schieberschubstange umgesteuert. Schwinde gekrümmt, Scheitellinie geradlinig, daher gleichbleibendes lineares Voreilen. Erforderliche Baulänge größer, Bauhöhe geringer als bei Stephenson oder Allan. Dampfverteilung unregelmäßiger als bei den vorgenannten Steuerungen, daher nur geringe Verbreitung.

4. Die *Heusinger-Steuerung*. Gegenwärtig die *verbreitetste* Lokomotivsteuerung, bei Lokomotiven aller Gattungen angewendet. Näheres auf Seite 212.

5. Die *Heusinger-Steuerung der Bauart Helmholtz-Krauß* besitzt gerade Schwinde.

6. Die *Baker-Steuerung* (Seite 210) unterscheidet sich von Heusinger lediglich dadurch, daß die Schwinde durch einen Winkelhebel ersetzt ist, an dem eine Lenkstange schwingt. Der Winkelhebel ist zwischen Schieberschubstange und Lenkstange eingeschaltet. Die Steuerung ist vierteiliger und baut sich breiter als die Heusinger-Steuerung.

7. Die *Winkelhebel-Steuerung von Gölsdorf* unterscheidet sich dadurch von Baker, daß der Winkelhebel zwischen Schwingenstange und Lenkstange angeordnet ist.

8. Bei der *Kingan-Ripken-Steuerung* greift die Lenkerstange nicht am Kreuzkopf, sondern an einem Punkt der Treibstange an.

9. Die *Heusinger-Joy-Steuerung* treibt die Schwingenstange nicht durch eine Pleuellstange, sondern von einem Punkt der Treibstange aus an.

10. Die *Joy-Steuerung* (Seite 209) (erfunden von dem englischen Maschinenmeister und späteren Zivilingenieur David Joy, geb. 3. März 1825 in Leeds, gest. 14. März 1903 in Hampstead) wird von einem Punkt der Treibstange aus angetrieben; sie beansprucht geringe Baulänge und große Bauhöhe und baut sich in einer senkrechten Ebene auf. Die Schieberschubstange wird oben mittels Stein in einem durch den Steuerhebel verstellbaren Kreisbogenlenker geführt, ihr unterer Gelenkpunkt bewegt sich mit Hilfe des angenäherten Ellipsenlenkers auf einer ellipsenähnlichen Bahn. Scheitellinie gerade. Gute Dampfverteilung, geringes Gewicht und gute Zugänglichkeit aller Teile sind die Vorzüge der Joy-Steuerung. Ungünstig ist die zusätzliche Biegebbeanspruchung der Treibstange durch das Steuerungsgetriebe.

11. Die *Young-Steuerung* (Seite 211) wird von zwei geradlinig bewegten Punkten angetrieben.

Der „*disseitige*“ Kreuzkopf setzt mit Hilfe der Lenkerstange 1 die Schwinde 2 in Bewegung, welche ihrerseits vermittels der Schwingenstange 3 den Voreilhebel 4 antreibt. Am Voreilhebel greift die Schieberstange 5 an. Der Voreilhebel schwingt um einen am Hebel 6 befestigten Zapfen, dessen Mittel bei Nullfüllung in die Achse AB (in senkrechter Ebene über der Welle CD) fällt. Wird durch die Aufwerfhebel 7 die Steuerung ausgelegt, so wird durch die „*jenseitige*“ Schieberschubstange 8 der Hebel 9 verdreht, welcher seine Bewegung mittels der die Welle CD zylindrisch umfassenden Welle 10 dem Hebel 6 mitteilt. Der Hebel schwingt nunmehr entsprechend der Bewegung des „*jenseitigen*“ Schwingensteines um die Achse CD. Der Voreilhebel 4 schwingt um einen Punkt, welcher sich seinerseits auf einem Kreisbogen mit der Länge des Hebels 6 als Halbmesser um die Achse CD hin und her bewegt. Die gewünschte Bewegung der Schieberstange 5 ist somit ermöglicht. Die Eigenart der Anordnung erfordert es, daß beim Verlegen der Steuerung die beiden Schwingensteine sich in *entgegengesetzter* Richtung bewegen.

Die Young-Steuerung ist äußerst vierteilig. Steuerungstechnisch entspricht sie der Heusinger-Steuerung, übertrifft diese jedoch durch bedeutend rascheres Öffnen und Schließen des Schiebers und ermöglicht unter sonst gleichen Verhältnissen höhere Füllungen. Sie eignet sich daher besonders für Lokomotiven mit großen Zylinderabmessungen (z. B. hat sie an Lokomotiven der Union-Pacific und der Chicago & North Western Bahn Verwendung gefunden).

12. **Lentz-Schwingensteuerung.** Die 4 Ventile (2 für Einlaß, 2 für Auslaß) eines Zylinders werden durch eine gemeinsame Schwingwelle mit auf dieser starr aufgesetzten Schwingnocken gesteuert. Äußerer Antrieb zumeist durch eine übliche Heusinger-Steuerung.

b) für unabhängige Verstellung von Dampfeinlaß und -auslaß

13. **Rateau-Lentz-Steuerung.** Ventilantrieb durch umlaufende Nocken, für jede Füllung ein besonderer Nocken, der durch Achsialverschiebung der Nockenwelle in Eingriff gebracht wird. Es sind beispielsweise ausgeführt 5 Füllungsstufen für vorwärts, 2 für rückwärts, 1 für Leerlauf.

14. Die **Renaud-Steuerung** kennzeichnet sich durch umlaufende Steuerwelle für stetige Füllungsänderung. Zu jedem Ventil gehört nur eine Nockenscheibe, deren Hubzeit vom Fahrer innerhalb gewisser Grenzen beeinflusst werden kann.

15. **Caprotti** sieht für jede Zylinderseite 3 auf einer umlaufenden Steuerwelle sitzende Nockenscheiben vor: eine zum Öffnen des Dampfeinlasses, eine zum Schließen des Dampfeinlasses, eine zum Betätigen des Dampfauslaßventils. Die Vorausströmung ist für alle Füllungen gleichbleibend, ebenso die Verdichtung, daher größere Völligkeit der Dampfdruckschaubilder. Die Füllung wird durch Verdrehen der beiden lose auf der Steuerwelle angeordneten Einlaß-Nockenscheiben verändert. Kleinste wirtschaftliche Füllung etwa 5 %.

16. **Meier-Mattern** steuert die Ventile mit Drucköl und erreicht kleinste Füllungen von 2,5 %.

Die **Ventilsteuerung** (Beispiele oben) kennzeichnet sich durch

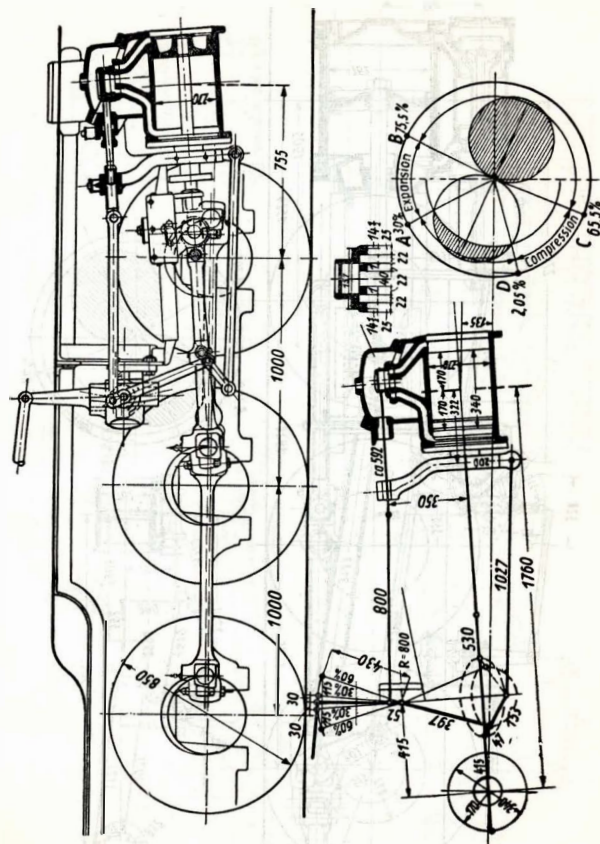
- | | |
|---|--|
| Wegfall von Lässigkeitsverlusten | } daher völligeres
Dampfdruck-
Schaubild |
| geringere Drosselverluste | |
| kleinen schädlichen Raum | |
| Ermöglichung kleinster Füllungen | |
| Unabhängigkeit von Dampf- und Dampfauslaß | |
| Wegfall von Leerlaufeinrichtungen | |
| geringen Schmierölverbrauch | |
| Unempfindlichkeit gegen hohe Überhitzung. | |

Man pflegt gegenüber Kolbenschiebersteuerung eine Dampf- und Brennstoffersparnis von etwa 10 % anzunehmen, bezogen auf die übliche Zuteilung im Betriebe. Gesamtwirtschaftlich ist die Ersparnis zumeist jedoch nicht so hoch, daß sich die Ventilsteuerung bisher in größerem Umfange hätte durchsetzen können.

Auf kleinste Füllungen und kleinen schädlichen Raum legt der Betrieb in Rücksicht auf den ruhigen Gang der Lokomotive weniger Wert. Bei Dampfmaschinen können diese Eigenarten der Ventilsteuerung vorteilhaft zur Geltung kommen, sofern die zu verarbeitenden Dampfolumina eine gewisse Grenze nicht überschreiten. Im Bereich größter Dampfolumina werden Ventilwege und Ventilabmessungen erforderlich, die konstruktiv nicht zu beherrschen sind. Für schnelllaufende Dampfmaschinen hat sich die Stephenson-Schiebersteuerung (Bild 130 a) als geeignet erwiesen.

Bild 131. Beispiel einer JOY-Steuerung

Erläuterung auf Seite 207



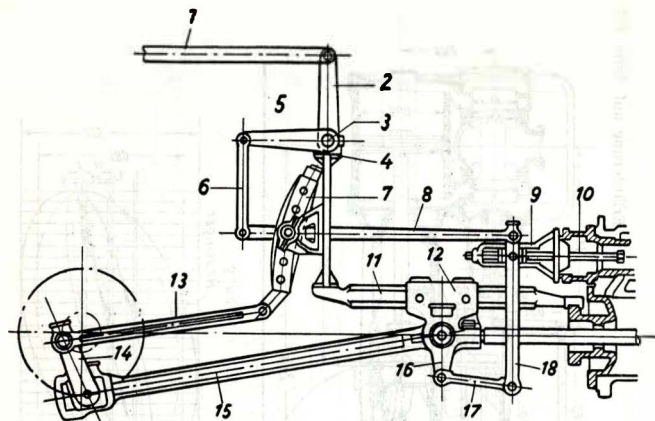


Bild 134. Beispiel einer **HEUSINGER**-Steuerung

Benennung der Einzelteile nach LON 1:

- | | |
|--------------------------|--------------------|
| 1 Steuerstange | 10 Schleberstange |
| 2 Steuerstangenhebel | 11 Gleitbahn |
| 3 Steuerwelle | 12 Kreuzkopf |
| 4 Steuerwellenlager | 13 Schwingenstange |
| 5 Aufwerfhebel | 14 Schwingenkurbel |
| 6 Hängeisen | 15 Treibstange |
| 7 Schwinge | 16 Lenkeransatz |
| 8 Schleberschubstange | 17 Lenkerstange |
| 9 Schleberstangenführung | 18 Vorellhebel |

Die **Heusinger-Steuerung** (vgl. Seite 207) wurde 1844 von dem Belgier Egide Walschaert, davon unabhängig 1849 von Edmund Heusinger v. Waldegg, damals Ingenieur der Taunusbahn (geb. 12. Mai 1817 in Langenschwalbach, gest. 2. Februar 1886 in Hannover) erfunden.

Der Antrieb erfolgt durch Gegenkurbel und Kreuzkopf, deren Bewegungseinflüsse sich im Vorellhebel vereinigen. Die Schwinge ist gekrümmt. Der Schleber läuft parallel zur Zylinderachse, daher geringster Einfluß des Feder-spieles. Die Steuerung baut sich in einer senkrechten Ebene. Die Scheitelkurve ist gerade, das lineare Vorellen gleichbleibend.

Infolge der stark übersetzenden Wirkung des Vorellhebels sind große Schleberwege unschwer erreichbar. Die **Heusinger-Steuerung** ergibt von allen Schwingenumsteuerungen die gleichmäßigste Dampfverteilung.

Voraussetzung hierzu ist die Erfüllung folgender Grundsätze: Die Schleberschubstange möglichst lang, die Schwinge mithin möglichst flach gekrümmt. Schleberschubstange in Mittelstellung parallel zur Zylinderachse; sie sollte zwecks Verminderung des Steinspringens bei Schlepptenderlokomotiven in einem Hängeisen, bei Tenderlokomotiven in Kuhn'scher Schleife gelagert sein. Das „Horn“ der Schwinge soll so festgelegt sein, daß sie bei Kolbentotlage in Mittelstellung steht und nach beiden Seiten gleich große Winkelausschläge beschreibt. Lenkerstange möglichst lang; die Strecke, um welche ihr Angriffspunkt am Vorellhebel in senkrechter Richtung sich hebt bzw. senkt, soll durch eine Parallele zur Zylinderachse halbiert werden, welche durch den Angriffspunkt der Lenkerstange am Kreuzkopf gezogen ist. Der Winkelausschlag der Schwinge und derjenige des Vorellhebels soll möglichst nicht 25°, keinesfalls 30° überschreiten. Bei der Schwingenlänge sind kurze Länge und stark geneigte Lage nicht von Nachteil; sie wirken günstig auf den Füllungsausgleich ein.

Eine *Vereinheitlichung der Kolbenschieber* für die Heusinger-Steuerung bietet die Möglichkeit, eine allgemein gültige Übersicht über die in Rücksicht auf die innere Steuerung zuzulassenden Höchstgeschwindigkeiten zu geben. Bemüht man die Schleber nach Zahlentafel 35, Seite 214, so ergeben sich die Werte der Zahlentafeln S. 398/99; werden diese unterschritten, so fallen die Dampfdruckschaubilder völliger aus, als sie auf Seite 217 dargestellt sind; werden sie überschritten, so ergeben sich kleinere Arbeitsflächen.

	Dann sind die mittleren Kolbendrucke p_m für Naßdampf	für Heißdampf
bei 20 % Füllung	3,2 atü	2,82 atü
bei günstigster Füllung	3,7 atü	3,7 atü
bei 40 % Füllung	7,15 atü	6,8 atü
bei 60 % Füllung	9,65 atü	9,4 atü
bei 80 % Füllung	11,15 atü	11,1 atü

Über den „günstigsten“ mittleren Kolbendruck siehe auch S. 135.

Die *günstigste Füllung* liegt

für Naßdampf	etwas unter 20 %
für Heißdampf bis 350°	über 20 %
für Heißdampf über 350°	um 30 %

Die *Einheitsschieber der Deutschen Bundesbahn* haben folgende kennzeichnende Werte in mm:

Durchmesser	d_k	180	220	300
Einstromdeckung e		38	38	38 [50]
Ausstromdeckung i	{	12 ÷ 16 atü	2	2
		20 atü	8 ÷ 10	8 ÷ 10
Lineares Vorellen v		5	5	5 [8]

[]-Maße gelten für Schnellfahrlokomotiven der Reihen 05 und 61.

Über *Heusinger-Steuerungen für Drei- und Vierzylinder-Lokomotiven* siehe Seite 218 und 219.

Vereinheitlichung der inneren Steuerung in Abhängigkeit von Treibrad-Durchmesser und Kolbenhub

Beispiel einer Heusinger-Steuerung mit $i: e: v = 3: 50: 7$

Zahlentafel 35

Gruppe	Treibrad $\varnothing D$ mm	Kolbenhub s mm	Kolbenschieber					Berechnungsgrößen		
			Durchmesser d_k mm	Einström- deckung e mm	Auström- deckung i mm	Kanalbreite b mm	Kanallänge l mm	Lineares Vor- eilen v mm	Einström- kanaleröff- nung bei mittl. Kolben- geschw. für 20 % Füllung b_{20} mm	Einström- dampf- querschn. bei mittl. Kolben- geschw. für 20 % Füllung f_{m20} cm ²
I	[550] 600 [650] 700 [750]	300	100	17	1	24	220	2,33	2,66	5,88
II	800 [850] 900 [950]	400	150	25	1,5	36	330	3,5	4	13,2
III	1000 [1050] 1100 1200 1300	500	200	33,5	2	48	440	4,66	5,35	23,6
IV	1400 1500 1600 1700	600	250 (300)	41,5	2,5	60	550 (662)	5,82	6,68	36,8 (44,3)
Die Klammerwerte gelten für Zyl. $\varnothing$ v. 600 mm an aufwärts										
V	1800 1900 2000 [2100] [2200] 2300	700	250 (300)	50	3	72	550 (662)	7,0	8,0	44,0 (53,0)
Die Klammerwerte gelten für Zyl. $\varnothing$ v. 550 mm an aufwärts										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

Die in [] Klammern gesetzten Treibraddurchmesser sind möglichst zu vermeiden.

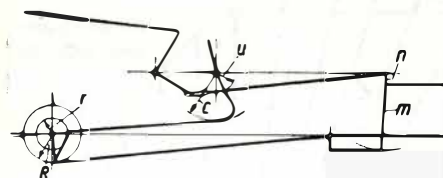
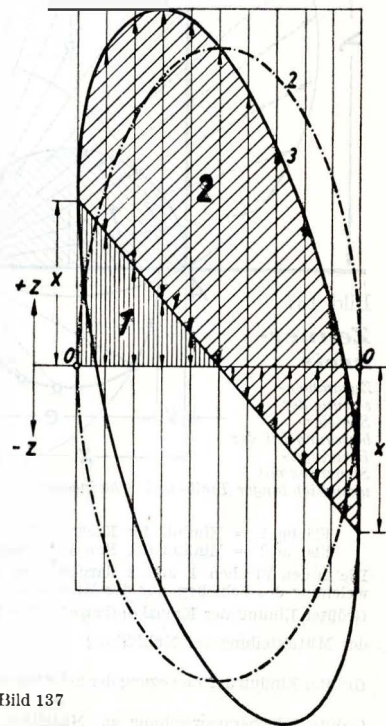


Bild 135

Bezeichnungen zu Bild 136 und 137

Bild 136

Zusammensetzung der Schieberbewegung in der **Schieberellipse** bei der Heusinger-Steuerung mit unendlich langer Pleuellagerstange



Erläuterungen wie unter Bild 137

$\pm Z$ = Ausweichung des Schiebers aus der Mittellage

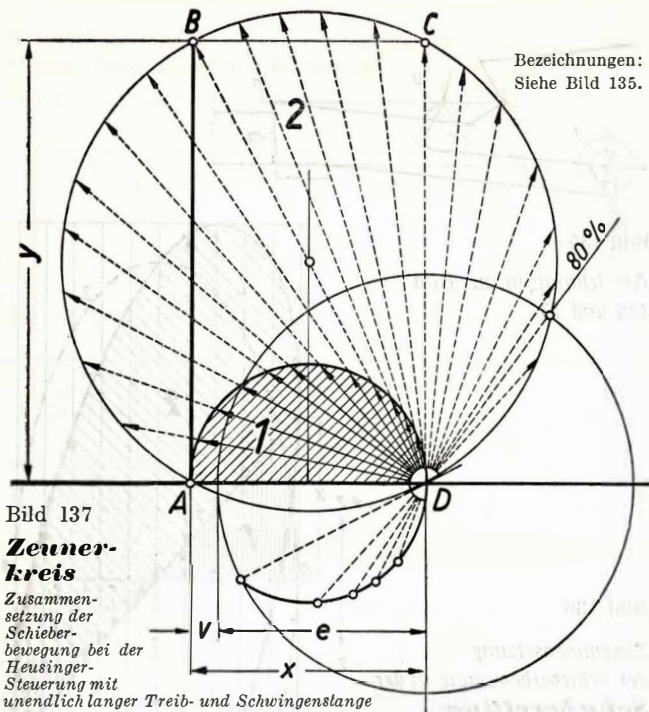


Bild 137

Zeuner- **kreis**

Zusammen-
setzung der
Schieber-
bewegung bei der
Heusinger-
Steuerung mit
unendlich langer Treib- und Schwingenstange

Fläche 1 = Einfluß der Kreuzkopfbewegung
Fläche 2 = Einfluß der Bewegung der Schwingenkurbel

Die in den Flächen 1 und 2 dargestellten Einflüsse addieren sich zur Aus-
weichung des Schiebers aus der Mittellage (= 1/2 Schieberhub).

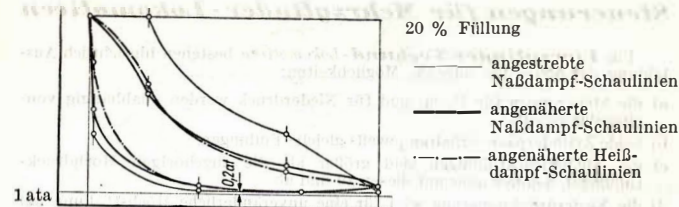
Größter Einfluß der Kreuzkopfbewegung = Schieberausweichung aus
der Mittelstellung bei Nullfüllung

$$X = R \frac{n}{m + n} \quad \text{Vergl.}$$

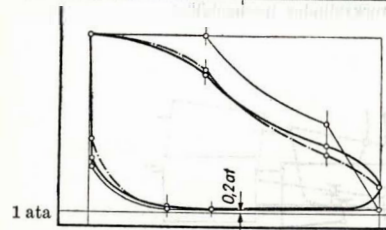
Größter Einfluß der Bewegung der Schwingenkurbel $Y = r \frac{u}{c} \frac{m}{m + n}$ Bild

Größte Schieberausweichung aus Mittellage $r_{sch,max} = \sqrt{X^2 + Y^2}$ 135.

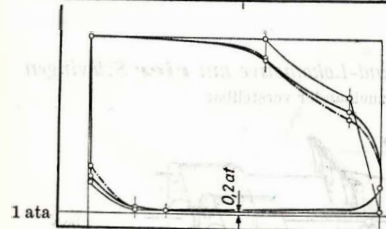
Bezeichnungen:
Siehe Bild 135.



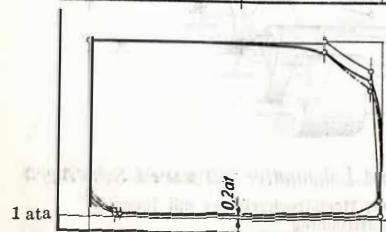
20 % Füllung



40 % Füllung



60 % Füllung



80 % Füllung

Bild 138/141

Angenäherte
Dampfdruck-Schaulinien
für einfache Dampfdehnung

Voraussetzungen: 13 atü Kessel-
druck; 1 atü Spannungsabfall
zwischen Regler und Schieber-
kasten; i : e : v = 3 : 50 : 7
v_m = 300 m/sec (entspr. S. 204).

Beispiele von Steuerungen für Mehrzylinder-Lokomotiven

Für **Vierzylinder-Verbund-Lokomotiven** bestehen hinsichtlich Ausbildung der Steuerung folgende Möglichkeiten:

- a) die Steuerungen für Hoch- und für Niederdruck werden unabhängig voneinander betätigt
- b) beide Zylinderpaare erhalten jeweils gleiche Füllungen
- c) die Niederdruckfüllungen sind größer als die zugehörigen Hochdruckfüllungen, nehmen aber mit diesen zu und ab
- d) die Niederdrucksteuerung wird für eine unveränderliche Höchstfüllung bei wechselnder Füllung der Hochdruckzylinder durchgebildet.

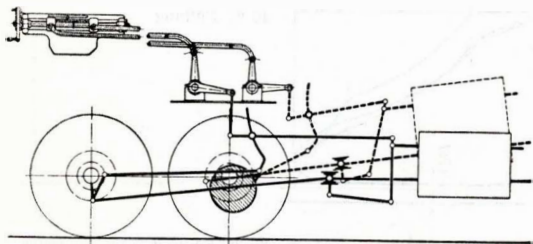


Bild 142. *Vierzylinder-Verbund-Lokomotive mit vier Schwingen*
Hoch- und Niederdruck-Füllungen zueinander verstellbar

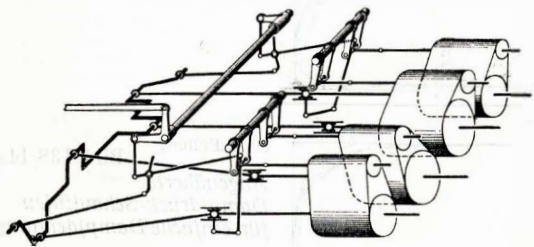


Bild 143. *Vierzylinder-Verbund-Lokomotive mit zwei Schwingen*
Gleiche Füllungen für alle Zylinder, Hochdruckzylinder mit innerer, Niederdruckzylinder mit äußerer Einströmung

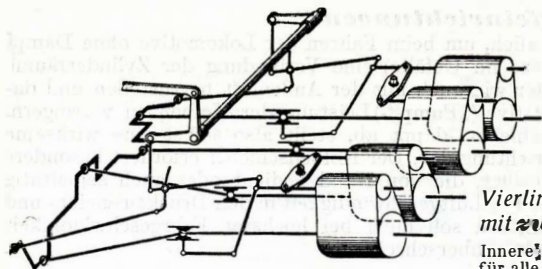


Bild 144

**Vierlinglokomotive
mit zwei Schwingen**
Innere Einströmung
für alle Zylinder.

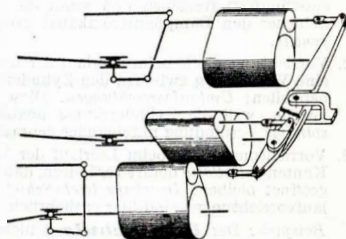


Bild 145

Drilling-Lokomotive mit Gresley-Steuerung

Zwei Schwingen, abgeleitete Bewegung des mittleren Schiebers.

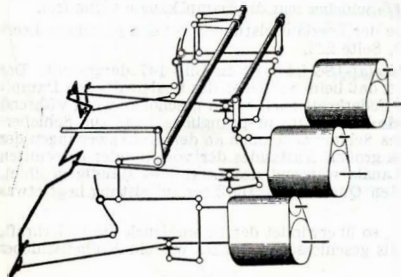


Bild 146

Drilling- Lokomotive mit **drei** Schwingen

Sonderfall:
Zwei Schwingen auf
einer Seite.

Bei **Drilling-Lokomotiven** wird vielfach die Bewegung des mittleren Schiebers von denjenigen der beiden äußeren Schieber abgeleitet. Hierbei können sich Ungenauigkeiten in den äußeren Steuerungen zu fühlbaren Fehlern in der Bewegung des inneren Schiebers verdichten. Dieser Nachteil entfällt, wenn auch für den mittleren Schieber ein besonderer Steuerungsantrieb vorgesehen wird.

Leerlaufeinrichtungen

sind erforderlich, um beim Fahren der Lokomotive ohne Dampf (beispielsweise im Gefälle) eine Verbindung der Zylinderräume untereinander wie auch mit der Außenluft herzustellen und damit die negative („Pump“-) Leistung der Kolben zu verringern. Der Flachschieber klappt ab, stellt also selbst eine wirksame Leerlaufeinrichtung dar. Der Kolbenschieber erfordert besondere Druckausgleicher, die von Hand bedient oder auch selbsttätig sein können. Die Luftgeschwindigkeit in den Druckausgleich- und Luftsaugeventilen soll auch bei höchster Fahrgeschwindigkeit 300 m/sec nicht überschreiten.

Von Bedeutung sind:

1. Vorrichtungen, die beim Leerlauf der Lokomotive eine Öffnung im Dampfeinströmröhr freigeben und somit die Pumparbeit verringern, solange der Schieber den Dampfeinströmröhr ganz oder teilweise freilegt: *Luftsaugeventile*.
2. Vorrichtungen, die beim Leerlauf der Lokomotive selbsttätig oder von Hand eine Verbindung zwischen den Zylinderräumen vor und hinter dem Kolben herstellen: *Umlaufvorrichtungen*. Diese sind wirksamer als die Luftsaugeventile, weil die Zylinderräume unabhängig von der Schieberstellung in ständige Verbindung miteinander gebracht werden können.
3. Vorrichtungen, die beim Leerlauf der Lokomotive die Lage der steuernden Kanten selbsttätig derart verändern, daß die Dampfkanäle ganz oder teilweise geöffnet bleiben: *Druckausgleich-Schieber*. Zusätzliche Luftsauge- und Umlaufvorrichtungen sind hier entbehrlich.

Beispiele: Der **Karl Schulz**-Schieber wie auch der **Müller**-Schieber geben eine mit dem Schieberhub veränderliche Weite der Dampfkanäle frei. Der **Trofimoff**-Schieber legt die Dampfkanäle völlig frei.

Einen Anhalt für die Größe der Leerlaufleistungen bei den einzelnen Leerlaufeinrichtungen gibt Bild 150, Seite 223.

Der **Karl Schulz**-(Nicolai)-Schieber ist in Bild 147 dargestellt. Der Schieberkörper ist derart geteilt, daß beim Schließen des Reglers die den Dampf eintritt steuernde Kante durch Federkraft nach innen geschoben wird, während die den Dampfaustritt steuernde Kante ihre ursprüngliche Lage zur Schieberstange beibehält. Beide Teile des Schiebers nehmen an den Hubbewegungen der Schieberstange teil. Infolge des großen Abstandes der voneinander getrennten Schieberteile sind die Dampfkanäle während des Leerlaufes ständig geöffnet, wenn auch nicht mit ihrem vollen Querschnitt. Die Leerlaufleistung liegt etwas höher als bei Trofimoff.

Wird Frischdampf gegeben, so überwindet der Dampfdruck die Federkraft, und die Schieberteile wirken als geschlossenes Ganzes wie ein Kolbenschieber üblicher Bauart.

Der **Müller**-Schieber (Bild 148) ist insofern eine Fortentwicklung der Bauart Nicolai, als der Schieberkörper nicht am Umfang, sondern im Fuß geteilt ist. Die steuernden Kanten am gleichen Schieberkörper verändern somit ihre Lage zueinander nicht. Der Müller-Schieber wird neuerdings ohne Öffnungsfedern ausgeführt.

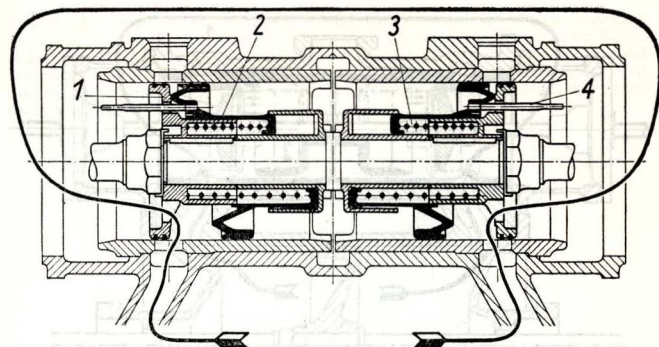


Bild 147

Druckausgleich-Kolbenschieber Bauart **Karl Schulz** (Nicolai)

- | | |
|------------------------------------|-------------------|
| 1 = fester Teil des Schiebers | 3 = Feder |
| 2 = beweglicher Teil des Schiebers | 4 = Führungsstift |

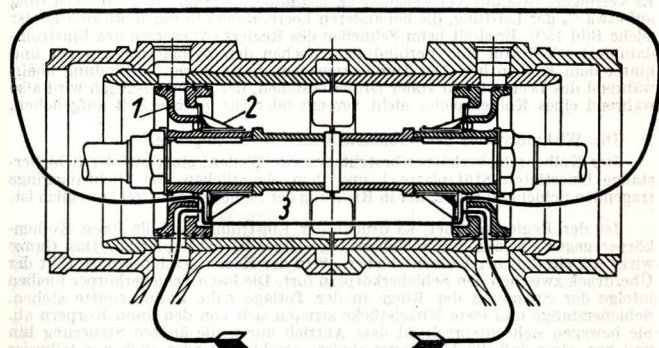


Bild 148. Druckausgleich-Kolbenschieber Bauart **Müller**

- | | | |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------|
| 1 = fester Teil des Schiebers | 2 = beweglicher Teil des Schiebers | 3 = Anschlag |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------|

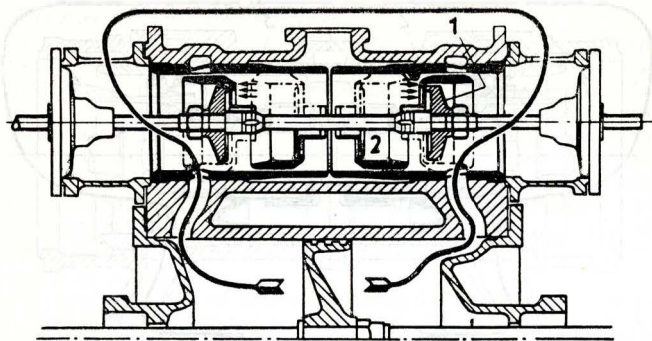


Bild 149. Druckausgleich-Kolbenschieber Bauart **Trofimoff**

1 Stützplatte 2 Schieberkörper

Der **Trofimoff-Schieber** ermöglicht einen idealen Leerlauf der Lokomotive. Er verringert (wie auf Versuchsfahrten festgestellt wurde) die Leerlaufleistung auf etwa $\frac{1}{4}$ der Leistung, die bei anderen Leerlaufeinrichtungen erforderlich ist (siehe Bild 150). Er stellt beim Schließen des Reglers (Absperren des Einströmdampfes) selbsttätig eine Verbindung zwischen den Zylinderräumen vor und hinter dem Kolben her. Der Durchgangsquerschnitt dieser Verbindung bleibt während des Leerlaufes in voller Größe bestehen, der Druckausgleich wird also während eines Kolbenspieles nicht verengt oder für gewisse Zeit aufgehoben.

Die Wirkungsweise des Trofimoff-Schiebers ist folgende:

Der Kolbenschieberkörper besteht aus zwei Teilen: einer auf der Schieberstange befestigten Stützplatte 1 und dem eigentlichen, die Dichtungsringe tragenden Schieberkörper 2, der in Richtung der Schieberachse frei beweglich ist.

Ist der Regler geöffnet, so drückt der Einströmdampf die losen Kolbenkörper gegen die auf der Schieberstange sitzenden Stützplatten. Das Ganze wirkt wie ein üblicher Kolbenschieber. Wird der Regler geschlossen, so fällt der Überdruck zwischen den Schieberkörpern fort. Die losen Schieberkörper bleiben infolge der Spannung der Ringe in der Totlage nahe Zylindermitte stehen. Schieberstange und feste Mittelstücke streifen sich von den losen Körpern ab. Sie bewegen sich entsprechend dem Antrieb durch die äußere Steuerung hin und her, ohne daß die Kanalquerschnitte geschlossen oder auch nur teilweise überdeckt werden. Es ist ein *vollkommener* Druckausgleich vorhanden. Damit die losen Schieberkörper sich beim Wiedereinströmen des Dampfes ohne Schlag sanft auf die Stützplatten aufsetzen, ist dafür gesorgt, daß sich kurz vor dem Aufschlagen ein Puffer aus Dampf-Luft-Gemisch bildet; der Überdruck im

Pufferraum zwischen Schieberkörper und Stützplatte wird durch zweckentsprechend angeordnete Nuten nach und nach wieder ausgeglichen. Der Raumbedarf des Trofimoff-Schiebers ist äußerst gering. Bei Leerlauf mit Trofimoff-Schiebern ist die Steuerung entgegen der sonst üblichen Gepflogenheit auf Nullfüllung zu stellen. Diese Maßnahme trägt wesentlich zum Schonen der Steuerungsteile bei.

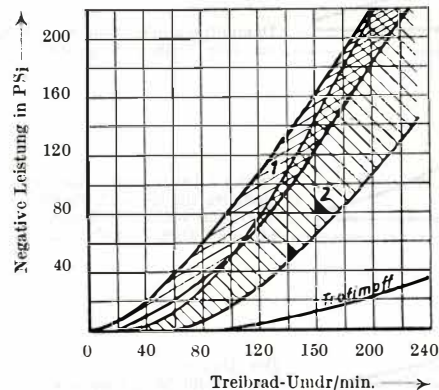


Bild 150. Ergebnisse von Versuchen mit Leerlauf-Einrichtungen

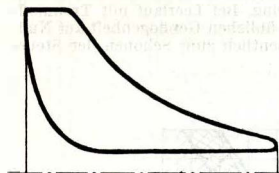
Nach russischen Quellen

Fläche 1 = Luftaugeventile, Fläche 2 = Umlaufvorrichtungen

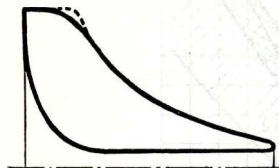
Unter **limited cut-off** versteht man die Beschränkung des größten Schieberhubes auf einen verhältnismäßig kleinen Füllungsgrad (etwa 50%), ohne daß die Vorteile hoher Füllungen aufgegeben werden müßten. Die Schieberbuchse weist außer den eigentlichen Kanalöffnungen einen schmalen Dampfeinströmschlitz auf, der bei Mittelstellung des Schiebers um etwa 6 mm überdeckt wird. Beim Anfahren genügt der Querschnitt dieses Schlitzes, um den Zylinderraum so mit Dampf aufzufüllen, als wenn die Höchstfüllung nicht 50, sondern etwa 90% betrüge. Je schneller sich der Schieber bewegt, um so weniger Zeit steht dem Dampf zum Durchströmen durch den Schlitz zur Verfügung. Bei höheren Fahrgeschwindigkeiten kann nur eine geringfügige Menge Zusatzdampf durch den Schlitz gelangen. Der limited cut-off ist offensichtlich in dem Bestreben entstanden, dem Führer die Möglichkeit zu nehmen, bei Drosselung des Dampfes mit höchsten Füllungen zu fahren.

Fehler und Unregelmäßigkeiten in den Dampfdruck-Schaubildern

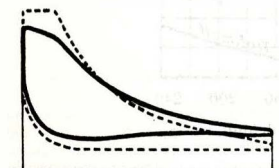
Bild 151 bis 170



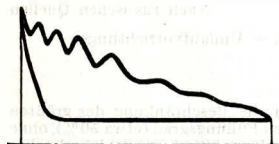
Dampfdruck-Schaubild einwandfrei (nur bei sehr kleinen Drehzahlen möglich!).



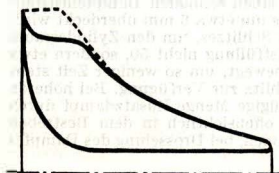
Starke Drosselung des eintretenden Dampfes infolge schleichender Schieberbewegung bei hoher Dampfgeschwindigkeit (normales Schaubild!).



Der Dampf wird beim Ein- wie beim Austritt infolge zu geringer Eröffnungsquerschnitte im Schieberspiegel stark gedrosselt.

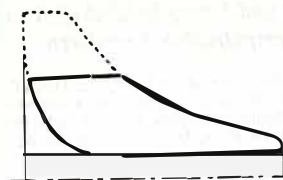


Massenschwingungen der bewegten Indikatorteile bei hohen Drehzahlen (also kein Maschinenfehler!)

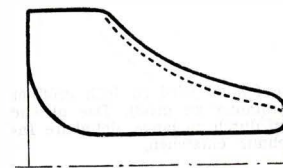


Zu enge Rohrleitung bei zu hoher Verdichtung oder zu geringes Voröffnen oder Massenwirkung der Indikatorteile bei zu geringer Verdichtung.

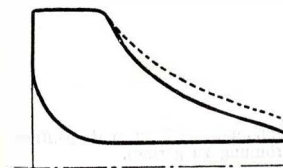
Fehler und Unregelmäßigkeiten in den Dampfdruck-Schaubildern



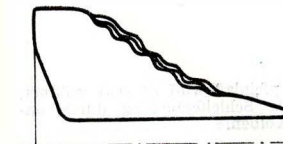
Drosselung durch den nicht vollständig geöffneten Indikatorhahn.



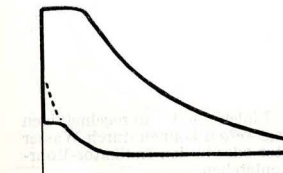
Das Dampf-Einlaßorgan ist undicht. Nachströmen frischen Dampfes nach Füllungsabschluß.



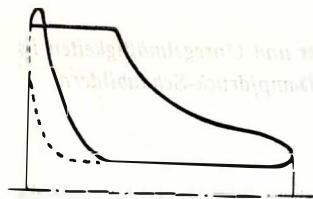
Es ist entweder der Kolben oder das Dampf-Auslaßorgan undicht.



Wellenlinien in größerer Anzahl von gleicher Schwingungsweite sind das Kennzeichen eines guten, empfindlichen Indikators. Gegebenenfalls etwas stärkere Federn nehmen.

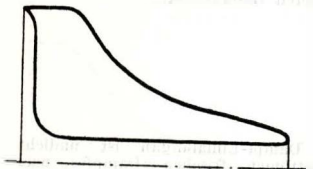


Vorhandensein von Wasser im Zylinder oder Undichtigkeit des Kolbens vor dem Totpunkt.

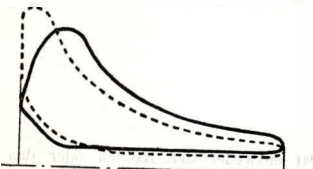


Fehler und Unregelmäßigkeiten in den Dampfdruck-Schaubildern

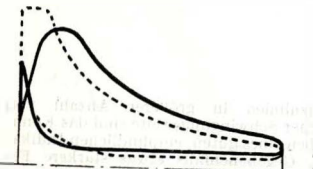
Die Verdichtung ist zu hoch, der Dampfauslaß wird zu früh geschlossen (schädlicher Raum zu klein oder Ausströmdeckung zu groß, Ölkohleinsatz im Zylinder).



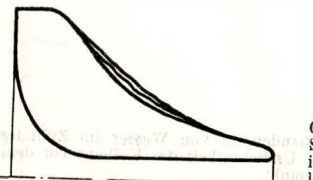
Der Dampfeinlaß wird zu früh geöffnet (Voreinströmung zu groß). Das gleiche Bild kann durch zu lange, dehnbare Indikatorscheur entstehen.



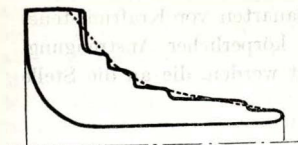
Der Dampfeinlaß wird zu spät geöffnet (Voreinströmung zu gering).



Der Dampfeinlaß wird zu spät geöffnet, gleichzeitig Schleifenbildung durch undichten Kolben.

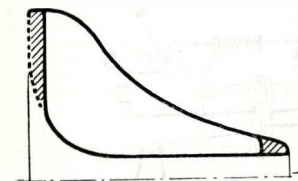


Gewellte Linien mit unregelmäßigen Schwingungsweiten können durch Wasser im Indikator oder in den Indikator-Rohrleitungen entstehen.

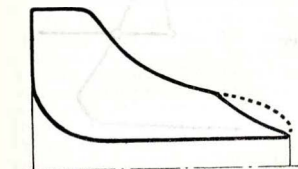


Fehler und Unregelmäßigkeiten in den Dampfdruck-Schaubildern

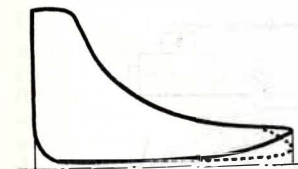
Der Indikator Kolben hat zu große Reibung, oder es befindet sich Wasser in den Indikator-Rohrleitungen. Abhilfe: Indikator-Kolben nachschleifen.



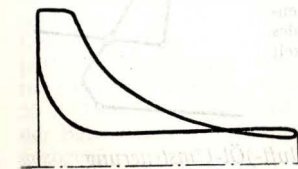
Die Indikator trommel stößt auf der einen oder der anderen Seite infolge zu langer bzw. zu kurzer Schnur an.



Der Dampfauslaß wird zu früh geöffnet (Vorausströmung zu groß).



Der Dampfauslaß wird zu spät geöffnet (Vorausströmung zu gering).



Die Füllung ist zu klein, die Maschine selbst also zu groß für die vorhandene Belastung. Bei Hochdruckzylindern von Verbundmaschinen das Kennzeichen zu hohen Verbinderdruckes, hervorgerufen durch zu kleine Füllung im Niederdruckzylinder.

Die **Henschel-Dampf-Öl-Umsteuerung** erspart Zeit und entlastet — gleich anderen Bauarten von Kraftumsteuerungen — den Lokomotivführer von körperlicher Anstrengung. Sie kann auch mit Druckluft betätigt werden, die an die Stelle des Dampfes tritt.

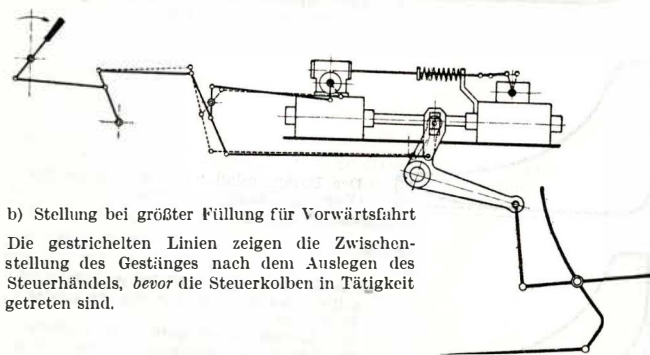
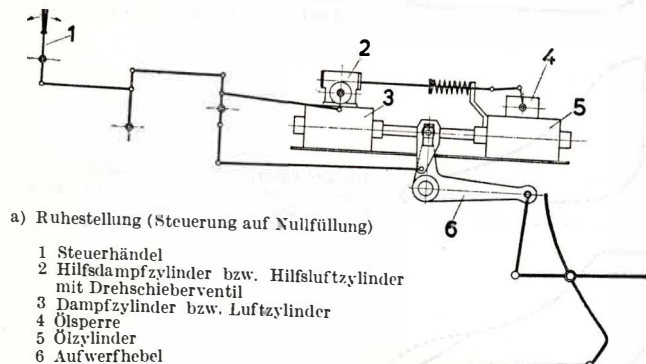


Bild 171. Henschel-Dampf-(bzw. Druckluft-)Öl-Umsteuerung

Die Steuerbewegung erfolgt durch Händel (oder durch Steuer-schraube). Das Händel wird auf die gewünschte Füllung eingestellt. Damit ist der Steuervorgang für den Lokomotivführer abgeschlossen. Ein Zurücklegen des Händels in die neutrale Mittelstellung ist nicht mehr erforderlich, *der Apparat unterbricht vielmehr den Steuervorgang selbsttätig*, sobald der Steuerungsmechanismus die gewünschte Stellung erreicht hat.

Hierin liegt der wesentliche Vorzug der Henschel-Umsteuerung gegenüber anderen Systemen, bei denen durch Unterbrechen des Ölumlaufes und der Dampfzufuhr von Hand die Steuerung in der eingestellten Stellung blockiert wird. Versäumt der Führer aus irgendeinem Grunde den richtigen Augenblick zum Unterbrechen des Steuerungsvorganges, so schlägt die Steuerung — besonders beim Übergang von längeren zu kürzeren Füllungen — erfahrungsgemäß bisweilen bis in die entgegengesetzte Fahrtrichtung zurück. Stöße im Zuge und verschieblich auch Zugtrennungen sind die Folge.

Im Gegensatz hierzu arbeitet die Henschel-Umsteuerung vollautomatisch. Ihre wesentlichen Merkmale sind der schwingend aufgehängte Rückführhebel und das Drehschieberventil, das unmittelbar den Dampfzufuß zum Dampfzylinder steuert und mittelbar über einen Dampfkolben das Überström-Ventil des Ölzyinders öffnet oder schließt.

Die Verriegelung der Steuerung erfolgt durch Öldruck. Ein „Kriechen“ der Steuerung nach erfolgter Einstellung kann bei dieser Kraft-Umsteuerung nicht stattfinden, weil — selbst bei Undichtigkeit in der Ölsperr — die selbständige Rückführung stets die eingestellte Lage aufrechterhält. Der Dampfzylinder wird mit dem Erreichen der gewünschten Einstellung der Steuerung drucklos, es wird also nur während des eigentlichen Stellvorganges Dampf verbraucht. Dieser Vorteil der Henschel-Umsteuerung besteht gegenüber allen *nur* auf dem Prinzip der Gestängerrückführung beruhenden Steuerungen, mögen diese nun mit Dampf oder mit Luft betätigt werden.

Der Booster

ist eine sich selbsttätig ein- und ausschaltende Hilfsmaschine für den Antrieb von Lokomotivlauf- oder Tenderachsen. Er ist für das Anfahren von schweren Lokomotiven mit knapp bemessenen Zylindern (siehe S. 61) eine Notwendigkeit, ermöglicht hohe Anfahrbeschleunigung, Erhöhung der Schlepplast und die Verstärkung älterer Lokomotiven mit zu geringer Zugkraft. Diesen Vorzügen steht der Nachteil unwirtschaftlichen Arbeitens gegenüber. Der Dampfverbrauch schwankt entsprechend einer Geschwindigkeit von 3÷20 km/h zwischen etwa 24,5 und 14,4 kg je PS_e Boosterleistung. Der Booster schaltet sich nach Überschreitung der Reibungsgeschwindigkeit, d. h. je nach Bauart bei etwa 25÷55 km/h aus und wird erfahrungsgemäß während etwa $\frac{1}{10}$ der Betriebszeit der Hauptmaschinen zur Arbeitsleistung herangezogen.

Der **Schmierölverbrauch** kann (je nach der Größe der Lokomotive) angenommen werden zu etwa $4\div 16$ kg auf 1000 km, der Zylinderölverbrauch zu etwa $2\div 4$ kg auf 1000 km.

Die Gegendruckbremse

wird zur Entlastung der Luftbremse auf langen Gefällstrecken angewendet; ferner hat sie für Lokomotivmeßfahrten zum Erzeugen und Regulieren des „Zugwiderstandes“ der Bremslokomotive Eingang gefunden.

Die Steuerung wird *gegen* die Fahrtrichtung ausgelegt, so daß die Dampfzylinder als Kompressoren wirken.

Die größte Bremswirkung der Gegendruckbremse ist durch die Reibung zwischen Rad und Schiene begrenzt. Vorsichtshalber wird man — um ein Gleiten der Räder (das aber erfahrungsgemäß ohne Zutun des Lokomotivführers schnell wieder verschwindet) auch bei ungünstiger Witterung auszuschließen — mit einer Reibungsziffer von etwa $\frac{1}{4}$ rechnen.

Bei normaler (Tal-)Fahrt soll der Schieberkastendruck nicht über 6 atü ansteigen. Das abzubremsende Zuggewicht ist dementsprechend zu bemessen.

Le Chatelier arbeitet mit Gegendampf, er führt den Zylindern ein Gemisch von Wasser und Luft zu.

Riggenbach saugt Luft durch die Ausströmröhre in die Zylinder und verdichtet sie. Lediglich zum Schmieren benötigt er einen geringen Zusatz von Dampf und heißem Wasser. Die Bremswirkung wird durch ein Ventil vom Führerstand aus geregelt. Der Überschuß an Luft durchströmt einen Schalldämpfer, der vielfach in den Schornsteinmantel verlegt ist. Die Deutsche Bundesbahn verwendet Riggenbach-Bremsen auf Gefällstrecken bis herab zu 100 ‰. Vergl. das Bremsschema auf S. 397.

Über eine „selbstwirkende“ Gegendruckbremse siehe Ewald in Glasers Annalen 1950, Seite 197 und 222.

Für *kleine* Bremskräfte ist die Gegendruckbremse nicht geeignet, da Schieberkastendrucke von weniger als $2\div 3$ atü infolge der Drosselung der verdichteten Luft nicht erzielt werden können.

Elektrische Lokomotiv-Beleuchtung

(Einheits-Bauart der Deutschen Bundesbahn)

Vorzüge:

Gleichmäßige, gut verteilte Lichtquellen
Zuverlässigkeit
Stete Betriebsbereitschaft
Einfache und saubere Bedienung
Größte Wirtschaftlichkeit

Die Streckenlaternen erhalten Glühlampen von $25\div 100$ Watt, die anderen Laternen solche von $10\div 25$ Watt.

Kopflicht-Scheinwerfer erhalten 200-Watt-Glühlampen und erhellen die Strecke bis auf etwa 200 m Entfernung. Sie sind in Deutschland weniger gebräuchlich.

Für *größere Lokomotiven* benötigt man im allgemeinen:

- 2 vordere Streckenlaternen
- 2 hintere Streckenlaternen
- 1 oder 2 Signallaternen
- 1 Führerhaus-Deckenlampe
- 1 oder 2 Wasserstandslampen
- 1 Druckmesserlampe (falls der Druckmesser nicht durch den Schlitz der Führerhaus-Deckenlampe beleuchtet wird)
- 1 Ölerlampe
- 2 bis 4 Triebwerkslampen
- 10 Steckdosen für den Anschluß
- 1 Handlampe

Die Streckenlaternen sind umsteckbar und derart geschaltet, daß die vorderen Laternen allein oder die hinteren Laternen allein oder die vorderen und hinteren Laternen zusammen brennen können.

Die Lichtmaschinen werden für Spannungen von 25 und 32 Volt ausgeführt.

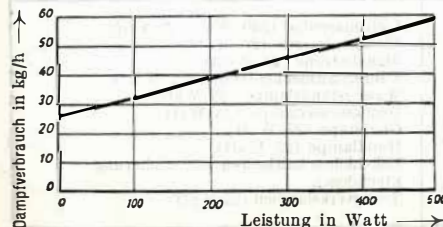


Bild 172

Dampfverbrauch der
500 W-Lichtmaschine
(Turbogenerator)
bei 12 atü

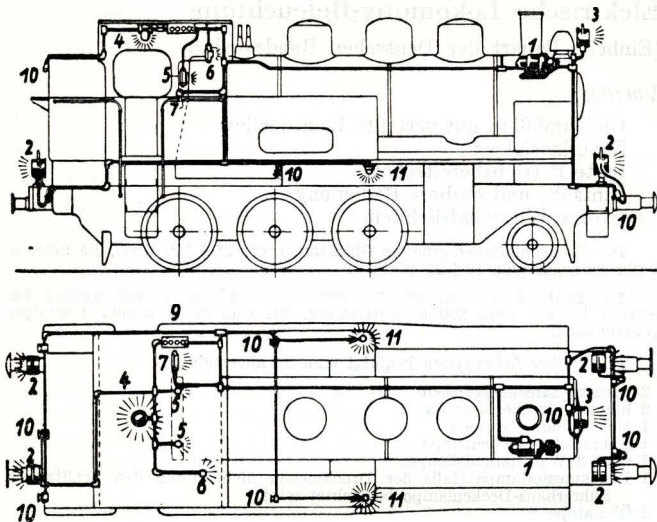


Bild 173. Elektrische Beleuchtungsanlage für eine Tenderlokomotive

Nr.	Stückzahl für eine Tenderlokomotive	Benennung
1	1	Lichtmaschine (500 Watt, 25 Volt)
2	4	Streckenlaternen (25 Watt)
3	1	Signallaterne (25 Watt)
4	1	Führerhausdeckenlampe (25 Watt)
5	2	Wasserstands Lampe (25 Watt)
6	1	Druckmesserlampe (25 Watt)
7	1	Ölerlampe (25 Watt)
8	1	Handlampe (25 Watt)
9	1	Lok-Lichtschaltkasten mit Sicherung
10	10	Steckdosen
11	2	Triebwerks Lampen (25 Watt)

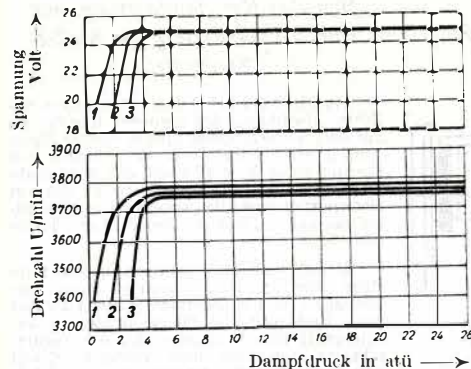


Bild 174. Kennlinien der Lichtmaschine

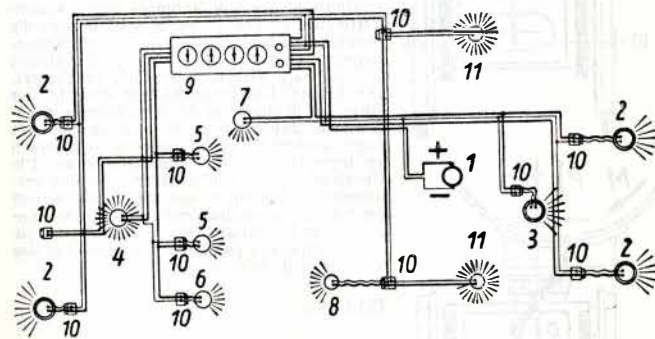


Bild 175. Schaltbeispiel

Bezeichnungen wie auf Seite 232

— Plus-Leitung
- - - Minus-Leitung

Sonderbauarten von Dampf-Fahrzeugen Lokomotiven mit Ölfeuerung

Ölfeuerung kommt in Betracht, wenn Petroleumrückstände oder Teeröl preisgünstig zu haben sind. Bei ihr wird im wesentlichen flüssiger Brennstoff, durch Dampf fein zerstäubt, in den heißen Feuerraum geblasen und gelangt dort zur Entzündung.

Die Lokomotive erhält einen Ölbehälter, von dem aus das durch eine Heizschlange vorgewärmte bzw. dünnflüssig gemachte Öl zugeführt wird. Der Zerstäuber sorgt für feinste Verteilung des Brennstoffs. Das Öl wird mittels Dampf in den Feuerraum geblasen.

Der Ölbrenner zerstäubt den Brennstoff und bläst ihn in den Verbrennungsraum ein. Die Verbrennungsluft wird aus dem Feuerkasten („Asch“-Kasten) angesaugt, bei einigen Brennertypen dem Öl-Dampf-Gemisch bereits an der Brennermündung mittels Luftdüse zugesetzt.

Die *Bedienung* der Ölfeuerung besteht nur in der Einstellung der Ölförderung, der Dampfführung und der Vorwärmung des Öles durch einige Ventile, ist also wesentlich einfacher als die der Kohlenfeuerung. Insbesondere entfällt jede körperliche Arbeit. Die Regelung der Brennleistung kann sich den Erfordernissen der Dampferzeugung fast unbegrenzt anpassen: die Lokomotive läßt sich in dringenden Fällen innerhalb weniger Minuten auf ihre volle Verdampfungsleistung bringen, und man kann unmittelbar nach Erreichung des oberen Brechpunktes einer Steigung durch Verringerung der Ölzufuhr mit sparsamstem Brennstoffverbrauch das anschließende Gefälle befahren.

Die *Schamotteauskleidung* des Feuerkastens und der unteren Teile der Feuerbüchse schützt die unmittelbar vom Feuerstrahl getroffenen Wandungen und dient ferner dazu, die Zündtemperatur für das Brennöl — welches fein zerstäubt mit dem Dampfstrahl auf die glühende Fläche auftrifft — bei intermittierendem Betrieb aufrecht zu erhalten. Durch entsprechende Regelung der Öl- und Dampfführung wird eine fast rauchfreie Verbrennung erreicht.

Zum *Anheizen des kalten Kessels* muß in der Brennkammer ein kleines Holzfeuer unterhalten werden, an dem sich der Ölstrahl entzündet, sobald etwa $1\frac{1}{2}$ atü Kesseldruck erreicht sind. Kann das Öl fein zerstäubt mittels Prelluft oder Fremddampf eingeblasen werden, so ist sofortige Zündung mit Lunte möglich.

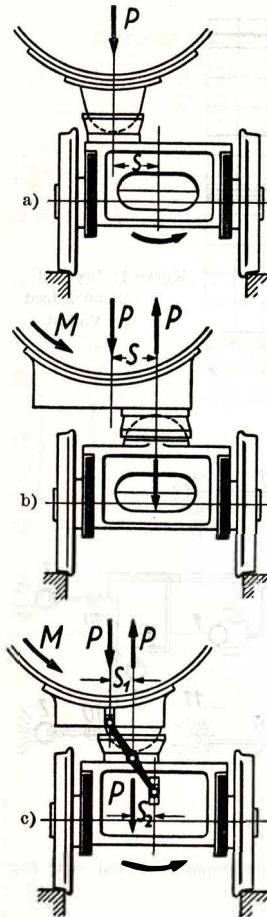
An die *Güte des Brennstoffes* stellt die Ölfeuerung keine hohen Ansprüche. Stark teerhaltige Brennstoffe machen eine regelmäßige Reinigung der Brennerdüsen erforderlich. Sehr dickflüssige Brennstoffe werden vor dem Zerstäuben durch die auf der Lokomotive eingebaute Ölvorwärmanlage erwärmt und damit in einen dünnflüssigen Zustand überführt.

Henschel-Kesselauflagerung und Rückstellvorrichtung für Mallet- Treibgestelle

An Stelle der bei Mallet-Lokomotiven üblichen Abstützung des vorderen Kessellendes auf dem Vorderrahmen mittels ebener Gleitflächen wurde eine *Dreipunkt-Stützung* mit allseitig freier Beweglichkeit des Vorderrahmens ausgebildet: Der Kessel stützt sich mit einer mittleren, seitlich verschiebbaren Kugelauflage auf den Rahmen des vorderen Treibgestells.

Kessel und Vorderrahmen haben feste ebene Gleitauflagen, zwischen denen eine Halbkugel samt Kugelpfanne gleitend geführt wird. Halbkugel und Pfanne werden in Abhängigkeit vom Seitenausschlag des Vorderrahmens gegenüber dem vorderen Kessel mittels zweier Hebel zwangsläufig so geführt, daß der Stützpunkt immer zwischen den beiden Mittelebenen von Kessel und Vorderrahmen liegt und deren Abstand annähernd halbiert wird ($s_1 = s_2$). Bei gleich großem Seitenausschlag s von Rahmen- gegen Kesselmitte (wie in den Fällen a u. b) werden die störenden Momente, die sowohl auf Hinterahmen ($M_1 = P \cdot s_1$) wie Vorderrahmen ($M_2 = P \cdot s_2$) wirken, wesentlich verkleinert. Die beiden Übertragungshebel sind in der Mitte auf je einem an der Kugelpfanne angegossenen Zapfen gelagert und greifen mit kugelförmigen bzw. prismatischen Gleitsteinen an Kesselstütze und Rahmenstrebe an. Die Hebelverhältnisse sind entsprechend den verschiedenen Abständen der beiden Hebel von der Schwenkachse des Vordergestells untereinander verschieden und so ausgemittelt, daß sie die Kugelpfanne parallel zur Längsachse des Vordergestells führen.

Bild 176



a) und b)

Übliche Anordnungen: Ungünstiger exzentrischer Angriff der Last P des Kessels bei Bogenfahrt

c) Neue Anordnung: Günstiger Angriff der Last P bei Bogenfahrt

Als *Ölbrenner* kommen in Betracht

Flachbrenner insbes. für ungereinigte Öle und dickflüssige braune Öle (sogenannte Rückstände)

und *Düsenbrenner* mit verstellbarer Dampfduße, insbes. für klare, dünnflüssige Öle. (vorzugsw. in Gestalt des Rundbrenners).

Die *Luftzufuhr* wird durch Klappen an der Brennkammer geregelt.

Eine gute *Mischung des Öldampfes mit der Verbrennungsluft* wird durch langen Flammenweg und Umlenken der Flamme erreicht. Es ist daher vorteilhaft, den Brenner an der Rückwand der Brennkammer anzuordnen und zum Schutz der Feuerbuchrohrwand eine Feuerbrücke vorzusehen. Neuerdings hat sich die Praxis eingebürgert, den Brenner an bzw. unterhalb der Stehkessel-Vorderwand einzubauen. Feuergewölbe in diesem Fall entbehrlieh.

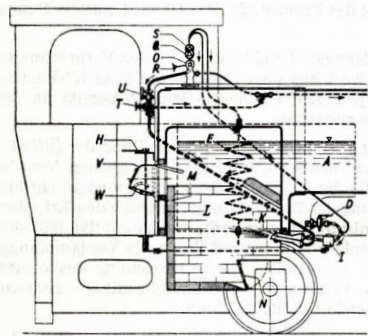


Bild 177

Anordnung der Öl-
Feuerung an einer kleinen
Tenderlokomotive

Bezeichnungen
wie unter Bild 178

Anordnung der Öl-Feuerung (siehe nebenstehendes Bild 178)

Am vorderen Ende des Ölbehälters ist ein Siebkorb C angeordnet, in dem das Ölabsperrentil D und eine Heizschlange E untergebracht sind. Das Öl tritt durch das Absperrventil in eine Rohrleitung ein, die über eine Schlauchverbindung F zwischen Lokomotive und Tender zum eigentlichen, unter dem Feuerkasten angeordneten Ölvorwärmer G führt. Von hier gelangt es über einen vom Führerstand durch Feineinstellung H regelbaren Durchgangshahn J zum Brenner K. Dieser besteht aus einem Rotgußgehäuse, das in eine Öl- und eine Dampfkammer unterteilt ist. In die Dampfkammer tritt gedrosselter Frischdampf ein, der anschließend durch einen engen Spalt ausströmt und das ausfließende Öl mitreißt und zerstäubt.

Der Feuerkasten L ist mit Schamottesteinen ausgemauert.

Die Luftzufuhr wird vom Führerstand aus durch Klappen N am Feuerkasten geregelt. An der Stehkesselrückwand ist ein Dampfentnahmestutzen O mit den Dampfventilen für die Dampfleitung zu den Ölvorwärmern und zum

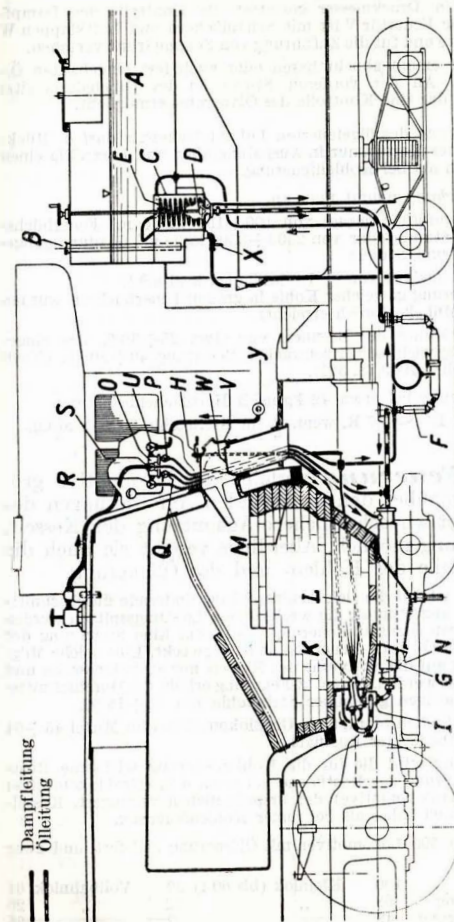


Bild 178

Anordnung der Öl-Feuerung

A Ölbehälter; B Ölstandsanzeiger; C Siebkorb; D Ölabsperrentil; E Heizschlange im Ölbehälter; F Gelenkige Rohrverbindung; G Ölvorwärmer; H Gesteige zum Drehschieber J; J Drehschieber zum Ölbehälter; K Ölbehälter; L Ausgemauert Feuerkasten; M Schamotteauskleidung; N Luftklappen am Feuerkasten; O Dampfventil zur Stutzen; P Dampfventil zur Heizschlange E; Q Dampfventil zum Ölvorwärmer G; R Dampfventil zum Brenner K; S Dampfventil zum Ausblasen der Ölleitung und des Brenners; T Dampfventil zum Hilfsbläser; U Ventil zur Fremddampfleitung; V Feuertür mit Schaufelraum und Luftklappe W; W Luftklappe an der Feuertür V; X Absperrhahn am Ölbehälter A; Y Fremddampfanschluss zum Anheizen

Brenner angeordnet. Ein Druckmesser gestattet die Kontrolle des Dampfdruckes im Brenner. Die Feuertür ist mit Schaulöchern und Luftklappen zur Einführung der Lunte und für die Zuführung von Sekundärluft versehen.

Der Tender ist mit einem abnehmbaren oder auch fest eingebauten Ölbehälter A ausgerüstet. An der vorderen Stirnwand des Ölbehälters sitzt der Ölstandsanzeiger B, der eine Kontrolle des Ölstandes ermöglicht.

Die spezifische Leistung des ölgefeuerten Lokomotivkessels darf in Rücksicht auf die Schonung des Kessels nur in Ausnahmefällen und kurzzeitig einen höheren Wert annehmen als bei Kohlenfeuerung.

Für Dauerbeanspruchung nimmt man an

eine größte verbrannte Ölmenge von 100–150 kg je m³ Feuerbüchsen-Inhalt und Stunde oder von 2500–3500 kg je m² Gasdurchgangsguerschnitt und Stunde

eine Feuerraumbelastung von ≤ 1,8 Millionen kcal/m²·h (bei Verfeuerung gasreicher Kohle in großen Feuerbüchsen wurden bis zu 2,2 Mill. kcal/m²·h erreicht)

einen Dampfverbrauch des Brenners von etwa 25–30 % des eingespritzten Ölgewichtes, bei schwacher Belastung 40–50 %. (Nach Meineke-Röhrs 1949, S. 321).

Rauchfreie Verbrennung bei etwa 42 kg/m²·h Heizflächenbelastung.

„Ideelle“ Rostfläche $R' \sim 0,7 R$, wenn R für Steinkohle 7000 kcal/kg.

Ölzusatz-Feuerung verleiht der Lokomotive größere Elastizität gegenüber den wechselnden Anforderungen des Betriebes und ergibt wirtschaftlichere Ausnutzung des Kessels, als bei Kohlenfeuerung möglich. Allerdings vereint sie auch die betrieblichen Nachteile der Kohlen- und der Ölfeuerung.

Die Kohlenfeuerung ist auf die sich weniger häufig ändernde durchschnittliche Lokomotivleistung abgestimmt, die wechselnden Leistungsspitzen werden von der anpassungsfähigen Ölzusatz-Feuerung bestritten. Eine Steigerung der Höchstleistung ist mit der Ölzusatz-Feuerung nicht bezweckt. Eine solche Möglichkeit darf im Hinblick auf die Schonung des Kessels nur ausnahmsweise und vorübergehend ausgenutzt werden. Ölzusatz-Feuerung erhöht die Durchschnittsleistung von Großlokomotiven gegenüber Steinkohle um 10–15 %.

Der stündliche Ölverbrauch beträgt bei Großlokomotiven im Mittel 45–64 Kilogramm je m² kohlenbedeckter Rostfläche.

Bei Ölzusatz-Feuerung wird die für die Kohlenfeuerung wirksame Rostfläche durch die Ausmauerung der Rostfläche um etwa 6 % (Großlokomotive) bis etwa 62 % (80-PS-Baulokomotive) der ursprünglichen verringert. Kesselwirkungsgrad mit 0,7–0,93 höher als bei reiner Kohlenfeuerung.

Henschel hat bisher etwa 500 Lokomotiven mit Ölfeuerung geliefert, und zwar etwa in %:

insgesamt	100	Kleinlok (bis 60 t)	39	Vollbahnlok	61
reine Ölfeuerung	58	„	32	„	26
Ölzusatz-Feuerung	42	„	7	„	35

Lokomotiven mit Brennstaubfeuerung

Die Brennstaubfeuerung ermöglicht die wirtschaftliche Verwertung von festen Brennstoffen, die für Rostfeuerung wenig oder nicht geeignet sind.

Meßergebnisse an der Stug-Feuerung mit Braunkohlenstaub

Stug = Studiengesellschaft für Kohlenstaubfeuerung auf Lokomotiven

Zahlentafel 36

1	Unterer Heizwert des Kohlenstaubes ...	kcal/kg	5330	5198	5197	5235	5198	5579
2	Rückstand auf dem 4900er Maschensieb	%	23,96	17,60	17,18	19,20	17,60	28,32
3	Stündlich verfeuerte Kohlenstaubmenge	kg/h	642	907	1450	1720	2050	1910
4	Feuerraumbelastung	$\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$	5,43·10 ⁵	7,48·10 ⁵	1,20·10 ⁶	1,43·10 ⁶	1,69·10 ⁶	1,69·10 ⁶
5	Stündl. verdampfte Wassermenge	kg/h	4090	5480	8640	10500	11920	12030
6	Speisewassertemperatur	°C	98	94	99	103	96	100
7	Verdampfungs-ziffer, brutto	—	6,37	6,04	5,97	6,10	5,82	6,30
8	Auf 1 m ² Heizfläche stündlich erzeugte Dampfmenge	kg/m ² ·h	21,1	28,3	44,5	54,2	61,5	61,9
9	Kesseldruck in atü	kg/cm ²	14,2	14,0	14,1	14,2	14,2	14,2
10	Mittlere Heißdampf-temperatur	°C	337	344	379	377	392	394
11	Mittlere Abgastemp. i. d. Rauchkammer	°C	290	302	337	339	374	376
12	Rauchgas-Analyse CO ₂	%	13,2	13,0	12,9	14,8	13,8	14,4
13	Rauchgas-Analyse O ₂	%	6,0	6,4	6,4	4,4	5,6	5,0
14	Rauchgas-Analyse CO	%	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1
15	Wirkungsgrad des Kessels aus Brennstoffmenge	%	77,2	76,2	76,7	77,2	75,8	76,0

Der Brennstoff wird in staubförmigem Zustand in den Tenderbunker gebracht; von da fließt er den durch eine Dampfturbine angetriebenen Förderschnecken zu. Die Turbine treibt gleichzeitig die Gebläse, welche einen Teil der Verbrennungsluft in die Förderleitungen drücken. Der Brennstaub wird in den Luftstrom eingeführt, das Staub-Luft-Gemisch durch die Gebläse in den Feuerraum eingeblasen. (Vergl. Bild 321, S. 395.)

Etwa 60 % der gesamten Verbrennungsluft tritt als „Zweitluft“ unmittelbar in den Feuerraum. Ein Stug-Brenner verarbeitet stündlich bis zu 1500 kg Staub.

Heizflächenbelastung bis 80 kg/m² Dampf stündlich.
Feuerraumbelastung bis 3 Millionen kcal/m³h.

Dampflokomotiven mit überdurchschnittlichem Wärmegefälle

Das Wärmegefälle der üblichen Lokomotiven ist gegeben durch den Kesselüberdruck von 12÷20 atü, den Gegendruck 1,1 ata und die Überhitzung von 0 bis etwa 450° C.

Eine Erhöhung des Wärmegefälles nach *oben* — Hochdrucklokomotive — verspricht wärmewirtschaftlichen Gewinn, weil die spezifische Erhöhung des Wärmeeaufwandes zur Erzeugung von 1 kg Dampf mit steigendem Druck nennenswert abnimmt.

Bei Erweiterung des Wärmegefälles nach *unten* — Lokomotive mit Unterdruck-Kondensation — wird die der Druckdifferenz entsprechende Dampfwärme ausgenutzt (Vgl. Seite 244 unten und Seite 248 oben).

Die **Hochdrucklokomotive** ist theoretisch um so günstiger, je höher der Anfangsdruck und je höher der Überhitzungsgrad (Seite 241). Der gesamtwirtschaftlich beste Wirkungsgrad liegt nach den bisherigen Erkenntnissen bei etwa 40÷60 atü.

Die übliche Kesselbauart kann bis etwa 25 atü beibehalten werden, wobei allerdings mit erhöhter Anfälligkeit des Kessels zu rechnen ist. Man bezeichnet Lokomotiven mit 20÷25 atü als **Mitteldrucklokomotiven**. — Ausgesprochene Hochdrucklokomotiven erfordern *besondere Kesselsysteme*.

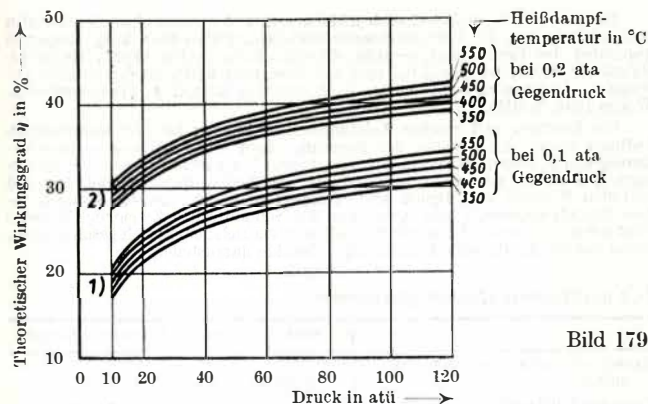


Bild 179

Theoretische Kreislauf-Wirkungsgrade unter Berücksichtigung des Druckes und der Überhitzung Nach Dugas in MTZ. Beiheft 1949, S. 10

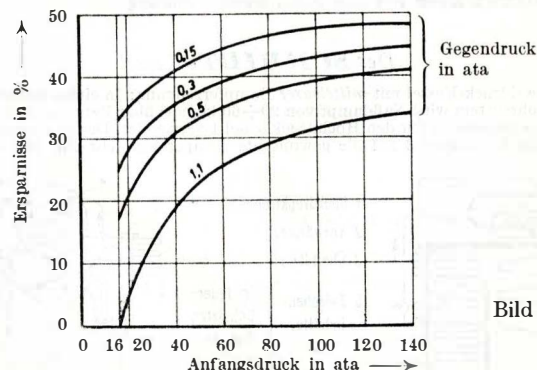


Bild 180

Die wärmewirtschaftlichen Vorteile erhöhten Wärmegefälles

Ersparnisse, die sich bei Änderung des Anfangs- und Enddruckes gegenüber dem Wärmegefälle der jetzigen Lokomotivbauart (16 auf 1,1 at) theoretisch errechnen lassen.

Aus ZVDI 1930, S. 1645

Die Schmidt-Henschel-Hochdrucklokomotive der Deutschen Reichsbahn erzielte etwa 8%, die Löffler-Schwartzkopf-Lokomotive etwa 20% Ersparnis gegenüber der Regelbauart. — Die Mitteldrucklokomotive 44 011, Henschel-Fabrik-Nr. 22000, hatte mit 0,7 kg/PSi-h bzw. 0,84 kg/PS_e-h den absolut geringsten Kohlenverbrauch einer Kolbendampflokomotive (Verkehrstechn. Woche 1935, S. 316).

Die häufigen und starken Leistungsschwankungen im Lokomotivbetrieb bedingen wegen der Trägheit der Feuerung einen Kessel mit großem Speichervermögen, d. h. großem Wasserinhalt. Schnelldampferzeuger mit geringem Speichervermögen haben sich nicht bewährt, da die Werkstoffe dem häufigen und schroffen Wechsel von Druck und Temperatur nicht gewachsen sind. — Den Hochdruckkesseln (mit Ausnahme des Schmidtschen Zweidruck-Kessels) fehlt der große Vorzug des normalen Lokomotivkessels: ein in sich geschlossenes, gegen äußere Kräfte widerstandsfähiges Gebilde darzustellen.

Die wichtigsten Hochdrucksysteme

	Speicherkessel	Schnellverdampfer
Kessel mit natürlichem Wasser-umlauf	Schmidt*)	—
Zwangumlaufkessel (mit Umwälzpumpe)	La Mont Löffler*)	Velox
Zwangdurchlaufkessel	—	Benson, Sulzer, Doble

*) Zweidruck-Kessel mit mittelbarer Dampferzeugung

Der SCHMIDT-Kessel

Zweidruck-Kessel mit mittelbarer Dampferzeugung: In einem feuerbestrahlten Rohrsystem wird Naßdampf von 20–60 kg/cm² über Betriebsdruck erzeugt und als Heizdampf für den Hochdruckkessel 1 verwendet. Der Hochdruckdampf wird im Überhitzer 3 auf die gewünschte Temperatur gebracht. Bei den aus-

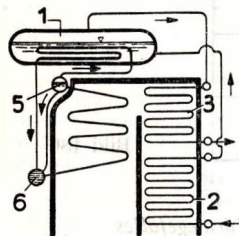


Bild 181

Ortsfeste Anlage

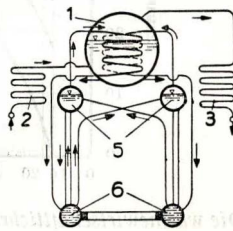


Bild 182

Lokomotivkessel

geführten Schmidt-Henschel-Hochdruck-Lokomotiven wurde der im Lokomotivlangkessel üblicher Bauart erzeugte Niederdruckdampf von 14 kg/cm² überhitzt. Im mittelbar beheizten Hochdruckkessel wurde Dampf von 60 kg/cm² erzeugt und dem Hochdruckzylinder zur Arbeitsleistung zugeführt. Der Abdampf des Hochdruckzylinders erfuhr durch Zusatz von hochüberhitztem Niederdruckdampf eine Zwischenüberhitzung. Das Dampfgemisch wird in die Niederdruckzylinder geleitet.

Der Sulzer-Kessel ist ein Einrohr-Dampferzeuger. Einfacher Aufbau, Anfahrzeit nur 15–20 Minuten. Leistung eines Einrohres auf 8–10 t Dampf je Stunde beschränkt. Für größere Leistungen wird eine entsprechende Zahl gleicher Einrohre parallel geschaltet.

Der Doble-Kessel ist ebenfalls ein Einrohr-Kessel. Er wurde versuchsweise für Lokomotiven, Triebwagen und Kraftwagen verwendet.

Der Benson-Kessel besteht aus beheizten, an Sammelkammern angeschlossenen Rohrschlangen. Er hat von allen Bauarten den kleinsten Wasserinhalt. Grundgedanke: Dampferzeugung im kritischen Zustand, wobei Verdampfungswärme = 0. Da aber der Druck von 224 atü in der Maschine nicht verarbeitet werden kann, wird der erzeugte Dampf auf den Betriebsdruck herabgedrosselt.

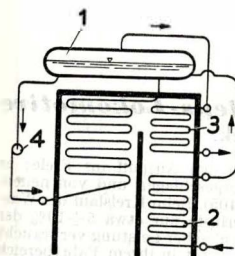


Bild 183

Der LA MONT-Kessel

Dampfumwälzverfahren mit unmittelbarer Dampferzeugung.

- 1 Hochdrucktrommel
- 2 Vorwärmer
- 3 Überhitzer
- 4 Umwälzpumpe

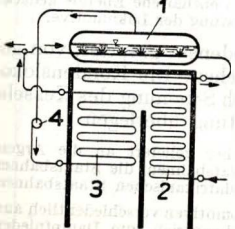


Bild 184

Der LÖFFLER-Kessel

Bezeichnungen wie unter Bild 183.

Dampfumwälzverfahren mit mittelbarer Dampferzeugung.

Der hoch überhitzte Hochdruckdampf strömt zum Teil der Verbrauchsstelle zu, etwa $\frac{2}{3}$ der umgewälzten Dampfmenge werden in die Hochdrucktrommel zurückgeführt. Ihre Überhitzungswärme wird dort zur Dampferzeugung ausgenutzt.

Dampfumwälzverfahren nur für Drücke über 80 at wirtschaftlich, da Umpumpleistung bei geringeren Drücken unverhältnismäßig groß.

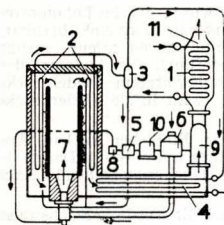


Bild 185. Der **VELOX**-Kessel

- | | |
|---------------------|---------------------|
| 1 Vorwärmer | 7 Feuerraum |
| 2 Verdampferrohre | 8 Brennstoffpumpe |
| 3 Dampfausscheider | 9 Abgasturbine |
| 4 Überhitzer | 10 Anfahrmotor |
| 5 Wasserumlaufpumpe | 11 Rauchgasaustritt |
| 6 Luftverdichter | |

Grundgedanke des Velox-Systems ist der, einen Dampfkessel zu bauen, der leistungsfähiger, einfacher, leichter, kleiner und billiger ist als ein Kessel normaler Bauart. Hohe Heizgasgeschwindigkeit (200–300 m/sec). Überdruck-Feuerung (nur für flüssige und gasförmige Brennstoffe). Gasturbine zum Verdrängen der Luft, Hilfsmaschine zum Anlassen. Geringer Raumbedarf, Wirkungsgrad etwa 90%, hohe Betriebsbereitschaft (in 5–6 Minuten auf Vollast).

Kondensations-Lokomotiven

zur Rückgewinnung des Speisewassers.

Die **Henschel-Patent-Kondens-Lokomotive** arbeitet mit *atmosphärischem* Gegendruck.

Der Zylinder-Abdampf entweicht nicht durch den Auspuff ins Freie; er wird vielmehr durch Luftkühlung zu Wasser niedergeschlagen und von neuem zum Speisen des Kessels verwendet (s. Bild 342, S. 405). Beim Kreislauf des Wassers gehen durch unvermeidliche Undichtigkeitsverluste nur etwa 5–10% der Wassermenge verloren, die von Auspufflokomotiven gleicher Leistung verbraucht wird. Die Henschel-Kondenslokomotive übertrifft somit in ihrem Fahrbereich die übliche Auspufflokomotive um ein Vielfaches. Der Leistungsbedarf der Kondensationsanlage wird durch die im Abdampf noch enthaltene Energie gedeckt und ist ohne praktische Rückwirkung auf die Leistung der Lokomotive.

Der Kessel wird mit fast reinem Kondensat gespeist, von geringfügigem Zusatz an Rohwasser abgesehen. Die Kondenslokomotive ist somit der normalen hinsichtlich Schonung des Kessels, Kesselwirkungsgrad und Kesselunterhaltung überlegen.

Henschel-Kondens-Lokomotiven wurden bisher geliefert an die Argentinischen Staatsbahnen, die Sowjetrussischen Staatsbahnen, die Staatsbahnen des Irak, die Deutsche Bundesbahn und die Südafrikanischen Staatsbahnen.

Unterdruck-Kondensation ist für Turbinenlokomotiven verschiedentlich eingeführt worden. Neuerdings ist man auch bei Turboantrieb zum Dampfniederschlag unter Atmosphärendruck übergegangen, da der wärmewirtschaftliche Gewinn des Unterdruckbetriebes durch Erschwernisse in der Bedienung und der Erhaltung wieder ausgeglichen wurde.

Getriebe-Dampflokomotiven

nennt man solche Lokomotiven, bei denen ein schnellaufender Dampf-„motor“ über ein zwischengeschaltetes Übersetzungsgetriebe auf die Treibachsen arbeitet.

Ihr Hauptzweck ist der, der Antriebsmaschine über einen weiteren Fahrbereich den vorteilhaftesten Betriebszustand (günstigste Füllung, günstigste Drehzahl, folglich geringsten spezifischen Dampfverbrauch) zu ermöglichen, als dies die übliche Kolbendampflokomotive zuläßt.

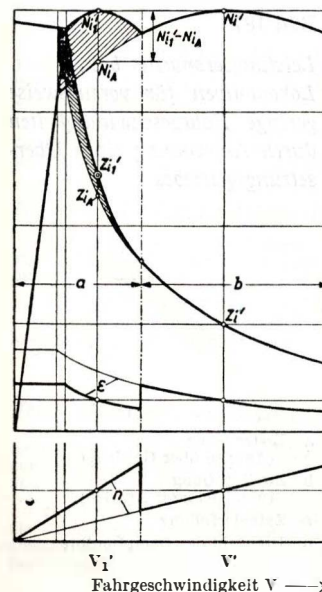


Bild 186. Erhöhung der Leistung und der Zugkraft in niedrigerem Geschwindigkeitsbereich durch Zwischenschalten eines Übersetzungsgetriebes

Für V_1' erhöht sich die indizierte Leistung von N_{iA} auf $N_{i1}' = N_{i1}'$. Leistungsgewinn somit $(N_{i1}' - N_{iA})$, Zugkraftgewinn $(Z_{i1}' - Z_{iA})$.

- a Erster Gang (Antrieb über Getriebe)
- b Zweiter Gang (unmittelbarer Antrieb)
- ε Zylinderfüllung
- n Drehzahl des Dampfmotors

Bei unmittelbarem Antrieb (übliche Kolbendampflokomotive!) muß der Kessel für die indizierte Leistung N_i' ausgelegt werden, wenn bei der Fahrgeschwindigkeit V_1' eine indizierte Zugkraft Z_{i1}' erzielt werden soll. Bei Anwendung eines Übersetzungsgetriebes genügt eine Höchstleistung ($N_{i1}' = N_{i2}'$). Der Kessel kann somit entsprechend dem Leistungsunterschied ($N_{i1}' - N_{i2}'$) kleiner und leichter ausgeführt werden.

Das gilt beispielsweise für Lokomotiven, die hauptsächlich in niedrigem Geschwindigkeitsbereich verkehren. In solchen Fällen kann mit Hilfe eines festen Vorleges die wirksame Leistung erhöht (Bild 186), oder aber bei gleichbleibender Leistung die Kesselgröße verringert werden (Bild 187). — Beispiele: Getriebe-Lokomotiven Sentinel, Kerr-Stuart, Clark, Heisler, Shay u. a., üblicher Antrieb von Zahnradlokomotiven.

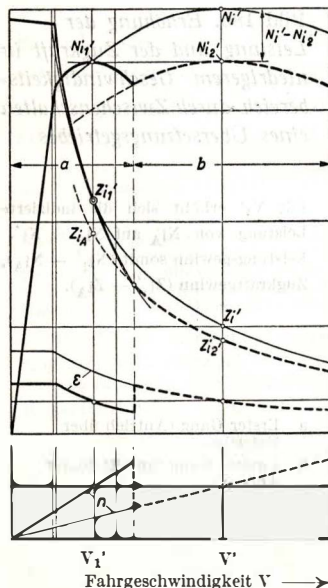


Bild 187

Leistungsersparnis bei Lokomotiven für vorzugsweise geringe Fahrgeschwindigkeiten durch Anwendung eines Übersetzungsgetriebes

- a Erster Gang (Antrieb über Getriebe)
- b Zweiter Gang (unmittelbarer Antrieb)
- ε Zylinderfüllung
- n Drehzahl des Dampfmotors

Bei stetig veränderlicher Übersetzung liegt stets die „günstigste“ Geschwindigkeit vor, sofern die Lokomotive ausgelastet ist.

Als *Dampfmotor* kommen der schnelllaufende Dampfmotor (bis etwa 1200 U/min) und die Dampfturbine in Betracht, als *Übersetzung* die mechanische, die hydraulische oder die elektrische Kraftübertragung, wie sie in entsprechender Weise bei Verbrennungsmotor-Fahrzeugen üblich sind (siehe S. 275.)

Antrieb mittels Treib- und Kuppelstangen über eine Blindwelle, Gruppenantrieb oder Einzelachsantrieb.

Vorteile der Getriebe-Dampflokomotive

Der Dampfmotor arbeitet vorzugsweise unter günstigsten Voraussetzungen.

Die Lokomotive läuft schneller an (höhere Anfahrbeschleunigung) als die Lokomotive der Regelbauart.

Die störenden Bewegungen treten kaum in Erscheinung, bei Turbo-Antrieb entfallen sie.

Lokomotiven mit niedrigem Geschwindigkeitsbereich kommen mit kleinerem Kessel aus und erfordern geringeres Baugewicht als Lokomotiven der Regelbauart.

Die Belange des Fahrzeug- und Bogenlaufes können bei Gruppen- oder Einzelantrieb in vollkommenerem Maße berücksichtigt werden als bei Lokomotiven der Regelbauart. (Brückenfahrzeug an Stelle des Einrahmen-Fahrzeuges, vgl. S. 72.)

An Stelle der Füllungsregelung kann vorzugsweise die Regelung durch das Getriebe (Änderung der Übersetzung) treten. Das ist eine Vorstufe zur erstrebten halbautomatischen oder vollautomatischen Bedienung der Lokomotive.

Nachteile der Getriebe-Lokomotive

Der Wirkungsgrad wird durch das Getriebe relativ gedrückt. (Dennoch kann u. U. durch geeignete Maßnahmen der Gesamtwirkungsgrad der Regelbauart erhalten bzw. übertroffen werden.)

Die Bauart ist verwickelter als die der Regellokomotive.

Die Beschaffungskosten sind zumindest solange höher als die der Regellokomotive, als die Getriebe-Lokomotive eine „Sonderbauart“ darstellt.

Die Dampfturbinenlokomotive

ist ein Sonderfall der Getriebe-Lokomotive. Sie kennt keine störenden Bewegungen und läuft im günstigen Drehzahlbereich der Turbine geringeren Dampf- und Brennstoffverbrauch erwarten als die Kolbendampflokomotive.

Die Turbine ist empfindlich gegen größere Drehzahlschwankungen, da sich die Schaufeln nur für eine bestimmte Drehzahl günstig auslegen lassen. Bei abweichenden Drehzahlen treten Spaltverluste auf, die den Wirkungsgrad beeinträchtigen.

Die mechanische Kraftübertragung mit festem Vorgelege über Blindwelle sowie Treib- und Kuppelstangen ergibt besten Übertragungs-Wirkungsgrad, aber ungünstige Verbrauchswerte bei Abweichungen von der günstigsten Geschwindigkeit, insbesondere beim Anfahren, und erfordert eine besondere Rückwärtsturbine.

Die elektrische Kraftübertragung wird trotz ihres hohen Baugewichtes wegen ihrer guten Regelbarkeit und ihrer Betriebssicherheit geschätzt.

Die Dampfturbine arbeitet besonders gut mit Unterdruck im Kondensator, doch wird neuerdings die *Auspuff-Turbinenlokomotive* bzw. die Lokomotive mit *Luftkühlung unter Atmosphärendruck* bevorzugt, die im Aufbau einfacher ist und sich billiger unterhalten läßt.

Die *turbomechanische Krupp-Zoelly-Lokomotive* der Deutschen Reichsbahn lag im praktischen Dienstplan etwa 10÷12 % günstiger als eine entsprechende Kolbendampflokomotive. Versuchsfahrten ergaben die niedrigsten absoluten Verbrauchswerte, die je mit einer Dampflokomotive erzielt wurden (siehe Nordmann in ZV DI 1930, S. 173). Dieses günstige Ergebnis ist wesentlich von der Unterdruck-Kondensations-Anlage beeinflusst gewesen.

Dampflokomotiven mit Einzelachsantrieb

arbeiten vorzugsweise mit schnelllaufenden Dampfmotoren (Kolbendampfmaschinen oder Dampfturbinen) und Übersetzungsgetriebe (Drehmomentenwandler). Bei der von Henschel entwickelten Einzelachsantriebs-Lokomotive (siehe S. 249) stimmen die Drehzahlen von Dampfmotor und Treibachse überein.

Der Einzelachsantrieb erfordert besondere Maßnahmen gegen die Gefahr des Schleuderns der Räder.

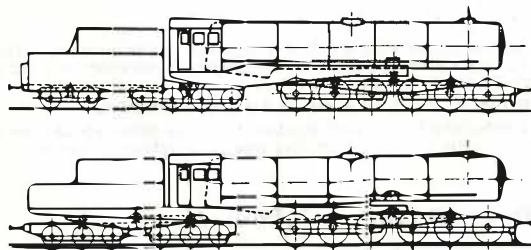


Bild 188 und 189

Schematische Darstellung von Dampflokomotiven Bauart Henschel mit Einzelachsantrieb und optimalen Laufeigenschaften

Ausschließliche Verwendung von Drehgestellen (vergl. S. 75).

Die Henschel-Einzelachsantriebs-Lokomotive

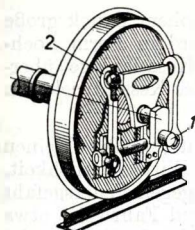


Bild 190

Gelenk-Kupplung

- 1 Treibzapfen
- 2 Gelenkbolzen

Fabrik-Nr. 25000, Betriebs-Nr. 19 1001, der Deutschen Reichsbahn, weist vier Treibachsen auf. Jede Treibachse wird durch einen außenliegenden V-förmigen Zweizylinder-Dampfmotor angetrieben, dessen Massenkkräfte in sich ausgeglichen sind.

Die V-Dampfmaschinen gehören zum abgefederten Teil der Lokomotive, ihre Drehzahl ist gleich derjenigen der Treibachsen. Jede der vier Treibachsen wird einseitig über eine Gelenkkupplung von einer außerhalb der Radebene angeordneten V-Maschine angetrieben. Typenskizze der Lokomotive auf Seite 391.

Treibraddurchmesser 1250 mm

Achsdruck 18,5 t

Planmäßige Höchstgeschwindigkeit 175 km/h

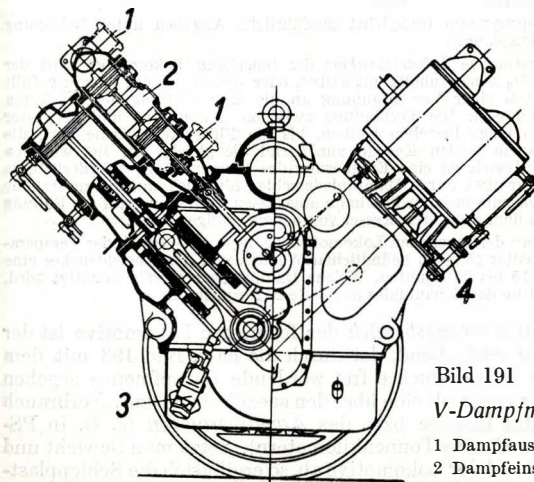


Bild 191

V-Dampfmotor

- 1 Dampfausströmung
- 2 Dampfströmung
- 3 Schmierpumpe
- 4 Zylinderentwässerung

Die feuerlose Lokomotive

nutzt die Fähigkeit des Wassers aus, unter hohem Druck große Energiemengen zu speichern. Die Energie wird in Form hochgespannten Dampfes von einer ortsfesten Kesselanlage übernommen und nach und nach unter Senkung des Kesseldruckes in den Dampfzylindern verarbeitet.

Die feuerlose Lokomotive besitzt verhältnismäßig kleinen Fahrbereich, zeichnet sich aber durch hohe Wirtschaftlichkeit, geringe Unterhaltungskosten und Sicherheit gegen Feuersgefahr aus. Sie verbraucht je nach Zylinderfüllung und Fahrweise etwa 18–27 kg Dampf je PS_h. Wieviel Dampf durch Senken des Kesseldruckes erzeugt werden kann, zeigt Bild 193, Seite 252.

Damit die zweckmäßige Größe einer feuerlosen Lokomotive einwandfrei ermittelt werden kann, empfiehlt es sich, zusätzlich zu den nach S. 24/25 erforderlichen Angaben noch Aufschluß zu geben über

- Heizflächengröße, Dampfdruck und Dampftemperatur (Überhitzung ?) der ortsfesten Kesselanlage,
- Betriebsprogramm (möglichst ausführliche Angaben unter Beifügung eines Gleisplanes).

Für die erstmalige *Inbetriebnahme* der feuerlosen Lokomotive wird der Kessel zu etwa $\frac{2}{3}$ seines Inhalts mit kaltem oder vorgewärmtem Wasser gefüllt und dann mittels einer Verschraubung an die Dampfleitung des ortsfesten Kessels angeschlossen. Die Verbindung zwischen Lokomotive und ortsfester Anlage muß so lange bestehen bleiben, bis die Flüssigkeitswärme bzw. die Dampfspannung in beiden Kesseln annähernd die gleiche ist. Bei weiteren Füllungen des Kessels ist eine Erneuerung des Wassers nicht erforderlich, es muß lediglich der etwa durch Damfniederschlag hinzugekommene zusätzliche Wasservorrat bis zum unteren Prüfhahn abgelassen werden, worauf die Füllung mit Dampf aus dem ortsfesten Kessel von neuem erfolgen kann.

Das „*Laden*“ der feuerlosen Lokomotive beansprucht je nach der Temperatur des im Behälter (Kessel) befindlichen Wassers und des Kesseldruckes eine Zeit von etwa 15 bis 30 Minuten. Welche Dampfmenge hierfür benötigt wird, läßt sich mit Hilfe des Schaubildes auf Seite 252 ermitteln.

Für den *Anwendungsbereich* der feuerlosen Lokomotive ist der *Energievorrat* maßgebend, der durch die nach Bild 193 mit dem Abfallen des Kesseldruckes frei werdende Dampfmenge gegeben ist. Aus dieser ermittelt sich über den spezifischen Dampfverbrauch die verfügbare Energie bzw. das *Arbeitsvermögen* (z. B. in PS-Stunden oder Brutto-Tonnenkilometern). Setzt man Gewicht und Eigenwiderstand der Lokomotive ab, so ergibt sich die Schlepplastkurve in Abhängigkeit von der Fahrstrecke, die bis zum Absinken auf einen „Mindestkesseldruck“ zurückgelegt werden kann.

Der Mindestkesseldruck bestimmt die jeweils mögliche Schlepplast. Umgekehrt setzt eine bestimmte Schlepplast einen Mindestkesseldruck voraus. Niedrigere Kesseldrucke können mangels der erforderlichen Zylinderzugkraft für diese Schlepplast nicht ausgenutzt werden. Für den Leerlauf der Lokomotive kann man bis auf etwa 1,5 atü heruntergehen.

Die größtmögliche Schlepplast ist durch die Reibungsgrenze bedingt. Der zugehörige Kesseldruck ist der höchste, der unmittelbar ausgenutzt werden kann. Bei höheren Drücken muß mit gedrosseltem Dampf gefahren werden (nach Bild 194 beispielsweise ist der Kesseldruck auf etwa 12 atü zu drosseln).

Da der ausnutzbare Druckunterschied je nach der Größe der Schlepplast verschieden ist, kann mit einer bestimmten Schlepplast stets nur ein Bruchteil des Speichervermögens der feuerlosen Lokomotive ausgenutzt werden.

Der Begriff der *Leistung* ist bei der feuerlosen Lokomotive ohne praktische Bedeutung, da er — im Gegensatz zur gefeuerten Lokomotive — keinen konstanten Wert besitzt. Theoretisch ermöglicht die aufgespeicherte Energie jede beliebige Leistung. Im praktischen Betrieb bestimmt sich die Leistung nach den üblichen Schlepplasten und entsprechenden Fahrgeschwindigkeiten. Da den konstanten Kennwert der feuerlosen Lokomotive das *Arbeitsvermögen* darstellt, ist die Leistung von der Zeitdauer abhängig, während welcher sie in Anspruch genommen wird. Ein Maßstab für die betriebliche Verwendung der Lokomotive ist demnach das Produkt *Leistung* $\times$ *Zeitdauer*, nicht die Leistung allein.

Ein Beispiel für das Arbeitsvermögen und die Leistung bringt S. 253.

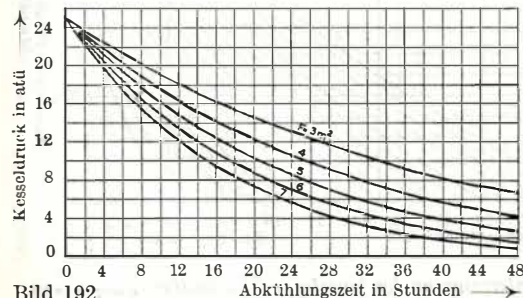


Bild 192

Druckverlust von feuerlosen Lokomotiven durch Abkühlung im Freien

F = Abkühlungsfläche des Kessels je 1000 kg Wassereinhalt
 Voraussetzung: Mittlere Temperatur der Außenluft = 15° C
 Wärmedurchgangszahl K = 2,5 Kcal/m²·h·°C

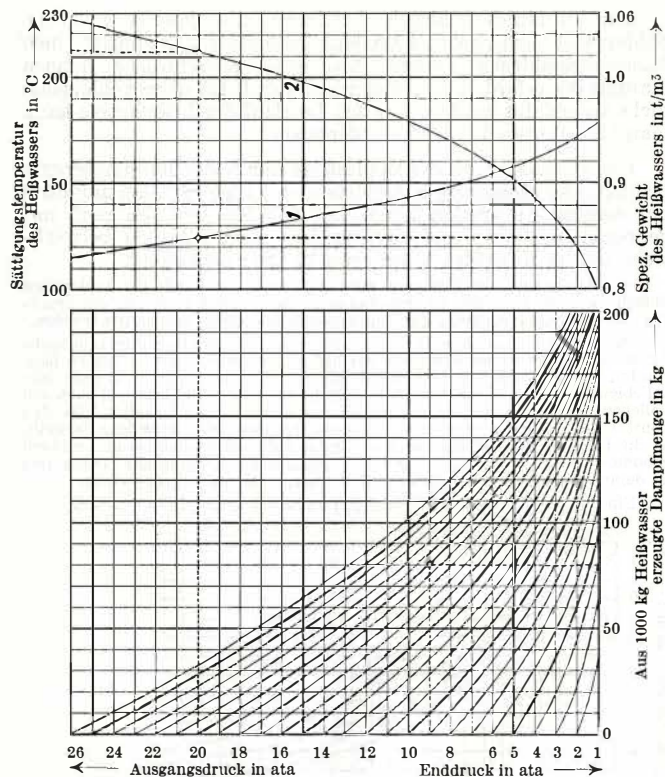


Bild 193. Dampfzerlegung der feuerlosen Lokomotive (Energievorrat)

Kurve 1 = Spez. Gewicht des Heißwassers
 „ 2 = Sättigungstemperatur des Heißwassers

Beispiel: Wenn der Kesseldruck von 20 auf 9 ata sinkt, werden auf 1000 kg Heißwasser 80 kg Dampf frei. Heißwasser von 20 ata hat eine Sättigungstemperatur von 211° C und ein spez. Gewicht von 0,848 t/m³.

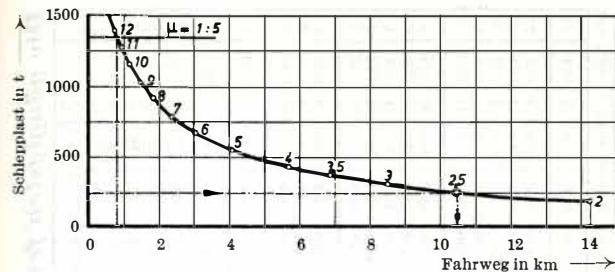


Bild 194. Arbeitsdiagramm

Das Schaubild gibt den maximalen Fahrtweg an, der auf waagerechter, gerader Strecke mit einer bestimmten Schlepplast zurückgelegt werden kann, sofern die Fahrt mit einem Ausgangsdruck von 20 ata begonnen wird. Die Zahlen über der Schlepplastenlinie nennen die Spannung in ata, auf welche der Kesseldruck bei der jeweiligen Arbeit absinkt.

Beispiel: 250 t Schlepplast können über eine Strecke von etwa 10,5 km befördert werden. Kesselüberdruck am Ende dieser Fahrt noch etwa 2,5 ata. Das Diagramm gibt unmittelbaren Aufschluß nur über Fahrten, die bei 20 ata Kesseldruck begonnen und ohne Zwischenhalt durchgeführt werden.

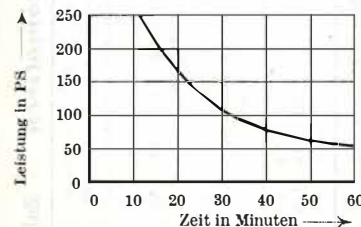


Bild 195. Leistungslinie

Beispiel: Die Lokomotive kann eine Leistung von 200 PS etwa 16 Minuten lang, eine solche von 100 PS etwa 32 Minuten lang abgeben.

Kennlinien einer feuerlosen Lokomotive mit 8 m³ Wasserinhalt bei einem Ausgangsdruck von 20 ata und einem Enddruck von 2 ata

Die Henschel-Gilli

Hochdruck-Dampfspeicher-Lokomotive

arbeitet mit Ausgangsdrücken von etwa $40 \div 140$ atü. Der hochgespannte Dampf wird einem ortsfesten Dampferzeuger entnommen, er kann aber auch auf einfache Weise mit Hilfe von überhitztem Niederdruckdampf erzeugt werden.

Der dem Speicher der Lokomotive entnommene Hochdruckdampf wird auf eine gleichbleibende Gebrauchsspannung von $10-14$ atü gebracht. Anschließend wird der Dampf auf seinem Weg zu den Zylindern durch ein im Dampfspeicher liegendes Rohrsystem geleitet und erfährt damit eine kräftige Überhitzung.

Die Bedienung der Lokomotive unterscheidet sich nicht wesentlich von derjenigen einer üblichen feuerlosen Lokomotive.

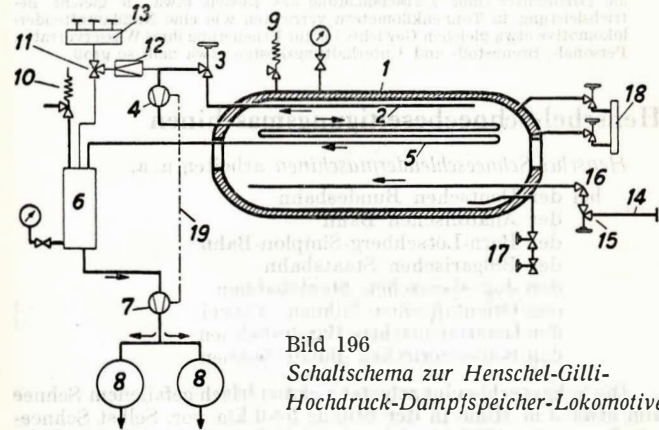


Bild 196

Schaltschema zur Henschel-Gilli-Hochdruck-Dampfspeicher-Lokomotive

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1 Speicher | 11 Selbsttätiges Überströmventil |
| 2 Dampfentnahmerohr | 12 Druckminderventil |
| 3 Hauptabsperrentil | 13 Dampfentnahmestutzen für Luftpumpe, Turbo usw. |
| 4 Hochdruckregler mit Drosselventil | 14 Ladeanschlußleitung |
| 5 Überhitzer | 15 Ladeventil |
| 6 Ausgleichbehälter | 16 Rückschlagventil |
| 7 Niederdruckregler | 17 Wasserablaßventile |
| 8 Zylinder | 18 Wasserstandsanzeiger |
| 9 Hochdruck-Sicherheitsventil | 19 Mechanische Kupplung zwischen Hoch- und Niederdruckregler |
| 10 Niederdruck-Sicherheitsventil | |

Die gängigsten feuerlosen Henschel-Lokomotiven

Zahlentafel 37

Lfd. Nr.	Spur	Achsanordnung	Trieb- und Laufwerk				Kessel		Dienstgewicht	Größte Zugkraft bei $\mu = 1:4$	Größtmögliche Schlepplasten (aus der Reibung) auf gerader Strecke bei einer Steigung von 1°)						Fahrweg für 0°/100 b. max. Schlepplast	Kleinst Krümmungs- halbmesser
			Zylinder- $\varnothing$	Hub	Treibrad- $\varnothing$	Gesamt- Achstand	Wasser- inhalt	Dampf- raum			0-5	10	20	30	40	50		
1	600	B	280	300	650	1200	m ³	m ³	t	kg	t	t	t	t	t	t	km	m
2	900	B	420	400	800	1600	4,5	1,2	17,2	4300	405	265	150	105	75	60	17,9	15
3	900	C	600	450	950	2500	11	2,5	33,0	8250	775	505	290	200	145	115	22,7	30
4	900	C	600	450	950	2500	13	3	36,6	9150	860	560	320	220	170	125	24,3	30
5	1435	B	400	400	850	1800	3,5	1	17,4	4350	445	280	155	105	75	60	15,8	30
6	1435	B	480	400	850	2300	6,5	2	23,0	5750	580	365	205	135	105	80	22,6	50
7	1435	B	540	400	900	2500	8	2	27,2	6800	700	435	240	160	120	90	23,0	70
8	1435	B	540	400	900	2500	10	2,2	30,8	7700	780	490	275	185	135	105	26,0	70
9	1435	B	540	400	900	2500	12	2,5	34,4	8600	875	550	305	205	155	120	27,6	70
10	1435	C	540	400	900	3000	12	2,5	36,0	9000	915	575	320	215	160	125	28,4	90
11	1435	C	630	500	1000	3000	14	2,8	39,9	9975	1015	635	355	240	175	135	27,8	90
12	1435	C	630	500	1000	3000	16	3	43,8	10950	1120	705	385	265	195	150	28,9	90
13	1435	C	630	500	1000	3000	18	3	47,7	11925	1225	770	430	290	215	165	29,5	90
14	1435	C	630	500	1000	3400	22	3	55,8	13950	1435	905	505	340	250	195	30,9	140
15	1435	D	630	500	1000	3900	25	3,5	63,8	15950	1640	1035	575	390	285	220	30,7	100

Die Lokomotiven werden auch für jeden anderen Kesseldruck bis etwa 40 atü und jede andere anführbare Spurweite und Größe hergestellt.

Voraussetzungen:

Kesseldruck (Anfangsdruck) 20 atü.

Laufwiderstand für Lfd. Nr. 1-4: $W_L = 10$ kg/t, $W_W = 5$ kg/t, $W_{W'} = 4$ kg/t.

Lfd. Nr. 5-15: $W_L = 8$ kg/t, $W_W = 4$ kg/t.

Die *Vorzüge* der Henschel-Gilli-Lokomotive sind:

Hohe Energiespeicherung (Kapazität) und entsprechend großer Fahrbereich (Aktionsradius), bedingt durch den hohen Spannungsunterschied zwischen Ausgangsdruck und Gebrauchsspannung. Bei rd. 100 atü etwa die doppelte Kapazität gegenüber einer üblichen feuerlosen Lokomotive gleichen Gewichtes. Etwa dreifacher Fahrbereich, da geringer spezifischer Dampfverbrauch.

Keine Änderung der Zugkraftverhältnisse während der Betriebsdauer, da Gebrauchsspannung (Arbeitsdruck) von etwa 10–14 atü gleichbleibend, wie es den gefeuerten Lokomotiven eigentümlich ist. Die Lokomotive wird somit wie eine gefeuerte Dampflokomotive eingesetzt und gefahren.

Hohe Energieausnutzung, da *Überhitzung des Dampfes* und infolgedessen geringer spezifischer Dampfverbrauch und konstanter hoher Eintrittsdruck im Zylinder.

Als grober Anhalt möge gelten: Bei einem Ausgangsdruck von 100 atü kann die Lokomotive ohne Zwischenladung des Kessels etwa die gleiche Betriebsleistung in Tonnenkilometern verrichten wie eine Naßdampfenderlokomotive etwa gleichen Gewichtes bis zur Erneuerung ihres Wasservorrates. Personal-, Brennstoff- und Unterhaltungskosten etwa halb so groß.

Henschel-Schneebeseitigungsmaschinen

Henschel-Schneesleudermaschinen arbeiten u. a.

bei der Deutschen Bundesbahn
der Anatolischen Bahn
der Bern-Lötschberg-Simplon-Bahn
der Bulgarischen Staatsbahn
den Jugoslawischen Staatsbahnen
den Orientalischen Bahnen (Türkei)
den Österreichischen Bundesbahnen
den Schweizerischen Bundesbahnen

Die Schneeschleuder arbeitet sich bei frisch gefallenem Schnee von etwa 3 m Höhe in der Stunde 5–6 km vor. Selbst Schneewände von 5 m Höhe wurden durchstoßen. Bei 3 m Schneehöhe beträgt die Wurfweite ~ 20 m. Drehzahl der Schleuder ~ 150/min.

Das Schleuderrad wird von einer liegenden oder stehenden Dampfmaschine angetrieben. Drehzahl der Dampfmaschine 500–550 U/min. Den Dampf liefert ein Lokomotiv-Naßdampfkessel üblicher Bauart. Vorderer Pufferträger abnehmbar, nur für Transportzwecke erforderlich.

Über Schneeräumer und Schneepflüge siehe Seite 372. Henschel-Klimaspurinnenräumer dienen zur Tiefräumung bis 90 mm unter SO (Schaffung von Schmelzwasser-Rinnen), bei geringer Schneehöhe auch als Schneepflug. Der Spurrinnenräumer kann an jede Lokomotivegleicher Spurweite angesetzt werden.

Der elektrische Zugbetrieb

zeichnet sich aus durch größte Leistungsfähigkeit, hohe Überlastbarkeit, ständige Einsatzbereitschaft, beste Energieausnutzung und einfache Fahrzeugunterhaltung.

Nachteilig sind die Abhängigkeit von der Stromzuführung und die hohen Anlagekosten.

Die *Wirtschaftlichkeit* elektrischer Fernbahnen kann als gegeben angesehen werden, wenn an Strom jährlich mindestens 200 000 kWh/km verbraucht werden. Das entspricht etwa 20 000 t/Tag im Flachland oder 10 000 t/Tag im Gebirge. Unter besonderen Bedingungen (wie reichliche Wasserkraft bei Mangel an Kohle) können bereits etwa 50 000 kWh/km im Jahr genügen.

Stromsystem und Stromabnehmer-Spannung

1. Gleichstrom

3000 Volt	Belgien, Brasilien (Paulista), Chile, Italien, Nordafrika, Nordamerika, Polen, Spanien, Südafrika	} Fernbahnen
1500 Volt	Brasilien (Oeste de Minas), Dänemark, England, Frankreich, Holland, Indien, Indonesien, Japan, Neuseeland, Portugal, Spanien, Südafrika, Tschechoslowakei	
1500 Volt	Moskau, Sydney	} mit 3. Schiene } Stadtschnell- und Vorortbahnen
1200 Volt	S-Bahn Hamburg	
900 Volt	S-Bahn Berlin	
800 Volt	Hamburger Hochbahn	
800 Volt	Argentinien	
750 Volt	Berliner Hochbahn	
600 Volt	London, Tokio, Western Australia	
bis etwa 1350 Volt	Straßenbahnähnliche Überlandbahnen i. Deutschland	
bis etwa 1200 Volt	Deutschland: Industrie u. Bergbau (Tagebaubetrieb)	
220–750 Volt	Grubenbahnen	
500–600 Volt	Straßenbahnen und Obusse	

2. Einphasen-Wechselstrom

20 000 Volt	50 Hz	Strom aus der Landesversorgung: Deutschland (Versuchsbetrieb Hölentalbahn), Frankreich (Neubau)
15 000 Volt,	50 Hz	Strom aus der Landesversorgung: Ungarn
15 000 Volt, 16 ² / ₃ Hz		Deutschland (Fernbahnen, Vorortbahnen in Süd- und Mitteleuropa) Norwegen, Österreich, Schweden, Schweiz
11 000 Volt,	25 Hz	USA
6 000 Volt,	25 Hz	Hamburger Vorortbahnen

3. Dreiphasen-Wechselstrom (Drehstrom)

10 000 Volt,	45 Hz	} Italien (wird bei Neubauten nicht weiter angewendet)
3 600 Volt, 16 ² / ₃ Hz		

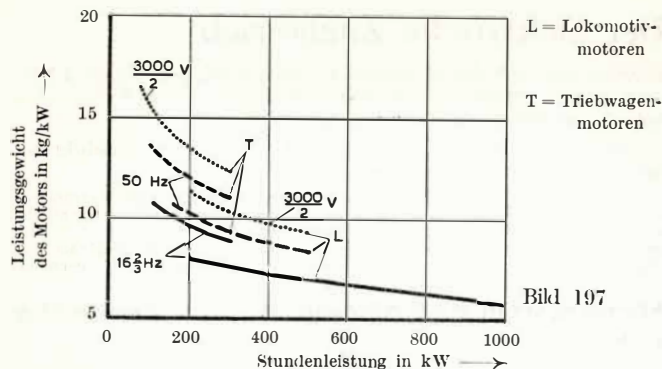


Bild 197

Leistungsgewicht des Fahrmotors in kg je kW Stundenleistung
Nach Kother in „Elektr. Bahnen“ 1941, Ergänzungsheft S. 100).

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Stromsysteme sind in hohem Maße bedingt durch die Eigenarten der verwendeten

Triebmotoren (Fahrmotoren).

1. Als **Gleichstrommotor** verwendet man den **4 poligen Reihenschlußmotor** nach Bild 198 (evtl. mit Wendepolen), der eine für den Bahnbetrieb günstige Drehzahl-Kennlinie aufweist. Bei diesem Motor darf man wegen Überslaggefahr mit höchstens etwa 1500 Volt Klemmenspannung rechnen. Aus dem gleichen Grunde pflegt man 3000 Volt als höchste Fahrdrahtspannung zu verwenden, wobei beispielsweise je zwei Motoren fest in Reihe geschaltet sind. Diese verhältnismäßig geringe Spannung bedingt größere Verluste in der Energiezuführung und erfordert kürzere Abstände der Unterwerke voneinander (rd. 20 km bei 3000 V).

Stufenregelung durch Änderung der Motorspannung mittels Reihen-Parallelschaltung, weitere Regelung durch Feldschwächung.

Der Motor entwickelt großes Anfahrmoment und ist hoch überlastbar (vgl. Bild 203). Die **Höchstleistung** liegt im Gebiet **mittlerer** Fahrgeschwindigkeiten. Die Leistung fällt in höherem Geschwindigkeitsbereich stark ab, bei neuzeitlichen kompensierten Motoren mit Feldschwächung bis herunter auf 50 % (neuerdings auch 25 %) bleibt sie von etwa halber bis voller Fahrgeschwindigkeit konstant. Das **Anfahren** erfolgt über Vorschaltwiderstände sowie durch Umgruppieren der Fahrmotoren. (Schaltschema auf Seite 262).

Das **Leistungsgewicht** des Motors steigt mit der Motorspannung. Es beträgt etwa $7-9$ kg je kW Nennleistung für gewöhnliche, bis herab zu $3,5-4$ kg/kW für kompensierte Motoren.

Bei **elektrischem Bremsen** arbeitet der Fahrmotor als Generator (Stromerzeuger) entweder auf den Widerstand — Widerstandsbremse — oder ins Netz zurück — Nutzbremse. Viele Gleichstrom-Fernbahnen verwenden die elektrische Nutzbremse auf längeren Gefällen betriebmäßig bis zur vollen Lokomotivleistung, bei der Hamburger S-Bahn dient sie als Haltebremse. Bei Triebwagen auch Magnetschienenbremsen.

Gleichstromfahrzeuge eignen sich vorzugsweise für Straßenbahnen, Stadt- und Schnellbahnen, bei denen hohe Anfahrbeschleunigung ausschlaggebend ist und hohe Geschwindigkeiten nur kurzzeitig verlangt werden.

Der **Strom** für Gleichstrombahnen wird aus den Drehstrom-Landesnetzen über Gleichrichterwerke bezogen, nur selten noch über Umformer.

Die Vorliebe für den baulich einfachen Gleichstrommotor hat in USA zu *Umformerlokomotiven* geführt, die mit Einphasen-Wechselstrom gespeist, aber mit Gleichstrom betrieben werden.

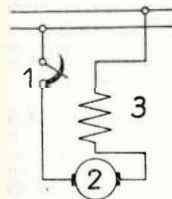


Bild 198. Fahrmotor für Gleichstrom

(Beispiel eines Reihenschlußmotors als Hauptschlußmotor ohne Feldschwächung)

1 = Anlasser; 2 = Anker; 3 = Feldwicklung.

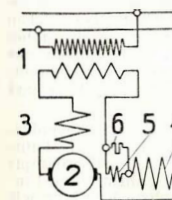


Bild 199. Fahrmotor für Wechselstrom

(Beispiel eines Reihenschluß-Kommutator-Motors für Einphasen-Wechselstrom)

1 = Transformator 4 = Kompensationswicklung
2 = Anker 5 = Wendepolwicklung
3 = Feldwicklung 6 = Parallelwiderstand

2. **Einphasen-Wechselstrom** mit **niedriger** Frequenz ($16\frac{2}{3}$ Hz bis etwa 25 Hz) ermöglicht beliebige Änderung der Spannung mittels einfacher ruhender Umspanner in Kraftwerken, Unterwerken und auf Fahrzeugen. Daher hohe Fahrdrahtspannungen, niedrige Ströme, wirtschaftliche Übertragung großer Leistungen auf weite Entfernungen, Unterwerksabstände bis etwa 70 km.

Als Fahrmotor wird der **Reihenschlußmotor** verwendet, der im Aufbau dem kompensierten Gleichstrommotor ähnelt, aber lamelliertes Ständereisen aufweist. Schaltung: Wendewicklung mit parallelgeschaltetem „Wendewiderstand“ (Bild 199). Spannungsregelung mittels Stufentransformator, daher ist die Fahrgeschwindigkeit feinstufig beliebig regelbar. Durch fortlaufende Feldschwächung wird die Drehzahl bei gleichbleibender Leistung erhöht.

Der $16\frac{2}{3}$ Hz-Motor entwickelt nahezu konstante Zugkraft bis zur Höchstgeschwindigkeit, gibt aber hohe Leistungsspitze für Motoren, Transformator und Steuerung. Beim Anfahren ist er wegen Bürstenfeuer empfindlicher als der

Gleichstrommotor. Er wird daher mit Niederfrequenz und mäßiger Motorspannung (etwa 500 V) betrieben.

Der $16\frac{2}{3}$ Hz-Wechselstrommotor ist somit dem Gleichstrommotor bei höheren Geschwindigkeiten überlegen, doch verfügt er über kleinere Anfahrleistung als dieser (Bild 203/4). Er eignet sich daher vorzugsweise für Fernbahnen, bei denen es mehr auf längeres Fahren mit hoher Geschwindigkeit als auf hohe Anfahrbeschleunigung ankommt.

Das Leistungsgewicht ist bei neueren hochausgenutzten Motoren bis auf etwa 5 kg/kW herabgegangen.

Die elektrische Bremse arbeitet in der Regel auf Bremswiderstand. Sie hat sich nur für Teilleistungen eingeführt (Abbremsen des Lokomotivgewichts zum Schonen der Bremsklötze). Nutzbremse möglich, verschiedentlich für Teilleistung ausgeführt, doch ist Stromrückgabe wirtschaftlich ohne Belang.

Der $16\frac{2}{3}$ Hz-Strom wird zumeist in bahneigenen Kraftwerken unmittelbar erzeugt, teilweise auch durch Umwandlung aus dem 50 Hz-Drehstrom-Landesnetz über Maschinen-Umformer oder auch Quecksilberdampf-Umrichter.

3. Der Bahnbetrieb mit Einphasen-Wechselstrom von „hoher“ Frequenz (50 Hz) ist noch in der Entwicklung begriffen. Sein Vorteil liegt in der unmittelbaren Verwendung des in den Landesnetzen verfügbaren Drehstromes über einfache Einphasen-Umspannwerke. Die ortsfesten Anlagen fallen daher wesentlich einfacher und billiger aus als bei Verwendung von $16\frac{2}{3}$ Hz-Strom, allerdings muß die durch den Bahnbetrieb bedingte ungleichmäßige Belastung des Drehstromnetzes der Landesversorgung in Kauf genommen werden.

Die Fahrzeugtransformatoren bauen sich zwar leichter, die Schaltgeräte und die Fahrmotoren aber schwerer als bei $16\frac{2}{3}$ Hz. Der Motor kann bei gleichen äußeren Abmessungen nur etwa 80 % der $16\frac{2}{3}$ Hz-Leistung entwickeln, daher Leistungsgewicht etwa 6,5 kg/kW. (Unter sonst gleichen Verhältnissen nur $\frac{1}{3}$ der Klemmenspannung zulässig, also dreifacher Strom und großer Kommutator mit vielen Bürsten und hohen Verlusten erforderlich.) Regelung und Charakteristik wie beim $16\frac{2}{3}$ Hz-Motor.

Diese Nachteile können durch Umformerlokomotiven vermieden werden. Der dem Fahrdrabt entnommene 50 Hz-Einphasenstrom wird auf dem Fahrzeug mittels (umlaufender) Umformer oder (ruhender) Quecksilberdampf-Gleichrichter in Gleichstrom umgewandelt. Gleichstrom-Fahrmotoren-Umformer geben guten Leistungsfaktor und ermöglichen einfachste Regelung wie auch Nutzbremmung, bedingen aber Mehrgewicht.

Beim System Kando (Ungarn) wird auf dem Fahrzeug in 50 Hz-Mehrphasenstrom umgeformt. Asynchronmotoren mit nur 3 bis 4 Geschwindigkeitsstufen, Flüssigkeitsanlasser.

Beim System Krupp wird ein Einphasen-Asynchronmotor mit freiem „Zwischenläufer“ zwischen Ständer und Läufer verwendet. Der Motor läuft leer an und wandelt dann das Einphasenfeld in ein Drehfeld um, in dem der Innenläufer wie ein normaler Drehstrommotor angelassen wird. Zusätzlich Drehstrommotor mit anderer Polzahl. Nur wenige Geschwindigkeitsstufen, Flüssigkeitsanlasser.

4. Drehstrom wird für neu einzurichtende Bahnstrecken nicht mehr verwendet. Wohl fallen die Motoren und die Fahrzeugtransformatoren leicht aus, doch ist die Stromzuführung schwierig, da die Fahrleitung doppelt ausgeführt sein muß. Die Schiene dient als dritte Leitung.

Energieverlauf und Schaltung bei einer Einphasen-Wechselstrom-Lokomotive

Vgl. „Elektr. Bahnen“, 1943, S. 18

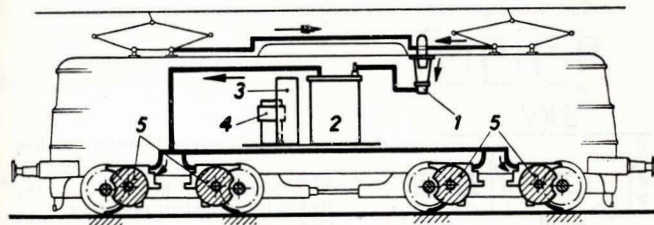


Bild 200. Energieverlauf

- | | |
|-----------------------|---------------|
| 1 Hauptschalter | 4 Feinregler |
| 2 Haupt-Transformator | 5 Fahrmotoren |
| 3 Nockenschaltwerk | |

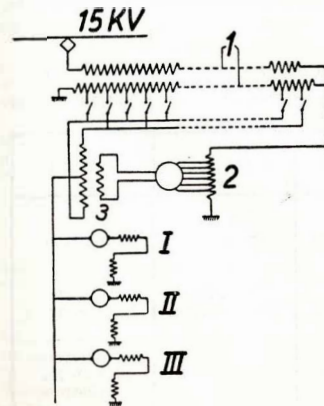


Bild 201. Schaltung

- | |
|-------------------|
| 1 Umspanner |
| 2 Feinregler |
| 3 Spannungsteiler |
| 1—111 Fahrmotoren |

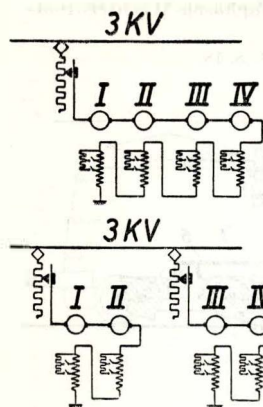


Bild 202

Anschluß von Gleichstrommotoren an eine 3 kV-Fahrleitung

Nach „Elektrische Bahnen“, 1943, S. 19

Wertigkeit der Grundlelemente von elektrischen Bahnsystemen

Nach Bauer in „Schiene und Straße“, Dortmund 1951, S. 51

	Motor (Fahrzeug)	Fahrleitung	Fernleitung	Kraftquelle
Techn.-physikal. Rangfolge	1 Gleichstrom	$16\frac{2}{3}$ Hz Wechselstrom	50 Hz Drehstrom	50 Hz Drehstrom
	2 $16\frac{2}{3}$ Hz Wechselstrom	50 Hz Wechselstrom	$16\frac{2}{3}$ Hz Wechselstrom	$16\frac{2}{3}$ Hz Wechselstrom
	3 50 Hz Wechselstrom	Gleichstrom	—	Umformung aus 50 Hz Drehstrom

Die Leistung des Elektromotors

ist durch die für die Isolierstoffe zulässige Erwärmung begrenzt.

Man unterscheidet (Bild 203 u. 204)

1. die **Dauerleistung**: Sie kann beliebig lange abgegeben werden, ohne daß unzulässige Erwärmung auftritt
2. die **Stundenleistung**: Sie kann — vom kalten Zustand beginnend — eine Stunde lang abgegeben werden und liegt etwa $5 \div 10$ % über der Dauerleistung
3. die **Anfahrleistung**: Sie kann 5 Minuten lang abgegeben werden und liegt etwa doppelt so hoch wie die Dauerleistung
4. die **Nennleistung**: Als solche wird für den Gleichstrommotor die Stundenleistung bei rd. 50 %, für den Wechselstrommotor die Stundenleistung bei rd. 70 % der Höchstgeschwindigkeit angegeben.

Bei gleicher Höchstgeschwindigkeit, gleicher Zugkraft und gleichem Reibungsgewicht hat demnach die Wechselstromlokomotive eine um rd. 40 % höhere Nennleistung als die Gleichstromlokomotive und damit ein entsprechend kleineres Leistungsgewicht kg/kW.

Wechselstrom-Kommutatormotoren sind empfindlich gegen Überlastung. Man pflegt daher ihre Leistung neuerdings so hoch zu bemessen, daß die Dauerleistung etwa auf die Haftgrenze bei feuchten Schienen abgestimmt ist und die Anfahrleistung noch etwas über derjenigen für trockene Schienen liegt.

Gegenwärtig lassen sich je Achse für Regelspur bei 1250 mm Treibraddurchmesser und 20 t Achsdruck bis etwa 800 kW für $16\frac{2}{3}$ Hz und etwa 600 kW für 50 Hz erreichen. Bei höherem Achsdruck bis zu etwa 1000 kW = 1360 PS für $16\frac{2}{3}$ Hz.

Leistungseinheit: 1 kW (Kilowatt) = 1000 Watt = 1,36 PS
0,736 kW = 736 Watt = 1 PS

Arbeitsverbrauch am Stromabnehmer von elektrischen Lokomotiven der Deutschen Bundesbahn:

	auf Steigung	$0 \div 10$ ‰	25 ‰
Schnell- und Eilzüge	$25 \div 30$ Wh/tkm		bis 55 Wh/tkm
Personenzüge	$30 \div 40$ Wh/tkm		bis 65 Wh/tkm
Durchgehende Güterzüge	$15 \div 20$ Wh/tkm		bis 50 Wh/tkm
Nahgüterzüge	$20 \div 30$ Wh/tkm		bis 55 Wh/tkm

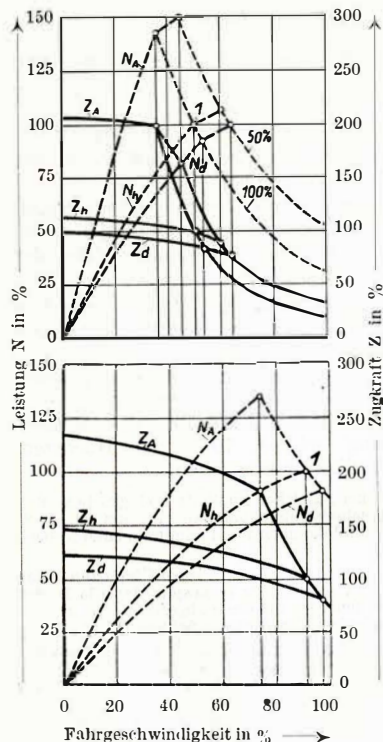


Bild 203

Gleichstrom

Erregung in %
1 = Stundenpunkt bei 100 % Erregung

Wechselstrom

1 = Stundenpunkt

Bild 204

Leistungs- und Zugkraftvergleich zwischen Gleichstrom- und Wechselstromfahrzeugen, auf gleichen Stundenpunkt bezogen

N_d	Dauerleistung	Z_d	Dauerzugkraft
N_h	Stundenleistung	Z_h	Stundenzugkraft
N_A	Anfahrleistung	Z_A	Anfahrzugkraft

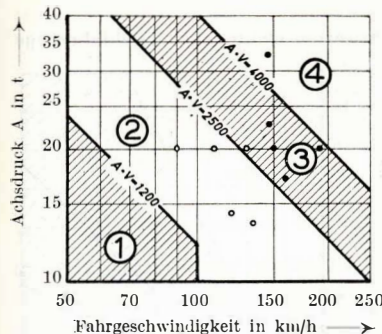


Bild 205

Anwendungsgebiete der verschiedenen Kraftübertragungsmöglichkeiten bei elektrischen Triebfahrzeugen

Nach Kother in „Elektr. Bahnen“ 1941, Ergänzungsheft S. 100.

Die Kraftübertragung vom Motor zur Treibachse

erfolgt beim elektrischen Triebfahrzeug vorwiegend in Form des *Einzelachs-antriebes*, und zwar durch

Hohlwelle mit Federkupplung (insbesondere „Federtopf“-Antrieb)
Hohlwelle mit Gelenkstangenkupplung

} Antrieb erhöht tote Last nicht

Tatzenlagermotor. Dieser bringt durch den auf der Achswelle lagernden Anteil des Motorgewichts eine Erhöhung der Toten Last mit sich. Bei Verwendung des Tatzenlagermotors wird daher in USA der Achsdruk auf 80 % des sonst zugelassenen Wertes beschränkt.

Beim Schleudern verringert sich das Drehmoment entsprechend der Motor-kennlinie, es muß dann die Steuerung auf Null gelegt und erneut angefahren werden.

Stangenantrieb ist an neueren Lokomotiven nur noch verhältnismäßig selten anzutreffen. Antrieb über Blindwelle. Größte Neigung der Treibstange möglichst nicht über 1:5. Raddurchmesser bei Stangenantrieb nach S. 133.

Über die üblichen Anwendungsbereiche der verschiedenen Kraftübertra-gungsarten siehe obiges Bild 205.

Gewichts- und Leistungsangaben für das Entwerfen elektrischer Triebfahrzeuge

Nach Kother in „Elektrische Bahnen“, 1941, Ergänzungsheft S. 100/101.

Siehe auch Bild 197: „Leistungsgewicht des Fahrmotors“ auf Seite 258.

Bild 206

Antriebsleistung als Stundenleistung in kW je t Leergewicht von Triebwagen plus Anhänger

- 1 Leichtbautriebwagen
- 2 Triebwagen normaler Bauart
- Wechselstrom
- Gleichstrom

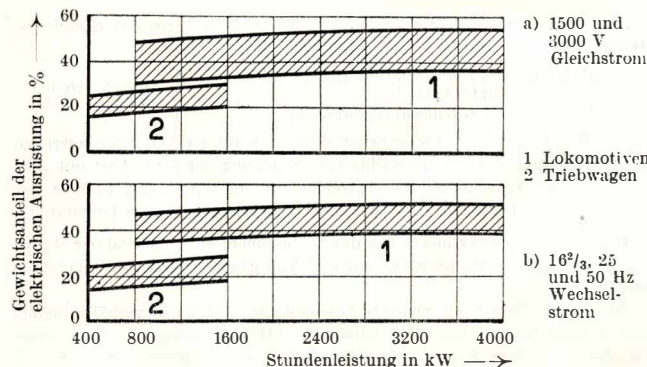
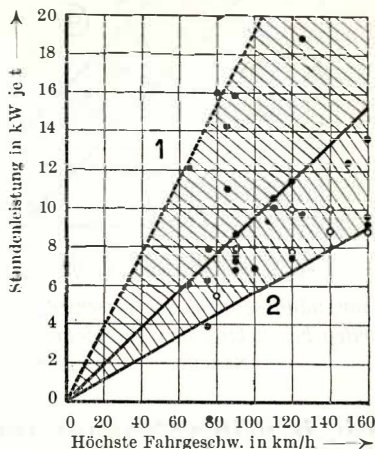


Bild 207. Gewichtsanteil der gesamten elektrischen Ausrüstung am Gesamtgewicht des Triebfahrzeuges in %

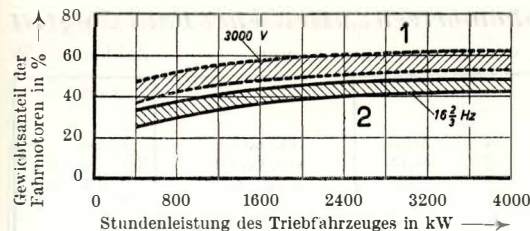


Bild 208

Gewichtsanteil der Fahrmotoren am Gesamtgewicht der elektrischen Ausrüstung

Kurvenband 1 für 3000 V-Gleichstrom } Triebwagen bis etwa 1600 kW
Kurvenband 2 für 16 2/3 Hz-Wechselstrom } Lokomotiven von etwa 1600 kW an

Über **elektrische Speicherfahrzeuge** s. u. a. Wilke in „Die Bundesbahn“ 1952, Seite 351.

Ein **Vergleich zwischen elektrischer Lokomotive und Dampflokomotive** setzt einwandfreie Vergleichsgrundlagen voraus:

Gleiches Reibungsgewicht, gleichen Verwendungsbereich und etwa gleiche Leistungen.

Der Dauerleistung der elektrischen Lokomotive entspricht die Leistung der Dampflokomotive bei üblicher Heizflächenbelastung (vergl. S. 106), der Anfahrleistung der elektrischen Lokomotive kann eine erhöhte Heizflächenbelastung gegenübergestellt werden.

Eine derartige Untersuchung ist auf Seite 270 durchgeführt. Die Überlegenheit der elektrischen Lokomotive bei Dauerleistung ist durch Schrauf hervorgehoben. Bei Anfahrleistung bzw. vorübergehender Höchstleistung erscheinen zwar Dampflokomotive und elektrische Lokomotive im wesentlichen gleichwertig, doch dürfte sich dies im praktischen Betrieb kaum auswirken. Kurzzeitigen Leistungserhöhungen kann der Dampfkessel nicht schnell genug folgen, erhöhte Stromentnahme ist jedoch ohne Zeitverlust möglich. Tatsächlich zeigt sich demnach die elektrische Lokomotive bei jeder Fahrgeschwindigkeit mehr oder weniger im Vorteil. Das kommt insbesondere in ihrem guten Beschleunigungsvermögen zum Ausdruck und ist u. a. durch das geringere Eigengewicht bedingt.

Ungefähre Wirtschaftlichkeitszahlen der Kolbendampflokomotive, bezogen auf 100 % der elektrischen Lokomotive: Erhaltungskosten 150÷250 %, Personalbedarf 200÷300 %, Stückzahlbedarf 150÷300 %, Beschaffungskosten je PS 85÷90 %.

Größte Laufleistungen für deutsche Verhältnisse bei der elektrischen Lokomotive etwa 18÷27 000 km/Monat, bei der Dampflokomotive etwa 12÷24 000 km/Monat.

Zu Seite 266

Elektr. Lokomotiven mit Henschel-Fahrzeugteil

Elektrischer Teil von SSW oder AEG oder BBC

Zahlentafel 38

Lfd. Nr.	Type bzw. Reihe	Spur mm	Achsdruk t	Achsanordnung	Eigentümer bzw. Verwendungszweck	Laufwerk		
						Treibrad- durchmesser mm	Fester Achstand mm	Gesamt- Achstand mm
1	E 44	1435	20	B ₀ 'B ₀ '	Deutsche Bundesbahn	1250	3500	9800
2	E 10	1435	20,5	B ₀ 'B ₀ '	Deutsche Bundesbahn	1250	3300	11300
3	E 05	1435	20	1'C ₀ 1'	Deutsche Reichsbahn	1400	5800	11400
4	E 19	1435	20	1'D ₀ 1'	Deutsche Bundesbahn	1600	7200	12800
5	—	900	15	B ₀	Typisierte Tagebaulokomotiven für Braunkohlen- gruben	900	2500	2500
6	—	900	15	B ₀ 'B ₀ '		950	1700	8200
7	El 4	900	18,8	B ₀ 'B ₀ '		950	2000	9360
8	El 10	900	20	B ₀ B ₀ B ₀		950	2600 3000	14800
9	El 2	1435	20,3	B ₀ 'B ₀ '		1250	2800	9900
10	El 3	1435	25	B ₀ B ₀ B ₀		1050	2700 3000	3400 16200
11	El 1	1435	25	B ₀ 'B ₀ ' + B ₀ 'B ₀ '		1120	3000	10000
12	1E	1067	17	B ₀ 'B ₀ '	Südafrikan. Staatsbahn	1220	2800	9400
13	—	1435	20	B ₀ 'B ₀ '	Chile Exploration Co.	1000	2000	6900
14	—	1435	21,3	B ₀ 'B ₀ '	Kohlenbahn in Japan	1100	2800	11200
15	—	1435	15	B ₀ 'B ₀ '	Schieferminen und Kohlengruben in der Mandschurei	1250	2700	11100
16	—	1435	20	B ₀ 'B ₀ '		1250	2700	11100
17	—	1435	21,3	B ₀ 'B ₀ '		1250	2700	11100
18	—	1676	20,3	C ₀ 'C ₀ '	Chilenische Staatsbahn	1100	4500	11900
19	Speicherlok. m. Oberleitg.	1435	10,5	B ₀ 'B ₀ '	Kraftwerk Borken (Hessen)	900	2200	6500
20	Speicherlok.	1435	15	B ₀	SSW Nürnberg	950	2700	2700

Alle aufgeführten Lokomotiven (außer lfd. Nr. 4) werden durch Tatzelbergmotoren angetrieben.

Gl. = Gleichstrom W = Wechselstrom

Typenskizzen auf Seite 392 Lichtbilder auf Seite 373-375

Gewichte		Elektr. Teil		Zugkraft		Fahr- geschwindigkeit		kl. Krümmungs- halbmesser	Bemerkungen
Reibungs- gewicht t	Dienst- gewicht t	Stromart	Spannung V	Stunden- leistung PS	bei Stunden- leistung kg	größte kg	bei Stunden- leistung km/h	höchste km/h	
80	80	W	15000	2700	13000	20400	56	80	Rahmen geschweißt
82	82	W	15000	4500	6750	27300	130	130	100
60	90	W	15000	2730	8200	13500	90	130	180
80	114	W	15000	5500	8300	22000	180	180	180
30	30	Gl	1200	240	4400	8550	15	25	35
60	60	Gl	1200	1000	12700	14300	21	40	45
75	75	Gl	1200	1000	12000	17000	25	50	80
120	120	Gl	1200	1500	15500	36000	25	50	100
80- 100	80- 100	Gl	1200	1550	18000	20000- 25000	25	50	80
150	150	Gl	1200	2100	22000	45000	25	60	100
2x 100	2x 100	W	6000	4000	32000	80000	26	75	100
68	68	Gl	3000	1416	11200	20000	33	72	80
80	80	Gl	600	760	12500	21000	15,5	30	80
85	85	Gl	1200	1300	14600	10000	23,5	50	100
60	60	Gl	750 1500	1000	9750	16000	26	55	100
80	80	Gl	750	1300	12730	19000	27	55	100
85	85	Gl	540	1300	12600	22000	26,5	55	100
122	122	Gl	1200	1300	24000	40000	30	70	100
42	42	Gl	1200	600	5800	10000	25	50	50
30	30	Gl	300	130	4750	7000	7	25	50

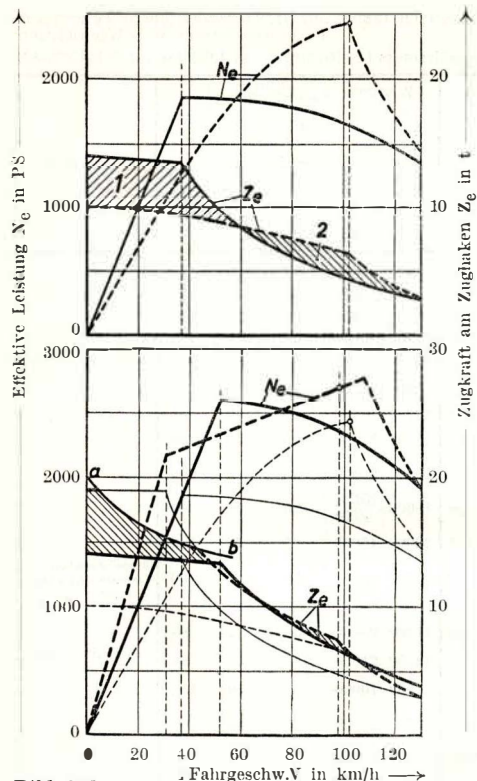


Bild 209

Vergleich zwischen elektrischer Lokomotive und Dampflokomotive bei 60 t Reibungsgewicht

- 2'C1'-Heißdampf-Zwillings-Schnellzuglokomotive Reihe 01 der Deutschen Bundesbahn
- - - - - elektrische 1'Col'-Wechselstrom-Schnellzuglokomotive Reihe E 04 der Deutschen Bundesbahn

a) Vergleich bei üblicher Dauerleistung

Dampflok:
übliche Heiz-
flächenbelastung

Elektr. Lok:
Stundenleistung

Fläche 1
Überlegenheit der
Dampflok.

Fläche 2
Überlegenheit der
elektr. Lok.

b) Vergleich bei vorübergehender Höchstleistung

Dampflok:
erhöhte Heiz-
flächenbelastung

Elektr. Lok:
Anfahrleistung

Linie a—b:
Physikalische
Reibungsgrenze

Die Überlegenheit
der elektr. Loko-
motive ist durch
Schräffur hervor-
gehoben.

Die Motorzugförderung mit Verbrennungsmotor

weist folgende *Vorzüge* auf:

Ständige Betriebsbereitschaft

geringes Gewicht des mitzuführenden Brennstoffes
einfache Behandlungsanlagen für die Fahrzeuge (Brennstoff
wird durch Pumpen übernommen)

hoher thermischer Wirkungsgrad des Motors

Wegfall des Bereitschaftsverbrauches (für Verschiebedienst
u. U. ausschlaggebend!)

Ermöglichung größter Schleppleistungen. Es können beliebig
viele Lokomotiveinheiten hintereinandergespeist und
von einer Hand gesteuert werden. Schlepplast nur durch
die Zugvorrichtung begrenzt

fast unbeschränkter Fahrbereich, da keine Auffrischungs-
arbeiten (Entschlacken usw.) erforderlich.

Ihre *Nachteile* sind

fehlende Überlastbarkeit des Motors

Unfähigkeit des Motors, unter Last anzulaufen

hohe Brennstoffkosten

hohe Beschaffungskosten für größere Einheiten

Besonderer Kessel für die Zugheizung von Lokomotivzügen,
da anderweitig kein Dampf verfügbar.

Der Verbrennungsmotor

kennzeichnet sich dadurch, daß die Verbrennung *im* Arbeitsraum
stattfindet: Internal combustion engine (im Gegensatz zur Dampf-
maschine: External combustion engine).

Motorensysteme

1. Ottomotor

Sowohl als reiner Gasmotor wie als Vergasermotor. Beim Vergasermotor
wird Brennstoff im Vergaser oder auch im Verdampfer in gasförmigen Zustand
übergeführt. Das zündfertige Gas-Luft-Gemisch wird in den Arbeitszylinder
(Brennraum), eingeführt, verdichtet und durch Fremdzündung (elektrischen
Funken) zur Verbrennung gebracht.

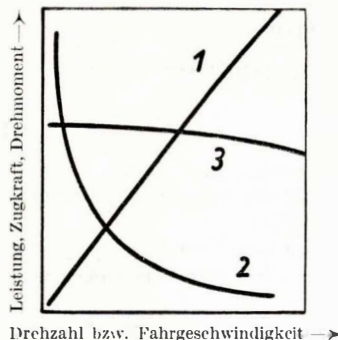


Bild 210
Die Kennlinien des
Verbrennungsmotors
ohne Aufladung

- 1 Leistung
- 2 Zugkraft
- 3 Drehmoment

Drehzahl bzw. Fahrgeschwindigkeit →

2. Dieselmotor

Getrennte Einführung von Brennstoff und Luft, Verdichtung reiner Luft, Einführung des Brennstoffes am Ende des Verdichtungshubes, Zündung durch Verdichtungswärme der Luft.

3. Glühkopfmotor [Übergangsform zwischen 1. und 2.]

Getrennte Einführung von Brennstoff und Luft, Gemischbereitung im Arbeitsraum, Verdichtung des Gemisches, Wandzündung (Zylinderwandung durch strahlende Wärme des Glühkopfes erhitzt).

Arbeitsverfahren: 1. Zweitakt
2. Viertakt.

Zweitakt kommt für *Ottomotoren* größerer Leistung kaum in Betracht, da hohe Spülverluste und Zündgefahr.

Beim *Dieselmotor* ist das Zweitaktverfahren konstruktiv einfacher. Es kommt daher für größere Leistungseinheiten billiger, setzt aber wegen des doppelten Durchsatzes den Motor einer erhöhten thermischen Beanspruchung aus (nachteilig für Dichtung und Schmierung!).

Anlassen des Motors

ist unter Last nicht möglich, kann nur im Leerlauf erfolgen. Große Motoren müssen vorgewärmt sein, ehe sie anspringen können.

- Anlassen (= Andrehen) 1. durch Druckluft. Nachteil: Die sich beim Anströmen ausdehnende Luft bringt an Stelle der erwünschten Erwärmung Abkühlung mit sich.
- 2. durch andere Hilfsmittel, insbesondere elektrischen Anlasser.

Brennstoffzuführung

Beim Vergasermotor sind an einen Vergaser bis zu 6 Arbeitszylinder angeschlossen.

Beim Dieselmotor hat zumeist jeder Zylinder seine eigene Brennstoffpumpe, die einzelnen Pumpen sind allerdings in einem Gehäuse zusammengefaßt

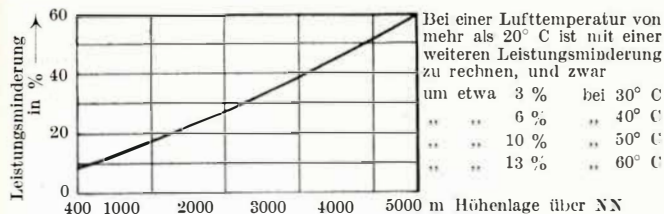


Bild 211

Leistungsabfall von Fahrzeug-Dieselmotoren ohne Aufladung (in Höhenlagen und bei max. 20° C Lufttemperatur) Nach M A N

Vgl. ATZ 1938, Heft 7 und 13, ferner Zinner in MTZ 1950, Heft 13.

Regelung des Verbrennungsmotors (Drehzahländerung)

- 1. quantitativ durch Drosseln des zugeführten Gemisches (nur beim Vergasermotor!).
- 2. qualitativ durch „Abmagerung“ des Gemisches, d. h. Änderung des Mischungsverhältnisses (kommt für alle Motorenarten in Betracht, wird beim Diesel ausschließlich angewendet).

Verdichtungsdrücke und Temperaturen

- 6–12 atü beim Vergasermotor
- 12–20 atü beim Mitteldruckmotor, insbesondere dem Glühkopfmotor
- 20–35 atü beim Dieselmotor

Verbrennungstemperatur je nach Belastung bis 2000°C, Abgastemperatur beim Diesel 600°C

Kühlwassertemperatur in offenen Kühlmittelkreisläufen nicht über 90° C (unter Druck oder bei anderen Kühlmitteln höhere Temperaturen)

Thermischer Wirkungsgrad

- bis etwa 25 % beim Ottomotor für Lokomotivbetrieb
- 35–37 % beim Dieselmotor für Volland

Kühlung verursacht Wärmeverlust bis etwa 40 % beim Ottomotor, bis etwa 35 % beim Dieselmotor (Kühlung zur Schonung der Bauteile unvermeidlich).

Drehzahl des Motors etwa 500–3000 U/min (vergl. S. 283).

Motorleistung bis etwa 100 PS je Zylinder (vergl. Seite 283). Leistung verringert sich mit abnehmendem Druck der äußeren Atmosphäre, d. h. mit zunehmender Höhenlage über Meeresspiegel (Bild 211).

Bei Wechselmotoren (Umstellung von Diesel auf Gas) etwa 20–40 % Leistungsverlust.

Durch Aufladung Leistungserhöhung um 20–50 %, kurzzeitig bis 100 %. Aufladung zumeist durch Abgas-Turbine, die mittels Gebläse die Ladeluft vorverdichtet und damit den Kolben bezgl. Verdichtungsarbeit entlastet. (BBC-Büchi-Aufladegruppe = Abgasturbine + Turbogebälse).

Brennstoffverbrauch beim Dieselmotor etwa 160–200 g/PS_h, beim Ottomotor etwa 240–260 g/PS_h bei Volland, über 300 g bei Teillast. Leihlauf-Verbrauch bei $n_{max} \sim 1/4 - 1/5$ des Volland-Verbrauches, bei n_{min} etwa $1/10$.

Motoren-Brennstoffe

1. feste Kohlenstaub. — Kohlenstaubmotoren bisher nur für Versuchszwecke, da außerordentlich hoher Verschleiß von Kolben und Zylinderwandungen (Schmirgelwirkung des Brennstaubes). —
2. flüssige

Benzin, Spiritus Benzol, Petroleum Gasöl, Dieselöl höhere Erdöldestillate höhere Braunkohlenteeröldestillate	}	nur für Ottomotoren Schwebrennstoffe, nur für Dieselmotoren
--	---	--
3. gasförmige

Generatorgas Sumpfgas Reichgas	}	für Ottomotoren und Wechselmotoren (= umgestellte Dieselmotoren)
--------------------------------------	---	---

Klopffeste Ottobrennstoffe sind solche, die bei der gegebenen Verdichtung keine Selbstzündungen (Frühzündungen) befürchten lassen.

Als Kraftübertragung

zwischen Motor und Treibachse dient ein *Drehmomentwandler*. Er muß zwischengeschaltet werden, damit trotz der konstanten Motordrehzahl eine für den Eisenbahnbetrieb geeignete Zugkraftkurve entwickelt werden kann.

Für den Verbrennungsmotor ohne Aufladung gilt

$$M_d = 716,2 \frac{N}{n} = \text{const} \quad \text{in mkg}$$

für den Fahrzeugmotor überdies

$$M_d = \frac{D}{2 i \eta} \cdot Z = \frac{2,65}{\eta} \cdot \frac{V}{n} \cdot Z = \text{const} \quad \text{in mkg}$$

$$N = \frac{ZV}{\eta \cdot 270} \quad \text{in PS}$$

$$n = 5,31 \frac{1}{D} V \quad \text{in U/min}$$

Hierbei ist

- N = Motorleistung in PS
- M_d = Motordrehmoment in mkg
- n = Drehzahl des Motors in U/min
- D = Treibraddurchmesser in m
- i = Übersetzung zwischen Motorwelle und Treibrad
- η = Wirkungsgrad der Kraftübertragung
- Z = Zugkraft am Radumfang in kg
- V = Fahrgeschwindigkeit in km/h.

Als Kraftübertragungsarten für den Zugbetrieb kommen in Betracht

1. die mechanische
2. die hydraulische
3. die elektrische
4. Kombinationen obiger Punkte 1÷3

Über die mit den Kraftübertragungsarten 1÷3 erzielten Wirkungsgrade siehe Bild 215/17.

Druckluftübertragung, bei der der Motor einen Luftverdichter antreibt und die Druckluft ähnlich dem Dampf der Dampflokomotive in Zylindern arbeitet, hat sich bisher — gesamtwirtschaftlich betrachtet — nicht bewährt.

Unmittelbarer Antrieb (ohne zwischengeschalteten Drehmomentwandler) ist bisher über das Versuchsstadium nicht hinausgekommen.

1. Die *mechanische Kraftübertragung* mit Zahnradstufengetriebe hat den Vorteil hohen Wirkungsgrades (etwa 92–96 %), unterteilt aber die Zugkraftlinie in einzelne *Stufen*, so daß die eingebaute Motorleistung nur an der oberen Schaltgrenze voll ausgenutzt wird. Die Leistungskurve verläuft sägeförmig. Beim Schalten, d. h. dem Übergang von einer Schaltstufe zur anderen, wird die Zugkraft unterbrochen (Z = 0). Vereinzelte Sondergetriebe vermeiden diese Unterbrechung (Vorwähler-Getriebe, Überholungskupplungen).

Die obere Grenze, bis zu welcher die mechanische Kraftübertragung sowohl technisch wie wirtschaftlich mit Erfolg angewendet werden kann, liegt bei etwa 300÷400 PS Leistung.

2. Die *hydraulische Kraftübertragung* zeichnet sich durch geringes Baugewicht aus. Es werden fast ausschließlich *hydrodynamische Getriebe nach dem Föttinger-Prinzip* angewendet (Bild 212).

Ein derartiges Getriebe bezeichnet man als „Wandler“, wenn es das von der Antriebswelle eingeleitete Drehmoment entsprechend der gewünschten Drehzahl der Abtriebswelle ändert. Das Drehmoment der Abtriebswelle sinkt mit steigender Drehzahl (Bild 213), die Zugkraft verläuft in einer für Bahnbetrieb geeigneten Linie.

Haben Antriebs- und Abtriebswelle annähernd gleiche Drehzahl, findet also keine hydraulische Drehmomentenwandlung statt, so liegt eine „*Kupplung*“ vor. Sie entspricht in ihrer Wirkung der Schaltstufe beim mechanischen Getriebe. Die Zugkraft bleibt trotz Veränderung der Drehzahl bzw. der Fahrgeschwindigkeit konstant.

Durch Hintereinanderschalten von Wandlern und Kupplungen lassen sich die jeweils günstigsten Zugkraftlinien verwirklichen. Beim Übergang vom Wandler zur Kupplung bzw. umgekehrt weist die Zugkraftkurve einen Knick auf, ebenso beim Übergang zwischen zwei Wandlern. Hintereinandergeschaltete Kupplungen ergeben Zugkraftstufen, wie sie vom mechanischen Stufengetriebe her bekannt sind. Einen nachgeschalteten Wandler bezeichnet man im Gegensatz zu dem für die Anfahrperiode maßgebenden als „*Marschwandler*“.

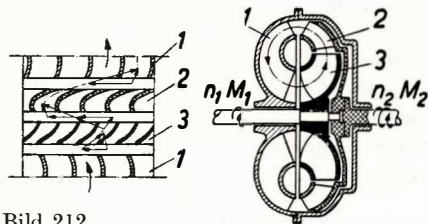


Bild 212

Schema eines hydraulischen Wandlers nach dem Föttinger-Prinzip

Nach MTZ 1940, S. 165

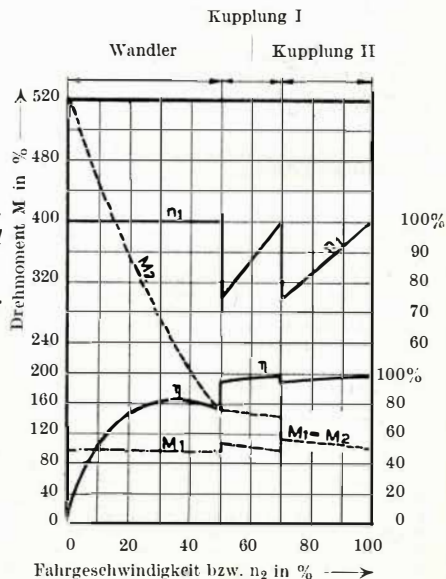
Bild 213

Kennlinien eines hydrodynamischen Getriebes (Turbogetriebes) mit 3 Kreisläufen (1 Wandler und 2 Kupplungen)

Nach MTZ 1940, S. 167

n_1 Primärdrehzahl
 n_2 Sekundärdrehzahl
 M_1 Primär-Drehmoment
 M_2 Sekundär-Drehmoment
 η Wirkungsgrad

$$n_1 \cdot M_1 = n_2 \cdot M_2$$



Wirkungsgrade (vergl. Bild 213 und 215/17):

Wandler $0 \div 76$ % je nach der Drehzahl
 Marschwandler $70 \div 85$ % je nach der Drehzahl
 Kupplung $90 \div 96$ % je nach der Drehzahl

Das hydrodynamische Getriebe ist *nicht umsteuerbar*, es bedarf daher für den Fahrtrichtungswechsel der Ergänzung durch ein mechanisches Wendegetriebe.

3. Die elektrische Kraftübertragung ermöglicht beste Annäherung an einen stetigen Zugkraftverlauf, sie erfordert aber hohes Baugewicht und ist im Wirkungsgrad ungünstiger als die mechanische oder zumeist auch die hydraulische Kraftübertragung.

Wirkungsgrad $0 \div 80$ % je nach der Drehzahl bzw. der Fahrgeschwindigkeit.

Der mit dem Verbrennungsmotor elastisch gekuppelte Generator erzeugt Gleichstrom von vorzugsweise 600 Volt Spannung. Er ist als Compound-Generator (Doppelschluß-Generator) zumeist mit zusätzlicher Fremderregung durch Hilfsreglermaschine ausgebildet.

Die mangelnde Übereinstimmung zwischen den Kennlinien des Verbrennungsmotors und des Generators führt im Bereich der Überschneidung (AB, s. unten, Bild 214) zu einer Überlastung des Motors, daher langsamer Lauf des Motors („Drehzahlrückung“), verringerte Motorleistung, geringere Stromerzeugung. Bei Generatorleistungen, die die Motorleistung nicht übersteigen, tritt diese Erscheinung nicht auf.

Für die elektrische Steuerung sind verschiedene Systeme entwickelt worden.

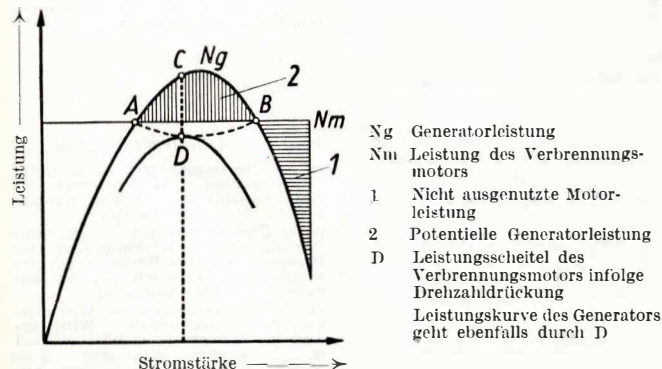


Bild 214. Leistungsaufnahme des Generators

Nach „Elektr. Bahnen“ 1934, S. 240

Kennlinien verschiedener Kraftübertragungsarten

Nach ZVDI 1935, S. 1286

- a Mechanisches Stufengetriebe
- b Hydrodynamisches Getriebe (Wandler + Kupplung)
- c Elektrische Kraftübertragung

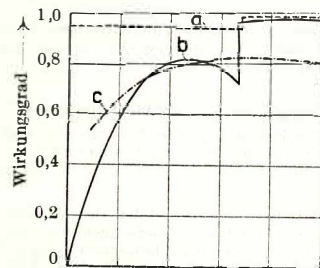
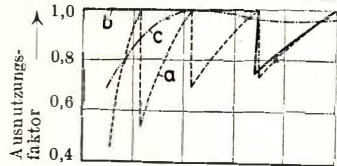


Bild 215. Wirkungsgrad

Bild 21 6. *Ausnutzungsfaktor*

= Verhältnis der von einem Getriebe gemäß seiner Eigenart aufgenommenen Primärleistung zur Volleistung des Verbrennungsmotors

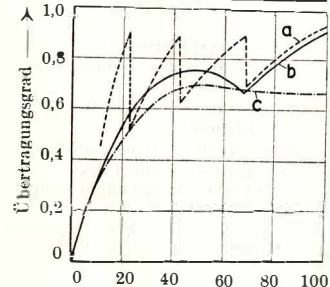


Bild 217. Übertragungsgrad

Zu a) Übertragungsgrad = Getriebe-
Wirkungsgrad $\times$ Wirkungsgrad des
Wendeachsantriebes (einschl. Kardan-
welle) $\times$ Ausnutzungsfaktor.

Zu b) Übertragungsgrad = Getriebe-
Wirkungsgrad $\times$ Wirkungsgrad der
Hochübersetzung $\times$ Wirkungsgrad des
Wendechasantriebes (einschl. Kardan-
welle) $\times$ Ausnutzungsfaktor.

Zu c) Übertragungsgrad = Wirkungsgrad des Stromerzeugers $\times$ Wirkungsgrad des Bahnmotors $\times$ Wirkungsgrad des Vorgeleges des Bahnmotors $\times$ Ausnutzungsfaktor $\times$ Gewichtsfaktor (Gewichtsfaktor zur Berücksichtigung des höheren Gewichts der elektrischen Kraftübertragung im Vergleich zur mechanischen und hydraulischen).

Fahrgeschwindigkeit
in % der Höchstgeschw. —→

Die amerikanische Diesellokomotive für Vollbahnen

arbeitet vorwiegend mit elektrischer Kraftübertragung. Es gibt Einheits-
typen für vorzugsweise 600, 1000, 1500 und 2000, (neuerdings 800, 1200, 1500
und 2250) PS Leistung entwickelt worden. Höhere Leistungen werden durch
Zusammenkuppeln verschiedener Einheiten zu einer geschlossenen, von einer
Hand zu steuernden Gruppe erzielt. Den jeweiligen Betriebsverhältnissen
(Schnellzug-, Personenzug-, Güterzugdienst) werden die Lokomotiven durch
entsprechende Wahl des Übersetzungsverhältnisses für die Zahnräder angepaßt,
die zwischen Fahrmotor (Elektromotor) und Treibachse geschaltet sind (Bild 218).

Die amerikanische Vollbahn-Diesellokomotive ist ohne Rücksicht auf historischen Ballast durchtypisiert. Diese Vereinheitlichung dürfte das Vordringen der Motorzugförderung in USA entscheidend beeinflußt haben.

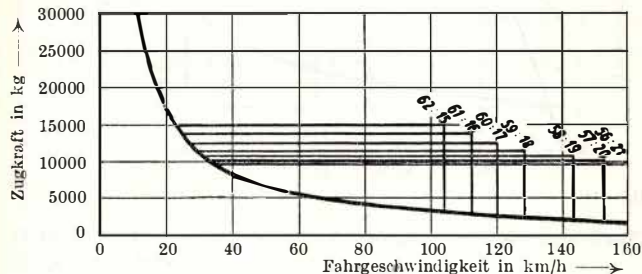


Bild 218. Zugkraft einer Diesel-elektrischen 1500PS-Lokomotive für Güter- und Schnellzugdienst mit verschiedenen Übersetzungen zwischen Fahrmotor und Antriebswelle

Nach MTZ 1949, Beiheft 1, S. 22

Die Gasturbinenlokomotive

zeigt gegenüber der Diesellokomotive folgende

Vorteile: Einfachen Aufbau der Gasturbine — keine störenden Bewegungen — vor-
ausichtlich geringere Unterhaltungskosten — geringen Schmieröl-
verbrauch — Verwendung billiger Brennstoffe (Heizöl, Kohlen-
staub) — voraussichtlich geringeren Kapitalaufwand — Wegfall des
Kühlers

Nachteile: Ungünstigeren thermischen Wirkungsgrad und hohen Leerlauf-Verbrauch (etwa 30 % der Vollast) — daher hohen spezifischen Treibstoff-Verbrauch und höhere Treibstoffkosten trotz des an sich geringeren Treibstoffpreises — Hilfsdieselmotor zum Anlassen — Anfälligkeit der Turbinenschaufeln gegenüber den heißen Gasen (Kühlung!) — störendes Auspuffgeräusch — Vorwärmen des dickflüssigen Treibstoffes, daher erhöhte Lager- und Bevorratungskosten.

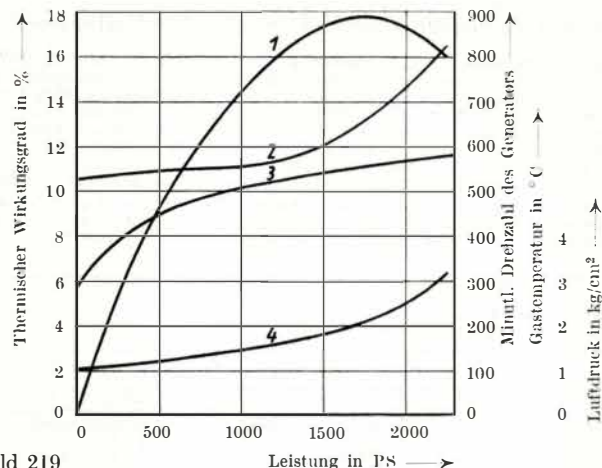


Bild 219

Schaulinien für die Gasturbine der BBC-Lokomotive der SBB
Nach MTZ 1942, S. 476

- 1 Thermischer Wirkungsgrad, bezogen auf die Generatorkupplung
- 2 Drehzahl des Generators
- 3 Temperatur der Gase am Eintritt in die Turbine
- 4 Luftdruck, gemessen am Druckstutzen des Gebläses.

Die Wirkungsweise der Gasturbinenanlage am Beispiel der BBC-Lokomotive der Schweizerischen Bundesbahnen (nach Steiner in MTZ 1942, S. 474. — Vergl. nebenstehendes Bild):

Das als Treibmittel verwendete Gas entsteht in der Brennkammer 3 durch Verbrennung von billigem Heizöl unter Zufuhr von Heißluft, die teils als Verbrennungsluft dem Verbrennungsvorgang den nötigen Sauerstoff liefert, teils dem Luft-Gas-Gemisch zur Herabsetzung der Temperatur beigemischt wird. Hierzu verdichtet der von der Gasturbine 4 angetriebene Luftverdichter 1 die angesaugte atmosphärische Luft auf etwa 3 atü und fördert sie über den Luftvorwärmer 2 in die druckfeste Brennkammer. Das in der Brennkammer erzeugte

Verbrennungsgas-Luft-Gemisch von 550—600° C gibt seine Arbeitswärme durch Entspannung an die Laufräder bzw. die Welle der Turbine als Drehmoment ab, das der Stromerzeugungsgruppe 6 über ein Reduktionsgetriebe 5 zugeleitet wird. Beim Arbeiten des Gasgemisches sinkt dessen Temperatur auf etwa 350° C. Die Abgase werden zum Vorwärmen der Arbeitsluft benutzt, bevor sie mit etwa 250° C ins Freie entweichen.

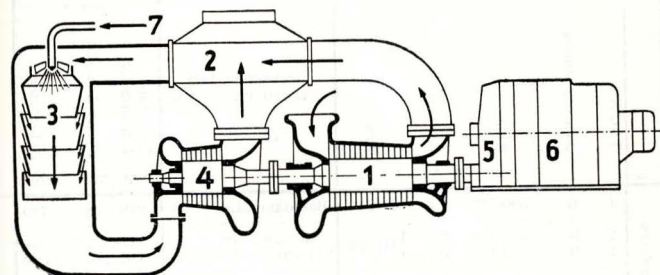


Bild 220. Gasturbinen-Anlage

- | | | |
|---------------------------------|---------------|----------------------|
| 1 Luftverdichter | 3 Brennkammer | 5 Reduktionsgetriebe |
| 2 Luftvorwärmer | 4 Gasturbine | 6 Generatorgruppe |
| 7 Brennstoff-(Heizöl-)Zuleitung | | |

Bis Mitte 1952 waren folgende Gasturbinenlokomotiven entwickelt:

1. (1A) Bo (A 1)-Lokomotive der Schweizerischen Bundesbahnen, fertiggestellt 1941, Erbauer: Brown, Boveri & Comp., Baden/Schweiz. — Elektrische Kraftübertragung, Höchstgeschwindigkeit 110 km/h, Dienstgewicht 92 t, Dauerleistung an der Turbinenwelle 2200 PS, Drehzahl der Turbine 4800 ÷ 5200 U/min.
2. (A 1 A) (A 1 A)-Lokomotive der British Railways, Western Region, fertiggestellt 1949, Erbauer: Brown, Boveri & Comp., Baden/Schweiz. — Elektrische Kraftübertragung, Höchstgeschwindigkeit 145 km/h, Dienstgewicht 115 t, Dauerleistung an der Turbinenwelle 2500 PS, Drehzahl der Turbine 5300 U/min.
3. (Bo Bo) (Bo Bo)-Lokomotive der Union Pacific Railroad USA, fertiggestellt 1949, Erbauer: Alco-General Electric. — Elektrische Kraftübertragung, Höchstgeschwindigkeit 127 km/h, Dienstgewicht 227 t, Dauerleistung an der Turbinenwelle 4800 PS, Drehzahl der Turbine 6700 U/min. — Zehn Lokomotiven wurden nachbestellt.

Fortsetzung auf Seite 284

HENSEHEL-Motorlokomotiven

Dieselmotor

von Henschel bei Nr. 1—15,
von Gebr. Sulzer A.G., Winterthur bei Nr. 17—20 und 22
von Motoren-Werke Mannheim bei Nr. 16 und 21
von Kämpfer-Motoren AG, Berlin-Marienfelde bei Nr. 23

Zahlentafel 39

	Lfd. Nr.	Achsanordnung	Spur mm	Achsdruk t	Type	Eigentümer bzw. Verwendungszweck	Laufwerk		
							Treibrad- durchmesser mm	Fester Achsstand mm	Gesamt- achsstand mm
Typisierte Henschel-Motorlokomotiven	1	B	500-760	1,6	DG 13	Baulokomotive	380	780	780
	2	B	550-760	2,7	DG 26	Baulokomotive	380	890	890
	3	B	1435	3,1		Verschlebelokomotive	550	1500	1500
	4	B	600-760	3,5-5,0	DG 39	Baulokomotive	500	1000	1000
	5	B	800-1000	4,0-5,0		"	500	1150	1150
	6	B	1435	5,0		Verschlebelokomotive	550	1500	1500
	7	B	1435	7,5	DG 65R	Verschlebelokomotive	850	2500	2500
	8	B	1435	8	DH 110	Verschlebelokomotive	850	2500	2500
	9	B	1435	14	DH 200		1150	2800	2800
	10	C	1435	13,5	DH 360	Versch.- u. Streckenlok.	1150	4000	4000
	11	D	1435	14	DH 550		1150	4200	4200
	12	D	1435	16	DH 800		1150	4200	4200
	13	B	1435	8	DEL 80	Verschlebelokomotive	850	2500	2500
Sonstigen Typen	14	B	1435	11	DEL 110	"	850	2500	2500
	15	B ₀	1435	15	DEL 150	"	950	3000	3000
	16	C ₀	1435	13,5	DEL 220	"	950	3670	3670
	17	B ₀ B ₀	1000	12	Siamesische Staatsb. Rosario (Argentinien)		914	2400	9300
	18	B ₀ B ₀	1676	14,4			914	2500	7900
	19	A1A A1A	1000	10,9			914	3000	10400
	20	A1A A1A	1000	12	Siamesische Staatsb.		914	3000	10800
	21	C	1435	15		"	1150	4000	4000
	22	D ₀ 1 D ₀	1435	19	Ägyptische Staatsb.		1350	5400	26000
	23	B ₀	1435	16	Rumänische Staatsb.		1000	3000	3000

Antrieb der Treibachsen durch Ketten bei Nr. 1—7, 13—16 und 21
durch Stangen über Blindwelle bei Nr. 8—12
durch Tatznenlagermotoren bei Nr. 17—20, 22 und 23
hydrodynamische Turbogetriebe System Voith

Typenskizze auf Seite 406 — Bilder auf S. 376, 377, 405 und 406

Gewicht		Dieselmotor		Kraftübertragung						Höchst- geschwindigkeit km/h	Größte Zugkraft kg	Kleinst. Krümmungs- halbmesser m	Bemer- kungen	
Reibungsgewicht t	Dienstgewicht t	Dauerleistung PS	Drehzahl bei Dauerleistung U/min.	Art	Gangzahl	Geschwindig- keit im								
						1. Gang	2. Gang	3. Gang	4. Gang					
										km/h	kg	m		
3,2	3,2	15	1000	mech.	4	3	5	8	13	13	750	8		
5,4	5,4	30	1000	..	4	3	5	8	15	15	1 350	10		
6,2	6,2	30	1000	..	4	3	5,5	9	17	17	1 500	30		
7-10	7-10	39	1300	..	4	3	6	12	18	18	2 400	12		
8-10	8-10	39	1300	..	4	3	6	12	18	18	2 400	12		
10	10	39	1300	..	4	3,5	6,6	12,7	20	20	2 350	30		
15	15	70	1100	..	4	5	10	15	30	30	2 650	50	Einheitsbau art der DB	
16	16	110	1250	hydr.	—	—	—	—	—	25	5 000	50		Voith- Turbo- getriebe
28	28	200	1200	..	—	—	—	—	—	30/60	8 800	50		
40	40	360	600	..	—	—	—	—	—	30/60	13 500	80		
56	56	550	600	..	—	—	—	—	—	30/60	18 500	100		
64	64	800	1400	..	—	—	—	—	—	40/80	21 000	100		
16	16	80	1200	elektr.	—	—	—	—	—	30	4 400	50	Elektr. Aus- rüstung SSW	
22	22	110	1300	..	—	—	—	—	—	30	6 300	50		
30	30	150	1400	..	—	—	—	—	—	30	8 500	80		
40	40	220	1000	..	—	—	—	—	—	30	11 800	100		
48	48	735	850	elektr.	—	—	—	—	—	65	10 000	100	Oerlikon Elektr. Ausrüstung	
57,5	57,5	330	700	..	—	—	—	—	—	45	14 000	50		
43,3	60,3	450	700	..	—	—	—	—	—	60	9 400	150		
48	64	960	850	hydr.	—	—	—	—	—	65	14 000	150		
45	45	380	600	hydr.	—	—	—	—	—	25/50	14 100	80		
148	230	2 × 2200	700	elektr.	—	—	—	—	—	100	36 000	200	BBC	
32	32	100	1200	..	—	—	—	—	—	20	5500	60	SSW	

4. (Co)(Co)-Lokomotive der *British Railways*, Western Region, fertiggestellt 1950, Erbauer: Brown, Boveri & Comp., Baden/Schweiz und Metropolitan-Vickers Electrical Co. Ltd. — Elektrische Kraftübertragung, Höchstgeschwindigkeit 145 km/h, Dienstgewicht 120 t, Dauerleistung an der Turbinenwelle 3500 PS, Drehzahl der Turbine 7000 U/min.
5. BoBoBoBo-Lokomotive, USA, fertiggestellt 1950, Erbauer: Westinghouse. — Elektrische Kraftübertragung, Höchstgeschwindigkeit 160 km/h, Dienstgewicht 208 t, Dauerleistung an der Turbinenwelle 4000 PS, Drehzahl der Turbine 8750 U/min.
6. (Bo)(Bo)-Lokomotive, Frankreich, fertiggestellt 1951, Erbauer: Régie Nationale des Usines Renault. — Mechanische Kraftübertragung, Achsantrieb über Gelenkwellen. Freikolben-Verdichter. Höchstgeschwindigkeit 125 km/h, Dienstgewicht 54 t, Dauerleistung an der Turbinenwelle 1000 PS, Drehzahl der Turbine 12000 U/min.

Die Kohlenstaubturbine

läßt gegenüber der mit Öl betriebenen Gasturbine *höhere Wirtschaftlichkeit* erwarten entsprechend den geringeren Brennstoffkosten.

Spezifische Brennstoffkosten

Nach Giger in „Schweiz. Bauzeitung“ 1949-II. S. 487

Zahlentafel 40

Lokomotiv-Bauart	Gesamt-Wirkungs-grad	Unterer Heizwert kcal/kg	Brennstoffkosten 1948	
			je t s	je 1000 PS _e s
Klassische Dampf-lokomotive	7 ÷ 10	7 500	4,5	5,50
Dieselelektrische Lokomotive	27	10 800	18,6	4,25
Gasturbinenlokomotive Öl	21	9 800	12,2	3,65
Gasturbinenlokomotive Kohle	20	7 500	4,5	1,91

Mit der Entwicklung von kohlenstaubgefeuerten Gasturbinen-Lokomotiven befaßt sich in USA das „Locomotive Development Committee“ der „Bituminous Coal Research Inc“. Es wurden (bis Ende 1951) Aufträge auf zwei verschiedene Lokomotiven erteilt: Eine Lokomotive mit 4200 PS an der Turbinenwelle bei rd. 700° Gastemperatur und 5700 U/min wird von der Allis Chalmers Manufacturing Co., Milwaukee, entwickelt; die zweite Lokomotive von rd. 3750 PS von der Elliot Co., Jannette, Pennsylvania.

In England wird ebenfalls an der Entwicklung einer kohlengefeuerten Gasturbo-Lokomotive gearbeitet: (Co)(Co)-Lokomotive mit mechanischer Kraftübertragung, Achsantrieb über Gelenkwellen. — Zwei Geschwindigkeitsstufen: Höchstgeschwindigkeiten 80 und 120 km/h. Dienstgewicht 117 t, Dauerleistung an der Turbinenwelle 1800 PS. — Voraussichtlicher Wärmewirkungsgrad bei Vollast 19%, bei Halblast 16%, bei Zehntellast 10%.

Zahlentafeln

Maße und Gewichte (Englische Maße s. Zahlentafel S. 304/5)

1. Längen-Maße

Zahlentafel 41

A. Metrische:

Die Einheit bildet das Meter (m), d. i. der zehnmillionste Teil eines Erdmeridianquadranten, des kürzesten Bogens von einem Pol zum Äquator.

$$1 \text{ m} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$$

$\frac{1}{10} \text{ m} = 1 \text{ Dezimeter (dm)}$	$10 \text{ m} = 1 \text{ Dekameter}$
$\frac{1}{10} \text{ dm} = 1 \text{ Zentimeter (cm)}$	$100 \text{ m} = 1 \text{ Hektometer}$
$\frac{1}{10} \text{ cm} = 1 \text{ Millimeter (mm)}$	$1000 \text{ m} = 1 \text{ Kilometer}$

B. Nicht metrische:

- 1 neue geographische Meile = 7420 m
- 1 preußische Meile = 7532 m
- 1 preußische Elle = 25,5 Zoll = 0,67 m
- 1,5 preußische Elle = 3,19 preußische Fuß = 3,28 englische Fuß = 1 m
- 1 preußischer Fuß = 12 Zoll = 144 Linien = 0,314 m
- 1 bayerischer Fuß = 12 Zoll = 0,29186 m
- 1 englische Meile (Statute mile) = 1760 yards = 1609,32 m
- 1 englischer yard = 3 feet zu 12 inches = 91,4 cm
- 1 englischer Zoll = 2,54 cm
- 1 Welt-Seemeile = 1853,18 m (1 Seemeile/h = 1 Knoten)
- 1 französische Seeline = 3 Seemeilen = 5,565 km
- 1 Äquatorgrad = 15 geographische Meilen = 111,306 km
- 1 Meridiangrad im Durchschnitt = 60 Seemeilen = 111,206 km
- 1 russische Werst = 1500 Arschinen = 500 Sascheln = 1066,80 m
- 1 russische Sascheln = 7 Fuß zu 12 Zoll = 2,133 m
- 1 dänische Meile = 7,532 km
- 1 norwegische Meile = 18000 norwegische Ellen = 11,295 km
- 1 schwedische Neumeile = 10 km

2. Flächen-Maße

Die Einheiten bilden das Quadratmeter, das Quadratzentimeter und das Quadratmillimeter.

- 1 □-Kilometer (km²) = 100 ha = 10 000 a = 1 000 000 m²
- 1 Hektar (ha) = 100 a = 0,01 km² = 10 000 m² = 3,916 preußische Morgen
- 1 Ar (a) = 0,0001 km² = 0,01 ha = 100 m²
- 1 □-Meter = 0,000001 km² = 0,0001 ha = 0,01 a = 10 000 cm²
- 1 cm² = 100 mm²
- 1 preußische □-Rute = 14,185 m²
- 1 preußischer □-Fuß = 0,0985 m²
- 1 preußischer □-Zoll = 6,849 cm²
- 1 bayerisches Tagwerk = 400 □-Ruten = 34,07 a
- 1 preußischer Morgen = 180 □-Ruten = 25,53 a
- 1 sächsischer Acker = 55,34 a = 5534 m²
- 1 Scheffel = 26 a

1 geographische □-Meile = 55,06 km²
 1 deutsche □-Meile = 56,25 km²
 1 engl. Acre = 160 Square Rods = 40,468 a
 1 österreichisches Joch = 400 □-Ruten = 57,554 a
 1 russische □-Werst = 1,138 km²
 1 USA. Acre = 4840 sq. Yards = 40,47 a

3. Körper-Maße

Die Einheiten bilden das Kubikmeter, das Kubikzentimeter und das Kubikmillimeter.

1 Kubikmeter = 1000000 Kubikzentimeter (das Kubikmeter wird auch Festmeter bzw. Raummeter genannt)

1 Klafter = 108 Kubikfuß = 0,338 m³

4. Hohl-Maße

Die Einheit bildet das Liter (l); dasselbe enthält den Raum von 1000 Kubikzentimetern oder 1 Kubikdezimeter.

1 Kubikmeter = 10 Hektoliter (hl) = 1000 l

1 hl = 1,819 preußischer Scheffel = 87,3 Quart = 100 l

1 preußischer Scheffel = 16 Metzen = 48 Quart = 54,96 l

1 Tonne (Schiffsmaß) = 4 Scheffel = 2,198 hl

1 Oxhoft = 1,5 Ohm = 3 Eimer = 6 Anker = 180 Quart = 206,1 l

5. Gewichte

Deutschland

Die Einheit bildet das Gramm. Das Gramm ist das Gewicht eines Kubikzentimeters destillierten Wassers im luftleeren Raume bei 3,4° R; mithin ist 1 kg das Gewicht eines Liters Wasser.

1 t (Tonne) = 1000 kg

1 kg = 1000 g

1 g = 1000 mg (Milligramm)

1 dz (Doppelzentner) = 100 kg

1 hg (Hektogramm) = 100 g

1 Ztr. (Zentner) = 100 Pfd. (Pfund)

1 Pfd. = 30 Lot = 300 Quentchen = 500 g

1 Karat = etwa 205 mg

1 Unze = etwa 31,1 g

Amerika u. England

siehe Zahlentafel S. 304/5

Indien

1 Md (Mound)

= 82 lbs. = 37,195 kg

Rußland: 1 Pud = 40 Pfd. je 32 Lot je 3 Solotnik = 16,380 kg

6. Leistungseinheiten

1 PS = 75 mkg/sec = 736 Watt = 0,1757 kcal/sec

1 Watt = 1 Voltampère = $\frac{1}{736}$ PS = 0,102 mkg/sec = 0,24 cal/sec

1 Kilowatt = 1000 Watt = 1,36 PS = 0,24 kcal/sec ~ 102 mkg/sec

1 englische bzw. amerikanische Pferdestärke (HP) = 1,014 PS = 76,04 mkg/sec

7. Arbeitseinheiten

1 Wattsekunde = 1 Joule = 0,102 mkg

1 Wattstunde = 367 mkg = 3600 Joule

1 Kilowattstunde = 1,36 PS-Stunde = 860 kcal ~ 367 000 mkg

8. Französische Einheit für den Kesseldruck

(nur im Dampfkesselwesen gebräuchlich)

1 hpz (hectopièce) = 100 pièces = 1,02 kg/cm²

1 pièce = 1 stène/m² = 102 kg/m²

Spezifische Gewichte, Volumina und Schmelzpunkte

Zahlentafel 42

Gegenstand	Spez. Gewicht	Spez. Volumen	Schmelzpunkt
Aluminium	2,6	0,385	657°
Anthrazit	1,4 ÷ 1,7	0,725	
Antimon	6,7	0,150	430°
Arsen	5,7	0,176	
Asbest	2,1 ÷ 2,8	0,48 ÷ 0,36	
Asbestpappe	1,2	0,832	
Asphalt	1,1 ÷ 1,5	0,91 ÷ 0,67	100°
Baumwolle lufttrocken	1,5	0,665	
Benzin	0,69 ÷ 0,71	1,45 ÷ 1,41	
Benzol	0,89	1,12	
Bernstein	1,0 ÷ 1,1	1,0 ÷ 0,91	
Beton.	1,8 ÷ 2,45	0,55 ÷ 0,41	
Blei	11,3	0,089	327°
Bleiweiß	6,7	0,149	
Braunkohle	1,2 ÷ 1,5	0,83 ÷ 0,67	
Bronze (mit 14 % Zinn)	8,9	0,113	900°
Chilesalpeter	2,26	0,442	
Deltametall	8,6	0,116	950°
Eis	0,88 ÷ 0,92	1,14 ÷ 1,09	
Erde lehmig	1,6 ÷ 2,0	0,63 ÷ 0,5	
mager, trocken	1,34	0,745	
Flußeisener	7,85	0,128	1350 ÷ 1450°
Flußstahl	7,86	0,127	1300 ÷ 1400°
Glas	2,4 ÷ 2,6	4,16 ÷ 3,85	800 ÷ 1400°
Glas (Kristallglas)	2,9 ÷ 3,0	3,45 ÷ 3,33	
Granit	2,51 ÷ 3,05	3,96 ÷ 3,28	
Graphit	1,9 ÷ 2,3	5,31 ÷ 4,35	
Gummi	1,0 ÷ 1,45	1 ÷ 0,690	
Gußeisen	7,25	0,138	1100 ÷ 1200°
Heizöl	0,9 ÷ 1,1	1,11 ÷ 0,91	
Holz, Eiche	0,69 ÷ 1,03	1,45 ÷ 0,97	
Fichte	0,35 ÷ 0,60	2,86 ÷ 1,67	
Kiefer	0,31 ÷ 0,76	3,22 ÷ 1,32	
Pitch-pine	0,83 ÷ 0,85	1,21 ÷ 1,18	
Tanne	0,35 ÷ 0,75	2,70 ÷ 1,33	
Kalk	0,9 ÷ 1,3	1,11 ÷ 0,77	
Kalksandstein	1,9	0,526	
Kalziumkarbid	2,26	0,443	
Koks	1,4	0,714	
Kork	0,24	4,17	
Kupfer	8,9 ÷ 9,0	0,112 ÷ 0,111	1084°
Leder	0,86 ÷ 1,0	1,16 ÷ 1,0	
Linoleum	1,15 ÷ 1,3	0,87 ÷ 0,77	
Magnesia	3,2	0,313	

Fortsetzung: *Spezifische Gewichte, Volumina und Schmelzpunkte*

Gegenstand	Spez. Gewicht	Spez. Volumen	Schmelzpunkt
Marmor	2,5 ÷ 2,85	0,4 ÷ 0,352	
Mehl lose	0,5	2,0	
zusammengepreßt	0,7 ÷ 0,8	1,42 ÷ 1,25	
Mennige	8,0 ÷ 9,1	0,116 ÷ 0,11	
Messing (32 % Zink)	8,7	0,115	900°
Mineralschmieröl	0,9 ÷ 0,93	1,11 ÷ 1,07	
Naphtha	0,76	1,32	
Papier	0,7 ÷ 1,15	1,43 ÷ 0,87	
Petroleum	0,79 ÷ 0,82	1,27 ÷ 1,22	
Phosphorbronze	8,8	0,114	980 ÷ 1000°
Porzellan	2,3 ÷ 2,5	0,435 ÷ 0,4	
Preßkohle (Brikett)	1,25	0,8	
Schamottesteine	1,85	0,540	
Schießpulver lose	0,9	1,11	
gestampft	1,75	0,572	
Schweißisen	7,8	0,128	1500 ÷ 1600°
Schweißstahl	7,86	0,127	1300 ÷ 1400°
Spiritus	0,81	1,235	
Stahl	7,86	0,127	1300 ÷ 1400°
Stahlguß	7,5	0,133	
Steinkohle	1,2 ÷ 1,5	0,83 ÷ 0,67	
Steinkohlenbriketts	1,25	0,8	
Torf	0,64 ÷ 0,84	1,56 ÷ 1,19	
Weißmetall	7,1	0,141	365°
Wismut	9,82	0,102	269°
Zement abgebunden	3,0	0,333	
gepulvert	1,9	0,525	
Ziegel	1,4 ÷ 1,6	0,715 ÷ 0,625	
Zink	6,86 ÷ 7,2	0,146 ÷ 0,139	419°
Zinn	7,2	0,139	232°
Zinnober	8,12	0,123	
Zucker	1,61	0,622	

Gewichte und Stauräume geschichteter Körper Zahlentafel 44

Ladung	Gewicht kg/m³	Stauraum m³/t
Äpfel	300	3,33
Asche	1420	0,7
Asphalt	1750	0,57
Basalt	2700 ÷ 3000	0,37 ÷ 0,33
Baumstämme, lose	435 ÷ 1000	2,3 ÷ 1
Baumwolle ungepreßt	208 ÷ 332	4,8 ÷ 3,1
gepreßt	385 ÷ 555	2,0 ÷ 1,8
Beton mit Ziegelbrocken	1800	0,55
mit Kalksteinbrocken	2000	0,5
mit Granitbrocken	2200	0,455
Brauneisenstein	3000	0,333
Braunkohle	650 ÷ 780	1,54 ÷ 1,28
Braunkohlenstaub	1000	1,0
Brennholz, Buche	400	2,5
Eiche	420	2,38
Fichte	320	3,12
Bruchsteine	2000	0,5
Briketts von Braunkohle	900 ÷ 1000	1,11 ÷ 1,0
von Steinkohle	1000 ÷ 1100	1,0 ÷ 0,9
Buchenholzscheite	400	2,5
Chorkalk	750	1,33
Eichenholzscheite	420	2,38
Eis	665	1,5
Eisenerz, mulmig	2000	0,5
Erde, Sand, Lehm, naß	2100	0,475
natürlich feucht	1600	0,625
getrocknet	1400	0,715
Fichtenholzscheite	320	3,12
Fleisch	285 ÷ 665	3,5 ÷ 1,5
Früchte (Äpfel, Birnen, Pflaumen)	300 ÷ 350	3,3 ÷ 2,83
Getreide, Gerste geschüttet	690	1,45
Hafer geschüttet	430	2,32
Roggen geschüttet	680 ÷ 790	1,47 ÷ 1,27
Weizen geschüttet	700 ÷ 800	1,43 ÷ 1,25
Granit	2700	0,37
Heu	100	10,0
Holz	300 ÷ 350	3,3 ÷ 2,85
Holzkohle	150 ÷ 220	6,7 ÷ 4,5
Kalk, gebrannt	1200 ÷ 1300	0,83 ÷ 0,77
Kalk- und Bruchsteine	2000	0,5
Kartoffeln	650 ÷ 700	1,54 ÷ 1,43
Kies, naß	2000	0,5
trocken	1700	0,58
Kohlen, schlesische	760 ÷ 800	1,31 ÷ 1,25
Saar	720 ÷ 800	1,39 ÷ 1,25
Ruhr	800 ÷ 860	1,25 ÷ 1,16
Koks	360 ÷ 530	2,77 ÷ 1,88
Kokasche	700	1,43
Lehmboden, naß	1900	0,52
trocken	1500	0,67
Malz	550	1,82

Abmessungen und Gewichte von Steinen

Zahlentafel 43

- 1 Normal-Backstein hat die Größe 25 × 12 × 6,5 cm (Reichsmaß).
 1 Vollstein (ohne Löcher) wiegt 2,25 bis 2,75 kg; 1 m³ hiervon, d. h.
 1 × 1 × 1 m dicht zusammengefügt, 1130 bis 1380 kg = rd. 500 Stück.
 1 Lochstein wiegt 2,0 bis 2,4 kg; 1 m³ 1000 bis 1200 kg = rd. 500 Stück.
 Pflastersteine werden im allgemeinen in folgenden Abmessungen verwendet:
 Basaltsteine 1 Stück 5 kg; 1 m³ = rd. 2600 kg = 520 Stück.
 Kupferschlackensteine 16 × 16 × 12 cm hoch: 1 Stück = 7,67 kg;
 1 m³ = rd. 2500 kg = 326 Stück.

Fortsetzung: Gewichte und Stauräume geschichteter Körper

Ladung	Gewicht kg/m ³	Stauraum m ³ /t
Mist	850	1,18
Mörtel	1700÷1800	0,59÷0,55
Preßkohle (Briketts)	1000÷1100	1,0÷0,9
Roheisen	6500÷7800	0,154÷0,128
Rüben	570÷650	1,75÷1,53
Salpeter	1000	1,0
Sand, Lehm, Erde, naß	2100	0,475
natürlich feucht	1600	0,625
getrocknet	1400	0,715
Schlacken und Koksasche	600	1,67
Schwefelkies	3380	0,295
Schwemmsteine	550	1,18
Steingeröll	1800	0,555
Steinsalz, gemahlen	1015	0,98
Stroh	80	12,5
Tonerde, naß	2000	0,5
trocken	1600	0,625
Torf, lufttrocken	325÷410	3,0÷2,45
feucht	550÷650	1,82÷1,54
Wasser	1000	1,0
Wasserkalk, gepulvert	550	1,82
Zement	1500	0,67
Ziegelsteine, gewöhnliche	1375÷1500	0,73÷0,67
Klinker	1600÷1800	0,62÷0,55
Zuckerrüben	800	1,25

Gewichte von zweiachsigen Kippwagen

Zahlentafel 45

	Spur mm	Inhalt m ³	Leergewicht kg	
			ohne Bremse	mit Bremse
Eiserne Muldenkipper	600	0,5	275	—
	600	0,75	390	490
	600	1,0	635	740
	600	1,25	700	810
	600	1,5	800	930
	750	0,75	400	490
	750	1,0	675	770
	750	1,25	720	830
	750	1,5	850	980
	750	1,5	850	980
Holzkastenskipper	600	1,0	630	730
	600	1,25	730	830
	750	1,5	950	1100
	750	2,0	1250	1450
	900	2,5	1430	1630
	900	3,0	1750	1980
	900	3,5	1900	2130
	900	4,0	2400	2650
	900	4,0	2400	2650
	900	4,0	2400	2650

Wärmemaße

Temperaturgrade

Réaumur = Celsius = Fahrenheit

Zahlentafel 46

R	°C	F	R	°C	F	R	°C	F	R	°C	F
-16	-20	-4	+40	+50	+122	+140	+175	+347	+640	+800	+1470
-12	-15	+5	44	55	131	144	180	356	680	850	1560
-8	-10	+14	48	60	140	148	185	365	720	900	1650
-4	-5	+23	52	65	149	152	190	374	760	950	1740
± 0	± 0	+32	56	70	158	156	195	383	800	1000	1830
+ 0,8	+ 1	+33,8	60	75	167	160	200	392	840	1050	1920
1,6	2	35,6	64	80	176	168	210	410	880	1100	2010
2,4	3	37,4	68	85	185	176	220	428	920	1150	2100
3,2	4	39,2	72	90	194	184	230	446	960	1200	2190
4,0	5	41,0	76	95	203	192	240	464	1000	1250	2280
4,8	6	42,8	80	100	212	200	250	482	1040	1300	2370
5,6	7	44,6	84	105	221	208	260	500	1080	1350	2460
6,4	8	46,4	88	110	230	216	270	518	1120	1400	2550
7,2	9	48,2	92	115	239	224	280	536	1160	1450	2640
8,0	10	50,0	96	120	248	232	290	554	1200	1500	2730
9,6	12	53,6	100	125	257	240	300	572	1240	1550	2820
11,2	14	57,2	104	130	266	248	310	590	1280	1600	2910
12,8	16	60,8	108	135	275	256	320	608	1320	1650	3000
14,4	18	64,4	112	140	284	264	330	626	1360	1700	3090
16	20	68	116	145	293	272	340	644	1400	1750	3180
20	25	77	120	150	302	280	350	662	1440	1800	3270
24	30	86	124	155	311	288	360	680	1480	1850	3360
28	35	95	128	160	320	296	370	698	1520	1900	3450
32	40	104	132	165	329	304	380	716	1560	1950	3540
36	45	113	136	170	338	312	390	734	1600	2000	3630

Glühfarben des Eisens

Zahlentafel 47

	Celsius °C	Réaumur °R	Fahrenheit °F
Im Dunkeln rotglühend	500	400	930
Dunkelrot	700	560	1290
Dunkelkirschrot	800	640	1470
Kirschrot	900	720	1650
Hellkirschrot	1000	800	1830
Dunkelorange	1100	880	2010
Helles Glühn	1150	920	2100
Hellorange	1200	960	2190
Weißglühend	1300	1040	2370
Starkes Weißglühn	1350	1080	2460
Schweißhitze	1400÷1500	1120÷1200	2550÷2730
Blendendweiß	über 1500	über 1200	über 2730

Hauptabmessungen von Personenzügen

Zahlentafel 48

Lfd. Nr.	Gattung	Achszahl	Sitzplätze ¹⁾		Länge über Puffer mm	Achsstand ²⁾ m	Eigen- gewicht t	Platz- gewicht kg	Bauart	
			Klasse							
										1.
Deutsche Bundesbahn										
1	B	12	38	—	13920	8,5	20,9	550	Einheits-Bauart	
2	BC	12	13	37	13920	8,5	20,2	405		
3	C	12	—	58	13920	8,5	20,0	345		
4	B 3	3	32	—	13080	7,5	20,0	625	preußisch	
5	BC 3	3	13	33	13460	7,5	21,3	463		
6	C 3	3	—	50	12640	7,5	19,3	385		
7	B 4	4	47	—	19200	12,25 + 2,15	37,5	795		
8	BC 4	4	26	32	18620	12,25 + 2,5	35,6	615		
9	C 4	4	—	76	19200	12,25 + 2,15	36,5	480	badisch	
10	BC 3	3	13	30	13730	8,9	21,6	503		
11	C 3	3	—	60	14500	9,1	21,4	358		
12	BL	2	34	—	11335	6,0	13,4	395	bayrisch für Lokal- bahnen	
13	BCL	2	12	16	8905	5,0	8,3	295		
14	CL	2	—	32	8905	5,0	8,3	260		
15	B 1	2	38	—	14040	8,5	20,5	540	Einheits- Bauart	
16	BC 1	2	15	34	13920	8,5	20,7	422		
17	C 1	2	—	58	13920	8,5	20,7	355		
18	BC 1	2	15	30	12955	6,2	14,8	330	Einheitsbauart f. Nebenbahnen	
19	C 1	2	—	56	12955	6,2	14,4	258		
20	BC 31	3	16	26	12800	7,5	19,5	445	preußisch	
21	C 31	3	—	48	11990	7,0	18,4	383		
22	B 31	3	30	—	13650	9,25	20,2	673		
23	BC 31	3	20	32	13960	9,25	20,4	392	bayrisch	
24	C 31	3	—	66	13650	9,25	19,5	295		
25	CI + CI	4	—	104	26600	20,5	41,8	402		würt. Vorort.
26	B 41	4	62	—	21700	14,04 + 3,0	37,3	600	Einheitsbauart für Eilzüge	
27	BC 41	4	23	51	20960	13,3 + 3,0	36,6	495		
28	C 41	4	—	84	20960	13,3 + 3,0	34,8	415		
29	AB 6ü	6	8	30	—	19950	13,5 + 3,6	48,3	preußisch	
30	ABC 6ü	6	4	18	24	19460	13,0 + 3,6	47,7		1037
31	C 6ü	6	—	64	19390	13,0 + 3,6	47,5	742		
32	BC 4ü	4	18	40	19770	13,0 + 3,5	44,1	761	bayrisch	
33	C 4ü	4	—	64	19175	12,5 + 3,5	40,5	632		
34	AB 4ü	4	8	36	—	21720	14,4 + 3,6	48,0	Einheitsbauart 1928	
35	C 4ü	4	—	80	21720	14,4 + 3,6	47,1	588		
36	B 4ü	4	46	—	20835	13,185 + 3,0	43,0	1008		
37	BC 4ü	4	24	41	21550	14,35 + 2,15	25,9	474	Einheitsbauart mit Mittelgang	
38	C 4ü	4	—	79	20860	13,2 + 3,0	33,5	450		

Lfd. Nr.	Gattung	Achszahl	Sitzplätze ¹⁾		Länge über Puffer mm	Achsstand ²⁾ m	Eigen- gewicht t	Platz- gewicht kg	Bauart	
			1.	2.						3.
Deutsche Bundesbahn										
39	AB 4ü	4	8	30	—	21825	14,66 + 3,0	43,2	Einheitsbauart 1939/42	
40	ABC 4ü	4	4	12	40	21250	14,25 + 3,0	42,3		
41	C 4ü	4	—	72	21270	14,27 + 3,0	42,3	588		
42	AB 4ü	4	12	48	—	26200	18,3 + 2,5	33,0	Finheitsbauart 1950	
43	C 4ü	4	—	88	26200	18,3 + 2,5	33,0	375		
44	BC 4ü	4	56	76 + 22	26200	18,3 + 2,5	33,0	215	Doppel- Stockwagen	
45	C 4ü	4	—	132 + 36	26200	18,3 + 2,5	33,0	198		
46	WL 4ü	4	22	—	23500	16,18 + 3,6	56,0	2550	Schlafwagen	
47	WL 4ü	4	—	36	21500	14,0 + 2,15	50,0	1385		
48	WR 4ü	4	42	—	23500	16,18 + 3,6	51,0	1215	Spisewagen	
Schmalspurige Durchgangswagen										
49	BC 4i	4	—	8	32	11400	6,0 + 1,4	12,6	1000-mm-Spur	
50	C 4i	4	—	40	11200	6,0 + 1,4	12,7	320		
51	C 4i	4	—	48	10970	6,04 + 1,1	9,9	205		
52	B 4	4	—	35	—	14460	9,0 + 1,3	15,5	750-mm-Spur	
53	BC 4	4	—	11	30	13710	8,1 + 1,3	11,4		280
54	C 4	4	—	34	13360	8,1 + 1,3	10,1	230		
55	C i	2	—	48	10930	—	7,18			
Schweizerische Bundesbahn, vollspurige D-Zug-Leichtstahlwagen										
56	AB 4ü	4	12	30	—	22700	16,4 + 2,7	29,0	Speisewagen	
57	B 4ü	4	—	48	—	22700	16,47 + 2,7	29,0		
58	BC 4ü	4	—	24	31	22700	16,47 + 2,7	28,0		
59	C 4ü	4	—	72	—	22700	17,0 + 2,7	28,0		
60	WR 4ü	4	—	33	—	22700	16,5 + 2,7	33,0		
Rhätische Bahn } meterspurige Leichtbau-D-Zug-Wagen Brünig-Bahn }										
61	AB 4ü	4	15	21	—	17630	12,83 + 2,0	16,0	445	
62	C 4ü	4	—	68	—	17630	12,83 + 2,0	15,0		Leichtstahl
63	WR 4ü	4	—	36	—	16440	11,2 + 1,7	27,0	750	
64	AB 4ü	4	11	23	—	16470	11,8 + 1,8	13,5		
65	C 4ü	4	—	68	—	16470	11,8 + 1,8	13,0		193
Leichtmetall										

¹⁾ Zwei Zahlen bedeuten: Feste Sitze + Klappsitze.
²⁾ Bei Drehgestellwagen: Drehzapfenabstand + Drehgestellsachsstand

¹⁾ Zwei Zahlen bedeuten: Feste Sitze + Klappsitze.

²⁾ Bei Drehgestellwagen: Drehzapfenabstand + Drehgestellachstand

Hauptabmessungen von Post-, Gepäck- und Güterwagen der Deutschen Bundesbahn

Regelspur für lfd. Nr. 1—67

Zahlentafel 49

295

Lfd. Nr.	Gattung	Achszahl	Bauart	Ladegewicht t	Tragfähigkeit, t	Ladefähige m	Ladefläche m ²	Rauminhalt m ³	Länge über Puffer 2)	Achs- stand 1) 2)	Eigengew. t	Ladungs- gewicht 2) 4)	Bem. 3)
1	Pw 3	3	Gepäckwagen	6	—	—	18,5	—	12 900	7,5	16,6	2770	} preußisch } Einheits- } Bauart
2	Pw 4	4	"	10	—	—	32	—	18 590	12 + 2,5	31,7	3170	
3	Pw i	2	"	7	—	—	23,5	—	13 920	8,5	20,0	2860	
4	Pw 4 ü	4	"	10	—	—	42,6	—	21 720	14,55 + 3,0	33,0	3300	
5	Pw Post i	2	Gepäck- u. Postwagen	5,7	—	—	—	—	10 250	6,0	12,6	2205	} preußisch } Einheits- } Bauart
6	Pw Post i	2	"	6	—	—	—	—	12 850	6,2	15,5	2580	
7	Pw Post 4 ü	4	"	10,5	—	—	—	—	22 470	15,45 + 3,6	36,6	3485	
8	Post	2	Postwagen	6	6,3	—	27	10 900	7,0	18,1	30,20	3020	
9	Post	2	"	11	13	—	30	12 400	7,7	14,4	14,10	1310	} Briefpost } Paketpost } Briefpost
10	Post 4	4	"	20	21	—	61	23 600	16,18 + 3,6	42,9	21,45	2145	
11	Post 4 ü	4	"	20	21	—	58,5	22 900	15,5 + 3,6	40,8	20,50	2050	
12	Post 4 ü	4	"	19	20	—	—	21 720	14,4 + 3,6	39,7	20,90	2090	
13	Pwg	2	Güterzug-Gepäckwag.	4	—	—	11,8	8 500	4,7	11,1	27,80	2520	} preußisch
14	Pwgs	2	"	5	—	—	12,3	10 300	6,0	12,6	25,20	—	
15	—	4	Heizkesselwagen	—	—	—	—	17 100	9,7 + 3,6	62,0	—	—	
16	G	2	Gedeckter Wagen	15	17,5	7,92	21,3	—	9300	4,5	13,9	925	} [A 2]
17	Gr	2	"	15	17,5	7,72	21,2	—	9 600	—	14,4	960	
18	Gl	2	"	15	17,5	10,72	28,8	—	9 100	4,5	14,5	965	
19	Gbh	2	"	15	17,5	10,72	22,9	—	9800	—	14,9	995	
20	Gmhs	2	"	20	21	8,62	23,5	—	12 100	7,0	15,4	1025	} [A 9] } Fährbootwagen
21	GGhs	4	"	15	15,75	15,52	41,6	—	12 800	7,0	15,8	1055	
									10 000	—	15,1	755	
									10 100	—	15,2	760	
									17 600	11,0 + 2,6	22,7	1530	

22	GGths	4	Gedeckter Wagen	51	53	16,48	44,5	—	18 000	12,0 + 2,0	22,9	450	} Leig.-Einheit
23	Gil	4	"	30	31,5	19,34	53,0	—	24 140	19,5	29,2	975	
24	Vh	2	Verschlag-(Vieh-)wag.	15	17,5	6,9	18,5	—	8 250	4,0	14,4	960	
25	V	2	"	15	17,5	7,75	21,3	—	8 550	—	14,8	985	
26	Ths	2	Universal-Kühlwagen	15	15,75	9,78	21,5	39	9 100	4,5	15,0	1000	} [A 8]
27	TThs	4	"	36	38	11,75	30,6	51,0	9 800	—	15,4	1025	
28	Tnths	2	Fleischkühlwagen	15	15,75	9,12	24,0	47	11 700	7,0	14,9	995	
29	Tnths	2	Seefischkühlwagen	15	15,75	10,08	28,5	58,5	11 700	7,0	12,7	845	
30	Tnths	2	Bierkühlwagen	16	16,8	9,05	23,8	58	11 700	7,0	15,0	940	} [A 7]
31	K	2	Klappdeckel-(Kalk-)wagen	15	17,5	5,295	14,9	—	6 600	3,0	9,5	635	
32	K	2	"	15	17,5	6,79	19,0	—	7 300	3,3	10,3	685	
33	Km	2	"	20	21	7,79	21,7	—	8 100	4,0	11,0	735	
34	Kmm	2	"	24	25	8,69	24,3	—	8 800	—	11,6	775	} für Getreide
35	KKt	4	"	54,5	56,4	10,7	—	78	9 100	6,0	10,7	535	
36	KKt	4	"	55,5	58,3	10,3	—	91	10 000	5,1	10,8	450	
37	KKt	4	"	55	56,5	10,7	—	90	12 700	8,1	23,6	435	
38	O	2	Offener Güterwagen	15	17,5	5,3	14,9	—	12 000	7,9	21,7	390	} für Koks
39	●	2	"	15	17,5	6,72	18,4	—	12 000	6,85 + 1,8	23,5	425	
40	Om	2	"	20	21	7,72	21,3	—	6 600	3,5	8,7	580	
41	Oml	2	"	20	21	10,0	26,5	—	7 300	—	9,2	615	
42	Omm	2	"	24,5	25,5	8,72	23,9	—	8 100	—	8,8	585	} [A 6]
43	Ommu	2	"	24,5	25,5	8,72	23,9	—	8 800	4,0	9,5	635	
									9 100	—	10,4	520	
									9 800	4,5	11,0	550	
									11 380	6,5	10,2	510	} [A 10]
									10 100	—	10,4	425	
									10 800	6,0	10,7	435	
									10 100	—	10,5	430	
									10 600	6,0	10,8	440	

1) Bei Drehgestellwagen: Drehzapfenabstand + Drehgestellachsstand.

2) Sind zwei Werte angegeben, so bezieht sich der erste auf den Wagen ohne, der zweite mit Handbremse.

3) In [...]: Musterblattnummer des Deutschen Staatsbahnwagenverbands. Wagen ohne diese oder die Angabe „preußisch“ usw. sind Einheitsbauarten. 4) Ladungsgewicht = Eigengewicht: Ladegewicht.

Lfd. Nr.	Gattung	Achszahl	Bauart	Ladegewicht t	Tragfähigkeit t	Ladefähigkeit m	Ladefläche m ²	Rauminhalt m ³	Länge über Fußer 2)	Achs- stand ¹⁾²⁾ m	Eigengew. ²⁾ t	Ladungs- gewicht ^{2) 3)} kg/t	Bem. ³⁾
40	Ommu	2	Offener Güterwagen	26,5	27,5	8,62	23,6	—	10000	6,0	8,8	333	
									10 100		9,35	353	
41	Ot	2	Offener Selbstentlader	16	16,8	—	—	—	8000	4,5	10,4	650	preußisch
									8200		10,8	675	
42	Otm	2	..	20	21	—	—	—	7600	4,5	10,7	535	preußisch
									7900		12,5	625	
43	Otmu	2	..	26	27	—	—	—	8200	4,5	13,0	500	
44	Oot	4	..	38	39	—	—	—	13822	9,0+1,8	18,4	485	bayrisch
45	Oot	4	..	59	60,8	—	—	75	10000	6,6	19,2	325	für Kohle
46	Oot	4	..	55,5	57,6	—	—	90	12000	6,6+2,05	22,4	405	für Koks
47	Ootz	4	..	55	57	—	—	33	10000	6,6	23,0	418	für Erz
48	Ok	2	Offener Kùbelwagen	26	27	—	—	36	7600	4,0	13,0	500	für Kohle
49	Ok	2	..	26	27	—	—	48	7600	4,0	13,1	505	für Koks
50	H	2	Schemelwagen	15	17,5	8,0	20,0	—	9300	4,5	9,4	625	[A5]
									10030		10,2	680	
51	R	2	Rungenwagen	15	17,5	10,12	27,0	—	11500	6,0	9,7	645	[A4]
									12200	6,5	10,5	700	
52	Rms	2	..	20	21	10,66	28,5	—	12100	8,0	12,3	615	
									12800		13,0	650	
53	Rmms	2	..	24,5	25,5	10,58	28,4	—	12000	8,0	10,3	420	
									12100		10,5	430	
54	Rbh	2	..	15	17,5	10,72	22,5	—	12800	7,0	11,5	765	Fùhrbootwagen
55	S	2	Schienenwagen	15	17,5	13,0	35,7	—	14400	8,0	10,6	705	[A11]
56	Sm	2	..	20	21	12,98	36,4	—	14000	8,0	11,0	550	
57	SS	4	..	35	36,75	15,06	41,4	—	17100	10,0+2,0	19,5	558	[A3]

58	SSI	4	Schienenwagen	40	40,5	18,08	49,7	—	20100	12,8+2,0	23,0	575	
59	SSys	4	..	50	52	8,8	27,7	—	10800	6,15+1,8	16,2	325	
60	SSyl	4	..	50	52	12,3	34,8	—	14200	9,3+1,8	20,0	400	
61	SSos	6	..	80	82	11,2	35,3	—	13200	7,2+3,0	22,3	280	
62	SSos	4	..	55	58	17,95	47,0	—	19500	12,8+2,0	22,0	400	
63	SSt	4	Tiefadewagen	38	38,1	13,8	41,4	—	15110	10,6+1,8	23,4	615	badisch
64	SSt	8	..	105	110	12,0	—	—	27724	19,0+4,5	47,5	450	
65	SSt	10	..	135	140	10,0	—	—	28738	18,5+6,0	55,3	410	
66	—	2	Kesselwagen	21	22,4	—	—	20	8800	4,5	9,6	455	
67	—	4	..	46	47,35	—	—	48	12400	6,6+2,0	16,65	360	
1000 mm Spur													
68	Pw Post 4	4	Gepäck- u. Postwagen	6	—	—	—	—	11400	6,0+1,4	12,5	2080	preußisch
69	Pw Post L	2	..	5	—	—	—	—	8180	4,4	6,0	1200	bayrisch
70	Pw Post	2	..	4	—	—	—	—	8430	5,0	6,75	1685	württ.
71	Gw L	2	Gedeckter Güterwag.	5	5,25	5,35	13,1	—	6580	2,7	4,4	880	bayrisch
72	Gw L	2	..	7,5	7,87	5,34	12,0	—	6650	2,7	4,4	585	bayrisch
73	G	3	..	15	15,75	7,43	18,6	—	8430	5,0	7,65	510	württ.
74	GGw	4	..	15	15,75	10,0	24,0	—	10900	6,5+1,4	11,1	745	preußisch
75	OWL	2	Offener Güterwagen	7,5	7,87	5,33	11,9	—	6200	2,7	3,7	495	bayrisch
76	O	2	..	10	10,5	6,0	14,4	—	7200	3,2	4,9	490	preußisch
77	O	2	..	15	15,75	6,4	15,0	—	7100	3,5	5,6	375	preußisch
78	O	3	..	15	15,75	7,43	18,8	—	8430	5,0	5,6	375	württ.
79	OOm	4	..	20	21	10,0	23,3	—	10670	6,4+1,3	9,1	455	preußisch
80	Ot	3	Offener Selbstentlader	15	15,75	—	—	—	6350	2,75	8,5	565	preußisch
81	HwL	2	Schemelwagen	7,5	7,87	4,0	9,2	—	4800	1,8	2,6	345	bayrisch
82	H	3	..	15	15,75	7,5	14,9	—	8420	5,0	5,9	395	württ.
83	RR	4	Rungenwagen	20	21	10,0	23,0	—	10840	6,4+1,2	8,5	425	preußisch
84	SSkw	4	Schienenwagen	20	21	10,0	25,0	—	10840	6,4+1,2	8,6	430	preußisch
85	—	2	Rollbock	15	15,75	—	—	—	—	1,2	1,5	100	württ.
86	—	4	Rollwagen	32	32	(6,5)	—	—	—	4,5+1,1	6,0	400	bayrisch
750 mm Spur													
87	Pw Post	2	Gepäck- u. Postwagen	6,5	—	—	—	—	8430	5,0	6,5	1000	württ.
88	G	2	Gedeckter Güterwag.	10	10,5	7,43	18,7	—	8420	5,0	6,6	660	württ.
89	O	3	Offener Güterwagen	15	15,75	7,43	18,7	—	8420	5,0	5,6	375	württ.
90	H	3	Schemelwagen	15	15,75	7,5	17,8	—	8430	5,0	7,3	485	württ.
91	—	2	Rollbock	15	15,75	—	—	—	—	1,1	1,5	100	württ.

Kennwerte von Eisenbahnzügen

Zahlentafel 50

Lfd. Nr.	Betriebsart	Zugart ¹⁾	Triebfahrzeug			Wagenzug ohne Lokomotive					
			Bauart und Gattung	Dienstgewicht t	Reibungsgewicht t	Leistung PS	Achszahl ²⁾	Zahl der Sitzplätze	Nutzgewicht ³⁾ t	Leergewicht t	Gew. des besetzten Zuges t
1 2 ⁸⁾ 3 ⁹⁾ 4 ¹⁰⁾ 5 6 ¹¹⁾ 7 ¹¹⁾ 8 9 10 11 12 13 ¹³⁾	Dampf	FS	2C1h2 03	175	53	1980	6 × 4 = 24	196	22	248	270
		"	2C3h3 61 ¹⁰⁰²	146	56	1450	4 × 4 = 16	219	20	124	144
		"	2D2h2 J	395	115	5300	10 × 4 = 40	520	39	551	500
		"	2Ch4 230 K	161	58	1650	6 × 10 = 60	301	22	102	123
		"	2C1h3 01 ¹⁰	196	60	2120	13 × 4 = 52	700	72	505	577
		"	2C1h3 01 ¹⁰	196	60	2120	12 × 4 = 48	1348 ³⁰⁾	105	395	500
		"	6Eh2 60 ¹⁰³	73	38	750	2 × 3 = 6	300	23	71	94
		"	2Ch4 S10 ¹	148	53	1500	7 × 4 = 28	380	38	230	268
		"	P8	130	51,5	1180	10 × 3 = 30	432	38	190	228
		"	1Ch2 T12	67	50	870	9 × 3 = 27	384	25	163	188
		"	1C1h2 64	75	45,5	950	7 × 2 = 14	315	24	106	130
		"	1Eh2 52 Kon	155	79	1520	2 × 75 = 150	—	650	750	1400
		"	1Eh3 44	185	95	1900	20 × 4 + 2 = 82	—	1200	400	1600
14 15 ¹⁴⁾ 16 ¹⁵⁾ 17 18 19 20	elektrisch	FS	1C01 E04	92	61,5	2700	6 × 4 = 24	196	22	248	270
		"	B0B0 Re 4/1	57	57	2350	8 × 4 = 32	470	30	220	250
		"	B0(2/0)B0Feh 4/6	54	40	1915	10 × 4 = 40	612	29	131	160
		"	1D01 E19	113	81	5050	13 × 4 = 52	700	72	505	577
		"	1C01 E04	92	61,5	2700	7 × 4 = 28	380	38	230	268
		"	P B0B0 E44	78	78	2500	10 × 3 = 30	432	38	190	228
		"	G C0C0 E94	118,5	118,5	4050	2 × 75 = 150	—	650	750	1400
21 ¹⁷⁾ 22	Diesel	FS	C0C0 + C0C0 Diesel-	290	290	4500	6 × 4 = 24	382	28	302	330
		"	C Diesel- V36 hydraul.	42	42	360	3 × 4 = 12	213	15	60	75
23 ¹²⁾ 24 25 ¹⁸⁾ 26 ¹⁹⁾	elektrisch	E	Triebw. u. Steuerw.	90	50	300	2 × 4 = 8	143	12	28	40
		E	Triebw. u. Steuerw.	120	45	975	3 × 4 = 12	229	18	120	138
		V	sechst. Ganzzug	262	193	2400	6 × 4 = 24	404 ²¹⁾	80	262	342
		N	Speicher-Doppelw.	70	25	200	2 × 3 = 6	88	11	70	81
27 28 29	Diesel	FS	dreiteil. Schnell-	168	56	1200	4 × 4 = 16	132	12	168	180
		"	triebwagen								
		"	Triebw. u. Steuerw.	63	32	420	2 × 4 = 8	132	12	63	75
		"	Schienenomnibus	11	5,5	110	2	53	4	11	15

Vollständiger Zug (Lokomotive + Wagen)							Fußnoten
Gesamtgewicht brutto t	Größte Geschwindigkeit km/h	Spezifisches Zuggewicht ⁴⁾ t/t	Leistung je Gewichtseinheit ⁵⁾ PS/t	Leistung je Beförderungseinheit ⁶⁾ t/t	Zugleistung je Gewicht je Sitzplatz ⁷⁾ t/t		
445	130	8,4	4,45	10,1	1,265	¹⁾ FS = Fernschnellzug S = Schnellzug E = Eilzug P = Personenzug V = Vorortzug N = Nebenbahnzug G = Güterzug. ²⁾ Einschl. Triebwagen-, Gepäck-, Speise- und Schlafwagenachsen. ³⁾ Bei Personenzug: Personengew. + Gepäck. ⁴⁾ spez. Zuggewicht = Gesamtgew. (brutto) / Reibungsgewicht ⁵⁾ Leistung je Gewichtseinheit = Leistung / Gesamtgewicht (brutto) ⁶⁾ Leistung je Beförderungseinheit = Leistung / Nutzgewicht ⁷⁾ Bei lfd. Nr. 12, 13 u. 20: Zugleergewicht je t Nutzgewicht. ⁸⁾ Henschel-Wegmann-Stromlinienzug. ⁹⁾ „Powhatan arrow“ der Norfolk- und Westbahn (USA) ¹⁰⁾ Gummibereifter Zug, Bauart Michelin (Frankreich) ¹¹⁾ Mit Doppelstockwagen. ¹²⁾ Ehemals Lübeck-Büchener Eisenbahn. ¹³⁾ Großgüterwagenzug. ¹⁴⁾ Leichtstahlzug (Schweiz). ¹⁵⁾ Leichtmetallzug der meterspurigen Brünigbahn (Schweiz). ¹⁶⁾ Obere Zahlen: Reibungstrecke, untere Zahlen: Zahnradstrecke (1:8,4). ¹⁷⁾ „Blue bird“ der Wabash-Eisenb. (USA). ¹⁸⁾ Hamburger Stadtbahn. ¹⁹⁾ Gleichstrom. ²⁰⁾ Zuzüglich 296 Stehplätze. ²¹⁾ Zuzüglich 656 Stehplätze.	
290	175	5,18	5,0	6,62	0,566		
985	130	8,55	5,48	10,2	1,06		
284	120	4,9	5,8	5,48	0,339		
773	120	12,9	2,75	3,03	0,721		
696	120	11,6	3,05	1,57	0,293		
167	120	4,4	4,5	2,5	0,237		
416	120	7,85	3,6	3,95	0,605		
358	90	6,95	3,3	2,73	0,44		
255	80	5,1	3,41	2,26	0,425		
205	60	4,5	4,63	3,02	0,336		
1555	60	19,7	0,98	2,34	1,155		
1785	60	18,8	1,06	1,58	0,333		
362	130	5,89	7,45	13,8	1,265	⁶⁾ Leistung je Beförderungseinheit = Leistung / Nutzgewicht ⁷⁾ Bei lfd. Nr. 12, 13 u. 20: Zugleergewicht je t Nutzgewicht. ⁸⁾ Henschel-Wegmann-Stromlinienzug. ⁹⁾ „Powhatan arrow“ der Norfolk- und Westbahn (USA) ¹⁰⁾ Gummibereifter Zug, Bauart Michelin (Frankreich) ¹¹⁾ Mit Doppelstockwagen. ¹²⁾ Ehemals Lübeck-Büchener Eisenbahn. ¹³⁾ Großgüterwagenzug. ¹⁴⁾ Leichtstahlzug (Schweiz). ¹⁵⁾ Leichtmetallzug der meterspurigen Brünigbahn (Schweiz). ¹⁶⁾ Obere Zahlen: Reibungstrecke, untere Zahlen: Zahnradstrecke (1:8,4). ¹⁷⁾ „Blue bird“ der Wabash-Eisenb. (USA). ¹⁸⁾ Hamburger Stadtbahn. ¹⁹⁾ Gleichstrom. ²⁰⁾ Zuzüglich 296 Stehplätze. ²¹⁾ Zuzüglich 656 Stehplätze.	
307	125	5,39	7,65	5,0	0,468		
214	75	5,35	5,68	1,99	0,214		
102	33	2,55	19,2	11,45	0,232		
690	120	8,52	7,32	7,21	0,721		
360	130	5,85	7,5	7,1	0,605		
306	90	3,92	8,18	5,78	0,44		
1519	60	12,8	2,66	6,23	1,15		
620	180	2,14	11,8	5,9	0,786		
117	60	2,79	3,08	1,69	0,282		
130	110	2,6	2,3	2,1	0,196		
138	120	3,07	7,06	4,25	0,524		
342	80	1,77	7,02	5,95	0,649		
81	60	3,24	2,47	2,27	0,795		
180	160	3,22	6,66	9,1	1,272		
75	100	2,34	5,6	3,18	0,477		
15	60	2,73	7,33	2,08	0,208		

Werkstoff-Beanspruchungen

nach „Hütte“, Des Ingenieurs Taschenbuch, 27. Auflage, I. Band.
Seite 771, Berlin 1949, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn.

Zulässige Nennspannungen für Werkstoffe des Maschinenbaues

- σ_F = Spannung an der Fließ- oder Streckgrenze
 σ_B = Zugfestigkeit bei ruhender Last
 σ_{bB} = Biegezugfestigkeit bei ruhender Last
 σ_{bW} = Wechsel- bzw. Schwingfestigkeit gegenüber Biegebeanspruchung
 τ_{tW} = Wechsel- bzw. Schwingfestigkeit gegenüber Torsionsbeanspruchung

Zahlentafel 51

Werkstoffe	St 37.11	St 50.11	Stg 45.81	Ge 14.91	Ge 26.91	Stlul- min ^{b)}	Duralu- min ^{b)}
Festigkeitswerte (Mindestwerte) kg/mm ²							
σ_F	20	28	22	—	—	8	22
σ_B	37	50	45	14	26	17	34
σ_{bB}	—	—	—	28 ¹⁾	46 ¹⁾	—	—
σ_{bW}	14 ²⁾	19 ²⁾	16 ²⁾	6 ²⁾	10 ²⁾	4,5 ²⁾	10 ²⁾
τ_{tW}	8 ²⁾	11 ²⁾	9 ²⁾	5 ²⁾	8 ²⁾	2,7 ²⁾	6,5 ²⁾
Zug	I	von bis	von bis	von bis	von bis	von bis	von bis
σ_{zul}	II	10,0 15,0	14,0 21,0	10,0 15,0	3,5 4,5	6,5 8,5	3,0 5,0
	III	6,5 9,5	9,0 13,5	6,5 9,5	2,7 3,7	5,0 6,7	1,6 2,8
		4,5 7,0	6,5 9,5	4,5 7,0	2,0 3,0	3,5 5,0	1,3 2,0
Druck	I	10,0 15,0	14,0 21,0	11,0 16,5	8,5 11,5	16,0 21,5	4,0 6,0
σ_{zul}	II	6,5 9,5	9,0 13,5	7,0 10,5	5,5 7,5	10,0 13,5	2,0 2,4
	III	4,5 7,0	6,5 9,5	4,5 7,0	2,0 3,0	3,5 5,0	1,3 2,0
Biegezug	I	11,0 16,5	15,0 22,0	11,0 16,5	5,0 7,0 ³⁾	10,0 13,5 ³⁾	3,5 5,0
σ_{bzul}	II	7,0 10,5	10,0 15,0	7,0 10,5	3,5 5,0 ³⁾	6,5 9,0 ³⁾	2,0 2,8
	III	5,0 7,5	7,0 10,5	5,0 7,5	2,5 3,5 ³⁾	4,0 6,0 ³⁾	1,4 2,1
Verdrng.	I	6,5 9,5	8,5 12,5	6,5 9,5	4,0 5,5 ⁴⁾	7,5 10,0 ⁴⁾	2,5 3,5
τ_{zul}	II	4,0 6,0	5,5 8,5	4,0 6,0	3,0 4,0 ⁴⁾	5,5 7,5 ⁴⁾	1,6 2,8
	III	3,0 4,5	4,0 6,0	3,0 4,5	2,0 3,0 ⁴⁾	3,5 5,0 ⁴⁾	0,8 1,5

¹⁾ Die Werte der Biegezugfestigkeit bei Gußeisen gelten für die normale Biegeprobe am unbearbeiteten Rundstab von 30 mm Dmr. — ²⁾ Von den im Schwingungsversuch an kleinen Probestäben ermittelten Werten sind zur Berücksichtigung des Größen- und des Oberflächeneinflusses etwa 25 % in Abzug gebracht. — ³⁾ Die Werte gelten bei Gußeisen für die Rechteckquerschnitte.

Im Maschinenbau hat sich durch *C. Bach* der Gebrauch eingebürgert, die zulässigen Beanspruchungen für die Belastungsfälle I, II und III der ruhenden, schwellenden und schwingenden Beanspruchung festzulegen.

Belastungsfall I: Ruhende Last

II: Wechselnde Last derart, daß die Spannungen abwechselnd von Null bis zu einem größten Wert stetig wachsen und dann wieder auf Null herabsinken.

III: Wechselnde Last derart, daß die Spannungen abwechselnd von einem größten negativen Wert stetig wachsen bis zu einem größten, absolut gleich großen positiven Wert, und dann wieder abnehmen. Wechsel der Beanspruchung auch durch Änderung der Temperatur.

Dabei erscheint bei ruhender Last eine 1,3- bis 2,0fache Sicherheit gegen Erreichung der Streckgrenze am Platze, wobei die Streckgrenze höchstens mit dem 0,7fachen Wert der Zugfestigkeit eingesetzt werden sollte. Bei spröden Werkstoffen empfiehlt es sich, eine 3- bis 4fache Sicherheit gegen das Eintreten eines Gewaltbruchs zu wählen. Bei schwingender Beanspruchung kann man sich mit einer verhältnismäßig geringen Sicherheit begnügen, wenn die bei Kerbwirkung auftretenden Spannungsspitzen in der Festigkeitsrechnung voll eingesetzt werden oder wenn die zul. Beanspruchung unter Berücksichtigung der wirklich vorhandenen Kerbwirkungsziffer festgelegt wird. In den nicht durch Kerbwirkung beeinflussten Teilen muß eine 2- bis 3fache Sicherheit gegen Erreichung der Schwingungsfestigkeit gefordert werden, wobei der Abfall, den die Schwingungsfestigkeit beim Vorliegen größerer Querschnitte erleidet, gebührend zu berücksichtigen ist.

Wie Versuche von *Bach* gezeigt haben, können für den kreisförmigen Querschnitt um 20 % höhere, für den I-Querschnitt aber um 20 % niedrigere Werte eingesetzt werden. — ⁴⁾ Die Werte gelten bei bearbeitetem Gußeisen für den kreisförmigen Querschnitt. Nach Versuchen von *Bach* sind bei anders geformten Querschnitten wie folgt zu erhöhen bzw. zu erniedrigen: bei kreisförmigem Querschnitt um 0 bis — 20 %, bei elliptischem Querschnitt um 0 bis + 25 %, bei quadratischem Querschnitt um + 40 %, bei rechteckigem Querschnitt um + 40 bis 60 %. — ⁵⁾ Guß. — ⁶⁾ Aufgehärtet.

Die oberen Werte nebenstehender Tabelle sollten nur dann Verwendung finden, wenn es sich um einfache glatte Maschinenteile mit sauber bearbeiteter Oberfläche und gut gerundeten Übergängen handelt, bei welchen Kerbwirkungen weitgehend vermieden sind. In allen den Fällen, in welchen die Beanspruchungsverhältnisse durch die Festigkeitsrechnung nicht genau festgelegt sind, sind die unteren Grenzwerte zu benutzen. Bei den gegossenen Werkstoffen sind die häufig vorliegenden Schwankungen in den Festigkeitseigenschaften gegebenenfalls besonders zu berücksichtigen. Bei Gußeisen wirkt sich die geringe Empfindlichkeit gegen äußere Kerbwirkungen günstig aus. Korrosionswirkungen und hohe Vorspannungen (z. B. bei Schrauben) können die zulässigen Beanspruchungen weitgehend herabsetzen.

Passungen und Toleranzen

werden im deutschen Lokomotivbau seit 1937 nach dem System der Einheitsbohrung im ISA-System (*International Federation of the National Standardizing Associations*) festgelegt. Das ISA-Passungssystem wurde von allen den Ländern übernommen, die nach dem *metrischen* Maßsystem arbeiten. Die Länder des *Zollblocks* (England, Britisches Commonwealth, USA, Kanada) haben zum größten Teil eigene, auf dem Zollsystem beruhende Toleranzsysteme.

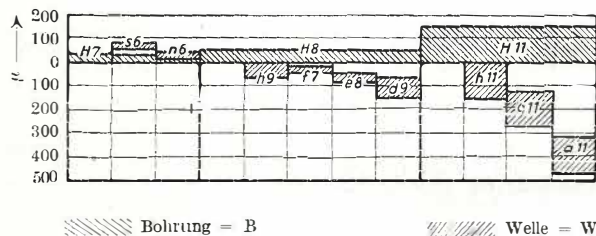


Bild 221. Passungsauswahl — Einheitsbohrung Nach DIN 5801

Das metrische **Schraubengewinde** herrscht in den Ländern vor, die nach dem metrischen Maßsystem arbeiten, das Whitworth-Gewinde in den Ländern des Zollblocks. Die ISO (*International Standardizing Organisation*) hat eine Vereinheitlichung der verschiedenen metrischen Ländergewinde in Angriff genommen. Das amerikanische und das englische Gewinde wurden 1948 in Ottawa von den USA, England und Kanada im „Unified Screw Thread“ zusammengefaßt.

Passungsauswahl – Einheitsbohrung

Zahlentafel 52

in System der ISA-Passungen nach DIN 5601. Nennabmaße in $\mu = 1/1000$ mm

ISA-Passung	H 7	s 6	n 6	H 8	h 9	f 7	e 8	d 9	H 11	h 11	c 11	a 11
	B	W	W	B	W	W	W	W	B	W	W	W
6- 10	+15 0	+ 32 + 23	+19 0	+22 0	0 - 36	- 13 - 28	- 25 - 47	- 40 - 76	+ 90 0	0 - 90	- 80 - 170	- 280 - 370
10- 18	+18 0	+ 39 + 28	+23 +12	+27 0	0 - 43	- 16 - 34	- 32 - 59	- 50 - 93	+110 0	0 -110	- 95 -205	- 290 - 400
18- 30	+21 0	+ 48 + 35	+28 +15	+33 0	0 - 52	- 20 - 41	- 40 - 73	- 65 -117	+130 0	0 -130	-110 -240	- 300 - 430
30- 40	+25 0	+ 59 + 43	+33 +17	+39 0	0 - 62	- 25 - 50	- 50 - 89	- 80 -142	+160 0	0 -160	-120 -280	- 310 - 470
40- 50											-130 -320	- 450 - 550
50- 65	+30 0	+ 72 + 53	+39 +20	+46 0	0 - 74	- 30 - 60	- 60 -106	-100 -174	+190 0	0 -190	-140 -330	- 340 - 500
65- 80		+ 78 + 59									-150 -340	- 360 - 550
80-100	+35 0	+ 93 + 71	+45 +23	+54 0	0 - 87	- 36 - 71	- 72 -126	-120 -207	+220 0	0 -220	-170 -390	- 380 - 600
100-120		+101 + 79									-180 -400	- 410 - 630
120-140		+117 + 92									-200 -450	- 460 - 710
140-160	+40 0	+125 +100	+52 +27	+63 0	0 -100	- 43 - 83	- 85 -148	-145 -245	+250 0	0 -250	-210 -460	- 520 - 770
160-180		+133 +108									-230 -480	- 580 - 830
180-200		+151 +122									-240 -530	- 660 - 960
200-225	+46 0	+159 +130	+60 +31	+72 0	0 -115	- 50 - 96	-100 -172	-170 -285	+290 0	0 -290	-260 -550	- 740 -1020
225-250		+169 +140									-280 -570	- 820 -1110
250-280		+190 +158									-300 -620	- 920 -1240
280-315	+52 0	+202 +170	+66 +34	+81 0	0 -130	- 56 -108	-110 -191	-190 -320	+320 0	0 -320	-330 -650	-1060 -1370
315-355		+226 +190									-360 -720	-1200 -1560
355-400	+57 0	+244 +208	+73 +37	+89 0	0 -140	- 62 -119	-125 -214	-210 -350	+360 0	0 -360	-400 -760	-1350 -1710
400-450		+272 +232									-440 -840	-1500 -1900
450-500	+63 0	+292 +252	+80 +40	+97 0	0 -155	- 68 -131	-135 -232	-230 -385	+400 0	0 -400	-480 -880	-1650 -2050
DIN	7161	7160	7160	7161	7160	7160	7160	7160	7161	7160	7160	7160

Umrechnungstabellen

Metrische Maße — Zollmaße

Zahlentafel 53

1. Längen-Maße

1 mm	=	0,03937"	(Zoll = inch)
1 m	=	3,281'	(Fuß = foot)
1 m	=	1,094	yard
1 km	=	0,621	englische Landmeile
1 km	=	0,5396	englische Seemeile

2. Flächen-Maße

1 mm ²	=	0,00155	square inch
1 cm ²	=	0,155	square inch
1 m ²	=	10,7643	square feet
	=	1,196	square yards

3. Raum-Maße

1 cm ³	=	0,061023	cu. inches
1 dm ³	=	61,024	cu. inches = 1,7598 pints = 0,219975 Imp. gal.
	=	0,2201	engl. (Imp.) Gallonen
	=	0,2642	amerikanische Gallonen
1 m ³	=	220,1	engl. (Imp.) Gallonen
	=	264,2	amerikanische Gallonen = 35,3148 cu. feet
	=		= 1,307954 cu. yard = 0,35315 Registertonnen
1 Registertonne	=	100	engl. Kubikfuß = 2,8316 m ³
1 Frachtonne (Schiffstonne) als Raummaß	=	1,132 m ³	= 40 engl. Kubikfuß

4. Gewichte

1 g	=	15,432	Grains = 0,0022046 lb.
1 kg	=	2,2046	lbs. (pounds)
1 t	=	0,984206	British (long) ton = 1,10231 USA (short) ton
1 Frachtonne (Schiffstonne) als Gewichtmaß	=	1016 kg	= 1 long ton
1 kg/m	=	0,672	pound per foot
1 kg/cm ² = at	=	14,223	pounds per square inch
1 kg/mm ²	=	0,635	long tons per square inch
1 kg/m ²	=	0,205	Pfund je Quadratfuß
1 g/cm ³	=	0,03612	Pfund je Kubikzoll
1 kg/m ³	=	0,0624	Pfund je Kubikfuß
1 kg/t	=	2,24	lbs. per long ton

5. Sonstige Maße

1 mkg	=	7,233	Fußpfund
1 Tonnen-km	=	0,6116	engl. Tonnenmeilen
1 PS = 0,736 kW	=	0,9863	HP (engl. Pferdestärke)
1 kcal	=	3,968	B. T. U. (British Thermal Unit)
1 kcal/kg	=	1,80	B. T. U. per pound
1 Knoten	=	1	Seemeile/h = 6080 feet per hour
1 kg/PS	=	2,235	lbs. per HP.
1 Frachtonne (Schiffstonne, Grundlage für die Berechnung der Seefrachten) als Gewichtmaß	=	1016 kg	= 1 long ton
als Raummaß	=	40 engl. Kubikfuß	
1 m/sec	=	196,851	feet per minute
1 km/h	=	0,621	miles per hour

Zollmaße — Metrische Maße

Zahlentafel 54

1. Längen-Maße

1 Zoll (inch)	=	25,4	mm
1 Fuß (foot)	=	0,305	m
1 link	=	0,66	foot = 201,2 mm
1 Yard	=	0,9144	m
1 chain = 66 feet = 100 links = 792 inches	=	20,1168	m
1 englische Landmeile (mile) = 5280 feet	=	1,6093	km
1 englische Seemeile	=	1,85318	km

2. Flächen-Maße

1 Quadrat Zoll (square inch)	=	645,16	mm ²
1 Quadratfuß (square foot)	=	9,29	dm ²
1 Quadratyard (square yard)	=	0,8361	m ²

3. Raum-Maße

1 fl. drachm = 60 minims	=	3,55	cm ³
1 Kubikzoll	=	16,387	cm ³
1 fl. ounce = 8 fl. drachms	=	28,41	cm ³
1 pint = 34,67 cu. inches	=	0,5682	dm ³
1 Imp. barrel	=	163,6	dm ³
1 engl. Gallone (Imp. gallon) = 12 USA gal. = 0,1605 cu. foot = 277,4 cu. inches	=	4,54596	dm ³
1 amerikanische Gallone (USA) gal. = 0,83254 Imp. gal. = 231 cu. inches	=	3,785	dm ³
1 Kubikfuß	=	28,3167	dm ³
1 Imp. bushel = 8 Imp. gal.	=	36,368	dm ³
1 cu. yard = 764,553 dm ³	=	0,764553	m ²
1 Registertonne (= 100 cu. feet)	=	2,8316	m ²

4. Gewichte

1 grain	=	0,0648	g
1 pennywt	=	1,5552	g
1 dram	=	1,772	g
1 ounce (oz.) = 16 drams	=	0,2835	kg
1 pound (lb.) = 16 ounces = 7000 grains	=	0,45359	kg
1 quarter (qr.) = 28 pounds = 2 stones (in USA = 25 pounds = 11,4 kg)	=	12,701	kg
1 hundredweight (cwt.) = 4 quarters	=	50,8	kg
	=	(= 45,359 kg in USA)	
1 quintal = 1,968 cwt.	=	100	kg
1 USA (net or short) ton = 2000 pounds = 0,89286 Br. (long) ton	=	907,185	kg
1 British or long ton = 2240 pounds = 20 cwt = 1,12 USA tons	=	1016,05	kg
1 Pfund je Fuß	=	1,4882	kg/m
1 long ton je Quadrat Zoll	=	1,575	kg/mm ²
1 Pfund je Quadrat Zoll (lb. per sq. in.) = 0,070307 kg/cm ²	=	68,971 dynes/cm ²	
1 Pfund je Quadratfuß (lb. per sq. ft.)	=	4,8826	kg/m ²
1 Pfund je Kubikzoll	=	27,7	g/cm ³
1 Pfund je Kubikfuß	=	16,02	kg/m ³

5. Sonstige Maße

1 Fußpfund	=	0,13826	mkg
1 englische Pferdestärke (HP) = 1,014 PS = 0,7453 kW = 0,1781 kcal/sec	=	0,447	kg/PS
1 lb. per HP	=	0,252	kcal
1 B. T. U. (British Thermal Unit)	=	0,555	kcal/kg
1 B. T. U. per pound	=	0,00501	m/sec
1 Fuß je Minute (foot per minute)	=	1,61	km/h
1 mile per hour	=	1,61	km/h
1 knot = 6080 feet per hour	=	1,85315	km/h

Englische Zoll in Millimeter

Zoll	0	1/16	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16
0	0,000	1,588	3,175	4,763	6,350	7,938	9,525	11,113	12,700	14,288	15,875	17,463	19,050	20,638	22,225	23,813
1	25,400	26,987	28,575	30,163	31,750	33,338	34,925	36,513	38,100	39,688	41,275	42,863	44,450	46,038	47,625	49,213
2	50,800	52,388	53,975	55,563	57,150	58,738	60,325	61,913	63,500	65,088	66,675	68,263	69,850	71,438	73,025	74,613
3	76,200	77,788	79,375	80,963	82,550	84,138	85,725	87,313	88,900	90,488	92,075	93,663	95,250	96,838	98,425	100,013
4	101,60	103,19	104,78	106,36	107,95	109,54	111,13	112,71	114,30	115,89	117,48	119,06	120,65	122,24	123,83	125,41
5	127,00	128,59	130,18	131,76	133,35	134,94	136,53	138,11	139,70	141,29	142,88	144,46	146,05	147,64	149,23	150,81
6	152,40	153,99	155,58	157,16	158,75	160,34	161,93	163,51	165,10	166,69	168,28	169,86	171,45	173,04	174,63	176,21
7	177,80	179,39	180,98	182,56	184,15	185,74	187,33	188,91	190,50	192,09	193,68	195,26	196,85	198,44	200,03	201,61
8	203,20	204,79	206,38	207,96	209,55	211,14	212,73	214,31	215,90	217,49	219,08	220,66	222,25	223,84	225,43	227,01
9	228,60	230,19	231,78	233,36	234,95	236,54	238,13	239,71	241,30	242,89	244,48	246,06	247,65	249,24	250,83	252,41
10	254,00	255,59	257,18	258,76	260,35	261,94	263,53	265,11	266,70	268,29	269,88	271,46	273,05	274,64	276,23	277,81
11	279,40	280,99	282,58	284,16	285,75	287,34	288,93	290,51	292,10	293,69	295,28	296,86	298,45	300,04	301,63	303,21
12	304,80	306,39	307,98	309,56	311,15	312,74	314,33	315,91	317,50	319,09	320,68	322,26	323,85	325,44	327,03	328,61
13	330,20	331,79	333,38	334,96	336,55	338,14	339,73	341,31	342,90	344,49	346,08	347,66	349,25	350,84	352,43	354,01
14	355,60	357,19	358,78	360,36	361,95	363,54	365,13	366,71	368,30	369,89	371,48	373,06	374,65	376,24	377,83	379,41
15	381,00	382,59	384,18	385,76	387,35	388,94	390,53	392,11	393,70	395,29	396,88	398,46	400,05	401,64	403,23	404,81
16	406,40	407,99	409,58	411,16	412,75	414,34	415,93	417,51	419,10	420,69	422,28	423,86	425,45	427,04	428,63	430,21
17	431,80	433,39	434,98	436,56	438,15	439,74	441,33	442,91	444,50	446,09	447,68	449,26	450,85	452,44	454,03	455,61
18	457,20	458,79	460,38	461,96	463,55	465,14	466,73	468,31	469,90	471,49	473,08	474,66	476,25	477,84	479,43	481,01
19	482,60	484,19	485,78	487,36	488,95	490,54	492,13	493,71	495,30	496,89	498,48	500,06	501,65	503,24	504,83	506,41
20	508,00	509,59	511,18	512,76	514,35	515,94	517,53	519,11	520,70	522,29	523,88	525,46	527,05	528,64	530,23	531,81
21	533,40	534,99	536,58	538,16	539,75	541,34	542,93	544,51	546,10	547,69	549,28	550,86	552,45	554,04	555,63	557,21
22	558,80	560,39	561,98	563,56	565,15	566,74	568,33	569,91	571,50	573,09	574,68	576,26	577,85	579,44	581,03	582,61
23	584,20	585,79	587,38	588,96	590,55	592,14	593,73	595,31	596,90	598,49	600,08	601,66	603,25	604,84	606,43	608,01
24	609,60	611,19	612,78	614,36	615,95	617,54	619,13	620,71	622,30	623,89	625,48	627,06	628,65	630,24	631,83	633,41

Zoll	0	1/16	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16
25	635,00	636,59	638,18	639,76	641,35	642,94	644,53	646,11	647,70	649,29	650,88	652,46	654,05	655,64	657,23	658,81
26	660,40	661,99	663,58	665,16	666,75	668,34	669,93	671,51	673,10	674,69	676,28	677,86	679,45	681,04	682,63	684,21
27	685,80	687,39	688,98	690,56	692,15	693,74	695,33	696,91	698,50	700,09	701,68	703,26	704,85	706,44	708,03	709,61
28	711,20	712,79	714,38	715,96	717,55	719,14	720,73	722,31	723,90	725,49	727,08	728,66	730,25	731,84	733,43	735,01
29	736,60	738,19	739,78	741,36	742,95	744,54	746,13	747,71	749,30	750,89	752,48	754,06	755,65	757,24	758,83	760,41
30	762,00	763,59	765,18	766,76	768,35	769,94	771,53	773,11	774,70	776,29	777,88	779,46	781,05	782,64	784,23	785,81
31	787,40	788,99	790,58	792,16	793,75	795,34	796,93	798,51	800,10	801,69	803,28	804,86	806,45	808,04	809,63	811,21
32	812,80	814,39	815,98	817,56	819,15	820,74	822,33	823,91	825,50	827,09	828,68	830,26	831,85	833,44	835,03	836,61
33	838,20	839,79	841,38	842,96	844,55	846,14	847,73	849,31	850,90	852,49	854,08	855,66	857,25	858,84	860,43	862,01
34	863,60	865,19	866,78	868,36	869,95	871,54	873,13	874,71	876,30	877,89	879,48	881,06	882,65	884,24	885,83	887,41
35	889,00	890,59	892,18	893,76	895,35	896,94	898,53	900,11	901,70	903,29	904,88	906,46	908,05	909,64	911,23	912,81
36	914,40	915,99	917,58	919,16	920,75	922,34	923,93	925,51	927,10	928,69	930,28	931,86	933,45	935,04	936,63	938,21
37	939,80	941,39	942,98	944,56	946,15	947,74	949,33	950,91	952,50	954,09	955,68	957,26	958,85	960,44	962,03	963,61
38	965,20	966,79	968,38	969,96	971,55	973,14	974,73	976,31	977,90	979,49	981,08	982,66	984,25	985,84	987,43	989,01
39	990,60	992,19	993,78	995,36	996,95	998,54	1000,11	1001,70	1003,29	1004,89	1006,48	1008,06	1009,65	1011,24	1012,83	1014,41
40	1016,00	1017,59	1019,18	1020,76	1022,35	1023,94	1025,53	1027,11	1028,70	1030,29	1031,88	1033,46	1035,05	1036,64	1038,23	1039,81
41	1041,40	1043,00	1044,60	1046,20	1047,80	1049,39	1050,99	1052,58	1054,17	1055,76	1057,35	1058,94	1060,53	1062,12	1063,71	1065,29
42	1066,80	1068,40	1070,00	1071,60	1073,20	1074,79	1076,39	1077,98	1079,57	1081,16	1082,75	1084,34	1085,93	1087,52	1089,11	1090,69
43	1092,20	1093,80	1095,40	1097,00	1098,60	1100,19	1101,79	1103,38	1104,97	1106,56	1108,15	1109,74	1111,33	1112,92	1114,51	1116,09
44	1117,60	1119,20	1120,80	1122,40	1124,00	1125,59	1127,19	1128,78	1130,37	1131,96	1133,55	1135,14	1136,73	1138,32	1139,91	1141,49
45	1143,00	1144,60	1146,20	1147,80	1149,40	1150,99	1152,59	1154,18	1155,77	1157,36	1158,95	1160,54	1162,13	1163,72	1165,31	1166,89
46	1168,40	1170,00	1171,60	1173,20	1174,80	1176,39	1177,99	1179,58	1181,17	1182,76	1184,35	1185,94	1187,53	1189,12	1190,71	1192,29
47	1193,80	1195,40	1197,00	1198,60	1200,20	1201,79	1203,39	1204,98	1206,57	1208,16	1209,75	1211,34	1212,93	1214,52	1216,11	1217,69
48	1219,20	1220,80	1222,40	1224,00	1225,60	1227,19	1228,79	1230,38	1231,97	1233,56	1235,15	1236,74	1238,33	1239,92	1241,51	1243,09
49	1244,60	1246,20	1247,80	1249,40	1251,00	1252,59	1254,19	1255,78	1257,37	1258,96	1260,55	1262,14	1263,73	1265,32	1266,91	1268,49
50	1270,00	1271,60	1273,20	1274,80	1276,40	1277,99	1279,59	1281,18	1282,77	1284,36	1285,95	1287,54	1289,13	1290,72	1292,31	1293,89
51	1295,40	1297,00	1298,60	1300,20	1301,80	1303,39	1304,99	1306,58	1308,17	1309,76	1311,35	1312,94	1314,53	1316,12	1317,71	1319,29
52	1320,80	1322,40	1324,00	1325,60	1327,20	1328,79	1330,39	1331,98	1333,57	1335,16	1336,75	1338,34	1339,93	1341,52	1343,11	1344,69
53	1346,20	1347,80	1349,40	1351,00	1352,60	1354,19	1355,79	1357,38	1358,97	1360,56	1362,15	1363,74	1365,33	1366,92	1368,51	1370,09
54	1371,60	1373,20	1374,80	1376,40	1378,00	1379,59	1381,19	1382,78	1384,37	1385,96	1387,55	1389,14	1390,73	1392,32	1393,91	1395,49

Fuß	Zoll					
	0	1	2	3	4	5
0	0	25,4	50,8	76,2	101,6	127,0
1	304,8	330,2	355,6	381,0	406,4	431,8
2	609,6	635,0	660,4	685,8	711,2	736,6
3	914,4	939,8	965,2	990,6	1016,0	1041,4
4	1219,2	1244,6	1270,0	1295,4	1320,8	1346,2
5	1524,0	1549,4	1574,8	1600,2	1625,6	1651,0
6	1828,8	1854,2	1879,6	1905,0	1930,4	1955,8
7	2133,6	2159,0	2184,4	2209,8	2235,2	2260,6
8	2438,4	2463,8	2489,2	2514,6	2540,0	2565,4
9	2743,2	2768,6	2794,0	2819,4	2844,8	2870,2
10	3048,0	3073,4	3098,8	3124,2	3149,6	3175,0
11	3352,8	3378,2	3403,6	3429,0	3454,4	3479,8
12	3657,6	3683,0	3708,4	3733,8	3759,2	3784,6
13	3962,4	3987,8	4013,2	4038,6	4064,0	4089,4
14	4267,2	4292,6	4318,0	4343,4	4368,8	4394,2
15	4572,0	4597,4	4622,8	4648,2	4673,6	4699,0
16	4876,8	4902,2	4927,6	4953,0	4978,4	5003,8
17	5181,6	5207,0	5232,4	5257,8	5283,2	5308,6
18	5486,4	5511,8	5537,2	5562,6	5588,0	5613,4
19	5791,2	5816,6	5842,0	5867,4	5892,8	5918,2
20	6096,0	6121,4	6146,8	6172,2	6197,6	6223,0
21	6401,8	6426,2	6451,6	6477,0	6502,4	6527,8
22	6707,6	6731,0	6756,4	6781,8	6807,2	6832,6
23	7013,4	7037,8	7062,2	7086,6	7112,0	7137,4
24	7319,2	7343,6	7368,0	7392,4	7416,8	7442,2
25	7625,0	7649,4	7673,8	7698,2	7722,6	7747,0
26	7925,8	7950,2	7975,6	8001,0	8026,4	8051,8
27	8229,6	8254,0	8279,4	8304,8	8330,2	8355,6
28	8534,4	8558,8	8583,2	8607,6	8632,0	8656,4
29	8839,2	8863,6	8888,0	8912,4	8936,8	8961,2
30	9144,0	9168,4	9192,8	9217,2	9241,6	9266,0
31	9448,8	9473,2	9497,6	9522,0	9546,4	9570,8
32	9753,6	9778,0	9802,4	9826,8	9851,2	9875,6
33	10058,4	10082,8	10107,2	10131,6	10156,0	10180,4
34	10363,2	10387,6	10412,0	10436,4	10460,8	10485,2
35	10668,0	10692,4	10716,8	10741,2	10765,6	10790,0
36	10972,8	10997,2	11021,6	11046,0	11070,4	11094,8
37	11277,6	11302,0	11326,4	11350,8	11375,2	11400,0
38	11582,4	11606,8	11631,2	11655,6	11680,0	11704,4
39	11887,2	11911,6	11936,0	11960,4	11984,8	12009,2
40	12192,0	12216,4	12240,8	12265,2	12289,6	12314,0

Fuß	Zoll					
	6	7	8	9	10	11
0	152,4	177,8	203,2	228,6	254,0	279,4
1	457,2	482,6	508,0	533,4	558,8	584,2
2	762,0	787,4	812,8	838,2	863,6	889,0
3	1066,8	1092,2	1117,6	1143,0	1168,4	1193,8
4	1371,6	1397,0	1422,4	1447,8	1473,2	1498,6
5	1676,4	1701,8	1727,2	1752,6	1778,0	1803,4
6	1981,2	2006,6	2032,0	2057,4	2082,8	2108,2
7	2286,0	2311,4	2336,8	2362,2	2387,6	2413,0
8	2590,8	2616,2	2641,6	2667,0	2692,4	2717,8
9	2895,6	2921,0	2946,4	2971,8	2997,2	3022,6
10	3200,4	3225,8	3251,2	3276,6	3302,0	3327,4
11	3505,2	3530,6	3556,0	3581,4	3606,8	3632,2
12	3810,0	3835,4	3860,8	3886,2	3911,6	3937,0
13	4114,8	4140,2	4165,6	4191,0	4216,4	4241,8
14	4419,6	4445,0	4470,4	4495,8	4521,2	4546,6
15	4724,4	4749,8	4775,2	4800,6	4826,0	4851,4
16	5029,2	5054,6	5080,0	5105,4	5130,8	5156,2
17	5334,0	5359,4	5384,8	5410,2	5435,6	5461,0
18	5638,8	5664,2	5689,6	5715,0	5740,4	5765,8
19	5943,6	5969,0	5994,4	6019,8	6045,2	6070,6
20	6248,4	6273,8	6299,2	6324,6	6350,0	6375,4
21	6553,2	6578,6	6604,0	6629,4	6654,8	6680,2
22	6858,0	6883,4	6908,8	6934,2	6959,6	6985,0
23	7162,8	7188,2	7213,6	7239,0	7264,4	7289,8
24	7467,6	7493,0	7518,4	7543,8	7569,2	7594,6
25	7772,4	7797,8	7823,2	7848,6	7874,0	7899,4
26	8077,2	8102,6	8128,0	8153,4	8178,8	8204,2
27	8382,0	8407,4	8432,8	8458,2	8483,6	8509,0
28	8686,8	8712,2	8737,6	8763,0	8788,4	8813,8
29	8991,6	9017,0	9042,4	9067,8	9093,2	9118,6
30	9296,4	9321,8	9347,2	9372,6	9398,0	9423,4
31	9601,2	9626,6	9652,0	9677,4	9702,8	9728,2
32	9906,0	9931,4	9956,8	9982,2	10007,6	10033,0
33	10210,8	10236,2	10261,6	10287,0	10312,4	10337,8
34	10515,6	10541,0	10566,4	10591,8	10617,2	10642,6
35	10820,4	10845,8	10871,2	10896,6	10922,0	10947,4
36	11125,2	11150,6	11176,0	11201,4	11226,8	11252,2
37	11430,0	11455,4	11480,8	11506,2	11531,6	11557,0
38	11734,8	11760,2	11785,6	11811,0	11836,4	11861,8
39	12039,6	12065,0	12090,4	12115,8	12141,2	12166,6
40	12344,4	12369,8	12395,2	12420,6	12446,0	12471,4

m in engl. Fuß

Meter	Fuß	Meter	Fuß	Meter	Fuß	Meter	Fuß
1	3,2809	26	85,3034	51	167,3258	76	249,3483
2	6,5618	27	88,5843	52	170,6067	77	252,6292
3	9,8427	28	91,8652	53	173,8876	78	255,9101
4	13,1236	29	95,1461	54	177,1685	79	259,1910
5	16,4045	30	98,4270	55	180,4494	80	262,4719
6	19,6854	31	101,7079	56	183,7303	81	265,7528
7	22,9663	32	104,9888	57	187,0112	82	269,0337
8	26,2472	33	108,2697	58	190,2921	83	272,3146
9	29,5281	34	111,5506	59	193,5730	84	275,5955
10	32,8090	35	114,8315	60	196,8539	85	278,8764
11	36,0899	36	118,1124	61	200,1348	86	282,1573
12	39,3708	37	121,3933	62	203,4157	87	285,4382
13	42,6517	38	124,6742	63	206,6966	88	288,7191
14	45,9326	39	127,9551	64	209,9775	89	292,0000
15	49,2135	40	131,2360	65	213,2584	90	295,2809
16	52,4944	41	134,5169	66	216,5393	91	298,5618
17	55,7753	42	137,7978	67	219,8202	92	301,8427
18	59,0562	43	141,0787	68	223,1011	93	305,1236
19	62,3371	44	144,3596	69	226,3820	94	308,4045
20	65,6180	45	147,6405	70	229,6629	95	311,6854
21	68,8989	46	150,9214	71	232,9438	96	314,9663
22	72,1798	47	154,2023	72	236,2247	97	318,2472
23	75,4607	48	157,4832	73	239,5056	98	321,5281
24	78,7416	49	160,7641	74	242,7865	99	324,8090
25	82,0225	50	164,0450	75	246,0674	100	328,0899

Engl. Fuß in m

Fuß	Meter	Fuß	Meter	Fuß	Meter	Fuß	Meter
1	0,3048	26	7,9246	51	15,5445	76	23,1643
2	0,6096	27	8,2294	52	15,8493	77	23,4691
3	0,9144	28	8,5342	53	16,1541	78	23,7739
4	1,2192	29	8,8390	54	16,4589	79	24,0787
5	1,5240	30	9,1438	55	16,7637	80	24,3835
6	1,8288	31	9,4486	56	17,0685	81	24,6883
7	2,1335	32	9,7534	57	17,3733	82	24,9931
8	2,4383	33	10,0582	58	17,6780	83	25,2979
9	2,7431	34	10,3630	59	17,9828	84	25,6027
10	3,0479	35	10,6678	60	18,2875	85	25,9075
11	3,3527	36	10,9726	61	18,5923	86	26,2123
12	3,6575	37	11,2774	62	18,8972	87	26,5171
13	3,9623	38	11,5822	63	19,2020	88	26,8219
14	4,2671	39	11,8870	64	19,5068	89	27,1267
15	4,5719	40	12,1918	65	19,8116	90	27,4315
16	4,8767	41	12,4966	66	20,1164	91	27,7363
17	5,1815	42	12,8013	67	20,4212	92	28,0410
18	5,4863	43	13,1061	68	20,7260	93	28,3458
19	5,7911	44	13,4109	69	21,0308	94	28,6506
20	6,0959	45	13,7157	70	21,3356	95	28,9554
21	6,4007	46	14,0205	71	21,6404	96	29,2602
22	6,7055	47	14,3253	72	21,9452	97	29,5650
23	7,0103	48	14,6301	73	22,2500	98	29,8698
24	7,3151	49	14,9349	74	22,5548	99	30,1746
25	7,6203	50	15,2405	75	22,8595	100	30,4810

Zah lentafel 57

m² in engl. Quadratfuß

Qu.-Meter	Quadrat-Fuß	Qu.-Meter	Quadrat-Fuß	Qu.-Meter	Quadrat-Fuß	Qu.-Meter	Quadrat-Fuß
1	10,764	26	279,872	51	548,979	76	818,087
2	21,529	27	290,636	52	559,744	77	828,851
3	32,293	28	301,400	53	570,508	78	839,615
4	43,057	29	312,165	54	581,272	79	850,380
5	53,821	30	322,929	55	592,036	80	861,144
6	64,586	31	333,693	56	602,801	81	871,908
7	75,350	32	344,458	57	613,565	82	882,673
8	86,114	33	355,222	58	624,329	83	893,437
9	96,879	34	365,986	59	635,094	84	904,201
10	107,643	35	376,750	60	645,858	85	914,965
11	118,407	36	387,515	61	656,622	86	925,730
12	129,172	37	398,279	62	667,387	87	936,494
13	139,936	38	409,043	63	678,151	88	947,258
14	150,700	39	419,808	64	688,915	89	958,023
15	161,464	40	430,572	65	699,679	90	968,787
16	172,229	41	441,336	66	710,444	91	979,551
17	182,993	42	452,101	67	721,208	92	990,316
18	193,757	43	462,865	68	731,972	93	1001,080
19	204,522	44	473,629	69	742,737	94	1011,844
20	215,286	45	484,393	70	753,501	95	1022,608
21	226,050	46	495,158	71	764,265	96	1033,373
22	236,815	47	505,922	72	775,030	97	1044,137
23	247,579	48	516,686	73	785,794	98	1054,901
24	258,343	49	527,451	74	796,558	99	1065,666
25	269,107	50	538,215	75	807,322	100	1076,430

Zah lentafel 59

Engl. Quadratfuß in m²

Qu.-Fuß	Quadrat-Meter	Qu.-Fuß	Quadrat-Meter	Qu.-Fuß	Quadrat-Meter	Qu.-Fuß	Quadrat-Meter
1	0,0929	26	2,4154	51	4,7379	76	7,0604
2	0,1858	27	2,5083	52	4,8308	77	7,1533
3	0,2787	28	2,6012	53	4,9237	78	7,2462
4	0,3716	29	2,6941	54	5,0166	79	7,3391
5	0,4645	30	2,7870	55	5,1095	80	7,4320
6	0,5574	31	2,8799	56	5,2024	81	7,5249
7	0,6503	32	2,9728	57	5,2953	82	7,6178
8	0,7432	33	3,0657	58	5,3882	83	7,7107
9	0,8361	34	3,1586	59	5,4811	84	7,8036
10	0,9290	35	3,2515	60	5,5740	85	7,8965
11	1,0219	36	3,3444	61	5,6669	86	7,9894
12	1,1148	37	3,4373	62	5,7598	87	8,0823
13	1,2077	38	3,5302	63	5,8527	88	8,1752
14	1,3006	39	3,6231	64	5,9456	89	8,2681
15	1,3935	40	3,7160	65	6,0385	90	8,3610
16	1,4864	41	3,8089	66	6,1314	91	8,4539
17	1,5793	42	3,9018	67	6,2243	92	8,5468
18	1,6722	43	3,9947	68	6,3172	93	8,6397
19	1,7651	44	4,0876	69	6,4101	94	8,7326
20	1,8580	45	4,1805	70	6,5030	95	8,8255
21	1,9509	46	4,2734	71	6,5959	96	8,9184
22	2,0438	47	4,3663	72	6,6888	97	9,0113
23	2,1367	48	4,4592	73	6,7817	98	9,1042
24	2,2296	49	4,5521	74	6,8746	99	9,1971
25	2,3225	50	4,6450	75	6,9675	100	9,2900

Zah lentafel 60

m³ in engl. Kubikfuß

Kub.-Mtr.	Kubik-Fuß	Kub.-Mtr.	Kubik-Fuß	Kub.-Mtr.	Kubik-Fuß	Kub.-Mtr.	Kubik-Fuß
0,5	17,658	14	494,425	27,5	971,193	41	1447,960
1	35,316	14,5	512,084	28	988,850	41,5	1465,618
1,5	52,974	15	529,742	28,5	1006,509	42	1483,276
2	70,632	15,5	547,400	29	1024,168	42,5	1500,933
2,5	88,290	16	565,075	29,5	1041,826	43	1518,590
3	105,948	16,5	582,716	30	1059,483	43,5	1536,247
3,5	123,606	17	600,374	30,5	1077,142	44	1553,904
4	141,264	17,5	618,032	31	1094,800	44,5	1571,563
4,5	158,922	18	635,690	31,5	1112,457	45	1589,222
5	176,580	18,5	653,349	32	1130,115	45,5	1606,881
5,5	194,238	19	671,008	32,5	1147,773	46	1624,540
6	211,897	19,5	688,665	33	1165,432	46,5	1642,198
6,5	229,555	20	706,322	33,5	1183,090	47	1659,856
7	247,213	20,5	723,980	34	1200,748	47,5	1677,512
7,5	264,871	21	741,638	34,5	1218,406	48	1695,172
8	282,529	21,5	759,295	35	1236,064	48,5	1712,829
8,5	300,187	22	776,952	35,5	1253,722	49	1730,490
9	317,845	22,5	794,611	36	1271,380	49,5	1748,147
9,5	335,504	23	812,270	36,5	1289,038	50	1765,805
10	353,161	23,5	829,928	37	1306,696	50,5	1783,463
10,5	370,819	24	847,584	37,5	1324,355	51	1801,122
11	388,476	24,5	865,245	38	1342,013	51,5	1818,782
11,5	406,135	25	882,902	38,5	1359,673	52	1836,440
12	423,793	25,5	900,562	39	1377,330	52,5	1854,098
12,5	441,452	26	918,220	39,5	1394,987	53	1871,756
13	459,110	26,5	935,878	40	1412,644	53,5	1889,414
13,5	476,768	27	953,536	40,5	1430,302	54	1907,072

Zahlentafel 61

Engl. Kubikfuß in m³

Kub.-Fuß	Kubik-Meter	Kub.-Fuß	Kubik-Meter	Kub.-Fuß	Kubik-Meter	Kub.-Fuß	Kubik-Meter
1	0,0283	14,5	0,4106	28	0,7928	41,5	1,1752
1,5	0,0425	15	0,4247	28,5	0,8070	42	1,1892
2	0,0566	15,5	0,4389	29	0,8211	42,5	1,2034
2,5	0,0708	16	0,4530	29,5	0,8353	43	1,2176
3	0,0849	16,5	0,4672	30	0,8495	43,5	1,2318
3,5	0,0991	17	0,4814	30,5	0,8637	44	1,2458
4	0,1133	17,5	0,4956	31	0,8777	44,5	1,2600
4,5	0,1275	18	0,5097	31,5	0,8919	45	1,2742
5	0,1416	18,5	0,5239	32	0,9051	45,5	1,2884
5,5	0,1558	19	0,5380	32,5	0,9193	46	1,3026
6	0,1699	19,5	0,5522	33	0,9344	46,5	1,3168
6,5	0,1841	20	0,5663	33,5	0,9486	47	1,3310
7	0,1982	20,5	0,5805	34	0,9628	47,5	1,3452
7,5	0,2124	21	0,5946	34,5	0,9770	48	1,3592
8	0,2265	21,5	0,6088	35	0,9912	48,5	1,3734
8,5	0,2407	22	0,6229	35,5	1,0054	49	1,3876
9	0,2548	22,5	0,6371	36	1,0194	49,5	1,4018
9,5	0,2690	23	0,6513	36,5	1,0336	50	1,4158
10	0,2832	23,5	0,6655	37	1,0478	50,5	1,4300
10,5	0,2974	24	0,6796	37,5	1,0620	51	1,4442
11	0,3115	24,5	0,6938	38	1,0760	51,5	1,4584
11,5	0,3257	25	0,7079	38,5	1,0902	52	1,4724
12	0,3398	25,5	0,7221	39	1,1044	52,5	1,4866
12,5	0,3540	26	0,7362	39,5	1,1186	53	1,5008
13	0,3681	26,5	0,7504	40	1,1326	53,5	1,5150
13,5	0,3823	27	0,7645	40,5	1,1468	54	1,5290
14	0,3964	27,5	0,7787	41	1,1610	54,5	1,5432

Zahlentafel 62

Liter in engl.(Imp.) Gallonen

Liter	Gallonen	Liter	Gallonen	Liter	Gallonen	Liter	Gallonen
1	0,22	26	5,72	51	11,22	76	16,73
2	0,44	27	5,94	52	11,44	77	16,95
3	0,66	28	6,16	53	11,67	78	17,17
4	0,88	29	6,38	54	11,89	79	17,39
5	1,10	30	6,60	55	12,11	80	17,61
6	1,32	31	6,82	56	12,33	81	17,83
7	1,54	32	7,04	57	12,55	82	18,05
8	1,76	33	7,26	58	12,77	83	18,27
9	1,98	34	7,48	59	12,99	84	18,49
10	2,20	35	7,70	60	13,21	85	18,71
11	2,42	36	7,92	61	13,43	86	18,93
12	2,64	37	8,14	62	13,65	87	19,15
13	2,86	38	8,36	63	13,87	88	19,37
14	3,08	39	8,58	64	14,09	89	19,59
15	3,30	40	8,80	65	14,31	90	19,81
16	3,52	41	9,02	66	14,53	91	20,03
17	3,74	42	9,24	67	14,75	92	20,25
18	3,96	43	9,46	68	14,97	93	20,47
19	4,18	44	9,68	69	15,19	94	20,69
20	4,40	45	9,90	70	15,41	95	20,91
21	4,62	46	10,12	71	15,63	96	21,13
22	4,84	47	10,34	72	15,85	97	21,35
23	5,06	48	10,56	73	16,07	98	21,57
24	5,28	49	10,78	74	16,29	99	21,79
25	5,50	50	11,00	75	16,51	100	22,01

Zahlentafel 63

Engl. (Imp.) Gallonen in Litern

Zahlentafel 64

Gall.	Liter	Gall.	Liter	Gall.	Liter	Gall.	Liter
1	4,5435	26	118,130	51	231,717	76	345,304
2	9,087	27	122,674	52	236,260	77	349,847
3	13,630	28	127,217	53	240,804	78	354,391
4	18,174	29	131,761	54	245,347	79	358,934
5	22,717	30	136,304	55	249,891	80	363,478
6	27,261	31	140,848	56	254,434	81	368,021
7	31,804	32	145,391	57	258,978	82	372,565
8	36,348	33	149,935	58	263,521	83	377,108
9	40,891	34	154,478	59	268,065	84	381,651
10	45,435	35	159,021	60	272,608	85	386,195
11	49,978	36	163,565	61	277,152	86	390,738
12	54,522	37	168,108	62	281,695	87	395,282
13	59,065	38	172,652	63	286,239	88	399,825
14	63,609	39	177,195	64	290,782	89	404,369
15	68,152	40	181,739	65	295,326	90	408,912
16	72,696	41	186,282	66	299,869	91	413,456
17	77,239	42	190,826	67	304,412	92	417,999
18	81,782	43	195,369	68	308,956	93	422,543
19	86,326	44	199,913	69	313,499	94	427,086
20	90,869	45	204,456	70	318,043	95	431,630
21	95,413	46	209,000	71	322,586	96	436,173
22	99,956	47	213,543	72	327,130	97	440,717
23	104,500	48	218,087	73	331,673	98	445,260
24	109,043	49	222,630	74	336,217	99	449,804
25	113,587	50	227,173	75	340,760	100	454,347

kg in engl. Pfund

kg	Pfund	kg	Pfund	kg	Pfund	kg	Pfund
1	2,2046	26	57,320	51	112,435	76	167,550
2	4,409	27	59,524	52	114,639	77	169,754
3	6,614	28	61,729	53	116,844	78	171,959
4	8,818	29	63,933	54	119,048	79	174,163
5	11,023	30	66,138	55	121,253	80	176,368
6	13,228	31	68,343	56	123,458	81	178,573
7	15,432	32	70,547	57	125,662	82	180,777
8	17,637	33	72,752	58	127,867	83	182,982
9	19,841	34	74,956	59	130,071	84	185,186
10	22,046	35	77,161	60	132,276	85	187,391
11	24,251	36	79,366	61	134,481	86	189,596
12	26,455	37	81,570	62	136,685	87	191,800
13	28,660	38	83,775	63	138,890	88	194,005
14	30,864	39	85,979	64	141,094	89	196,209
15	33,069	40	88,184	65	143,299	90	198,414
16	35,274	41	90,389	66	145,504	91	200,619
17	37,478	42	92,593	67	147,708	92	202,823
18	39,683	43	94,798	68	149,913	93	205,028
19	41,887	44	97,002	69	152,117	94	207,232
20	44,092	45	99,207	70	154,322	95	209,437
21	46,297	46	101,412	71	156,527	96	211,642
22	48,501	47	103,616	72	158,731	97	213,846
23	50,706	48	105,821	73	160,936	98	216,051
24	52,910	49	108,025	74	163,140	99	218,255
25	55,115	50	110,231	75	165,345	100	220,462

Zahlentafel 65

km in engl. Landmeilen

km	Meilen	km	Meilen	km	Meilen	km	Meilen
1	0,621	26	16,156	51	31,690	76	47,225
2	1,243	27	16,777	52	32,312	77	47,846
3	1,864	28	17,399	53	32,933	78	48,468
4	2,485	29	18,020	54	33,554	79	49,089
5	3,107	30	18,641	55	34,176	80	49,710
6	3,728	31	19,263	56	34,797	81	50,332
7	4,350	32	19,884	57	35,419	82	50,953
8	4,971	33	20,505	58	36,040	83	51,574
9	5,592	34	21,127	59	36,661	84	52,196
10	6,214	35	21,748	60	37,283	85	52,817
11	6,835	36	22,370	61	37,904	86	53,439
12	7,457	37	22,991	62	38,525	87	54,060
13	8,078	38	23,612	63	39,147	88	54,681
14	8,699	39	24,234	64	39,768	89	55,303
15	9,321	40	24,855	65	40,390	90	55,924
16	9,942	41	25,477	66	41,011	91	56,545
17	10,563	42	26,098	67	41,632	92	57,167
18	11,185	43	26,719	68	42,254	93	57,788
19	11,806	44	27,341	69	42,875	94	58,410
20	12,428	45	27,962	70	43,497	95	59,031
21	13,049	46	28,583	71	44,118	96	59,652
22	13,670	47	29,205	72	44,739	97	60,274
23	14,292	48	29,826	73	45,361	98	60,895
24	14,913	49	30,448	74	45,982	99	61,517
25	15,534	50	31,069	75	46,603	100	62,138

Zahlentafel 67

Engl. Pfund in kg

Pfund	kg	Pfund	kg	Pfund	kg	Pfund	kg
1	0,453593	26	11,793418	51	23,133243	76	34,473068
2	0,907186	27	12,247011	52	23,586836	77	34,926661
3	1,360779	28	12,700604	53	24,040429	78	35,380254
4	1,814372	29	13,154197	54	24,494022	79	35,833847
5	2,267965	30	13,607790	55	24,947615	80	36,287440
6	2,721558	31	14,061383	56	25,401208	81	36,741033
7	3,175151	32	14,514976	57	25,854801	82	37,194626
8	3,628744	33	14,968569	58	26,308394	83	37,648219
9	4,082337	34	15,422162	59	26,761987	84	38,101812
10	4,535930	35	15,875755	60	27,215580	85	38,555404
11	4,989523	36	16,329348	61	27,669173	86	39,008998
12	5,443116	37	16,782941	62	28,122766	87	39,462591
13	5,896709	38	17,236534	63	28,576359	88	39,916184
14	6,350302	39	17,690127	64	29,029952	89	40,369777
15	6,803895	40	18,143720	65	29,483545	90	40,823370
16	7,257485	41	18,597313	66	29,937138	91	41,276963
17	7,711081	42	19,050906	67	30,390731	92	41,730556
18	8,164674	43	19,504499	68	30,844324	93	42,184149
19	8,618267	44	19,958092	69	31,297917	94	42,637742
20	9,071860	45	20,411685	70	31,751510	95	43,091335
21	9,525453	46	20,865278	71	32,205103	96	43,544928
22	9,979046	47	21,318871	72	32,658696	97	43,998521
23	10,432639	48	21,772464	73	33,112289	98	44,452114
24	10,886232	49	22,226057	74	33,565882	99	44,905707
25	11,339825	50	22,679650	75	34,019475	100	45,359300

Zahlentafel 66

Engl. Landmeilen in km

Meilen	km	Meilen	km	Meilen	km	Meilen	km
1	1,609321	26	41,842346	51	82,075371	76	122,308396
2	3,218642	27	43,451667	52	83,684692	77	123,917717
3	4,827963	28	45,060988	53	85,294013	78	125,527038
4	6,437284	29	46,670309	54	86,903334	79	127,136359
5	8,046605	30	48,279630	55	88,512655	80	128,745680
6	9,655926	31	49,888951	56	90,121976	81	130,355001
7	11,265247	32	51,498272	57	91,731297	82	131,964322
8	12,874568	33	53,107593	58	93,340618	83	133,573643
9	14,483889	34	54,716914	59	94,949939	84	135,182964
10	16,093210	35	56,326235	60	96,559260	85	136,792285
11	17,702531	36	57,935556	61	98,168581	86	138,401606
12	19,311852	37	59,544877	62	99,777902	87	140,010927
13	20,921173	38	61,154198	63	101,387223	88	141,620248
14	22,530494	39	62,763519	64	102,996544	89	143,229569
15	24,139815	40	64,372840	65	104,605865	90	144,838890
16	25,749136	41	65,982161	66	106,215186	91	146,448211
17	27,358457	42	67,591482	67	107,824507	92	148,057532
18	28,967778	43	69,200803	68	109,433828	93	149,666853
19	30,577099	44	70,810124	69	111,043149	94	151,276174
20	32,186420	45	72,419445	70	112,652470	95	152,885495
21	33,795741	46	74,028766	71	114,261791	96	154,494816
22	35,405062	47	75,638087	72	115,871112	97	156,104137
23	37,014383	48	77,247408	73	117,480433	98	157,713458
24	38,623704	49	78,856729	74	119,089754	99	159,322779
25	40,233025	50	80,466050	75	120,699075	100	160,932100

Zahlentafel 68

kg/cm² in engl. Pfund je Quadratzoll

Zahlentafel 69

kg cm ²	Pfund Qu.-Zoll	kg cm ²	Pfund Qu.-Zoll	kg cm ²	Pfund Qu.-Zoll	kg cm ²	Pfund Qu.-Zoll
1,0	14,223	6,4	91,027	11,8	167,832	17,2	244,636
1,2	17,068	6,6	93,872	12,0	170,676	17,4	247,479
1,4	19,112	6,8	96,716	12,2	173,520	17,6	250,324
1,6	22,757	7,0	99,561	12,4	176,366	17,8	253,170
1,8	25,601	7,2	102,406	12,6	179,210	18,0	256,014
2,0	28,446	7,4	105,250	12,8	182,054	18,2	258,858
2,2	31,291	7,6	108,095	13,0	184,900	18,4	261,704
2,4	34,135	7,8	110,939	13,2	187,744	18,6	264,549
2,6	36,980	8,0	113,784	13,4	190,588	18,8	267,392
2,8	39,824	8,2	116,629	13,6	193,432	19,0	270,238
3,0	42,669	8,4	119,473	13,8	196,278	19,2	273,081
3,2	45,514	8,6	122,318	14,0	199,122	19,4	275,926
3,4	48,358	8,8	125,162	14,2	201,966	19,6	278,770
3,6	51,203	9,0	128,007	14,4	204,812	19,8	281,616
3,8	54,047	9,2	130,852	14,6	207,656	20,0	284,460
4,0	56,892	9,4	133,696	14,8	210,500	20,2	287,304
4,2	59,737	9,6	136,541	15,0	213,345	20,4	290,148
4,4	62,581	9,8	139,385	15,2	216,190	20,6	292,994
4,6	65,426	10,0	142,230	15,4	219,034	20,8	295,840
4,8	68,270	10,2	145,074	15,6	221,880	21,0	298,683
5,0	71,115	10,4	147,919	15,8	224,724	21,2	301,528
5,2	73,960	10,6	150,764	16,0	227,568	21,4	304,373
5,4	76,804	10,8	153,608	16,2	230,412	21,6	307,217
5,6	79,649	11,0	156,453	16,4	233,256	21,8	310,062
5,8	82,493	11,2	159,297	16,6	236,102	22,0	312,906
6,0	85,338	11,4	162,142	16,8	238,948		
6,2	88,183	11,6	164,986	17,0	241,792		

kg/mm² in engl. Tonnen je Quadratzoll

Zahlentafel 71

kg mm ²	Tons Qu.-Zoll	kg mm ²	Tons Qu.-Zoll	kg mm ²	Tons Qu.-Zoll	kg mm ²	Tons Qu.-Zoll
10	6,348	33	20,949	56	35,552	79	50,152
11	6,983	34	21,584	57	36,186	80	50,787
12	7,618	35	22,219	58	36,820	81	51,420
13	8,253	36	22,854	59	37,455	82	52,055
14	8,888	37	23,489	60	38,090	83	52,690
15	9,522	38	24,124	61	38,724	84	53,315
16	10,157	39	24,759	62	39,358	85	53,960
17	10,792	40	25,393	63	39,993	86	54,595
18	11,427	41	26,027	64	40,628	87	55,231
19	12,062	42	26,663	65	41,264	88	55,866
20	12,697	43	27,297	66	41,898	89	56,498
21	13,329	44	27,932	67	42,533	90	57,133
22	13,966	45	28,566	68	43,168	91	57,768
23	14,601	46	29,202	69	43,803	92	58,404
24	15,236	47	29,837	70	44,415	93	59,039
25	15,870	48	30,471	71	45,072	94	59,674
26	16,506	49	31,107	72	45,708	95	60,310
27	17,136	50	31,742	73	46,343	96	60,944
28	17,772	51	32,376	74	46,978	97	61,578
29	18,410	52	33,012	75	47,612	98	62,213
30	19,045	53	33,646	76	48,248	99	62,847
31	19,679	54	34,277	77	48,883		
32	20,314	55	34,912	78	49,518		

Engl. Pfund je Quadratzoll in kg/cm²

Zahlentafel 70

Pfd. Qu.-Z.	kg cm ²	Pfd. Qu.-Z.	kg cm ²	Pfd. Qu.-Z.	kg cm ²	Pfd. Qu.-Z.	kg cm ²
100	7,031	154	10,827	208	14,624	262	18,421
102	7,171	156	10,968	210	14,765	264	18,561
104	7,312	158	11,109	212	14,905	266	18,702
106	7,452	160	11,249	214	15,046	268	18,842
108	7,593	162	11,390	216	15,186	270	18,983
110	7,734	164	11,530	218	15,327	272	19,123
112	7,874	166	11,671	220	15,467	274	19,264
114	8,014	168	11,812	222	15,608	276	19,405
116	8,155	170	11,952	224	15,748	278	19,545
118	8,296	172	12,093	226	15,889	280	19,686
120	8,437	174	12,233	228	16,030	282	19,827
122	8,578	176	12,374	230	16,171	284	19,967
124	8,728	178	12,515	232	16,311	286	20,108
126	8,868	180	12,655	234	16,452	288	20,248
128	9,009	182	12,796	236	16,593	290	20,389
130	9,140	184	12,937	238	16,734	292	20,530
132	9,281	186	13,077	240	16,874	294	20,670
134	9,421	188	13,218	242	17,015	296	20,811
136	9,562	190	13,358	244	17,155	298	20,951
138	9,702	192	13,499	246	17,296	300	21,092
140	9,843	194	13,639	248	17,436	302	21,232
142	9,983	196	13,780	250	17,577	304	21,373
144	10,124	198	13,921	252	17,718	306	21,514
146	10,265	200	14,062	254	17,858	308	21,655
148	10,405	202	14,202	256	17,999	310	21,795
150	10,546	204	14,343	258	18,140		
152	10,686	206	14,483	260	18,280		

Engl. Tonnen je Quadratzoll in kg/mm²

Zahlentafel 72

Tons Qu.-Z.	kg mm ²	Tons Qu.-Z.	kg mm ²	Tons Qu.-Z.	kg mm ²	Tons Qu.-Z.	kg mm ²
5	7,876	19	20,926	33	51,984	47	74,032
5,5	8,664	19,5	30,715	33,5	52,762	47,5	74,820
6	9,450	20	31,504	34	53,548	48	75,609
6,5	10,237	20,5	32,292	34,5	54,342	48,5	76,393
7	11,026	21	33,080	35	55,130	49	77,182
7,5	11,813	21,5	33,868	35,5	55,916	49,5	77,964
8	12,601	22	34,656	36	56,700	50	78,760
8,5	13,387	22,5	35,442	36,5	57,490	50,5	79,541
9	14,175	23	36,229	37	58,272	51	80,322
9,5	14,963	23,5	37,016	37,5	59,061	51,5	81,109
10	15,752	24	37,804	38	59,852	52	81,896
10,5	16,540	24,5	38,589	38,5	60,641	52,5	82,686
11	17,328	25	39,380	39	61,422	53	83,474
11,5	18,114	25,5	40,161	39,5	62,219	53,5	84,262
12	18,902	26	40,948	40	63,008	54	85,050
12,5	19,687	26,5	41,737	40,5	63,790	54,5	85,840
13	20,474	27	42,525	41	64,584	55	86,640
13,5	21,263	27,5	43,315	41,5	65,372	55,5	87,408
14	22,052	28	44,105	42	66,156	56	88,208
14,5	22,840	28,5	44,901	42,5	66,948	56,5	89,006
15	23,628	29	45,698	43	67,736	57	89,778
15,5	24,413	29,5	46,477	43,5	68,547	57,5	90,570
16	25,203	30	47,256	44	69,312	58	91,396
16,5	25,988	30,5	48,041	44,5	70,098	58,5	92,145
17	26,774	31	48,826	45	70,884	59	92,954
17,5	27,561	31,5	49,620	45,5	71,670	59,5	93,733
18	28,354	32	50,406	46	72,456	60	94,512
18,5	29,136	32,5	51,191	46,5	73,239	60,5	95,297

Kilometer in der Stunde = Englische Landmeilen
in der Stunde = Meter in der Sekunde = Rad-
umdrehungen in der Sekunde bei 1 m Raddurchmesser

Zahlentafel 73

Kilo- meter in der Stunde	Engl. Meilen in der Stunde	Meter in der Sekunde	Radum- drehung in der Sekunde	Kilo- meter in der Stunde	Engl. Meilen in der Stunde	Meter in der Sekunde	Radum- drehung in der Sekunde
5	3,11	1,39	0,44	70	43,50	19,45	6,20
10	6,21	2,78	0,88	75	46,60	20,84	6,65
15	9,32	4,17	1,32	80	49,71	22,22	7,08
20	12,43	5,56	1,77	85	52,82	23,61	7,53
25	15,53	6,95	2,22	90	55,92	25,00	7,97
30	18,64	8,34	2,66	95	59,03	26,39	8,41
35	21,75	9,73	3,10	100	62,14	27,80	8,86
40	24,85	11,11	3,54	105	65,24	29,19	9,30
45	27,96	12,50	3,99	110	68,35	30,58	9,74
50	31,06	13,90	4,43	115	71,46	31,96	10,19
55	34,18	15,29	4,87	120	74,57	33,34	10,63
60	37,28	16,67	5,32	125	77,67	34,73	11,08
65	40,39	18,06	5,75	130	80,78	36,12	11,50

Meter in der Sekunde = Kilometer in der Stunde
= englische Landmeilen in der Stunde = Rad-
umdrehungen in der Sekunde bei 1 m Raddurchmesser

Zahlentafel 74

Meter in der Sekunde	Kilometer in der Stunde	Engl. Meilen in der Stunde	Radumdrehungen in der Sek. bei 1 m Raddurchmesser
1	3,6	2,24	0,318
2	7,2	4,48	0,636
3	10,8	6,72	0,954
4	14,4	8,96	1,272
5	18,0	11,2	1,59
6	21,6	13,44	1,908
7	25,2	15,68	2,226
8	28,8	17,92	2,544
9	32,4	20,16	2,862
10	36,0	22,4	3,18
15	54,0	33,6	4,77
20	72,0	44,8	6,36
25	90,0	56,0	7,95
30	108,0	67,2	9,54
35	126,0	78,4	11,13
40	144,0	89,6	12,72
45	162,0	100,8	14,31

Weltzeit

Zahlentafel 75

- a) Mitteleuropäische Zeit (M.E.Z.) nach dem 15. Längengrad östlich von Green-
wich: Dänemark, Deutschland, Italien, Norwegen, Österreich, Schweden,
Schweiz, Serbien, Tschechoslowakei, Ungarn.
- b) Westeuropäische Zeit (W.E.Z.) nach dem Längengrad von Greenwich.
1 Stunde nach gegen M.E.Z.: Belgien, Frankreich, Großbritannien, Spanien.
- c) Osteuropäische Zeit (O.E.Z.) nach dem 30. Längengrad östlich von Green-
wich, 1 Stunde vor gegen M.E.Z.: Ägypten, Bulgarien, Rumänien.
- d) Einheitliche Landeszeiten nach den Längengraden der Hauptstädte: Griechen-
land, Niederlande, Portugal, Rußland.

24-Stunden-Uhr

Wenn es in Deutschland 12 Uhr ist, haben nachstehende Länder folgende Zeiten:

Europa	Uhr	Min.		Uhr	Min.
Belgien	11	—	Ägypten	13	—
Bulgarien	13	—	Argentinien	6	43
Dänemark	12	—	Bolivien	6	28
Frankreich	11	—	Brasilien	8	07
Griechenland	12	35	Chile	6	17
Groß-Britannien	11	—	China	19	—
Italien	12	—	Kolumbien	6	03
Jugoslawien	12	—	Cuba	5	31
Luxemburg	12	—	Ecuador	5	46
Niederlande	11	20	Guatemala	4	58
Norwegen	12	—	Indien	16	30
Österreich	12	—	Indonesien	19	—
Portugal	11	—	Iran	14	30
Rumänien	13	—	Jamaica	6	—
Rußland (europäisch)	14	—	Japan	20	—
Schweden	12	—	Korea	19	30
Schweiz	12	—	Marokko	11	—
Spanien	11	—	Mexiko	4	24
Tschechoslowakei	12	—	Nicaragua	5	15
Türkei	12	57	Panama	5	42
			Paraguay	7	10
			Peru	5	51
			Philippinen	19	—
			Südafrika	13	—
			Tunis	12	—
			Uruguay	7	15

Vereinigte Staaten von Nordamerika

	Uhr	Min.
Atlantic-Time	7	—
Eastern-Standard-Time (New York)	6	—
Central-Time (Chicago, Galveston)	5	—
Mountain-Time (Denver)	4	—
Pacific-Time (San Francisco)	3	—

Zahlentafel 76

Potenzen, Wurzeln, reziproke Werte, Kreisumfänge, Kreisinnhalte

n	n ²	n ³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
1	1	1	1,0000	1,0000	1000,000	3,142	0,7854
2	4	8	1,4142	1,2599	500,000	6,283	3,1416
3	9	27	1,7321	1,4422	333,333	9,425	7,0686
4	16	64	2,0000	1,5874	250,000	12,566	12,5664
5	25	125	2,2361	1,7100	200,000	15,708	19,6350
6	36	216	2,4495	1,8171	166,667	18,850	28,2743
7	49	343	2,6458	1,9129	142,857	21,991	38,4845
8	64	512	2,8284	2,0000	125,000	25,133	50,2655
9	81	729	3,0000	2,0801	111,111	28,274	63,6173
10	100	1000	3,1623	2,1544	100,000	31,416	78,5398
11	121	1331	3,3166	2,2240	90,9091	34,558	95,0332
12	144	1728	3,4641	2,2894	83,3333	37,699	113,097
13	169	2197	3,6056	2,3513	76,9231	40,841	132,732
14	196	2744	3,7417	2,4101	71,4286	43,982	153,938
15	225	3375	3,8730	2,4662	66,6667	47,124	176,716
16	256	4096	4,0000	2,5198	62,5000	50,265	201,062
17	289	4913	4,1231	2,5713	58,8235	53,407	226,980
18	324	5832	4,2426	2,6207	55,5556	56,549	254,469
19	361	6859	4,3589	2,6684	52,6316	59,690	283,529
20	400	8000	4,4721	2,7144	50,0000	62,832	314,159
21	441	9261	4,5826	2,7589	47,6190	65,973	346,361
22	484	10648	4,6904	2,8020	45,4545	69,115	380,133
23	529	12167	4,7958	2,8439	43,4783	72,257	415,476
24	576	13824	4,8990	2,8845	41,6667	75,398	452,389
25	625	15625	5,0000	2,9240	40,0000	78,540	490,874
26	676	17776	5,0980	2,9625	38,4615	81,681	530,929
27	729	19683	5,1962	3,0000	37,0370	84,823	572,552
28	784	21952	5,2915	3,0366	35,7143	87,965	615,752
29	841	24389	5,3852	3,0723	34,4828	91,106	660,520
30	900	27000	5,4772	3,1072	33,3333	94,248	706,858
31	961	29791	5,5678	3,1414	32,2581	97,389	754,768
32	1024	32768	5,6569	3,1748	31,2500	100,531	804,248
33	1089	35937	5,7446	3,2075	30,3030	103,673	855,299
34	1156	39304	5,8310	3,2396	29,4118	106,814	907,920
35	1225	42875	5,9161	3,2711	28,5714	109,956	962,113
36	1296	46656	6,0000	3,3019	27,7778	113,097	1017,858
37	1369	50653	6,0828	3,3322	27,0270	116,239	1075,21
38	1444	54872	6,1644	3,3620	26,3158	119,381	1134,11
39	1521	59319	6,2450	3,3912	25,6410	122,522	1194,59
40	1600	64000	6,3246	3,4200	25,0000	125,66	1256,64
41	1681	68921	6,4031	3,4482	24,3902	128,81	1320,25
42	1764	74088	6,4807	3,4760	23,8095	131,95	1385,44
43	1849	79507	6,5574	3,5034	23,2558	135,09	1452,20
44	1936	85184	6,6332	3,5303	22,7273	138,23	1520,53
45	2025	91125	6,7082	3,5569	22,2222	141,37	1590,43
46	2116	97336	6,7823	3,5830	21,7391	144,51	1661,90
47	2209	103823	6,8557	3,6088	21,2766	147,65	1734,94
48	2304	110592	6,9282	3,6342	20,8333	150,80	1809,56
49	2401	117649	7,0000	3,6593	20,4082	153,94	1885,74
50	2500	125000	7,0711	3,6840	20,0000	157,08	1963,50

n	n ²	n ³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
51	2601	132651	7,1414	3,7084	19,6078	160,22	2042,82
52	2704	146088	7,2111	3,7325	19,2308	163,36	2123,72
53	2809	148877	7,2801	3,7563	18,8679	166,50	2206,18
54	2916	157464	7,3485	3,7798	18,5185	169,65	2290,22
55	3025	166375	7,4162	3,8030	18,2181	172,79	2375,83
56	3136	175616	7,4833	3,8259	17,8571	175,93	2463,01
57	3249	185193	7,5498	3,8485	17,5439	179,07	2551,76
58	3364	195112	7,6158	3,8709	17,2444	182,21	2642,08
59	3481	205379	7,6811	3,8930	16,9492	185,35	2733,97
60	3600	216000	7,7460	3,9149	16,6667	188,50	2827,43
61	3721	226981	7,8102	3,9365	16,3934	191,64	2922,47
62	3844	238328	7,8740	3,9579	16,1290	194,78	3019,07
63	3969	250047	7,9373	3,9791	15,8730	197,92	3117,25
64	4096	262144	8,0000	4,0000	15,6250	201,06	3216,99
65	4225	274625	8,0623	4,0207	15,3846	204,20	3318,31
66	4356	287496	8,1240	4,0412	15,1315	207,35	3421,19
67	4489	300763	8,1854	4,0615	14,9254	210,49	3525,65
68	4624	314432	8,2462	4,0817	14,7059	213,63	3631,68
69	4761	328509	8,3066	4,1016	14,4928	216,77	3739,28
70	4900	343000	8,3666	4,1213	14,2857	219,91	3848,45
71	5041	357911	8,4261	4,1408	14,0845	223,05	3959,19
72	5184	373248	8,4853	4,1602	13,8889	226,19	4071,50
73	5329	389017	8,5440	4,1793	13,6986	229,34	4184,39
74	5476	405224	8,6023	4,1983	13,5135	232,48	4300,84
75	5625	421875	8,6603	4,2172	13,3333	235,62	4417,86
76	5776	438976	8,7178	4,2358	13,1579	238,76	4536,43
77	5929	456533	8,7750	4,2543	12,9870	241,90	4656,63
78	6084	474552	8,8318	4,2727	12,8205	245,04	4778,36
79	6241	493039	8,8882	4,2908	12,6582	248,19	4901,67
80	6400	512000	8,9443	4,3089	12,5000	251,33	5026,55
81	6561	531441	9,0000	4,3267	12,3457	254,47	5153,00
82	6724	551368	9,0554	4,3445	12,1951	257,61	5281,02
83	6889	571787	9,1104	4,3621	12,0482	260,75	5410,61
84	7056	592704	9,1652	4,3795	11,9048	263,89	5541,77
85	7225	614125	9,2195	4,3968	11,7647	267,04	5674,50
86	7396	636056	9,2736	4,4140	11,6279	270,18	5808,80
87	7569	658503	9,3274	4,4310	11,4943	273,32	5944,68
88	7744	681472	9,3808	4,4480	11,3636	276,46	6082,12
89	7921	704969	9,4340	4,4647	11,2360	279,60	6221,14
90	8100	729000	9,4868	4,4814	11,1111	282,74	6361,73
91	8281	753571	9,5394	4,4979	10,9890	285,88	6503,88
92	8464	778688	9,5917	4,5144	10,8696	289,03	6647,61
93	8649	804357	9,6437	4,5307	10,7527	292,17	6792,91
94	8836	830584	9,6954	4,5468	10,6383	295,31	6939,78
95	9025	857375	9,7468	4,5629	10,5263	298,45	7088,22
96	9216	884736	9,7980	4,5789	10,4167	301,59	7238,23
97	9409	912673	9,8489	4,5947	10,3093	304,73	7389,81
98	9604	941192	9,8995	4,6104	10,2041	307,88	7542,96
99	9801	970299	9,9499	4,6261	10,1010	311,02	7697,69
100	10000	1000000	10,0000	4,6416	10,0000	314,16	7853,98

n	n ²	n ³	$\sqrt{n}$	$\frac{3}{n}$	1000 n	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n^2}$
							4
101	10201	1030301	10.0499	4.6570	9.90099	317.30	8011.85
102	10404	1061208	10.0995	4.6723	9.80392	320.44	8171.38
103	10609	1092727	10.1489	4.6875	9.70874	323.58	8332.29
104	10816	1124864	10.1980	4.7027	9.61538	326.73	8494.87
105	11025	1157625	10.2470	4.7177	9.52381	329.87	8659.01
106	11236	1191016	10.2966	4.7326	9.43396	333.01	8824.73
107	11449	1225043	10.3441	4.7475	9.34579	336.15	8992.02
108	11664	1259712	10.3923	4.7622	9.25926	339.29	9160.88
109	11881	1295029	10.4403	4.7769	9.17431	342.43	9331.32
110	12100	1331000	10.4881	4.7914	9.09091	345.58	9503.32
111	12321	1367631	10.5357	4.8059	9.00901	348.72	9676.89
112	12544	1404928	10.5830	4.8203	8.92857	351.86	9852.03
113	12769	1442897	10.6301	4.8346	8.84956	355.00	10028.7
114	12996	1481544	10.6771	4.8488	8.77193	358.14	10207.0
115	13225	1520875	10.7238	4.8629	8.69565	361.28	10386.9
116	13456	1560896	10.7703	4.8770	8.62069	364.42	10568.6
117	13689	1601613	10.8167	4.8910	8.54701	367.57	10751.3
118	13924	1643032	10.8628	4.9049	8.47458	370.71	10935.9
119	14161	1685159	10.9087	4.9187	8.40336	373.85	11122.0
120	14400	1728000	10.9545	4.9324	8.33333	376.99	11309.7
121	14641	1771561	11.0000	4.9461	8.26446	380.13	11499.0
122	14884	1815848	11.0454	4.9597	8.19672	383.27	11689.9
123	15129	1860867	11.0905	4.9732	8.13008	386.42	11882.3
124	15376	1906624	11.1355	4.9866	8.06452	389.56	12076.3
125	15625	1953125	11.1803	5.0000	8.00000	392.70	12271.8
126	15876	2000376	11.2250	5.0133	7.93051	395.84	12469.0
127	16129	2048383	11.2694	5.0265	7.87402	398.98	12667.7
128	16384	2097152	11.3137	5.0397	7.81520	402.12	12868.0
129	16641	2146689	11.3578	5.0528	7.75194	405.27	13069.8
130	16900	2197000	11.4018	5.0658	7.69231	408.41	13273.2
131	17161	2248091	11.4455	5.0788	7.63359	411.55	13478.2
132	17424	2299968	11.4891	5.0916	7.57576	414.69	13684.8
133	17689	2352637	11.5326	5.1045	7.51880	417.83	13892.9
134	17956	2406104	11.5758	5.1172	7.46269	420.97	14102.6
135	18225	2460375	11.6190	5.1299	7.40741	424.12	14313.9
136	18496	2515456	11.6619	5.1426	7.35294	427.26	14526.7
137	18769	2571353	11.7047	5.1551	7.29927	430.40	14741.1
138	19044	2628072	11.7473	5.1676	7.24638	433.54	14957.1
139	19321	2685619	11.7898	5.1801	7.19424	436.68	15174.7
140	19600	2744000	11.8322	5.1925	7.14286	439.82	15393.8
141	19881	2803221	11.8743	5.2048	7.09220	442.96	15614.5
142	20164	2863288	11.9164	5.2171	7.04225	446.11	15836.8
143	20449	2924207	11.9583	5.2293	6.99301	449.25	16060.6
144	20736	2985984	12.0000	5.2415	6.94444	452.39	16286.0
145	21025	3048625	12.0416	5.2536	6.89655	455.53	16513.0
146	21316	3112136	12.0830	5.2656	6.84932	458.67	16741.5
147	21609	3176523	12.1244	5.2776	6.80272	461.81	16971.7
148	21904	3241792	12.1655	5.2896	6.75676	464.96	17203.4
149	22201	3307949	12.2066	5.3015	6.71141	468.10	17436.6
150	22500	3375000	12.2474	5.3133	6.66667	471.24	17671.5

n	n ²	n ³	$\sqrt{n}$	$\frac{3}{n}$	1000 n	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n^2}$
							4
151	22801	3442951	12.2882	5.3251	6.62252	474.38	17907.9
152	23104	3511808	12.3288	5.3368	6.57895	477.52	18145.8
153	23409	3581577	12.3693	5.3485	6.53595	480.66	18385.4
154	23716	3652264	12.4097	5.3601	6.49351	483.81	18625.6
155	24025	3723875	12.4499	5.3717	6.45161	486.95	18869.2
156	24336	3796416	12.4900	5.3832	6.41026	490.19	19113.4
157	24649	3869893	12.5300	5.3947	6.36943	493.23	19359.3
158	24964	3944312	12.5698	5.4061	6.32911	496.37	19606.7
159	25281	4019679	12.6095	5.4175	6.28931	499.51	19855.7
160	25600	4096000	12.6491	5.4288	6.25000	502.65	20106.2
161	25921	4173281	12.6886	5.4401	6.21118	505.80	20358.3
162	26244	4251528	12.7279	5.4514	6.17284	508.94	20612.0
163	26569	4330747	12.7671	5.4626	6.13497	512.08	20867.2
164	26896	4410944	12.8062	5.4737	6.09756	515.22	21124.1
165	27225	4492125	12.8452	5.4848	6.06061	518.36	21382.5
166	27556	4574296	12.8841	5.4959	6.02410	521.50	21642.4
167	27889	4657463	12.9228	5.5069	5.98802	524.65	21904.0
168	28224	4741632	12.9615	5.5178	5.95238	527.79	22167.1
169	28561	4826809	13.0000	5.5288	5.91716	530.93	22431.8
170	28900	4913000	13.0384	5.5397	5.88235	534.07	22698.0
171	29241	5000211	13.0767	5.5505	5.84795	537.21	22965.8
172	29584	5088448	13.1149	5.5613	5.81395	540.35	23235.2
173	29929	5177717	13.1529	5.5721	5.78035	543.50	23506.2
174	30276	5268024	13.1909	5.5828	5.74713	546.64	23778.7
175	30625	5359375	13.2288	5.5934	5.71429	549.78	24052.8
176	30976	5451776	13.2665	5.6041	5.68182	552.92	24328.5
177	31329	5545233	13.3041	5.6147	5.64972	556.06	24605.7
178	31684	5639795	13.3417	5.6252	5.61798	559.20	24884.6
179	32041	5735339	13.3791	5.6357	5.58659	562.35	25164.9
180	32400	5832000	13.4164	5.6462	5.55556	565.49	25446.9
181	32761	5929741	13.4536	5.6567	5.52486	568.63	25730.4
182	33124	6028568	13.4907	5.6671	5.49451	571.77	26015.5
183	33489	6128487	13.5277	5.6774	5.46448	574.91	26302.2
184	33856	6229504	13.5647	5.6877	5.43478	578.05	26590.4
185	34225	6331625	13.6015	5.6980	5.40541	581.19	26880.3
186	34596	6434856	13.6382	5.7083	5.37634	584.34	27171.6
187	34969	6539203	13.6748	5.7185	5.34759	587.48	27464.6
188	35344	6644672	13.7113	5.7287	5.31915	590.62	27759.1
189	35721	6751269	13.7477	5.7388	5.29101	593.76	28055.2
190	36100	6859000	13.7840	5.7489	5.26316	596.90	28352.9
191	36481	6967871	13.8203	5.7590	5.23560	600.04	28652.1
192	36864	7077888	13.8564	5.7690	5.20833	603.19	28952.9
193	37249	7189057	13.8924	5.7790	5.18135	606.33	29255.3
194	37636	7301384	13.9284	5.7890	5.15464	609.47	29559.2
195	38025	7414875	13.9642	5.7989	5.12821	612.61	29864.8
196	38416	7529536	14.0000	5.8088	5.10204	615.75	30171.9
197	38809	7645373	14.0357	5.8186	5.07614	618.89	30480.5
198	39204	7762392	14.0712	5.8285	5.05051	622.04	30790.7
199	39601	7880599	14.1067	5.8383	5.02513	625.18	31102.6
200	40000	8000000	14.1421	5.8480	5.00000	628.32	31415.9

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{\sqrt{n}}$	$\frac{1000}{n}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{n^2}{4}$
201	40401	8120601	14.1774	5.8578	4.97512	631.46	31730.9
202	40804	8242408	14.2127	5.8675	4.95050	634.60	32047.4
203	41209	8365427	14.2478	5.8771	4.92611	637.74	32365.5
204	41616	8489664	14.2829	5.8868	4.90196	640.88	32685.1
205	42025	8615125	14.3178	5.8964	4.87805	644.03	33007.4
206	42436	8741816	14.3527	5.9059	4.85437	647.17	33329.2
207	42849	8869743	14.3875	5.9155	4.83092	650.31	33653.5
208	43264	8998912	14.4222	5.9250	4.80769	653.45	33979.5
209	43681	9129329	14.4568	5.9345	4.78469	656.59	34307.0
210	44100	9261000	14.4914	5.9439	4.76190	659.73	34636.1
211	44521	9393931	14.5258	5.9533	4.73934	662.88	34966.7
212	44944	9528128	14.5602	5.9627	4.71698	666.02	35298.9
213	45369	9663597	14.5945	5.9721	4.69484	669.16	35632.7
214	45796	9800344	14.6287	5.9814	4.67290	672.30	35968.1
215	46225	9938375	14.6628	5.9907	4.65116	675.44	36305.0
216	46656	10077696	14.6969	6.0000	4.62963	678.58	36643.5
217	47089	10218313	14.7309	6.0092	4.60820	681.73	36983.6
218	47524	10360232	14.7648	6.0185	4.58716	684.87	37325.3
219	47961	10503459	14.7986	6.0277	4.56621	688.01	37668.5
220	48400	10648000	14.8324	6.0368	4.54545	691.15	38013.3
221	48841	10793861	14.8661	6.0459	4.52489	694.29	38359.6
222	49284	10941048	14.8997	6.0550	4.50450	697.43	38707.6
223	49729	11089567	14.9332	6.0641	4.48430	700.58	39057.1
224	50176	11239424	14.9666	6.0732	4.46429	703.72	39408.1
225	50625	11390625	15.0000	6.0822	4.44444	706.86	39760.8
226	51076	11543176	15.0333	6.0912	4.42478	710.00	40115.5
227	51529	11697083	15.0665	6.1002	4.40529	713.14	40470.8
228	51984	11852352	15.0997	6.1091	4.38596	716.28	40828.1
229	52441	12008989	15.1327	6.1180	4.36681	719.42	41187.1
230	52900	12167000	15.1658	6.1269	4.34783	722.57	41547.6
231	53361	12326391	15.1987	6.1358	4.32900	725.71	41909.6
232	53824	12487168	15.2315	6.1446	4.31034	728.85	42273.3
233	54289	12649337	15.2643	6.1534	4.29185	731.99	42638.5
234	54756	12812904	15.2971	6.1622	4.27355	735.13	43005.3
235	55225	12977875	15.3297	6.1710	4.25532	738.27	43373.6
236	55696	13144256	15.3623	6.1797	4.23720	741.42	43743.5
237	56169	13312053	15.3948	6.1885	4.21941	744.56	44115.0
238	56644	13481272	15.4272	6.1972	4.20168	747.70	44488.1
239	57121	13651919	15.4596	6.2058	4.18410	750.84	44862.7
240	57600	13824000	15.4919	6.2146	4.16667	753.98	45238.9
241	58081	13997521	15.5242	6.2231	4.14938	757.12	45616.7
242	58564	14172488	15.5563	6.2317	4.13223	760.27	45996.1
243	59049	14348907	15.5885	6.2403	4.11523	763.41	46377.0
244	59536	14526784	15.6205	6.2488	4.09836	766.55	46759.5
245	60025	14706125	15.6525	6.2573	4.08163	769.69	47143.5
246	60516	14886936	15.6844	6.2658	4.06504	772.83	47529.2
247	61009	15069223	15.7162	6.2743	4.04858	775.97	47916.4
248	61504	15252992	15.7480	6.2828	4.03226	779.11	48305.1
249	62001	15438249	15.7797	6.2912	4.01606	782.26	48695.5
250	62500	15625000	15.8114	6.2996	4.00000	785.40	49087.4

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{\sqrt{n}}$	$\frac{1000}{n}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{n^2}{4}$
251	63001	15813251	15.8430	6.3080	3.98406	788.54	49480.9
252	63504	16003008	15.8745	6.3164	3.96825	791.68	49875.9
253	64009	16194277	15.9060	6.3247	3.95257	794.82	50272.6
254	64516	16387064	15.9374	6.3330	3.93701	797.96	50670.7
255	65025	16582375	15.9687	6.3413	3.92157	801.11	51070.5
256	65536	16777216	16.0000	6.3496	3.90625	804.25	51471.9
257	66049	16974593	16.0312	6.3579	3.89105	807.39	51874.8
258	66564	17173512	16.0624	6.3661	3.87597	810.53	52279.2
259	67081	17373979	16.0935	6.3743	3.86100	813.67	52685.3
260	67600	17576000	16.1245	6.3825	3.84615	816.81	53092.9
261	68121	17779581	16.1555	6.3907	3.83142	819.96	53502.1
262	68644	17984728	16.1864	6.3988	3.81679	823.10	53912.9
263	69169	18191447	16.2173	6.4070	3.80228	826.24	54325.2
264	69696	18399744	16.2481	6.4151	3.78788	829.38	54739.1
265	70225	18609625	16.2788	6.4232	3.77358	832.52	55154.6
266	70756	18821096	16.3095	6.4312	3.75940	835.66	55571.6
267	71289	19034163	16.3401	6.4393	3.74532	838.81	55990.2
268	71824	19248832	16.3707	6.4473	3.73134	841.95	56410.4
269	72361	19465109	16.4012	6.4553	3.71747	845.09	56832.2
270	72900	19683000	16.4317	6.4633	3.70370	848.23	57255.5
271	73441	19902511	16.4621	6.4713	3.69004	851.37	57680.4
272	73984	20123648	16.4924	6.4792	3.67647	854.51	58106.9
273	74529	20346417	16.5227	6.4872	3.66300	857.65	58534.9
274	75076	20570824	16.5529	6.4951	3.64964	860.80	58964.6
275	75625	20796875	16.5831	6.5030	3.63636	863.94	59395.7
276	76176	21024576	16.6132	6.5108	3.62319	867.08	59828.5
277	76729	21253933	16.6433	6.5187	3.61011	870.22	60262.8
278	77284	21484952	16.6733	6.5265	3.59712	873.36	60698.7
279	77841	21717639	16.7033	6.5343	3.58423	876.50	61136.2
280	78400	21952000	16.7332	6.5421	3.57143	879.65	61575.2
281	78961	22188041	16.7631	6.5499	3.55872	882.79	62015.8
282	79524	22425768	16.7929	6.5577	3.54610	885.93	62458.0
283	80089	22665178	16.8226	6.5654	3.53357	889.07	62901.8
284	80656	22906304	16.8523	6.5731	3.52113	892.21	63347.1
285	81225	23149125	16.8819	6.5808	3.50877	895.35	63794.0
286	81796	23393656	16.9115	6.5885	3.49650	898.50	64242.4
287	82369	23639903	16.9411	6.5962	3.48432	901.64	64692.5
288	82944	23887872	16.9706	6.6039	3.47222	904.78	65144.1
289	83521	24137569	17.0000	6.6115	3.46021	907.92	65597.2
290	84100	24389000	17.0294	6.6191	3.44828	911.06	66052.0
291	84681	24642171	17.0587	6.6267	3.43643	914.20	66508.3
292	85264	24897088	17.0880	6.6343	3.42466	917.35	66966.2
293	85849	25153757	17.1172	6.6419	3.41297	920.49	67425.6
294	86436	25412184	17.1464	6.6494	3.40136	923.63	67886.7
295	87025	25672375	17.1756	6.6569	3.38983	926.77	68349.3
296	87616	25934336	17.2047	6.6644	3.37838	929.91	68813.4
297	88209	26198079	17.2337	6.6719	3.36700	933.05	69279.0
298	88804	26463592	17.2627	6.6794	3.35570	936.19	69746.5
299	89401	26730889	17.2916	6.6869	3.34448	939.34	70215.4
300	90000	27000000	17.3205	6.6943	3.33333	942.48	70685.8

n	n ²	n ³	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{\sqrt{n}}$	$\frac{1000}{n}$	$\frac{\pi n}{4}$	$\frac{\pi n^2}{4}$
301	90601	27270901	17.3494	6.7018	3.32226	945.62	711 57.9
302	91204	27543608	17.3781	6.7092	3.31126	948.76	71631.5
303	91809	27818127	17.4069	6.7166	3.30033	951.90	72106.6
304	92416	28094464	17.4356	6.7240	3.28947	955.04	72583.4
305	93025	28372625	17.4642	6.7313	3.27869	958.19	73061.7
306	93636	28652616	17.4929	6.7387	3.26797	961.33	73541.5
307	94249	28934443	17.5214	6.7460	3.25733	964.47	74024.9
308	94864	29218112	17.5499	6.7533	3.24675	967.61	74506.0
309	95481	29503629	17.5784	6.7606	3.23625	970.75	74990.6
310	96100	29791000	17.6068	6.7679	3.22581	973.89	75476.8
311	96721	30080231	17.6352	6.7752	3.21543	977.04	75964.5
312	97344	30371328	17.6635	6.7824	3.20513	980.18	76453.8
313	97969	30664297	17.6918	6.7897	3.19489	983.32	76944.7
314	98596	30959144	17.7200	6.7969	3.18471	986.46	77437.1
315	99225	31255875	17.7482	6.8041	3.17460	989.60	77931.1
316	99856	31554496	17.7764	6.8113	3.16456	992.74	78426.7
317	100489	31855013	17.8045	6.8185	3.15457	995.88	78923.9
318	101124	32157452	17.8326	6.8256	3.14465	999.03	79422.6
319	101761	32461759	17.8606	6.8328	3.13480	1002.2	79922.8
320	102400	32768000	17.8885	6.8399	3.12500	1005.3	80424.8
321	103041	33076161	17.9165	6.8470	3.11526	1008.5	80928.2
322	103684	33386248	17.9444	6.8541	3.10559	1011.6	81433.2
323	104329	33698267	17.9722	6.8612	3.09598	1014.7	81939.8
324	104976	34012224	18.0000	6.8683	3.08642	1017.9	82448.0
325	105625	34328125	18.0278	6.8753	3.07692	1021.0	82957.7
326	106276	34645976	18.0555	6.8824	3.06748	1024.2	83469.0
327	106929	34965783	18.0831	6.8894	3.05810	1027.3	83981.8
328	107584	35287552	18.1108	6.8964	3.04878	1030.4	84496.3
329	108241	35611289	18.1384	6.9034	3.03951	1033.6	85012.3
330	108900	35937000	18.1659	6.9104	3.03030	1036.7	85529.9
331	109561	36264691	18.1934	6.9174	3.02115	1039.9	86049.0
332	110224	36594368	18.2209	6.9244	3.01205	1043.0	86569.7
333	110889	36926037	18.2483	6.9313	3.00300	1046.2	87092.0
334	111556	37259704	18.2757	6.9382	2.99401	1049.3	87615.9
335	112225	37595375	18.3030	6.9451	2.98507	1052.4	88141.3
336	112896	37933036	18.3303	6.9521	2.97619	1055.6	88668.3
337	113569	38272753	18.3576	6.9590	2.96736	1058.7	89196.9
338	114244	38614472	18.3849	6.9658	2.95858	1061.9	89727.0
339	114921	38958219	18.4120	6.9727	2.94985	1065.0	90258.7
340	115600	39304000	18.4391	6.9795	2.94118	1068.1	90792.0
341	116281	39651821	18.4662	6.9864	2.93255	1071.3	91326.9
342	116964	40001688	18.4932	6.9932	2.92398	1074.4	91863.3
343	117649	40353607	18.5203	7.0000	2.91545	1077.6	92401.9
344	118336	40707584	18.5472	7.0068	2.90698	1080.7	92940.9
345	119025	41063625	18.5742	7.0136	2.89855	1083.8	93481.0
346	119716	41421736	18.6011	7.0203	2.89017	1087.0	94024.7
347	120409	41781923	18.6279	7.0271	2.88184	1090.1	94569.0
348	121104	42144192	18.6548	7.0338	2.87356	1093.3	95114.9
349	121801	42508549	18.6815	7.0406	2.86533	1096.4	95662.3
350	122500	42875000	18.7083	7.0473	2.85714	1099.6	96211.3

n	n ²	n ³	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{\sqrt{n}}$	$\frac{1000}{n}$	$\frac{\pi n}{4}$	$\frac{\pi n^2}{4}$
351	123201	43243551	18.7350	7.0540	2.84900	1102.7	96761.8
352	123904	43614208	18.7617	7.0607	2.84091	1105.8	97314.0
353	124609	43986977	18.7883	7.0674	2.83286	1109.0	97867.7
354	125316	44361864	18.8149	7.0740	2.82486	1112.1	98423.0
355	126025	44738875	18.8414	7.0807	2.81690	1115.3	98979.8
356	126736	45118016	18.8680	7.0873	2.80899	1118.4	99538.2
357	127449	45499293	18.8944	7.0940	2.80112	1121.5	100098
358	128164	45882712	18.9209	7.1006	2.79330	1124.7	100660
359	128881	46268279	18.9473	7.1072	2.78552	1127.8	101223
360	129600	46656000	18.9737	7.1138	2.77778	1131.0	101788
361	130321	47045881	19.0000	7.1204	2.77008	1134.1	102354
362	131044	47437928	19.0263	7.1269	2.76243	1137.3	102922
363	131769	47832147	19.0526	7.1335	2.75482	1140.4	103491
364	132496	48228544	19.0788	7.1400	2.74725	1143.5	104062
365	133225	48627125	19.1050	7.1466	2.73973	1146.7	104635
366	133956	49028996	19.1311	7.1531	2.73224	1149.8	105209
367	134689	49433863	19.1572	7.1596	2.72480	1153.0	105785
368	135424	49840632	19.1833	7.1661	2.71739	1156.1	106362
369	136161	50243409	19.2094	7.1726	2.71003	1159.2	106941
370	136900	50653000	19.2354	7.1791	2.70270	1162.4	107521
371	137641	51064811	19.2614	7.1855	2.69542	1165.5	108103
372	138384	51478848	19.2873	7.1920	2.68817	1168.7	108687
373	139129	51895117	19.3132	7.1984	2.68097	1171.8	109272
374	139876	52313624	19.3391	7.2048	2.67380	1175.0	109858
375	140625	52734375	19.3649	7.2112	2.66667	1178.1	110447
376	141376	53157376	19.3907	7.2177	2.65957	1181.2	111036
377	142129	53582633	19.4165	7.2240	2.65252	1184.4	111628
378	142884	54010152	19.4422	7.2304	2.64550	1187.5	112221
379	143641	54439939	19.4679	7.2368	2.63852	1190.7	112815
380	144400	54872000	19.4936	7.2432	2.63158	1193.8	113411
381	145161	55306341	19.5192	7.2495	2.62467	1196.9	114009
382	145924	55742968	19.5448	7.2558	2.61780	1200.1	114608
383	146689	56181887	19.5704	7.2622	2.61097	1203.2	115209
384	147456	56623104	19.5959	7.2685	2.60417	1206.4	115812
385	148225	57066625	19.6214	7.2748	2.59740	1209.5	116416
386	148996	57512456	19.6469	7.2811	2.59067	1212.7	117021
387	149769	57960603	19.6723	7.2874	2.58398	1215.8	117628
388	150544	58411072	19.6977	7.2936	2.57732	1218.9	118237
389	151321	58863869	19.7231	7.2999	2.57069	1222.1	118847
390	152100	59319000	19.7484	7.3061	2.56410	1225.2	119459
391	152881	59776471	19.7737	7.3124	2.55754	1228.4	120072
392	153664	60236288	19.7990	7.3186	2.55102	1231.5	120687
393	154449	60698457	19.8242	7.3248	2.54453	1234.6	121304
394	155236	61162984	19.8494	7.3310	2.53807	1237.8	121922
395	156025	61629875	19.8746	7.3372	2.53165	1240.9	122542
396	156816	62099136	19.8997	7.3434	2.52525	1244.1	123163
397	157609	62570773	19.9249	7.3496	2.51889	1247.2	123786
398	158404	63044792	19.9499	7.3558	2.51256	1250.4	124410
399	159201	63521199	19.9750	7.3619	2.50627	1253.5	125036
400	160000	64000000	20.0000	7.3681	2.50000	1256.6	125664

n	n ²	n ³	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
401	160801	64481201	20,0250	7,3742	2,49377	1259,8	1262,93
402	161604	64964808	20,0499	7,3803	2,48756	1262,9	1269,23
403	162409	65450827	20,0749	7,3864	2,48139	1266,1	1275,56
404	163216	65939246	20,0998	7,3925	2,47525	1269,2	1281,90
405	164025	66430125	20,1246	7,3986	2,46914	1272,3	1288,25
406	164836	66923416	20,1494	7,4047	2,46305	1275,5	1294,62
407	165649	67419143	20,1742	7,4108	2,45700	1278,6	1301,00
408	166464	67917312	20,1990	7,4169	2,45098	1281,8	1307,41
409	167281	68417929	20,2237	7,4229	2,44499	1284,9	1313,82
410	168100	68921000	20,2485	7,4290	2,43902	1288,1	1320,25
411	168921	69426531	20,2731	7,4350	2,43309	1291,2	1326,70
412	169744	69934528	20,2978	7,4410	2,42718	1294,3	1333,17
413	170569	70444997	20,3224	7,4470	2,42131	1297,5	1339,65
414	171396	70957944	20,3470	7,4530	2,41546	1300,6	1346,14
415	172225	71473375	20,3715	7,4590	2,40964	1303,8	1352,65
416	173056	71991296	20,3961	7,4650	2,40385	1306,9	1359,18
417	173889	72511713	20,4206	7,4710	2,39808	1310,0	1365,72
418	174724	73034632	20,4450	7,4770	2,39234	1313,2	1372,28
419	175561	73560059	20,4695	7,4829	2,38663	1316,3	1378,85
420	176400	74088000	20,4939	7,4889	2,38095	1319,5	1385,44
421	177241	74618461	20,5183	7,4948	2,37530	1322,6	1392,05
422	178084	75151448	20,5426	7,5007	2,36967	1325,8	1398,67
423	178929	75686967	20,5670	7,5067	2,36407	1328,9	1405,31
424	179776	76225024	20,5913	7,5126	2,35849	1332,0	1411,96
425	180625	76765625	20,6155	7,5185	2,35294	1335,2	1418,63
426	181476	77308776	20,6398	7,5244	2,34742	1338,3	1425,31
427	182329	77854483	20,6640	7,5302	2,34192	1341,5	1432,01
428	183184	78402752	20,6882	7,5361	2,33645	1344,6	1438,72
429	184041	78953589	20,7123	7,5420	2,33100	1347,7	1445,45
430	184900	79507000	20,7364	7,5478	2,32558	1350,9	1452,20
431	185761	80062991	20,7605	7,5537	2,32019	1354,0	1458,96
432	186624	80621568	20,7846	7,5595	2,31481	1357,2	1465,74
433	187489	81182737	20,8087	7,5654	2,30947	1360,3	1472,54
434	188356	81746504	20,8327	7,5712	2,30415	1363,5	1479,34
435	189225	82312875	20,8567	7,5770	2,29885	1366,6	1486,17
436	190096	82881856	20,8806	7,5828	2,29358	1369,7	1493,01
437	190969	83453453	20,9045	7,5886	2,28833	1372,8	1499,87
438	191844	84027672	20,9284	7,5944	2,28311	1375,9	1506,74
439	192721	84604519	20,9523	7,6001	2,27790	1379,2	1513,63
440	193600	85184000	20,9762	7,6059	2,27273	1382,3	1520,53
441	194481	85766121	21,0000	7,6117	2,26757	1385,4	1527,45
442	195364	86350888	21,0238	7,6174	2,26244	1388,5	1534,39
443	196249	86938307	21,0476	7,6232	2,25734	1391,7	1541,34
444	197136	87528384	21,0713	7,6289	2,25225	1394,9	1548,30
445	198025	88121125	21,0950	7,6346	2,24719	1398,0	1555,28
446	198916	88716536	21,1187	7,6403	2,24215	1401,2	1562,28
447	199809	89314623	21,1424	7,6460	2,23714	1404,3	1569,30
448	200704	89915392	21,1660	7,6517	2,23214	1407,4	1576,33
449	201601	90518849	21,1896	7,6574	2,22717	1410,6	1583,37
450	202500	91125000	21,2132	7,6631	2,22222	1413,7	1590,43

n	n ²	n ³	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
451	203401	91733851	21,2368	7,6688	2,21729	1416,9	1597,51
452	204304	92345408	21,2603	7,6744	2,21239	1420,0	1604,60
453	205209	92959677	21,2838	7,6801	2,20751	1423,1	1611,71
454	206116	93576664	21,3073	7,6857	2,20264	1426,3	1618,83
455	207025	94196375	21,3307	7,6914	2,19779	1429,4	1625,97
456	207936	94818816	21,3542	7,6970	2,19298	1432,6	1633,13
457	208849	95443993	21,3776	7,7026	2,18818	1435,7	1640,30
458	209764	96071912	21,4009	7,7082	2,18341	1438,8	1647,48
459	210681	96702579	21,4243	7,7138	2,17865	1442,0	1654,68
460	211600	97336000	21,4476	7,7194	2,17391	1445,1	1661,90
461	212521	97972181	21,4709	7,7250	2,16920	1448,3	1669,14
462	213444	98611128	21,4942	7,7306	2,16450	1451,4	1676,39
463	214369	99252847	21,5174	7,7362	2,15983	1454,6	1683,65
464	215296	99897344	21,5407	7,7418	2,15517	1457,7	1690,93
465	216225	100544625	21,5639	7,7473	2,15054	1460,8	1698,23
466	217156	101194696	21,5870	7,7529	2,14592	1464,0	1705,54
467	218089	101847563	21,6102	7,7584	2,14133	1467,1	1712,87
468	219024	102503232	21,6333	7,7639	2,13675	1470,3	1720,21
469	219961	103161700	21,6564	7,7695	2,13220	1473,4	1727,57
470	220900	103823000	21,6795	7,7750	2,12766	1476,5	1734,94
471	221841	104487111	21,7025	7,7805	2,12314	1479,7	1742,34
472	222784	105154048	21,7256	7,7860	2,11864	1482,8	1749,74
473	223729	105823815	21,7486	7,7915	2,11416	1486,0	1757,16
474	224676	106496424	21,7715	7,7970	2,10970	1489,1	1764,61
475	225625	107171875	21,7945	7,8025	2,10526	1492,3	1772,05
476	226576	107850176	21,8174	7,8079	2,10084	1495,4	1779,52
477	227529	108531333	21,8403	7,8134	2,09644	1498,5	1787,01
478	228484	109215352	21,8632	7,8188	2,09205	1501,7	1794,51
479	229441	109902239	21,8861	7,8243	2,08768	1504,8	1802,03
480	230400	110592000	21,9089	7,8297	2,08333	1508,0	1809,56
481	231361	111284641	21,9317	7,8352	2,07900	1511,1	1817,11
482	232324	111980168	21,9545	7,8406	2,07469	1514,2	1824,67
483	233289	112678587	21,9773	7,8460	2,07039	1517,4	1832,25
484	234256	113379904	22,0000	7,8514	2,06612	1520,5	1839,84
485	235225	114084125	22,0227	7,8568	2,06186	1523,7	1847,45
486	236196	114791256	22,0454	7,8622	2,05761	1526,8	1855,08
487	237169	115501303	22,0681	7,8676	2,05338	1529,9	1862,72
488	238144	116214272	22,0907	7,8730	2,04918	1533,1	1870,38
489	239121	116930169	22,1133	7,8784	2,04499	1536,2	1878,05
490	240100	117649000	22,1359	7,8837	2,04082	1539,4	1885,74
491	241081	118370771	22,1585	7,8891	2,03666	1542,5	1893,45
492	242064	119095488	22,1811	7,8944	2,03252	1545,7	1901,17
493	243049	119823157	22,2036	7,8998	2,02840	1548,8	1908,90
494	244036	120553784	22,2261	7,9051	2,02429	1551,9	1916,65
495	245025	121287375	22,2486	7,9105	2,02020	1555,1	1924,42
496	246016	122023936	22,2711	7,9158	2,01613	1558,2	1932,21
497	247009	122763473	22,2935	7,9211	2,01207	1561,4	1940,00
498	248004	123505992	22,3159	7,9264	2,00803	1564,5	1947,82
499	249001	124251499	22,3383	7,9317	2,00401	1567,7	1955,65
500	250000	125000000	22,3607	7,9370	2,00000	1570,8	1963,50

n	n ²	n ³	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n^2}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi^2 n^2}{4}$
501	251001	125751501	22.3830	7.9423	1.99601	1573.9	197136
502	252004	126506008	22.4054	7.9476	1.99203	1577.1	197923
503	253009	127263527	22.4277	7.9528	1.98807	1580.2	198713
504	254016	128024064	22.4499	7.9581	1.98413	1583.4	199504
505	255025	128787625	22.4722	7.9634	1.98020	1586.5	200296
506	256036	129554216	22.4944	7.9686	1.97628	1589.6	201090
507	257049	130328843	22.5167	7.9739	1.97239	1592.8	201886
508	258064	131096512	22.5389	7.9791	1.96850	1595.9	202683
509	259081	131872229	22.5610	7.9843	1.96464	1599.1	203482
510	260100	132651000	22.5832	7.9896	1.96078	1602.2	204282
511	261121	133432831	22.6053	7.9948	1.95695	1605.4	205084
512	262144	134217728	22.6274	8.0000	1.95312	1608.5	205887
513	263169	135005697	22.6495	8.0052	1.94932	1611.6	206692
514	264196	135796744	22.6716	8.0104	1.94553	1614.8	207499
515	265225	136590875	22.6936	8.0156	1.94175	1617.9	208307
516	266256	137388096	22.7156	8.0208	1.93798	1621.1	209117
517	267289	138188413	22.7376	8.0260	1.93424	1624.2	209928
518	268324	138991832	22.7596	8.0311	1.93050	1627.3	210741
519	269361	139798359	22.7816	8.0363	1.92678	1630.5	211556
520	270400	140606000	22.8035	8.0415	1.92308	1633.6	212372
521	271441	141420761	22.8254	8.0466	1.91939	1636.8	213189
522	272484	142232648	22.8473	8.0517	1.91571	1639.9	214008
523	273529	143045667	22.8692	8.0569	1.91205	1643.1	214829
524	274576	143877824	22.8910	8.0620	1.90840	1646.2	215651
525	275625	144703125	22.9129	8.0671	1.90476	1649.3	216475
526	276676	145531576	22.9347	8.0723	1.90114	1652.5	217301
527	277729	146363183	22.9565	8.0774	1.89753	1655.6	218128
528	278784	147197952	22.9783	8.0825	1.89394	1658.8	218956
529	279841	148035889	23.0000	8.0876	1.89036	1661.9	219787
530	280900	148877000	23.0217	8.0927	1.88679	1665.0	220618
531	281961	149721201	23.0434	8.0978	1.88324	1668.2	221452
532	283024	150568768	23.0651	8.1028	1.87970	1671.3	222287
533	284089	151419437	23.0868	8.1079	1.87617	1674.5	223123
534	285156	152273304	23.1084	8.1130	1.87266	1677.6	223961
535	286225	153130375	23.1301	8.1180	1.86916	1680.8	224801
536	287296	153990656	23.1517	8.1231	1.86567	1683.9	225642
537	288369	154854153	23.1733	8.1281	1.86220	1687.0	226484
538	289444	155720872	23.1948	8.1332	1.85874	1690.2	227329
539	290521	156590819	23.2164	8.1382	1.85529	1693.3	228175
540	291600	157464000	23.2379	8.1433	1.85185	1696.5	229022
541	292681	158340421	23.2594	8.1483	1.84843	1699.6	229871
542	293764	159220088	23.2809	8.1533	1.84502	1702.7	230722
543	294849	160103007	23.3024	8.1583	1.84162	1705.9	231574
544	295936	160989184	23.3238	8.1633	1.83824	1709.0	232428
545	297025	161878625	23.3452	8.1683	1.83486	1712.2	233283
546	298116	162771336	23.3666	8.1733	1.83150	1715.3	234140
547	299209	163668323	23.3880	8.1783	1.82815	1718.5	234998
548	300304	164566592	23.4094	8.1833	1.82482	1721.6	235858
549	301401	165469149	23.4307	8.1882	1.82149	1724.7	236720
550	302500	166375000	23.4521	8.1932	1.81818	1727.9	237583

n	n ²	n ³	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n^2}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi^2 n^2}{4}$
551	303601	167284151	23.4734	8.1982	1.81488	1731.0	238448
552	304704	168196088	23.4947	8.2031	1.81159	1734.2	239314
553	305809	169112377	23.5160	8.2081	1.80832	1737.3	240182
554	306916	170034164	23.5372	8.2130	1.80505	1740.4	241051
555	308025	170953875	23.5584	8.2180	1.80180	1743.6	241922
556	309136	171879616	23.5797	8.2229	1.79856	1746.7	242795
557	310249	172808693	23.6008	8.2278	1.79533	1749.9	243669
558	311364	173741112	23.6220	8.2327	1.79211	1753.0	244545
559	312481	174676879	23.6432	8.2377	1.78891	1756.2	245422
560	313600	175616000	23.6643	8.2426	1.78571	1759.3	246301
561	314721	176558481	23.6854	8.2475	1.78253	1762.4	247181
562	315844	177504328	23.7065	8.2524	1.77936	1765.6	248063
563	316969	178453547	23.7276	8.2573	1.77620	1768.7	248947
564	318096	179406144	23.7487	8.2621	1.77305	1771.9	249832
565	319225	180362125	23.7697	8.2670	1.76991	1775.0	250719
566	320356	181321496	23.7908	8.2719	1.76678	1778.1	251607
567	321489	182284263	23.8118	8.2768	1.76367	1781.3	252497
568	322624	183250432	23.8328	8.2816	1.76056	1784.4	253388
569	323761	184220009	23.8537	8.2865	1.75747	1787.6	254281
570	324900	185193000	23.8747	8.2913	1.75439	1790.7	255176
571	326041	186169411	23.8956	8.2962	1.75131	1793.8	256072
572	327184	187149248	23.9165	8.3010	1.74825	1797.0	256970
573	328329	188132517	23.9374	8.3059	1.74520	1800.1	257869
574	329476	189119224	23.9583	8.3107	1.74216	1803.3	258770
575	330625	190109375	23.9792	8.3155	1.73913	1806.4	259672
576	331776	191102976	24.0000	8.3203	1.73611	1809.6	260576
577	332929	192100133	24.0208	8.3251	1.73310	1812.7	261482
578	334084	193100552	24.0416	8.3300	1.73010	1815.9	262389
579	335241	194104339	24.0624	8.3348	1.72712	1819.0	263298
580	336400	195112000	24.0832	8.3396	1.72414	1822.1	264208
581	337561	196122941	24.1039	8.3443	1.72117	1825.3	265120
582	338724	197137368	24.1247	8.3491	1.71821	1828.4	266033
583	339889	198155287	24.1454	8.3539	1.71527	1831.5	266948
584	341056	199176704	24.1661	8.3587	1.71233	1834.7	267865
585	342225	200201625	24.1868	8.3634	1.70940	1837.8	268783
586	343396	201230056	24.2074	8.3682	1.70648	1841.0	269703
587	344569	202262003	24.2281	8.3730	1.70358	1844.1	270624
588	345744	203297472	24.2487	8.3777	1.70068	1847.3	271547
589	346921	204336469	24.2693	8.3825	1.69779	1850.4	272471
590	348100	205379000	24.2899	8.3872	1.69492	1853.5	273397
591	349281	206425071	24.3105	8.3919	1.69205	1856.7	274325
592	350464	207474688	24.3311	8.3967	1.68919	1859.8	275254
593	351649	208527857	24.3516	8.4014	1.68634	1863.0	276184
594	352836	209584584	24.3721	8.4061	1.68350	1866.1	277117
595	354025	210644875	24.3926	8.4108	1.68067	1869.2	278051
596	355216	211708736	24.4131	8.4155	1.67785	1872.4	278986
597	356409	212776173	24.4336	8.4202	1.67504	1875.5	279923
598	357604	213847192	24.4540	8.4249	1.67224	1878.7	280862
599	358801	214921799	24.4745	8.4296	1.66945	1881.8	281802
600	360000	216000000	24.4949	8.4343	1.66667	1885.0	282743

n	n ²	n ³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	1000 n	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
601	361201	217081801	24.5153	8.4390	1.66389	1888.1	283687
602	362404	218167208	24.5357	8.4437	1.66113	1891.2	284491
603	363609	219256227	24.5561	8.4484	1.65837	1894.4	285278
604	364816	220348864	24.5764	8.4530	1.65563	1897.5	286052
605	366025	221445125	24.5967	8.4577	1.65289	1900.7	286824
606	367236	222545016	24.6171	8.4623	1.65017	1903.8	287597
607	368449	223648543	24.6374	8.4670	1.64745	1906.9	288379
608	369664	224755712	24.6577	8.4716	1.64474	1910.1	289162
609	370881	225866529	24.6779	8.4763	1.64204	1913.2	289945
610	372100	226981000	24.6982	8.4809	1.63934	1916.4	290727
611	373321	228099131	24.7184	8.4856	1.63666	1919.5	291506
612	374544	229220928	24.7386	8.4902	1.63399	1922.7	292284
613	375769	230346397	24.7588	8.4948	1.63132	1925.8	293062
614	376996	231475544	24.7790	8.4994	1.62866	1928.9	293840
615	378225	232608375	24.7992	8.5040	1.62602	1932.1	294617
616	379456	233744896	24.8193	8.5086	1.62338	1935.2	295395
617	380689	234885113	24.8395	8.5132	1.62075	1938.4	296172
618	381924	236029032	24.8596	8.5178	1.61812	1941.5	296949
619	383161	237176659	24.8797	8.5224	1.61551	1944.6	297727
620	384400	238328000	24.8998	8.5270	1.61290	1947.8	298504
621	385641	239483061	24.9199	8.5316	1.61031	1950.9	299282
622	386884	240641848	24.9399	8.5362	1.60772	1954.1	300059
623	388129	241804367	24.9600	8.5408	1.60514	1957.2	300837
624	389376	242970624	24.9800	8.5453	1.60256	1960.4	301614
625	390625	244140625	25.0000	8.5499	1.60000	1963.5	302392
626	391876	245314376	25.0200	8.5544	1.59744	1966.6	303169
627	393129	246491883	25.0400	8.5590	1.59490	1969.8	303947
628	394384	247673152	25.0599	8.5635	1.59236	1972.9	304724
629	395641	248858189	25.0799	8.5681	1.58983	1976.1	305502
630	396900	250047000	25.0998	8.5726	1.58730	1979.2	306279
631	398161	251239591	25.1197	8.5772	1.58479	1982.3	307057
632	399424	252435968	25.1396	8.5817	1.58228	1985.5	307834
633	400689	253636137	25.1595	8.5862	1.57978	1988.6	308612
634	401956	254840104	25.1794	8.5907	1.57729	1991.8	309389
635	403225	256047875	25.1992	8.5952	1.57480	1994.9	310167
636	404496	257259456	25.2190	8.5997	1.57233	1998.1	310944
637	405769	258474853	25.2389	8.6043	1.56986	2001.2	311722
638	407044	259694072	25.2587	8.6088	1.56740	2004.3	312500
639	408321	260917119	25.2784	8.6132	1.56495	2007.5	313277
640	409600	262144000	25.2982	8.6177	1.56250	2010.6	314055
641	410881	263374721	25.3180	8.6222	1.56006	2013.8	314832
642	412164	264609288	25.3377	8.6267	1.55763	2016.9	315610
643	413449	265847707	25.3574	8.6312	1.55521	2020.0	316387
644	414736	267089984	25.3772	8.6357	1.55280	2023.2	317165
645	416025	268336125	25.3969	8.6401	1.55039	2026.3	317942
646	417316	269586136	25.4165	8.6446	1.54799	2029.5	318720
647	418609	270840023	25.4362	8.6490	1.54560	2032.6	319497
648	419904	272097792	25.4558	8.6535	1.54321	2035.8	320275
649	421201	273359449	25.4755	8.6579	1.54083	2038.9	321052
650	422500	274625000	25.4951	8.6624	1.53846	2042.0	321830

n	n ²	n ³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	1000 n	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
651	423801	275894451	25.5147	8.6668	1.53610	2045.2	322607
652	425104	277167208	25.5343	8.6713	1.53374	2048.3	323385
653	426409	278445077	25.5539	8.6757	1.53139	2051.5	324162
654	427716	279726264	25.5734	8.6801	1.52905	2054.6	324940
655	429025	281011375	25.5930	8.6845	1.52672	2057.7	325717
656	430336	282300416	25.6125	8.6890	1.52439	2060.9	326495
657	431649	283593393	25.6320	8.6934	1.52207	2064.0	327272
658	432964	284890312	25.6515	8.6978	1.51976	2067.2	328050
659	434281	286191179	25.6710	8.7022	1.51745	2070.3	328827
660	435600	287496000	25.6905	8.7066	1.51515	2073.5	329605
661	436921	288804781	25.7099	8.7110	1.51286	2076.6	330382
662	438244	290117528	25.7294	8.7154	1.51057	2079.7	331160
663	439569	291434247	25.7488	8.7198	1.50830	2082.9	331937
664	440896	292754944	25.7682	8.7241	1.50602	2086.0	332715
665	442225	294079625	25.7876	8.7285	1.50376	2089.2	333492
666	443556	295408296	25.8070	8.7329	1.50150	2092.3	334270
667	444889	296740963	25.8265	8.7373	1.49925	2095.4	335047
668	446224	298077632	25.8459	8.7416	1.49701	2098.6	335825
669	447561	299418309	25.8650	8.7460	1.49477	2101.7	336602
670	448900	300763000	25.8844	8.7503	1.49254	2104.9	337380
671	450241	302111711	25.9037	8.7547	1.49031	2108.0	338157
672	451584	303464448	25.9230	8.7590	1.48810	2111.2	338935
673	452929	304821217	25.9422	8.7634	1.48588	2114.3	339712
674	454276	306182024	25.9615	8.7677	1.48368	2117.4	340490
675	455625	307546875	25.9808	8.7721	1.48148	2120.6	341267
676	456976	308915776	26.0000	8.7764	1.47929	2123.7	342045
677	458329	310288732	26.0192	8.7807	1.47710	2126.9	342822
678	459684	311665752	26.0384	8.7850	1.47493	2130.0	343600
679	461041	313046839	26.0576	8.7893	1.47275	2133.1	344377
680	462400	314432000	26.0768	8.7937	1.47059	2136.3	345155
681	463761	315821241	26.0960	8.7980	1.46843	2139.4	345932
682	465124	317214568	26.1151	8.8023	1.46628	2142.5	346710
683	466489	318611987	26.1343	8.8066	1.46413	2145.6	347487
684	467856	320013504	26.1534	8.8109	1.46199	2148.8	348265
685	469225	321419125	26.1725	8.8152	1.45985	2151.9	349042
686	470596	322828856	26.1916	8.8194	1.45773	2155.1	349820
687	471969	324242703	26.2107	8.8237	1.45560	2158.3	350597
688	473344	325660662	26.2298	8.8280	1.45349	2161.4	351375
689	474721	327082769	26.2488	8.8323	1.45138	2164.6	352152
690	476100	328509000	26.2679	8.8366	1.44928	2167.7	352930
691	477481	329939371	26.2869	8.8408	1.44718	2170.8	353707
692	478864	331373888	26.3059	8.8451	1.44509	2174.0	354485
693	480249	332812557	26.3249	8.8493	1.44300	2177.1	355262
694	481636	334255384	26.3439	8.8536	1.44092	2180.3	356040
695	483025	335702375	26.3629	8.8578	1.43885	2183.4	356817
696	484416	337153536	26.3818	8.8621	1.43678	2186.5	357595
697	485809	338608873	26.4008	8.8663	1.43472	2189.7	358372
698	487204	340068392	26.4197	8.8706	1.43266	2192.8	359150
699	488601	341532099	26.4386	8.8748	1.43062	2196.0	359927
700	490000	343000000	26.4575	8.8790	1.42857	2199.1	360705

n	n ²	n ³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
701	491401	344472101	26,4764	8,8833	1,42653	2202,3	385945
702	492804	345948408	26,4953	8,8875	1,42450	2205,4	387047
703	494209	347428927	26,5141	8,8917	1,42248	2208,5	388151
704	495616	348913664	26,5330	8,8959	1,42045	2211,7	389256
705	497025	350402625	26,5518	8,9001	1,41844	2214,8	390363
706	498436	351895816	26,5707	8,9043	1,41643	2218,0	391471
707	499849	353393243	26,5895	8,9085	1,41443	2221,1	392580
708	501264	354894912	26,6083	8,9127	1,41243	2224,2	393692
709	502681	356400829	26,6271	8,9169	1,41044	2227,4	394805
710	504100	357911000	26,6458	8,9211	1,40845	2230,5	395919
711	505521	359425431	26,6646	8,9253	1,40647	2233,7	397035
712	506944	360944128	26,6833	8,9295	1,40449	2236,8	398153
713	508369	362467097	26,7021	8,9337	1,40252	2240,0	399272
714	509796	363994344	26,7208	8,9378	1,40056	2243,1	400393
715	511225	365525875	26,7395	8,9420	1,39860	2246,2	401515
716	512656	367061696	26,7582	8,9462	1,39665	2249,4	402639
717	514089	368601813	26,7769	8,9503	1,39470	2252,5	403765
718	515524	370146232	26,7955	8,9545	1,39276	2255,7	404892
719	516961	371694959	26,8142	8,9587	1,39082	2258,8	406020
720	518400	373248000	26,8328	8,9628	1,38889	2261,9	407150
721	519841	374805361	26,8514	8,9670	1,38696	2265,1	408282
722	521284	376367048	26,8701	8,9711	1,38504	2268,2	409415
723	522729	377933067	26,8887	8,9752	1,38313	2271,4	410550
724	524176	379503424	26,9072	8,9794	1,38122	2274,5	411687
725	525625	381078125	26,9258	8,9835	1,37931	2277,7	412825
726	527076	382657176	26,9444	8,9876	1,37741	2280,8	413965
727	528529	384240583	26,9629	8,9918	1,37552	2283,9	415106
728	529984	385828352	26,9815	8,9959	1,37363	2287,1	416248
729	531441	387420489	27,0000	9,0000	1,37174	2290,2	417393
730	532900	389017000	27,0185	9,0041	1,36986	2293,4	418539
731	534361	390617891	27,0370	9,0082	1,36799	2296,5	419686
732	535824	392223168	27,0555	9,0123	1,36612	2299,6	420835
733	537289	393832837	27,0740	9,0164	1,36426	2302,8	421986
734	538756	395446904	27,0924	9,0205	1,36240	2305,9	423138
735	540225	397065375	27,1109	9,0246	1,36054	2309,1	424293
736	541696	398688256	27,1293	9,0287	1,35868	2312,2	425447
737	543169	400315553	27,1477	9,0328	1,35685	2315,4	426604
738	544644	401947272	27,1662	9,0369	1,35501	2318,5	427762
739	546121	403583419	27,1846	9,0410	1,35318	2321,6	428922
740	547600	405224000	27,2029	9,0450	1,35135	2324,8	430084
741	549081	406869021	27,2213	9,0491	1,34953	2327,9	431247
742	550564	408518488	27,2397	9,0532	1,34771	2331,1	432412
743	552049	410172407	27,2580	9,0572	1,34590	2334,2	433578
744	553536	411830784	27,2764	9,0613	1,34409	2337,3	434746
745	555025	413493625	27,2947	9,0654	1,34228	2340,5	435916
746	556516	415160936	27,3130	9,0694	1,34048	2343,6	437087
747	558009	416832723	27,3313	9,0735	1,33869	2346,8	438259
748	559504	418508992	27,3496	9,0775	1,33690	2349,9	439433
749	561001	420189749	27,3679	9,0816	1,33511	2353,1	440609
750	562500	421875000	27,3861	9,0856	1,33333	2356,2	441786

n	n ²	n ³	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
751	564001	423564751	27,4044	9,0896	1,33156	2359,3	442965
752	565504	425259008	27,4226	9,0937	1,32979	2362,5	444146
753	567009	426957777	27,4408	9,0977	1,32802	2365,6	445328
754	568516	428661064	27,4591	9,1017	1,32626	2368,8	446511
755	570025	430368875	27,4773	9,1057	1,32450	2371,9	447697
756	571536	432081216	27,4955	9,1098	1,32275	2375,0	448883
757	573049	433798093	27,5136	9,1138	1,32100	2378,2	450072
758	574564	435519512	27,5318	9,1178	1,31926	2381,3	451262
759	576081	437245479	27,5500	9,1218	1,31752	2384,5	452453
760	577600	438976000	27,5681	9,1258	1,31579	2387,6	453646
761	579121	440711081	27,5862	9,1298	1,31406	2390,8	454841
762	580644	442450728	27,6043	9,1338	1,31234	2393,9	456037
763	582169	444194947	27,6225	9,1378	1,31062	2397,0	457234
764	583696	445943744	27,6405	9,1418	1,30890	2400,2	458434
765	585225	447697125	27,6586	9,1458	1,30719	2403,3	459635
766	586756	449455096	27,6767	9,1498	1,30548	2406,5	460837
767	588289	451217663	27,6948	9,1537	1,30378	2409,6	462041
768	589824	452984832	27,7128	9,1577	1,30208	2412,7	463247
769	591361	454756609	27,7308	9,1617	1,30039	2415,9	464454
770	592900	456533000	27,7489	9,1657	1,29870	2419,0	465663
771	594441	458314011	27,7669	9,1696	1,29702	2422,2	466873
772	595984	460099648	27,7849	9,1736	1,29534	2425,3	468085
773	597529	461889917	27,8029	9,1775	1,29366	2428,5	469298
774	599076	463684824	27,8209	9,1815	1,29199	2431,6	470513
775	600625	465484375	27,8388	9,1855	1,29032	2434,7	471730
776	602176	467288576	27,8568	9,1894	1,28866	2437,9	472948
777	603729	469097433	27,8747	9,1933	1,28700	2441,0	474168
778	605284	470910952	27,8927	9,1973	1,28535	2444,2	475389
779	606841	472729139	27,9106	9,2012	1,28370	2447,3	476612
780	608400	474552000	27,9285	9,2052	1,28205	2450,4	477836
781	609961	476379541	27,9464	9,2091	1,28041	2453,6	479062
782	611524	478211768	27,9643	9,2130	1,27877	2456,7	480290
783	613089	480048687	27,9821	9,2170	1,27714	2459,9	481519
784	614656	481890304	28,0000	9,2209	1,27551	2463,0	482750
785	616225	483736625	28,0179	9,2248	1,27389	2466,2	483982
786	617796	485587656	28,0357	9,2286	1,27226	2469,3	485216
787	619369	487443403	28,0535	9,2326	1,27065	2472,4	486451
788	620944	489303872	28,0713	9,2365	1,26904	2475,6	487688
789	622521	491169069	28,0891	9,2404	1,26743	2478,7	488927
790	624100	493039000	28,1069	9,2443	1,26582	2481,9	490167
791	625681	494913671	28,1247	9,2482	1,26422	2485,0	491409
792	627264	496793088	28,1425	9,2521	1,26263	2488,1	492652
793	628849	498677257	28,1603	9,2560	1,26103	2491,3	493897
794	630436	500566184	28,1780	9,2599	1,25945	2494,4	495143
795	632025	502459875	28,1957	9,2638	1,25786	2497,6	496391
796	633616	504358336	28,2135	9,2677	1,25628	2500,7	497641
797	635209	506251573	28,2312	9,2716	1,25471	2503,8	498892
798	636804	508149592	28,2489	9,2754	1,25313	2507,0	500145
799	638401	510052399	28,2666	9,2793	1,25156	2510,1	501399
800	640000	512000000	28,2843	9,2832	1,25000	2513,3	502655

n	n ²	n ³	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n^2}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
801	641601	513922401	28.3019	0.2870	1.24844	2516.4	503912
802	643204	515849608	28.3196	0.2909	1.24688	2519.6	505171
803	644809	517781627	28.3373	0.2948	1.24533	2522.7	506432
804	646416	519718464	28.3549	0.2986	1.24378	2525.8	507694
805	648025	521660125	28.3725	0.3025	1.24224	2529.0	508958
806	649636	523606616	28.3901	0.3063	1.24069	2532.1	510223
807	651249	525557943	28.4077	0.3102	1.23916	2535.3	511490
808	652864	527514112	28.4253	0.3140	1.23762	2538.4	512758
809	654481	529475129	28.4429	0.3179	1.23609	2541.5	514028
810	656100	531441000	28.4605	0.3217	1.23457	2544.7	515300
811	657721	533411731	28.4781	0.3255	1.23305	2547.8	516573
812	659344	535387328	28.4956	0.3294	1.23153	2551.0	517848
813	660969	537367797	28.5132	0.3332	1.23001	2554.1	519124
814	662596	539353144	28.5307	0.3370	1.22850	2557.3	520402
815	664225	541343375	28.5482	0.3408	1.22699	2560.4	521681
816	665856	543338496	28.5657	0.3447	1.22549	2563.5	522962
817	667489	545338513	28.5832	0.3485	1.22399	2566.7	524245
818	669124	547343432	28.6007	0.3523	1.22249	2569.8	525529
819	670761	549353259	28.6182	0.3561	1.22100	2573.0	526814
820	672400	551368000	28.6356	0.3599	1.21951	2576.1	528102
821	674041	553387661	28.6531	0.3637	1.21803	2579.2	529391
822	675684	555412248	28.6705	0.3675	1.21655	2582.4	530681
823	677329	557441767	28.6880	0.3713	1.21507	2585.5	531973
824	678976	559476224	28.7054	0.3751	1.21359	2588.7	533267
825	680625	561515625	28.7228	0.3789	1.21212	2591.8	534562
826	682276	563559976	28.7402	0.3827	1.21065	2595.0	535858
827	683929	565609283	28.7576	0.3865	1.20919	2598.1	537157
828	685584	567663552	28.7750	0.3902	1.20773	2601.2	538456
829	687241	569722789	28.7924	0.3940	1.20627	2604.4	539758
830	688900	571787000	28.8097	0.3978	1.20482	2607.5	541061
831	690561	573856191	28.8271	0.4016	1.20337	2610.7	542365
832	692224	575930368	28.8444	0.4053	1.20192	2613.8	543671
833	693889	578009537	28.8617	0.4091	1.20048	2616.9	544979
834	695556	580093704	28.8790	0.4129	1.19904	2620.1	546288
835	697225	582183875	28.8964	0.4166	1.19760	2623.2	547599
836	698896	584279056	28.9137	0.4204	1.19617	2626.4	548912
837	700569	586376253	28.9310	0.4241	1.19474	2629.5	550226
838	702244	588480472	28.9482	0.4279	1.19332	2632.7	551541
839	703921	590589719	28.9655	0.4316	1.19190	2635.8	552858
840	705600	592704000	28.9828	0.4354	1.19048	2638.9	554177
841	707281	594823321	29.0000	0.4391	1.18906	2642.1	555497
842	708964	596947688	29.0172	0.4429	1.18765	2645.2	556819
843	710649	599077107	29.0345	0.4466	1.18624	2648.4	558142
844	712336	601211584	29.0517	0.4503	1.18483	2651.5	559467
845	714025	603351125	29.0689	0.4541	1.18343	2654.6	560794
846	715716	605495736	29.0861	0.4578	1.18203	2657.8	562122
847	717409	607645423	29.1033	0.4615	1.18064	2660.9	563452
848	719104	609800192	29.1204	0.4652	1.17925	2664.1	564783
849	720801	611960049	29.1376	0.4690	1.17786	2667.2	566116
850	722500	614125000	29.1548	0.4727	1.17647	2670.4	567450

n	n ²	n ³	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n^2}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
851	724201	616295051	29.1719	0.4764	1.17509	2673.5	568786
852	725904	618470208	29.1890	0.4801	1.17371	2676.6	570124
853	727609	620650477	29.2062	0.4838	1.17233	2679.8	571463
854	729316	622835864	29.2233	0.4875	1.17096	2683.0	572803
855	731025	625026375	29.2404	0.4912	1.16959	2686.1	574146
856	732736	627222016	29.2575	0.4949	1.16822	2689.2	575490
857	734449	629422793	29.2746	0.4986	1.16686	2692.3	576835
858	736164	631628612	29.2916	0.5023	1.16550	2695.4	578182
859	737881	633839479	29.3087	0.5060	1.16414	2698.6	579530
860	739600	636056000	29.3258	0.5097	1.16279	2701.8	580880
861	741321	638277381	29.3428	0.5134	1.16144	2704.9	582232
862	743044	640503928	29.3598	0.5171	1.16009	2708.1	583585
863	744769	642735647	29.3769	0.5207	1.15875	2711.2	584940
864	746496	644972544	29.3939	0.5244	1.15741	2714.3	586297
865	748225	647214625	29.4109	0.5281	1.15607	2717.5	587655
866	749956	649461896	29.4279	0.5317	1.15473	2720.6	589014
867	751689	651714363	29.4449	0.5354	1.15340	2723.8	590375
868	753424	653972032	29.4618	0.5391	1.15207	2726.9	591738
869	755161	656234900	29.4788	0.5427	1.15075	2730.0	593102
870	756900	658503000	29.4958	0.5464	1.14943	2733.2	594468
871	758641	660776311	29.5127	0.5501	1.14811	2736.3	595835
872	760384	663054848	29.5296	0.5537	1.14679	2739.5	597204
873	762129	665338617	29.5466	0.5574	1.14548	2742.6	598575
874	763876	667627624	29.5635	0.5610	1.14416	2745.8	599947
875	765625	669921875	29.5804	0.5647	1.14286	2748.9	601320
876	767376	672222376	29.5973	0.5683	1.14155	2752.0	602696
877	769129	674528133	29.6142	0.5719	1.14025	2755.2	604073
878	770884	676838152	29.6311	0.5756	1.13895	2758.3	605451
879	772641	679151439	29.6479	0.5792	1.13766	2761.5	606831
880	774400	681472000	29.6648	0.5828	1.13636	2764.6	608212
881	776161	683797841	29.6816	0.5865	1.13507	2767.7	609595
882	777924	686128968	29.6985	0.5901	1.13379	2770.9	610980
883	779689	688465387	29.7153	0.5937	1.13250	2774.0	612366
884	781456	690807104	29.7321	0.5973	1.13122	2777.2	613754
885	783225	693154125	29.7489	0.6010	1.12994	2780.3	615143
886	784996	695506456	29.7658	0.6046	1.12867	2783.5	616534
887	786769	697864103	29.7825	0.6082	1.12740	2786.6	617927
888	788544	700227072	29.7993	0.6118	1.12613	2789.7	619321
889	790321	702595369	29.8161	0.6154	1.12486	2792.9	620717
890	792100	704969000	29.8329	0.6190	1.12360	2796.0	622114
891	793881	707347971	29.8496	0.6226	1.12233	2799.2	623513
892	795664	709732288	29.8664	0.6262	1.12108	2802.3	624913
893	797449	712121957	29.8831	0.6298	1.11982	2805.4	626315
894	799236	714516984	29.8998	0.6334	1.11857	2808.6	627718
895	801025	716917375	29.9166	0.6370	1.11732	2811.7	629124
896	802816	719323336	29.9333	0.6406	1.11607	2814.9	630530
897	804609	721734273	29.9500	0.6442	1.11483	2818.0	631938
898	806404	724150792	29.9666	0.6477	1.11359	2821.2	633348
899	808201	726572699	29.9833	0.6513	1.11235	2824.3	634760
900	810000	729000000	30.0000	0.6549	1.11111	2827.4	636173

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
901	811801	731432701	30,0167	9,6585	1,10988	2830,6	637587
902	813604	733870808	30,0333	9,6620	1,10865	2833,7	639003
903	815407	736314327	30,0500	9,6656	1,10742	2836,9	640421
904	817212	738763264	30,0666	9,6692	1,10619	2840,0	641840
905	819025	741217625	30,0832	9,6727	1,10497	2843,1	643261
906	820836	743677416	30,0998	9,6763	1,10375	2846,3	644683
907	822649	746142643	30,1164	9,6799	1,10254	2849,4	646107
908	824464	748613312	30,1330	9,6834	1,10132	2852,6	647533
909	826281	751089429	30,1496	9,6870	1,10011	2855,7	648960
910	828100	753571000	30,1662	9,6905	1,09890	2858,8	650388
911	829921	756058031	30,1828	9,6941	1,09769	2862,0	651818
912	831744	758550528	30,1993	9,6976	1,09649	2865,1	653250
913	833569	761048497	30,2159	9,7012	1,09529	2868,3	654684
914	835396	763551944	30,2324	9,7047	1,09409	2871,4	656118
915	837225	766060875	30,2490	9,7082	1,09290	2874,6	657555
916	839056	768575296	30,2655	9,7118	1,09170	2877,7	658993
917	840889	771095213	30,2820	9,7153	1,09051	2880,8	660433
918	842724	773620632	30,2985	9,7188	1,08932	2884,0	661874
919	844561	776151559	30,3150	9,7224	1,08814	2887,1	663317
920	846400	778688000	30,3315	9,7259	1,08696	2890,3	664761
921	848241	781229961	30,3480	9,7294	1,08578	2893,4	666207
922	850084	783777448	30,3645	9,7329	1,08460	2896,5	667654
923	851929	786330467	30,3809	9,7364	1,08342	2899,7	669103
924	853776	788889024	30,3974	9,7400	1,08225	2902,8	670554
925	855625	791453125	30,4138	9,7435	1,08108	2906,0	672006
926	857476	794022776	30,4302	9,7470	1,07991	2909,1	673460
927	859329	796597983	30,4467	9,7505	1,07875	2912,3	674915
928	861184	799178752	30,4631	9,7540	1,07759	2915,4	676372
929	863041	801765089	30,4795	9,7575	1,07643	2918,5	677831
930	864900	804357000	30,4959	9,7610	1,07527	2921,7	679291
931	866761	806954491	30,5123	9,7645	1,07411	2924,8	680752
932	868624	809557568	30,5287	9,7680	1,07296	2928,0	682216
933	870489	812166237	30,5450	9,7715	1,07181	2931,1	683680
934	872356	814780504	30,5614	9,7750	1,07066	2934,2	685147
935	874225	817400375	30,5778	9,7785	1,06952	2937,4	686615
936	876096	820025856	30,5941	9,7819	1,06838	2940,5	688084
937	877969	822656953	30,6105	9,7854	1,06724	2943,7	689555
938	879844	825293672	30,6268	9,7889	1,06610	2946,8	691028
939	881721	827936019	30,6431	9,7924	1,06496	2950,0	692502
940	883600	830584000	30,6594	9,7959	1,06383	2953,1	693978
941	885481	833237621	30,6757	9,7993	1,06270	2956,2	695455
942	887364	835896888	30,6920	9,8028	1,06157	2959,4	696934
943	889249	838561807	30,7083	9,8063	1,06045	2962,5	698415
944	891136	841232384	30,7246	9,8097	1,05932	2965,7	699897
945	893025	843908625	30,7409	9,8132	1,05820	2968,8	701380
946	894916	846590536	30,7571	9,8167	1,05708	2971,9	702865
947	896809	849278123	30,7734	9,8201	1,05597	2975,1	704352
948	898704	851971392	30,7896	9,8236	1,05485	2978,2	705840
949	900601	854670349	30,8058	9,8270	1,05374	2981,4	707330
950	902500	857375000	30,8221	9,8305	1,05263	2984,5	708822

n	n^2	n^3	$\sqrt{n}$	$\sqrt[3]{n}$	$\frac{1000}{n}$	πn	$\frac{\pi n^2}{4}$
951	904401	860085351	30,8383	9,8339	1,05152	2987,7	710315
952	906304	862801408	30,8545	9,8374	1,05042	2990,8	711809
953	908209	865523177	30,8707	9,8408	1,04932	2993,9	713306
954	910116	868250664	30,8869	9,8443	1,04822	2997,1	714803
955	912025	870983875	30,9031	9,8477	1,04712	3000,2	716303
956	913936	873722816	30,9192	9,8511	1,04603	3003,4	717804
957	915849	876467493	30,9354	9,8546	1,04493	3006,5	719306
958	917764	879217812	30,9516	9,8580	1,04384	3009,6	720810
959	919681	881974079	30,9677	9,8614	1,04275	3012,8	722316
960	921600	884736000	30,9839	9,8648	1,04167	3015,9	723823
961	923521	887503681	31,0000	9,8683	1,04058	3019,1	725332
962	925444	890277128	31,0161	9,8717	1,03950	3022,2	726842
963	927369	893056347	31,0322	9,8751	1,03842	3025,4	728354
964	929296	895841344	31,0483	9,8785	1,03734	3028,5	729867
965	931225	898632125	31,0644	9,8819	1,03627	3031,6	731380
966	933156	901428966	31,0805	9,8854	1,03520	3034,8	732899
967	935089	904231063	31,0966	9,8888	1,03413	3037,9	734417
968	937024	907039232	31,1127	9,8922	1,03306	3041,1	735937
969	938961	909853209	31,1288	9,8956	1,03199	3044,2	737458
970	940900	912673000	31,1448	9,8990	1,03093	3047,3	738981
971	942841	915498611	31,1609	9,9024	1,02987	3050,5	740506
972	944784	918330048	31,1769	9,9058	1,02881	3053,6	742032
973	946729	921167317	31,1929	9,9092	1,02775	3056,8	743559
974	948676	924010424	31,2090	9,9126	1,02669	3059,9	745088
975	950625	926859375	31,2250	9,9160	1,02564	3063,1	746619
976	952576	929714176	31,2410	9,9194	1,02459	3066,2	748151
977	954529	932574833	31,2570	9,9227	1,02354	3069,3	749685
978	956484	935441352	31,2730	9,9261	1,02249	3072,5	751221
979	958441	938313739	31,2890	9,9295	1,02145	3075,6	752758
980	960400	941192000	31,3050	9,9329	1,02041	3078,8	754296
981	962361	944076141	31,3209	9,9363	1,01937	3081,9	755837
982	964324	946966168	31,3369	9,9396	1,01833	3085,0	757378
983	966289	949862087	31,3528	9,9430	1,01729	3088,2	758922
984	968256	952763904	31,3688	9,9464	1,01626	3091,3	760466
985	970225	955671625	31,3847	9,9497	1,01523	3094,5	762013
986	972196	958585256	31,4006	9,9531	1,01420	3097,6	763561
987	974169	961504803	31,4166	9,9565	1,01317	3100,8	765111
988	976144	964430272	31,4325	9,9598	1,01215	3103,9	766662
989	978121	967361669	31,4484	9,9632	1,01112	3107,0	768214
990	980100	970299000	31,4643	9,9666	1,01010	3110,2	769769
991	982081	973242271	31,4802	9,9699	1,00908	3113,3	771325
992	984064	976191488	31,4960	9,9733	1,00806	3116,5	772882
993	986049	979146657	31,5119	9,9766	1,00705	3119,6	774441
994	988036	982107784	31,5278	9,9800	1,00604	3122,7	776002
995	990025	985074875	31,5436	9,9833	1,00503	3125,9	777564
996	992016	988047936	31,5595	9,9866	1,00402	3129,0	779128
997	994009	991026973	31,5753	9,9900	1,00301	3132,2	780693
998	996004	994011992	31,5911	9,9933	1,00200	3135,3	782260
999	998001	997002999	31,6070	9,9967	1,00100	3138,5	783828
1000	1000000	1000000000	31,6228	10,0000	1,00000	3141,6	785398

Stichworte

A

Abdampfstrahlpumpe 103
 Abessinien 29
 Abfederung 87
 Abgasvolumen 122—125
 Abkühlungsverluste 251
 Abkürzungen 351
 Abraumlokomotiven siehe Tagebau-lokomotiven
 Abreißwiderstand 68
 abschaltbare Triebachse 61
 Abtriebsüberschuß 69
 Achsanordnung 44—46
 Achsdruck 33
 Achslager 192
 Achsschenkeldurchmesser 193
 Achsstand 36
 Achssteuerung 400
 Achswelle 193
 Achterberg 104
 Adamsachse 74
 Adhesive factor 60
 Adriatic-Bauart 44
 Ägypten 11, 29
 Ägypt. Staatsbahn 172, 282, 371, 377
 Akkulokomotiven siehe Speicher-fahrzeug
 Algier 29
 Allan-Trick-Steuerung 206
 Alleghany-Bauart 46
 Amboim Ry 168, 356
 American-Bauart 44
 Amerikanische Lokomotivberechnung 152 u. f.
 Amerikanisches Drehgestell 73, 80
 Anatolische Bahn 256
 Anfahrbeschleunigung 59, 64
 Anfahrvorgang 58, 110
 Anfahrwiderstand 58
 Angola 29
 Anheizen 110
 Ankerlose Kessel 184
 anlaufende Achsen 69 u. f.
 Anlaufwinkel 68, 71, 72
 Anteilige Zugkraft 62 u. f.
 Antioquia-Bahn 172, 360
 Antrieb der Triebfahrzeuge 17
 Arbeitsdiagramm 253
 Arbeitseinheit 286
 Arbeitsverbrauch 263

Arbeitsvermögen 250, 251
 Argentinien 11, 29, 174, 282
 Argentinische Staatsb. 172, 174, 404
 Aschegehalt 122
 Aschkasten 116
 ASTM-Bedingungen 186
 Atlantic-Bauart 44
 Aufdorn-Stehbolzen 182
 Aufladung 273
 Ausgleichshebel 90, 97
 Ausgleich der Massen 194
 Außenrahmen 87
 Äußere Steuerung 204
 Ausstellungsbahnen 28
 Ausströmröhr 188
 Ausströmweg 136
 Australien 29, 381
 Auswuchten 199

B

Bach 301
 Baker-Steuerung 207, 210
 Baldwin, Lok.-Berechnung nach B. 152, 163
 Baldwin-Beugnot-Gestell 75, 77, 82
 Baltic-Bauart 44
 Barbersche Formel 54
 Baulokomotiven 68, 176, 282, 365, 369
 Baustoff-Verzeichnis 26
 Beanspruchung von Werkstoffen 300
 Begrenzung der Fahrzeuge 37—43
 Begrenzungslinie 36 u. f.
 Beharrungszustand 49—52, 58, 64, 65
 Beira-Alta-Bahn 174
 Belastungstafeln 65
 Beleuchtung 231—233
 Belgien 29
 Belgisch-Kongo 29
 Benguela 29
 Benson-Kessel 243
 Bergedorf-Geesthachter Eisenb. 168
 Berkshire-Bauart 44
 Bern-Lötschberg-Simplon-Bahn 256
 Beschleunigung 58, 59, 64
 Beschleunigungswiderstand 49, 58
 Bestimmungen siehe gesetzl. Best.
 Beugnot-Gestell 75, 77, 82
 Meyer-Garratt 149, 170, 393, 407
 Bicycle-Bauart 44

Biegungsbeanspruchung 193, 300
 Bisselgestell 73, 74, 76, 79, 80
 Blasrohr 179, 180
 Blasrohrdruck 116
 Blattfeder 87, 88
 Bogenlauf 69—86
 Bolivien 29
 Booster 61, 229
 von Borries 54, 87, 146, 193
 Bourbonnais-Bauart 44
 Brasilianische Nordwestbahn 168, 170, 174, 393
 Brasilianische Zentralbahn 174, 361, 394
 Brasilien 11, 29, 168—174, 361, 394
 Braunkohle 108, 115, 123
 Braunkohlenfeuerung 109, 112, 176
 Braunkohlentagebau 65, 268, 362, 364
 Breitspur 29
 Bremse, 91 u. f., 396
 Bremsleistung 96
 Bremsverzögerung 95, 96
 Bremsweg 93, 94
 Brennstaubfeuerung 13, 239, 381, 395
 Brennstoffbedarf 109
 Brennstoffe 108, 122, 274
 Brennstoffkosten 284
 Brennstoffverbrauch 110
 Brenntemperatur der Kohle 116
 Britisch-Ostafrika 172
 Brückenbelastung 34, 35
 Brückenfahrzeug 72
 Brückmann 122
 Buddicom-Bauart 44
 Bulgarien 11, 29
 Bulgarische Staatsb. 170, 174, 256, 358
 Bundesbahn siehe Deutsche Bundesb.
 Burma Railway 168, 172

C

Caprotti-Steuerung 208
 Centipede-Bauart 45
 Ceylon 29
 Challenger-Bauart 46
 Chekiang-Kiangsi-Bahn 172, 368
 Chile 11, 29, 268
 Chilenische Staatsbahn 174, 268, 368, 373
 China 11, 29, 168, 172—174, 368
 Clapeyronschs Verfahren 91
 Clarkische Formel 54

Cole, Lok.-Berechnung nach C. 152, 157
 Columbia-Bauart 44
 Columbian 29, 172, 360
 Confederation-Bauart 44
 Consolidation-Bauart 44
 Cooper's standard loading 34, 35
 Costa Rica 29
 Coupler-Bauarten 44, 45
 Crampton-Bauart 44
 Cuba 29
 Cypern 29

D

Dampfausströmröhr 188
 Dampfbremse 98
 Dampf-drehgestell 149
 Dampfdruck siehe Kesseldruck
 Dampfdruckschaubild 205, 217, 224 bis 227
 Dampfeinströmröhr 188
 Dampfheizung 103, 118, 153—156, 160, 252
 Dampfgeschwindigkeit 116, 188, 204
 Dampfheizung 103
 Dampfkessel-Bestimmungen 27
 Dampfraum 114
 Dampfstrahlpumpe 103
 Dampf-tafel 127—130
 Dampfturbinenlokomotive 247
 Dampfverbrauch 103—105, 147, 156 u. f.
 Dampfverteiler 204
 Dampfzylinder (Wanddicke) 193
 Dänemark 11, 29
 Darjeeling 29
 Dauerleistung 101, 103, 264, 270
 Dauerzugkraft 132, 264
 Decapod-Bauart 45
 Deichsellänge 73
 Deli-Bahn 168
 Deutsche Bundesbahn 26, 32, 61, 66, 88, 115, 142, 164, 166, 172, 213, 231, 256, 268, 294, 359, 373, 382—392, 397, 401—405
 Deutsche Industrienormen 28
 Deutsche Lokomotivnormen 28, 45
 Deutsche Reichsbahn 34, 115, 141, 164, 166, 170, 179, 268, 382, 383, 386—391, 395
 Dienstgewicht 49
 Dieselelektrische Lokomotive 282, 407

Diesellokomotive 270, 282
 Dieselmotor 272
 Doble-Kessel 243
 Double Ender-Bauart 44
 Drache 12
 Drehen 146
 Drehgestell 71—82
 Drehstrom 257, 260
 Drehzahl 133 u. f., 147, 148
 Drehzahlrückung 277
 Dreipunktsstützung 90
 Dreizylinder-Verbundlokomotive 131, 144
 Drillinglokomotive 131, 145, 146, 164—174, 219
 Drosselung des Dampfes 136
 Druckausgleichschieber 220 u. f.
 Druckluftbremse 103, 396
 Druckölsteuerung 208
 Druckprobe 115
 Druckverlust durch Abkühlung 251
 durchgehende Bremse 97
 Dugas 21, 22
 dynamische Einstellung 69

E

Eckhardt 68
 Eckhardt II-Gestell 75, 77, 79, 81
 Ecuador 29
 effektive Leistung 47
 effektive Zugkraft 47, 65, 132
 Einheitsbohrung 302, 303
 Einheitslokomotive 13, 164—167, 382 u. f., 402, 403
 Einrahnenfahrzeuge 71, 72
 Einstromrohr 188
 Einzelschienenantrieb 14, 46, 61, 248, 249, 265
 Eisenbahn-Bau- u. Betriebsordnung 25, 38 u. f.
 Elektrische Beleuchtung 231—233
 Elektrische Bremse 259, 260
 Elektrische Kraftübertragung 277
 Elektrische Lokomotive 13, 50, 59, 133, 257 u. f., 268, 373—375, 392
 Elektrische Zugförderung 18
 Elektrischer Zugbetrieb 257
 Elina-Lokomotiven 178, 369
 England 28
 Englische Maße und Gewichte 304 u. f.
 Entwurfsgewicht 185
 Entwurf von Lokomotiven und Triebwagen 24

Erdöl 123
 Erfurter Formel 54
 erste Henschel-Lokomotive 12
 Estland 29
 Europa 29

F

Factor of adhesion 60
 Fahrgeschwindigkeit 133, 134, 159, 198, 204
 Fahrpumpe 103
 Fahrzeugbegrenzung 37—43
 Fairlie-Lokomotive 150
 falscher Spurkranz 70
 Feder 87—89
 Federausgleich 90
 Federkonstante 89
 Federtopftrieb 265
 Feldbahnen 29, 54, 172, 356
 feste Achse 69
 feste Brennstoffe 122—124, 274
 fester Achsstand 36, 68
 Festigkeitswerte von Werkstoffen 300
 feuerberührte Heizfläche s. Heizfläche
 Feuerbüchse 181, 182, 186
 Feuerbüchsheizfläche 107
 Feuerbüchsstahl 186
 Feuerbüchstiefe 114
 feuerlose Lokomotive 250 u. f., 364
 Feuerraumbelastung 238
 Finnische Staatsbahnen 168, 170, 363
 Finnland 29, 168
 Flächenmaße 285, 304, 305, 311
 Flächenpressung 192
 Fliehkraft 69
 flüssige Brennstoffe 123, 125, 274
 Flüssigkeitswärme 127
 Föttinger-Prinzip 275, 276
 Forney coupled-Bauart 44
 Franco-Crosti-Lokomotive 14, 189, 401
 Frankreich 11, 29, 168
 Französische Formel 57
 Französische Kolonien 29
 Französisch-Westafrika 29
 freie Fliehkraft 199
 freier Lauf 70
 freie Rostfläche 112
 Frischdampfstrahlpumpe 103
 Frischdampfverbrauch 103
 führende Räder 68 u. f.
 Führungsdruck 68, 71
 Füllung 147, 148, 205, 213, 214

G

Garbe'sche Reibungscharakteristik 138
 Garratt-Lokomotive 149, 170, 394
 Garratt-Union 150
 Gasgeschwindigkeit 116
 Gastemperatur 116, 117
 Gasturbinenlokomotive 279 u. f.
 geführte Länge 68
 Gegendampf 230
 Gegendruckbremse 230, 397
 Gegengewichte 194
 Gegengewichtsberechnung 200
 gegenläufiges Triebwerk 133, 146
 gekreuzte Stangen 206
 gekrümmte Achse 193
 Gelenklokomotive 45, 46, 71, 132, 149—151
 Generator 277
 Georgsmarienhütte 170, 367
 Gepäckwagen 295
 Gesamtwirkungsgrad der verschiedenen Antriebsarten 21
 gesättigter Wasserdampf 127
 geschichtete Körper 289, 290
 Geschweißter Kessel 185, 402
 geschweißter Rahmen 87, 403
 Geschwindigkeitszahl 157
 gesetzliche Bestimmungen 25 u. f.
 Gtriebe-Dampflokomotive 245—247
 Gewichte 289, 290
 Gewichte und Maße 285, 286, 304, 305
 Gewichtsangaben elektrischer Triebfahrzeuge 266, 267
 Gilli-Lokomotive 255, 256
 Gleichstrommotor 258, 262
 Gleisbögen 30, 32, 38, 70, 83—85
 Gleiskrümmung 31, 36, 39, 42
 Gleitbahn 192, 193
 gleitende Reibung 91, 192, 193
 Gleitlager 55
 Gliederfahrzeuge 71, 72, 73
 Glühfarben 291
 Glühkopfmotor 272
 Goldküste 29
 Gölsdorfachse 71, 72, 79
 Gölsdorfsteuerung 207
 Golwé-Lokomotive 151
 Gondal Railway 172
 Gooch-Steuerung 206, 207
 Grade von Gleisbögen 57
 Grenzsteigung 64
 Griechenland 29, 172

Grubenbahnen 29, 51
 Grubenlokomotiven 376
 Grube Phönix/Thür. 170, 364
 Guatemala 29
 gummibereitete Wagen 55, 59 u. f., 64, 95
 günstigste Geschwindigkeit 101, 131
 günstigster mittlerer Kolbendruck 131, 135
 günstigste Zugkraft 101, 131
 Günther-Meyer-Lokomotive 151
 Güterwagen 294—297

H

Hafenbahn Kalkutta 168, 357
 Haftreibung 59
 Haftwert 60
 Halberstadt-Blankenburger Eisenbahn-Gesellschaft 168—170
 Halbmesser von Gleisbögen 57
 Halbtenderlokomotive 99, 172
 Handbremse 94
 Hauptabmessungen 47, 101, 164 u. f., 268, 282, 292 u. f.
 Hawaii 29
 Hedschas 29
 Heise 101, 102
 Heißdampf 12, 103, 104, 128—130, 157
 Heißdampflokomotiven 99, 104, 110, 114
 Heißdampftemperatur 118
 Heizer 114
 Heizfläche 104 u. f., 156, 157
 Heizflächenbelastung 104, 106, 108 u. f., 156, 158, 162
 Heizrohr 111, 113
 Heizwert 120, 122
 Henschel & Sohn 9—16
 Henschel-Aufornstehbolzen 182
 Henschel-Bangert-Gestell 76
 Henschel-Gelenklokomotive 151
 Henschel-Gilli-Lokomotive 255
 Henschel-Kesselaufklappung u. -Rückstellvorrichtung 234
 Henschel-Patent-Kondenslokomotive 13, 14, 244, 404, 405
 Henschel-Lenkgestell 74, 398
 Henschel-Mischvorwärmer 189—191, 360
 Henschel-Schneebeseitigungsmaschinen 256, 372
 Henschel-Schüttelrost 186—188
 Henschel-Tross-Stehbolzen 181—184

Henschel-Turbospisepumpe 191, 405
 Henschel-Umsteuerung 228 u. f.
 Henschel-Vogel-Gestell 73, 75, 76, 78, 80, 81
 Henschel-Zahnrad-Kupplung der Endachsen 378, 379
 Heumann 71, 72, 83
 Heusinger-Steuerung 207, 212
 Heusinger-Joy-Steuerung 207
 Himalayan 29
 hin- und hergehende Massen 194, 202, 203
 Hochdrucklokomotive 13, 240 u. f.
 Hochdrucksysteme 242—244
 Hochdruckzylinder 131, 143—145
 Höchstgeschwindigkeit 30, 133, 198
 Höhenlage des Kessels 115
 Hohenlimburger Kleinbahn 168
 Hohlachse 72, 380
 Hohlmaße 286
 Hohlwellenantrieb 265
 Holland 11, 170
 Holzfeuerung 108, 109, 112, 115, 168—175
 Holzkastenskipper 290
 Honduras 29
 Howe 205
 Hudson-Bauart 44
 hydraulic mean depth 162
 hydraulische Kraftübertragung 275

I

Ibbenbüren 170, 367
 ideeller Drehpunkt 74
 Indien 11, 29, 168, 172
 Indische Nordwestbahn 172
 indirekt wirkende Bremse 97
 indizierte Leistung 47, 101, 102, 141, 148, 163
 indizierte Zugkraft 47, 65, 101, 102, 131, 163
 Indochina 29, 172, 174
 Indonesien 11, 29, 172, 366
 Indonesische Staatsbahnen 168—174
 Industriebahnen 51, 362, 364, 379
 Industrielokomotiven 176
 innere Steuerung 204, 214
 Insel Man 29
 Irak 29
 Iran 29
 iranische Staatsbahnen 172, 174, 363
 Irland 29
 ISA-System 302

i-s-Diagramm 408
 ISO 302
 Italien 11
 Izett-Stahl 186

J

Jamaica 29
 Japan 11, 29, 268
 Java 29
 Javanic-Bauart 45
 Jenny Lind-Bauart 44
 Joy-Steuerung 207, 209
 Jugoslawien 11, 28, 29
 Jugoslawische Staatsbahnen 256

K

Kanada 29
 Kando-Gestell 75, 78
 Kando-System 260
 Kapspur 29
 Karl Schulz-Schieber 220 u. f.
 Kennlinien feuerloser Lokomotiven 253
 Kennlinien von Kraftübertragungsarten 278
 Kennwerte von Eisenbahnzügen 298
 Kennzeichnung der Lokomotiven 44—46
 Kessel 185, 402
 Kesselabmessungen 103 u. f., 179
 Kesselanstrengung 107
 Kesselauflagerung 234
 Kesseldruck 135, 139, 147, 148
 Kesseldruckprobe 115
 Kesselhöhe 115
 Kesselkapazität 158, 163
 Kesselrohre 111, 113
 Kesselverluste 119
 Kesselwirkungsgrad 106, 109, 162
 Kiesel, Lok.-Berechnung nach K. 152, 160, 163
 Kingan-Ripken-Steuerung 207
 Kippwagen 290
 Kitson-Meyer 151
 Kleinasien 29
 Kleinbahnen 168, 356
 Klie 107, 117
 Klien-Lindner-Hohlachsen 72, 380
 Klima-Spurrinnenräume 256
 Klotzbremse 91
 Klotzdruck 91, 92
 Klotzreibung 91

Knicksicherheit 192
 Knorr-Bremse 396
 Kohlenstaubfeuerung 13, 239, 381, 395
 Kohlenstaubturbine 284
 Koksfeuerung 108
 Kolbendampflokomotive 18
 Kolbendruck 135, 138, 139, 144, 148, 153, 213
 Kolbengeschwindigkeit 132, 133, 157 bis 159
 Kolbenhub 132, 214
 Kolbenschieber 204, 214, 221, 222
 Kolbenspeisepumpe 103
 Kolbenstange 192, 193
 Kolumbien 29, 172, 360
 Kondenslokomotive 13, 14, 244, 404, 405, 407
 Kopfflicht-Scheinwerfer 231
 Korea 29
 Körpermaße 286
 Kother 19, 20, 60, 93, 95
 Kräfte am anlaufenden Rad 71
 Kraftübertragung 265, 274
 Kraftumsteuerung 228, 229
 Krauß-Helmholtz-Gestell 73, 75 u. f.
 Krebstiefe 114
 Kreisinhalt 320 u. f.
 Kreisumfang 320 u. f.
 Kreuzkopf 192
 Kropfchase 193
 Krümmungshalbmesser siehe Gleisbogen
 Krümmungswiderstand 49, 56
 Krupp-System 260
 Kuhnsche Schleife 213
 Kuppelstange 192, 193
 Kuppelstangenlager 193
 Kupplung 275
 Kurveneinstellung 83—86

L

Lademaß 36
 Lagerreibung 49
 La Mont-Kessel 243
 Längenmaße 285, 304, 305
 La Robla-Bahn 170
 Lastenzug 34
 Laternen 231, 232
 Laufachse 44, 68, 193
 Laufgestell 75—82
 Laufleistungen 69, 267
 Laufwerk 68, 192
 Laufwiderstand 49—55
 Le Chatelier-Bremse 230

Leerfahrt 110
 Leerlaufeinrichtung 220
 Leichtbautender 403
 Leistung 47, 101, 102, 141, 148, 153, 157, 158, 163
 Leistungsangaben elektrischer Triebfahrzeuge 266, 267
 Leistung des Elektromotors 263, 264
 Leistungseinheit 153, 286
 Leistungsgewicht 258
 Leistungskurve 101, 102, 141, 148, 158, 163
 Leistungslinie für feuerlose Lokomotiven 253
 Leitzmann 87
 Lenkgestell 73, 398
 Lentz-Rateau-Steuerung 208
 Lentz-Schwingersteuerung 208
 Lettische Staatsbahn 168
 Lettland 29
 Lichtmaschine 103, 231—233
 Lichtraumgrenzung 37—43
 Leichty-Achssteuerung 72, 400
 Lima-Lurin-Bahn 172
 limited cut-off 152, 223
 lineares Voreilen 205, 212, 214
 Lipetz 158
 Litauen 29
 Löffler-Kessel 243
 Lokomotiv-Leistungsgewicht 20
 Lokomotivwiderstand 49
 LON 28
 Lorraine-Bauart 45
 Lotter-Gestell 75, 78
 Lourenco-Marques 172
 Lübeck-Büchener Eisenbahn 168
 Luftbedarf 122—125
 Luftdruckbremse 103, 396
 Luftgeschwindigkeit in den Rostspalten 109, 116
 Luftgewicht 126
 Luftpumpe 103
 Luftreifen 55, 59 u. f., 64, 95
 Luftsaugebremse 98, 103
 Luftsaugeventile 220, 223
 Luftüberschuß 116, 121, 124, 125
 Luftwiderstand 49, 51, 55
 Lüttgerding 87
 Luxemburg 11, 29

M

Madagaskar 29
 Malaya 29
 Mallet-Lokomotive 149, 170, 174, 394

Mandschurei 11, 29, 268
 Maschinenreibung 49
 Massenausgleich 194 u. f.
 Maße und Gewichte 285 u. f.
 Mastodon-Bauart 45
 Marokko 170
 Marschwander 275
 Mauritius 29
 Mechanische Kraftübertragung 275
 Mecklenburg, Friedr.-Wilh.-Eisenbahn 168
 Mehrfach-Blasrohr 180
 Meier-Mattem-Steuern 208
 Meile 285, 305, 315, 318
 Meineke 104
 Meineke-Gestell 75, 77
 Meineke-Röhre 106, 119, 136
 Meklong Ry 172, 370
 Metersgewicht 34
 Meterspur 29, 41
 Metrische Maße 304 u. f.
 Mexiko 11, 29
 Mikado-Bauart 44
 Minas del Rif 170
 Minimum-Verfahren 83
 Mischvorwärmer 103, 189 u. f., 360
 Mitteldrucklokomotiven 240
 Mittelpommersche Kleinbahn 170
 mittlere Heizflächenbelastung 104, 106
 mittlerer Kolbendruck 135, 138, 139, 144, 148, 153, 213
 Modified-Fairlie-Lokomotive 13, 150, 170
 Mogul-Bauart 44
 Mogyana-Bahn 172
 Mohawk-Bauart 44
 Mollier-Diagramm 408
 Motoren Brennstoffe 274
 Motorlokomotiven 51, 282, 376, 377
 Motorzugförderung 18, 271
 Mountain-Bauart 44
 Mozambique 29, 170, 174, 355, 393
 Muldenkipper 290
 Müller 107, 117
 Müller-Kolbenschieber 220, 221

N

Nahost 29
 Najorsche Gegengewichtsberechnung 199
 Naßdampflokomotive 99, 104, 107, 110, 114, 157

Neufundland 29
 Neu-Seeland 29
 Niagara-Bauart 44
 Nicken 146
 Nicaragua 29
 Nicolai-Schieber 220, 221
 Niederdruckzylinder 131, 143, 144
 Niederlande 11, 170
 Niederländische Eisenbahn 170
 Nigeria 29
 Njassaland 29
 Normaldruck 71
 Normalkubikmeter 116, 124, 125
 Northern-Bauart 44
 Norwegen 11, 29
 Norwegische Staatsbahn 168

O

Oberschlesien 29
 offene Stangen 206
 Ölbrenner 235
 Ölfeuerung 168—174, 235—238
 Ölverbrauch 238
 Ölsatzfeuerung 238
 Orientalische Bahnen 256
 Österreichische Bundesbahn 115, 256
 Österr.-Ungarische Monarchie 11
 Ottomotor 271
 Overland-Bauart 45

P

Pacific-Bauart 44
 Pakistan 29
 Palästina 29
 Panama 29
 Paraguay 29, 172
 Parana Plantations 172
 Passungen 302
 Paulista-Bahn 18, 174, 361
 Peloponnes-Bahn 172
 Pendelstütze 73
 Pendelwiege 73
 Personenwagen 292 u. f.
 Peru 29, 172, 370
 Pfund, engl. 304, 305, 314
 Philippinen 29, 172
 Planet-Bauart 44
 Plantagenbahnen 174, 356, 366, 370
 Pocono-Bauart 44
 Polen 29

Porto-Rico 29
 Portugal 11, 29, 174
 Portugiesische Nordbahn 170
 Portugiesisch-Ostafrika 29, 170—174, 355, 393
 Portugiesisch-Westafrika 29, 168, 356
 Postwagen 295
 Potenzen 320 u. f.
 Prairie-Bauart 44
 Preußische Staatsbahnen 12
 Prignitzer Eisenbahn-Gesellschaft 170
 Protopapadakis 57

Q

Queensland 29
 Quelimane 170

R

Raddruck 33
 Rahmen 87
 Rateau-Steuerung 208
 Rauchgase 116, 122, 123
 Rauchgasgeschwindigkeit 116
 Rauchgasgewicht 117
 Rauchgasmenge 116, 122, 123
 Rauchgastemperatur 116, 117
 Rauchkammer 116
 Rauchrohr 111, 113
 Raumgröße 304, 305
 Raumverhältnis der Zylinder 131, 143, 144
 Reading-Bauart 44
 reduzierte Rostfläche R' 108, 180
 Regellichtraum 37
 Regelspur 29, 43
 Reibung 59
 Reibungsbahnen 64
 Reibungsgeschwindigkeit 48, 61
 Reibungsgewicht 59, 61
 Reibungswert 71, 95, 192, 193
 Reibungszahl 91
 Reibungsziffer 59
 Reibungszugkraft 48, 60, 61
 Reichsbahn
 siehe Deutsche Reichsbahn
 Renaud-Steuerung 208
 reziproke Werte 320 u. f.
 Rhodesien 29, 174
 Rhodesische Staatsbahn 174, 393
 Richtkraft 68, 71
 Rigenbach-Bremse 230, 397

Rio Grande do Sul 170, 394
 Röckl'sche Formel 56
 Roddergrube 170
 Rohrheizfläche 106, 113
 Rohrkennziffer 111, 113, 162
 Rohrquerschnitt 113
 Rollböcke 53
 rollende Reibung 49, 91, 92
 Rollwiderstand 49
 Rosin und Fehling 124, 125
 Rostanstrengung 107
 Rostbelastung 108, 120
 Rostbeschickung 109, 188
 Rostfläche 106 u. f., 112, 114, 180
 Roststab 114
 Rosttemperatur 116
 Roy'sches Verfahren 83, 84
 Rückenschwächung des Spurranzes 70
 Rückstellvorrichtung 73, 234
 Rumänien 11, 29
 Rumänische Staatsbahnen 14, 282, 406
 Rußland 11, 29

S

Sachsenwerk 168
 Salvador 29
 San Domingo 29
 Sandstreuer 60
 San Paulo und Minas Ry Co 174
 Santa Fé-Bauart 45
 Sättigungstemperatur des Heißwassers 252
 Saugluftbremse 98
 Saugzuganlage 179
 Sauthoff 52
 Schack'sche Formel 117
 schädlicher Raum 204, 205
 Schaltbilder von Motoren 259
 Schamotteauskleidung 235
 Scheinwerfer 231
 Schieberellipse 215
 Schiene 32, 33
 Schienengewicht 32, 33
 Schienenhöhe 32, 33
 Schienenprofile 32
 Schienenüberhöhung 30
 Schlepplast 53, 62, 65—67, 177, 254
 Schlepplaster-Diagramm 48, 65, 66
 Schleppender-Lokomotive 99, 164—167, 172—175
 Schlickscher Ausgleich 146

Schlingern 146
 Schmalspur 28, 29, 36, 41, 42, 56
 Schmelzpunkt 287, 288
 Schmidt-Kessel 242
 Schmierölverbrauch 230
 Schneebeisigungsmaschinen 256, 372
 Schnelldampferzeuger 242
 Schnellfahrlokomotive 133
 Schornstein 179, 180
 Schüttelrost 186
 Schütthöhe 113
 Schwartzkopf-Eckhardt-Gestell 75, 77
 Schweden 29, 172, 366
 Schweiz 11, 29
 Schweizerische Bundesbahnen 18, 256
 Schwellenentfernung 33
 Seitenrost 50
 Selkirk-Bauart 45
 Serbien 11
 Serienlokomotivtypen 12, 176, 365,
 Siam 11, 29, 172, 370
 Siamesische Staatsbahn 170, 172, 282,
 405
 Sibirien 29
 Sicherheit gegen Entgleisung 68
 Sierra-Bauart 45
 Sierra Leone 29
 Signalordnung 25
 Single Driver-Bauart 44
 Sizilien 29
 Sorocabana-Bahn 168, 174
 Southern Pacific-Bauart 45
 Spanien 11, 29, 170
 Spanische Kolonien 29
 Spanische Nordbahn 174
 Speiche 193
 Speicherfahrzeug
 Dampf siehe feuerlose
 und Gilli-Lokomotive
 elektrisch 267
 Speisepumpe 103, 191, 405
 Speisewasservorwärmer 189
 Speisewasservorwärmung 106, 109,
 111, 189
 spezifische Brennstoffkosten 284
 spezifischer Dampfverbrauch 104, 105,
 147, 161
 spezifisches Gewicht 127, 252, 287, 288
 spezifisches Volumen 160, 287, 288
 spezifisches Zuggewicht 62 u. f.
 spezifische Wärme der Rauchgase 121
 Spießgang 69, 70
 Spindelbremse 94
 Spurerweiterung 31, 32

Spurkranzabnutzung 69
 Spurkranzschwächung 70
 Spurkranzspiel 84
 Spurweite 28, 29
 Spurstiel 70, 84
 Stahlgußrahmen 87
 Stangenantrieb 265
 Stangenlager 192
 statische Einstellung 69
 Stauraum-Tabelle 289, 290
 Stehbolzen 181—184
 Stielung 64
 Stielungswiderstand 49, 55
 Steinen, Abmessungen von 288
 Steinkohle 108—110, 112, 114, 115,
 120—124
 Steinspringen 213
 Stellbild nach Roy und Vogel
 83 u. f.
 Stephenson-Steuerung 205, 206
 Steuerung 204 u. f.
 Stoker 108, 188
 störende Bewegungen 49, 146
 Strahl 49, 52, 107, 135, 137, 163, 180
 Strahlische Kurve 101, 102
 Stromabnehmer-Spannung 257
 Stromlinienform 55
 Stromlinien-Verkleidung 50
 Stromsysteme 257
 Stugfeuerung 239, 240, 395
 Stundenleistung 263, 264, 266, 269, 270
 Südafrika 11, 29, 168, 355
 Südafrikanische Staatsbahnen
 170—175, 268, 374, 395, 404, 407
 Sudan 29
 Süddeutsche Eisenbahn-Ges. 168
 Südharz-Eisenbahn 170
 Sulzer-Kessel 243
 Sumatra 168
 Super Mountain-Bauart 45
 s-V-Diagramm 48, 61, 65, 66
 Swatow Chow-Chow Ry 168
 Switcher Bauarten 44, 45
 Syrien 29
 Syrmjatnikoff'sche Gleichung 117

T

Tagebau-Lokomotiven 268, 364, 374,
 375
 Tanganyika 29
 Tangentialdruckdiagramm 145
 Tasmanien 29
 Tatzenlagermotor 265, 283

Technische Einheit (TE) 26, 37
 Technische Vereinbarungen 26
 Tender 45, 193
 Tender-Lokomotive 99, 166—172
 Texas-Bauart 45
 thermischer Wirkungsgrad 106, 273
 Togo 29
 Toleranzen 302, 303
 Toleranz-Vorschriften 26
 Torf 109, 112, 114
 tote Lasten 87
 Tragfeder 87
 Trägheitswiderstand 49
 Transitwagen 37
 Treibstange 192, 193
 Treibstangenlager 192, 193
 Treibraddurchmesser 132—135, 214,
 265
 Treibzapfen 193
 Trick-Steuerung 206
 Triebfahrzeug 17
 Triebtender 13, 46
 Triebwagen 17, 51
 Triebwerk 131, 192
 Triebwerkbremse 91, 98, 230, 397
 Triebzug 17
 Trinidad 29
 Trockendampf-Abraumlokomotive
 364
 Trofimoff-Schieber 220, 222
 Tross-Henschel-Stehbolzen 181 ff.
 Tschechoslowakei 29
 Tungpu-Ry 168, 172, 174, 368
 Tunis 29
 Turbinenlokomotive 247
 Turbogenerator 231
 Turbospeisepumpe 191, 405
 Türkei 11, 29, 170, 171
 Türkische Staatsbahn 170, 174, 363,
 371
 Typenskizzen 382 u. ff., 407.

U

überhängende Massen 68, 72
 Überhitzerheizfläche 110, 111
 überhitzer Wasser Dampf 128—130
 Überhitzung 105, 111, 112, 118,
 128—130, 161
 Überhöhung 30
 Uebelacker 83
 Uganda 29
 Umrechnungszahl 133, 134, 147, 148
 Umformerlokomotiven 259, 260

Umgrenzungsprofil 37—43
 Umkehrenden-Abstand des Über-
 hitzers 112, 114
 umlaufende Massen 93, 194 u. f.
 Umlaufvorrichtungen 220
 Ungarn 11, 29
 Union-Bauart 45
 Union Pacific-Bauart 45, 46
 Unified Screw Thread 302
 Unterdruck 116
 Unterdruck-Kondensation 240, 244
 Unterharzer Berg- und Hüttenwerke
 168
 Uruguay 29, 174, 357
 USA 28, 29, 33, 43—46, 54, 57, 88,
 90, 152, 265, 279, 284

V

Västergötland-Göteborg-Bahn
 172, 366
 Velox-Kessel 244
 Venezuela 29
 Ventilsteuerung 208
 Vera Cruz 29
 Verbrennungskammer 107, 164—166,
 402
 Verbrennungsmotor 271—274
 Verbrennungsverluste 116, 120
 Verbrennungsvorgang 122—125
 Verbund-Kolbenspeisepumpe 103
 Verbundlokomotive 131, 143—145,
 164, 170—174, 218
 Verdampfungsheizfläche 104, 156, 157
 Verdampfungsoberfläche 114
 Verdampfungswärme 127
 Verdampfungszeit 109, 239
 Verdichtung 204, 205, 273
 Vereinheitlichung der Steuerung 213,
 214
 Verein Mitteleuropäischer Eisenbahn-
 verwaltungen 26
 Verkehrslasten 34
 Verschiebewegung 110
 Verschiebelokomotive 282
 verstellbare Blasrohrköpfe 180
 Verzögerung 95, 96
 Vierlinglokomotive 131, 146, 170,
 174, 219
 Vierfontain 168, 355
 Vierzylinder-Verbundlokomotive 131,
 144, 145, 164, 170—174, 218
 Vogelsche Kennzahl 68
 Vogelsches Verfahren 85

Volumen 287, 288
 Vorausströmung 204, 205
 Voreinströmung 205
 Vorwärmer 189, 401
 Vorwärmung des Speisewassers 106.
 109, 111, 189

W

Wagen-Begrenzung 37 u. f.
 Wagenwiderstand 52
 Waldbahnen 54
 Walschaert-Steuerung 212
 Wälzlager 50, 55
 Wanddicke der Dampfzylinder 193
 Wandler 275
 Wanken 146
 Wärmeabstrahlung der Kesselober-
 fläche 118, 119
 Wärmebilanz 118
 Wärmedurchgangszahl 118
 Wärmeinhalt 128—130
 Wärmeinhalt der Rauchgase 121
 Wärmeleitfähigkeit 118
 Wärmemaße 291
 Wärmetafel 127 u. f., 408
 Wärmeübergangszahl 117, 118
 Wärmeübertragung 116 u. f.
 wasserberührte Heizfläche 104, 106,
 107
 Wasserdampf 127—130
 Wasserkammer 104, 107
 Wasserraum 114
 Wasserstand 114, 115
 Wassersteg 114
 Wasserumlaufrohr 107
 Wechselstrom 257 u. f.
 Wechselstromlokomotive 261, 268
 Weichheit der Feder 89
 Wellrohr-Feuerbüchse 184
 Weltzeit 319
 Werksbahnen 28, 29
 Werkstoff-Beanspruchungen 300
 Wertigkeit der Heizfläche 104, 106
 Wheeler-Bauarten 44, 45

Widerstandsformeln 49 u. f.
 Widerstandsmoment von Schienen
 32, 33
 Wind 50, 51
 Winkelhebelsteuerung 207
 Wirkungsgrade 20—23, 100, 106, 109,
 162, 241, 276—278
 Wogen 146
 Wurfhebelbremse 94
 Wurzeln 320 u. f.

Y

Yellowstone-Bauart 46
 Young-Steuerung 207, 211

Z

Zahnradgekuppelte Endachsen 72,
 370, 378, 379
 Zahnradbahn 55, 64
 Zahnstangenstrecken 39, 40
 Zarah-Gestell 73
 Zeitmaße 319
 Zeuenerkreis 216
 Zollmaße 304, 305 u. f.
 Zucken 146
 Zugförderung 18
 Zugförderungssysteme 19, 23
 Zuggewicht 62
 Zugkraft 47, 48, 59, 60—63, 67, 101,
 102, 131, 132, 142, 154 u. f., 158,
 163 u. f., 254, 264, 268, 270, 282
 Zugkraftbereich 137—139, 145
 Zugkraftkennziffer 131
 Zugkraftkurve 48, 61, 67, 101, 102,
 142, 154, 155, 158, 163, 264, 270
 Zugwiderstand 49 u. f.
 Z-V-Diagramm 65, 67
 Zwillingslokomotive 131, 145—148,
 194
 Zylinderanordnung 145
 Zylinderdurchmesser 131, 136, 140
 Zylinder-Ölverbrauch 230
 Zylinder-Raumverhältnis 131, 143, 144
 Zylinder-Verluste 136

Abkürzungen

BO = Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung vom
 17. Juli 1928, Ausgabe vom 1. März 1943 unter
 Berücksichtigung der bis zum 4. Februar 1943
 eingetretenen Änderungen.

TV = „Technische Vereinbarungen über den Bau und
 die Betriebseinrichtungen der Haupt- und
 Nebenbahnen“ vom 1. Dezember 1930, her-
 ausgegeben vom Verein Mitteleuropäischer
 Eisenbahnverwaltungen.

LON = „Deutsche Lokomotiv-Normen“, aufgestellt
 vom Allgemeinen Lokomotiv-Normenausschuß,
 herausgegeben als Teilgruppe der Deutschen
 Industrie-Normen (DIN)

fb = feuerberührt
 wb = wasserberührt
 SO = Schienenoberkante
 WS = Wassersäule
 QS = Quecksilbersäule
 lbs. = englische Pfund (Mehrzahl)
 atmi = Atmosphäre Überdruck in kg/cm²
 ata = Atmosphäre absolut in kg/cm²
 PS = Pferdestärke
 HP = horsepower
 sec = Sekunde
 1 Hz = 1 Hertz = 1 Periode/sec
 Nm³ = Normalkubikmeter nach DIN 1871

Zeichen für Maßeinheiten nach DIN 1301

BILDТАFELN

HENSCHEL-LOKOMOTIV-TASCHENBUCH

1952

Herausgeber: Henschel & Sohn GmbH., Kassel

Manuskript und Bearbeitung: Obering. Dr.-Ing. Kurt Ewald

Gestaltung: Carl F. Ronsdorf

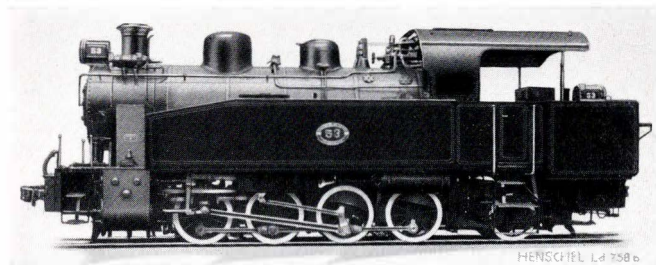


Bild 222. *Naßdampf-Zwilling-Verschiebe-Tenderlokomotive der Eisenbahnen von Portugiesisch-Ostafrika (Mozambique)*

Hauptabmessungen: Nr. 30 der Zahlentafel auf Seite 170

Kapspur

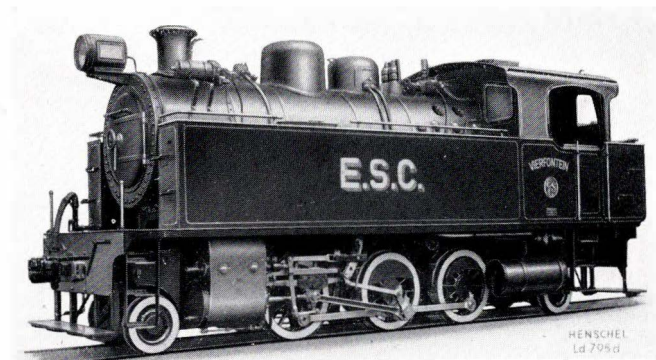


Bild 223. *Naßdampf-Zwilling-Tenderlokomotive für ein Kraftwerk in Südafrika*

Hauptabmessungen: Nr. 13 der Zahlentafel auf Seite 168

Kapspur



Bild 224. Naßdampf-Zwilling-Tenderlokomotive der Amboim-Bahn (Portugiesisch-Westafrika)

600 mm Spur
Holzfeuerung

Hauptabmessungen:
Nr. 28 der Zahlentafel
auf Seite 168



Bild 225. Heißdampf-Zwilling-Güterzuglokomotive für Kleinbahnen

750 mm Spur

Hauptabmessungen: Nr. 51 der Zahlentafel auf Seite 174

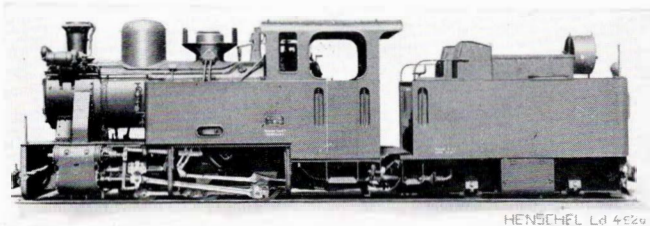


Bild 226. Naßdampf-Zwilling-Halbtenderlokomotive für Feld- und Plantagenbahnen

600-750 mm Spur

Hauptabmessungen: Nr. 1 der Zahlentafel auf Seite 172

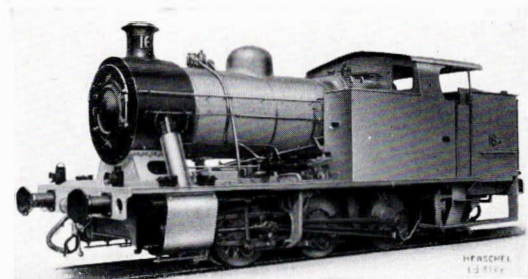


Bild 227. Naßdampf-Zwilling-Tenderlokomotive der Hafenbahn Kalkutta

1676 mm Spur

Hauptabmessungen: Nr. 10 der Zahlentafel auf Seite 168

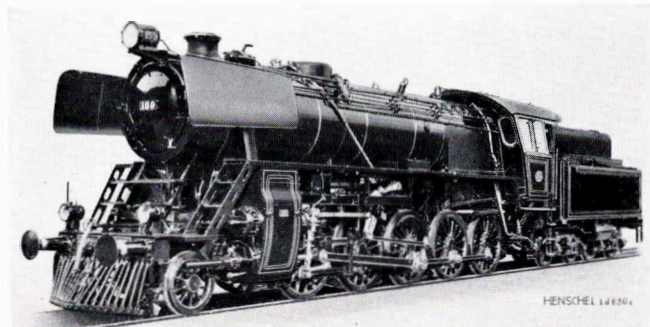


Bild 228. Heißdampf-Zwilling-Güterzuglokomotive der Staatsbahnen von Uruguay

Regelspur, Ölfeuerung

Beugnot-Endgestell

Hauptabmessungen: Nr. 48 der Zahlentafel auf Seite 174

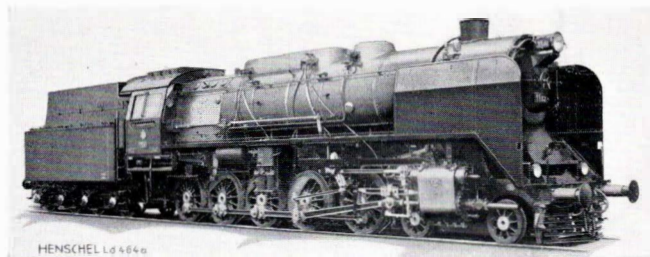


Bild 229. Heißdampf-Drilling-Güterzuglokomotive
Serie 11 der Bulgarischen Staatsbahnen

Hauptabmessungen: Nr. 56 der Zahlentafel auf Seite 174

Regelspur

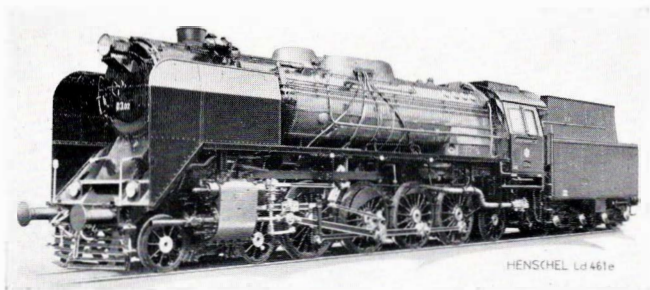


Bild 230. Heißdampf-Drilling-Gebirgs-Schnellzuglokomotive
Serie 03 der Bulgarischen Staatsbahnen

Hauptabmessungen: Nr. 41 der Zahlentafel auf Seite 174

Regelspur

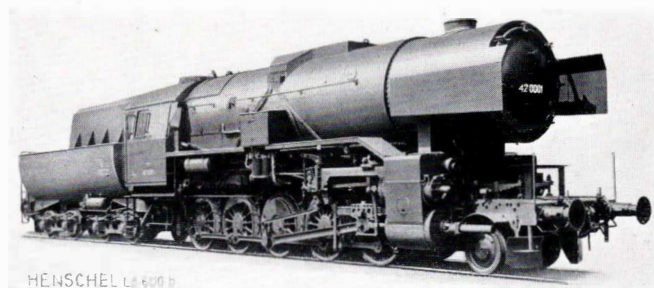


Bild 231. Heißdampf-Zwilling-Güterzuglokomotive Reihe 42 der
Deutschen Bundesbahn

Ausführung mit Brotan-Kessel
Hauptabmessungen der Regelausführung: Nr. 13 der Zahlentafel auf Seite 164
Typenskizze auf Seite 388

Regelspur

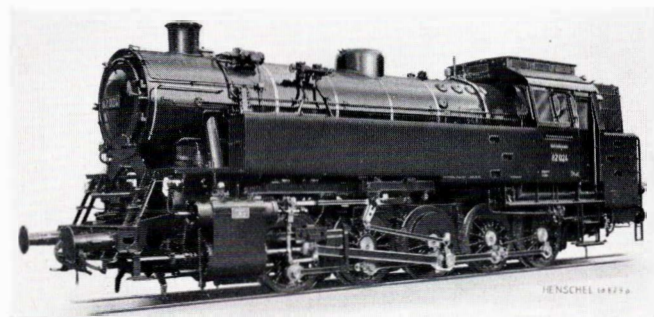


Bild 232. Heißdampf-Zwilling-Tenderlokomotive für Verschiebe-
und Güterzugdienst, Reihe 82 der Deutschen Bundesbahn

Beugniot-Endgestelle, Geschweißter Rahmen, Geschweißter Kessel
Hauptabmessungen: Nr. 29 der Zahlentafel auf Seite 166
Typenskizze auf Seite 384

Regelspur

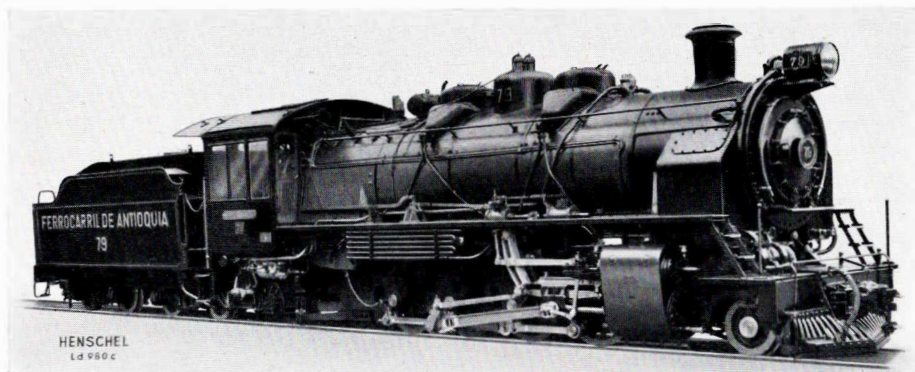


Bild 233. Heißdampf-Zwilling-Güterzug-Lokomotive der Ferrocarril de Antioquia, Columbien

914 mm Spur, Ölföuerung, Außenrahmen

Hauptabmessungen: Nr. 24 der Zahlentafel auf Seite 172

Die Lokomotive ist mit Henschel MVC-Mischvorwärmer ausgerüstet.

Vorwärmerkammern beiderseits der Rauchkammer,

Henschel-Kreiselpumpe vorn unterhalb der Rauchkammer-Stirnwand ersichtl.

Vgl. Textseite 189, 191

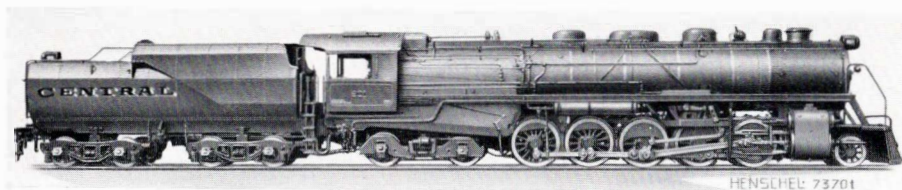


Bild 234. Heißdampf-Zwilling-Güterzuglokomotive der Brasilianischen Zentralbahn

1600 mm Spur, Verfeuerung von brasilianischer Nationalkohle

Hauptabmessungen: Nr. 58 der Zahlentafel auf Seite 174.

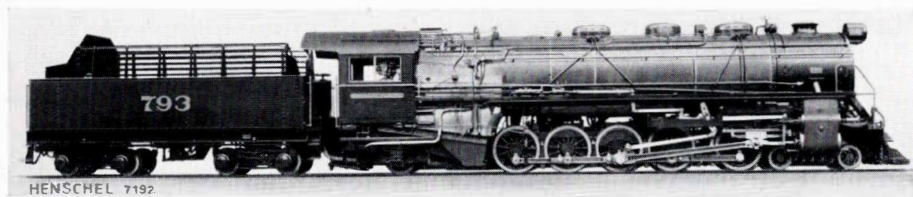


Bild 235. Heißdampf-Drilling-Güterzuglokomotive der Paulista-Bahn (Brasilien)

Meterspur, Holzfeuerung

Hauptabmessungen: Nr. 57 der Zahlentafel auf Seite 174

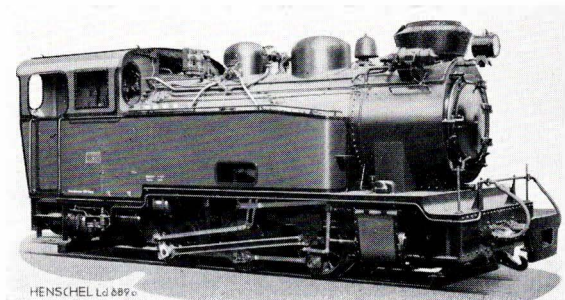


Bild 236. 350 PS-Heißdampf-Zwilling-Tenderlokomotive für den Braunkohlenbergbau 900 mm Spur, Braunkohlenbrikett-Feuerung
Hauptabmessungen: Nr. 10 der Zahlentafel auf Seite 176

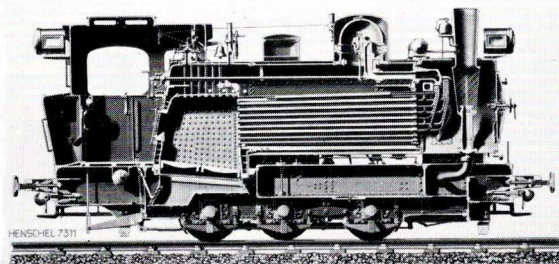


Bild 237. Schnitt durch eine schmalspurige Heißdampf-Zwilling-Tenderlokomotive für Industriebahnen
Hauptabmessungen: Nr. 9 der Zahlentafel auf Seite 176

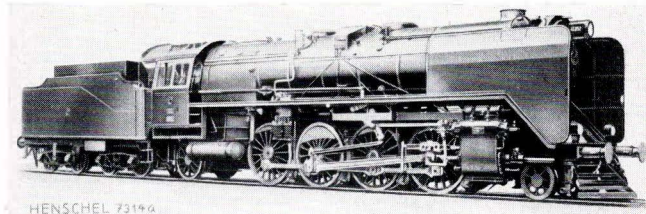


Bild 238. Heißdampf-Zwilling-Schnellzuglokomotive Reihe 46 der Türkischen Staatsbahnen Regelspur
Hauptabmessungen: Nr. 31 der Zahlentafel auf Seite 174

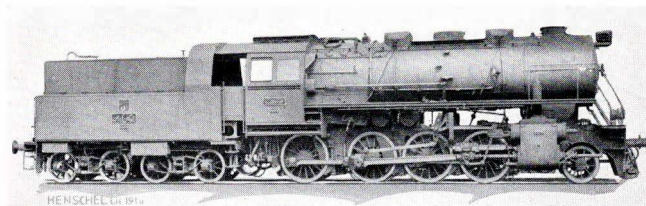


Bild 239. Heißdampf-Zwilling-Güterzuglokomotive der Staatsbahnen von Iran Regelspur, Ölfeuerung
Hauptabmessungen: Nr. 19 der Zahlentafel auf Seite 172

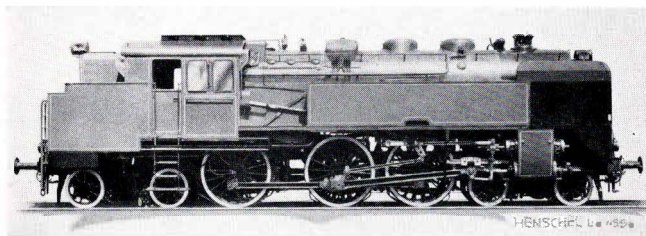


Bild 240. Heißdampf-Zwilling-Personenzug-Tenderlokomotive der Finnischen Staatsbahnen 1524 mm Spur, Ölfeuerung
Hauptabmessungen: Nr. 21 der Zahlentafel auf Seite 168

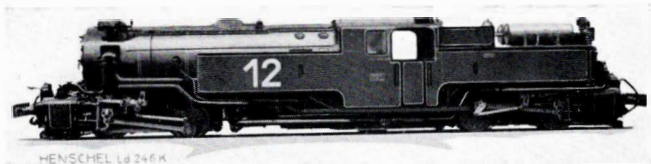


Bild 241. *Trockendampf-Doppelzwilling-Gelenk-Tagebau-lokomotive Bauart Henschel der Grube Phönix/Thüringen*

900 mm Spur, Braunkohlenbrikett-Feuerung

Hauptabmessungen: Nr. 49 der Zahlentafel auf Seite 170

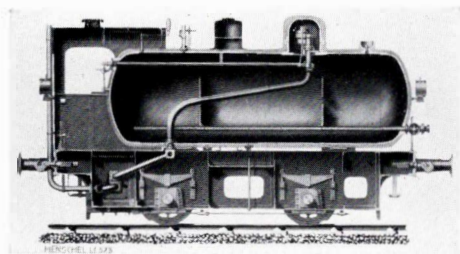


Bild 242

*Schnitt durch
eine feuerlose
Lokomotive*

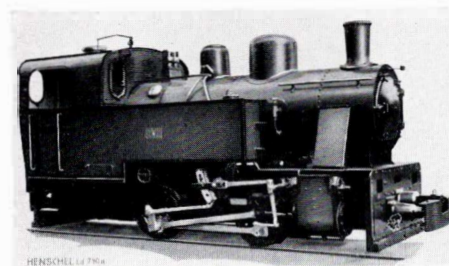
Siehe Textseite 250



Bild 243. *Naßdampf-Zwilling-Tenderlokomotive gedrängter Bauart für Industriebahnen*

Regelspur

Hauptabmessungen: Nr. 3 der Zahlentafel auf Seite 168



Beispiele von Henschel- Serientypen

Zur Zahlentafel auf
Seite 176

Bild 244

*Schmalspurige
Naßdampf-
Tenderlokomotive
(Baulokomotive)*



Bild 245

Regelspurige Naßdampf-Tenderlokomotive

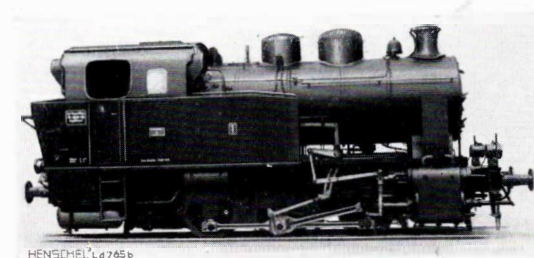


Bild 246

Regelspurige Naßdampf-Tenderlokomotive

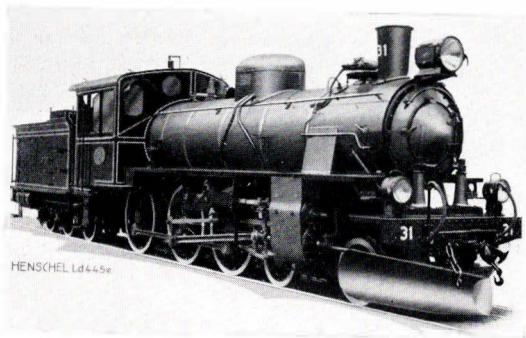
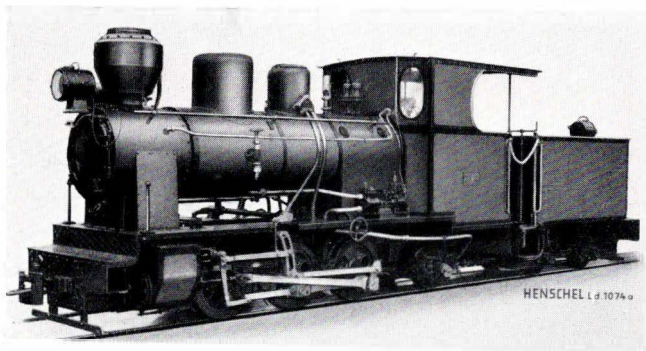


Bild 247. Heißdampf-Zwilling-Personenzuglokomotive der Bahn Västergötland-Göteborg (Schweden)

891 mm Spur

Hauptabmessungen: Nr. 7 der Zahlentafel auf Seite 172



- Bild 248. Naßdampf-Zwilling-Lokomotive für eine Plantagenbahn in Indonesien

600 mm Spur, Ölpalmkernschalen-Feuerung

Hauptabmessungen: Nr. 2 der Zahlentafel auf Seite 172

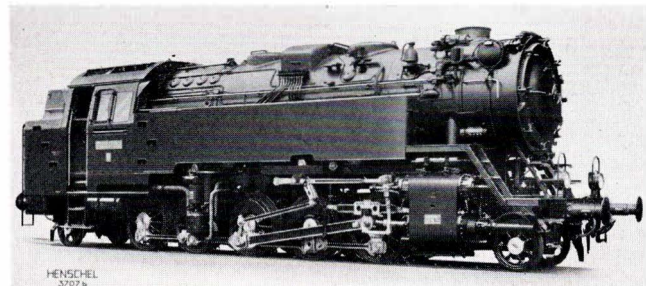


Bild 249. Heißdampf-Zwilling-Tenderlokomotive für schweren Verschiebe- und Streckendienst

Regelspur

Hauptabmessungen: Nr. 45 der Zahlentafel auf Seite 170

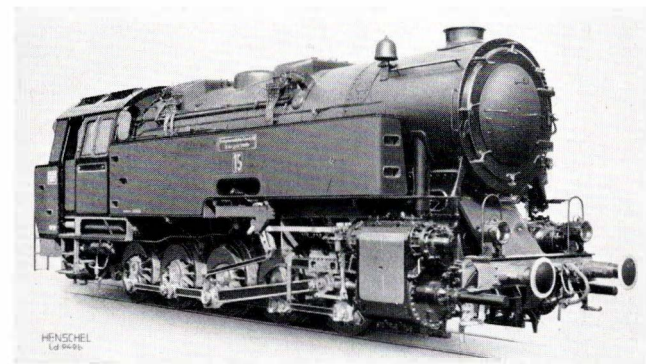


Bild 250. Heißdampf-Zwilling-Tenderlokomotive für schweren Verschiebe- und Streckendienst

Regelspur

Beugniot-Endgestelle

Hauptabmessungen: Nr. 42 der Zahlentafel auf Seite 170

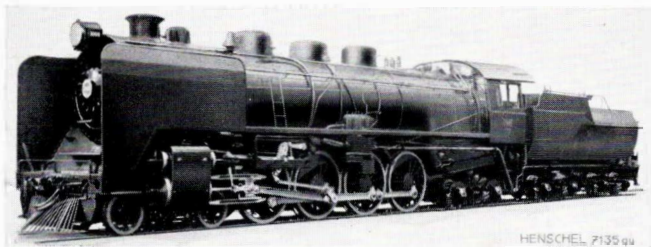


Bild 251. *Heißdampf-Zwilling-Schnellzuglokomotive der Chilenischen Staatsbahnen* 1676 mm Spur
Hauptabmessungen: Nr. 44 der Zahlentafel auf Seite 174

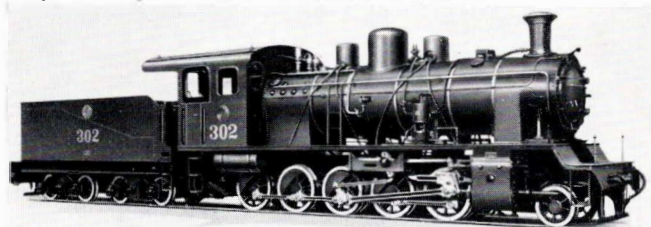


Bild 252. *Naßdampf-Zwilling-Güterzuglokomotive der Tungpu-Bahn (China)* 1676 mm Spur
Hauptabmessungen: Nr. 46 der Zahlentafel auf Seite 174

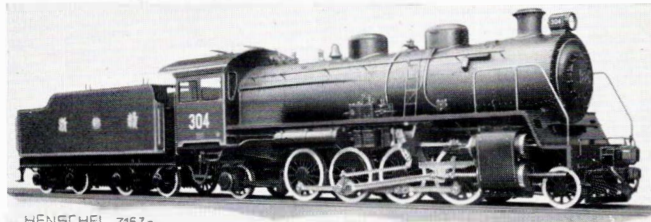


Bild 253. *Heißdampf-Zwilling-Güterzuglokomotive der Chekiang-Kiangsi-Bahn (China)* 1676 mm Spur
Hauptabmessungen: Nr. 29 der Zahlentafel auf Seite 172

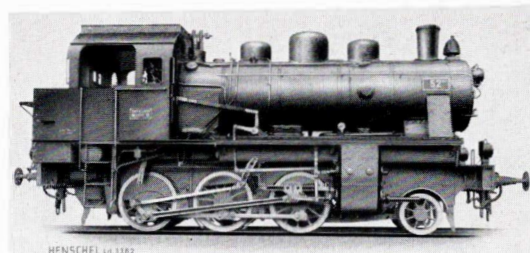


Bild 254. *Heißdampf-Zwilling-Personenzug-Tenderlokomotive Elna-Type 5* Regelspur
Zu Zahlentafel auf Seite 178

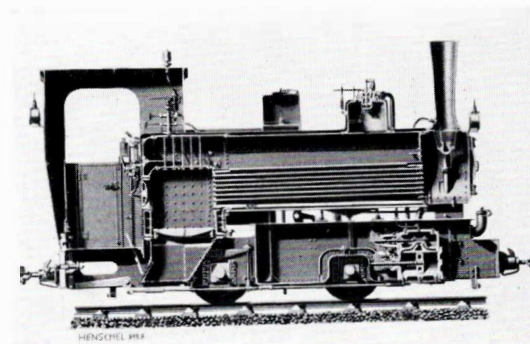


Bild 255. *Schnitt durch eine Henschel-Baulokomotive* Regelspur
Zu Zahlentafel auf Seite 176

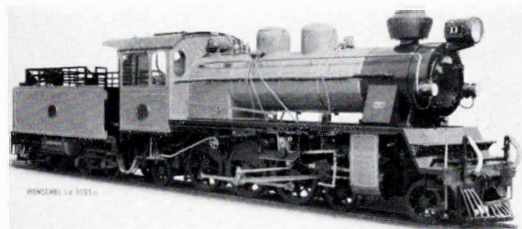


Bild 256. *Heißdampf-Zwilling-Vorortzug-Lokomotive der Meklong-Bahn (Siam)*
Meterspur, Holzfeuerung
Hauptabmessungen: Nr. 9 der Zahlentafel auf Seite 172

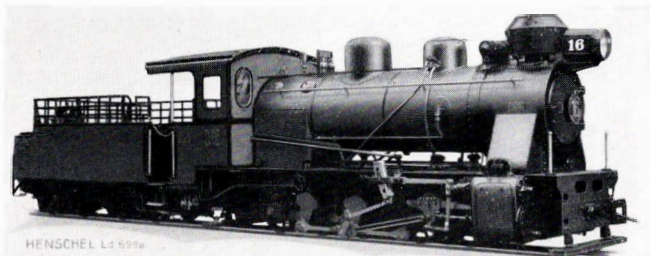


Bild 257. *E-Naßdampf-Zwilling-Lokomotive für eine Plantagenbahn in Übersee*
700 mm Spur, Holzfeuerung
Hauptabmessungen: Nr. 45, Seite 174
Zahnradantrieb der Endachsen



Bild 258. *Heißdampf-Zwilling-Güterzug-Lokomotive für Peru*
Hauptabmessungen: Nr. 23, Seite 172
914 mm Spur, Ölfeuerung

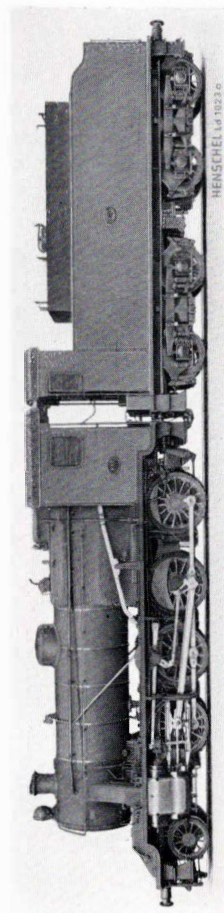


Bild 259. *Heißdampf-Zwilling-Güterzug-Lokomotive der Ägyptischen Staatsbahnen*
Regelspur, Ölfeuerung
Hauptabmessungen: Nr. 18 der Zahlentafel auf Seite 172

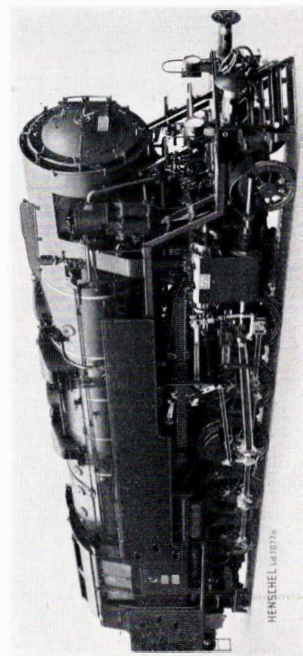
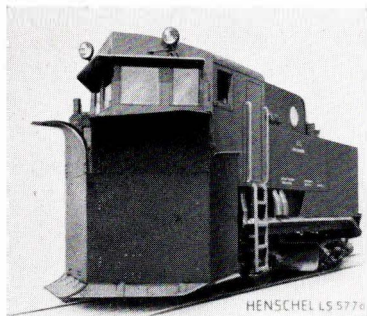


Bild 260
Heißdampf-Zwilling-Lokomotive der Türkischen Staatsbahnen
Regelspur
Hauptabmessungen: Nr. 46
der Zahlentafel auf Seite 170



Zu Textseite 256

Bild 261

*Henschel-
Klima-Schneepflug*
für Regelspur

Für Schneehöhen bis 1,5 m. Ausschwenkbare Seitenflügel gestatten eine Verbreiterung des Durchgangprofils auf eine Räumbreite von 4100 mm. Verstellbare Schaufelbleche ermöglichen Schneeräumung bis dicht über SO. Betätigung durch Druckluft vom Bedienungsstand aus.

Günstigste Räumgeschwindigkeit, je nach Schneehöhe, etwa 50 km/h.

Bild 262

*Schneeräumer mit
ausgeschwenkten Seitenflügeln,
in Fahrtrichtung gesehen.*

Dient zum Nachräumen und Erweitern der von der Schneeschleuder gebahnten Fahrinne bis $5\frac{1}{2}$ m Breite.

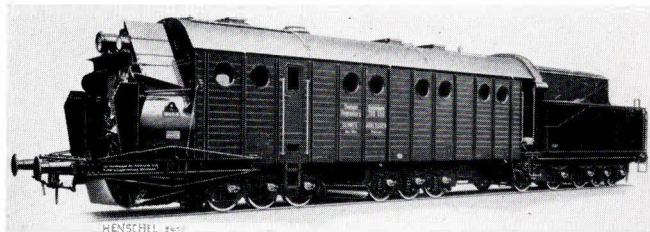
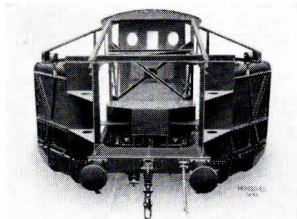


Bild 263

Sechssachsige Schneeschleudermaschine der Deutschen Bundesbahn

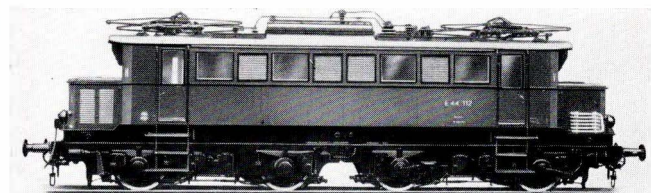


Bild 264. *Elektrische Personen- und Güterzuglokomotive Reihe E 44 der Deutschen Bundesbahn*

Hauptabmessungen: Nr. 1, Seite 268

Regelspur, Wechselstrom
Typenskizze Seite 392

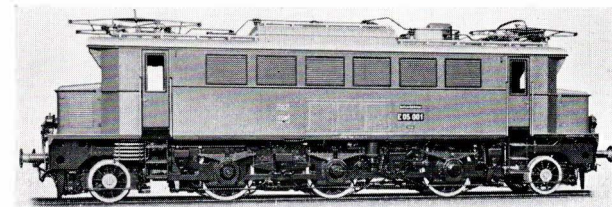


Bild 265. *Elektrische Schnellzuglokomotive Reihe E 05 der Deutschen Reichsbahn*

Hauptabmessungen: Nr. 2, Seite 268

Regelspur, Wechselstrom



Bild 266

Elektrische Schnellzuglokomotive Reihe E 19 der Deutschen Bundesbahn

Hauptabmessungen: Nr. 3, Seite 268

Regelspur, Wechselstrom
Typenskizze Seite 392

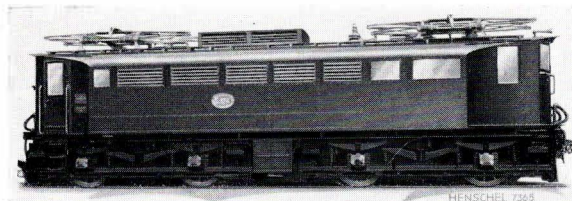


Bild 267

*Elektrische Personen- und Güterzuglokomotive Klasse 1 E der
Südafrikanischen Staatsbahnen*
Kapspur, Gleichstrom
Hauptabmessungen: Nr. 11 der Zahlentafel auf Seite 268

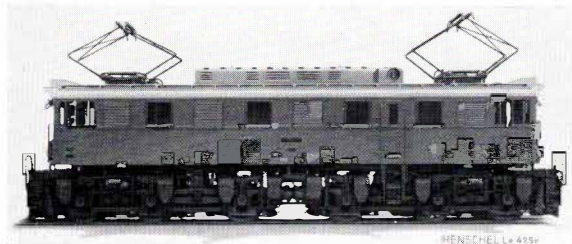


Bild 268

Elektrische Güterzuglokomotive der Chilenischen Staatsbahnen
Hauptabmessungen: Nr. 17, Seite 268 1676 mm Spur, Gleichstrom

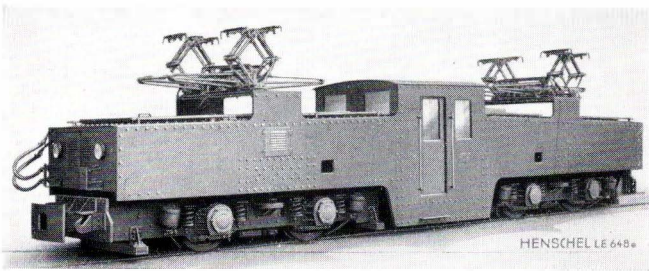


Bild 269. *Elektrische 75 t-Tagebaulokomotive*
Hauptabmessungen: Nr. 6, Seite 268 900 mm Spur, Gleichstrom

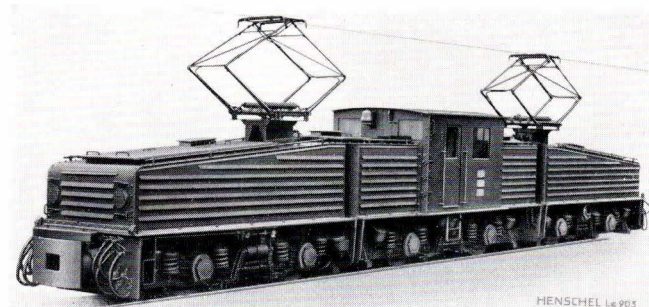


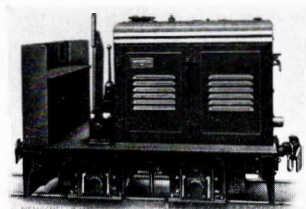
Bild 270. *Elektrische BoBoBo-Tagebaulokomotive von 120 t Dienst-
gewicht, Einheitsbauart EL 10*
900 mm Spur, Gleichstrom
Hauptabmessungen: Nr. 8 der Zahlentafel auf Seite 268



Bild 270a. *Regelspurige elektrische Tagebaulokomotive der Ein-
heitsbauart EL 2 im Betrieb*
Gleichstrom
Hauptabmessungen: Nr. 9 der Zahlentafel auf Seite 268

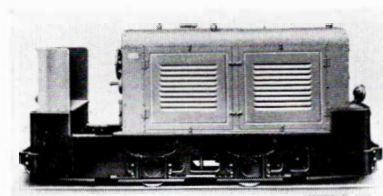
Henschel-Motor-Getriebe-Lokomotiven

Siehe Zahlentafel auf Seite 282



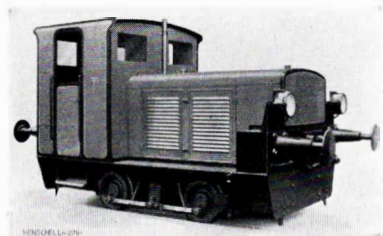
600÷700 mm Spur

Bild 271. Type DG 13 als Baulokomotive



600 mm Spur

Bild 272. Type DG 26 als Grubenlokomotive



Regelspur

Bild 273. Type DG 39

Dieselhydraulische Henschel-Lokomotiven

Hauptabmessungen: Nr. 9 der Zahlentafel auf Seite 282

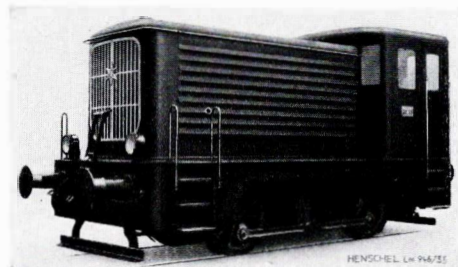


Bild 274. 200 PS-Type DH 200 für Verschiebe- und Streckendienst
Regelspur

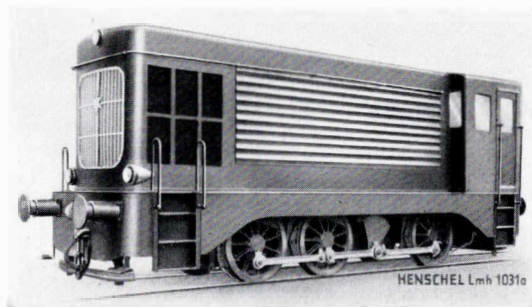


Bild 275. Dieselhydraulische 380 PS-Lokomotive der
Ägyptischen Staatsbahnen
Regelspur
Hauptabmessungen: Nr. 21 der Zahlentafel auf Seite 282

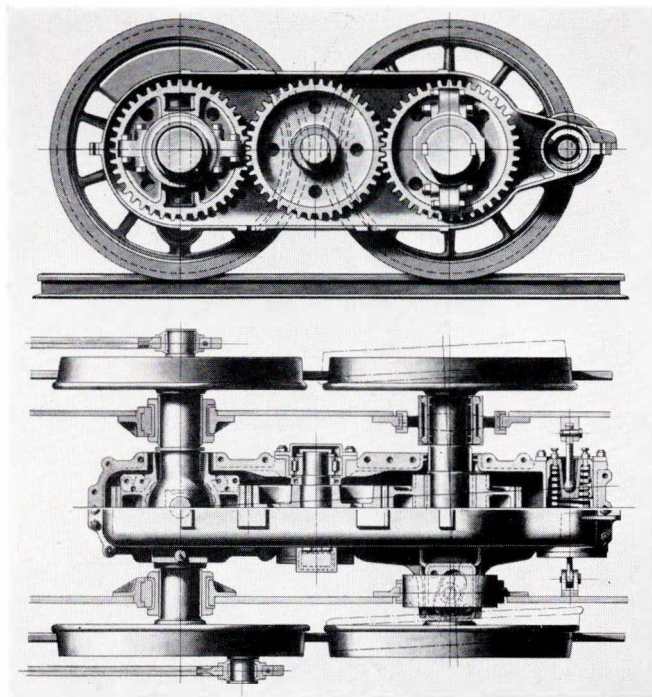


Bild 276. Zahnrad-Kupplung der Endachsen Bauart Henschel

Die Endachse wird von der benachbarten Kuppelachse mittels Zahnrad-Übertragung angetrieben. Antrieb staubdicht gekapselt, läuft in Öl. Antrieb-Gehäuse als „Deichsel“ ausgebildet, die um die kugelförmig verdickte Mitte der Kuppelachswelle ausschwenkt. Zahnrad-Endachse mitteln in ihrer Wirkung einer Bisselachse gleichzusetzen (Drehpunkt in Mitte Kuppelachswelle). Anlaufwinkel klein, ruhiger Lauf durch Rückstellvorrichtung. Aus konstruktiven Gründen Winkelausschlag der Deichsel auf etwa $\pm 6^\circ$ begrenzt.

Innenrahmen für 1000 mm Spur und darüber, Außenrahmen für Spurweiten unter 1000 mm. Gewichtserhöhungen (insbes. bei Innenrahmen) geringer als bei Klien-Lindner-Hohlachse nach Bild 279.

Vgl. Textseite 72

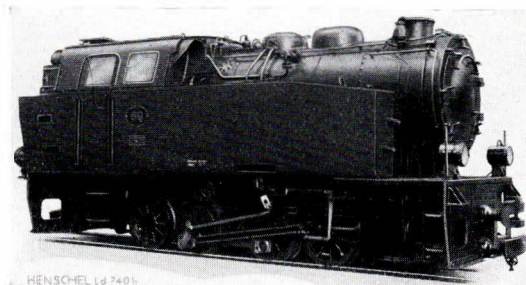


Bild 277. Naßdampf-Zwilling-Tenderlokomotive für eine Industriebahn

1000 mm Spur, Zahnradantrieb der Endachsen

Hauptabmessungen: Nr. 24 der Zahlentafel auf Seite 168

Die Lokomotive durchfährt Gleiskrümmungen bis herunter zu 15 m Halbmesser, die ohne Spurerweiterung verlegt sind.

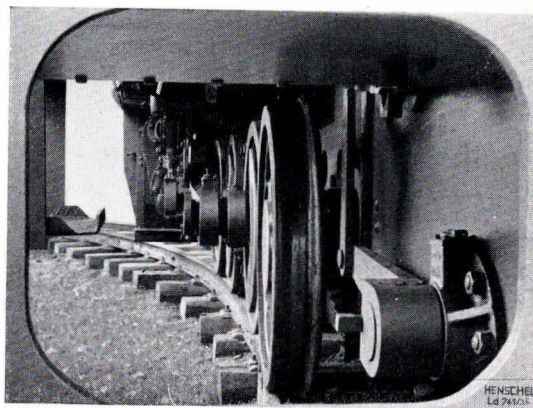


Bild 278. Lokomotive in der 15 m-Kurve

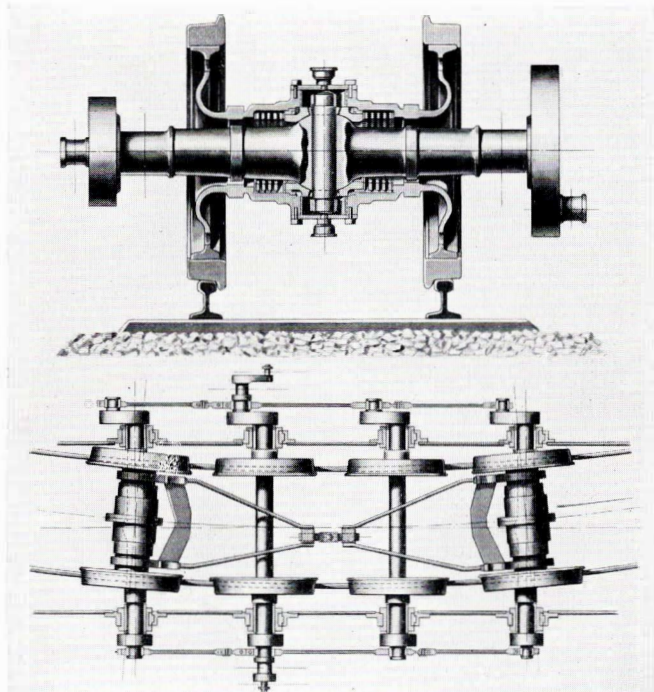


Bild 279

Zu Textseite 72

Die Klien-Lindner-Hohlachse am Beispiel einer D-Lokomotive

Bei der Hohlachse sitzen — entgegen der üblichen Ausführung — die Radkörper nicht fest auf der Achswelle. Die Achswelle ist für sich im Lokomotivrahmen gelagert und wird mittels der Kurbeln in Umdrehung versetzt. Diese „Kernachse“ wird ringförmig von der Hohlachse umhüllt, die mit den beiden Radkörpern zu einem Gebilde vereinigt ist. Die Hohlachse lagert derart auf der mittleren kugelförmigen Verdickung der Kernachse, daß sie sich auf dieser innerhalb eines gewissen Winkelausschlages nach allen Seiten drehbar einstellen kann. Außerdem ist ihr Drehpunkt parallel zur Kernachse seitlich verschiebbar. Durch Rückstellfedern wird sie in geradem Gleis in Mittelestellung gehalten. Die Umdrehung der Kernachse wird durch den Mitnehmerbolzen auf die Hohlachse und damit die Räder übertragen.



Bild 280. Lokomotiv-Kohlenstaubfeuerung in Australien

Güterzug der Victorian Railways mit kohlenstaub-gefeuerter Lokomotive der Klasse „X“. Die Ausrüstung zur Kohlenstaubfeuerung wurde 1948 von Henschel & Sohn geliefert.

Zu Textseite 239

Einheitslokomotiven der Deutschen Reichsbahn

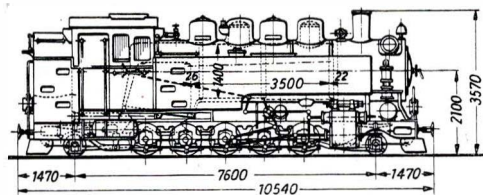


Bild 281 750 mm Spur **Reihe 99**

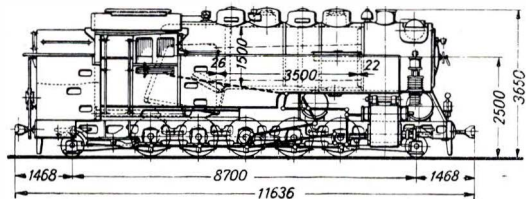


Bild 282 1000 mm Spur **Reihe 99**

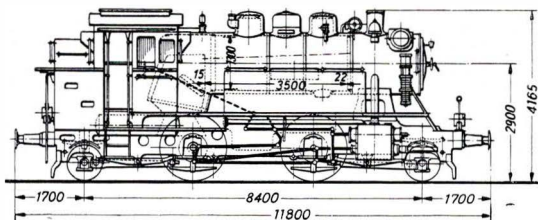


Bild 283 **Reihe 71**

und der Deutschen Bundesbahn

Hauptabmessungen auf Zahlentafel 27, Seite 166

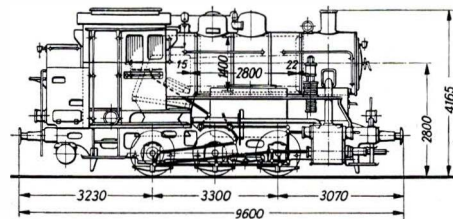


Bild 284 **Reihe 89**

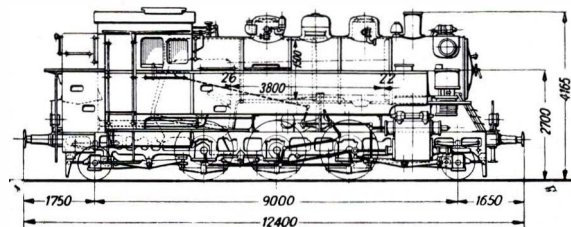


Bild 285 **Reihe 64**

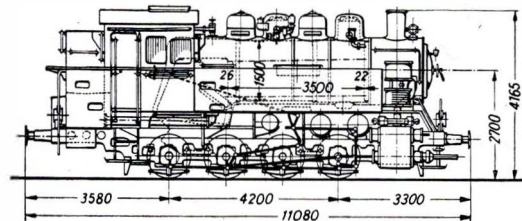


Bild 286 **Reihe 81**

Einheitslokomotiven der Deutschen Bundesbahn

Zu Seite 166

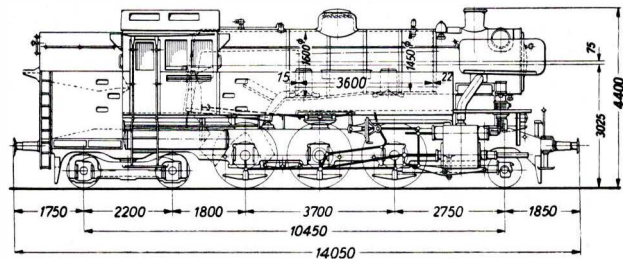


Bild 287

Reihe 66 (Entwurf)

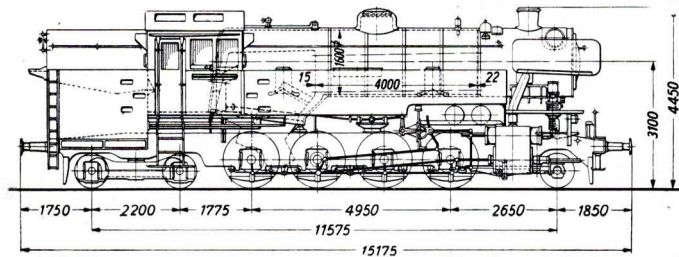


Bild 288

Reihe 83 (Entwurf)

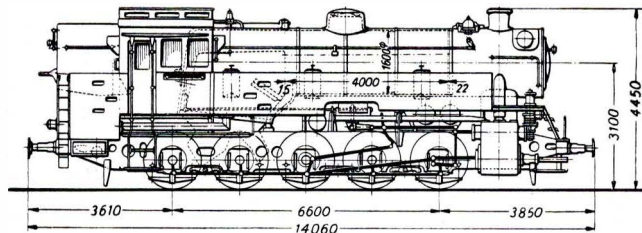
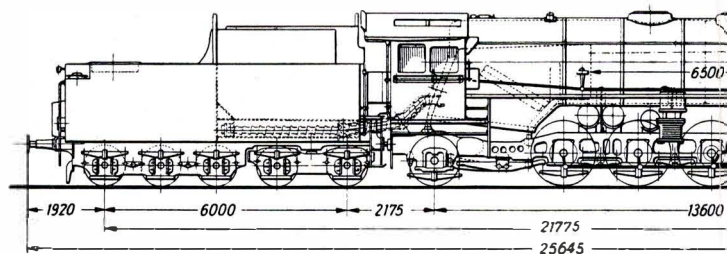
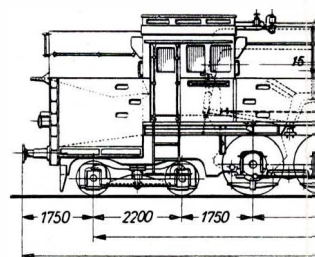
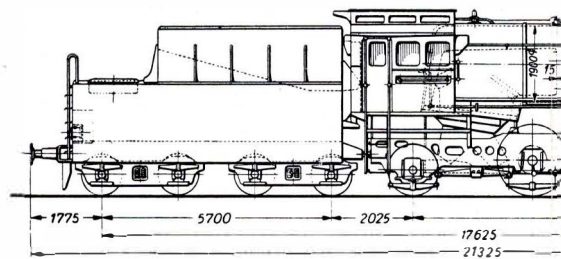


Bild 289

Reihe 82

Einheitslokomotiven der Deutschen Bundes



Einheitslokomotiven der Deutschen Bundesbahn

Hauptabmessungen auf Zahlentafel 27, Seite 164—167

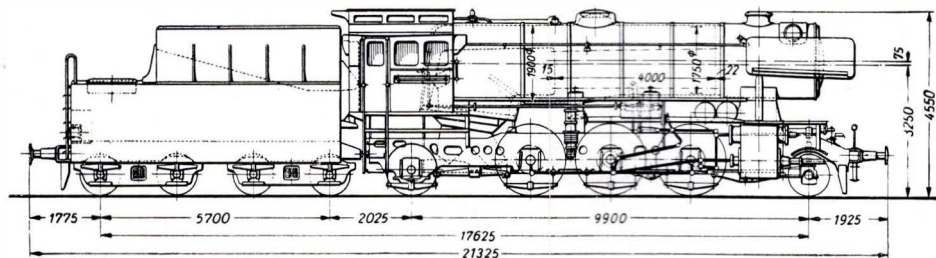


Bild 290

Reihe 23 neu

Bild auf Seite 391

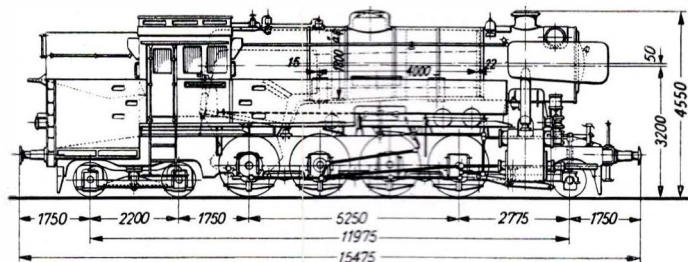


Bild 291

Reihe 65

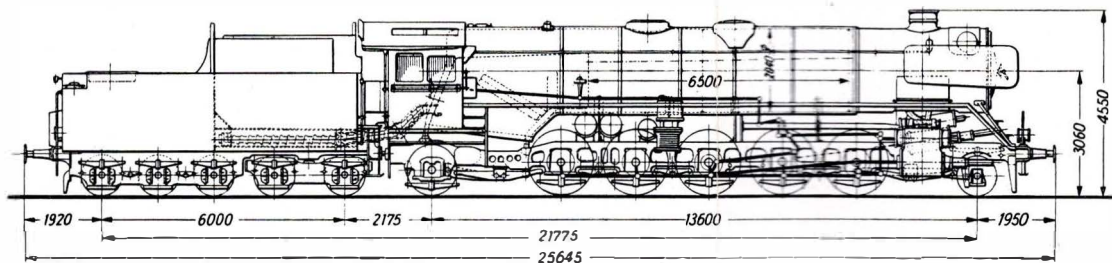


Bild 292

Reihe 45

Umbau 1950

Einheitslokomotiven der Deutschen Reichsbahn und der Deutschen Bundesbahn Einheitslokomotiven

Hauptabmessungen auf Zahlentafel 27, Seite 166

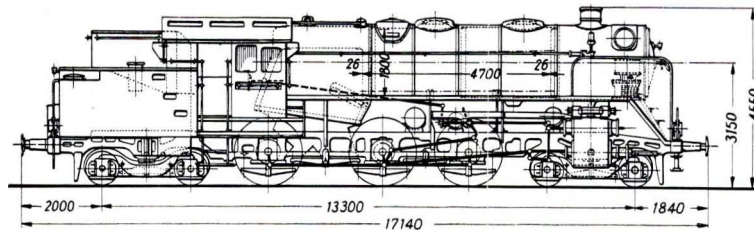


Bild 293

Reihe 62

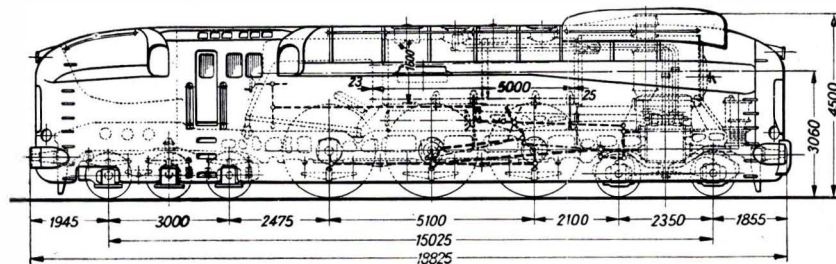


Bild 294

Reihe 61 [61002]

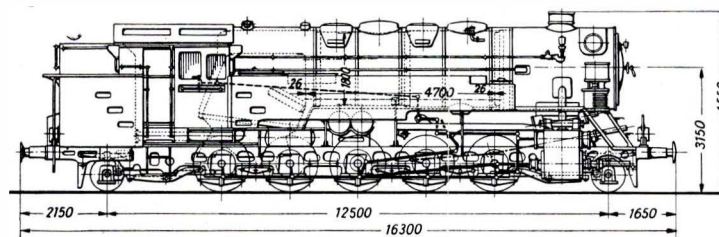


Bild 295

Reihe 85

Einheitslokomotiven der Deutschen Reichsbahn und der Deutschen Bundesbahn

Hauptabmessungen auf Zahlentafel 27, Seite 164 und 166

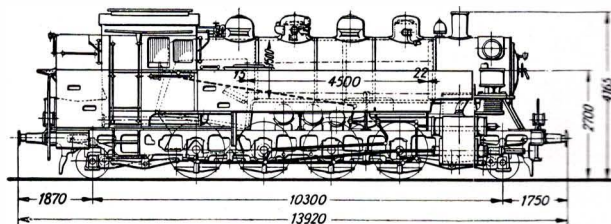


Bild 296

Reihe 86

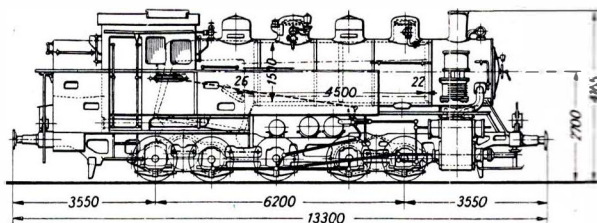


Bild 297

Reihe 87

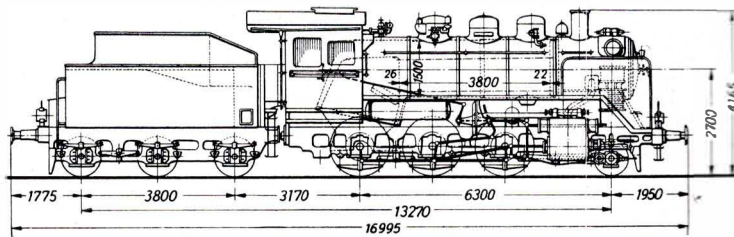


Bild 298

Reihe 24

Einheitslokomotiven der Deutschen Reichsbahn und der Deutschen Bundesbahn

Hauptabmessungen auf Zahlentafel 27, Seite 164 und 166

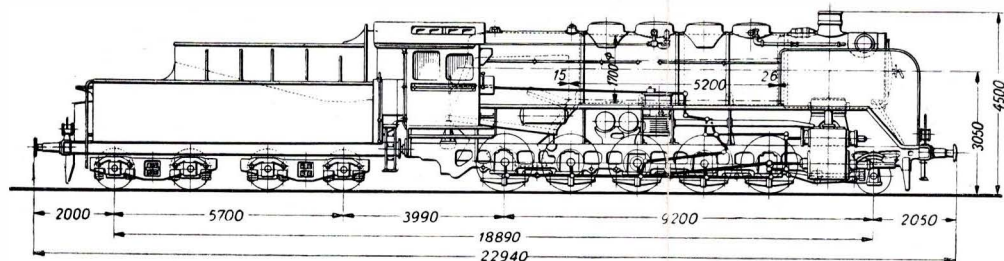


Bild 299

Reihe 50

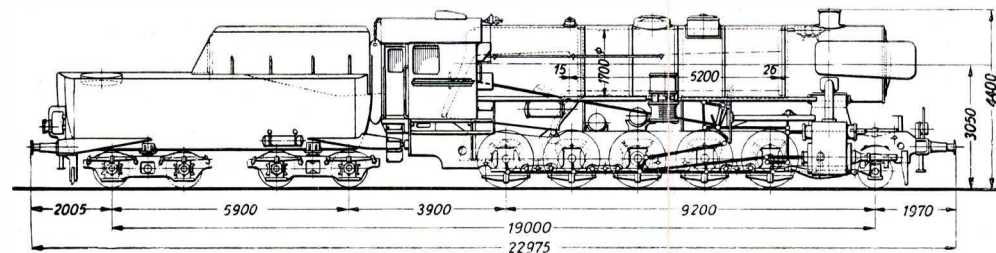


Bild 300

Reihe 52

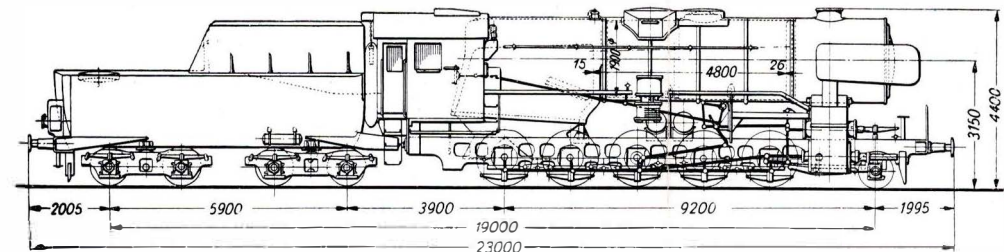


Bild 301

Reihe 42

Bild auf Seite 359

Einheitslokomotiven der Deutschen Reichsbahn und der Deutschen Bundesbahn

Hauptabmessungen auf Zahlentafel 27, Seite 164

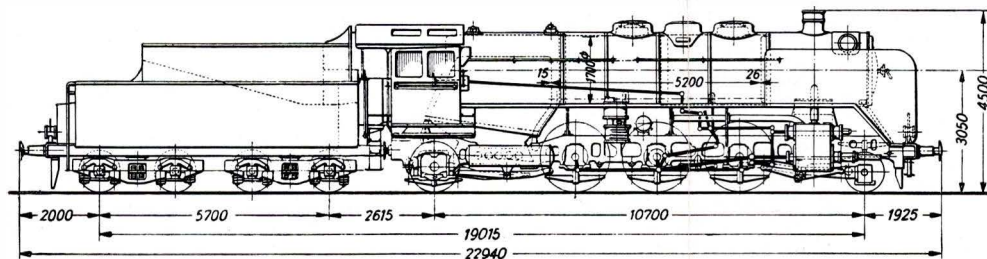


Bild 302

Reihe 23 alt

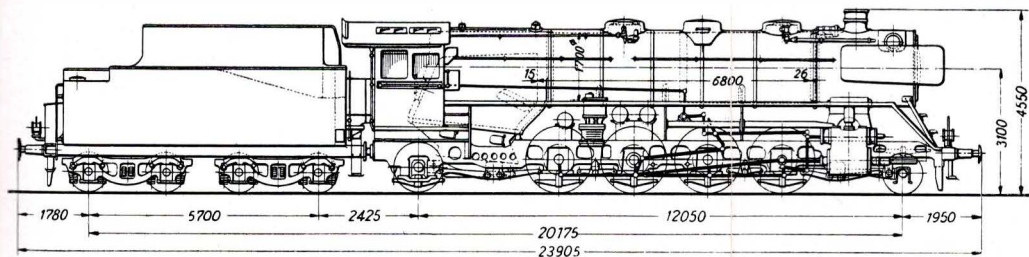


Bild 303

Reihe 41

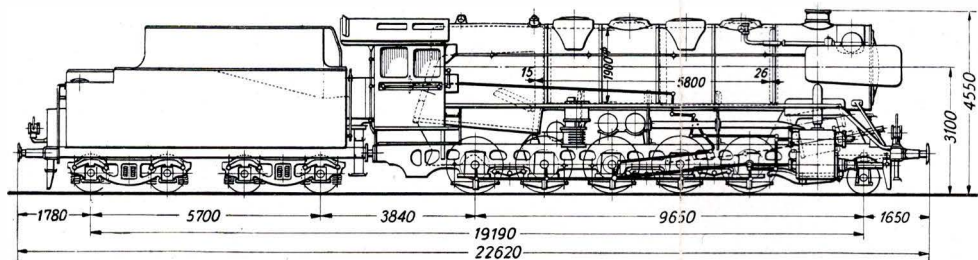


Bild 304

Reihe 44

Einheitslokomotiven der Deutschen Reichsbahn und der Deutschen Bundesbahn

Hauptabmessungen auf Zahlentafel 27, Seite 164

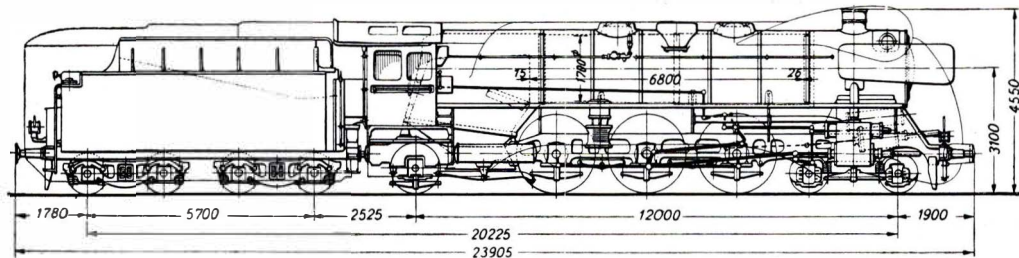


Bild 305

Reihe 03¹⁰

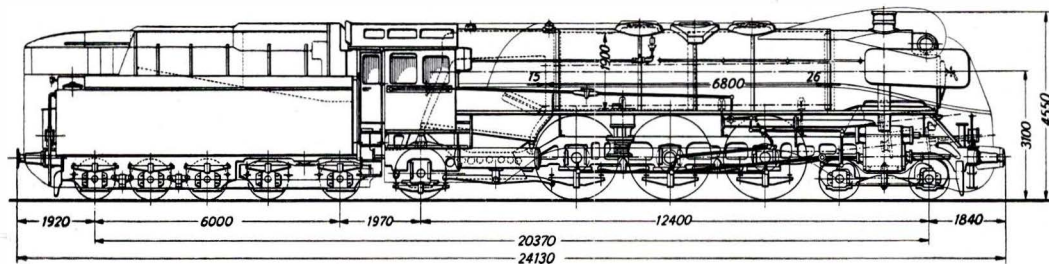


Bild 306

Reihe 01¹⁰

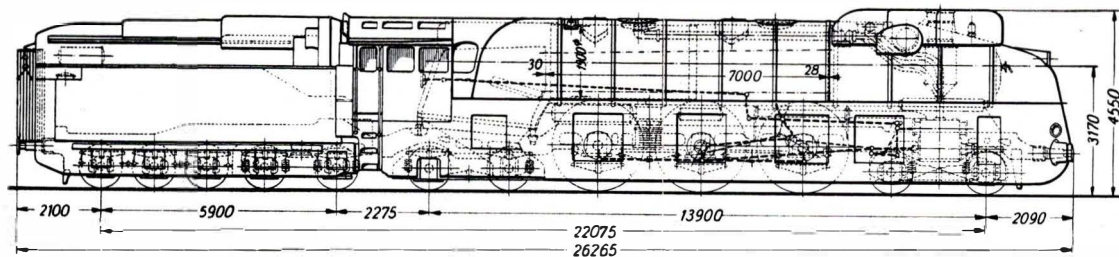


Bild 307

Reihe 05

Ursprungszustand

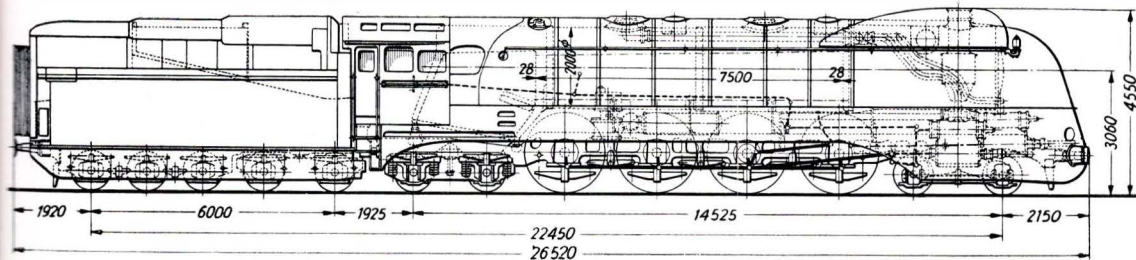


Bild 308

Reihe 06

Hauptabmessungen Nr. 8 der
Zahlentafel auf Seite 164

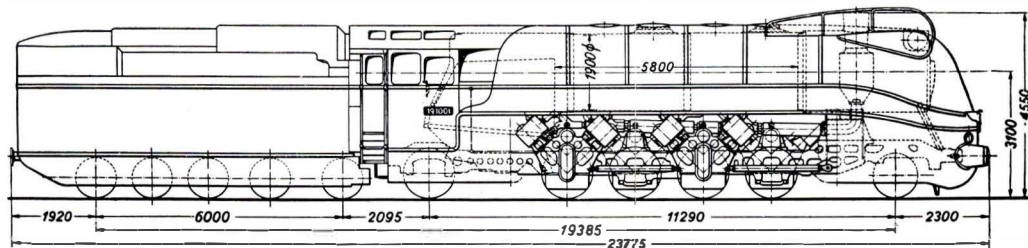


Bild 309

Reihe 19

Zu Textseite 249

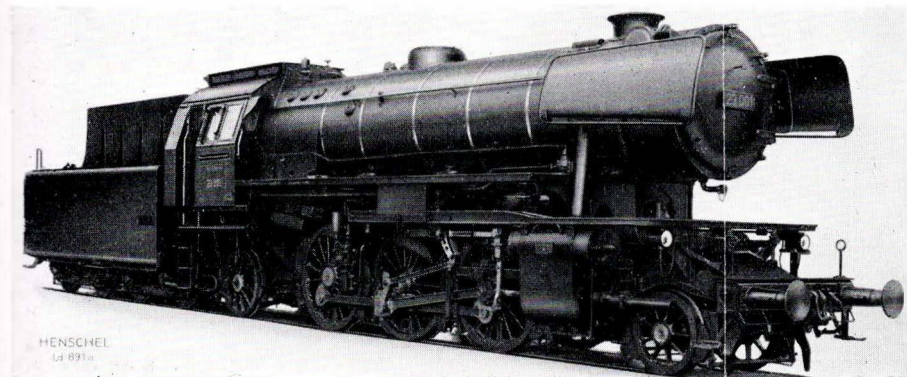


Bild 310

Heißdampf-Zwilling-Personenzuglokomotive
Reihe 23
der Deutschen Bundesbahn

Hauptabmessungen: Nr. 10 der Zahlentafel auf S. 164
Typenskizze auf Seite 385

Regelspur
Geschweißter Kessel
Geschweißter Rahmen
Rahmenloser Leichtbau-Tender

Bauliche Einzelheiten auf Seite 402 und 403

Elektrische Lokomotiven der Deutschen Bundesbahn für Wechselstrom 15 000 V, 16 2/3 Hz

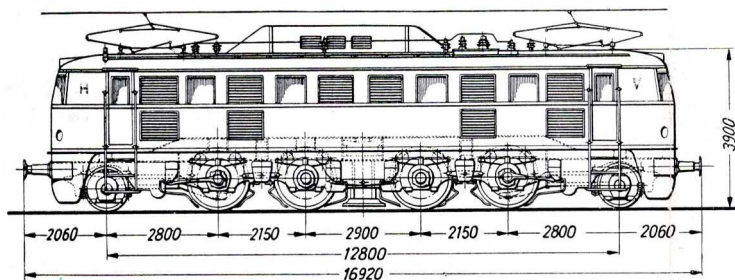
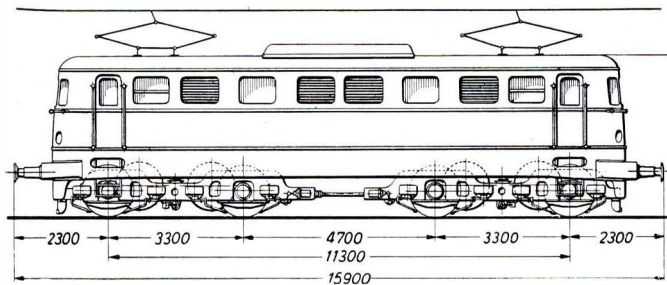
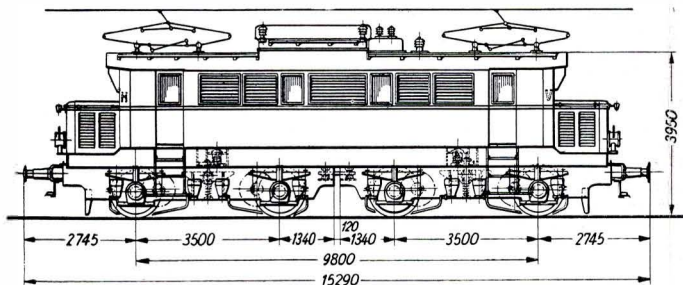


Bild 311

Reihe E 44

Bild 311a

Reihe E 10

Bild 312

Reihe E 19

Vgl. Zahlentafel auf Seite 268

Bild 313

Reihe E 94

Bild 314

Reihe E 63

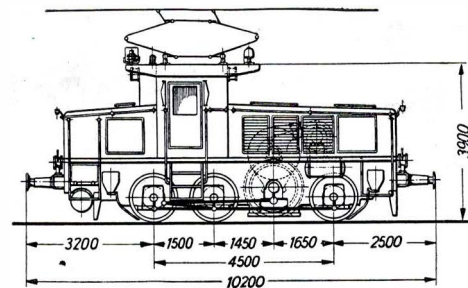
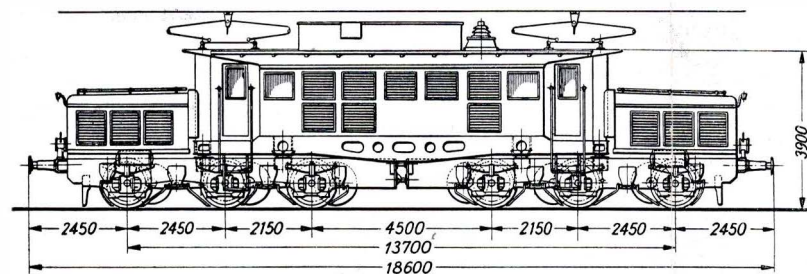
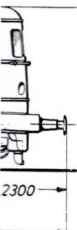


Bild 317
Hauptab





e 268

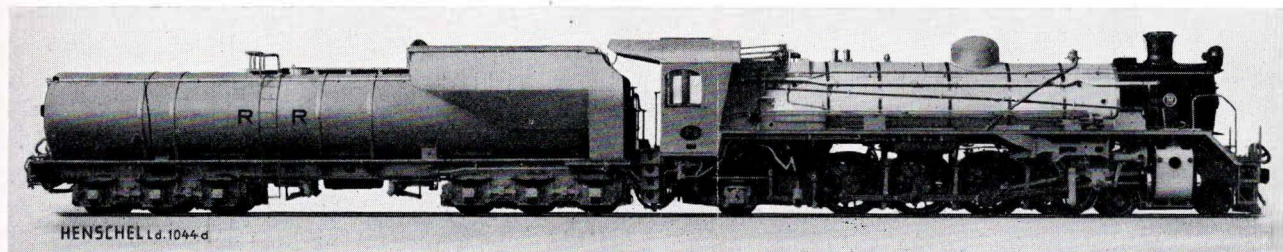
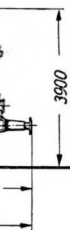


Bild 315. *Heißdampf-Zwilling-Güterzug-Lokomotive Klasse 19 der Rhodesia Railways*
Hauptabmessungen: Nr. 37 der Zahlentafel auf Seite 174

Kapspur

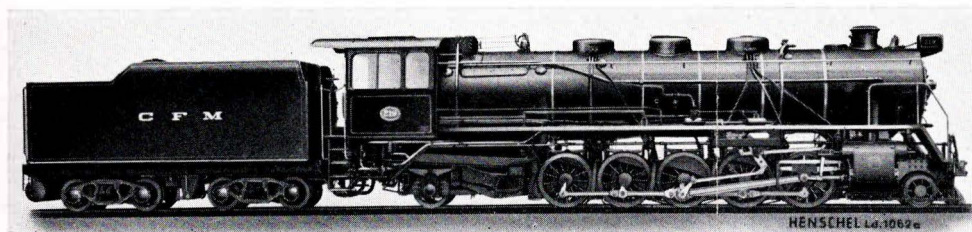


Bild 316

Heißdampf-Zwilling-Güterzug-Lokomotive der Eisenbahnen von Mozambique (Portugiesisch Ostafrika)

Kapspur

Hauptabmessungen:
Nr. 55 der Zahlentafel auf Seite 174

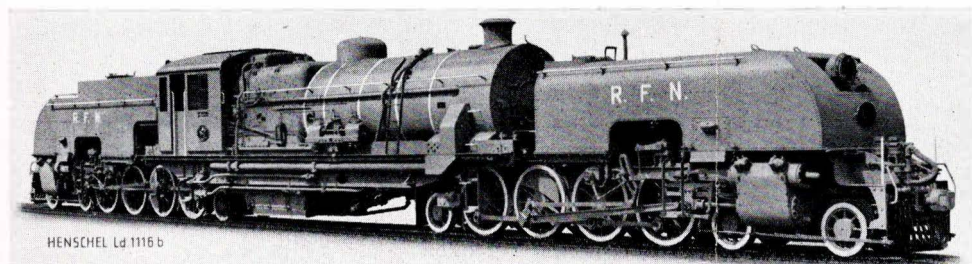


Bild 317

Heißdampf-Doppelzwilling-Güterzug-Tenderlokomotive
Bauart Beyer-Garratt
der Brasilianischen Nordwestbahn

Meterspur, Ölfeuerung

Hauptabmessungen:
Nr. 58 der Zahlentafel auf Seite 170

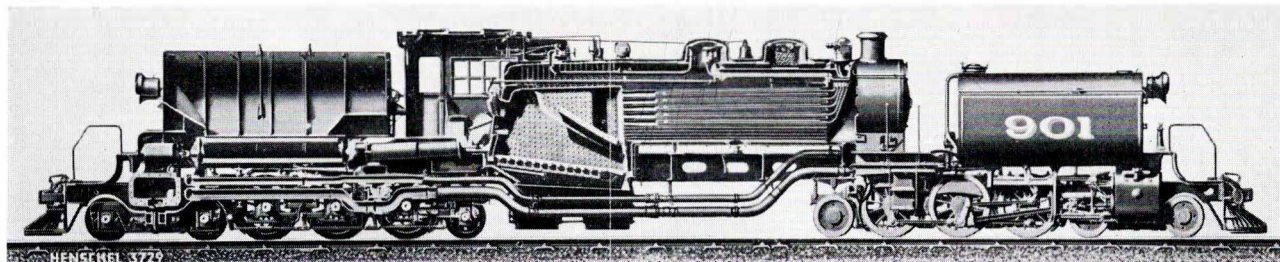


Bild 318. *Heißdampf-Doppelzwilling-Tenderlokomotive Bauart Garratt für Personen- und Güterzugdienst der Viação Ferrea do Rio Grande do Sul (Brasilien)*

Meterspur

Hauptabmessungen: Nr. 54 der Zahlentafel auf Seite 170

Über die Bauart Garratt siehe Seite 149

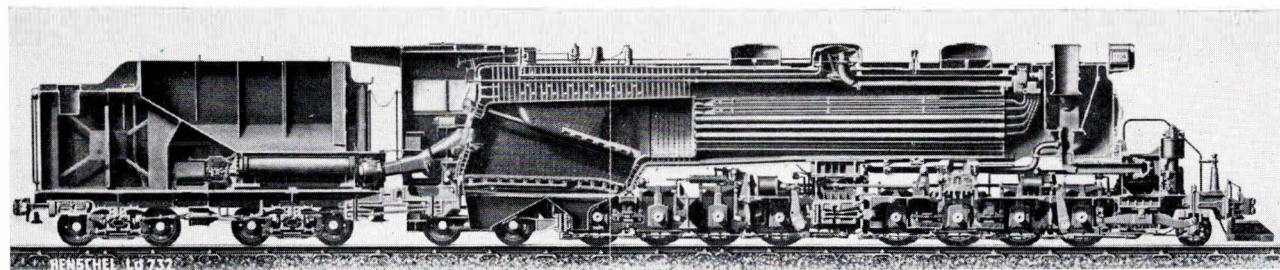


Bild 319. *Heißdampf-Doppelzwilling-Güterzuglokomotive Bauart Mallet der Brasilianischen Zentralbahn*

Meterspur

Hauptabmessungen: Nr. 60 der Zahlentafel auf Seite 174

Über die Bauart Mallet siehe Seite 149

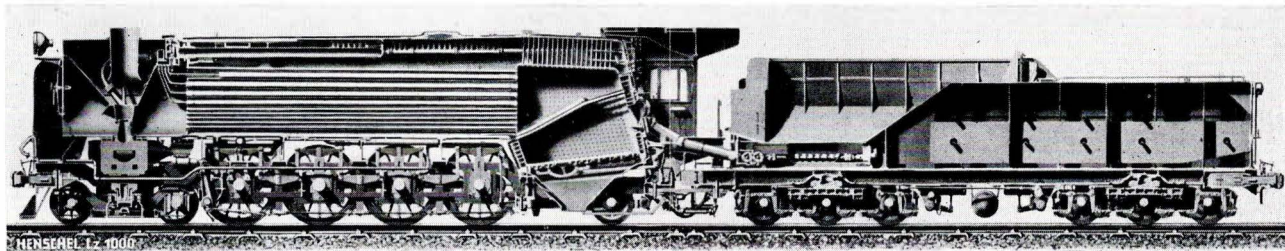


Bild 320. *Heißdampf-Zwilling-Lokomotive für Schnellzug- und Güterzugdienst Klasse 23 der Südafrikanischen Staatsbahnen*

Hauptabmessungen: Nr. 40 der Zahlentafel auf Seite 174

Kapspur

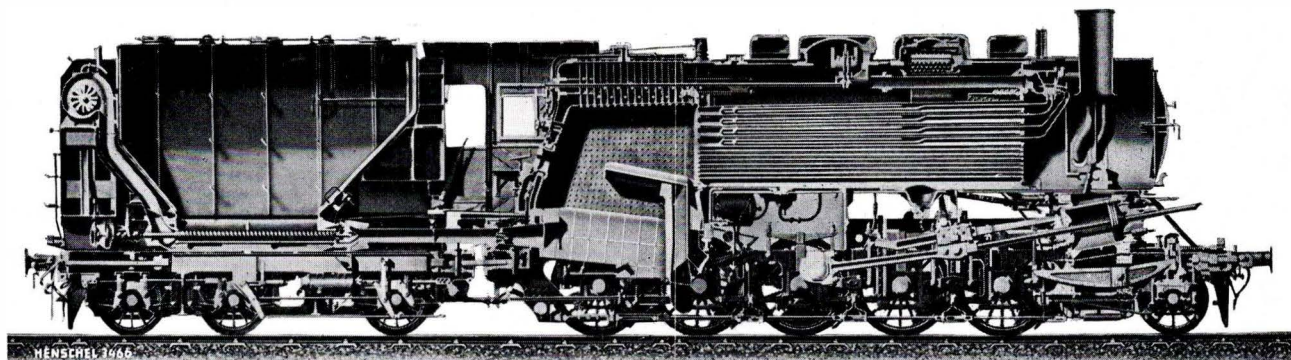


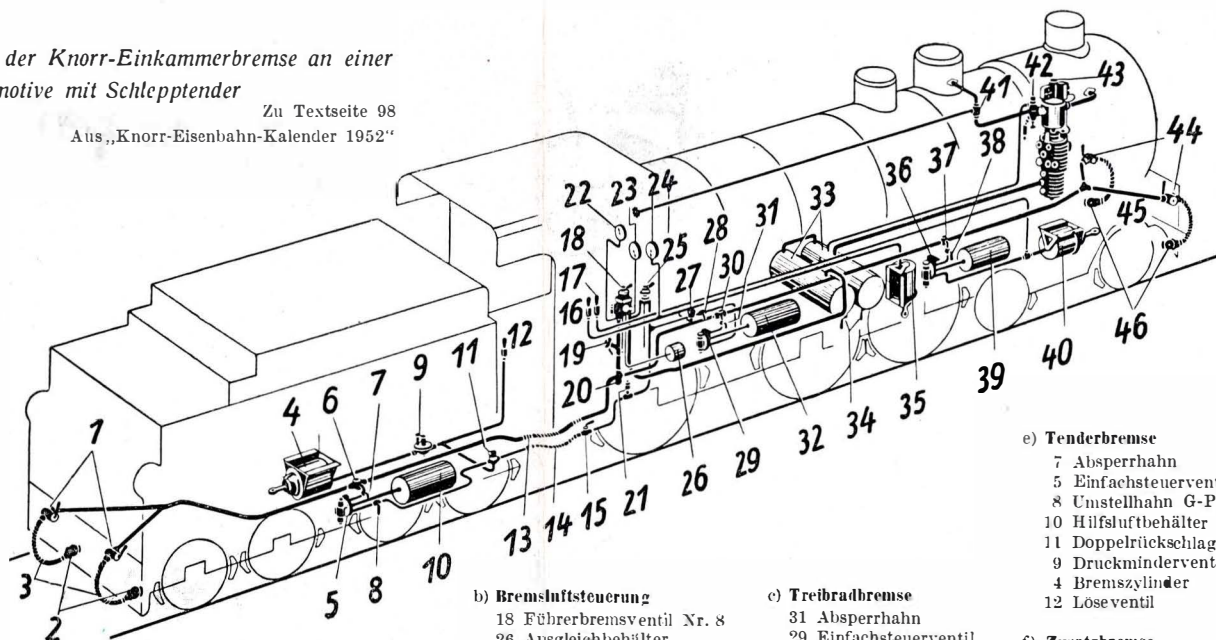
Bild 321. *Heißdampf-Drilling-Güterzuglokomotive mit Stug-Feuerung, Reihe 58 der Deutschen Reichsbahn*

Über Kohlenstaubfeuerung siehe Seite 239

Anordnung der Knorr-Einkammerbremse an einer Dampflokomotive mit Schlepptender

Zu Textseite 98

Aus „Knorr-Eisenbahn-Kalender 1952“



a) Bremsluftbeschaffung

- 43 Zweistufige Luftpumpe
- 42 Luftpumpendruckregler
- 41 Dampfventil
- 33 Hauptluftbehälter
- 34 Hauptluftbehälter-Ablabühne
- 23 Luftdruckmesser für Hauptluftbehälter

b) Bremsluftsteuerung

- 18 Führerbremsventil Nr. 8
- 26 Ausgleichbehälter
- 19 Notbremsventil
- 20 Tropfbecher
- 13 Schlauchverbindung
- 6 Schleuderfilter
- 30 Schleuderfilter
- 37 Schleuderfilter
- 1 Luftabsperrröhre
- 44 Luftabsperrröhre
- 3 Bremsschläuche
- 45 Bremsschläuche
- 2 Brems-Kupplungsköpfe
- 46 Brems-Kupplungsköpfe
- 22 Luftdruckmesser für Hauptluftleitung

c) Treibradbremse

- 31 Absperrrhahn
- 29 Einfachsteuerventil
- 32 Hilfsluftbehälter
- 28 Umstellhahn G-P
- 27 Doppelrückschlagventil
- 35 Bremszylinder
- 16 Löseventil
- 24 Luftdruckmesser für Bremszylinder

d) Drehgestellbremse

- 38 Absperrrhahn
- 36 Einfachsteuerventil
- 39 Hilfsluftbehälter
- 40 Bremszylinder
- 17 Löseventil

e) Tenderbremse

- 7 Absperrrhahn
- 5 Einfachsteuerventil
- 8 Umstellhahn G-P
- 10 Hilfsluftbehälter
- 11 Doppelrückschlagventil
- 9 Druckminderventil
- 4 Bremszylinder
- 12 Löseventil

f) Zusatzbremse

- 25 Führerbremsventil Zh
- 21 Sicherheitsventil
- 27 Doppelrückschlagventil
- 35 Bremszylinder
- 16 Löseventil
- 24 Luftdruckmesser für Bremszylinder
- 14 Schlauchverbindung
- 15 Absperrrhahn
- 11 Doppelrückschlagventil
- 9 Druckminderventil
- 12 Löseventil
- 4 Bremszylinder

Bild 322

Wirkungsv

- 1. Regler i
- 2. Blasroh
- 3. strömro
- 3. Steuer
- 4. Kolben
- 5. Auf der
- die Bre
- 6. Die Bre
- 7. Zum K
- Wasser
- 8. Das bei
- Schalld

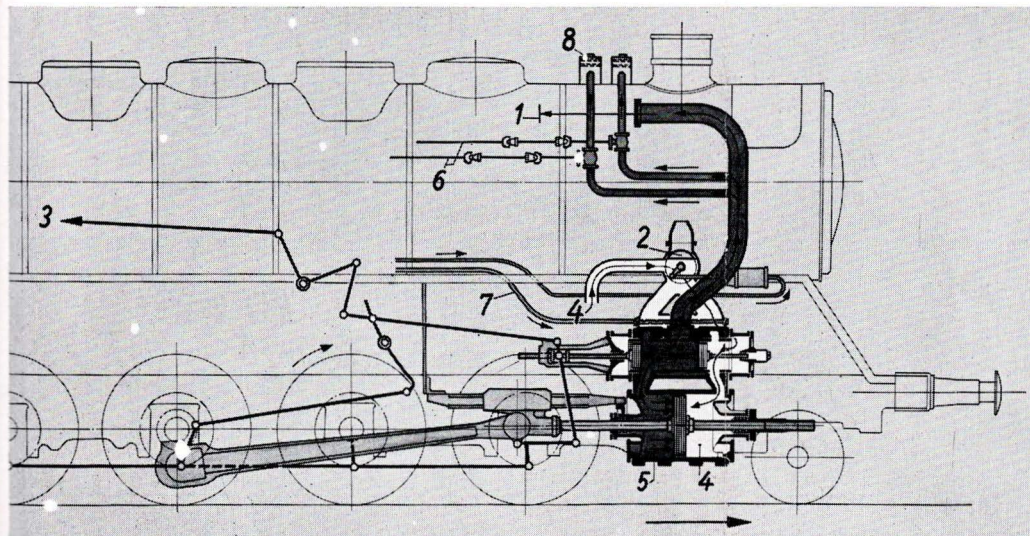


Bild 323

Gegendruckbremse
Bauart Riggenbach

Zu Textseite 230

Wirkungsweise der Riggenbach'schen Gegendruckbremse

1. Regler ist geschlossen.
2. Blasrohr ist abgedeckt, unmittelbare Verbindung zwischen Dampf-Ausströmröhr und Außenluft freigegeben.
3. Steuerung ist entgegengesetzt der Fahrtrichtung voll ausgelegt.
4. Kolben saugt Frischluft von außen her in den Zylinder.
5. Auf der anderen Kolbenseite wird die angesaugte Frischluft verdichtet, daher die Bremswirkung.
6. Die Bremswirkung wird durch Drosseln der ausströmenden Luft geregelt.
7. Zum Kühlen und Schmieren des Zylinders wird der angesaugten Frischluft Wasser zugesetzt.
8. Das beim Ausströmen der verdichteten Luft entstehende Geräusch wird im schalldämpfer gemildert.

Bedienung der Gegendruckbremse nach Anweisung der Deutschen Bundesbahn

a) Anstellen:

1. Treibradbremse abstellen.
2. Drosselventil öffnen ($\frac{1}{2}$ Umdrehung).
3. Blasrohr schließen.
4. Druckausgleicher schließen.
5. Steuerung entgegen der Fahrtrichtung legen.
6. Zylindereinspritzung mäßig öffnen, Temperatur nicht über 300° steigen lassen.
7. Bremsdruck mit Drosselventil regeln (höchstens 6 atü).

b) Abstellen:

1. Einspritzventil fest schließen.
2. Drosselventil ganz öffnen.
3. Steuerung sehr langsam in Fahrtrichtung legen.
4. Druckausgleicher öffnen.
5. Drosselventil fest schließen.
6. Blasrohr öffnen.
7. Treibradbremse anstellen.

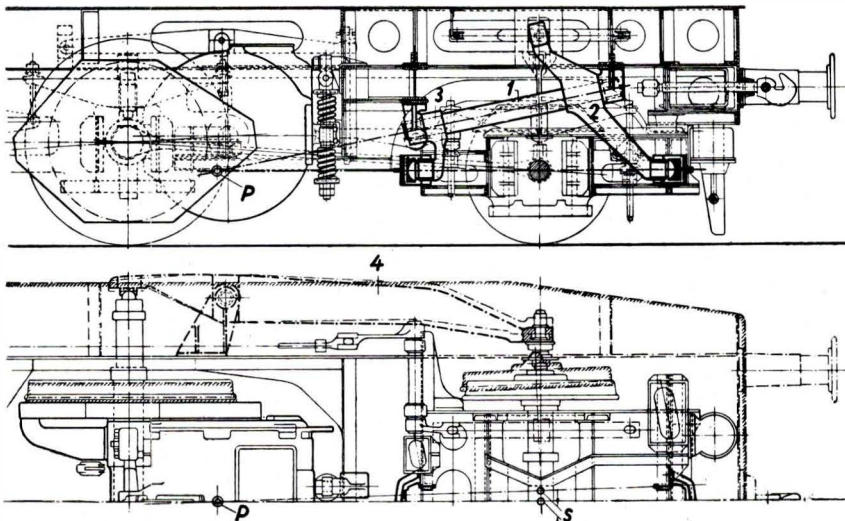
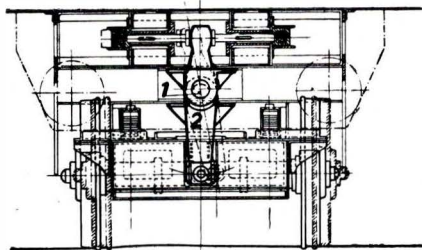


Bild 324

*Henschel-Lenkgestell
mit ideellem Drehpunkt*

Erläuterung: Seite 74

Zahlentafel 77

Begrenzung der minutlichen Treibrad-Umdrehungen in Rücksicht auf die Dampfgeschwindigkeit im Schieberspiegel

Treibrad $\varnothing$ mm	Zylinder-Durchmesser in mm																																								
	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400	410	420	430	440						
550- 750	2140	1760	1480	1260	1060	945	830	740	660	590	530	485	440	403	370	340	316	293	272	253	236	222	206	195	185	173	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
800- 950	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	945	855	785	712	660	608	560	520	485	450	422	395	370	347	328	308	293	276	261	249	237	225	215	205	196	—	—			
1000-1300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	440	416	392	380	353	338	320	305	293	278	—	—		
1400-1700	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	440	415	396	378	362	—	—
1800-2200	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	465	425	408	390	370	—	—

Treibrad $\varnothing$ mm	Zylinder-Durchmesser in mm																																														
	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	560	570	580	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780	790	800											
800- 950	188	179	172	165	158	152	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
1000-1300	266	255	245	234	225	215	207	199	192	186	178	172	166	160	153	150	145	140	136	132	128	124	120	117	113	110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1400-1700	347	332	317	305	293	280	270	260	250	242	233	224	215	208	202	235	227	220	213	206	200	195	187	183	175	172	168	163	159	154	150	146	142	140	136	132	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
1800-2200	355	340	325	312	300	288	276	266	256	246	288	278	266	256	250	242	234	227	218	212	205	200	193	188	180	178	172	167	161	157	153	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Kolbenschieber
von 300 mm $\varnothing$

Treibrad $\varnothing$ mm	100
550	22
600	24
650	26
700	28
750	30
800	—
850	—
900	—
950	—

Treibrad $\varnothing$ mm	300
800	4
850	4
900	4
950	4
1000	7
1050	8
1100	8
1200	6
1300	10
1400	—
1500	—
1600	—
1700	—
1800	—
1900	—
2000	—
2100	—
2200	—
2300	—

Treibrad $\varnothing$ mm	Zylinder-Durchmesser in mm																																				
	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340	350											
550	223	183	154	131	113	98	86	77	69	61	55	50	46	42	38	35	33	30	28	26	24	23	21	20	19	18											
600	243	200	168	142	123	107	93	84	75	66	60	54	50	46	41	38	36	33	30	28	26	25	23	22	21	20											
650	263	216	183	154	133	116	102	91	81	72	65	59	54	50	45	41	39	35	33	31	28	27	25	23	22	21											
700	283	233	198	167	145	125	110	98	88	78	70	64	59	53	48	45	42	38	36	33	29	28	27	25	24	23											
750	303	250	210	178	154	133	118	105	94	83	75	68	63	57	52	48	45	41	38	35	33	31	29	27	26	25											
800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	142	129	119	107	100	92	84	78	73	68	64	60	56	52	50	47											
850	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	150	137	126	114	106	98	89	83	78	72	68	64	59	55	53	50											
900	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	159	145	133	120	112	102	94	87	82	76	72	67	63	58	56	53											
950	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	168	153	141	127	119	108	100	93	87	81	76	71	66	62	59	56											

Erläuterung auf Seite 204

Zahlentafel 78

Begrenzung der Höchstgeschwindigkeit in km/h mit Rücksicht auf die Dampfgeschwindigkeit im Schieberspiegel

Die Zahlenwerte ergeben sich aus den $n_{\max}$ -Werten der Zahlentafel 77 mittels der Beziehung

$$V_{\max} = \frac{60 D \cdot \pi \cdot n_{\max}}{1000} \text{ in km/h}$$

wenn D = Treibraddurchmesser in m

Voraussetzungen

1. Abmessungen der inneren Steuerung nach Zahlentafel 35, Seite 214
2. Antrieb durch äußere Heusinger-Steuerung
3. Die Höchstgeschwindigkeit tritt bei 20 % Füllung ein
4. Wertziffer der Einström-Dampfgeschwindigkeit

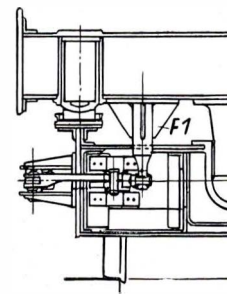
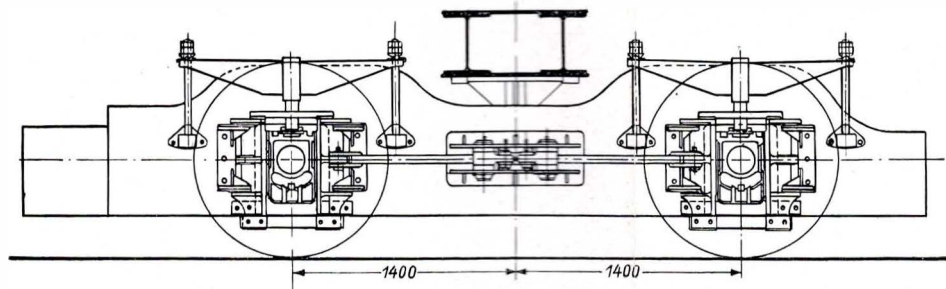
$$v = \frac{F \cdot c}{f} = 300 \text{ m/sec,}$$

bezogen auf 20 % Füllung und die Kurbelstellung, bei welcher die mittlere Kolbengeschwindigkeit erreicht ist (siehe Seite 204).

Soll die Höchstgeschwindigkeit erst bei 10 % Füllung eintreten, so sind die nebenstehenden Werte der Zahlentafel mit 1,43 zu multiplizieren.

Treib- rad $\varnothing$	Zylinder-Durchmesser in mm																											
	360	370	380	390	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720	740	760	780	800			
mm																												
800	44	42	39	37	35	33	30	27	25	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
850	47	45	42	39	37	35	32	29	26	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
900	49	47	44	42	39	37	33	30	28	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
950	52	50	46	43	42	39	36	32	30	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1000	78	74	72	66	64	58	53	48	45	41	38	35	32	30	28	26	25	23	22	21	—	—	—	—	—	—	—	—
1050	82	78	76	70	67	61	56	50	47	43	39	37	34	31	29	27	26	24	23	22	—	—	—	—	—	—	—	—
1100	86	82	79	73	70	64	58	53	50	45	42	38	35	33	31	29	27	25	24	23	—	—	—	—	—	—	—	—
1200	94	89	86	79	77	70	63	58	54	49	46	42	39	36	34	31	30	28	26	25	—	—	—	—	—	—	—	—
1300	101	96	94	86	83	75	69	62	58	53	49	45	42	39	36	34	32	30	29	27	—	—	—	—	—	—	—	—
1400	—	—	—	—	116	105	96	88	81	74	69	64	59	55	—	62	58	54	51	48	46	43	40	38	37	35	—	—
1500	—	—	—	—	124	112	103	94	87	79	74	69	63	59	—	66	62	58	55	51	49	46	43	41	39	37	—	—
1600	—	—	—	—	133	120	110	100	93	85	79	73	68	63	—	69	67	62	59	55	53	49	46	44	42	40	—	—
1700	—	—	—	—	142	128	117	107	99	90	84	78	72	67	—	76	71	66	62	58	56	52	49	46	45	43	—	—
1800	—	—	—	—	153	139	126	115	107	98	91	84	78	73	—	83	77	71	67	62	59	55	52	—	—	—	—	—
1900	—	—	—	—	163	146	134	122	113	103	96	90	100	93	—	86	82	77	71	67	63	59	55	—	—	—	—	—
2000	—	—	—	—	171	154	141	130	119	111	102	95	104	98	91	85	79	76	71	66	62	58	54	—	—	—	—	—
2100	—	—	—	—	180	163	149	135	126	114	107	98	110	101	96	90	84	79	74	69	65	61	—	—	—	—	—	—
2200	—	—	—	—	188	170	156	142	132	120	113	103	116	109	100	94	87	83	77	72	67	63	—	—	—	—	—	—
2300	—	—	—	—	200	178	161	148	136	126	116	107	121	112	105	99	92	87	82	76	73	68	—	—	—	—	—	—

Kolben-
schieber
von 300 $\varnothing$



Zu Textseite 72

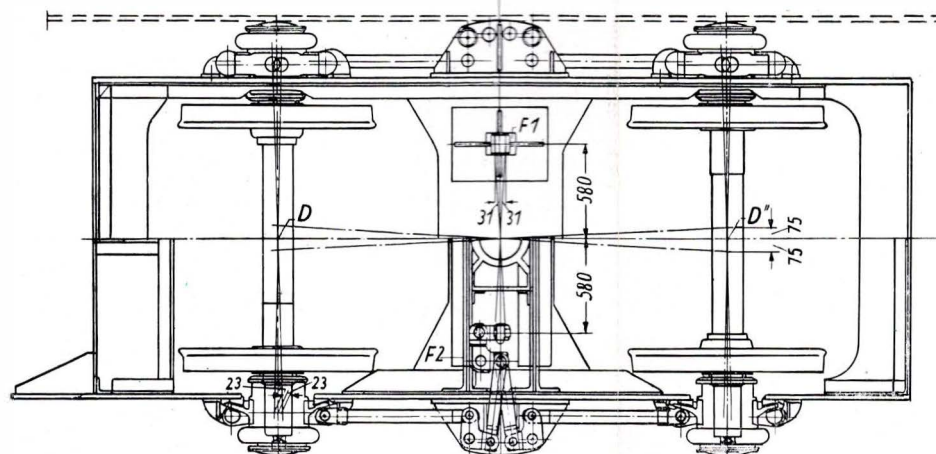


Bild 325

*Liechty-Achssteuerung
Bauart Henschel an einer schweren
elektrischen Tagebaulokomotive*

Die Liechty-Achssteuerung

ermöglicht zweiachsigen Fahrzeugen und Drehgestellen einen Anlaufwinkel nahe „Null“ und kommt damit dem Ziel geringster Radreifenabnutzung nahe. Sie kennzeichnet sich dadurch, daß die beiden Achsen nicht starr, sondern um eine Senkrechte drehbar im Rahmen gelagert sind und im Gleisbogen zwangsläufig

eingestellt werden. Die Radsitze sind bei der reinen Liechty-Ausführung in einachsigen Deichselgestellen gelagert. Ihre Lenkung wird durch die Relativbewegungen ausgelöst, die während des Bogenlaufes bei zweiachsigen Fahrzeugen das einachsige Lenkgestell, bei Drehgestellfahrzeugen das Drehgestell gegenüber dem Hauptrahmen beschreibt. Näheres in „Glaser's Annalen“ 1947, S. 181.

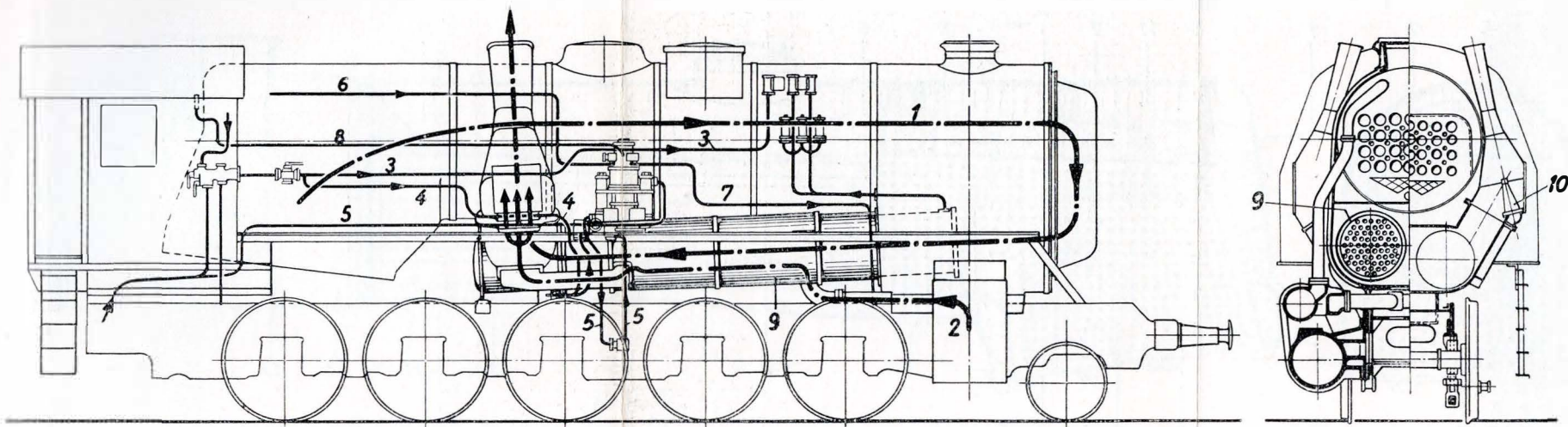


Bild 326 und 327

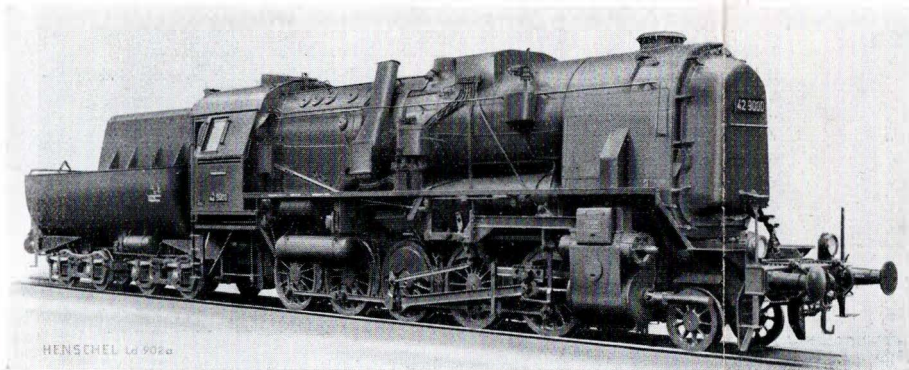
Zu Textseite 189

Güterzuglokomotive der Deutschen Bundesbahn mit „Franco-Crosti“-Vorwärmer

Siehe Witte: „Zwei Franco-Crosti-Lokomotiven für die DB“, Glasers Annalen 1951, S. 55.

Dem üblichen Lokomotivkessel ist ein besonderer Vorwärmer-Kessel nachgeschaltet, der in zwei kleinere, seitlich oder unterhalb des Hauptkessels angeordnete Einheiten unterteilt ist. Jeder dieser kleinen Vorwärmer ist mit Schornstein und Blasrohr ausgerüstet. Sofern es die räumlichen Verhältnisse gestatten, wird ein Vorwärmerkessel unter dem Langkessel zwischen dem Lokomotivrahmen angeordnet.

- 1 Strömungsrichtung der Rauchgase
- 2 Zylinder-Abdampf
- 3 Speiseleitung für Kaltwasser (direkte Kesselspeisung)
- 4 Speiseleitung für Vorwärm-Wasser, ausgehend vom Injektor
- 5 Speiseleitung für Vorwärm-Wasser über die Pumpe
- 6 Frischdampf für Speisepumpe
- 7 Speisepumpen-Abdampf
- 8 Hubanzeiger zur Speisepumpe
- 9 Vorwärmerkessel
- 10 Blasrohr



Schnitt A-B

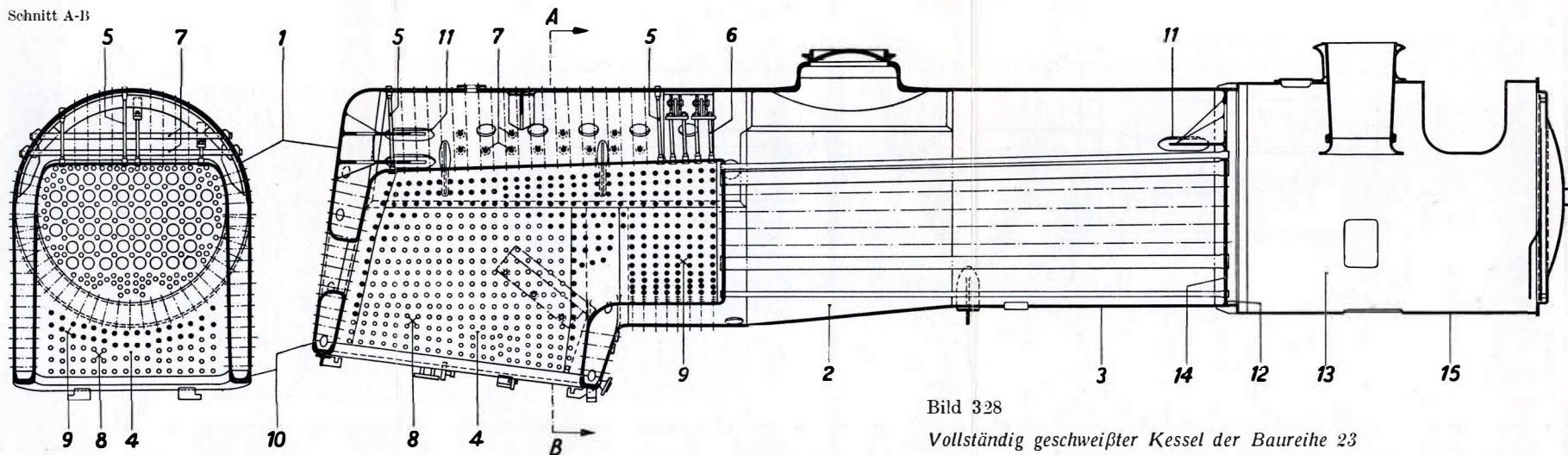


Bild 328

Vollständig geschweißter Kessel der Baureihe 23

Zu Textseite 185 — Bild auf Seite 391
Typenskizze der Lokomotive auf Seite 385

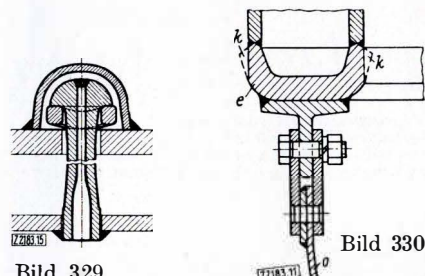


Bild 329

Stehbolzen mit Ausgleichring

Bodenring e mit Pendelstütze o

k = abgearbeitete Kanten

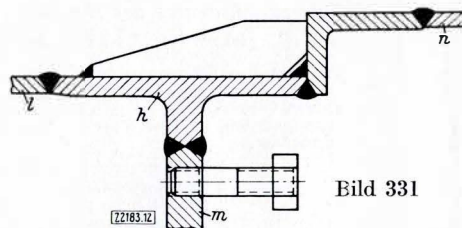


Bild 331

Verbindung zwischen Langkessel, Rauchkammer und Rauchkammerrohrwand

h = T-förmiger Ring

l = Mantel des vorderen Kesselschusses

m = Rauchkammerrohrwand

n = Rauchkammermantel

- 1 Stehkessel
- 2 konischer Kesselschuß mit Dorn
- 3 zylindrischer Kesselschuß mit Pendelblechstütze
- 4 Feuerbüchse mit Verbrennungskammer
- 5 Decken-Stehbolzen
- 6 beweglicher Deckenstehbolzen
- 7 Queranker
- 8 feste Stehbolzen

- 9 bewegliche Stehbolzen
- 10 U-förmiger Bodenring mit Bodenring-Queranker
- 11 Untersätze
- 12 T-förmiger Ring (siehe nebenstehendes Bild 331)
- 13 Rauchkammermantel
- 14 Rauchkammerrohrwand
- 15 Rauchkammerboden

Bauliche Einzelheiten zu den Einheitslokomotiven der Deutschen Bundesbahn I

Bild 329÷337 aus VDI-Zeitschrift, 1951, Seite 471

Bauliche Einzelheiten zu den Einheitslokomotiven der Deutschen Bundesbahn II

Aus VDI-Zeitschrift, 1951, Seite 472 und 474

Bild 332

Rahmenloser Leichtbau-Tender der Baureihe 23

Typenskizze der Lokomotive auf Seite 385; Abbildung auf Seite 391

Bild 333

Vollständig geschweißter Rahmen der Baureihe 82

Zu Textseite 87. Typenskizze der Lokomotive auf Seite 384
Abbildung auf Seite 359

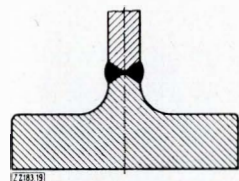
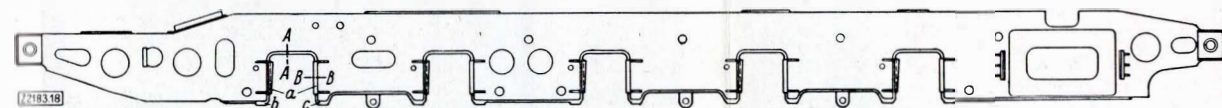
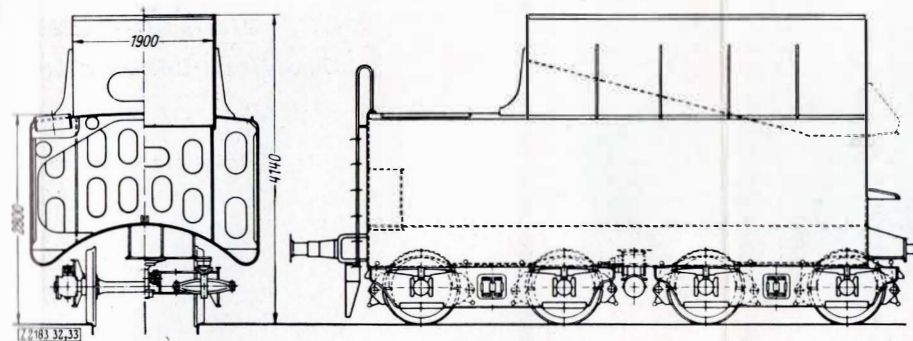


Bild 334
*Rahmengurt im Ausschnitt für das
Achslager*

Schnitt A-A von Bild 333

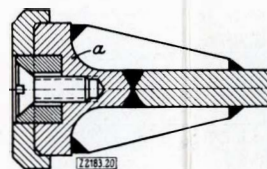


Bild 335
Achslagerführung a

Schnitt B-B von Bild 333

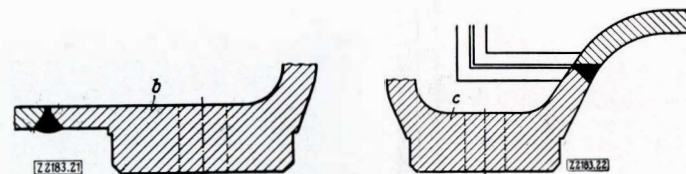


Bild 336 und Bild 337
Füße b und c zum Achsgabelsteg

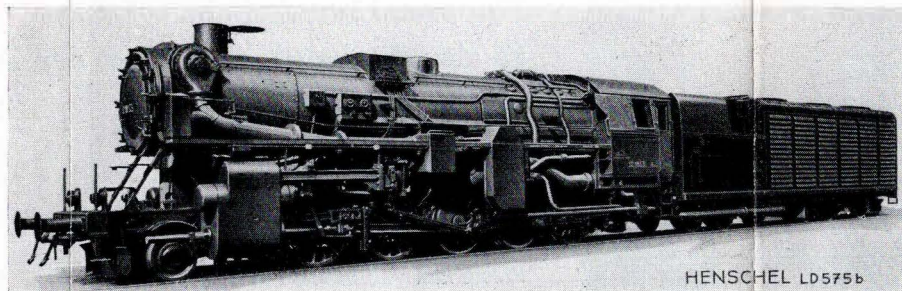
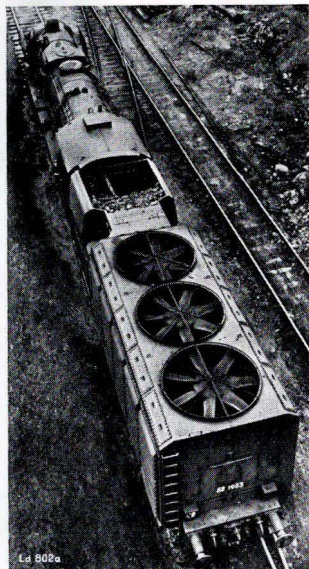


Bild 338 und 339

Reihe 52 Kon der Deutschen Bundesbahn

Schema auf Seite 405

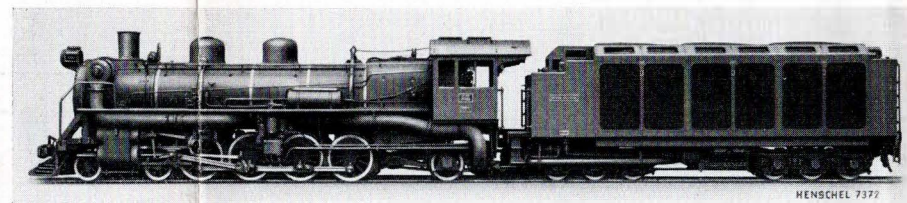


Bild 340

*Heißdampf-Zwilling-Güterzug-Lokomotive
der Argentinischen Staatsbahnen*

Meterspur

Hauptabmessungen: Nr. 36 der Zahlentafel auf Seite 174

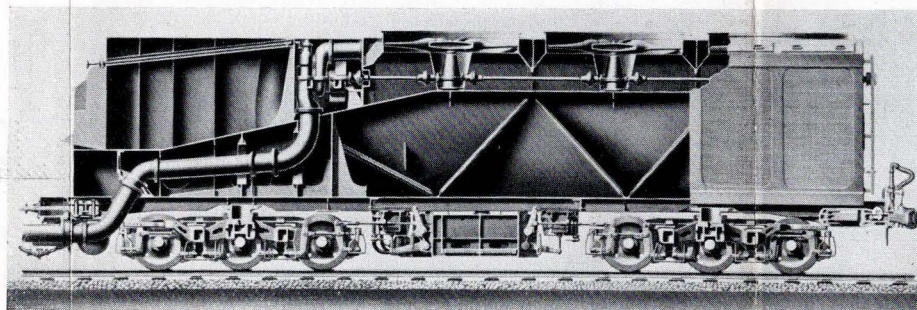


Bild 341

*Versuchstender zu Klasse 20
der Südafrikanischen Staatsbahnen*

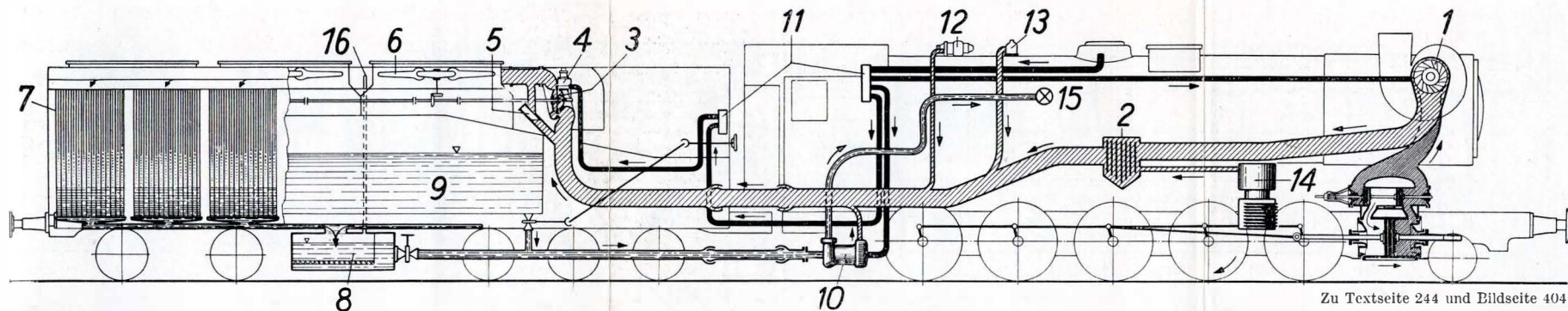


Bild 342. Henschel-Kondens-Lokomotive Reihe 52 Kon der Deutschen Bundesbahn



- | | | | |
|------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------|
| 1 Saugzuggebläse | 5 Abdampfnebenleitung | 9 Rohwasserbehälter | 13 Sicherheitsventil |
| 2 Abdampfentöler | 6 Lüfterrad | 10 Turbospeisepumpe | 14 Luftpumpe |
| 3 Lüfterturbine | 7 Kondensatelement | 11 Armaturenstützen | 15 Kesselspeiseventil |
| 4 Umleitventil | 8 Kondensatbehälter mit Sieb | 12 Lichtmaschine | 16 Entlüftungsrohr |

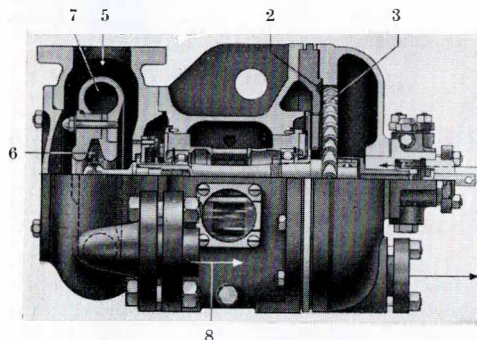


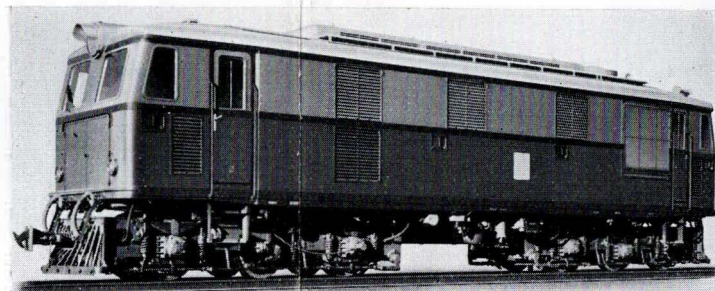
Bild 343

Henschel-Kreiselpumpe zum Speisen des Kessels
Zu Textseite 191

Bild 344

Dieselelektrische (960 PS)
(A1A) (A1A) Lokomotive
der Siamesischen
Staatsbahnen

Meterspur
(siehe Zahlentafel auf Seite 282)



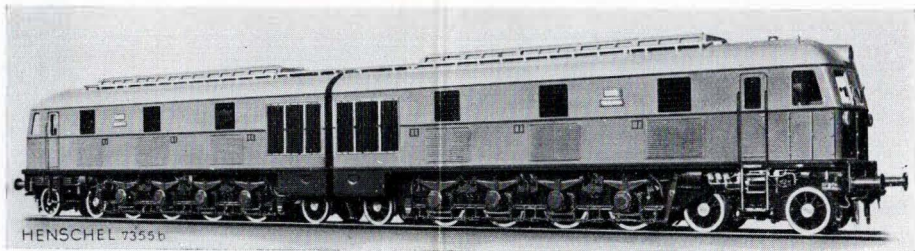
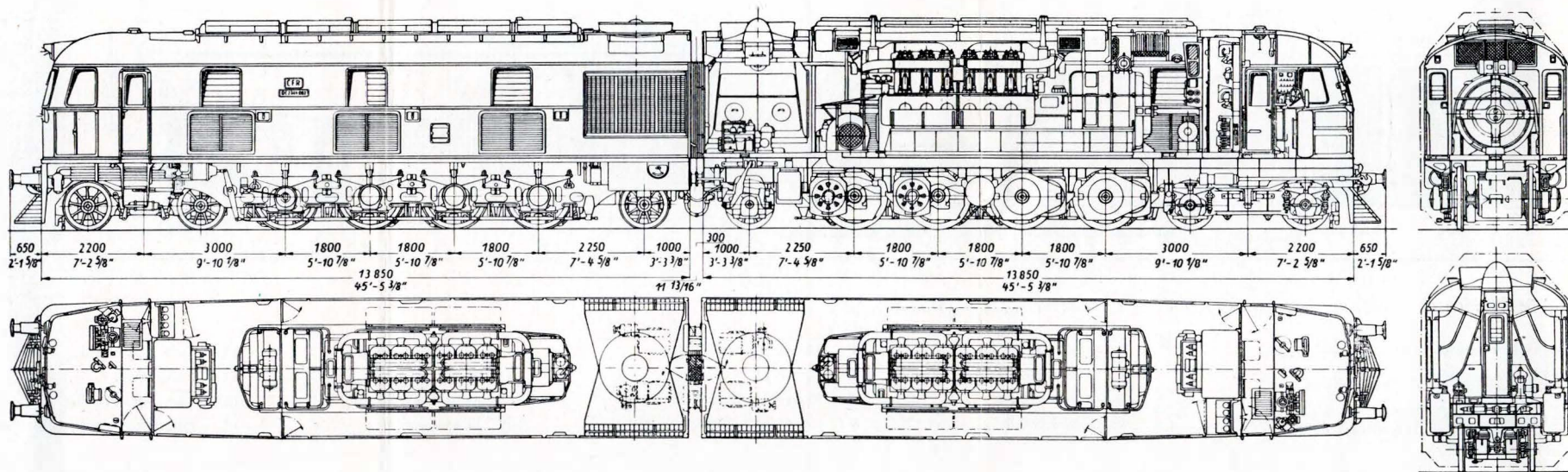


Bild 345

Diesel-elektrische 4400 PS-Schnellzuglokomotive der Rumänischen Staatsbahnen
Hauptabmessungen: Nr. 22 der Zahlentafel auf Seite 282

Gemeinschaftsarbeit der Firmen Gebr. Sulzer AG, Winterthur;
BBC, Baden (Schweiz) und Henschel & Sohn GmbH, Kassel

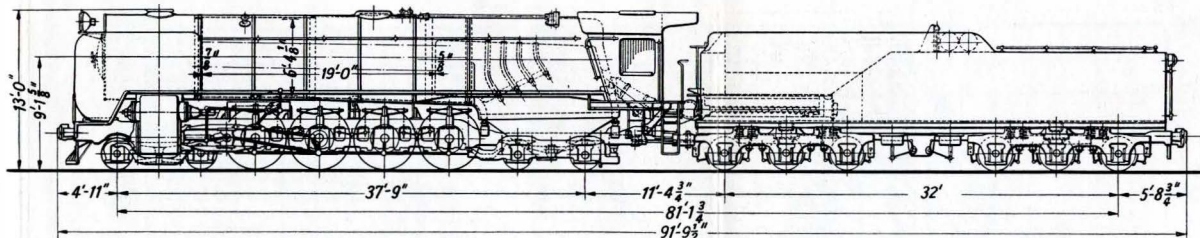


Bild 346

Heißdampf-Zwilling-Lokomotive für Personen- und Güterzug-Dienst, Klasse 25 NC der Südafrikanischen Staatsbahnen (Non-condensing engine)

Kapspur

Hauptabmessungen: Nr. 43 der Zahlentafel auf Seite 174

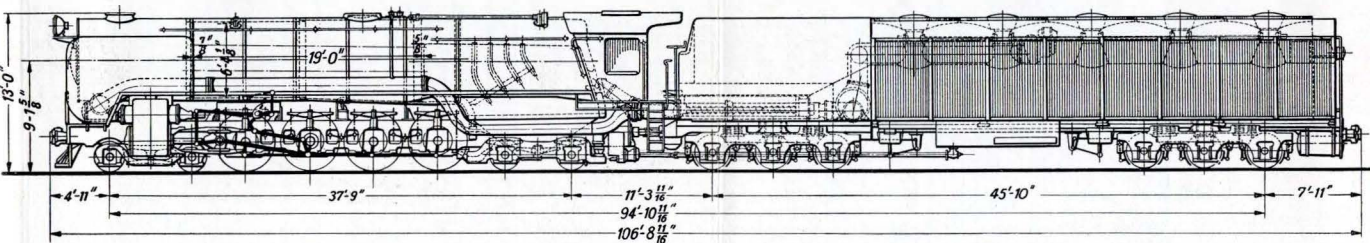


Bild 347

Henschel-Patent-Kondensations-Lokomotive, Klasse 25 der Südafrikanischen Staatsbahnen

Kapspur

Zu Textseite 244 und Bildseiten 404/5

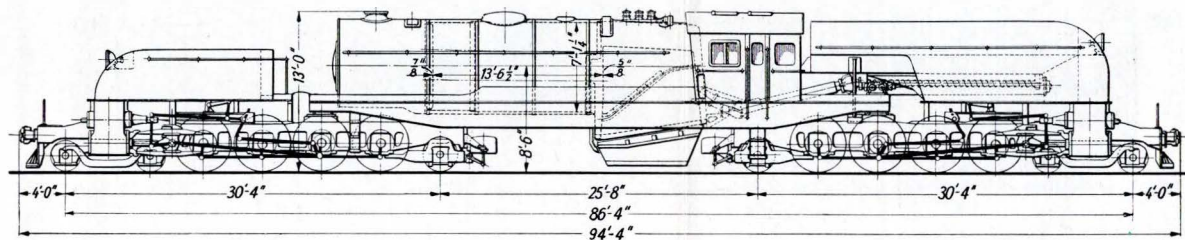


Bild 348

Heißdampf-Doppelzwilling-Güterzug-Tenderlokomotive Bauart Beyer-Garratt, Klasse GM der Südafrikanischen Staatsbahnen

Kapspur

Hauptabmessungen: Nr. 60 der Zahlentafel auf Seite 170

Bild 349

Ausschnitt

aus dem

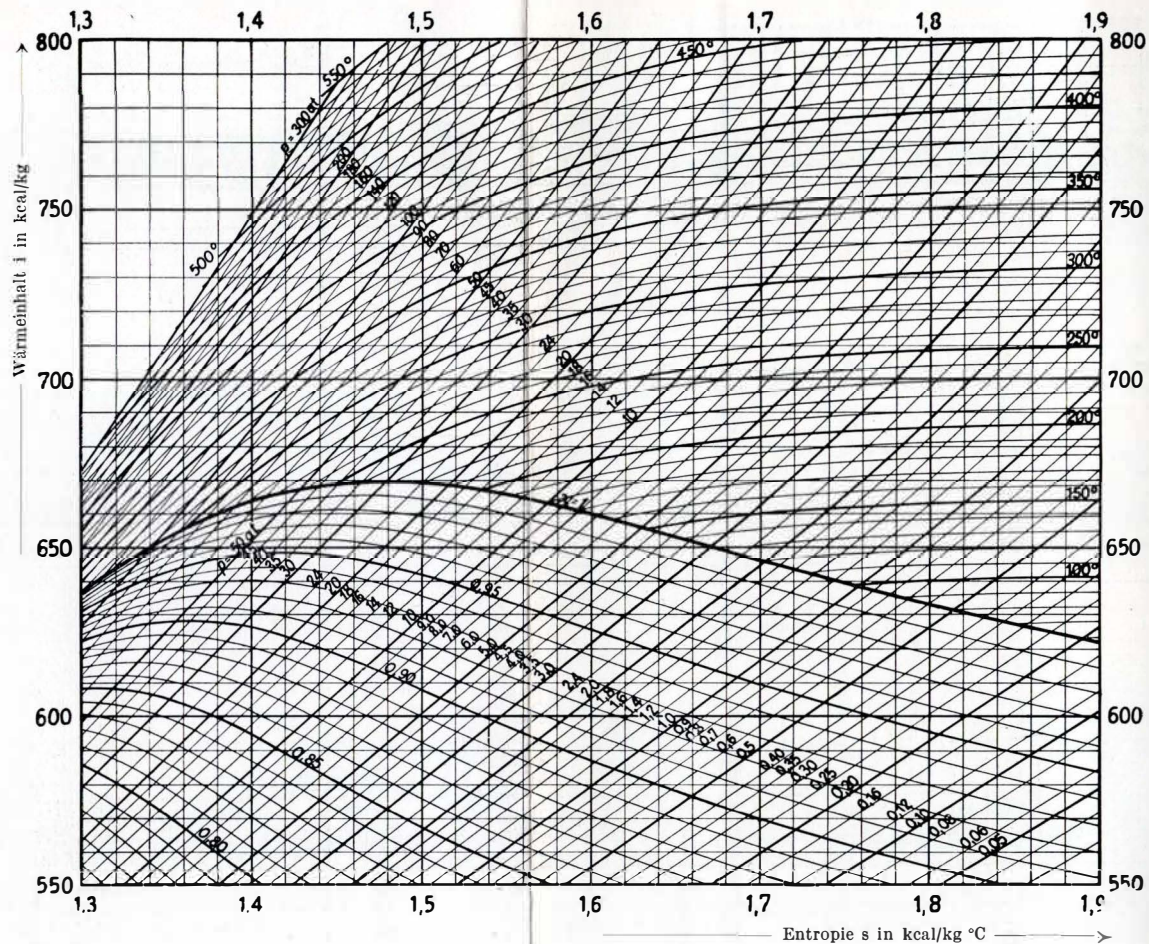
Mollier (i,s)-Diagramm

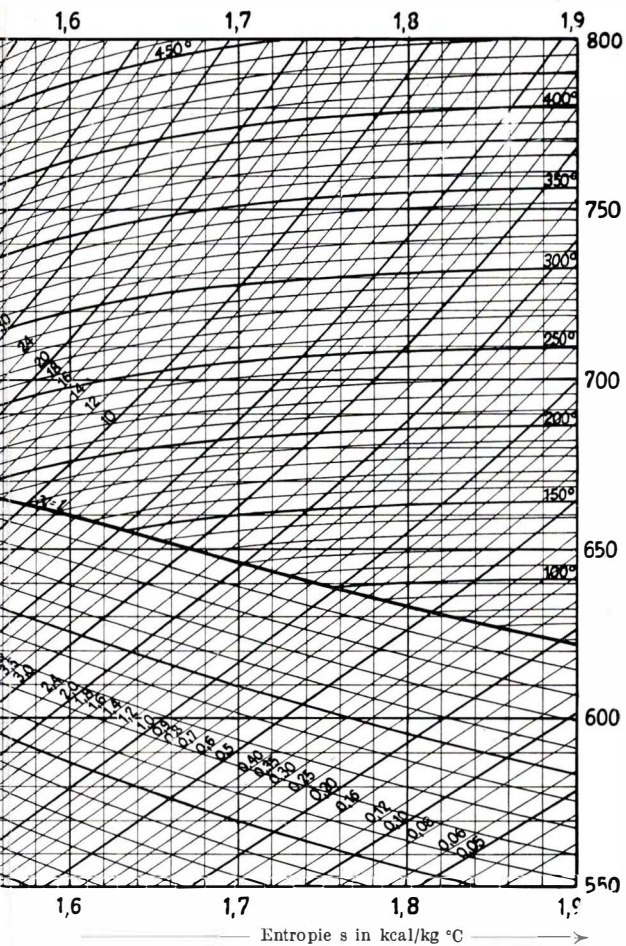
zu den

VDI-Wasserdampf tafeln

Wasserdampf tafeln

auf den Textseiten 127 - 130





TYSIDLAND 30



Vilhelm Priors kgl. Hofboghandel

Købmagergade 52

Telf. 1579, 1580 • Postkonto 3742

• Kunstbøger •
Papir • Modelteatre

Hr. civilingeniør Lundsfryd

Vejrøgade 10 Ø.

[illegible]

BETALT
VILHELM PRIOR'S
ENGELIGE HOFBOGHANDEL

№ 7589

VILHELM PRIOR S
KONGELIGE HOFBOGHANDELT
A. G. H. H. H.