

Einleitung.

Unter „Baumaschinen“ werden die zahlreichen und verschiedenartigen Maschinen begriffen, welche sich im Ingenieur- und Hochbauwesen für die Gewinnung und den Transport, die Zerteilung und die Bearbeitung der Baumaterialien, ferner für die Aufrichtung von Bauwerken und deren Unterhaltung eigenartig herausgebildet haben. Obgleich dieser Name erst in der Neuzeit eingeführt worden und kaum allgemein verbreitet ist, zeigt doch ein geschichtlicher Rückblick, daß gerade dieser Teil des Maschinenwesens weit in unsere Kulturentwicklung zurückreicht und wesentlichen Einfluß auf dieselbe ausgeübt hat.

§ 1. **Geschichtliche Entwicklung der Baumaschinen.** Der hervorragenden Bedeutung der Bauthätigkeit entsprechend wurden die zu ihrer Förderung dienenden, vom menschlichen Erfindungsgeist erdachten und mit Kunst geschaffenen Werkzeuge und Maschinen zu allen Zeiten des Kulturlebens hoch geschätzt. Die mit der Entstehung fester Wohnsitze und der Ausbildung des Verkehrslebens sich steigernden Aufgaben zur Herstellung von Kommunikationsbauten, nicht minder aber auch das Bestreben der Völker, zu ihrer Verherrlichung der fernsten Nachwelt ruhmvolle Kunde ihres Daseins zu geben, forderten zur höchsten Entfaltung menschlicher Leistungsfähigkeit heraus, wie die monumentalen Bauwerke untergegangener Reiche, insbesondere der Assyrer und Ägypter und des klassischen Altertums zeigen, durch deren künstlerische Ausschmückung und Inschriften uns zugleich von den als Göttergeschenke gepriesenen Hilfsmitteln der damaligen Bautechnik Kenntnis gegeben wird.

Neben den primitiven Werkzeugen und Maschinen zur formgebenden Bearbeitung der Baumaterialien, der Säge, dem Bohrer, der Töpferscheibe, der Drehbank, dem Schleifstein u. s. w., waren diejenigen zur Bewegung von Lasten und zum Fördern von Wasser, letztere zwar vor Allem für den Ackerbau, von hervorragendster Wichtigkeit. Die Ägypter, welche das Räderfuhrwerk erfanden, haben unzweifelhaft schon beim Bau der Pyramiden die Rolle, die Winde und den Flaschenzug angewendet. Weit älter sind der Hebel und die für den Horizontaltransport dienenden Walzen. Verhältnismäßig jung hingegen scheint die Schraube zu sein, welche, von den Römern wohl gekannt und häufig benutzt, sich zuerst bei den Griechen als Maschine vorfindet, während der Keil hauptsächlich in seiner bahnbrechenden Erscheinungsform, als Axt, bis zu den ersten Anfängen menschlicher Kultur zurückreicht und mit der Verfeinerung der Aufgaben als Bearbeitungswerkzeug zum Meißel und Messer ausgebildet worden ist.

Die Entwicklung der Wasserhebe­maschinen zeigt, ausgehend von den ersten machinalen Formen, der Schwingschaufel und dem Wippbaum (Picota der Inder und Schaduff der Ägypter), in stufenweiser Folge die Schöpfräder zuerst bei den Assyrern, die irrtümlich Archimedes zugeschriebene Wasserschraube

bei den Egyptern und als Erfindung eines Griechen schon die Kolbenpumpe mit Ventilen, doch konnte diese, genauere Herstellung erfordernd, erst vom Mittelalter an mit der höheren Ausbildung der technischen Hilfsmittel an praktischer Bedeutung gewinnen.¹⁾

Während die Kulturvölker des Altertums aufeinanderfolgend mit ihren Baustilen in successiver Entwicklung ebensowohl die Veredlung der Kunstformen als die notwendiger Weise damit Hand in Hand gehende technische Vervollkommnung der Baukonstruktionen zum Vorschein brachten, die Verkehrsbedürfnisse der römischen Weltherrschaft für die zahlreichen bedeutenden Brücken- und anderen Kunstbauten an Stelle des Säulen- und Balkensystems der Griechen den gewölbten Bogen herausbildeten, blieb zwar der Menschenggeist in der Verbesserung der mechanischen Hilfsmittel nicht unthätig. Neue und vollkommeneren Maschinen für die Zwecke des Kriegs und der friedlichen Gewerbe wurden geschaffen, auch hatten die Römer mit der Benutzung des Wassers für den Betrieb von Mühlen in der Dienstbarmachung der Elementarkräfte einen bedeutenden Schritt vorwärts gethan, zu einem wichtigeren Faktor des Kulturlebens konnte sich jedoch die Maschinenarbeit so lange nicht erheben, als die Sklaverei in der Möglichkeit der massenhaften Verwendung von Menschenkräften den nächst liegenden Weg zur Erzielung gröfserer Leistungen darbot.

Auch das Mittelalter führte seine grofsartigen Bauten noch mit kleinen Hilfsmitteln aus, indem es die althergebrachten Maschinen nur in gröfserer Zahl zu kombinieren vermochte.

Höhere sittliche Kräfte mufsten noch errungen und die ihnen entsprechenden sozialen Umgestaltungen vollzogen werden, bevor der menschliche Wille sein gewaltigstes Rüstzeug, die Maschine, zu weiterer Entfaltung bringen konnte. Als erste Pioniere der hereinbrechenden neuen Zeit dienten die Buchdruckerpressen und die Geschütze zur Ausbreitung der idealen Güter und zur Herstellung der realen Formen, auf welchen die moderne Gesellschaftsordnung beruht. Die von Galilei eröffnete Bahn wissenschaftlicher Forschung führte durch das tiefere Eindringen in die Erkenntnis der Naturgesetze zur Überwindung des fesselnden Dogmas. An Stelle der Leibeigenschaft erblühte nun die freie Thätigkeit denkender Arbeiter, und mit ihr kam der Wert der Zeit als wichtiges Kulturmoment erst zur eigentlichen Geltung, indem er dazu antrieb, der menschlichen Kraft neue Potenzen zu erschliessen. Angespornt durch die Erfindung des Pulvers und der Geschütze, auf dem betretenen Wege dienstbarer Unterordnung der Elementarkräfte der Körperwelt fortzuschreiten, wurde die Macht des Feuers für die industriell produktive Arbeit durch die Dampfkraft nutzbar zu machen angestrebt, bis Watt's Dampfmaschine das mühsame Ringen von Jahrhunderten krönte und unserem Willen die Zügel des eisernen Vorstands geboten wurden, welcher mit der Kraft der Elemente zu ungeahnten Erfolgen führen sollte.

Doch äufserte sich der Einfluß der Erfindung der Dampfmaschine auf das Baumaschinenwesen zunächst insofern nur vorbereitend, als die rasch emporblühende Industrie, mit ihren Massen von Arbeitsprodukten die Beschleunigung des vermehrten Waarentransports und Personenverkehrs fordernd, in der Schaffung entsprechender Land- und Wasserstraßen der Bauthätigkeit gröfsere Aufgaben stellte, welche

¹⁾ Das exakte Ausbohren von Cylindern für Dampfmaschinen und Pumpen wurde erst durch die modernen Werkzeugmaschinen ermöglicht, deren wichtigste Typen Watt beim Bau seiner Dampfmaschinen selbst geschaffen hat.

diese vorerst noch mit ihren bisherigen alten Mitteln zu bewältigen suchte. Auch dann, als durch Lokomotiven und Dampfschiffe die Dampfkraft für die Fortbewegung von Lasten in Anwendung gebracht und damit das größte Feld ihrer Thätigkeit, auf welchem gegenwärtig mehr als zwei Dritteile aller Dampfpferde wirksam sind, eröffnet worden, sehen wir die Dampfmaschine bei dem Bau der Transportbahnen selbst in der Konkurrenz mit Legionen von Handarbeitern noch ohne wesentliche Erfolge, während sie in der Massenproduktion von Gegenständen des Baubedarfs rasch ihre Leistungsfähigkeit an den Tag legen konnte, das Berg- und Hüttenwesen, insbesondere die Eisenindustrie mit dem sich steigernden Bedarf an Schienen, mächtig emporblühte, aber nicht minder auch auf dem Gebiete der Architektur die Maschinenarbeit ihre schöpferische Kraft bekundete, indem sie mit ihrer dem Kunstsinn sich beugenden Schablone die Fülle ihrer Erzeugnisse in unseren Wohnungen und öffentlichen Gebäuden ausbreitete.

Die Verschiedenartigkeit der zu bewältigenden Hindernisse und die wechselnde Mannigfaltigkeit der Arbeiten der eigentlichen Bauthätigkeit setzen der umfassenden Einführung des Maschinenbetriebs besondere Schwierigkeiten entgegen. Nur dadurch erklärt sich die Thatsache, daß auf den Bauplätzen mehr denn anderswo die primitivsten Hilfsmittel sich heute noch in Anwendung finden und als unentbehrlich behaupten.

Infolge des gewaltigen Impulses, welchen die Dampfmaschine der Entwicklung der Industrie und des Verkehrs erteilte, wuchsen jedoch die beim Bau der Eisenbahnen, Wasserstraßen, Häfen und sonstigen Verkehrsanstalten an den Ingenieur herantretenden Aufgaben bald zu Dimensionen an, welche das kräftigste Kind des Dampfes selbst — den modernen Maschinenbau — herausfordern mußten, den Vorspann der Elementarkräfte auch für die Bauarbeiten zu liefern, deren Kraft und Geschwindigkeit zu steigern und so die Unternehmungen von den Schwierigkeiten der Beschaffung und Erhaltung menschlicher Arbeitskräfte mehr und mehr zu befreien. In ihm waren die Mittel gezeitigt, das Harlemer Meer in ein blühendes Land zu verwandeln, am Suezkanal an Stelle der Schaaren von Fellahs gewaltige Baggermaschinen ins Feld zu führen, welche in gleichförmiger Arbeit die Vollendung des Unternehmens beschleunigten, aber in ihrer höchsten Energie zeigt sich die Maschine in der Durchdringung der Gebirge, beim Durchbohren der Alpen, am Mont-Cenis, Gotthard, Arlberg und anderwärts, bei der Vollbringung von Werken, welche, indem sie der direkten Verwendung von Menschenkräften enge Schranken zogen, die Gesteinsbohrmaschine mit komprimierter Luft als Mittel zur Übertragung der Betriebskraft, schon 1844 von Brunton vorgeschlagen, zur Geltung brachten. In raschem Schlag den schneidigen Stahl mit der Kraft des vom Gebirge fließenden Wassers in den Felsen treibend, gehen nun Kolonnen von Gesteinsbohrmaschinen als Pioniere der Sprengtechnik unserem gewaltigsten Angriffsmittel, dem Pulver, in seiner bahnbrechenden Kulturarbeit voran.

Im Zusammenhang mit dem mächtigen Aufschwung des Verkehrslebens hat die Maschine nicht minder auch auf dem Gebiete des städtischen Hochbaus emsige Thätigkeit entfaltet und bei der rapiden Vergrößerung der Centralstätten des Handels und der Industrie wesentlich mitgewirkt.

Das lohnende Feld, welches die modernen Verkehrs- und Städtebauten der Einführung verbesserter Werkzeuge darboten, wurde bald vom Erfindungsgeiste emsig bebaut. Die Erfolge der zahlreichen energischen Versuche, die Leistungsfähigkeit in

der Bewältigung der Erde und des Gesteins zu steigern, konnten nicht verfehlen, anregend und fruchtbringend auf die gesamte übrige Bauthätigkeit einzuwirken, zu neuen bedeutenderen Unternehmungen zu ermutigen, und kamen somit die für die großen internationalen Werke gebrachten Opfer mannigfach dem allgemeinen Fortschritt zu Gute. Aus den Aufgaben, welche die Bedürfnisse der Bautechnik dem Maschinenbau gestellt haben, hervorgegangen und durch dessen Leistungsfähigkeit gefördert, sind die Baumaschinen zu einem unentbehrlichen Trofs unserer modernen Kulturarbeit geworden, deren Spuren sie unvergänglich in den Erdball eingegraben haben.

§ 2. Arbeitsgebiet der Baumaschinen. Ein Blick auf die verschiedenen Gebiete der Bauthätigkeit läßt das Bauen stets als eine Gesamtheit spezieller Arbeiten erkennen, in welchen drei verschiedene, durch das Wesen des Bauens bedingte und überall sich wiederholende Aufgaben hervortreten:

Abtrag — Transport — Auftrag.

Zwischen den beiden Polen Abtrag und Auftrag, beziehungsweise Gewinnungsarbeiten und Arbeiten des Aufbaus, lassen sich in allen Fällen die Gestaltungsarbeiten verfolgen, deren Endresultat das Bauwerk ist, so verschieden auch die Materialien und Bauobjekte sein mögen.

Am einfachsten und deutlichsten zeigt sich dieses Bild im Erdbau. Gleichgültig ob es sich um die Herstellung von Baugruben oder Dämmen handelt d. h. um den Abtrag oder Auftrag als Endzweck, oder aber, wie beim Strafsen-, Eisenbahn-, Kanal- und Schanzenbau, um die günstigste Kombination beider (das Massennivellement), stets stellen sie die beiden durch die Transportarbeit vermittelten Endglieder des Bauvorgangs dar. Reicher gestaltet sich im Hochbau, Brückenbau und bei den sonstigen Kunstbauten des Ingenieurwesens die Kette der aufeinanderfolgenden Arbeiten, nach welcher sich die Baumaschinen in folgende Gruppen bringen lassen:

1. Maschinen für die Gewinnungs- oder Abtrennungsarbeiten: Grabmaschinen, Baggermaschinen, Gesteinsbohrmaschinen, Schrämmaschinen u. s. w.
2. Maschinen zur Zerteilung und Bearbeitung der Baumaterialien, der Steine, der Hölzer und der Metalle.
3. Maschinen zur Herstellung künstlicher Baumaterialien.
4. Transportmaschinen: Fuhrwerke, Hebemaschinen und Pumpen.
5. Maschinen für die Arbeiten des Aufbaus: Rammen, Aufzugsmaschinen in Verbindung mit Rüstungen für Hochbauten, Maschinen für die Montierung eiserner Brücken u. A. m.

Hierzu kommen noch:

6. Maschinen für Vorarbeiten und Hilfsarbeiten, wie Sondieren des Baugrundes, Tauchen und Beseitigung von Hindernissen unter Wasser, Entwässerung, Ventilation und Beleuchtung unterirdischer Baustellen u. s. w.
7. Maschinen zur Ausstattung und Instandhaltung von Bauten, insbesondere Aufzüge für Waaren und Personen, Maschinen für die Erneuerung des Verputzes und Anstriches, Wassersprengwagen, Strafsenkehrmaschinen etc.

Von diesen Maschinen dürfen jedoch diejenigen für die Bearbeitung der Hölzer und Metalle, sowie die Maschinen zur Fabrikation künstlicher Baumaterialien, mit Ausnahme der Maschinen für die auf Baustellen zu besorgende Mörtelbereitung, hier ausgeschlossen werden, indem sie Gegenstände der mechanischen und chemischen

Technologie, beziehungsweise der Baumaterialienlehre, ausmachen und als solche dort ausführlich dargelegt werden.

Diese Einteilung würde jedoch eine geeignete Grundlage für die eingehendere Behandlung der Baumaschinen nicht darbieten, indem gleichartige und deshalb zweckmäßiger Weise gemeinsam zu behandelnde Maschinen in verschiedenen Gruppen vorkommen, wie z. B. die Kraftmaschinen und Triebwerke, sei es, daß sie in gesonderter Ausführung für den Betrieb verschiedener Maschinen angewendet werden oder mit den Arbeitsmaschinen zu einem gemeinsamen Ganzen vereinigt sind, wie dies bei Rammen, Hebemaschinen, Gesteinsbohrmaschinen u. s. w. gewöhnlich der Fall ist. Vielmehr sind für die Beurteilung der Thätigkeit einzelner Maschinen und deren Zusammenwirken, abgesehen von ihren speziellen technologischen Arbeitsprozessen, allgemeine machinale Gesichtspunkte leitend, welche im Wesen der Maschine begründet sind und deshalb hier hervorgehoben werden mögen.

§ 3. Das Wesen der Maschinen und deren Einteilung. „Maschinen sind Einrichtungen, mittelst welcher Naturkräfte genötigt werden, zur Verrichtung von Arbeit bestimmte Bewegungen auszuführen.“ Diese Definition schließt in sich, daß jede vollständige Maschine oder Maschinenanlage einen Arbeitsvorrat besitzt (Muskelkraft, Wasservorrat mit Gefälle, Brennmaterial oder Wärmevorrat im Wasser und Dampf), welcher unserem Willen zur Verfügung stehen soll, bei der Ausführung beabsichtigter mechanischer Prozesse (Transport, Umformung, Zerteilung und Verbindung von Körpern) in andere Arbeit umgesetzt zu werden. Somit erscheint die Gesamtheit der Maschine als die konstruktiv bestimmte Vermittlung zweier Körper, dem Träger der motorischen Kraft d. h. Arbeit leistenden Körper (Motor) einerseits und dem zu bearbeitenden Körper (Werkstück, Arbeitsmaterial) andererseits, welche — der eine mechanische Arbeit abgebend, der andere Arbeit absorbierend (z. B. Betriebswasser und Luft bei Kompressoren mit Turbinenbetrieb, Dampf und Baggermaterial bei Dampfbaggern, Aufschlagwasser und Förderwasser bei mit Wassersäulenmaschinen betriebenen Pumpen) — die Maschine derart durchlaufen, daß der Prozeß ihrer Veränderungen nur in der beabsichtigten Weise stattfinden kann, indem jede Abweichung hiervon durch den Zusammenhang und die Widerstandsfähigkeit der Organe der Maschine ausgeschlossen wird.

Die besonderen Einrichtungen, welche dazu dienen, die Maschine nach Belieben in Gang zu setzen, ihren Gang zu regeln und dieselbe wieder still zu legen (Schützenzüge, Dampfabschließungen, Verteilungsschieber, lösbare Kupplungen), bilden die Steuerung. Diese liegt bei Maschinen mit Betrieb durch Menschen vor Allem im Organismus des Menschen selbst, bei Vorspann von Tieren in deren Treiber oder Lenker, während die Steuerung von Maschinen mit Elementarbetrieb entweder von dem Maschinisten vollständig besorgt wird (Beispiel: Dampfkran, dessen Dampfmaschine mittelst des Steuerhebels von Hand angelassen, durch Veränderung des Expansionsgrades auf die erforderliche Geschwindigkeit gebracht, umgesteuert und abgestellt werden kann) oder nur die willkürliche Einleitung und Abstellung der Bewegung gestattet, indem die Erhaltung des richtigen Ganges der Maschine einem die Steuerung entsprechend beeinflussenden Regulator anvertraut wird. Letzteres ist in der Regel bei stationären Maschinenanlagen der Fall. Die Steuerung der auf Baustellen in mannigfach wechselnder Arbeit thätigen Baumaschinen hingegen liegt zweckmäßiger Weise meistens gänzlich in der Hand des überwachenden Maschinisten.

Die Regulierung der Geschwindigkeit der Maschinen besteht in der möglichst annähernden Erhaltung der Gleichheit von eingeleiteter motorischer Arbeit und ausgeleiteter, nützlich verrichteter Arbeit (Beharrungszustand), nachdem durch Ansammlung eines Überschusses der ersteren in Form lebendiger Kraft der bewegten Massen der Maschine die geforderte Geschwindigkeit hergestellt worden ist (Anlaufperiode.)

Die Lösung dieser Aufgabe kann im allgemeinen in zweierlei Weise geschehen:

1. durch anpassende Veränderung der eingeleiteten mechanischen Arbeit,
2. durch entsprechende Veränderung der ausgeleiteten Arbeit,

und zwar sind hierzu dienlich:

- a. direkte Veränderung des Aufwands von motorischer Arbeit einerseits oder der Leistung nützlicher Arbeit andererseits,
- b. Bewirkung von Arbeitsverlusten durch Hinzufügung sonst nutzloser Regulierungswiderstände, d. h. Vernichtung des überschüssigen Teils der unreguliert zufließenden motorischen Arbeit vor der Maschine oder in derselben.

Zu 1 a., Regelung der vom Arbeitsvorrat her zufließenden motorischen Kraft nach Maßgabe des Kraftbedarfs der zu betreibenden Maschinen, sind zu rechnen die Zumessung des Brennmaterials bei der Beschickung der Dampfkesselfeuerung, die Verstellung der Expansionssteuerung der Dampfmaschine, das Öffnen oder Schließen von Turbinenzellen u. s. w., während der Fall 1 b., Verlorengehenlassen eines Teils der unreguliert zugeleiteten motorischen Arbeit, bei der Verminderung des Wasserdrucks durch Drosseln, beim Ausblasen des Dampfes durch das Sicherheitsventil, sowie beim Herabstürzen von überschüssigem Triebwasser durch die Leerfalle vorliegt. Die Regulierung durch Veränderung der nützlichen Arbeitsleistung (Nutzarbeit), Fall 2 a., kommt gewöhnlich bei der Ausnutzung von Wasserkraften vor, im Baumaschinenwesen beispielsweise bei Schiffsbaggern mit Betrieb durch Stromräder durch Veränderung der Eingriffstiefe der Baggereimer, während der Fall 2 b., Einschaltung eines sonst nutzlosen Arbeitswiderstands, durch die Regulierung mittelst Bremsen repräsentiert wird, welche (s. Kap. I) beispielsweise bei Tretgöpeln, sowie bei der Lehmann'schen und anderen Heißluftmaschinen vorteilhafte Anwendung gefunden haben.

Die Verschiedenheit der Bewegungen desjenigen Teils der Maschine, welcher die treibende Kraft aufnimmt, des Rezeptors (Kolben der Dampfmaschine, Schaufeln des Wasserrads), und des die bezweckte Bewegung ausführenden Teils, des Werkzeugs (Baggereimer, Gesteinsbohrer, Traghaken einer Hebemaschine, Pumpenkolben), bedingt die Eigenschaften der Maschinen als Mechanismus, die Art des gesamten Triebwerks zur Umsetzung der Form, Geschwindigkeit und Kraft der Bewegungen d. h. den kinematischen Charakter der Maschine.

In einfacher Gestalt, zu einem ungetrennten Ganzen vereinigt, zeigt sich der Organismus in der mit komprimierter Luft betriebenen Stofsbohrmaschine, deren Kolben (Rezeptor) und Bohrer (Werkzeug), fest mit einander verbunden, dieselbe Bewegung gemeinsam ausführen, während andere vollständige Maschinen in ihren zur Aufnahme der motorischen Kraft und den zur Verrichtung nützlicher Arbeit dienenden Einrichtungen zu besonderen Maschinen, zu Kraftmaschinen und Arbeitsmaschinen, ausgebildet sind, deren Getrenntheit weiterhin im allgemeinen zur Vermittlung ihrer Bewegungen die Transmission (Triebwerk im engeren Sinne des Worts) erfordert, welche übrigens den Bedürfnissen des Maschinenbetriebs entsprechend so eingerichtet werden kann, daß die Herstellung oder Aufhebung ihres Zusammenhangs mit der Kraftmaschine einerseits und der Arbeitsmaschine andererseits (Anlassen und Abstellen) nach Belieben ausführbar ist. Hierzu dienen lösbare Kupplungen, andrückbare Räder, Voll- und Leerscheibe mit verschiebbarem Riemen und andere Vor-

kehrungen mehr. Ferner kann die Transmission auch zur Bewegungsübertragung von einer Kraftmaschine aus nach mehreren Arbeitsmaschinen hin (vergl. beispielsweise System Graul des gleichzeitigen Betriebs mehrerer Rammen von einer gemeinsamen Lokomotive aus) dienen oder aber eine Arbeitsmaschine durch mehrere Kraftmaschinen betrieben werden, wie jene dreh- und fahrbaren Dampfkrane zeigen, welche für das Heben der Last, das Drehen des Auslegers und das Fahren des ganzen Krans auf dem Geleise je besondere Dampfmaschinen mit eigenen Umsteuerungen besitzen, die unabhängig von einander vom Maschinisten beliebig benutzt werden können, um der zu hebenden Last im Raume die geforderte Bewegung zu erteilen.²⁾ Endlich lösen sich in ausgedehnten Maschinenanlagen die wesentlichen Organe der primitiven vollständigen Maschine, Rezeptor, Triebwerk und Werkzeug, zu Gruppen von Kraftmaschinen mit einem System von Triebwerken nach den verschiedenen Arbeitsmaschinen hin auf, wie beispielsweise die Installationen für den Gotthardtunnel mit ihren zahlreichen Turbinen, Kompressoren, Luftleitungen, Gesteinsbohrmaschinen, Pumpen, Ventilations- und anderen Maschinen erkennen lassen.

Hiernach ließen sich also die Maschinen teilen in

1. Kraftmaschinen,
2. Triebwerke,
3. Arbeitsmaschinen,

denen jedoch als eine besondere, nicht zur Verrichtung mechanischer Arbeit dienende Art von Maschinen noch die Meßmaschinen (Wägemaschinen, Uhren, Geschwindigkeitsmesser, Thermometer, Manometer, Volummeter u. s. w.) hinzuzufügen sind, welche die Beobachtung und Regelung der in den Arbeitsprozessen der Maschinen auftretenden Größen ermöglichen, sei es, daß das Resultat der Messung von dem Maschinenführer zur entsprechenden Verstellung der Steuerung benutzt oder die Regulierung einem selbstthätigen Regulator übertragen wird, in welchem die Angaben der Meßmaschine ohne Vermittlung des Menschen zur regulierenden Geltung kommen, wie für den ersten Fall der Betrieb von Lokomotiven nach Maßgabe des Standes von Manometer, Wasserstandsanzeiger und Geschwindigkeits- und Weglängenmesser, für den zweiten Fall die selbstthätigen Kesselspeisevorrichtungen, die selbstthätigen Feuerungen mit Regulierung der Brennmaterialzufuhr nach Maßgabe des Dampfdrucks und vor Allem die gebräuchlichen Geschwindigkeitsregulatoren der Kraftmaschinen zeigen.³⁾

In thunlichster Übereinstimmung mit den drei Abteilungen von arbeitverrichtenden Maschinen, zu welchen die Baumaschinen gehören, sind ihre verschiedenen Arten in dem vorliegenden Werke angeordnet, wobei jedoch auf das häufigere Vorkommen und die Wichtigkeit für die Baupraxis, sowie auf die dem Bauvorgang entsprechende und die für die theoretische Behandlung geeignete Reihenfolge Rücksicht genommen werden mußte.

§ 4. Die Maschinenwissenschaften und ihre machinalen Gesichtspunkte.

Der Einfluß der sich entwickelnden modernen Technik auf das gesamte Kulturleben mußte notwendiger Weise auf das spezielle Studium der Maschine hinlenken. Bald nach der Erfindung der Dampfmaschine entstand in Paris die erste polytechnische Schule. Ausgehend von ihren ersten Grundlagen, welche Monge dort schuf, indem

²⁾ Die Steuerungsmechanismen solcher Dampfkrane endigen mit Handgriffen in der Nähe des Standorts des Maschinisten, so daß dieser mittelst derselben die verschiedenen Bewegungen bequem und sicher bewirken kann. Auf die Konzentration und übersichtliche Anordnung der Steuerungsorgane und die Möglichkeit der direkten Beobachtung des Ganges der Maschine ist im Interesse der Zuverlässigkeit des Betriebs bei allen von Menschenhand gelenkten Maschinen großer Wert zu legen.

³⁾ Vergl.: „Das mechanische Relais“ von F. Lincke, Berlin. 1880.

er die in den verschiedenen Gewerben angewandten Maschinen zu einem systematisch gegliederten Ganzen vereinigte, entwickelte sich den Fortschritten des gesamten Maschinenwesens entsprechend die Maschinenwissenschaft nach der Natur ihrer Aufgaben mehr und mehr in besonderen Richtungen, nach welchen sich schließlich ihre Spaltung in spezielle Maschinenwissenschaften vollziehen mußte. Als solche unterscheidet man gegenwärtig: Mechanische Technologie, Kinematik, Theoretische Maschinenlehre, Maschinenbaukunde und Allgemeine oder beschreibende Maschinenlehre. In diesen Fächern kommen die wesentlichen Eigenschaften der Maschine zum Ausdruck.

Die mechanische Technologie beschäftigt sich mit der mechanischen Bearbeitung und Verarbeitung der Materialien, mit den Arbeitsprozessen und ihrer Ausbildung zur Fabrikation, wobei es sich insbesondere um die Feststellung der zweckmäßigsten Form der Werkzeuge für die Herstellung bestimmter Arbeitsprodukte handelt.

Die Kinematik oder Maschinengetriebelehre untersucht die gegenseitige Abhängigkeit der Bewegungen in der Maschine und lehrt die Auffindung von Mechanismen zur Erzielung bestimmter Bewegungsformen und Geschwindigkeitsverhältnisse.

Die theoretische Maschinenlehre verfolgt, den machinalen Organismus als gegeben voraussetzend, die Kräfte und Bewegungen in der Maschine mit Rücksicht auf die günstigste Leistung mechanischer Arbeit und lehrt die Bedingungen für die vorteilhafteste Aufnahme, Leitung und Abgabe der Triebkräfte. Ihr gehört vor allem die Theorie der Kraftmaschinen an, die Bestimmung der Effektverluste und die Ableitung der Formeln für die Berechnung neuer und die Beurteilung bestehender Kraftmaschinen, für deren Wert ihr das dynamische Güterverhältnis oder der Wirkungsgrad, d. h. das Verhältnis der von der Maschine nutzbar abgegebenen mechanischen Arbeit (Nutzeffekt) zur aufgenommenen oder disponiblen Arbeit, in erster Linie maßgebend ist.⁴⁾

Die Maschinenbaukunde oder Maschinenkonstruktionslehre befaßt sich mit den Fragen der zweckmäßigen konstruktiven Ausführung der Maschinen. Deren Hauptdimensionen nach den Ergebnissen der Kinematik und theoretischen Maschinenlehre zu Grunde legend, entscheidet die Maschinenbaukunde über die praktisch vorteilhafte Bauart und die Wahl der Materialien; sie bestimmt die Dimensionen der Maschinenelemente mit Rücksicht auf genügende Festigkeit, zulässige elastische Nachgiebigkeit und hinreichende Dauerhaftigkeit, d. h. Einschränkung der beim Betrieb der Maschine, insbesondere durch die unvermeidliche Reibung, bedingten Abnutzung, und hat bei der Formgebung sowohl der billigen Herstellung als der Schönheit des Aussehens Rechnung zu tragen.

Die allgemeine oder beschreibende Maschinenlehre legt das gesamte Maschinenwesen in seiner geschichtlichen Entwicklung dar und bietet eine Übersicht über den gegenwärtigen Stand desselben nach praktischen Gesichtspunkten.

Diese fünf speziellen Maschinenwissenschaften, zu welchen sich die gesamte Maschinenkunde ausgebildet hat, bringen die verschiedenen Momente zum Ausdruck, welche im Wesen der Maschine enthalten sind und bei ihrer Untersuchung leitend sein müssen. Führt ihre Eigenartigkeit und wachsende Ausdehnung zur Absonderung und Abgrenzung ihrer Gebiete, deren spezielles Studium für den Maschineningenieur

⁴⁾ Siehe § 6. „Der dynamische Wirkungsgrad.“

notwendig geworden ist und an den polytechnischen Schulen durch selbständige Lehrfächer gepflegt wird, so erfordert doch die vollständige Vorführung einer für bestimmte praktische Zwecke dienenden Reihe von Maschinen die Konzentration der Untersuchungsmotive auf die einzelnen Objekte. Demnach werden auch die verschiedenen Gruppen der Baumaschinen eine ihre Eigenschaften in technologischer, kinematischer, dynamischer, konstruktiver und historischer Richtung zusammenfassende und somit die Erkenntnis ihres praktischen Gesamtwerts ermöglichende Behandlung zu erfahren haben.

In den genannten Richtungen lassen sich auch die wesentlichen Faktoren der Steigerung der Leistungsfähigkeit der Maschinen verfolgen. Bei der Beurteilung einer Gesteinsbohrmaschine ist ebensowohl die technologische Seite, nämlich Form, Wirkungsweise und Material des Bohrers in Beziehung zu dem zu erbohrenden Gestein, als auch die Zweckmäßigkeit der kinematischen Bildung der Maschine zu untersuchen, durch welche die verschiedenen Bewegungen des Bohrers in die erforderliche Übereinstimmung und gegenseitige Abhängigkeit gebracht werden. Vom Standpunkte der theoretischen Maschinenlehre kommt der Wirkungsgrad der Kraftmaschine, beziehungsweise der Konsum an komprimierter Luft für die pro Schlag erzeugte lebendige Kraft des Bohrers in Betracht. Aus dem Wirkungsgrad der Arbeitsmaschine, d. h. dem Verhältnisse des pro Volumeneinheit des Bohrlochausbruchs theoretisch erforderlichen Arbeit zu der wirklich aufgewendeten, vermöge der Unvollkommenheit des Bohrwerkzeugs und des Arbeitsprozesses jedenfalls größeren Arbeit, und demjenigen der Kraftmaschine setzt sich der gesamte dynamische Wirkungsgrad zusammen, von welchem der Verbrauch von Triebkraft pro Längeneinheit der Bohrlochtiefe abhängt.

Kraft und Geschwindigkeit, d. h. Stärke und Schnelligkeit der Aufeinanderfolge der Schläge, bestimmen die Intensität der Bohrarbeit und bedingen den Bohrfortschritt pro Zeiteinheit, wovon weiterhin die Bauzeit abhängt. Den hier sich ergebenden Forderungen haben die Maschinenbaukunde und Maschinenfabrikation durch die Feststellung der zweckmäßigen Bauart und durch sorgfältige konstruktive Ausführung zu entsprechen. Die Genauigkeit und Dauerhaftigkeit der Maschine sichern ihren richtigen Gang und äußern sich sowohl in Ersparnissen an Reparaturkosten als auch in der Reduktion der Unterbrechungen der Bohrarbeit, welche durch das Versagen der Maschinen und das nicht selten nötig werdende Einsetzen von Reservemaschinen herbeigeführt werden. Die Forderung der Reduktion solcher Unterbrechungen tritt, gegenüber den ersten Anschaffungskosten der Maschinen um so dominierender auf, je umfangreicher die Maschinenanlage und je größer die Bauzeit, d. h. je bedeutender die laufenden Betriebskosten der Bauausführung sind. Aus demselben Grunde ist die bequeme Handhabung der Maschinen von großem Wert, die Konstruktion des Bohrmaschinengestells oder Wagens mit den Einspannvorrichtungen, welche das rasche Feststellen der ganzen Maschine und Richten der Bohrer, sowie das Zurückziehen derselben nach Beendigung der Bohrarbeit ermöglichen sollen.

Vermöge des Zusammenhangs der verschiedenen Eigenschaften der Maschine leistet ihre Vollkommenheit in einer Richtung der Steigerung anderer Faktoren Vorschub. Bessere Qualität des Bohrstahls hat vermöge größerer Festigkeit der Schneide nicht bloß Verringerung der Kosten der Instandhaltung und der Unterbrechungen beim Einsetzen frischer Bohrer zur Folge, sondern gestattet auch energischeren Betrieb der Bohrmaschine überhaupt. In derselben Richtung äußert sich die Bruchkraft (Brisanz) des Sprengmittels, indem ihrer Zunahme tiefere Bohrlöcher entsprechen, also pro Arbeitsperiode durch das Sprengen größeres Ausbruchvolumen erzielt wird, und demnach pro laufenden Meter eines herzustellenden Tunnels geringere Zeitverluste auf das Zurückziehen der Bohrmaschinen, Laden der Minen, Sprengen, Wegräumen der Trümmer und Wiedereinrichten der Maschinen entfallen.

Ferner tritt bei der maschinellen Gesteinsbohrung, wie bei jeder Maschinenarbeit, als ein charakteristischer Faktor noch die Anzahl und Größe der Maschinen für eine zu leistende bestimmte Arbeit auf, nämlich die Konkurrenz einer größeren Zahl gleichzeitig arbeitender kleiner Maschinen zur Herstellung von Sprenglöchern mit größeren Maschinen zur Erbohrung von Stollen in vollem Profil (Systeme von Barlow, Brunton, Paurice, Beaumont u. A.). Abgesehen von dem durch die Sprengarbeit bedingten periodischen Betrieb der Ersteren gegenüber der kontinuierlichen Bohrarbeit der Letzteren kommt hier der Vorteil zum Vorschein, daß einzelne Maschinen für sich, ohne Störung der übrigen abgestellt werden können, während beim Stillstand der Stollenbohrmaschine eine totale Unterbrechung der Bohrarbeit stattfindet.

§ 5. Konstruktion und Betrieb der Baumaschinen. Während sonst der moderne Maschinenbau die Schaffung stärkerer Maschinen anstrebt,⁵⁾ indem diese im Vergleich mit mehreren kleineren Maschinen für dieselbe Leistung weniger Anlagekosten, Betriebskraft, Bedienungspersonal und Unterhaltungskosten erfordern, ist gerade im Bauwesen die Anwendung großer Maschinen wegen der Notwendigkeit des Transports und der Unregelmäßigkeit der Arbeiten mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft.

Bei der Montierung eiserner Brücken werden zur Bewältigung bedeutender Lasten meistens statt starker Hebe­maschinen, welche eigens für den Zweck herzustellen und nur mit großen Kosten zu beschaffen sein würden, die gewöhnlichen, ohnedies auf den Bauplätzen unentbehrlichen Fußwinden, in größerer Anzahl vereint angreifend, vorteilhaft angewendet. Auch bei den zahlreichen Versetzungen von Gebäuden in Chicago wurden nur einfache Schraubenwinden, reihenweise aufgestellt, in taktmäßiger Bewegung benutzt.

Immerhin fehlt es auch im Baumaschinenwesen nicht an Beispielen für die zunehmende Benutzung stärkerer Maschinen; es braucht nur an die hydraulischen Hebe­maschinen für die Britanniabrücke, Conway-, Tay- und andere Brücken, sowie an die neueren großen Excavatoren für Eisenbahn- und Kanalbauten erinnert und auf den Aufwand von Mitteln hingewiesen zu werden, welcher zu verschiedenen Zeiten für die Aufstellung von Obelisken erforderlich war. Im Jahre 1586 hob Fontana den Obelisk zu Rom mit 40 Winden, 800 Mann und 140 Pferden; 1836 Le Bas den Obelisk von Luxor in Paris mit 10 Winden und 480 Mann; 1878 Dickson die Nadel der Kleopatra mit 4 hydraulischen Winden und 4 Mann.

Fabrikmäßiger Betrieb ist nur bei der Herstellung der Konstruktionselemente, d. h. derjenigen Bauartikel möglich, welche massenhaft gebraucht werden, deren Lieferung jedoch mit Rücksicht auf die Kosten besonderer Fabrikanlagen und die erforderliche Einübung des Arbeiterpersonals in der Regel der bestehenden, wohl eingerichteten Fabrikindustrie überlassen wird. Der häufige Wechsel der in der Bau­praxis zu überwindenden Hindernisse, deren Größe sich nicht selten jeder Voraus­berechnung entzieht, ferner die bei manchen Unternehmungen auf die Bauzeit be­schränkte Verwendung der Maschinen, verbunden mit häufiger oder fortwährender Änderung der Arbeitsstelle, wie dies beim Baggern, Rammen, Tunnelbohren u. s. w. der Fall ist, sowie die Forcierung des Betriebs behufs Abkürzung der Bauzeit, be­dingen Eigenschaften der Baumaschinen, welche ihnen ein eigenartiges Gepräge ver­leihen. Das Minimum der gesamten Baukosten ergibt im allgemeinen als Forderung für die zu verwendenden Maschinen möglichst vielseitige Brauchbarkeit und Elasticität der Leistung, d. h. Möglichkeit der Anpassung an verschiedene Verhältnisse, rasche bequeme Aufstellung, Sicherheit des Betriebs und leichte Ausführbarkeit etwa er­forderlicher Reparaturen, wodurch die Rücksicht auf Kraftökonomie zurückgedrängt wird. Nur bei bedeutenderen Unternehmungen mit mehrjähriger Bauzeit, wie bei den großen Tunnelbauten der Neuzeit, konnte es lohnend sein, in den centralen Kraftmaschinen- und Triebwerksanlagen die feiner entwickelten Konstruktionen sta-

⁵⁾ Diese Entwicklungstendenz tritt z. B. in der Steigerung der Stärke der Kraftmaschinen, der Spindelzahl der Selbstspinner, der Breite der Webstühle und Papiermaschinen u. s. w. deutlich hervor. Auf allen Gebieten der Technik, ebensowohl in der Konkurrenz der Kleingewerbe mit der Großindustrie als in der Entwicklung der Typen der modernen Kriegsschiffe, ist dieser Wettkampf der kleinen, leicht beweglichen Maschinen, die sich veränderlichen Aufgaben eher anpassen lassen, mit den größeren, höher ausgebildeten Ausführungen erkennbar.

tionärer Maschinen mit hoch gesteigerten dynamischen Wirkungsgraden zur Ausführung zu bringen.

In der Regel sind die Baumaschinen, wenn nicht fahrbar wie die Lokomobilen, Schiffsbagger, manche Hebe- und andere Maschinen, so doch transportabel oder zerlegbar eingerichtet, sodafs sie bequem auf Fuhrwerke verladen und an anderen Bestimmungsorten rasch wieder aufgestellt werden können, wobei es von Wichtigkeit ist, dafs die einzelnen Teile leicht und handlich sind, auch sollen möglichst gedrungene, d. h. wenig Raum erfordende, und unverletzbar konstruiert werden. Nicht selten sind die Profile der Kommunikationswege oder die Tragfähigkeit von Menschen oder Tieren für die zulässige Gröfse und das Gewicht der Einzelstücke der zu transportierenden Maschinen maßgebend.

Die Unregelmäßigkeiten des Betriebs, der unzureichende oder nicht selten gänzlich mangelnde Schutz gegen die Einflüsse der Witterung oder unreines Wasser bei unterirdischen Arbeiten, ferner die oft unvorsichtige, grobe Behandlung der Maschinen durch ungetübte Arbeiter wirken unvermeidlich auf eine kürzere Dauer derselben hin, sodafs größte Einfachheit und Solidität der Konstruktion erforderlich ist, um nicht zu hohe Anlage- und Amortisationskosten zu haben. Deshalb behauptet sich trotz der Fortschritte im Dampfmaschinenbau für die Lokomobilen noch die einfache Schiebersteuerung mit verhältnismäßig geringer Expansion und die Regulierung mittelst Drosselklappe trotz höheren Brennmaterialkonsums als praktisch und vorteilhaft gegenüber sonst vollkommeneren Maschinensystemen. Von veränderlicher Expansion wird auf Bauplätzen wenig, von Kondensation fast niemals Gebrauch gemacht. Noch weniger kann hier an die Verwendung der modernen Dampfmaschinen mit Ventilsteuerung und vom Regulator bedingter Expansion gedacht werden, welche für Fabrikanlagen vorzüglich sind, in der Baupraxis jedoch, abgesehen von ihren höheren Anschaffungskosten, sich nicht bewähren können, indem ihre feinen Steuerungsmechanismen bei unzarter Behandlung bald zu Betriebsstörungen Anlaß geben und zeitraubende kostspielige Reparaturen erfordern würden.

Als Baumaterial spielt das Holz bei Baumaschinen, wie überhaupt bei provisorischen Anlagen eine hervorragende Rolle, besonders für solche Teile, die nach jeweiligen lokalen Verhältnissen verschieden hergestellt werden müssen oder auch wegen ihres größeren Umfangs lohnender Weise nicht auf bedeutendere Entfernungen transportiert, sondern an Ort und Stelle beschafft und hergerichtet werden. Dies gilt hauptsächlich von den Unterbauten der Maschinen, für welche gemauerte Fundamente zu kostspielig sein würden, sowie von den Maschinengestellen, welche sonst meistens als gußeiserne Rahmen, Kasten oder Hohlbalken ausgeführt werden. Auch lassen sich Reparaturen von Holzkonstruktionen ohne Schwierigkeit in kürzester Zeit bewerkstelligen.

Gußeisen ist für schwere Stücke wohl geeignet, für solche Teile hingegen, welche starken, oft stoßweisen Beanspruchungen ausgesetzt sind und ihrer Form wegen nur durch Gießen hergestellt werden können, ist Weichguß zu empfehlen oder Bronze (Kanonenmetall), während Messing, welches unter den Einflüssen der Witterung an Festigkeit sehr einbüßt, nur für untergeordnete Teile zur Verhütung des Einrostens verwendet werden sollte. Beim Bau des Gotthardtunnels wurden Gußstücke für Gesteinsbohrmaschinen, welche bei dem forcierten Betrieb rascher Abnutzung unterworfen sind, vorteilhaft in Bronze hergestellt, indem sie nach ihrer Ausrangierung mit geringer Werteinbuße wieder umgeschmolzen werden konnten.

Ausgedehnte Anwendung findet das Schmiedeisen vorzüglich in den im Handel geläufigen Profilformen, indem es sich wegen seiner Festigkeit und Zähigkeit bei den unregelmäßigen Beanspruchungen der Baumaschinen gut bewährt, übrigens Abänderungen oder Reparaturen mittelst Feldschmieden, welche auf größeren Bauplätzen nie fehlen, schnell geschehen, bei Brüchen von Gußstücken hingegen die Entfernung der Gießerei und der durch ihren periodischen Betrieb bedingte Zeitverlust sehr hemmend sein können.

Über die Leistungen und Kosten der Baumaschinen allgemein brauchbare Angaben zu machen, ist kaum möglich, denn nirgends treten die den Aufwand an Geld, Menschen- und Maschinenkraft bedingenden Größen in so veränderlicher und zum Voraus wenig zuverlässig bestimmbarer Weise auf, wie bei den Bauarbeiten, weshalb hier Erfahrungsergebnisse selbst bei verwandten Verhältnissen nur mit größter Vorsicht der Berechnung von erforderlichen Maschinen und aufzuwendenden Betriebskosten zu Grunde gelegt werden dürfen. Die in den einzelnen Kapiteln gebotenen Übersichten über die bisherige Entwicklung der Baumaschinen, die Darlegung ihrer Systeme und deren Eigentümlichkeiten, die theoretische Feststellung der gegenseitigen Abhängigkeit der Faktoren der Maschinenarbeit, soweit deren Meßbarkeit es überhaupt ermöglicht, und die Mitteilung der wichtigeren Ausführungen und Erfahrungen werden immerhin bei der großen Verschiedenheit lokaler Verhältnisse und Aufgaben den ausführenden Ingenieur nicht der Mühe entheben können, aus der bestehenden Literatur, welche am Schlusse der Kapitel verzeichnet ist, zur Ergänzung oder Unterstützung seiner Kenntnisse und Ideen das für den speziellen Zweck Dienliche heranzuziehen, um den Maschinenbetrieb mit der Organisation des ganzen Bauunternehmens innig zu verknüpfen und als ein mächtiges zuverlässiges Glied in dem großen Mechanismus der leitenden und ausführenden Kräfte zur Wirkung zu bringen.

§ 6. Der dynamische Wirkungsgrad. Für die Beurteilung der Zweckmäßigkeit und des Wertes von Maschinen in dynamischer Hinsicht ist, wie in § 4 schon hervorgehoben wurde, die Kenntnis des dynamischen Wirkungsgrades oder Güteverhältnisses von besonderem Interesse, unter welchem man das Verhältnis der nutzbar geleisteten mechanischen Arbeit, des Nutzeffekts, zur aufgewendeten Arbeit oder Betriebskraft versteht.⁶⁾ Von der disponiblen, der Maschine treibend mitgeteilten Arbeit geht durch Reibung, Steifigkeit, Vibrationen u. s. w. ein Teil verloren, sodaß sie zur Verrichtung der beabsichtigten nützlichen Arbeit niemals vollständig zur Verwendung kommen kann.

Bezeichnen P die Triebkraft, Q die nützlich ausgeübte Kraft, Nutzkraft, und W die verloren gehende Widerstandskraft oder Verlustkraft (in Kilogrammen), p , q und w die bezüglichen Geschwindigkeiten (in Metern pro Sekunde) eines bestimmten Punktes des Getriebes, auf welchen jene Kräfte reduziert sind, M_p , M_q und M_w die zugehörigen Drehmomente (in Momenten-Meterkilogrammen) mit den Winkelgeschwindigkeiten ω_p , ω_q und ω_w (ausgedrückt als Bogenzahlen der sekundlichen Drehwinkel), ferner L_p , L_q und L_w die Arbeitsstärken (in Meterkilogrammen) und η den Wirkungsgrad, so gilt:

⁶⁾ Während Triebkraft im wirklichen Sinne des Wortes eine Kraft, die in Kilogrammen angegeben wird, bedeutet, versteht man unter Betriebskraft die zum Betriebe erforderliche Arbeitsstärke oder Arbeitsintensität, welche in Sekundenmeterkilogrammen oder in Pferdekraften (zu 75 mkg), auch Pferdestärken genannt, ausgedrückt wird.

$$\begin{aligned} L_p &= Pp = M_p w_p \\ L_q &= Qq = M_q w_q \\ L_w &= Ww = M_w w_w, \end{aligned}$$

und für den Beharrungszustand der Maschine, in welchem eine bestimmte Geschwindigkeit erhalten bleibt, also lebendige Kräfte den bewegten Massen weder mitgeteilt noch von diesen abgegeben werden,⁷⁾

$$\begin{aligned} L_p &= L_q + L_w \\ Pp &= Qq + Ww \\ M_p w_p &= M_q w_q + M_w w_w \\ \eta &= \frac{L_q}{L_p} = \frac{Qq}{Pp} = \frac{M_q w_q}{M_p w_p}, \end{aligned}$$

also beispielsweise bei einer Hebemaschine das Verhältnis der durch Hebung der Last verrichteten Arbeit zu der an der Kurbel eingeleiteten Arbeit, bei einem Göpel das Verhältnis der von demselben nach einer zu betreibenden Arbeitsmaschine hin abgegebenen Arbeit zu der von den Pferden zum Treiben aufgewendeten Arbeit. Nicht selten schreibt man aber auch mit Benutzung der Verlustquotienten

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{Pp - Ww}{Pp} = 1 - \frac{Ww}{Pp} = 1 - \frac{L_w}{L_p} = 1 - \frac{M_w w_w}{M_p w_p} \quad \text{oder} \\ \eta &= \frac{Qq}{Qq + Ww} = \frac{1}{1 + \frac{Ww}{Qq}} = \frac{1}{1 + \frac{L_w}{L_q}} = \frac{1}{1 + \frac{M_w w_w}{M_q w_q}}. \end{aligned}$$

Außer diesen Ausdrucksformen des Wirkungsgrades η kommen noch diejenigen vor, die sich auf die ideale Triebkraft P_i , welche an der reibungslosen Maschine der Nutzkraft Q entsprechen würde, oder auf die ideale Nutzkraft Q_i beziehen, welche an der reibungslosen Maschine durch die Triebkraft P erzielt werden müßte. Es schreibt sich dann im ersten Falle:

$$\begin{aligned} P_i p &= Q q \\ \eta &= \frac{Q q}{P p} \quad \text{nun} = \frac{P_i p}{P p} = \frac{P_i}{P} = \frac{\text{ideale Triebkraft}}{\text{wirkliche Triebkraft}} \end{aligned}$$

und im zweiten Falle:

$$\begin{aligned} P p &= Q_i q \\ \eta &= \frac{Q q}{P p} \quad \text{nun} = \frac{Q q}{Q_i q} = \frac{Q}{Q_i} = \frac{\text{wirkliche Nutzkraft}}{\text{ideale Nutzkraft}}. \end{aligned}$$

Von diesen Ausdrucksformen des Wirkungsgrades wird in der Folge Gebrauch gemacht werden können.

⁷⁾ In der sogenannten Anlaufperiode, welche beim Anlassen der Maschine vom Augenblicke der Einleitung der Triebkraft an bis zur Erreichung der dauernden Betriebsgeschwindigkeit verfließt, wird den in Bewegung gesetzten Massen die ihren Geschwindigkeiten entsprechende lebendige Kraft mitgeteilt, welche während des Beharrungszustandes in der Maschine aufgespeichert bleibt und erst beim Abstellen der Maschine von dem Augenblicke des Abschnitts der Kraftzuleitung bis zum Stillstande, d. h. in der Endlaufperiode, wieder abgegeben wird.