

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Theoretische Maschinenlehre

in 4 Bänden

Theorie der Getriebe und der mechanischen Messinstrumente

Grashof, Franz

Leipzig, 1883

Einleitung

[urn:nbn:de:bsz:31-282938](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-282938)

C. Theorie der Regulatoren.

§. 87. Einleitung.

Während in dem von der Kinematik handelnden ersten Theile dieses Abschnitts die Getriebe nur mit Rücksicht auf die von den Punkten ihrer beweglichen Glieder gleichzeitig durchlaufenen Bahnen und somit auch nur mit Rücksicht auf die Verhältnisse der gleichzeitigen Geschwindigkeiten dieser Punkte untersucht wurden, dagegen die Grössen der bewegenden Kräfte, der bewegten Massen und somit auch der dadurch bedingten Geschwindigkeiten selbst ausser Betracht blieben, sind von jenen Kräften, die im Allgemeinen in treibende Kräfte, Nutzwiderstände und Bewegungswiderstände unterschieden werden konnten, die letzteren im vorhergehenden zweiten Theile in beschränktem Umfange, nämlich als allgemeine Bewegungswiderstände besprochen worden mit Bezug auf Getriebe allgemeineren Charakters und Vorkommens im Gegensatze zu besonderen Bewegungswiderständen, die ebenso wie die Triebkräfte und Nutzwiderstände erst später bei besonderen Arten von Kraft- und Arbeitsmaschinen zu besprechen sein werden. Hier bleibt somit noch übrig die Berücksichtigung des Einflusses der bewegten Massen und der bewegenden Kräfte auf den Gang des Getriebes (resp. der im Allgemeinen als eine Verbindung von elementaren Getrieben sich darstellenden Maschine), d. h. auf die absoluten Grössen der Geschwindigkeiten, womit die Punkte der beweglichen Glieder sich zwangläufig bewegen. Ausgedrückt wird jener Einfluss durch die Gleichung der lebendigen Kraft, d. h. durch die Gleichung, welche die Aenderung der lebendigen Kraft der Maschine in irgend einer Zeit der algebraischen Summe der gleichzeitigen Arbeiten aller ihrer äusseren Kräfte gleich setzt.

Dem Zwecke einer Maschine entsprechend sollen in der Regel die Punkte gewisser ihrer Glieder mit möglichst unveränderlichen Geschwindigkeiten sich bewegen; ein solcher Punkt sei A , seine Geschwindigkeit $= v$. Indem dann die Glieder der Maschine in zweierlei Arten unterschieden werden können, jenachdem die Geschwindigkeiten ihrer Punkte constante oder variable Verhältnisse zu v haben, seien $M \frac{v^2}{2}$ und $m \frac{v^2}{2}$ die der Geschwindigkeit v des Punktes A entsprechenden lebendigen Kräfte beziehungsweise aller Glieder der ersten und der zweiten Art; M und m heissen die auf den Punkt A reducirten Massen der betreffenden Glieder, und es ist

M constant, m periodisch variabel, nämlich abhängig von den periodisch veränderlichen relativen Lagen der betreffenden Glieder. Ist andererseits P eine Triebkraft, Q ein Nutzwiderstand, R ein Bewegungswiderstand, S die Schwerkraft eines Gliedes von periodisch veränderlicher Höhenlage seines Schwerpunktes, und sind dp , dq , dr , ds die Absolutwerthe gleichzeitiger elementarer Wege dieser Kräfte (die auf die Richtungslinien der Kräfte projectirten Wege ihrer Angriffspunkte), so ist die Gleichung der lebendigen Kraft der Maschine, bezogen auf ein Zeitelement:

$$d \left[(M + m) \frac{v^2}{2} \right] = \Sigma P dp - \Sigma Q dq - \Sigma R dr + \Sigma S ds \dots (1),$$

wobei die Summenzeichen Σ dem Umstande entsprechen, dass im Allgemeinen mehrere Kräfte von jeder der unterschiedenen Arten vorhanden sein können.

Indem diese Gleichung die Umstände gesondert darstellt, von denen die Geschwindigkeit v und somit der Gang einer Maschine abhängt, lässt sie insbesondere auch die Ursachen der Veränderlichkeit von v erkennen, nach denen die Hilfsmittel sich richten, die anzuwenden sind, um diese Veränderlichkeit auf ein möglichst geringes Maass zu reduciren. Solche und zwar selbstthätig wirkende Hilfsmittel oder Vorrichtungen, die selbst Getriebe sein können (dem Hauptgetriebe resp. der Maschine als Hilfsgetriebe hinzugefügt), heissen Regulatoren.

Jene Ursachen eines ungleichförmigen Ganges der Maschine sind theils solche, die eine periodische, theils solche, die eine nicht periodische Veränderlichkeit von v zur Folge haben. Erstere sind insbesondere periodische Aenderungen von m , $\Sigma P dp$ und $\Sigma Q dq$, bedingt durch die Configurationsänderungen der geschlossenen kinematischen Kette der betreffenden Maschine, indem dabei eine Periode der Zeitraum ist, in welchem die Kette ihre sämtlichen Configurationen in stetiger Folge durchläuft. Das allgemeinste Hilfsmittel, um die von diesen Ursachen herrührenden periodischen Schwankungen von v in engere Grenzen einzuschliessen, besteht in der Vergrößerung von M , deren entsprechender Erfolg ohne Weiteres aus Gl. (1) ersichtlich ist. Insbesondere ist dieses als Massenregulator allgemein zu bezeichnende Hilfsmittel dann zweckmässig und gebräuchlich, wenn der Punkt A , dessen Geschwindigkeit v möglichst constant sein soll, einem rotirenden Gliede angehört, und besteht es dann in einem Schwungrade, das coaxial mit diesem oder mit einem anderen, mit proportionaler Winkelgeschwindigkeit gleichfalls rotirenden Gliede fest verbunden wird. Während in diesem Falle durch Anhäufung der Masse des Schwungrades in grosser Entfernung von der Axe die entsprechende reducirte Masse M beliebig

vergrössert werden kann ohne die effective Masse, somit die Kosten und die Reibung in den Lagern in gleichem Maasse vergrössern zu müssen, ist das weniger allgemein thunlich, wenn der Punkt A einem nicht um eine feste Axe rotirenden Gliede, z. B. einem geradlinig bewegten Gliede angehört, und kann es dann zweckmässiger sein, das auf Vergrösserung von v abzielende überschüssige Arbeitsvermögen (anstatt wie beim Schwungrade als freies) als gebundenes Arbeitsvermögen periodisch anzusammeln, insbesondere durch Hebung eines Gewichtes als äusseres oder durch Deformation eines elastischen Körpers (z. B. durch Compression von Luft in einem Windkessel) als inneres gebundenes Arbeitsvermögen, um demnächst als Vorrath zur Unterstützung von ΣPdp bei überschüssiger Grösse von ΣQdq zur Verwendung zu kommen. Dieselben Hilfsmittel, die als Gewichtsregulatoren oder Federregulatoren zu bezeichnen sind, jenachdem ihre regulirende Wirkung in der Verticalbewegung eines Gewichtes oder in der Deformationsänderung eines elastischen Körpers besteht, können auch neben einem Schwungrade oder anstatt eines solchen Anwendung finden. Die periodische Veränderlichkeit des Gliedes $+\Sigma Sds$ in Gl. (1) kann in der Regel durch Gewichtsregulatoren am einfachsten beseitigt oder vermindert werden, nämlich durch Gegengewichte, die sich periodisch in stets entgegengesetztem Sinne, wie die betreffenden Maschinenglieder von der Schwere S , so auf und ab bewegen, dass der Gesamtschwerpunkt auf nahe unveränderlicher Höhe bleibt. Das Glied ΣRdr bedarf hier keiner besonderen Rücksichtnahme, da die Bewegungswiderstände als secundäre Kräfte nebst ihren Arbeiten durch die besprochenen selbstständig veränderlichen Grössen bedingt werden.

Nicht periodische und dann meistens auch auf längere Dauer sich erstreckende (viele auf einander folgende Perioden hinsichtlich der Configurationsänderungen der kinematischen Kette umfassende) Aenderungen des Ganges werden durch zufällige oder willkürlich herbeigeführte Aenderungen theils der elementaren Arbeit ΣPdp der Triebkräfte, theils und vorzugsweise der elementaren Nutzarbeit ΣQdq verursacht, z. B. durch Ein- oder Ausrückung einzelner von mehreren Arbeitsmaschinen, die von einer gemeinsamen Kraftmaschine betrieben werden, oder bei intermittirend (mit mehr oder weniger langen Pausen) zu leistender Nutzarbeit, wie bei Krane und anderen Hebevorrichtungen. Die Regulirung pflegt dann durch entsprechende Aenderung entweder der Triebarbeit oder der Nutzarbeit zu geschehen, somit durch Mechanismen, die als Regulatoren für Kraftmaschinen und als Regulatoren für Arbeitsmaschinen unterschieden werden können. Erstere pflegen so zu wirken, dass dadurch die Arbeits-

flüssigkeit (motorische Substanz), die als Träger des zum Betriebe disponiblen Arbeitsvermögens dient (insbesondere Wasser, Wasserdampf, Luft) in veränderter Menge zugelassen wird. In ähnlicher Weise können zwar auch Regulatoren für Arbeitsmaschinen die Regelung der Geschwindigkeit durch eine Regelung der Quantität der jeweils durch die Maschine zu leistenden besonderen Art von Arbeit bewirken, sind dann aber von so mannigfach verschiedener Einrichtung wie die Arbeitsmaschinen selbst und deshalb einer zusammenfassenden allgemeinen theoretischen Besprechung, um die es sich hier handelt, kaum fähig. Dagegen kann die Ausgleichung einer variablen Nutzarbeit auch so geschehen, dass, jenachdem sie kleiner oder grösser, als der Mittelwerth für die betreffende Zeit ist, sie selbst oder die Arbeit der Triebkraft durch die Arbeit eines fremden Widerstandes, beziehungsweise einer fremden Triebkraft zeitweilig und selbstthätig unterstützt wird. Indem als solche Ergänzungskraft vorzugsweise die Schwerkraft oder Federkraft (Elasticität) geeignete Verwendung findet, sind die betreffenden Regulatoren im Princip von derselben Art wie die oben besprochenen Gewichts- und Federregulatoren zur Ausgleichung periodischer Ungleichförmigkeiten des Ganges, pflegen aber zusammen im vorliegenden allgemeineren Falle als Accumulatoren (Arbeitsammler) bezeichnet zu werden, indem sie dazu dienen, die Betriebsarbeit zur Zeit ihres augenblicklichen Ueberschusses als ein zur Deckung späteren Mangels disponibles Arbeitsvermögen anzusammeln.

Endlich kann die in Rede stehende Regulirung auch durch Aenderung, insbesondere durch Vergrösserung der Arbeit des Bewegungswiderstandes, dem Gliede ΣRdr in Gl. (1) entsprechend, erzielt werden und trotz der damit verbundenen Verwandlung von Arbeitsvermögen in eine zu technischen Arbeitszwecken nicht weiter verwendbare Form von innerem gebundenem oder freiem Arbeitsvermögen (durch Abnutzung und Erwärmung in Folge von Reibung) doch u. U. gerechtfertigt sein, z. B. wenn es sich darum handelt, eine Last mit gleichförmiger Geschwindigkeit niederzulassen, also die beschleunigende Wirkung der Schwere als Triebkraft durch eine hier als Nutzwiderstand zu betrachtende absichtlich hervorgerufene Reibung zu verhindern, oder wenn nicht sowohl die Erhaltung eines möglichst gleichförmigen Ganges, als vielmehr die Ermässigung desselben oder gar der Stillstand der Maschine bezweckt wird und anderweitige, hinlänglich einfache und schnell wirkende mehr ökonomische Hilfsmittel dazu nicht vorhanden sind. Getriebe solcher Art heissen Bremswerke. Sind sie auch nicht als Regulatoren im engeren Sinne zu betrachten, insofern sie theils nicht selbstthätig wirken, theils nicht zur Minderung von Geschwindigkeits-

änderungen, sondern gerade umgekehrt zur Bewirkung solcher Aenderungen im Sinne einer Geschwindigkeitsverkleinerung dienen, so mögen sie doch als verwandte Getriebe allgemeineren Charakters an dieser Stelle mit besprochen werden, und zwar in erster Reihe, da ihre Wirkung am unmittelbarsten auf den im vorigen Theile untersuchten Wirkungsgesetzen der allgemeinen Bewegungswiderstände beruht.

Hiernach wird im Folgenden der Reihe nach gehandelt werden von der Theorie der Bremswerke, der Schwungräder (als üblichster Form von Massenregulatoren), der Accumulatoren (die Gewichts- und Federregulatoren mit periodischer Wirkung als besondere Formen in sich begreifend) und der Regulatoren für Kraftmaschinen.

I. Bremswerke.

§. 88. Uebersicht.

Bremswerke oder Bremsen sind nach vorigem Paragraph Mechanismen, die dazu dienen, die Geschwindigkeit einer Maschine oder überhaupt einer bewegten Masse mit Hilfe eines Bewegungswiderstandes von regulirbarer Grösse möglichst constant zu erhalten oder zu vermindern, event. bis auf Null zu reduciren. Als jener Bewegungswiderstand wird meistens die Reibung, und zwar die Reibung zwischen festen Körpern verwendet, deren Grösse am unmittelbarsten durch den gegenseitigen Druck der betreffenden Körper regulirt werden kann, und wenn dann ausserdem die zu bremsende Maschine, wie es meistens der Fall ist, rotirende Wellen enthält oder zum Zwecke des Bremsens mit einer solchen Welle versehen wird, so besteht das Bremswerk im Allgemeinen aus einem Bremsrade, d. i. einem auf einer rotirenden Welle befestigten, theilweise von einer mit ihr coaxialen Umdrehungsfläche begrenzten Körper, ferner aus dem Bremskörper und endlich dem Mechanismus, der dazu dient, den Bremskörper relativ gegen das Bremsrad so zu verschieben, dass beide sich in jener Umdrehungsfläche mit einem gewissen Druck berühren, während sie wie die Elemente eines Drehkörperpaares (mit jener Umdrehungsfläche als Elementenfläche) in relativer Bewegung sind.

In Betreff des Sinnes, in welchem der Druck des Bremskörpers gegen das Bremsrad behufs des Bremsens verändert wird, können zwei Fälle stattfinden: entweder wird dabei dieser Druck überhaupt erst bis zu gewisser Grösse herbeigeführt, indem beide Körper, vorher ausser Berührung, durch