

Riemen und Seile.

Riemen und Seile gehören nur insoferne zu den vorliegenden Studien, als die Umfangsgeschwindigkeit der Schwungräder von Dampfmaschinen mit hoher Kolbengeschwindigkeit oft auf sie Rücksicht zu nehmen hat. Riemen und Seile sollen daher auch hier nur vom Standpunkte der Geschwindigkeit allein betrachtet werden.

Bezeichnet:

S die mittlere Spannung in Kil. per 1 mm^2 im geradlaufenden Zugtheil,

S_1 die mittlere Spannung in Kil. per 1 mm^2 im rücklaufenden Theil,
 $s = (S - S_1) = k \cdot S$ in Kil. per 1 mm^2 die freie Spannung*),
so steigt bei einer dem Material und den Scheiben entsprechenden, als constant angenommenen Spannung S die übertragene Arbeit $a = k S \cdot v$ so lange mit der Geschwindigkeit v als letztere niedrig verbleibt.

Mit dem Wachsen der Geschwindigkeit macht sich aber bald in der Masse $\frac{\gamma}{g}$ des Riemens oder Seiles die Fliehkraftwirkung am Umfange der Scheiben bemerklich, und deren Zügelung beansprucht einen Theil $s_{fl} = \frac{\gamma}{g} v^2$ der Spannungen S und S_1 .

*) Bekanntlich gilt die Gleichung $s = \frac{e^{\varphi \alpha} - 1}{e^{\varphi \alpha}} \cdot S$, für abgekürzte Rechnung $s \sim \frac{1}{2} S$ oder $k \sim \frac{1}{2}$ für jene Fälle, in welchen die durch die Spannung geweckte Reibung allein das Gleiten verwehrt.

Die Nutzspehnung, welche frher $s = k \cdot S$ war, vermindert sich daher auf: $s = k \left(S - \frac{\gamma}{g} v^2 \right)$

und die fibertragene Arbeit wird nun: $a = k \left(S - \frac{\gamma}{g} v^2 \right) \cdot v \quad (z)$

Als mittlerer Werth kann dabei gesetzt werden:

für Lederriemen $S = 0.3$ Kil., $\gamma = \frac{1}{800}$ Kil. per 1 m Länge u. 1 mm²

„ Hanfseile . . = 0.1 „ $\gamma = \frac{1}{1100}$ „ „ 1 m „ „ 1 mm²

„ Drahtseile . . = 6.0 „ $\gamma = \frac{1}{150}$ „ „ 1 m „ „ 1 mm²

Die Grenzgesewindigkeit wird erreicht, d. i. keine Arbeit mehr fibertragen, wenn in Gleichung (z) $a = 0$, d. i.

$$S = \frac{\gamma}{g} v^2 \text{ oder } v^2 = \frac{g}{\gamma} \cdot S \text{ wird.}$$

Das Maximum der Arbeit oder die günstigste Gesewindigkeit herrscht bei $v^2 = \frac{1}{3} \frac{g}{\gamma} S$,

wie eine Maximalrechnung aus Gleichung (z) ergibt.

Mit den angeführten Werthen von S , $s = \frac{1}{2} S$ und γ ergibt sich die

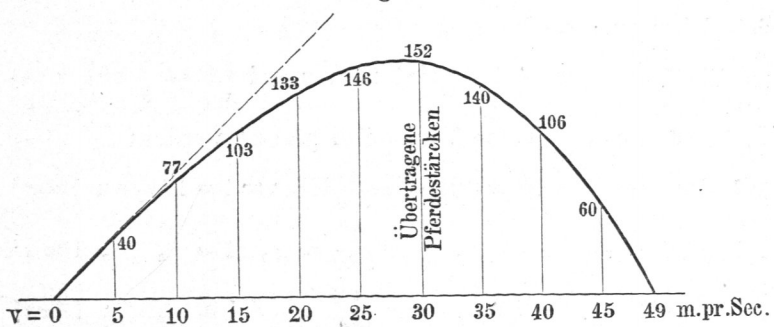
	Grenzgesewindigkeit, Uebertrag. Arbeit $a = 0$	Günstigste Gesewind., Uebertrag. Arbeit a_{\max} .
für Lederriemen	$v = 49$ m per Secunde	$v = 28$ m
„ Hanfseile	$v = 33$ m „ „	$v = 19$ m
„ Drahtseile	$v = 95$ m „ „	$v = 55$ m

Die fibertragbare Arbeit in Pferdekräften berechnet sich für den Querschnitt f des Riemens oder Seiles in allen Fällen nach:

$$N = \frac{f \cdot a}{75}$$

Hätte beispielsweise ein Riemen 400 mm Breite und 10 mm Dicke, so wird die fibertragbare Pferdekraft bei den verschiedenen Gesewindigkeiten sich ändern, wie folgt:

Fig.74



	Riemengeschwindigkeit $v =$											
$v =$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	49	m per Sec.
	Fliehkraftspannung $s_{,,} = \frac{\gamma}{g} v^2 =$											
$s_{,,} =$	0	·003	·01	·03	·05	·08	·11	·15	·20	·25	·30	k p. 1 mm ²
	Nutzspannung $s = \frac{1}{2} (\cdot 3 - s_{,,}) =$											
$s =$	·15	·148	·145	·135	·125	·11	·095	·075	·05	·025	0·00	„
	Totalspannung $S = 2s + s_{,,} =$											
$S =$	·3	·3	·3	·3	·3	·3	·3	·3	·3	·3	·3	„
	Arbeit $\alpha = s \cdot v =$											
$\alpha =$	0	·74	1·45	2·025	·25	2·75	2·85	2·62	2·00	1·125	0	m k
	Pferde $N = \frac{400 \cdot 10 \cdot \alpha}{75} =$											
$N =$	0	40	77	103	133	146	152	140	106	60	0	Pferde.

Das Schaubild zeigt, dass (wie es alle im Maschinenbau brauchbaren Formeln ergeben) die Curve der übertragbaren Arbeit bei ihrem Maximum langhin flach verläuft, eine horizontale Tangente und nicht etwa eine Spitze besitzt, d. h. dass der günstigste Werth gegen kleine Aenderungen seiner Bedingung fast unempfindlich verbleibt.

Für andere Materiale oder andere als zulässig erkannte Spannungen S würden sich andere, aber der Fig. 74 ähnliche Curven ergeben, deren Anfang stets Null ist und deren Maximum

und Ende für verschiedene Annahmen auf Seite 287 bereits angeführt erscheinen.

Für Hanfseiltriebe ist die günstigste Geschwindigkeit ($\sim 19 m$ per Sec.) schon längst gefunden und benützt. Wenn sie, wie bei Draht- und Feinwalzzügen überschritten wird, so ist dies nur mit einer Ueberspannung, entweder durch besseres Rohmaterial oder auf Kosten der Dauerhaftigkeit möglich.

Drahtseile arbeiten theilweise schon mit $35-40 m$ per Secunde, doch stets mit kleinerer als der günstigsten Geschwindigkeit; weniger wohl aus Sorge für die Scheiben etc. als wegen der geringeren Verwendbarkeit und des mangelnden Bedarfes in der Gegenwart von Geschwindigkeiten gegen $55 m$ per Secunde

Lederriemen aber, mit einziger Ausnahme jener für Feinstreckwalzwerke, laufen heute noch alle zu langsam. Selbst auf der Pariser Ausstellung 1889 fand sich nur $23 m$ als Maximum. Es hat aber bei halbwegs guter Ausführung nicht die geringste Schwierigkeit die günstigste Geschwindigkeit von $\sim 28 m$ per Secunde voll auszunützen. Dafür müssen nur die Scheiben balancirt werden und genau rund laufen, wclch letzteres starke Wellen verlangt (Materialspannung $S = 3-4 k$), und ohne Außenlager (Dynamomaschinen) nicht leicht zu erreichen sein dürfte. Auch muss der Riemen von einer besten Fabrik bezogen, calibrirt und vorgestreckt sein, und sein Schluss darf nicht knotig hergestellt, sondern muss geleimt sein. Ein dünner Doppelriemen (Gesamtdicke $\sim 9-10 mm$) passt hier besser als ein einfacher Riemen. Auch hat man Sorge zu tragen, dass seine Elasticitätsgrenze trotz den auf den Scheiben hinzu kommenden Biegungs- und Wölbungsspannungen nirgend überschritten werde, was mit großen Scheiben und meistens daher bei großer Geschwindigkeit leicht — mit kleinen Scheiben aber gar nicht zu erreichen ist. Ueber diese Spannungen handelt Anhang XVIII.

Ist dies aber Alles beachtet, so kann durch die große Geschwindigkeit nicht nur das edle Material bezüglich seiner Arbeitsübertragungsfähigkeit voll ausgenützt und an den dabei bedingten großen Scheiben zu langer Dauerhaftigkeit geschont werden, — sondern es entsteht auch ein weitaus besserer Lauf als sonst.

Riemen mit großer Geschwindigkeit arbeiten nämlich unvergleichlich ruhiger und gleichförmiger und mit geringeren Eigenwiderständen als solche mit langsamem Gang, was sich durch die bei ihrer Spannung auftretenden Wellenerscheinungen erklärt.

Wellenerscheinung. Die Geschwindigkeit, mit der eine Wellenschwingung an einer gespannten Saite (Seil oder Riemen) fortläuft, ist bekanntlich:

$$c^2 = \frac{g}{\gamma} S.$$

Bei Riemen von $\gamma = \frac{1}{800}$ Kilogr. Eigengewicht per 1 mm^2 Querschnitt und 1 m Länge entsprechen den Geschwindigkeiten c daraus die Spannungen S :

$$\begin{array}{cccccccc} c = & 5 & 10 & 15 & 20 & 25 & 30 & 35 & 40 & m \text{ per Secunde} \\ S = & \cdot 003 & \cdot 0125 & \cdot 03 & \cdot 05 & \cdot 08 & \cdot 11 & \cdot 15 & \cdot 20 & \text{Kil. per } 1 \text{ mm}^2. \end{array}$$

Es nähert sich daher der Lauf des Riemens mit steigender Arbeitsgeschwindigkeit v der Wellenlaufgeschwindigkeit c und insbesondere der Rücklauf wird dieselbe oftmals erreichen, wenn der Riemen nicht straff gespannt ist.

Um den Einfluss der Wellenerscheinung an einem Riemen- (oder Seil-) Trieb zu ermessen, denken wir uns folgende Beobachtung (Fig. 75, rechts):

Es werde an einem ruhig mit der Spannung $S = k$ über einer Scheibe hängenden Riemen (oder Kette oder Seil) durch einen Anschlag eine Welle aufgeworfen, so fluthen am Anschlagorte zwei Schwingungspaare, je aus Berg und Thal bestehend, nach auf- und abwärts mit der Geschwindigkeit c sichtbar ab.

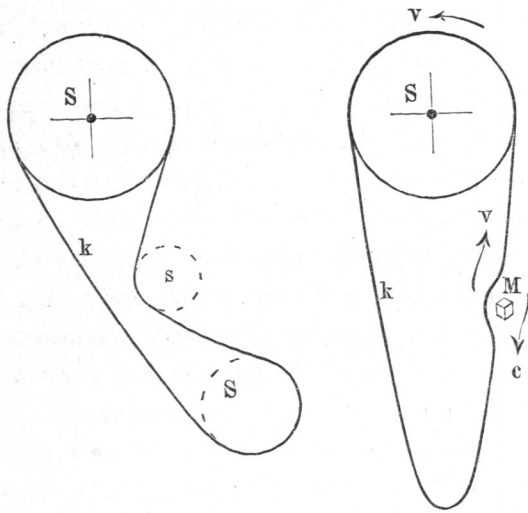
Drehen wir nun die Scheibe nach einer Richtung, z. B. nach aufwärts, mit der Geschwindigkeit v , so addiren sich im aufgehenden Theile beide Geschwindigkeiten c und v und dieser Theil der Welle verschwindet bald am Scheibenrand. Nach abwärts jedoch schreitet die Welle im Raume und der Riemenrichtung entlang, nur mehr mit der Differenzgeschwindigkeit $(c-v)$ fort. Würde aber $v = c$, so bleibt die Welle an Ort und Stelle stehen, während das Material des Riemens durch sie hindurchströmt. Man kann nun, gleichsam Welle auf Welle setzend, den Riemen oder das Seil in beliebige Formen, gleich einer Wachsstange und der Schwerkraft spottend, modelliren. Er wurde „steif“, und behält jeden Eindruck, den man ihm mittelst eines einmaligen zum Aufwerfen der Welle nöthigen Arbeitsaufwandes gibt, andauernd bei. Die geweckten Spannungsänderungen schreiten im Materiale (aber jetzt nicht mehr im Raume) mit der Wellengeschwindigkeit fort, und das Umschlingen einer zweiten Scheibe, oder die Ablenkung durch Leitrollen etc. erfolgt, wenn einmal eingeleitet, nun widerstandslos.

Ich habe 1888 selbst den Versuch in Gegenwart von Fachmännern in der Simmeringer Maschinenfabrik im Großen vorgenommen, und ein über eine Scheibe freihängendes Seil und eine Kette in die beliebigsten Formen gedrückt, in welchen sie dann von selbst, trotz, oder vielmehr in Folge ihres Laufes andauernd verblieben, wenn nur die Scheibe jene Umdrehungszahl beibehielt, welche dem Seil die Wellenlaufgeschwindigkeit ertheilte. Ueberdies finden sich ähnliche Versuche (wie ich später ersah) auch im Philosophical-Magazine, 1878, Vol. V (An Account on Rigidity) beschrieben, und auf Tafel 6 dortselbst abgebildet. Die Ursache des Steifwerdens der Kette bei großer Geschwindigkeit wird aber dort ausschließlich in der Wirkung der Fliehkraft gesucht. Ueberdies ist die Erscheinung auch häufig an Ventilator- oder anderen schnell laufenden Riemen

zu beobachten, dass eine der Hälften, trotz aller Arbeit, durchaus nicht in der geraden, sondern in einer stehenden Schlangelinie zieht oder gezogen wird.

Wenn nun auch in einem Riemen- oder Seiltrieb die Wellenlaufgeschwindigkeit nur in einer der Hälften, und auch da nicht überall genau herrschen kann, so wird doch jede Annäherung an dieselbe den Gang schon wesentlich verbessern und

Fig. 75



Ein Fremdkörper M in das Thal der stehenden Welle gehalten, oder in jenem der fortschreitenden gleich schnell bewegt, wird laut Experiment von dem wellenden Materiale nicht berührt. Denkt man sich eine Garbe solcher gleich gespannter Seile (vielleicht auch eine Gasmasse) und in ihr durch eine einmalige Arbeit einen Hohlraum aufgeworfen, der nun mit Wellengeschwindigkeit der Spannungsrichtung entlang zieht, und denkt man einen Fremdkörper eingebracht, der gleiche Geschwindigkeit mit der Welle hält, welche er vielleicht selbst aufwarf, so gelangt man zum Begriff der Möglichkeit einer widerstandslosen Geschwindigkeit in widerstehendem Mittel. Ich werde andernorts darauf und auf die Anwendungen dieser Hypothese, auf meine Anschauung einer widerstandslosen Bewegung der Himmelskörper, Planeten und Monde in Gasen des Weltraumes gegenüber dem widerstandsvollen Lauf der Schweifsterne zurückkommen.

die Spannungs- und Dehnungsänderungen in Folge von Ungleichförmigkeiten seitens der Kraft oder der Last oder eine Stoßwirkung nicht mehr mit der Riemengeschwindigkeit, sondern um die Wellengeschwindigkeit verkleinert, also gemildert und vertheilt im Materiale fortschreiten machen. Ein hauptsächlichlicher Vortheil ergibt sich hierbei in dem Entfall des Widerstandes von Leitrollen. Diese drücken auf ihre Lager nur so lange bis die hohe Geschwindigkeit erreicht ist. Würde man letztere dann selbst gänzlich entfernen, so behielte doch der Riemen seinen eingedrückten Weg principiell bei, und die Rolle sichert denselben bloß gegen Zufälle, aber ohne jeden eigentlichen Zwang*). Solch ein „steif“ gewordener Riemen läuft daher im Allgemeinen, wenn nur erst in die Gerade gezogen, auch in dieser steif und wie gewichtslos geworden, wunderbar scheinend gerade, reißt keine Luft mit sich und ertheilt seiner getriebenen Scheibe eine viel gleichmäßigere Umlaufgeschwindigkeit als das leblos schwer gehende und schwingende Material langsamer Triebe.

Nach all dieser Erkenntniss habe ich 1882 einen mir anvertrauten Fabriksbau mit einem Riemen für den Hauptantrieb versehen, der mit der „günstigsten“ Geschwindigkeit von $28 \cdot 3 \text{ m}$ über 200 Pferdekräfte auf die Hauptwelle trägt. Die Berechnung seiner Spannungen ($S = \cdot 35 \text{ Kil.}$) und der Einfluss der Größen und Wölbungen seiner Scheiben für eine Maximaldehnung von $\frac{1}{50}$ des Riemens sind im Anhang XVIII als vorletztes Beispiel dargestellt. Dieser Riemen geht seit 1883 Tag für Tag ununterbrochen ohne Reparatur und läuft noch heute fehlerfrei und wie

*) Würde man aber die Leitrolle durch eine ihrer Umdrehungswelle aufgebürdete Arbeit und stärkeres Andrücken zu einer Treibrolle umstalten, so würden an ihren beiden Seiten sofort verschiedene Spannungen auftreten; der Riemen könnte nicht mehr in seinem ganzen Halblauf, sondern höchstens nur mehr einseits der Rolle „steif“ laufen, und die Widerstandslosigkeit der Ablenkung wäre sofort beendet.

ein Brett so gerade. Allerdings wollte ihn anfänglich kein Riemenfabrikant ausführen, doch dann übernahm die Firma Otto Gehrrens in Hamburg dessen Lieferung.

Vom Dampfmaschinenschwungrade ($D = 6\text{ m}$, $n = 60$) wird die kleinere Scheibe der Vorgelegswelle $D = 2\text{ m}$, $n = 180$, angetrieben. Die größere Scheibe derselben hat einen Durchmesser von $D = 3\text{ m}$ und treibt mit dem schnellaufenden, 450 mm breiten Riemen die Hauptwelle im Spinnsaal mit $n = 360$ Umdrehungen per Minute mittelst einer Scheibe von 1.500 m Durchmesser. Die Vorgelegswelle wurde dabei noch derart gelagert, dass sich die Horizontalzüge unter sich, und die Verticalcomponenten mit dem Scheibengewichte möglichst aufheben. Ihre Lager wurden nie nachgestellt und auch der Riemen benöthigt absolut kein Nachspannen bei normalem Dienst. Nur wenn die Arbeit eines benachbarten Wasserrades von 70 Pferdekraften wegen Reparatur desselben von der Dampfmaschine mitgeleistet wird, verlängt sich der dafür nicht vorbestimmte Riemen, und er wurde daher, ich glaube zweimal binnen sechs Jahren, nachgespannt.

So ist die hohe Geschwindigkeit eines Riemens in Verbindung mit den damit bedingten großen Scheiben ein wesentlicher Factor für die Erreichung leichter und voll ausgenützter Riemen, die auch noch durch längere Dauerhaftigkeit und gleichmäßigeren widerstandsfreieren Gang den über kleine Scheiben laufenden langsameren Riemen hoch überlegen sind.

Aehnliche Betrachtungen gelten auch für Seile, bei welchen ich jedoch kurz bemerken will, dass ich Hanfseile hauptsächlich nur für die directe Kraftvertheilung, unmittelbar von der Schwungradwelle weg als vollberechtigt erachte. So lange aber eine Uebertragung, welche mehrfach nebeneinander liegende Seile beansprucht, nach jeder Hinsicht durch einen Riemen ersetzbar ist, erscheint mir der letztere als das bessere Transmissionsglied.

Der Riemen setzt auch einer hohen Umfangsgeschwindigkeit der Dampfmaschinenschwungräder heute noch ziemlich unbenützte und etwas fern scheinende Grenzen; er gestattet nicht nur noch eine Steigerung der Geschwindigkeit, sondern fordert dazu heraus.

Zahnräder.

Zahnräder werden für die Kraftübertragung von Dampfmaschinen weg nur mehr in Specialfällen verwendet. Kurz mag hier erwähnt sein, dass es für Zahnräder keine günstigste Geschwindigkeit gibt, sondern dass die Beanspruchung eines Zahnes auf Arbeitsübertragung von einer gewissen Grenze ab constant bleibt, wenn auch die Geschwindigkeit steigt, nachdem man die Materialspannung und den Druck per Millimeter Zahnbreite in gleichem Maße sinken lässt. 18·8 *m* Eingriffsgeschwindigkeit per Sec. habe ich aber selbst schon ausgeführt.

Neue Constructions-Materiale.

Da hohe Kolbengeschwindigkeit ein möglichst-geringes Gewicht der hin- und hergehenden Massen bedingt, so drängt sich die Frage auf, ob nicht ein anderes Material für die Construction der Bewegungstheile bester Dampfmaschinen herangezogen werden könnte als der heutige Stahl, und mit dem einem weiteren Ansteigen der Geschwindigkeit neue Bahn sich böte.

Leider ist der Ausblick aber trüb und noch ist kein Material gefunden, welches ihn mit Vortheil zu ersetzen vermöchte. Der Preis käme erst in zweiter oder dritter Linie in Betracht.

Aluminium hätte wohl mit Festigkeiten bis 27 Kilogr. per 1 *mm*² und genügender Elasticität ein specifisches Gewicht von nur 2·6 — 2·7. Ein drittel Gewicht bei halber Festigkeit wäre nun immerhin ein bedeutender Vorzug gegenüber dem

Stahl. Doch sinkt die Festigkeit des Aluminiums rasch mit einer steigenden Erwärmung und

bei	15°	100°	150°	200°	Temperatur beträgt
die Festigkeit	18	15	13	10	Kilogr. per 1 mm ² ,

wodurch das Material für Dampfmaschinen, insbesondere für solche mit hohem Anfangsdruck, unbrauchbar wird. Selbst eine Schubstange, welche probeweise hergestellt wurde, krümmte sich bald.

Aluminiumbronze ist bei 80 Theilen Kupfer noch spröde; bei 90 Theilen Kupfer scheint sie ein herrliches Metall zu sein, aber das specifische Gewicht von 7·65 bietet für unseren Standpunkt kein Interesse mehr dar.

Hartglas zeigt wohl Bruchfestigkeiten bis zu 8 Kilogr. (in einem Fall 10·9 Kilogr.) per 1 mm² bei einem Elasticitätsmodul von 7—8000. Das specifische Gewicht ist ~ 2·5. Ein sechstel Festigkeit bei $\frac{1}{3}$ Gewicht schließt aber auch dieses Material völlig von dem Mitbewerb (etwa für Kolbenkörper oder Kreuzköpfe) aus, so dass andauernd der Stahl als das geeignetste Material für die Herstellung der hin- und hergehenden Theile von Dampfmaschinen mit hoher Kolbengeschwindigkeit betrachtet werden muss.
