

äußeren Kräfte daselbst zu ermitteln. Der Querschnitt der Welle bestimmt sich durch die bekannte Formel der relativen Festigkeit

$$M = k \frac{W}{e},$$

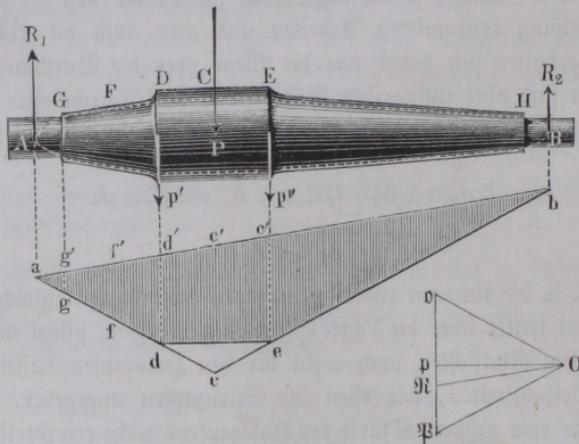
welche speciell für den kreisförmigen Querschnitt vom Durchmesser d in

$$M = \frac{\pi}{32} d^3 k$$

übergeht. Führt man diese Bestimmung für eine hinreichend große Zahl von Querschnitten aus, so erhält man für die Axe eine Form gleichen Widerstandes, für welche man meistens eine angenäherte Form anzunehmen pflegt. Insbesondere wird man eine cylindrische Form außer für die Zapfen auch für die Nabenitze oder diejenigen Stellen der Axe wählen, auf welchen die Befestigung gewisser Maschinentheile wie Räder, Hebel zc. bewirkt werden muß. Um die hier angedeutete Bestimmung der Biegemomente für beliebige Querschnitte der Axe auszuführen, kann man sich mit Vortheil der graphostatischen Methode (s. I. Anhang) bedienen und es möge die Anwendung derselben an einigen häufig vorkommenden Fällen erläutert werden.

§. 7. **Beispiele.** Es seien A und B , Fig. 45, die Zapfenmitten einer bei DE durch die Nabe eines Balancers belasteten Tragaxe, deren Dimensionen

Fig. 45.



aus der Größe der Belastung P , welche in der Mitte C zwischen D und E wirkend anzunehmen ist, bestimmt werden sollen.

Trägt man zur Construction des Kräftepolygons die Belastung P nach dem für die Kräfte beliebig zu wählenden Maßstabe auf einer Verticalen $o\mathbb{P}$ an und wählt den Pol O in einem Abstände von $o\mathbb{P}$ gleich der für die Momente angenommenen Basis, so kann man leicht (s. I. Anh. §. 43 u. f.) das zugehörige Seilpolygon abc construiren, indem man die beiden die Kraft P einschließenden Seile ac und bc parallel mit oO resp. $O\mathbb{P}$ zieht. In den Durchschnitten a und b dieser Seile mit den durch die Lagermitten gezogenen Verticalen erhält man dann die beiden Knoten, deren Verbindungslinie ab die Schlußlinie des Seilpolygons darstellt. Zieht man zu derselben parallel den Polstrahl OK , so erhält man bekanntlich in Ko die Reaction R_1 in A und in $\mathbb{P}K$ diejenige R_2 in B .

Nimmt man an, daß die Nabe des Balanciers den Druck auf die Axe nicht in dem Mittelpunkte C des Nabensitzes, sondern in dessen Außenpunkten D und E überträgt, so hat man sich die Kraft P in zwei Componenten p' und p'' zerlegt zu denken, welche in D und E angreifen. Diese Componenten, welche beiläufig gleich und jede gleich $\frac{P}{2}$ sind, wenn P wie

hier in der Mitte zwischen D und E angreift, findet man in jedem Falle, wenn man die Krafrichtungen in D und E bis zu ihren Durchschnitten d, d' und e, e' mit dem Seilpolygon verlängert, das neue Seil de und damit parallel den Polstrahl Op im Kräftepolygon zieht. Man hat dann in op die Seitenkraft p' und in $p\mathbb{P}$ die Seitenkraft p'' , welche beide zusammen für die Kraft P gesetzt werden können. Es ergibt sich die Richtigkeit dieser Construction ohne Weiteres aus dem bekannten Gesetze, wonach die Mittelkraft (P) zweier oder mehrerer Seitenkräfte (p', p'') durch den Durchschnittspunkt der beiden jenen Seitenkräften zugehörigen Außenseite hindurch geht. Man hat daher für die vier in Gleichgewichte befindlichen Kräfte R_1, p', p'', R_2 das entsprechende Kräftepolygon in $Ko p \mathbb{P} K$ und das Seilpolygon in $adeba$ erhalten.

Bei der Wahl des Pols O in einem Abstände von der Kräftelinie $o\mathbb{P}$ gleich der Momentenbasis repräsentiren bekanntlich die zwischen dem Seilpolygon enthaltenen Abschnitte der Verticalen in irgend einem Punkte der Axe das daselbst angreifende Kraftmoment.

Man findet daher für irgend einen Querschnitt F der Axe das Biegemoment in $ff' = M$ und daraus den Durchmesser der Axe an dieser Stelle zu

$$d = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} \frac{M}{k}}$$

Bestimmt man in dieser Weise die erforderlichen Durchmesser zwischen A und C sowie zwischen B und C für eine hinreichende Anzahl von Punkten, so läßt sich das curvenförmige Profil für jeden Axenschenkel zeichnen, bei welchem

die Axc ein Körper gleichen Widerstandes wird. Da hierbei die Durchmesser, also auch die Ordinaten an verschiedenen Stellen desselben Schenkels sich wie die dritten Wurzeln aus den Momenten, also, wie aus dem Seilpolygon sich ergibt, wie die dritten Wurzeln aus den horizontalen Abständen von *A* resp. *B* verhalten, so folgt hieraus, daß die Begrenzungslinie jedes Schenkels eine cubische Parabel sein muß von der Form $y = c \sqrt[3]{x}$. Hierin bedeutet *y* die Ordinate oder die halbe Axenstärke, *x* den Abstand vom zugehörigen Lagermittel und *c* einen constanten Factor. Hat man zuvor aus der Lagerreaction *R*₁ die Zapfenstärke *d*₁ entsprechend einem Längenverhältnisse $\frac{l_1}{d_1} = \lambda$ bestimmt, so kann man daher die Stärke *d* der Axc an einem be-

liebigen Punkte *F* auch durch $d = d_1 \sqrt[3]{\frac{f f'}{g g'}}$ finden. In der Praxis giebt man den Tragaxen meist angenäherte Formen, zu deren Bestimmung daher die Ermittlung nur einiger Stärken, etwa bei *G*, *H* und *C* genügt. Die Zapfen werden natürlich in der sich ergebenden Stärke cylindrisch gemacht, und giebt man der Axc da, wo die Zapfen sich an den mittleren Theil anschließen, Anläufe von etwa $\frac{1}{8}$ der Zapfenstärke*), so daß die Axc daselbst $\frac{5}{4} d_1$ resp. $\frac{5}{4} d_2$ stark wird. Ebenso giebt man dann dem cylindrischen Nabenstz *DE* in seiner ganzen Länge einen Durchmesser, welcher $\frac{5}{4}$ mal so groß ist, wie der in der Mitte *C* aus der Ordinate *cc'* zufolge der obigen Formel $d = d_1 \sqrt[3]{\frac{c c'}{g g'}}$ sich ergebende. Für die Schenkel zwischen Lager und Nabenstz endlich wählt man die Form zweier abgestumpfter Kegel, welche bei *C* eine gemeinschaftliche Basis vom Durchmesser $d = d_1 \sqrt[3]{\frac{c c'}{g g'}}$ haben, und deren Durchmesser unmittelbar neben den Zapfen die angegebene Größe $\frac{5}{4} d_1$ resp. $\frac{5}{4} d_2$ der Anläufe erhalten.

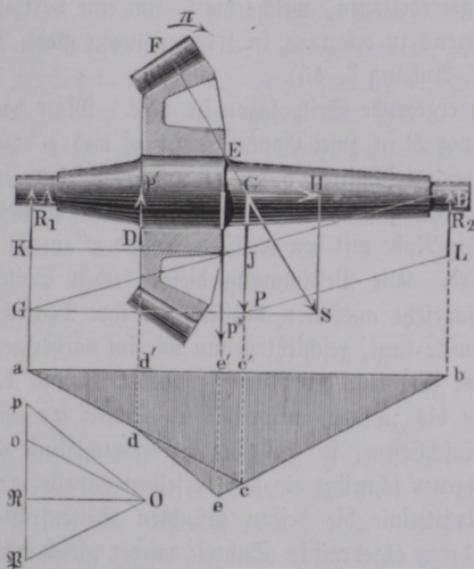
Sehr häufig sind die auf die Tragaxen wirkenden Kräfte geneigt gegen die ersteren gerichtet, wie dieser Fall namentlich bei Anwendung conischer Räder vorkommt. Die Bestimmung der Biegemomente erleidet in einem solchen Falle, wie er durch Fig. 46 vorgestellt ist, nur unbedeutende Aenderungen.

Bezeichnet hierbei *CS* der Größe und Richtung nach einen bei *F* auf das conische Rad wirkenden Druck, so läßt sich derselbe zunächst nach dem Parallelogramm der Kräfte in den Verticaldruck *P* und den Horizontalstz *H* zerlegen. Letzterer, welcher durch die seitliche Reaction des Lagers gegen den

*) S. Redtenbacher's Resultate 77.

Zapfen aufgehoben wird, wirkt auf Zusammendrückung des Axsfenkels und kann bei der Bestimmung der Axenstärke füglich vernachlässigt werden,

Fig. 46.



da er in fast allen Fällen nur von unbedeutendem Einfluß auf die Materialanspannung ist, im Vergleich mit der auf Bruch wirkenden Kraft P . Vollführt man wieder dieselbe Construction wie in dem vorhergehenden Falle, indem man $oP = CP$ macht, und den Pol O in einem Abstände von oP gleich der Momentenbasis wählt, so erhält man wie oben das Seilpolygon acb . Es mag hier bemerkt werden, daß es dabei leicht ist, den Pol O so zu wählen, daß die Schlußlinie ab des Seilpolygons horizontal oder parallel der Ase AB ausfällt, man hat dazu nur den Pol O so hoch anzunehmen, daß die von ihm auf oP gefällte Normale OR die Linie oP in R so theilt, daß Ro gleich der Reaction R_1 in A und PR gleich der Reaction in B wird. Durch eine einfache Construction kann man die beiden Lagerdrücke und die ihnen gleichen und entgegengesetzten Reactionen R_1 und R_2 jederzeit finden. Zu dem Ende hat man nur durch Ziehen der Horizontalen durch P die Strecke CP nach AG zu übertragen und G mit B zu verbinden. Die Verbindende GB theilt dann die Kraft CP in J in solchem Verhältnisse, daß

$$CJ : JP = CB : CA,$$

woraus folgt, daß CJ den Auflagerdruck in A und JP denselben in B

darstellt. Zieht man daher

$$JK \parallel CA \text{ und } PL \parallel JB,$$

so erhält man in

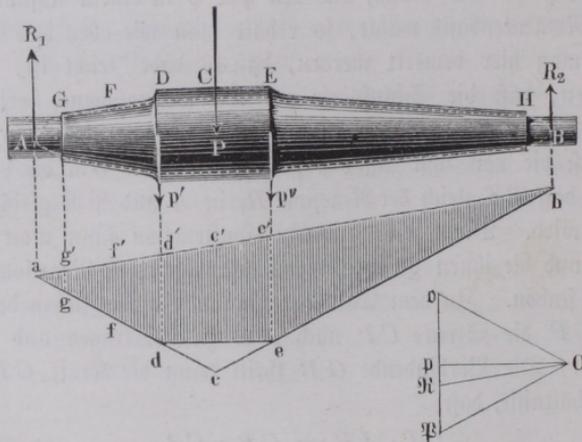
$$KA = R_1 \text{ und } LB = R_2$$

die beiden Auflagerreactionen, welche man, um eine horizontale Schlußlinie ab des Seilpolygons zu erlangen, im Kräftepolygon gleich R_0 resp. \mathfrak{R} zu machen hat (s. I. Anhang §. 45).

Das nun sich ergebende Seilpolygon ist abc . Man hat wieder die angreifende Belastung P in zwei Componenten p' und p'' zu zerlegen, welche in den beiden Menquerschnitten durch D und E wirken, indem die schräge Kraft S eine Drehung des Rades im Sinne des Pfeiles π zu erzeugen strebt, wodurch die Nabe mit den Kräften p' und p'' in D und E gegen die Ase gedrückt wird. Die Bestimmung dieser beiden Seitenkräfte, die hier offenbar entgegengesetzt ausfallen müssen, da ihre Mittelkraft P außerhalb ihrer Angriffspunkte liegt, geschieht genau wie im vorherigen Beispiele.

Zieht man wie dort von den Angriffspunkten D und E der Seitenkräfte die Dd und Ee bis zu den entsprechenden Seilen ac und bc , welche die Mittelkraft \dot{P} einschließen, so giebt die Verbindungslinie de die neue Seilpolygonseite. Ferner schneidet ein mit derselben parallel gezogener Polstrahl Op auf der Kräftelinie die beiden gesuchten Seitenkräfte $op = p'$ und $p\mathfrak{P} = p''$ ab, deren algebraische Summe wieder gleich $o\mathfrak{P} = P$ ist. Wie man übrigens aus dem schließlich erhaltenen Seilpolygon $adeba$ ersieht, ist die maximale Inanspruchnahme der Ase in E jetzt größer geworden, als sie in C sein würde, wenn dieser Punkt direct von der Kraft P angegriffen würde, während in dem Beispiele der Fig. 47, wo die Kraft P die Ase im

Fig. 47.



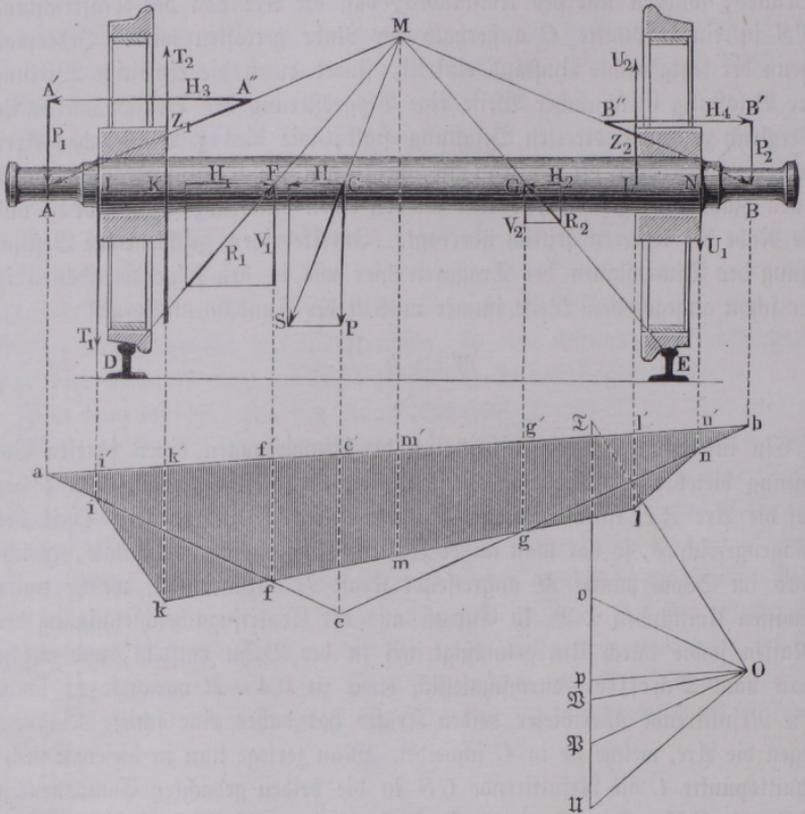
Innern der Nabe trifft, eine Verkleinerung des Bruchmoments herbeigeführt wird, und zwar um so mehr je länger die Nabe ist. Eine solche Vergrößerung des biegenden Momentes ist übrigens nicht die Folge des schiefen Druckes, sondern nur des Umstandes, daß die Ase von der Krastrichtung FS in einem Punkte C außerhalb der Nabe getroffen wird. Jedesmal, wenn der letztgedachte Umstand eintritt, findet durch die einseitige Wirkung der Belastung in ähnlicher Weise eine Vergrößerung des Bruchmoments im Vergleich zu einer directen Belastung statt, wie dies z. B. bei den Axen solcher Wasserräder oft der Fall ist, bei denen die Krastrübertragung durch einen Zahnkranz geschieht, welcher an den einen Radkranz geschraubt ist und die Nabe des letzteren seitlich überragt. Im Uebrigen geschieht die Bestimmung der Dimensionen der Tragaxen hier wie in den folgenden Fällen in der schon angegebenen Weise immer mittelst der Fundamentalformel

$$M = k \frac{W}{e}.$$

Ein interessantes Beispiel bezüglich der Einwirkungen einer schiefen Belastung bietet eine Eisenbahnwagenaxe, Fig. 48 (a. f. S.), dar. Ist P der auf die Ase AB entfallende, im Schwerpunkte M angreifende, Theil des Wagengewichtes, so hat man außer demselben noch eine horizontale, gleichfalls im Schwerpunkte M angreifende Kraft H anzunehmen, welche unter gewissen Umständen z. B. in Curven aus der Centrifugalbeschleunigung der Massen sowie durch Unregelmäßigkeiten in der Bahn entsteht, und welche man nach Scheffler durchschnittlich etwa zu $0,4 \cdot P$ voraussetzen kann. Die Resultirende MS dieser beiden Kräfte hat daher eine schiefe Richtung gegen die Ase, welche sie in C schneidet. Man zerlege nun in diesem Durchschnittspunkte C die Resultirende CS in die beiden gedachten Componenten CP und CH . Die Verticalkraft P strebt dann die Ase zu biegen, und kann das biegende Moment für jeden Punkt leicht wieder aus dem Seilpolygon bestimmt werden. Zunächst ist klar, daß die angreifende Kraft CS mit den beiden durch die Schienenköpfe D und E gegen die Radkränze ausgeübten Reactionen R_1 und R_2 im Gleichgewichte sein muß. Hierzu ist erforderlich, daß diese drei Kräfte S , R_1 und R_2 sich in demselben Punkte und zwar in dem Schwerpunkte M schneiden, welcher der stete Angriffspunkt der Kraft S ist, wie sehr dieselbe bei wechselnder Fahrgeschwindigkeit ihrer Richtung nach auch schwanken möge. Zieht man daher die Verbindungslinien DM und EM , so erhält man in ihnen die Richtungen der beiden Schienenreactionen R_1 und R_2 , welche die Ase in den Schnittpunkten F und G angreifen. Die verticalen Componenten V_1 und V_2 dieser Kräfte müssen mit P und die horizontalen Componenten H_1 und H_2 mit H im Gleichgewichte stehen. Um diese einzelnen Kräfte selbst ihrer Größe nach

fennen zu lernen, mache man wieder $o\text{P}$ gleich der Verticalkraft CP (indem vorläufig von den Horizontalkräften H , H_1 und H_2 abgesehen wird), wähle

Fig. 48.



den Pol O in einem Abstände von $o\text{P}$ gleich der Momentenbasis und zeichne in bekannter Art das Seilpolygon acb . Der zur Schlußlinie ab parallele Polstrahl Op theilt nun wieder die Kraft P oder $o\text{P}$ in p in zwei Seitenkräfte $op = P_1$ und $p\text{P} = P_2$, welche die Beträge angeben, mit denen die Gesamtlast P auf die Zapfen A und B sich vertheilt. Um die Verticalcomponenten V_1 und V_2 der Schienenreactionen zu ermitteln, hat man nur nöthig, von F und G die Perpendikel bis zum Durchschnitt mit dem Seilpolygon in $f'f$ und $g'g$ zu ziehen und mit der dadurch erhaltenen Seilpolygonsseite fg parallel den Polstrahl OB zu legen. Man hat dann V_1 in $\text{B}o$ und V_2 in PB gefunden und erhält, nachdem man $FV_1 = o\text{B}$ und $GV_2 = \text{B}\text{P}$ gemacht hat, auch die Reactionen R_1 und R_2 und deren horizontale Componenten H_1 und H_2 in H_1F und H_2G , deren algebraische Summe natürlich mit H gleich und entgegengesetzt ist.

Man kann jetzt, wenn von den Horizontalkräften zunächst wieder abgesehen wird, die Verticalkräfte V_1 und V_2 erzeugen durch die Drucke, welche die Radnaben in J, K, L und N gegen die Aze ausüben. Nach dem Früheren findet man diese Größen, wenn man durch jene Punkte die Verticalen bis zum Seilpolygon legt, und den Durchschnitt i mit k und l mit n verbindet. Darauf erhält man durch den mit ik parallel gezogenen Polstrahl OT in To den nach unten gerichteten Druck T_1 der Nabe in J und in BT den vertical aufwärts gerichteten Nabendruck T_2 in K . Ebenso liefert der mit ln parallele Polstrahl OU in UB den vertical aufwärts gerichteten Druck U_2 der Nabe in L gegen die Aze und in BU den abwärts wirkenden Druck U_1 in N .

Ersetzt man daher die Belastung P durch die Zapfendrucke P_1 und P_2 und die Schienenreactionen durch die Nabendrucke T und U , so erhält man das Kräftepolygon $opBUTo$ und ihm entsprechend das Seilpolygon $abnlkia$, dessen Ordinaten wieder die Momente der äußeren, auf Biegung wirkenden Kräfte ergeben. Die größte Anstrengung findet dabei in K , der Ordinate kk' entsprechend statt, und da die Horizontalkraft H ebensowohl nach links wie nach rechts wirken kann, so hat man jede Hälfte der Aze nach dem halben Seilpolygon $mkiam'$ zu bestimmen. Es erklärt sich hieraus, warum man die Eisenbahntaxen in der Mitte schwächer machen darf als in den Schenkeln. Wäre die Horizontalkraft H nicht vorhanden, so würde die Aze zwischen den Rädern überall demselben Bruchmomente ausgesetzt sein und müßte daher daselbst cylindrisch ausfallen (vergl. I. §. 243).

Der Einfluß der Horizontalkräfte H auf die Stärke der Aze ist in der Regel so gering im Vergleiche mit demjenigen der biegenden Kräfte, daß man darauf nicht weiter zu rücksichtigen braucht. Um indeß die Wirkung dieser Kräfte zu erkennen, denke man sich die in M wirkende ganze Kraft S in zwei Componenten Z_1 und Z_2 zerlegt, welche durch die Zapfenmitten A und B hindurchgehen. Diese Kräfte sind, da ihre verticalen Componenten $P_1 = A'A$ und $P_2 = B'B$ bereits ermittelt wurden und ihre Richtungen durch MA bzw. MB gegeben sind, sofort gefunden, wenn man A' und B' horizontal auf AM und BM projectirt. Man erhält dann auch in $A''A' = H_3$ und in $B''B' = H_4$ die horizontalen Componenten der Zapfenkräfte Z . Die Aze wird daher im Ganzen von vier Horizontalkräften angegriffen, nämlich den beiden letztgedachten H_3 und H_4 , die ihre Angriffspunkte in den Zapfen A und B haben, und von den beiden aus den Schienenreactionen folgenden H_1 und H_2 , welche in den Nabensitzen als den Verbindungsstellen der Räder mit der Aze wirksam anzunehmen sind. Für diese Kräfte gilt natürlich die Beziehung $H_3 - H_4 = H = H_1 - H_2$, und es wird die Aze durch dieselben auf Zug beansprucht und zwar

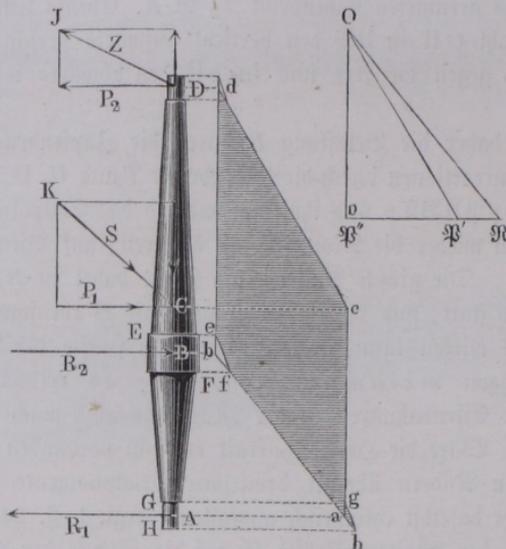
der Schenkel AJ durch H_3 ,

der Schenkel BN durch H_4 ,

der Schaft KL durch $H_3 - H_1 = H_4 - H_2$.

§. 9. In welcher Art die Bestimmung der Bruchmomente aus dem Seilpolygon bei einer Kranssäule AD , Fig. 49, geschehen kann, dürfte nach dem Vorher-

Fig. 49.

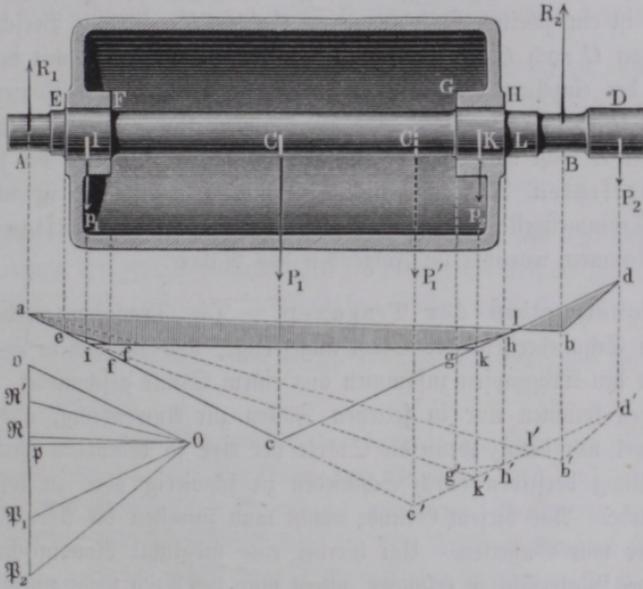


gehenden leicht zu ermitteln sein. Hier wirken die beiden äußeren Kräfte, nämlich die Strebekraft $KC = S$ und der Stangenzug $DJ = Z$ auf die in den Zapfen A und B unterstützte Ase. Zerlegt man diese beiden Kräfte wieder in ihre horizontalen und verticalen Componenten, so sind hier nur die ersteren, die Säule auf Abbrechen angreifenden Horizontalcomponenten P_1 und P_2 in Betracht zu ziehen. Es ist übrigens leicht einzusehen, (vergl. I. Anhang §. 38. Beispiel), daß diese beiden Kräfte einander gleich sein müssen, folglich ein Kräftepaar bilden, welches nur durch ein anderes Kräftepaar im Gleichgewichte gehalten werden kann, das durch die Reactionen R_1 und R_2 der Zapfen A und B gebildet wird. Zeichnet man für P_1 und P_2 das Kräftepolygon $oP'P''$ und wählt den Pol O in bekannter Art, so erhält man das Seilpolygon $acdb$, worin a und b die Schnitte der Außenseile mit den Richtungen der Lagerreactionen R_1 und R_2 sind. Folglich wird ba die Schlußlinie im Seilpolygon, und der mit ihr parallele Polstrahl OK liefert die beiden gleichen und entgegengesetzten Lagerreactionen $R_2 = oK$ und $R_1 = Ko$. Man erhält daher dem Kräftepolygon $oP'P''Ko$ entsprechend das Seilpolygon $acdba$, welches in $hgcdelfh$

übergeht, sobald man die Reactionen der Lager durch ihre in den Querschnitten durch H, G, E und F wirkenden Componenten ersetzt denkt.

Als ein ferneres Beispiel möge noch die Inanspruchnahme einer Trommelwelle für Windwerke untersucht werden, welche, durch die Zapfen A und B , Fig. 50 unterstützt, zwischen diesen die Naben EF und GH der Winde-

Fig. 50.



trommel trägt, während der Antrieb einem Rade ertheilt wird, das auf dem freien Arschengel bei D angebracht ist. Nimmt man an, die Last P_1 hänge in der Mitte C der Trommel und die Triebkraft P_2 wirke abwärts und zeichnet das Kräftepolygon $o P_1 P_2 o$ mit dem Pol O , so erhält man in bekannter Weise das Seilpolygon $acdba$.

Zieht man mit der Schlußlinie ba parallel den Polstrahl OR , so giebt Ro die Lagerreaction R_1 in A und $P_2 R$ diejenige R_2 in B an. Die Verticalen durch die Nabenmitten I und K liefern in der Verbindungslinie ik eine neue Seilpolygoneite, welche dazu benutzt werden kann, durch einen damit parallelen Polstrahl Op die Kräfte $p_1 = op$ und $p_2 = pP_1$ zu finden, mit welchen die Naben der Trommel durch die Last P_1 auf die Axe gepreßt werden.

Eine fernere Zerlegung dieser Nabendrucke nach den Querschnitten durch E, F, G und H liefert in der mehrfach erläuterten Weise die Punkte e, f, g

und h des Seilpolygons $aefghdba$. Dasselbe läßt sofort erkennen, daß das Bruchmoment der Axc in dem über l liegenden Punkte L zu Null wird, folglich die elastische Linie der Axc an dieser Stelle einen Wendepunkt zeigen wird.

Da bei dem Auf- oder Abwickeln des Seils der Angriffspunkt der Last P sich allmählig über die ganze Länge der Trommel verschiebt, so wird man auch noch für einige andere Lagen dieses Angriffspunktes das Seilpolygon construiren, um die ungünstigste Beanspruchung der Axc zu finden. In der Figur ist ein zweites Seilpolygon $aef'g'h'd'b'a$ für die Verschiebung der Last von C nach C' gezeichnet, woraus man erkennt, daß mit der Veränderung der einzelnen Momente auch der Punkt l , wo das Moment verschwindet, seinen Ort wechselt. Es ist übrigens klar, daß ein derartiger Wendepunkt L nicht vorhanden ist, wenn die Kraft P_2 in einer der Last P_1 entgegengesetzten Richtung wirkt. Die Stärke der Axc ist übrigens bei einer Trommelwelle hauptsächlich mit Rücksicht auf die Torsionsfestigkeit zu bestimmen, worüber im Folgenden das Nähere.

§. 10. Die Construction der Tragaxen. Die Tragaxen werden am besten von Schmiedeeisen oder Stahl angefertigt, und in solchem Falle fast immer mit den Tragzapfen zusammen aus einem Stücke geschmiedet. Gußeiserne Axen kommen nur in seltenen Fällen zur Anwendung, und zwar in der Regel nur dann, wenn die Stärke der Axc so bedeutend wird, daß die Herstellung derselben durch Schmieden zu schwierig oder zu kostspielig werden würde. Aus diesem Grunde macht man zuweilen die Axen schwerer Wasserräder von Gußeisen. Um hierbei eine möglichst ökonomische Verwendung des Materials zu erlangen, pflegt man den Axen wohl zwischen den Tragzapfen gerippte Querschnitte, meist kreuz- oder sternförmige, wie Fig. 51

Fig. 51.

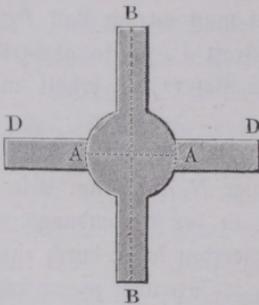
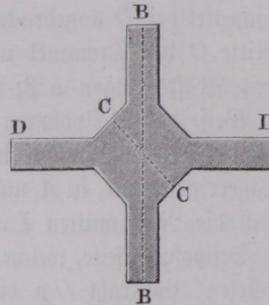


Fig. 52.



und 52, zu geben. Man hat dann nur dafür Sorge zu tragen, daß die Axen an den Tragpunkten, wo die Naben von Rädern, Hebeln zc. auf den Axen