

## DREIZEHNTE KAPITEL.

# KINEMATISCHE SYNTHESE.

---

*In magnis et voluisse satest.*

PROPERTIUS.

### §. 138.

#### **Aufgabe der kinematischen Synthese.**

Der kinematischen Analyse, mit welcher wir uns durch eine grosse Reihe von Untersuchungen hindurch beschäftigt haben, steht die kinematische Synthese gegenüber. Während das analytische Verfahren die Eigenschaften des Bewegungszwanges kennen lehrt, welche die aus gegebenen Elementenpaaren, kinematischen Ketten und Mechanismen gebildeten Verbindungen besitzen, fällt dem synthetischen Verfahren die schon bei der „allgemeinen Lösung des Maschinenproblems“ (§. 3) hervorgehobene Aufgabe zu, diejenigen Elementenpaare, Ketten und Mechanismen anzugeben, durch deren geeignete Verbindung sich ein Bewegungszwang von gegebener Art verwirklichen lässt.

Betrachten wir diese Aufgabe für sich, auf ihre innere Bedeutung hin, so stellt sie sich als eine der höchsten, letzten, vielleicht die bedeutendste aller derjenigen heraus, welche uns nach einander entgegengetreten sind, da sie sich mit der Schöpfung neuer Maschinen, also mit der Fortentwicklung des Maschinenwesens als Ziel, unmittelbar befasst. Aus diesem Grunde, und da die Beschäftigung mit dieser Aufgabe die Analyse voraussetzt, bildet die Synthese die letzte der uns in der theoretischen Kinematik zufal-

lenden Aufgaben, gleichsam den Schlussstein des zu errichtenden Lehrgebäudes.

Dem Leser, welcher den vorhergehenden Untersuchungen ohne Unterbrechung gefolgt ist, wird nicht entgangen sein, dass sich nach und nach synthetische Sätze bereits eingefunden haben, sei es bei der allgemeinen Auffassung, zu welcher die Entwicklungsgeschichte der Maschine Veranlassung gab, sei es bei den besonderen Betrachtungen über einzelne Elementenpaare, sowie ganzer Klassen von Mechanismen und vollständigen Maschinen.

Diese Sätze haben den Weg zur Lösung der Aufgabe mehr und mehr eingegrenzt, sodass dasjenige, was die Synthese etwa zu erreichen vermag, sich in grösseren Umrissen bereits zu zeigen begonnen hat. Dennoch lässt sich auch auf dem bereits erreichten Punkte die Aufgabe noch mehrfach verschieden auffassen. Es wird daher zunächst nöthig sein, die Richtung, in welcher die wissenschaftliche Synthese der Gesamtheit der sich darbietenden Probleme gegenüber am ersten Erfolg verspricht, festzustellen.

Wie mir scheint, lassen sich zwei Hauptrichtungen unterscheiden, welche nach dem zu erstrebenden Ziele hinführen. Die eine kann die direkte, die andere die indirekte genannt werden. Jede derselben spaltet sich wieder in zwei besondere Zweige, den des allgemeinen und den des speziellen Verfahrens. Wir wollen versuchen, die Brauchbarkeit dieser verschiedenen Richtungen *a priori* zu prüfen.

### §. 139.

#### Direkte kinematische Synthese.

Die direkte und zugleich allgemeine Synthese würde unmittelbar anzugeben haben, welche Mechanismen in jedem Falle zur Erzielung einer geforderten Orts- oder Formänderung eines zu bearbeitenden Werkstückes, oder zur Verwerthung der in einem Körper gebotenen Naturkraft in einer Maschine anzuwenden wären. Selbst eine nur oberflächliche Prüfung zeigt aber bald, dass dieser Weg nicht der empfehlenswerthe sein kann. Denn unserer Erfahrung und Analyse gemäss kann ein und derselbe Bewegungszweck auf verschiedene, oftmals sehr zahlreiche Arten erreicht werden. Die Synthese hätte also eine grössere Zahl von Antworten auf ein-

mal zu geben, oder aber die beste der möglichen Lösungen sofort zu liefern. Letzteres ist aber geradezu unausführbar wegen des Umstandes, dass die praktische Seite der einzelnen Lösung grossentheils aus der kinematischen Sphäre herausfällt (s. Schluss v. §. 3). Zwei Dampfmaschinen von verschiedener Bauart z. B. können unter verschiedenen Umständen ganz gleich gut, gleich brauchbar, gleich praktisch sein, während sie sich kinematisch stark unterscheiden. Wir haben daher keine Aussicht, die allgemeine direkte Synthese brauchbar ausbilden zu können.

Wenden wir uns deshalb zur speziellen direkten Synthese. Hierunter ist das Verfahren zu verstehen, welches für eine geforderte Orts- oder Formänderung unmittelbar ein Elementenpaar bestimmt. Dies ist in der That allgemein möglich. Denn wenn wir die geforderte Bewegung in jeder Beziehung kennen, so vermögen wir gemäss den Sätzen in Kap. II. die Axoide der beiden Elemente anzugeben, und alsdann, wie in Kap. III. nachgewiesen wurde, auch die denselben zu gebenden Profilformen zu ermitteln. Vom letzteren ausgenommen würden nur diejenigen Fälle sein, in welchen die Polbahnen stets in unendliche Ferne fallen (vergl. §. 9). Hier hätte eine besondere weitere Behandlung der Aufgaben stattzufinden, welche auf die allgemeine direkte Synthese zurückführt. Allein wir brauchen den Gegenstand in der That nicht weiter zu verfolgen, da wir längst wissen, dass die Lösung der Bewegungsaufgaben durch Paare von Elementen in sehr vielen, ja den allermeisten Fällen weit weniger praktisch ist, als diejenige, welche eine kinematische Kette zu Grunde legt. Somit stellt sich auch dieser zweite Weg den praktischen Aufgaben gegenüber als aussichtslos heraus.

#### §. 140.

### Indirekte kinematische Synthese.

Das indirekte synthetische Verfahren besteht darin, von allen denjenigen Problemen die Lösung im voraus anzugeben, unter welche das gegebene Problem möglicherweise fallen kann. Mit anderen Worten heisst dies: die Gesamtheit der kinematischen Probleme im voraus lösen. Diese Aufgabe stellt sich auf den ersten Blick als so weitschichtig, ja so maasslos, der Versuch ihrer Lösung

als so kühn dar, dass sie hier vielleicht nicht anders, denn als ein blosser theoretischer Satz erscheint. Allein ich kann zurückverweisen auf Untersuchungen, die uns bereits gezeigt haben, dass die kinematischen Probleme nicht ein grenzenloses Gebiet bedecken. Ich erinnere nur an die gewiss bemerkenswerthe Kleinheit der Zahl der niederen Paare (§. 15), sowie an die Zählbarkeit der aus jeder Kette herstellbaren Mechanismen (§. 3). So auch hier. Bei näherer Betrachtung stellt sich das Gebiet der kinematischen Probleme wenigstens als übersehbar heraus. Spannt man daher die Forderungen nicht zu hoch, so bietet die Lösung der vorhin bezeichneten Aufgabe innerhalb eines grossen Gebietstheiles, insbesondere desjenigen, auf welchem sich unsere Maschinenpraxis bewegt, keine unüberwindlichen, wenn auch grosse Schwierigkeiten.

Zunächst ist die spezielle indirekte Synthese gemäss den Aufschlüssen, welche die Analyse uns gegeben hat, wirklich durchführbar. Sie hat anzugeben, welche kinematischen Elementenpaare überhaupt bestehen. Nun wissen wir aber (aus §. 56), dass die Zahl der Elemente keine besonders grosse ist, indem wir dieselben durch eine mässige Zahl von Zeichen auszudrücken vermochten. Demzufolge muss sich auch die Zahl der aus denselben zu bildenden Paare innerhalb nicht zu weiter Grenzen bewegen. Dies ist in Wahrheit der Fall. Wir sehen sich also hier thatsächlich ein Feld für die Synthese eröffnen.

Der allgemeinen indirekten Synthese wird sodann die Aufgabe zufallen, für die kinematischen Ketten dasselbe zu leisten, was die spezielle Synthese für die Paare thut. Als Hinderniss stellt sich hier die grosse Zahl der möglichen Fälle entgegen. Allein diese schmilzt bei näherer Prüfung doch bedeutend zusammen. Vor allem stellt sich die Zahl der einfachen kinematischen Ketten, also derjenigen, bei welchen kein Glied mehr als zwei Elemente besitzt, nicht so gross heraus, als sich erwarten liesse. In der That aber macht die Bestimmung der möglichen einfachen Ketten schon einen sehr ansehnlichen Theil der Aufgabe aus.

Zwar kann nämlich die Zusammensetzung der Ketten bis ins Endlose weiter getrieben werden, sodass die wirkliche Erschöpfung der Fälle unmöglich ist; auch muss grundsätzlich den zusammengesetzten Ketten dieselbe Berechtigung auf Untersuchung beigegeben werden, wie den einfachen. Allein in der Maschinenpraxis wird die Zusammensetzung der Ketten thatsächlich nicht sehr weit getrieben. Wo dies dennoch scheinbar der Fall ist, lässt sich fast

immer durch die Scheidung der Zwecke, welchen die Theilgruppen dienen, das Ganze so theilen, dass die Zusammensetzung der Kette als die Aneinanderreihung von Mechanismen aufgefasst werden kann, welche für sich allein nicht zu sehr verwickelt sind. Die beschreibende Analyse (§. 135) hat uns hierüber weitgehende und befriedigende Aufschlüsse gegeben. Eine genauere Trennung der Fälle werden wir weiter unten noch vorzunehmen haben. Immerhin treten zusammengesetzte Ketten nicht selten als Einheiten auf. Allein mehrere wichtige derselben lassen sich jetzt schon in den Bereich der synthetischen Aufsuchung hineinziehen, ohne deren Umfang über Gebühr zu vergrössern; auf andere kann die Untersuchung mit der Zeit ausgedehnt werden.

Somit sehen wir denn, dass die Synthese auf dem indirekten Wege wirklich etwas zu leisten im Stande ist, dass wir diesem Wege also mit Aussicht auf praktischen Erfolg nachgehen dürfen.

### §. 141.

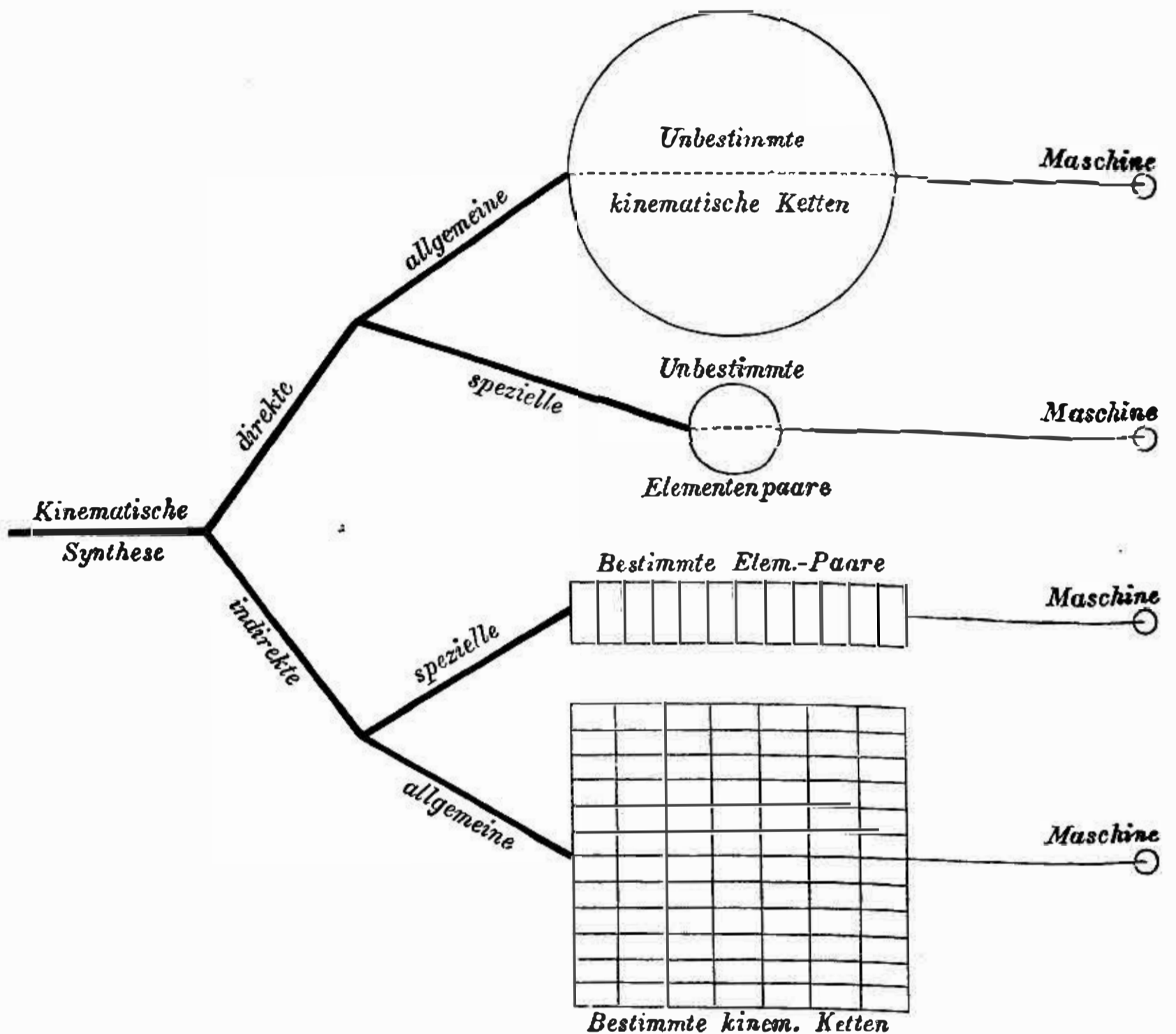
#### Gesamtbild des synthetischen Verfahrens.

Bei der unleugbaren grossen Wichtigkeit des Gegenstandes erscheint es nicht unangemessen, dem Leser ein sinnlich erfassbares Bild der synthetischen Verfahrungsweise, wie sie sich nach den eben angestellten Betrachtungen darstellt, vorzuführen; die umstehende Fig. 362 ist hierzu bestimmt.

Die kinematische Synthese als Ganzes trennt sich in direkte und indirekte, von denen jede entweder allgemein, oder speziell sein kann. Die direkte Synthese würde aus den Kreisen der zu Gebote stehenden, kinematisch als elementar anzusehenden Körper nach den Gesetzen der Ketten- und Paarbildung die geeigneten kinematischen Ketten und Elementenpaare zu gestalten haben. Sie stösst theils auf unlösbare Schwierigkeiten, theils liefert sie Resultate, welche nicht verwerthbar sind, hat deshalb eine praktische Bedeutung nicht zu gewärtigen. Die indirekte Synthese bildet und ordnet erstens als spezielle Synthese die möglichen Elementenpaare, und verbindet zweitens als allgemeine Synthese die gefundenen Elementenpaare zu kinematischen Ketten. Aus den regelmässig geordneten Gebieten der Paare und Ketten hebt sie

darauf die für den einzelnen Fall geeignete Verbindung heraus. Selbstverständlich bildet sie diese letztere zum Mechanismus und diesen zur Maschine aus. Ihr allgemeines Verfahren beim Heraus-

Fig. 362.



heben der geeigneten Verbindung aus der Gesamtzahl der verfügbaren ist die Induktion.

Wir müssen jetzt sehen, zu welchen Resultaten uns die nunmehr ausgewählten Wege führen.

### §. 142.

#### Synthese der niederen Elementenpaare.

Die in §. 55 von uns festgestellten Gattungszeichen für die kinematischen Elemente waren zwölf an der Zahl, und zwar hatten wir zehn Zeichen für die starren Elemente:

<i>S</i> Schraube,	<i>H</i> Hyperboloid,
<i>R</i> Drehkörper,	<i>G</i> Kugel,
<i>P</i> Prisma,	<i>A</i> Drehkörperausschnitt,
<i>C</i> Cylinder,	<i>Z</i> Zahn,
<i>K</i> Kegel,	<i>V</i> Gefäss,

und zwei Zeichen für die bildsamen Elemente:

<i>T</i> Zugkraftorgan,	<i>Q</i> Druckkraftorgan,
-------------------------	---------------------------

in Summa zwölf Namenzeichen.

Wir besprechen zuerst die starren Elemente, beziehungsweise ihre Verwendung in Paaren. Zunächst haben wir aber zu bemerken, dass das Element *V* nur mit dem Druckkraftorgan *Q* gepaart wird, also fürs erste hier ausser Betracht bleibt. Sodann ist *G* nur das Zeichen für einen besonderen Drehkörper, ist also unter *R* mit einbegriffen; letzteres gilt auch von *A* als dem Ausschnitt aus einem an sich schon bestimmten Körper. Somit bleiben denn die sieben Elemente

*S, R, P, H, K, C, Z*

zur synthetischen Verwendung. Von den hieraus herstellbaren Elementenpaaren sind uns bereits vollständig bekannt die drei wichtigen Umschlusspaare, von uns für gewöhnlich niedere Paare genannt:

$S^+S^-$  oder (*S*) das Schraubenpaar,  
 $R^+R^-$  oder (*R*) das Drehkörperpaar,  
 $P^+P^-$  oder (*P*) das Prismenpaar.

Das Beiwort „nieder“ müssten wir, streng genommen, um Verwechslungen zu vermeiden, beim Schrauben- und beim Drehkörperpaar stets hinzufügen; doch haben wir bereits gesehen, dass dasselbe für gewöhnlich wegbleiben kann. Für (*R*) schreiben wir auch gewöhnlich (*C*) und nennen das Paar Cylinderpaar, können aber jeden Augenblick auf die allgemeine Form (*R*) zurückkehren.

Die beiden Paare (*R*) und (*P*) lassen sich gemäss §. 3 als besondere Arten der Gattung (*S*) auffassen. Setzen wir die Grösse der Tangente des Steigungswinkels als Exponenten dem Zeichen *S* an, wie wir früher, §. 56, beim Hyperboloid bereits gethan haben, so haben wir  $(S^0) = (R)$  und  $(S^*) = (P)$ . Wir dürfen also, wofern wir in die Lage kommen, nur Gattungen unterscheiden zu wollen, die niederen Paare unter dem Symbol (*S*) zusammenfassen; oder haben, mit anderen Worten, bei ganz allgemeiner Klassifizierung, wie es für die Synthese erforderlich sein kann, nur das einzige Umschlusspaar (*S*) aufzuzählen.

## §. 143.

## Die einfacheren höheren Elementenpaare.

Das Element  $R$  eignet sich ausser zur Bildung des Umschlusspaares ( $R$ ) auch noch zur Bildung eines höheren Paares, z. B. eines solchen, zu welchem die cylindrischen Reibungsräder, Fig. 363, gehören, welches Paar mit der Formel  $C, C$  oder allgemeiner  $R, R$  zu schreiben sein würde. Suchen wir auch hier alsbald die Gattung auf, zu welcher  $R, R$  als Art gehörte so finden wir diese in dem Paare welches aus allgemeinen Hyperboloiden zusammengesetzt ist, und  $\tilde{H}, \tilde{H}$  geschrieben wird. Aus demselben leiten sich das Paar von unrundem Kegel,  $\tilde{K}, \tilde{K}$ , und das von unrundern Cylindern,  $\tilde{C}, \tilde{C}$ , als Arten ab. Wir haben zahlreiche Ausführungen des letzteren Paares in der Form der Bogenscheiben (§. 21, ff.) kennen gelernt. Ein allgemeines Beispiel zeigt Fig. 364.

Fig. 363.

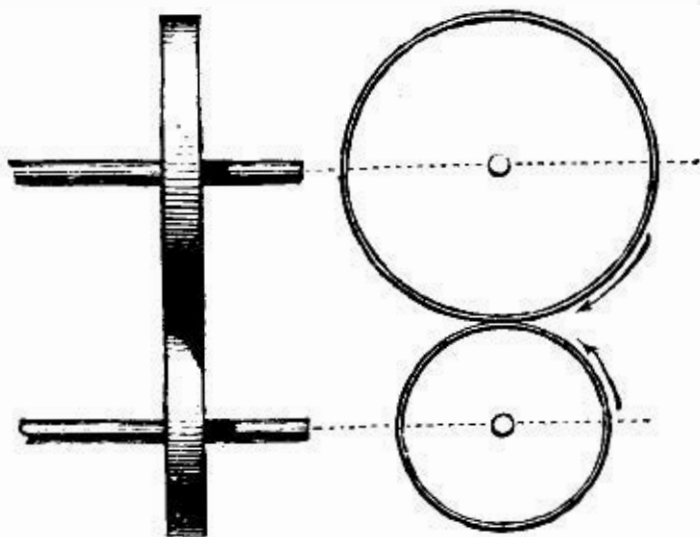
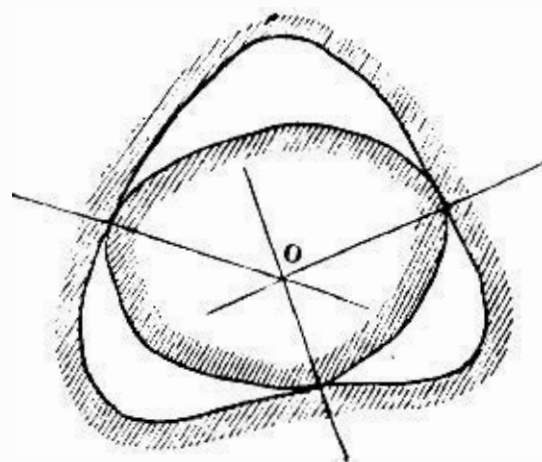


Fig. 364.



Bei weitergeführter Vereinfachung der Form gelangen wir zu dem Paare  $R, R$ , welches wieder einzelne bestimmte, aber immerhin allgemeine Formen annimmt. Wir wollen hier, wie wir bisher schon öfter gethan, suchen, die Paare durch einzelne Grossbuchstaben auszudrücken. Dies geht recht gut an, weil die beiden Partner stets gleiche Buchstaben haben. Wir haben nur bei den Paaren aus Drehkörpern die Verwechslung mit den Umschlusspaaren zu vermeiden. Dies kann dadurch geschehen, dass wir dem Namenzeichen ein Komma beisetzen. Demnach haben wir hier vor uns die Gattung:

$\tilde{H}, \tilde{H}$  oder  $(\tilde{H})$  das allgemeine Hyperboloidpaar.



Dasselbe nimmt die folgenden ihm untergeordneten Artformen an:

$\tilde{K}, \tilde{K}$  oder  $(\tilde{K},)$  Kurven-Kegelpaar,

$\tilde{C}, \tilde{C}$  oder  $(\tilde{C},)$  Kurven-Cylinderpaar,

$R, R$  oder  $(R,)$  allgemeines Drehkörperpaar.

Letzteres zerfällt wieder in die besonderen Formen:

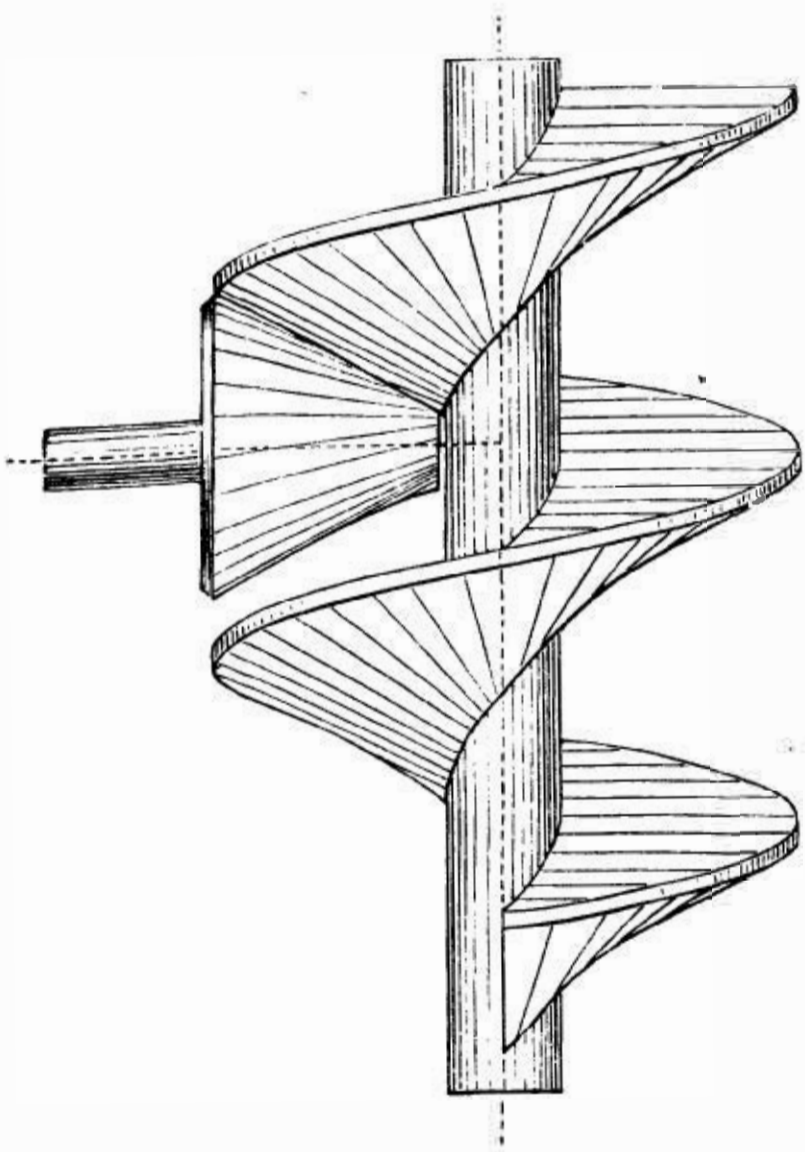
$H, H$  oder  $(H,)$  Normal-Hyperboloidpaar,

$K, K$  oder  $(K,)$  Normal-Kegelpaar,

$C, C$  oder  $(C,)$  Normal-Cylinderpaar.

Zwischenformen zwischen den allgemeinen und besonderen gibt es auch, so die Form  $H, S$ , welche in Fig. 365 dargestellt ist,

Fig. 365.



und bereits früher besprochen wurde, auch die eines Planhyperboloides  $H^o$  mit einem Normalkegel  $K^*$ ). Diese Zwischenformen fallen unter das Klassenzeichen  $(\tilde{H},)$  beziehungsweise  $(H,)$ , indem die Schraube in Fig. 365 in ihrer Eigenschaft als Regelfläche, d. i.  $\tilde{H}$  auftritt, ihre Eigenschaft als Schraube  $S$  aber erst in zweiter Linie steht.

Das Paar  $C, C$  ist zu unterscheiden von dem Umschluss-Cylinderpaar; für gewöhnlich ist es angemessen,  $(R,)$  statt  $(C,)$  zu setzen, damit Verwechslungen vermieden werden. Als besonderer Fall des Paares  $(C,)$  ist das Paar aus Cylinder und

Prisma  $C, P$  zu bezeichnen, welches entsteht, wenn der eine der beiden Cylinder von unendlich grossem Halbmesser gewählt wird. Als verkürztes Paarzeichen kann das Zeichen  $(C_p,)$  dienen, wobei das zwischen  $C$  und  $p$  gesetzte Komma deutlich macht, dass  $C$  und  $P$  zu höherer Paarung verbunden sind.

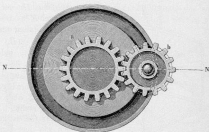
\*) Siehe meinen Konstrukteur, III. Aufl., S. 451.

## §. 144.

## Synthese der Zahnräderpaare.

Wir kommen nun zu den Zahnrädern. Man könnte diese auch schon unter die Gattung ( $\tilde{R}$ ) mit begreifen. Allein die vielfältige Wiederholung einzelner Profilierungen, welche gleichsam zu einem Ganzen erst zusammengesetzt werden, lässt auch eine prinzipielle Sonderung als passend erscheinen. Praktisch ist sie ja durchaus üblich. Bei den Zahnrädern dürfen wir nicht vergessen, dass Zahnräderpaare auch ohne Kettenschluss, unter blossem Paarschluss möglich sind. Ich verweise auf Fig. 366 und die Betrachtungen in

Fig. 366.



§. 43 und 50, wo die wirkliche Existenz dieser Art Paare besprochen wurde.

Betrachten wir zunächst Zahnräder mit kreisförmigen Polbahnen, so können wir diese unter dem Symbol:

$R_1, R_2$  oder  $(R_1)$  als runde Zahnräder

zusammenfassen. Die dieser Gattung angehörigen Arten sind:

$H_1, H_2$  oder  $(H_1)$  Hyperbelräder,

$K_1, K_2$  oder  $(K_1)$  Kegelhäder,

$C_1, C_2$  oder  $(C_1)$  Stirnräder.

Die Zähne dieser Räder sind im allgemeinen als Regelflächen vom Charakter der Axoide, zu denen sie gehören, aufgefasst; gibt man den Zahnkanten aber einen schraubenförmigen Verlauf, so geht  $R$

in  $B$ , über. Die allgemeinste hierbei entstehende Gattung hat die höhere Schraube  $\hat{S}$  als Zahnform, ist also  $B_2, B_3$  oder auch  $(B_2)$  zu schreiben. Als ihr untergeordnete Arten haben wir die Paare:

$H$ , Hyperbel-Schraubenräder,

$K$ , Kegel-Schraubenräder,

$C$ , Stirn-Schraubenräder.

In letztere Art ist das Elementenpaar einbegriffen, welches sich aus zwei Schrauben  $S$ , also in der Form  $S, S$  oder  $(S)$  herstellen lässt, vergl. Fig. 367. Wir ziehen für

Fig. 367.



gewöhnlich die Schreibweise  $(C_2)$  vor. Indessen können wir das Zeichen  $(S)$  beziehungsweise seine höhere Form  $(\hat{S})$  doch noch gut verwenden, indem wir zu beachten haben, dass aus diesem Paare einander umhüllender Schrauben als Klasse das allgemeine Umschlusspaar  $(S)$  als Gattung abgeleitet werden kann, was wir denn auch thun wollen.

Noch aber haben wir höhere Gattungen von Zahnrädern zu verzeichnen, solche nämlich, bei welchen die Polbahnen nicht kreisförmig sind. Wir erhalten die folgenden Gattungen:

$(\hat{B}_1)$ ,  $(B_1)$  und  $(\hat{B}_2)$

nebst den abgeleiteten Arten:

$(\hat{K}_1)$ ,  $(K_1)$  und  $(\hat{K}_2)$

$(\hat{C}_1)$ ,  $(C_1)$  und  $(\hat{C}_2)$ .

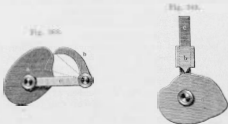
Die Zwischenformen  $H, K$ , (hyperbolisches Planrad mit Kegelrad),  $H, S$ , entsprechend Fig. 365, sind unter dem Gattungszeichen mit einbegriffen. Dasselbe gilt von denjenigen Paaren, bei welchen ein Stirnrad in eine Zahnstange  $P$ , übergeht, indem hierbei  $P$  als besondere Form von  $C$  auftritt.

§. 145.

Kurvenschub-Paare.

Als eine besondere Nebengattung, welche aus der Gattung  $(\hat{B})$  sich abzweigt, ist das Paar zu bezeichnen, welches in den Kurvenschubgetrieben, Fig. 368 und 369 (a. f. S.), zwischen den Gliedern  $a$  und  $b$  besteht. Hier insbesondere ist es ein unrunder Cylinder  $\hat{C}$

mit einem Zahn  $Z_i$  im allgemeinen wird es ein un rundes Hyperboloid  $\tilde{H}$  mit einem allgemein profilierten Zahn  $\tilde{Z}$  sein. Das Paar,



welches als allgemeines Kurvenschubpaar zu bezeichnen wäre, ist zu schreiben:

$$\tilde{H}\tilde{Z} \text{ oder } (\tilde{H}_i).$$

Dies abzuleitenden Arten sind neben  $(H_n)$  noch

$$(K_i) \text{ und } (K_n)$$

$$(\tilde{C}_i) \text{ und } (C_n).$$

Hierher haben wir auch gemäss §. 120 die in den Gesperren, Fig. 370 und 371, angewandten Paarungen zu rechnen. Sie sind,



wofern es sich um gezahnte Drehkörper handelt, gemäss §. 119 zu schreiben  $(R_i)$  und  $(R_n)$ . Demnach heissen sie in der allgemeineren Schreibweise:

$$(\tilde{H}_i) \text{ und } (\tilde{R}_i),$$

aus welchen, wie bei den Zahnrädern, die untergeordneten Formen

abzuleiten sind. Auch hier sind die Fälle der Zahnstange als Abarten, welche beim Uebergang von  $C$  in  $P$  erhalten werden, mit einbegriffen.

## §. 146.

**Zusammenfassung der Paare aus starren Elementen.**

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass sich die Paare, welche aus den starren Elementen gebildet werden können, so ordnen lassen, dass man jedes einzelne womöglich auf eine nächst höhere Form zurückbeziehen kann, bis man zu einer umfassenden und doch noch klar ausgesonderten obersten Form gelangt. Auf diese Weise entstehen regelmässige Ueber- und Unterordnungen, bei welchen wir als die oberste Form die Klasse, also die von uns gewählte äussere Eintheilung, als die nächsttiefere allgemein die Gattung, und als darunterstehend die Art unterscheiden können. Stellen wir hiernach die aufgeführten Elementenpaare zusammen, so erhalten wir folgende Uebersicht.

## Die Paare aus starren Elementen.

Klasse	Gattungen	Arten
I. $(\tilde{S})$ . . . . .	$(S)$ . . . . .	$(S)$ , $(R)$ , $(P)$
II. $(\tilde{H})$ . . .	$(\tilde{H})$ , $(\tilde{K})$ , $(\tilde{C})$ . . .	$(H)$ , $(K)$ , $(C)$
III. $(\tilde{H}_2)$ . . .	$(\tilde{H}_2)$ , $(\tilde{K}_2)$ , $(\tilde{C}_2)$ . . .	$(H_2)$ , $(K_2)$ , $(C_2)$
IV. $(\tilde{H}_3)$ . . .	$(\tilde{H}_3)$ , $(\tilde{K}_3)$ , $(\tilde{C}_3)$ . . .	$(H_3)$ , $(K_3)$ , $(C_3)$
V. $(\tilde{H}_n)$ . . .	$(\tilde{H}_n)$ , $(\tilde{K}_n)$ , $(\tilde{C}_n)$ . . .	$(H_n)$ , $(K_n)$ , $(C_n)$
VI. $(\tilde{H}_2:)$ . . .	$(\tilde{H}_2:)$ , $(\tilde{K}_2:)$ , $(\tilde{C}_2:)$ . . .	$(H_2:)$ , $(K_2:)$ , $(C_2:)$
VII. $(\tilde{H}_2:)$ . . .	$(\tilde{H}_2:)$ , $(\tilde{K}_2:)$ , $(\tilde{C}_2:)$ . . .	$(H_2:)$ , $(K_2:)$ , $(C_2:)$

Wir haben hier sieben Klassen von Paaren, welche die Gesammtheit der hier in Betracht kommenden Paare und ihrer vielgestaltigen Ausführungen in sich begreifen. Jene besonderen Gattungen und Arten, welche beim Uebergang von  $C$  in  $P$ , sowie auch von  $H$  in  $H^0$  und  $K$  in  $K^0$  entstehen, können als Varietäten der Gattungen und Arten durchweg nebenhergeführt werden. Fälle,

welche scheinbar aufs äusserste verwickelt sind, wie z. B. die Patronen oder Rosetten der Guillochirmaschinen mit ihren Führstiften, sind in unserer Eintheilung mit einbegriffen; diese, oftmals in den freiesten Formen gehaltenen Paare zählen in Klasse II. Ganz freie räumliche Gestaltungen lassen sich nöthigenfalls unter die Klasse I. bringen. Im Ganzen ist die erhaltene Zahl klein ausgefallen, trotzdem wir in der bestimmten Unterscheidung von Eigenthümlichkeiten, welche man am Ende auch noch unter anderen Formen hätte mit einrechnen können, wie z. B. Klasse VI und VII nicht sparsam gewesen sind. Der Hinblick auf den praktischen Zweck unserer Untersuchung liess es aber angemessen erscheinen, die Eintheilung recht deutlich zu machen.

### §. 147.

#### Elementenpaare mit Zugkraftorganen.

Die Zugkraftorgane Band  $T_p$ , Seil  $T_s$ , Draht  $T_c$ , Gliedkette  $T_g$ , Gelenkkette  $T_j$ , haben hinsichtlich der Art und Weise, in Elementenpaare einzugehen, Eigenschaften, welche in dem Symbol  $T$  allein mit ausgedrückt sind. Wir brauchen deshalb bloss dieses aus der ganzen Reihe bei der Klassenbildung zu berücksichtigen. Die Paarung von  $T$  mit anderen Elementen findet so statt, dass dem Kraftschluss, und zwar einem durch Zug bewirkten, stets Rechnung getragen wird. Das Organ  $T$  wird deshalb nur um „positiv“ \*) gestaltete starre Elemente herumgelegt, mehr oder weniger herumgewickelt, zu welchem Ende dem starren Elemente eine besondere Formung zu Theil wird.

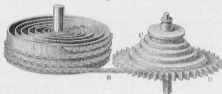
Fangen wir wieder bei der Schraube an, so finden wir in der Verbindung von  $T$  mit  $S$  sowohl niedere als höhere Formen vielfach in Anwendung. Die gewöhnliche Kettentrommel eines Krans bietet uns das Paar  $S, T$ , welches wir verkürzt  $(S, t)$  schreiben können; ganz dieselbe allgemeine Formel gilt für die cylindrische Seiltrommel, um welche sich ein Seil schraubenförmig herumlegt, indem hier der Cylinder als Schraube aufzufassen ist (vergl. §. 15). Höhere Schrauben,  $\tilde{S}$ , sind gar nicht selten mit  $T$  gepaart zu finden, so in der Kettenschnecke der Spindeluhr, Fig. 372, auch der

---

\*) Siehe §. 56.

konischen Schnecken trommel, welche neuerdings für die Fördermaschinen der Gruben wieder sehr in Gebrauch kommt, ebenso in

Fig. 372.



der Seilschnecke des Spinnstahles, Fig. 373. Auch das Konoïd mit schraubenförmiger Seil-Bewicklung, Fig. 374, gehört hierher. Wir

Fig. 373.

Fig. 374.



haben also hier Vertreter der Elementenpaare der Klasse ( $\dot{S}f$ ) vor uns, zu welcher die vorhin angezogene Gattung ( $Sf$ ) als weniger hohe Form gehört. Beim Uebergang von  $S$  in  $R$

Fig. 375.

erhalten wir die Art ( $Rf$ ), wovon Fig. 375 zwei Beispiele darstellt.



Die nächste Klasse wird durch die Paarung von  $T$  mit  $\dot{H}$  geliefert, und heisst ( $\dot{H}f$ ). Als Vertreter der Art ( $\dot{C}f$ ) ist das Paar aus Seiltrommel und Band-

seil, welches letztere sich in wiederholten Spiralwindungen auflegt, anzuführen.

Mit  $\dot{H}_2$  lässt sich die Kette  $T_1$  paaren. Esientsteht die Klasse  $(\dot{H}_2, T_1)$  mit vielen Anwendungen.

Die Verbindungen des Elementes  $T$  mit den starren Elementen  $\dot{H}_2$  und  $\dot{H}_1$  können in die Klasse  $(\dot{S}, T)$  gezählt werden; wir brauchen sie deshalb hier nicht gesondert anzuführen.

Gesperre, welche auf Zugkraftorgane angewandt sind, kommen vor, ja sind neuerdings wieder häufiger geworden. Sie sind sowohl einseitig wirkend, d. i. als laufende Gesperre ausgeführt, wie bei Flaschenzügen, als auch zweiseitig wirkend oder als ruhende Gesperre; letzteres in der Fowler'schen Klappentrommel, siehe Fig. 376, welche für den Betrieb des Dampfpluges und für die

Fig. 376.

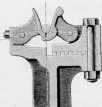
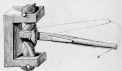


Fig. 377.



Schiffstauberei so ausgezeichnete Dienste leistet. Wir haben somit die beiden Klassen  $(\dot{H}_2, T)$  und  $(\dot{H}_1, T)$  nicht bloss als theoretisch angebar, sondern auch als praktisch belegt anzuführen. Ist in einem Gesperre der vorliegenden Art  $T$  in der Form  $T_1$ , d. i. als Gliedkette ausgeführt, wie z. B. im Bernier'schen Aufzug, so kommt statt  $H$  das Element  $H_1$  zur Verwendung. Somit sind auch die beiden Klassen  $(\dot{H}_2, T_1)$  und  $(\dot{H}_1, T_1)$  aufzuzählen.

Wir hätten somit die sieben Klassen der starren Elemente durchlaufen und bei jeder die Einführung des Zugkraftorganes möglich gefunden. Noch ist aber eine letzte Paarung ausführbar. Es ist diejenige des Zugkraftorganes mit seines Gleichen. Wir besprachen diesen Fall bereits in §. 131 bei der Erörterung des Spinnprozesses, ich habe aber auch in der Willfeder, Fig. 377, ein



Beispiel vor uns, woselbst die deutliche Paarung  $T, T$  als eine schon sehr früh benutzte uns begegnet. Das Symbol für diese Klasse von Elementenpaaren ist ( $T$ ).

### §. 148.

#### Elementenpaare mit Druckkraftorganen.

Das Druckkraftorgan  $Q$  nimmt, wie wir aus §. 56 wissen, mehrere besondere Formen an, nämlich die flüssige  $Q_\lambda$ , die gasförmige  $Q_\gamma$ , und die körnige oder kugelige  $Q_{\bar{g}}$  oder  $Q_g$ . Obwohl diese Formen nicht wenig von einander verschieden sind, lassen sie sich doch hinsichtlich der kinematischen Paarung durch das allgemeine Symbol  $Q$  ausdrücken.

Das Element  $Q$  kann vermöge des Umstandes, dass es in allen Richtungen mit Ausnahme derjenigen auf Zusammendrückung als widerstandslos anzusehen ist, auf die mannigfachste Weise mit starren Elementen gepaart werden. Daher ist seine Paarung mit allen den Elementen aus den Paarklassen I bis V, §. 146, ausführbar, indem man einen der beiden gleichen Partner jener Paare durch ein Druckkraftorgan ersetzt. Die Turbine, die Schiffsschraube, das Wasserrad, die Kapselräderwerke, die Knetmaschinen u. s. w. liefern hierzu zahl- und formenreiche Beispiele. Wir erhalten demnach hier die Klassen:

$$(\bar{S}_{1,q}), (\bar{H}_{1,q}), (\bar{H}_{2,q}).$$

Noch liessen sich die Klassen  $(\bar{H}_{s,1,q})$  und  $(\bar{H}_{s,2,q})$  unterscheiden; wir können dieselben indessen ganz wohl unter  $(\bar{S}_{1,q})$  mit einrechnen.

Ferner aber finden auch die Gesperre, und zwar sowohl die laufenden, als die ruhenden, bei den Druckkraftorganen Anwendung, nämlich in der Form der Ventile, wie wir aus §. 126 wissen. Fassen wir das Sperrstück auch hier als Zahn,  $Z$ , auf, was im Hinblick auf die Formen der Gesperre aus starren Elementen sehr wohl angeht, so haben wir hier wiederum zwei Paarklassen zu verzeichnen, welche wir schreiben können:

$$(Q_{1,z}) \text{ und } (Q_{2,z}).$$

In keinem der vorgeführten Fälle ist übrigens die Paarung statthaft, ohne dass nicht gleichzeitig eine andere ausgeführt wäre,

diejenige nämlich des Druckkraftorganes mit dem Gefässe oder der Kapsel  $V$ , Fig. 378. Derselben steht ausserdem gegenüber die

Fig. 378.



Fig. 379.



Paarung mit dem Verdränger oder Kolben  $V^+$ , Fig. 379, so dass wir diese Klasse von Elementenpaaren im allgemeinen schreiben können:

( $V_0$ ).

Schon früher, §. 41, haben wir gesehen, dass diese Art von Paarung sich auch auf die Zugkraftorgane ausdehnen lässt und ausgedehnt findet, wie bei der im Gerinne geführten Gelenkkette, Fig. 380, und bei der Druckgurtbremse, Fig. 381; auch wissen wir,

Fig. 380.



Fig. 381.



dass dasselbe Prinzip in gewissen Arbeitsmaschinen zur Herstellung von Drahtwaaren Anwendung findet. Wir sind indessen nicht genöthigt, deshalb eine Klasse von der Form ( $V_0$ ) aufzustellen, sondern können in den angeführten Fällen das verwendete bildsame Element als ein Druckkraftorgan ansehen. Somit hat es denn bei der Klasse ( $V_0$ ) sein Bewenden.

Eine andere, bemerkenswerthe Paarung von  $Q$  ist aber diejenige mit  $T$ . In der That kann  $Q$  ganz gut mit einem Zugkraftorgan gepaart werden, wenn letzteres die Form  $T_1$  oder  $T_2$ , d. i. diejenige der Kette aus Gliedern oder Gelenkstücken besitzt.

Die Paternoster-Pumpwerke, seien sie mit Kübeln, seien sie mit Kolbenplatten ausgerüstet, die Becherwerke der Mühlen und der Getreidespeicher, die Baggermaschinen u. s. w. geben sattsam Beispiele hierzu ab. Man könnte darauf kommen, die gefässförmige Gestalt der Kettenglieder in dem Zeichen besonders auszudrücken, z. B. ein mit Zellen ausgerüstetes Zugkraftorgan  $T_1$  zu nennen;

allein diese Ausführlichkeit ist entbehrlich, da die Anschreibung einer Paarung zwischen  $T_2$  und  $Q$  schon an sich ja ausdrücken kann, dass die geeignete Ausrüstung des Zugkraftorgans, vermöge dessen es das Druckkraftorgan mit sich fortzuführen vermag, vorhanden sei; mit anderen Worten: wir setzen die Möglichkeit der Paarung von  $T$  mit  $Q$  da immer schon voraus, wo wir bis zur Bildung einer Formel für ein solches Paar vorgehen. Manchmal bedarf es übrigens gar keiner besonderen Ausrüstung, wie die Verasche sogenannte Seilpumpe zeigt, bei welcher ein blosses Seile  $T_2$  durch Adhäsion Wasser in die Höhe führt\*). Somit haben wir denn hier eine Klasse von Elementenpaaren vor uns, welche in der Praxis reich vertreten ist, und können dieselbe unter dem allgemeinen Zeichen  $(T_{2,1})$  zusammenfassen.

Endlich sind noch analog der Paarung von  $T$  mit  $T$ , Paarungen von  $Q$  mit  $Q$  ausführbar. Dieselben treten uns in ziemlicher Häufigkeit in einer Form entgegen welche wir durch das Zeichen  $(Q_{\gamma,\lambda})$  ausdrücken können; es handelt sich um die Windkessel der Pumpen, Wassersäulenmaschinen, Spritzen, um die Spiralpumpen, Wassertrommelgebläse u. s. w. Allgemein können die Paare dieser Klasse unter dem Zeichen  $(Q_1)$  zusammengefasst werden.

### §. 149.

#### Zusammenfassung der Paare mit bildsamen Elementen.

Bei der summarischen Aufzählung der letztgefundenen Elementenklassen können wir uns damit begnügen, die allgemeinen Klassenzeichen zusammenzustellen, da wir das Verfahren der weiteren Eintheilung in Gattungen und Arten bereits bei den Paaren aus starren Elementen kennen gelernt haben. Zu den sieben dort unterschiedenen Klassen gesellen sich nunmehr:

a) für die Zugkraftorgane die sechs folgenden Klassene

VIII. $(\tilde{S},t)$	XI. $(\tilde{H},t;)$
IX. $(\tilde{H},t)$	XII. $(\tilde{H},t:)$
X. $(\tilde{H}_2,t)$	XIII. $(\tilde{T},)$

\*) Die Seilpumpe, auch Wasserseilmaschine genannt, wird häufig Brunel, dem Erbauer des Themsetunnels, zugeschrieben. Sie ist bedeutend älter. Ausführliches bei Langsdorf, Maschinenkunde II, S. 226, auch Hâchette, traité él. S. 134.

b) für die Druckkraftorgane die acht folgenden Klassen:

XIV. ( $\tilde{S}_{,q}$ )	XVIII. ( $Q_{,2}$ )
XV. ( $\tilde{H}_{,q}$ )	XIX. ( $V_{,q}$ )
XVI. ( $\tilde{H}_{,2,q}$ )	XX. ( $T'_{,q}$ )
XVII. ( $Q_{,2}$ )	XXI. ( $Q_{,1}$ )

Ist das Druckkraftorgan insbesondere eine Flüssigkeit, so kann in der Schreibung das  $q$  durch ein  $\lambda$ , beziehungsweise ein  $\gamma$  ersetzt werden.

Ein grosser Theil der in diesen 21 Klassen enthaltenen Elementenpaare konnte durch Beispiele als vorhanden belegt werden; manche derselben finden sich noch nicht in der Praxis vor. Hier ist nicht mehr der Ort, ausführlicher auf die einzelnen Paare einzugehen. Unsere Untersuchung hat aber das bemerkenswerthe Ergebniss geliefert, dass die ganze Reihe der möglichen Elementenpaare übersehbar ist, sowie dass sich dieselben sämtlich synthetisch bestimmen lassen. Hier dürfen wir so verfahren, als ob dies bereits geschehen sei, und uns nunmehr zu der synthetischen Aufsuchung der kinematischen Ketten wenden.

### §. 150.

#### **Aufsuchungsweise der einfachen Ketten.**

Mit den kinematischen Ketten können wir nicht so bestimmt und unmittelbar verfahren, als es mit den Paaren möglich war. Während uns bei den letzteren die in Kap. II beleuchtete übersichtliche Formenreihe der Axoide einen festen Anhalt bot, können wir hier davon nur einen nebensächlichen Gebrauch machen, da sehr verschiedene Ketten einerlei Axoidgattungen zwischen ihren Gliedern aufzuweisen vermögen. Es wäre der Weg denkbar, dass wir eine um die andere Kombination von Paaren zu zweien, dreien, vieren, u. s. w. prüften, indem wir jedesmal die Lage der Paare im Kettengliede regelmässig variirten. Allein die Weitschichtigkeit dieses Verfahrens und die sichere Voraussicht, dass viele der Kombinationen sich als unnütz, unbrauchbar oder gar unmöglich erweisen würden, lassen es zweckmässig erscheinen, andere Verfahrungsweisen, sei es auch auf Kosten der äusseren Regelmässigkeit, zur Anwendung zu bringen.

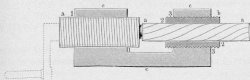
Wir wollen, wie es bei der mathematischen Forschung nicht selten geschieht, im allgemeinen ein induktives Verfahren einschlagen, und in jeder Problemreihe den insbesondere zu wählenden Weg den Umständen anpassen, mit anderen Worten auf jede Weise den Problemen beizukommen suchen. Ueberhaupt haben wir uns unsere Aufgabe hier so zu denken, dass augenblicklich die Synthese der Ketten nur mehr zu markiren, als vollständig durchzuführen sei. Aus den angeführten Gründen beginnen wir auch nicht mit der allgemeinen, irgendwie zusammengesetzten, sondern mit der einfachen Kette, die wir ja in wichtigen Grundeigenschaften schon genauer kennen. Gute Dienste kann uns hier der am Schluss von Kapitel XI gefundene Satz leisten, wonach die zwangläufige Kette in der Reihe der herstellbaren Gliedverbindungen zwischen einer übermässig und einer zwanglos geschlossenen Verbindung mitten inne liegt. Wir können nämlich demnach aus einer sich anbietenden übermässig geschlossenen Verbindung durch induktives Zufügen von Gliedern, aus einer zwanglos geschlossenen durch induktives Herausnehmen von Gliedern zur zwangläufig geschlossenen Kette gelangen. In der Reihenfolge der Probleme wollen wir suchen, einigermaassen derjenigen der Paare treu zu bleiben, ohne uns indessen daran allzufest zu binden.

## §. 134.

Die Schraubenkette ( $S_2^1$ ).

Verbindet man drei konaxiale Schraubenpaare zu einer einfachen Kette, so erhält man die in Fig. 332 dargestellte Einrichtung.

Fig. 332.



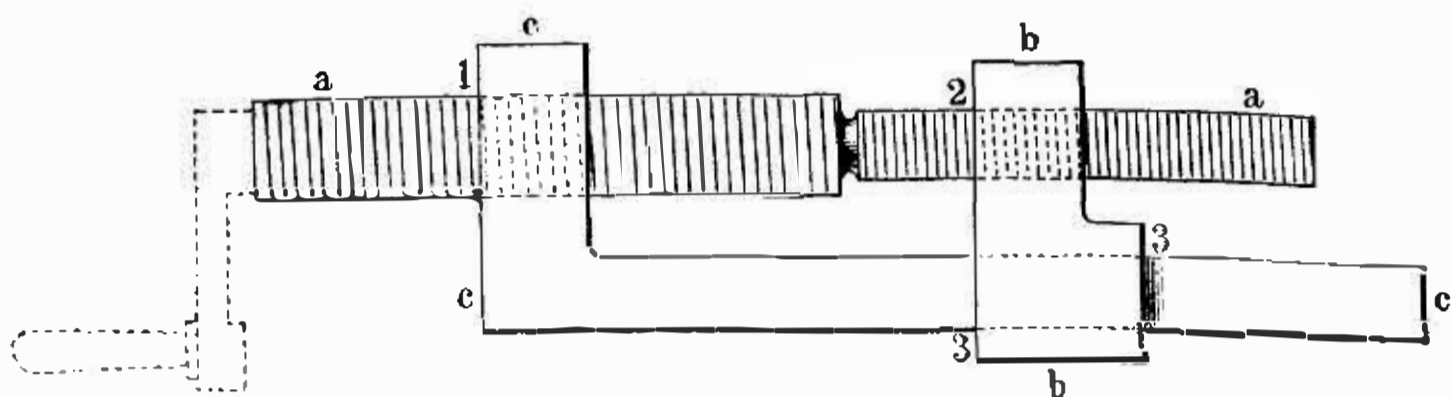
welche wir alsbald konzentriert anschreiben wollen. Die Formel lautet ( $S_2^1$ ). Diese Kette bildet eine Klasse für sich. Die drei

Aufstellungen auf  $a$ ,  $b$  und  $c$  liefern drei von einander dem Wesen nach nicht verschiedene Getriebe. Es ist mir nicht bekannt, ob eines derselben sich in der Praxis findet.

Neben der Gattung, welche die Klasse  $(S'_3)$  selbst vorstellt, hat sie besondere Gattungen, welche dadurch entstehen, dass die eine oder andere der Schrauben in einen der Grenzfälle  $S^* = P$  oder  $S^* = R$  oder  $C$  übergeht.

In der in Fig. 383 dargestellten Kette sind die Paare 1 und 2 =  $(S)$  geblieben, 3 in  $(S^*) = (P)$  übergeführt; die Formel lautet

Fig. 383.



$(S'_2P')$ . Aus dieser Kette lassen sich zwei Arten von Mechanismen bilden. Die Getriebe  $(S'_2P')^c$  und  $(S'_2P')^b$  sind gleicher Art. Sie sind unter dem Namen der Differenzialschraube, deren Erfindung sowohl Prony als White zugeschrieben wird, bekannt. Der Leser ist durch unsere früheren Untersuchungen in den Stand gesetzt, in der sogenannten Hunter'schen Presse\*), dem Differenzial-Schraubstocke\*\*) u. s. w. nur solche Abänderungen von  $(S'_2P')^c$  zu erblicken, welche durch Paarumkehrung und angemessene konstruktive Lagerung entstehen. Der Mechanismus  $(S'_2P')^a$  scheint bisher nicht angewandt zu sein.

Macht man die Paare 2 und 3 =  $(S)$ , Paar 1 =  $(S^*) = (C)$ , so entsteht die in Fig. 384 dargestellte Kette  $(S'_2C')$ , welche die beiden Mechanismenarten  $(S'_2C')^c = (S'_2C')^a$  und  $(S'_2C')^b$  liefert. Letzteres Getriebe scheint neu; ersteres ist angewandt, u. a. mit Glück von Skinner in einem Steuerrudergetriebe\*\*\*), welches indessen ein zusammengesetztes Getriebe ist.

Wird das Paar 1 =  $(S^*) = (C)$ , das Paar (3) =  $(S^*) = (P)$  gemacht, Paar 3 alleini =  $(S)$  belassen, so entsteht die von uns

\*) S. Moseley, Ingenieurkunst (deutsch von Scheffler) I, S. 457.

\*\*\*) Siehe ebenda S. 456, auch Weisbach Mech. III. 1. S. 288.

\*\*\*\*) Engineer, 1868, Bd. XVI. S. 182.

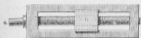
schon wiederholt betrachtete Kette ( $S'P'C'$ ) Fig. 385. Sie liefert die drei Mechanismen ( $S'P'C'$ ), ( $S'P'C'$ )<sup>b</sup> und ( $S'P'C'$ )<sup>c</sup>, von

Fig. 384.



denen namentlich die erste, wie wir wissen, zahlreiche Anwendungen findet (vergl. S. 43 und 107).

Fig. 385.



Die Synthese hat uns hier, wie wir sehen, vier Kettengattungen, welche sieben Mechanismen ergeben, geliefert, drei dieser Mechanismen erscheinen neu. Wenden wir nun hier

alsbald die Methode an, eines der starren Elemente durch ein bildsames zu ersetzen.

Die Einführung von Zugkraftorganen liefert keine brauchbaren Ergebnisse, wohl aber die der Druckkraftorgane. Ersetzen wir zunächst in der letztgefundenen Kette ( $S'P'C'$ ) das Glied  $b$  durch eine Flüssigkeit, so können wir aus derselben verschiedene gangbare Mechanismen bilden. Die ausführliche Formel lautet:

$$C^+ \dots | \dots S, Q \dots \dots Q, P \dots | \dots C^-$$

und, wenn die Kette auf Glied  $c$  gestellt wird, konzentriert: ( $S'_a P'_a C'$ )<sup>c</sup>. Wählen wir nun  $a$  als treibendes Glied, so erhalten wir die Maschine ( $S'_a P'_a C'$ )<sup>c</sup>. Diese Formel stellt dar: die Schraubepumpe, die archimedische Wasserschraube, den Schraubenventilator, das Hauptgetriebe der Schlickeysen'schen Thonpresse u. s. w.

Ist bei demselben Mechanismus das Druckkraftorgan  $b$  das treibende Kettenglied, worauf die Formel wird: ( $S'_a P'_a C'$ )<sup>b</sup>, so stellt diese die einfache Schraubenturbine ohne Leitrad dar\*).

Stellen wir  $b$  fest und lassen  $a$  treibend wirken, so erhalten wir die Formel ( $S'_a P'_a C'$ )<sup>b</sup>, welche das Hauptgetriebe des Schrau-

\*) Z. B. die bei Leblanc beschriebene Turbine der Mühle von St. Maur.

benschiffes vorstellt; und zwar ist  $a$  die Triebsschraube,  $c$  das Schiff mit Steuer,  $b$  das Wasser.

Auch das Getriebe in Fig. 384 ist in einer bekannten Maschine angewandt. Ersetzen wir nämlich wieder  $b$  durch ein Druckkraftorgan, insbesondere durch eine tropfbare Flüssigkeit, so lautet die ausführliche Formel:

$$C^+ \dots \left| \begin{array}{c} \# \\ \hline \end{array} \right. S Q_2 - Q_2 S \cdot \left| \begin{array}{c} \# \\ \hline \end{array} \right. C^-$$

Die Kette auf  $c$  stellend und die Flüssigkeit  $Q_2$  zum treibenden Gliede machend, erhalten wir das Getriebe  $(S_{Q_2} C)^c$ , welches dasjenige der Jonval- oder Henschel-Turbine, Fig. 386, ist. Wegen der Glüte der Wasserwirkung werden die beiden Schrauben 2 und 3 als höhere Schrauben ausgeführt, wonach denn bei strengem Eingehen für  $S_{Q_2}$  das Zeichen  $S_{Q_2}$  zu setzen wäre.

Fig. 386.



Abermals haben sich hier verschiedene Maschinen nebeneinanderstellen und auf dieselbe kinematische Kette zurückführen lassen, welche in der Maschinenpraxis weit auseinanderliegen. Auf andere Schraubenketten werden wir in §. 154 stossen.

## §. 153.

### Cylinderketten.

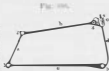
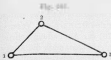
Schon weiter oben, Kapitel VIII., haben wir Gelegenheit gehabt, die aus Cylinderpaaren gebildeten Ketten in den Formen  $(C_1^+)$  und  $(C_1^-)$  kennen zu lernen, und zwar ordneten wir dieselben in 12 Klassen und fanden den letzteren 54 Mechanismen angehörig. Thatsächlich war unsere damalige Untersuchung mit einer rein synthetischen sehr nahe verwandt, so dass wir sie hier dafür nehmen können, um Wiederholungen zu vermeiden. Sehen wir daher zu, welche einfachen Ketten sich ferner noch aus den Elementenpaaren von der Form  $(C)$  bilden lassen.

Wenn wir vorerst auf drei Cylinderpaare, die zu einer einfachen Kette verbunden werden, zurückgehen, so bemerken wir,



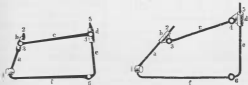
dass sich diese zwar verketteten lassen, aber nur übermässig geschlossene Verbindungen liefern, Fig. 387, die also ausser Betracht fallen.

Fünf Stück parallel oder konisch geordneter Cylinderpaare in einfacher Kette liefern eine zwanglos geschlossene, also ebenfalls ausser Betracht fallende Verbindung. Wenn man aber



zwischen parallele Cylinderpaare geneigte oder geschränkte einschaltet, z. B. in der Weise, wie es Fig. 388 andeutet, so kann man fünf Cylinderpaare zu einer einfachen Kette vereinigen. Die Paare 3 und 4 bilden hier ein Kreuzgelenk, welches unter den möglichen Drehungen von  $d$  gegen  $b$  auch diejenige gestattet, welche bei direkter Paarung beider erreichbar wäre. Dieser Fall ist indessen nur ein besonderer der sechsgliedrigen Cylinderkette, welche Fig. 389 in zwei Formen darstellt. Hier sind auch die Achsen 1

Fig. 389.



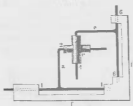
und 6 geschränkt angenommen, ausserdem sowohl bei 2 bis 3, als bei 4 bis 5 Kreuzgelenke oder geschränkte Gelenke eingeschaltet, wie in der Zeichnung schematisch angedeutet ist. Man könnte in den Gliedern  $a, c, e, f$  eine geschränkte Kurbelkette erblicken, welcher die Doppelgelenke bei 2 bis 3 und 4 bis 5 die erforderliche Beweglichkeit geben. Geschränkte Kurbelgetriebe, welche aus dieser Kette gebildet sind, kommen in der Maschinenpraxis vor, z. B. bei Hobelmaschinen zur Hin- und Herbewegung eines

hebel förmigen Riemenführers. In der That ist die Kette reich an besonderen Fällen, in welche sie übergehen und Mechanismen liefern kann. Man kann sie allgemein mit den Zeichen ( $C_2^1$ ) schreiben. Die besonderen Formen, in welche sie übergeht, systematisch durchzunehmen, würde hier viel zu weit führen; wie der Hinblick auf die weite einfachere Kette ( $C_2^2$ , Kap. VIII. ermessen lässt. Doch ist es räumlich Platz, einige einzelne Fälle, die die Praxis uns bietet, in aller Kürze zu besprechen.

Es ist nämlich zu bemerken, dass die Praxis die Anwendungen von ( $C_2^1$ ) gerne noch so ausführt, dass das Prinzip der Verminderung der Gliederzahl (vergl. §. 76) zur Anwendung gebracht wird. Um das richtige Verständniss zu erlangen, muss die Analyse die weggeminderten Glieder wieder einfügen oder eingefügt annehmen.

Als Beispiel sei der in Fig. 390 dargestellte Mechanismus angeführt. Erkennt hier und in noch als Getriebe zur Viertelschreibung

Fig. 390.



von Weichensignalen, deren man eines mit  $e$  verbunden anzunehmen hätte. Von den vorhandenen Gliedern sind  $e$  und  $f$  rechtwinklig geschränkt, und  $e$  haben parallele Cylinder; die Glieder  $b$  und  $d$  sind weggemindert. Demzufolge vollzieht  $c$  mit seinen beiden geschränkten Hohlzylindern 2 und 4 auf den Vollzylindern 1 und

erhöherer Schraubenbewegungen. Um die Dichte wieder vollständig zu machen, hätte man die beiden Glieder  $b$  und  $d$ , jedes von der Form  $C^+ \dots \perp \dots P^+$  einzuschleiben und die Elemente an  $e$  prismatisch (als Hohlprismen) zu gestalten.

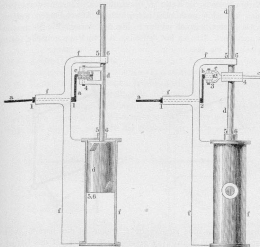
Ein anderes Beispiel liefert ein Mechanismus, welchen Robertson für die Dampfmaschine vorgeschlagen hat<sup>\*)</sup>, siehe Fig. 391. Das Glied  $a$  hat die Form  $C^+ \dots \perp \dots C^+$ ; das Glied  $b = C^+ \dots \perp \dots P^+$  ist weggemindert, das Glied  $c$  aber vorhanden. Wegen der Wegminderung von  $b$  hat es nicht seine eigentliche Form  $P^+ \dots \perp \dots C^+$ ,

<sup>\*)</sup> Artisan, 1871 (Bd. XXIX.) S. 2; siehe auch Revue Industrielle, 1874, Juli, S. 192, danach Dingler's Journal 1874, Bd. 213. S. 183.

sondern die Form  $C \dots \perp \dots C$  erhalten. Es wird erfasst von dem Gliede  $d = C \dots \parallel \dots C$ . Dieses Glied benutzt Robertson als Kolbenstange, d. i. als treibendes Glied der Kette, hat aber zugleich das Glied  $e = C \dots \parallel \dots P$  noch weggemindert, so dass der Kolben  $d$  eine geradlinig hin- und hergehende und zugleich oscillatorisch drehende Bewegung zu machen gezwungen ist. Die konzentrierte Formel des

Fig. 391.

Fig. 392.



Mechanismus würde lauten ohne Verminderung:  $(C^v C^v P^{\perp} C^v C^v P^{\perp})^{\frac{1}{2}}$ , also bei der stattgehabten Verminderung um  $b$  und  $e$ , und wenn man die aufeinanderfolgenden Zeichen gleicher Art noch zusammenzieht:

$$(C_v^v P^{\perp} C_v^v P^{\perp})^{\frac{1}{2}} = b - e.$$

Ob die vorgeschlagene Maschine zweckmässig sei oder nicht, lassen wir unerörtert; sie dient uns aber hier als ein Probestück der empirischen Synthese, welcher die Schaffungsfreude über alle Ausführungsschwierigkeiten hinaus hilft.

Robertson hat die Maschine auch noch in einer anderen Form der Kette zur Ausführung gebracht, siehe Fig. 392 (a. v. S.). Hier ist nur  $e$  weggemindert, die Aneinanderreihung der Glieder aber etwas anders gewählt. Sie lautet bei Vervollständigung der Kette um  $e$ :  $(C^+ C^+ C^+ P^+ C^+ P^+)^+_{1,2}$  also, möglichst gedrängt geschrieben, und bei Andeutung der Verminderung  $(C^+ C^+ P^+ C^+ P^+)^+_{1,2} - e$ . Es wird dem Leser nicht schwer werden, noch andere als die hier vorgewährten Formen der Kette ( $C^+_{1,2}$ ) aufzufinden. Einzelne derselben können immerhin noch praktisch nützliche Anwendungen finden.

Als letztes Beispiel sei der in Fig. 393 dargestellte Mechanismus angeführt. Brown hat denselben u. a. im Hauptgetriebe einer

Fig. 393.

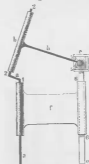
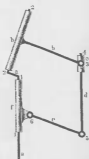


Fig. 394.



Kolbendampfmaschine angewandt<sup>\*)</sup>; früher ist dies bereits, wenn ich nicht irre, von Maudslay geschehen<sup>22)</sup>. Hier hat das Glied  $a$  die Form:

$$C^+ \dots \angle \dots C^+,$$

das Glied  $b$  diejenige  $C^+ \dots \square \dots G$ , d. h. besteht aus einem Cylinder und einer Kugel, welche letztere in dem Querschieber  $d$  ihren Partner findet. Das Kugelgelenk, auf welches wir hier stoßen, ist nichts anderes als das Resultat der Wegminderung eines Kreuzgelenkes, und zwar des Gliedes  $c = C^+ \dots \perp \dots C^+$ , welches wir uns

<sup>\*)</sup> Engineering 1867 (Febr.) S. 158. Auch den Steuerungsschieber der betreffenden Dampfmaschine betreibt Brown mittelst einer Kette der vorliegenden Art.

an  $d$  mit  $C^+$  eingelenkt zu denken haben. Die Kugel wurde deshalb in der Figur mit 3.4 bezeichnet. Der Schieber

$$e = P^+ \dots \perp \dots P^+$$

dient in der erwähnten Dampfmaschine als treibendes Glied, nämlich als Kolbenstange. Somit lautet die konzentrierte Formel des Mechanismus  $(C^+C^+C_2^+P^+P^+)^2 - e$ . Um den Vergleich mit der allgemeinen Form  $(C_4^+)$  zu erleichtern, stelle ich in Fig. 394 die Kette so dar, dass die beiden Prismenpaare, welche wir ja als  $R^+$  oder  $C^+$  ansehen können, durch Cylinderpaare 5 und 6 ersetzt sind. Die Formel des so umgestalteten Mechanismus, bei Stellung derselben auf  $f$ , lautet:  $(C^+C^+C_2^+C^+C^+)^2$ .

Die vorstehenden Beispiele werden genügen, um die Bedeutung der Kette  $(C_4^+)$  ins Licht zu setzen und der noch anstehenden vollständigen Synthese derselben als eine Art von Anhalt zu dienen. Die Kette  $(C_4^+)$  ist indessen immer noch nicht die reichste der aus Cylinderpaaren herstellbaren einfachen Ketten.

Stellt man nämlich die sechs Cylinderpaare so, dass jedes derselben in seinen beiden Nachbarn gekreuzt oder geschränkt steht, Fig. 395 und 396, so kann der Schluss der Kette wieder ein über-

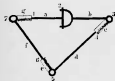
Fig. 395.

Fig. 396.



müssiger werden, wie es in den beiden dargestellten Ketten der Fall ist. Um diesen übermässigen Schluss aufzuheben, schalten wir an geeigneter Stelle ein siebentes Cylinderpaar ein, welches

Fig. 397.



irgend eines der Glieder in zwei auflöst. Fig. 397 stellt eine derartige Kette, welche somit eine sieben-gliedrige Cylinderkette ist, dar. Wir werden sie allgemein mit dem Zeichen  $(C_7^+)$  auszudrücken haben. Sie ist, wie mir scheint, die gliederreichste, einfache, zwangläufige Kette aus niederen Paaren, die es gibt. Ob sie in der allgemeinen hier vorge-

fürten Form bereits Anwendung gefunden hat, ist mir unbekannt und sehr zweifelhaft. Auf ausführlichere Untersuchung wollen wir hier nicht eingehen, da wir weiter unten noch nahe verwandte Fälle zu besprechen haben werden.

## § 113.

## Prismenketten.

Die dreigliedrige Prismenkette ( $P_3^2$ ), von uns auch Keilkette genannt, hat uns bei mehreren Untersuchungen bereits vorgelegen, vergl. §§. 64 und 108. Die Figur 398 stellt dieselbe in einer uns bekannten Form dar; Fig. 399 zeigt sie in einer anderen Form, in

Fig. 398.

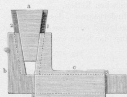
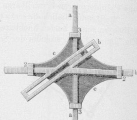


Fig. 399.



welcher alle drei Prismenpaare sich deutlich als geschlossene Paare zeigen. Verbindet man statt drei nur zwei Prismenpaare zu einer geschlossenen Kette, so erhält man entweder nur ein einziges Prismenpaar, oder aber eine übermäßig geschlossene Verbindung. Aus vier Prismen dagegen lässt sich sehr gut eine geschlossene einfache Kette bilden. Ein solche führt Fig. 400 vor. Wir werden sie zu schreiben haben: ( $P_4^2$ ). Aus ihr kann man sich die Kette ( $P_3^2$ ) entstanden denken und zwar dadurch, dass man die Winkel zwischen den Paaren 3 und 4 verschwindend klein werden lässt. Die Kette ( $P_4^2$ ) selbst aber lässt sich wieder aus ( $C_4^2$ ) herleiten. Fig. 401 zeigt, auf welche Weise. Die unendlich langen Halbmesser der in Prismen übergegangenen Cylinder  $C^*$  liegen auf Normalen zu den

Paaren 1, 2, 3 und 4. Indem nun auf solchen Normalen die Punkte  $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$ ,  $4'$  angenommen und entsprechend verbunden werden, wird ein Kurbelviereck  $a'b'c'd'$  erhalten, aus welchem man sich die Kette ( $P_4^2$ ) hervorgegangen denken kann. Anwendung einer Kette

Fig. 44.

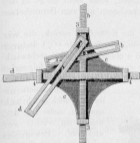
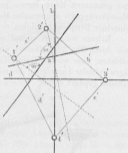


Fig. 45.



( $P_4^2$ ) sind mir nicht bekannt; doch ist ihr Vorkommen wahrscheinlich. Verbindungen von mehr als vier Prismenpaaren liefern zusammengesetzte Ketten, sind also hier nicht weiter zu verfolgen.

## §. 1174.

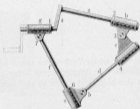
## Die geschränkte und die schiefe Schraubenkette.

Wenn wir oben die Cylinderkette bis zur Nebenanzahl der Glieder entwickelten, und in dieser Zahl eine Grenze für die einfache Verkettung fanden, so sind wir doch damit nicht bis zum allgemeinsten Falle vorgedrungen, da das Cylinderpaar nicht die oberste Form der sogen. niederen oder Umschlusspaare ist. Diese Eigenschaft kommt vielmehr, wie wir wissen, dem Schraubenpaar ( $S$ ) zu. Wir werden daher erst die allgemeinste Form der Ketten aus niederen Paaren erhalten, wenn wir in der am weitesten gehenden Cylinderkette statt ( $C$ ) überall ( $S$ ) setzen. Die höchste Kette aus Umschlusspaaren wird demnach die Kette ( $S_4^2$ ) sein. Die syn-

thetische Durcharbeitung dieser Kette, welcher die in den §§. 151 bis 153 behandelten sämtlich untergeordnet sind, könnte als eine Aufgabe bezeichnet werden, welche der synthetischen Kinematik noch bevorsteht. Wir werden unten auf diese Frage noch einmal prinzipiell zurückkommen. Hier würde die bestimmte Bezeichnung der genannten Kette bereits genügen, wenn nicht einige in der Maschinenpraxis angewandte Mechanismen uns zum Herausheben einzelner Beispiele nöthigten.

Kehren wir noch einmal zu der Kette ( $C_7^2$ ) zurück, die wir, wie durch Fig. 397 erläutert wurde, aus der Kette ( $C_7^2$ ) dadurch bildeten, dass wir an deren Glied  $a$  einen zur Achse 1 rechtwinkligen Cylinder 2 ansetzten, der mit einem Hohlcyylinder des folgenden Gliedes gepaart wurde. Diesen Cylinder 2 können wir statt recht-

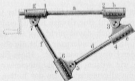
Fig. 402.



winklig auch schiefwinklig oder auch geschränkt ansetzen, siehe Fig. 402, wobei ein recht verwickeltes Bewegungsspiel entsteht. Auf dieses wollen wir uns einstweilen aber nicht einlassen, wollen aber einmal annehmen, dass die Cylinder 1 und 2 konaxial gemacht würden. Dann erhalten wir die in Fig. 403

dargestellte siebengliedrige Cylinderkette. Diese ist nicht mehr zwangsläufig geschlossen, wie die von Fig. 397; denn das Glied  $a$

Fig. 403.



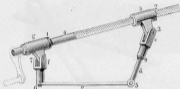
lässt sich um die zusammenfallenden Achsen 1 und 2 drehen, ohne dass die übrigen Glieder ihre gegenseitige Stellung ändern; ja die Kette ist im übrigen wieder in den übermässig geschlossenen Zustand von Fig. 396 und 395 zurückgegangen, so

dass die sechs Glieder  $b, c, d, e, f, g$  zusammen wie ein einziges Glied oder gar ein Element gegen  $a$  wirken. Dies ändert sich aber sofort,



wenn wir nur eines der beiden Cylinderpaare 1 und 2 — es dürften auch beide sein — in die oberste Form des Umschlusspaares, das Schraubenpaar, überführen. Thun wir dies, so bewirkt die Drehung des Gliedes *a* eine Aenderung der Entfernung der Punkte 3 und 7, und überhaupt eine Relativbewegung aller Glieder. Fig. 404 stellt

Fig. 404.



die so umgewandelte Kette dar. Man wolle sich einen Grundriss hinzudenken, um sich die geschränkte Lage der verschiedenen Achsen recht deutlich zu machen. Wir können diese Kette eine geschränkte Schraubenkette nennen. Eine allgemeinere als die vorliegende Form würden wir erhalten haben, wenn wir das Cylinderpaar 2 in Fig. 402 in (*S*) übergeführt hätten. Die Formel zu Fig. 404 lautet:  $(C'S^+C_1^+C^+C^+)$ .

Legt man die Kette so an, dass die Achsen 6 und 4 stets in eine Ebene fallen, so kommen die Paare 4 und 6 ausser Wirksamkeit und können daher wegfallen. Die Kette geht in die in Fig. 405

Fig. 405.

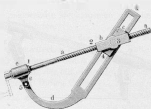


dargestellte Form über. Hier sind statt sieben nur noch fünf Glieder, indem *f* und *e* der obigen Kette in ein Glied übergegangen sind, und ebenso *d* und *c* sich vereinigt haben. Die Formel lautet:  $(C'S^+C_1^+C^+)$ . Es gibt mancherlei Anwendungen dieser Kette in der Praxis, z. B. bei Stellung auf *d* diejenige an gewissen sogenann-

ten Schraubensteuerungen für Lokomotiven, bei Stellung auf  $e$  diejenige bei Steuerrädergetrieben, Kniehebelpressen u. s. w.

Macht man das Glied  $e$  in der soeben besprochenen Kette unendlich lang, so erhält man die in Fig. 406 dargestellte Kette,

Fig. 406.

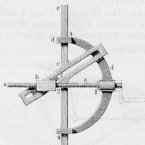


welche ebenfalls mancherlei Verwendungen findet. Formel:

$$(C'S^{\perp}C^{\perp}P^{\perp}C^{\perp}).$$

Wird auch noch das Glied  $e$  unendlich gross gemacht, d. h. die Achse 5 in unendliche Ferne von 1 abgerückt, so geht die Kette in die Form Fig. 407 über.

Fig. 407.



Der veränderliche Winkel,

welchen die Glieder  $b$  und  $c$  in Fig. 406 einschliessen,

wird nun konstant, die dortige Paarung 3 also

überflüssig, und wir erhalten die viergliedrige

Kette,  $(C'S^{\perp}P^{\perp})$ , die man eine schiefe Schrauben-

kette nennen kann. Diese Kette hat mit Stellung

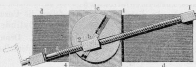
auf  $d$  u. a. durch Nasmyth eine sehr hübsche Anwendung in einer

Theilmaschine gefunden \*). Fig. 408 deutet dieselbe an. Der Steg  $d$  ist hier das Bett der Theilmaschine,  $e$  der Schlitten derselben.

\*) Siehe Civil-Ingenieur, 1863, S. 215, 1864, S. 21.

Indem der Winkel, welchen die Paare 3 und 4 einschliessen, veränderbar gemacht ist, kann die jeder Schraubenumdrehung entsprechende Fortschreitung des Schlittens innerhalb weiter Grenzen fein abgeändert werden.

Fig. 103.



Wie wir sehen, bietet die allgemeine Kette ( $S_7$ ) sich zu mancherlei praktisch werthvollen Einzelgestaltungen dar, abgesehen davon, dass ihre Anwendungen in zusammengesetzten Ketten sehr mannigfach benutzt werden können und angewandt werden.

## §. 155.

## Ersetzung der Drehkörperpaare in Ketten durch höhere Paare.

Man kann, wie wir vorher gesehen haben, die Ketten ( $C_7$ ), ( $C_8$ ), ( $C_9$ ) und ( $C_{10}$ ) nebst ihren besonderen Fällen aus der Kette ( $S_7$ ) als oberster Form der aus Umschlusspaaren gebildeten Ketten herleiten. Nothwendig ist dies aber nicht. Denn wir können den Drehkörper  $C$  oder  $B$  auch anderen höheren Formen unterordnen, nämlich den höheren Cylindern und Kegeln  $\hat{C}$  und  $\hat{K}$ , welche, wie wir aus Kapitel III (§. 21 ff.) wissen, zu Elementenpaaren höherer Art zusammentreten. Der Cylinder  $C$  kann als besonderer Fall des höhern Cylinders  $\hat{C}$  angesehen werden. Deshalb aber können wir auch in den Ketten, in welchen das Paar ( $C$ ) vorkommt, für dieses das Paar ( $\hat{C}$ ) einschleiben, wobei sich freilich die Bewegungsgesetze der aus der Kette herstellbaren Mechanismen wesentlich umgestalten. Somit sehen wir hier eine grosse formenreiche Klasse von Ketten entstehen, welche einen unerschöpflichen Reichtum von Bewegungsarten zu verwirklichen gestatten.

Die Ersetzung von  $(C)$  durch  $(\hat{C})$  in der allgemeinen Kette  $(C_3)$  kann indessen nicht ausnahmslos überall geschehen. Namentlich ist sie z. B. nicht durchführbar in der Kette  $(C_3^c)$ , überhaupt an den Stellen, wo geneigt zu einander stehende Cylinderpaare angewandt sind, indem bei diesen die Eigenschaft der Partner jedes Paares, zusammenfallende Achsen zu besitzen, mit in Betracht kommt. An diesen Stellen aber fallen die Unzuträglichkeiten wieder weg, sobald nur statt der höheren Cylinder höhere Kegel  $(\hat{K})$  an die Stelle von  $(C)$  gesetzt werden. Denn alsdann laufen die Momentanachsen der Paare immer in denselben Punkt zusammen.

Man muss nicht denken, dass die Einführung von  $(\hat{C})$  oder  $(\hat{K})$  an die Stelle von  $(C)$  auf eine blosse Spekulation hinauslaufe. Die Praxis hat vielmehr wirklich Ausführungen, wenigstens von Ketten aus der Klasse  $(C_3^c)$ , in welche  $(\hat{C})$  eingeführt ist, aufzuweisen.

Fig. 409.

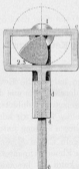


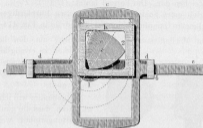
Fig. 410.



Als häufig zu findendes Beispiel führe ich den bereits durch Hornblower eingeführten Mechanismus des Bogendreiecks Fig. 409 an und stelle sofort sein Gegenstück aus der Reihe der Schubkurbelmechanismen daneben, Fig. 410. Letzteres ist eine verminderte „rotirende Schleifenkurbel“ (vergl. §. 72 und §. 76); ihre Formel

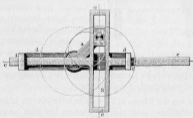
lautet  $(C''P_2^1)' - b$ . Im Bogendreieckgetriebe ist an die Stelle des Zapfens 2 das Bogendreieck  $\hat{C}$  getreten, welches wir aus §. 26 kennen. Weggemindert ist sein quadratisch profilirtes Partner-Element, beziehungsweise das ganze betreffende Kettenglied  $b$ . Die Formel lautet also  $(C''\hat{C}P_2^1)' - b$ . Bringen wir beide Ketten wie-

Fig. 411.



der durch Vermehrung auf ihren vollen Stand, so erhalten wir die in den Figuren 411 und 412 dargestellten Getriebe. Die Pol-

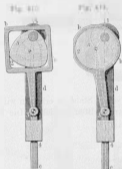
Fig. 412.



bahnen zwischen  $a$  und  $e$  fallen ziemlich verwickelt aus; hier ist jedoch nicht der Ort, auf dieselben einzugehen \*). Der Maschinen-

\*) Im kinematischen Kabinet der königlichen Gewerbe-Akademie habe ich dieselben an verschiedenen Modellen aus dieser Mechanismenklasse untersucht gemacht.

praxis ist die (theoretisch) stattgehabte Wegminderung des Gliedes  $b$  in dem obigen Bogendreieckgetriebe nicht gänzlich entgangen. Wenigstens bin ich im Stande, kein einziges, obwohl auch nur dieses einzige Beispiel aufzuweisen, wo das Paar 2 wirklich vollständig ausgeführt ist. Fig. 413 stellt den betreffenden Mechanismus in unserer schematischen Weise und unter Benutzung unserer Zeichen dar. Die Formel lautet:  $(C^* C^* C^* P^+)^{\frac{1}{2}}$ . Er dient zum Betrieb eines Schiebers bei einer etwa 100pferdigen Woolf'schen Balancier-Dampfmaschine<sup>\*)</sup>. Ich stelle in Fig. 414 den uns bekannten Mechanismus  $(C_2^* P^+)^{\frac{1}{2}}$  daneben, um den bequemen Vergleich zu ermöglichen. In beiden Mechanismen ist im Paare 2 Erweiterung (§. 71) angewandt.



Nebenher will ich nämlich anführen, dass die ganz neue Gestaltungreihe, welche die Zapfenerweiterungen bei der Kette  $(C_2^*)$  u. s. w. liefern (vergl. §. 71), unmittelbar auf die vorliegende bisherige Kette Anwendung findet. Die bisherige Maschinenpraxis hat dies kaum bemerkt und damit eine grosse Reihe konstruktiver Vortheile unbenutzt gelassen.

In der That können die Bogenscheibenge triebe ebenso bequem unter- und angebracht werden, wie das gebräuchliche Exzentrikgetriebe der Dampfmaschine; wie ja auch das vorliegende Beispiel zeigt.

Kettenausdrücke, welche mehr als ein höheres Cylinderpaar enthalten, sind meines Wissens bis jetzt nirgend angewandt worden. Manche der zahlreichen Fälle, für welche sich uns die Perspektive aufgethan hat, können noch recht nützliche Verwendung finden. Über genügend vieler Hand die Aufzeigung des allgemeinen Falles.

\*) Von Ad. Hirn auf dem Logelbacher Werke.

## §. 156.

**Die einfachen Räderketten.**

Unter den einfachen Ketten, welche aus Rädern nebst Achsen und Zubehör gebildet werden können (vergl. §. 43), treten uns zuerst die der Reibräder entgegen. Die runden Räder nebst dem das Paar schliessenden Stege liefern die Kette ( $C_2^+ H$ ) mit den ihr untergeordneten Formen ( $C_2^- K$ ) ( $C_2'' R$ ). Die Hyperboloidräder sind selten, aber nicht ohne Anwendung. Ja auch die noch höheren Formen dürfen nicht ausser Acht gelassen werden. Die Dick'sche Presse z. B. hat unrunde, und zwar spiralige Reibräder. Freilich kommen solche selten anders als in zusammengesetzten Ketten vor. Hier sei aber doch auf dieselben hingewiesen, namentlich auch im Hinblick auf die Walzwerktechnik, welche in den Walzen selbst Reibräder zur Anwendung bringt.

Die einfache Zahnradkette ( $C_2 \bar{H}_2$ ) ist mit der ganzen Reihe der ihr bei- und untergeordneten Formen dadurch an sich als erledigt anzusehen, dass wir die verschiedenen Formen, in welche  $\bar{H}_2$  übergeht, bereits bei den Paaren (§. 144) durchgenommen haben. Zu erwähnen ist hier aber noch die Einführung des Druckkraftorganes. Die in Kap. XI behandelten Kapselräderwerke gehören zu den zusammengesetzten Ketten; einfache Ketten dagegen, bei welchen an die Stelle eines der beiden Räder eine Flüssigkeit, oder überhaupt ein Druckkraftorgan, und an die Stelle des einen Cylinderpaares die Paarung der Kapsel mit dem Druckkraftorgan tritt, haben wir im gewöhnlichen Wasserrad, im Wurfrad, im Schaufelrad des Dampfbootes vor uns (vergl. §. 61 § 62); zugleich gehören auch einzelne Turbinen und Zentrifugalpumpen hierher.

## §. 157.

**Die Kurvenschubketten.**

Die Kurvenschubkette haben wir in §. 120 in Kürze besprochen und die Zweckmässigkeit ihrer Ausscheidung erkannt. Fig. 415 (a. f. S.) stellt eine solche Kette dar. Dieselbe würde zu schreiben sein: ( $C_2'' C_2$ ), wobei das Komma hinter  $C_2$  andeutet, dass es sich

nicht um ein wirkliches Zahnräderpaar handelt. Die besonderen Formen, in welche diese Kette übergehen kann, sind sehr zahlreich.

Fig. 415.



Doch ist die vorliegende Form der Kurvenschubkette bereits eine weit unter der höchsten Form stehende. Als letztere ist, soweit es die Form des Kurvenkörpers und des Zahnes betrifft, die Kette  $(C_2; \hat{H}_2)$  zu bezeichnen, gebildet aus zwei Paaren von der Art  $(B) = (C)$ , Klasse I, und der

obersten Form der Klasse IV (§. 146). Zu der auch dieser Kette nach Allgemeinheit überlegenen obersten Form gelangt man, wenn man, wie in §. 155 gezeigt wurde,  $(C)$  durch  $(\hat{C})$  oder  $(\hat{K})$  ersetzt, ein Verfahren, welches auch bei den einfachen Zahnräderketten zu den obersten Problemen führt.

Neben diesen allgemeinsten Formen der Kurvenschubkette stehen die wichtigen besonderen Fälle derselben, als welche wir die Gesperre erkannt haben. Dieselben werden erhalten, wenn wir in die vorliegende Kette die Paare der Klassen VI und VII (§. 146) einführen. Wir erhalten die Ketten

$$(C_2 \hat{H}_2) \text{ und } (C_2 \hat{H}_2)$$

mit ihren äusserst zahlreichen Vereinfachungen, von denen wir typische Formen in Kap. XI kennen gelernt haben. Wir könnten die hierhergehörigen Kettenformen dadurch als erledigt betrachten. Doch verdient im Hinblick auf die Anwendungen noch eine Gesperre

Fig. 416.



Fig. 417.



sperrform ein kurzes Verweilen, von der in Figur 416 und 417 Beispiele dargestellt sind. Beide Gesperre können zugleich als Schaltwerke benutzt werden. Dasjenige in Fig. 416 wurde von Redtenbacher das Einzahnrad genannt; ziemlich verbreitet ist der von der Form des

Rades *b* hergenommene Name Maltheserkreuz, auch der andere: Genfer Sperrung, aus der Anwendung des Gesperres in den



Spieldosen entstanden. Die Einzähnigkeit des Rades  $a$  ist nicht Grundbedingung, wie Fig. 417 erkennen lässt; in der Mehrzahl der Fälle wird man indessen zu einer sternförmigen Anordnung der Segmente des Rades  $b$  geführt; man hat deshalb für das Getriebe den Namen Sternräder vorgeschlagen \*). Offenbar haben wir hier eine besondere Form der Kette ( $C_2\hat{C}_s$ ) oder wenn man will ( $C_2\hat{B}_s$ ) vor uns, und es ist wünschenswerth, durch eine besondere Formel den Verwechslungen mit den Räderketten auszuweichen. Die hervorragende Eigenschaft der Verzahnung ist aber hier ihre Segmentförmigkeit. Wir können deshalb hier das Zeichen  $A$  benutzen, und wollen die Ketten der vorliegenden Art unter der Formel ( $C_2A_s$ ) oder allgemeiner ( $C_2\hat{A}_s$ ) zusammenfassen.

Geht in dem Gesperre ( $C_2^0A_s$ ) der Halbmesser des Rades  $b$  in unendliche Grösse über, so wird  $b$  eine Stange, welche die bogenförmigen Einschnitte und Zahnücken an sich trägt. Die Formel lautet dann: ( $C^0P^2A_s^0$ ). Ein interessantes Beispiel liefert das Riegelgetriebe im Bramahschloss, Fig. 418. Das Stück  $ABCD$  gehört

Fig. 418.



zu dem Riegel  $b$ ; die Kurve 2 an demselben ist die Zahnücke zu dem Zahn 2 an  $a$ ,  $AB$  und  $CD$  sind benachbarte bogenförmige Ausschnitte des Stückes  $b$ , entsprechen also den kreisbogenförmigen Ausschnitten, welche wir in Fig. 417 an dem Rade  $b$  vor uns haben.

Es fehlt das in diese Bogen passende Cylindersegment an  $a$ ; man begnügt sich mit der Vertretung dieser Bogen durch den Zapfen 2, welche auch ausreichend scheint. An anderen Schlössern kommt Aehnliches, wenn auch in undeutlicherer Form, vor. Das Stück  $a$  ist im übrigen im Bramahschlosse durch eine abgesonderte ruhende Sperrung, die dem Fachmann durch ihre Subtilität bekannt ist, gesperrt.

Auch in die Kurvenschubkette und ihre besonderen Formen, die Gesperkketten, sind Druckkraftorgane eingeführt worden, indessen handelt es sich dabei stets um zusammengesetzte Ketten.

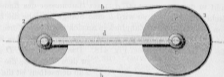
\*) Siehe Polyt. Centralblatt 1864, Aster, Sternräder.

## §. 158.

## Die Rollenketten.

Das einseitige Kraftvermögen der Zugkraftorgane, oder ihre Eintrieblichkeit (Monokinesie) erschwert die Herstellung einfacher Ketten, welche aus ihnen und den starren Elementen zu bilden wären, sehr (vergl. §. 41 ff.). Doch kennen wir im Riemen-, Schnur- oder Seiltrieb, Fig. 419, und ebenso im Kettentrieb, wo  $T$  in der

Fig. 419.



Form  $T_1$  eintritt, eine solche einfache Kette. Dieselbe ist, wenn wir die nähere Beschaffenheit des Zugkraftorgans ausser Betracht lassen, zu schreiben:  $(C_1 R_1 T_1)$ , und kann auf die höhere Form  $(C_1 \hat{R}_1 T_1)$  oder gar  $(C_1 \hat{B}_1 T_1)$  gesteigert werden. Anwendungen solcher höherer Formen sind selten. Dagegen verdient eine bestimmte

Fig. 420.



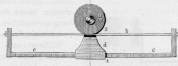
Form, in welche  $(C_1 R_1 T_1)$  übergehen kann, eben wegen dieses Ueberganges einer besonderen Erwähnung. Denkt man sich in dem Riementrieb mit gekreuztem Riemen, Fig. 420, die Scheiben  $a$  und  $c$  bis zur Berührung genähert, und dann die Scheibe  $c$  unendlich gross gemacht, so geht das Paar 4 in ein Prismenpaar über, und das Organ  $T$  ist an dem Prisma, in welches  $c$  übergegangen ist, beiderseits zu befestigen, wie Fig. 421 andeutet. Bemerkenswerth ist, dass die Kette, wegen der Befestigung des Organes  $T$ , nunmehr nur noch drei Glieder hat.

Ihre ausführliche Formel lautet:

$$C^+ \dots | \dots R_1 T^+ \dots \dots P^+ P^- \dots \perp \dots C^-$$

In konzentrierter Form heisst sie ( $C'RJ'P'$ ). Die Kette wird hier und da gebraucht, z. B. in den Stellungen auf  $c$  und auf  $d$ .

Fig. 422.



Die Flaschenzüge sind zwanglos geschlossene, nur unter Anwendung des Kraftschlusses zwangläufig wirkende Ketten, fallen deshalb hier ausser Betracht. Vollzieht man bei ihnen den Paarschluss vollständig, so gehen sie, auch bei der in §. 43 angedeuteten Vereinfachung der Rollen-Einrichtung, in zusammengesetzte Ketten über, welche zwar recht interessant sind, aber nicht hierher gehören (vergl. S. 575). Dasselbe gilt von mancherlei anderen wichtigen Anwendungen der Zugkraftorgane.

§. 159.

**Ketten mit Druckkraftorganen.**

In den vorstehenden Untersuchungen der einfachen Ketten haben wir wiederholt die Ersetzung eines starren Organes durch ein Druckkraftorgan, und damit also auch solche einfache Ketten, in denen Druckkraftorgane eine Rolle spielen, bereits besprochen. Immer ist bei denselben die Beachtung der Eintrieblichkeit der Druckkraftorgane von der grössten Wichtigkeit; der Kraftschluss kommt in der Mehrzahl der Fälle zur Geltung. Soll er vermieden

Fig. 423.



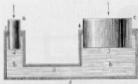
werden, so gelangt man nothwendig zur zusammengesetzten Kette. Reine einfache zwangläufig geschlossene Ketten mit Druckkraftorganen scheinen nicht möglich zu sein. So ist die einfache Kette, welche Fig. 422

darstellt, und welche zu schreiben wäre:

$$P^+ \dots | \dots V^+ \underbrace{Q_2 \dots Q_2}_b \underbrace{V^- \dots | \dots P^-}_c$$

konzentriert geschrieben also hiesse:  $(P^+V_3^+V_4^+)$ , im Grunde genommen kraftschlüssig. Denn bei Abwesenheit des Kraftschlusses

Fig. 423.



würde das Wasser  $b$  aus dem Ausgangsrohr ablaufen. Immerhin bleibt die Einrichtung verwertbar und dient ja auch als Handspritze.

Schliesst man etwa das Ausgangsrohr durch einen zweiten Kolben, so kommt man zu der uns bekannten Einrichtung in Fig. 423. Die

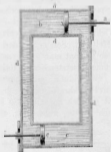
Kette hat nun vier Glieder statt drei, ist aber bereits eine zusammengesetzte Kette, da sowohl das Wasser  $b$  mit drei Elementen, 2, 3 und 5, als auch der Körper  $d$  mit drei Elementen, 1, 4 und 5, gepaart ist. Die Formel lautet:

$$V = \frac{d}{e} \left[ \frac{a}{b} \cdot \left( \frac{P}{Q} \right) \dots \left( \frac{V_3^+}{V_4^+} \right) \dots \right] \dots Q_2.$$

Dennoch ist selbst diese Kette noch nicht zwangsläufig geschlossen, sondern immer noch durch den Kraftschluss bedingt.

Ein Mittel, die vorliegende und ähnliche, mit den hübsamen Elementen erzielte Ketten paarschlüssig zu machen, besteht in

Fig. 424.



einem Verfahren, welches man die Verdoppelung der Kette nennen könnte. Wir haben dieses Verfahren beim Riementrieb angewandt gefunden, vergl. n. 4, und haben auch schon früher die Verdoppelung der vorliegenden Kette kennen gelernt. Fig. 424 stellt die Kette dar. Ihre Bewegungen sind vollständig paarschlüssig; freilich aber ist dieselbe, obwohl sie nur fünfglieder hat, in noch höherem Grade zusammengesetzt, als die vorhergehende. Bedenken wir, dass man die Kette in Fig. 422 auch mit anderen Mitteln,

z. B. durch Zufügung eines geeigneten Hebelwerkes, welches die Bewegungen der Kolben von einander abhängig machte, zum Paarschluss bringen könnte, so sehen wir, dass die weitere Verfolgung uns unfehlbar in das Gebiet der zusammengesetzten Ketten führt. Bemerket sei noch dass das Prinzip der Verdoppelung der Kette auch beim Flaschenzug anwendbar sein würde, um denselben in eine zwangläufig geschlossene Kette überzuführen\*).

## §. 160.

**Zusammengesetzte Ketten.**

Von den verschiedensten Punkten sind wir bei der synthetischen Aufsuchung der einfachen Ketten zu der Grenze gelangt, wo das Gebiet der zusammengesetzten Ketten beginnt. Dabei hat sich herausgestellt, dass die synthetische Behandlung der letzteren nicht unterlassen werden darf, will man nicht wichtige praktische Fälle übergangen wissen. Da aber die Möglichkeit kinematische Ketten mit einander zu verknüpfen, bis ins Unendliche geht, fragt es sich, welcher Kreis von Problemen in die Synthese hier hinein-zuziehen sei.

In der That aber ist ein Unterschied zu machen, je nachdem die Zusammensetzung gebildet ist. Wird durch dieselbe etwas Neues geliefert, so wird sie anders zu betrachten sein, als wenn sie nur Bekanntes nebeneinanderstellt. Wir wollen zunächst an einigen Beispielen dies festzustellen suchen.

Um zuerst ein sehr einfaches anzuführen, so wird offenbar kinematisch nichts Neues geliefert, wenn in Triebwerken ein Riemtrieb hinter dem andern, ein Räderwerk hinter dem andern angebracht wird. Die entstehenden Drehungen mögen sich der Relativgeschwindigkeit nach unterscheiden: das Gesetz derselben ist durch die Gesetze der einzelnen Getriebe bereits gegeben, und ein anderer Vortheil, als der der wiederholten Benutzung einer und derselben Mechanismenart, wird aus der Zusammensetzung nicht gezogen.

Fig. 425 (a. f. S.) stellt ferner das Schema des Hauptgetriebes einer Balancierdampfmaschine dar. Die hier angewandte Kette,

---

\*) Von mir durch Modell im kin. Kabinet der K. Gew. Ak. anschaulich gemacht.

bestehend aus den sieben Gliedern  $a, b, c, d, b_1, a_1, d_1$ , ist offenbar zusammengesetzt. Sie besteht aus der rotirenden Bogenschubkurbel  $a, b, c, d = (C_7^3)^1$

Fig. 425.

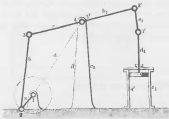


Fig. 426.

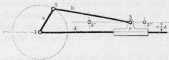
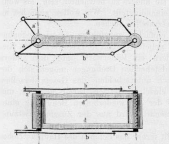


Fig. 427.



und der auf  $e$  gestellten geschränkten Schubkurbelkette  $(C_3^2 P^+)$ , welche Fig. 426 in einer uns schon bekannten Form nochmals gesondert darstellt. Die Zusammensetzung hat stattgefunden unter Verbindung der beiden Aufstellungsglieder  $d$  und  $c_1$  zum festen Gestell und derjenigen der Glieder  $c$  und  $b_1$  zu dem ternären Gliede, welches den „Balancer“ bildet. Demzufolge sind die Oscillationswinkel der Schwinge  $c$  und der Koppel  $b_1$  gleich, und dadurch der Schub des Gliedes  $d_1$  in eine feste Abhängigkeit zu der Grösse der Kurbel  $a$  gebracht. Jeden Augenblick aber können wir uns die beiden Getriebe getrennt denken, ohne dass eines derselben seinen Bestand verliert.

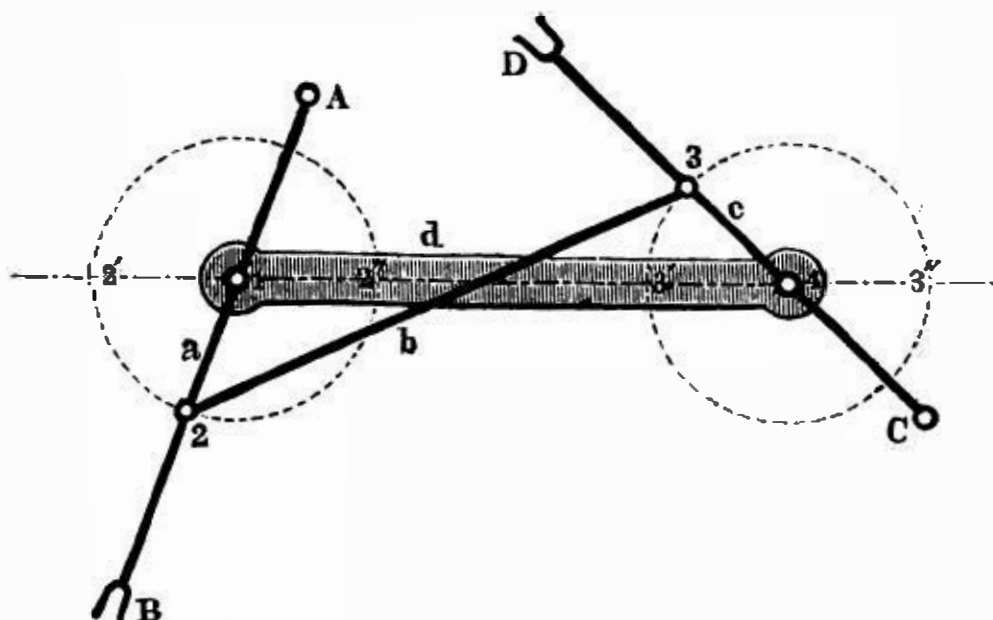
Ganz anders verhält es sich mit dem folgenden Mechanismus, der uns ebenfalls bereits

bekannt ist. Hier haben wir das Parallelkurbelpaar vor uns, bestehend aus zwei Ketten von der Form  $(C_2^2 || C_2^2)$ , deren  $d$ -Glieder

gleichgemacht und fest mit einander verbunden sind, und bei denen ebenfalls die Glieder  $a$  und die Glieder  $c$  je zu ternären Gliedern zusammengetreten sind. Wir wissen, dass diese zusammengesetzte Kette  $2(C_2'' \| C_2'')$  die Eigenschaft hat, dass beide Parallelkurbeln die Todtlagen, welche an sich genommen Wechsellagen sind (vergl. §. 46 und 66), ohne Störung überschreitet. Diese Eigenschaft wird aber allein der Zusammensetzung verdankt; somit hat diese etwas Neues, den beiden verbundenen Ketten einzeln nicht Eigenthümliches verwirklicht.

Ein weiteres Beispiel bietet uns das Antiparallelkurbelpaar, Fig. 428, welches wir aus früheren Untersuchungen (§. 47 und 67)

Fig. 428.



ebenfalls bereits kennen. Es war früher nicht am Platze, darauf hinzuweisen, dass auch hier, trotzdem die Gliederzahl in der Kette ( $C_4''$ ) nicht vermehrt ist, eine zusammengesetzte Kette vorliegt. Dieselbe besteht aus den bekannten vier Gliedern  $a b c d$  und einer zweiten Kette aus den Gliedern  $A 1 B, C 4 D$  und  $d$ . Wir können dieselbe ausführlich schreiben:

$$C^+ \dots \overset{a}{\|} \dots (Z) \dots \overset{c}{\|} \dots e \dots (C) \dots \overset{d}{\|} \dots C^-$$

Ihr Stegglied  $d$  ist mit dem Stege  $d$  der Kette ( $C_4''$ ) identisch gemacht, die beiden Glieder  $C \dots \| \dots Z$  mit den Gliedern  $a$  und  $c$  zusammengelegt; beide sind dadurch zu ternären Gliedern gemacht. Einzeln genommen würden aber die beiden Ketten nicht gangbar sein, nämlich ( $C_4''$ ) in den Todtlagen, ( $C_2'' Z''$ ) ausserhalb der Todtlagen ungeschlossen sein.

Diese Beispiele werden genügen, um die Verschiedenheit der zwei besprochenen Verbindungsweisen deutlich zu machen. Wir wollen die zuletzt besprochenen Zusammensetzungen ächte, die zuerst besprochenen unächte Zusammensetzungen nennen,

und bemerken nun, dass die ächten Zusammensetzungen unmittelbar in das Gebiet der kinematischen Synthese hineinfallen, während die unächtlichen nicht nothwendig in Betracht gezogen werden müssen.

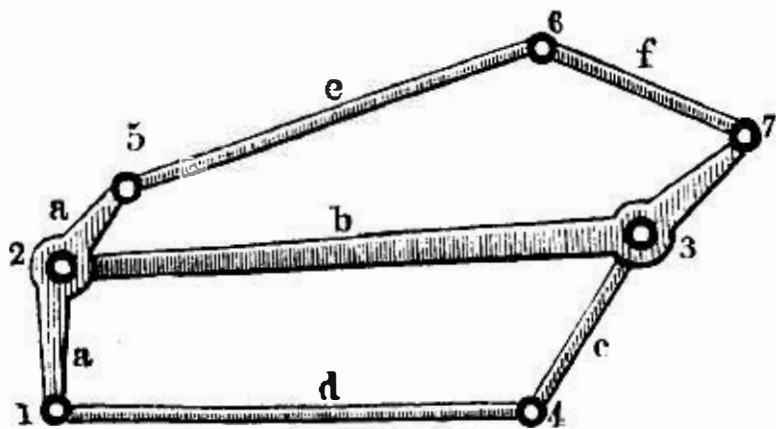
### §. 161.

#### Beispiele von ächt zusammengesetzten Ketten.

Es liegt auf der Hand, dass die zusammengesetzten Ketten, wegen ihrer grösseren Gliederzahl, noch weit reicher an Anwendungen zu Mechanismen sein müssen, als die einfachen Ketten. Daher müsste die nur einigermaassen vollständige Betrachtung solcher Ketten zu Untersuchungen führen, welche für diese Stelle zu umfangreich sein würden. Auch ist es hier vorzugsweise unsere Aufgabe, Wege zu zeigen, nicht aber, vollständig durchgeführte Probleme zu geben. Ich glaube mich daher auf einige wenige Beispiele beschränken zu dürfen.

Aechte Zusammensetzungen von grosser Mannigfaltigkeit der Gestaltung können mit der Kette ( $C_4''$ ) durch Zufügung weiterer Cylinderglieder gebildet werden. Schon früher habe ich auf solche Ketten hingewiesen (vergl. u. a. §. 60). Durch Anschliessung von zwei neuen Gliedern, welche mit den alten an geeigneten Stellen gepaart werden, kann man ächte Zusammensetzungen erhalten, welche eine Fülle von Bewegungsaufgaben zu lösen gestatten. Fig. 429 zeigt eine solche ächt zusammengesetzte Kette aus sieben

Fig. 429.



parallelen Cylinderpaaren. Die Glieder  $e$  und  $f$  sind den bekannten vier Gliedern  $a, b, c, d$  zugefügt und zwar indem die Paare 5 und 7 an benachbarte Glieder —  $a$  und  $b$  — angefügt sind; eine andere Kombination würde entstehen, wenn sie an gegenüberliegende

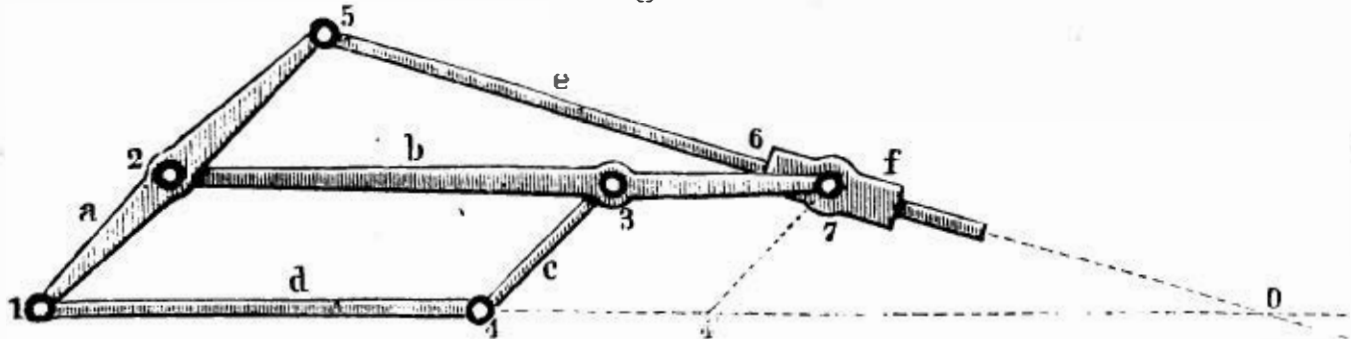
oder überbenachbarte Glieder angehängt würden. Dass die Zusammensetzung eine ächte ist, geht daraus hervor, dass die Verbindung von  $e$  und  $f$  allein keine geschlossene Kette liefert.

Beachtet man, dass die verschiedenen Gliedlängen bis zur Unendlichkeit veränderbar sind, so sieht man einen ganz ausserordentlichen Reichthum von besonderen Fällen aus dem vorliegenden all-



gemeinen hervorgehen. Werden z. B. die Glieder  $e$  und  $f$  unendlich lang gewählt, und ferner sowohl die Paare der Terne 1,2,5 als diejenigen der Terne 2,3,7 komplan gemacht, so entsteht die in Fig. 430 dargestellte Verbindung. Bilden wir in derselben noch die Grundkette ( $C_4''$ ) als Parallelogramm aus, so erhalten wir sofort

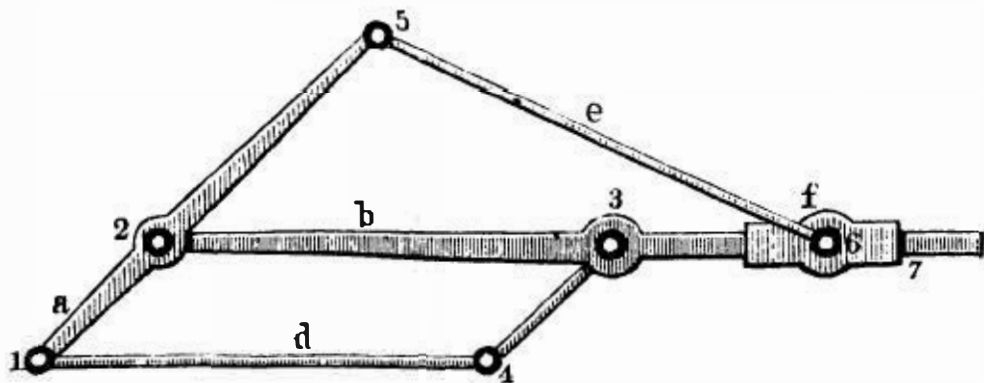
Fig. 430.



eine, bisher wohl nicht benutzte Kette von bemerkenswerthen Eigenschaften. Da nämlich die zu  $a$  parallel gezogene  $7.4'$  stets  $\equiv 2.1$ , und ausserdem  $1.4'$  eine konstante Grösse ist, so schneidet die verlängerte  $5.6$  die  $1.4 \dots$  immer in demselben Pol  $O$ . Bei Feststellung von  $a$  entsteht demnach ein Mechanismus, welcher dazu dienen kann, den Stab  $e$  so zu führen, dass seine Achse stets durch einen ausser dem Mechanismus liegenden, etwa unzugänglichen Mittelpunkt geht.

Macht man  $e$  von endlicher Länge, dafür aber  $f$  und  $3.7$  unendlich lang, so entsteht die in Fig. 431 dargestellte Kette, welche von der vorhergehenden wesentlich verschieden ist.

Fig. 431.



Viele nützliche Anwendungen findet die Kette Fig. 429 in den sogenannten Gelenkgeradfürungen, wo sie dazu dient, Stäbe in geraden Bahnen oder Annäherungen von solchen zu leiten.

Ein anderes Beispiel, welches hierher passt, ist dasjenige des rückkehrenden Räderwerkes ( $C_{2,2}C_3''$ ), welches wir in §. 105 bereits behandelt haben. Ich begnüge mich hier mit dem blossen Hinweis, da die damalige Betrachtung auf die Vielheit der Mechanismen, welche aus ( $C_{2,2}C_3''$ ) sich bilden lassen, bereits hingedeutet hat.



sprochen haben (§. 105). Im Anschluss an den Namen, den Watt dem besonderen Mechanismus  $(C_5''C_2)^a$  gegeben hat, wollen wir die Kette  $(C_5''C_2)$  die Planetenräderkette nennen\*).

Fig. 433.

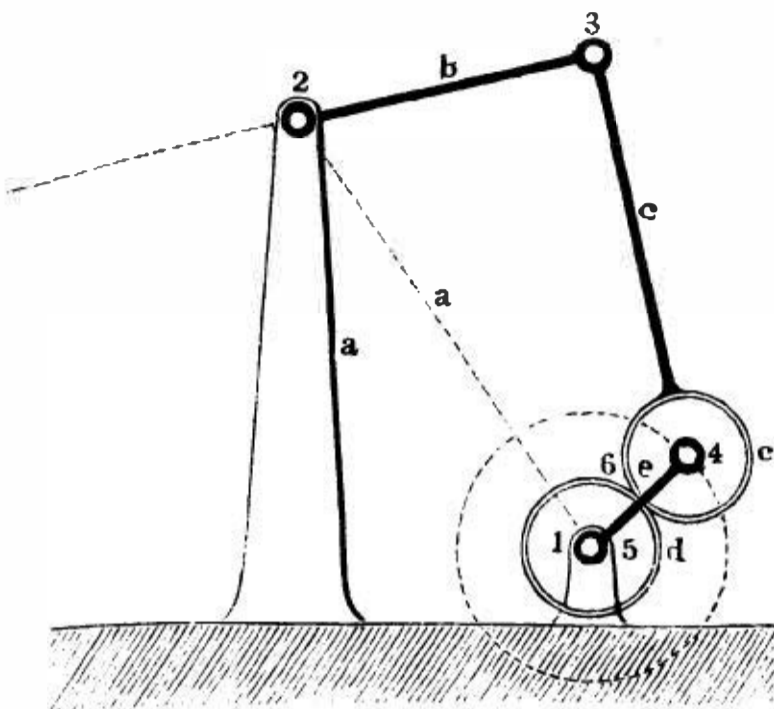
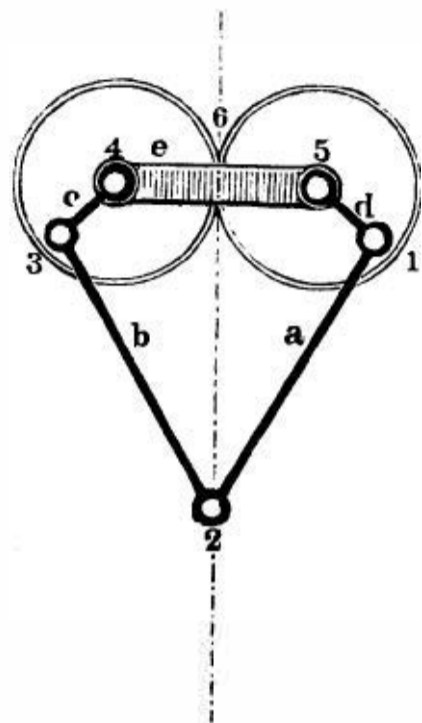


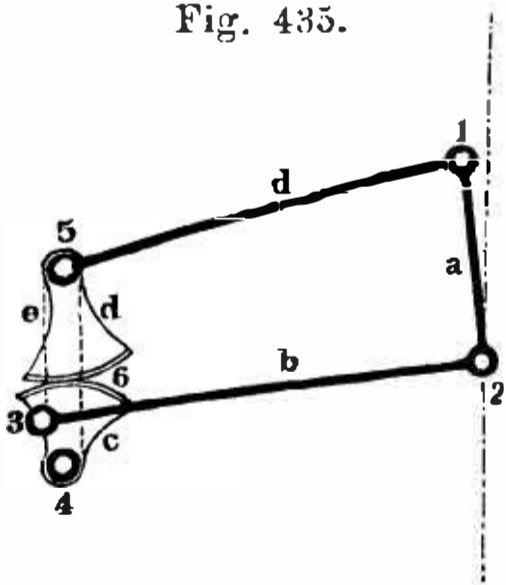
Fig. 434.



2) Macht man 1.5 nicht gleich Null, sondern  $= 3.4\text{§}$  ausserdem  $a = b$  und auch die beiden Zahnräder gleichgross, so dass also auch die Glieder  $c$  und  $d$  völlig gleich ausfallen, so wird die Kette zur Linie 6.2, Fig. 434§ streng symmetrisch, und es entsteht bei Stellung auf  $e$  eine Geradführung, welche man die Cartwright'sche nennt.

3) Wählt man die Verhältnisse der Längen 5.1§ 1.2§ 2.3 und 3.4 nicht symmetrisch, aber in einer anderen passenden Weise,

Fig. 435.



und gibt den Zahnrädern ein angemessenes Halbmesserverhältniss, so entsteht bei Stellung auf  $e$  eine Geradführung für den Punkt 2, welche meines Wissens von Maudslay herrührt. Die Bahn des Punktes 2 ist zwar keine genaue gerade, nähert sich aber einer solchen sehr nahe an, wenn der Oscillationswinkel von  $d$  nicht zu gross gewählt wird.

4) Das Unendlichmachen einzelner Glieder liefert wichtige besondere Fälle. Wir wollen zuvörderst  $b$  und  $a$  unendlich machen,

\*) Die in §. 105 besprochene Anwendung des Planetenräderwerkes, welche Galloway machte, bleibt hier unerörtert, weil sie eine noch grössere Zusammensetzung der Kette erfordert.

zugleich aber vorerst dieselbe Vereinfachung herbeiführen, welche beim Wattischen Planetenräderwerk besteht, nämlich die Länge  $l_5 = \text{Null}$  setzen. Wir erhalten dann beispielsweise die in Fig. 436 dargestellte Kette. Sie ist, wenn wir bei 1 anfangen, konzentriert zu schreiben:  $(C^1-P^1-C_3''C_z)$ . Wird dieselbe auf  $a$  gestellt, so liefert sie ein Planetenradkurbelgetriebe mit geradlinigem Schub, welches in mancherlei Anwendungen vorkommt.

Eine besondere Form desselben wird erhalten, wenn  $d$  zum Hohlrade gemacht wird, siehe Fig. 437. Dieselbe hat, ohne dass man sie

Fig. 436.

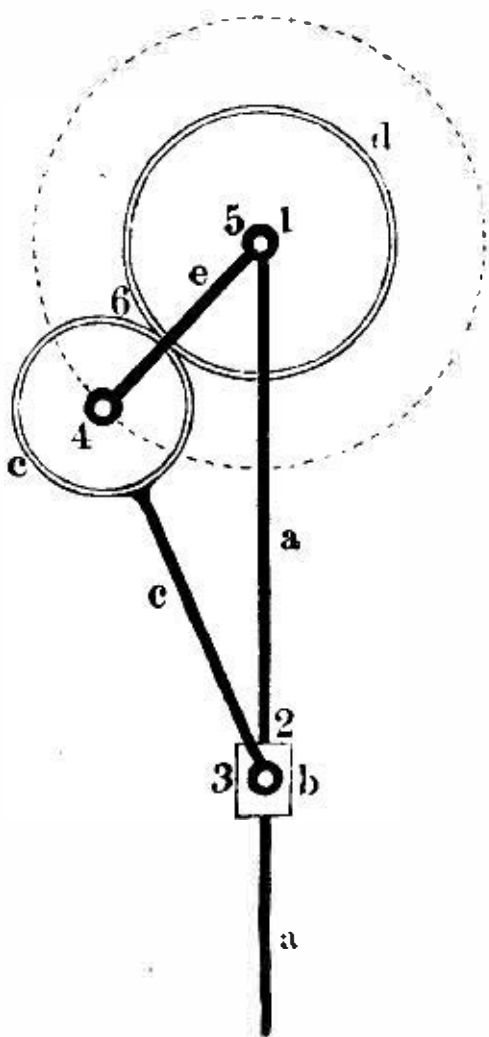
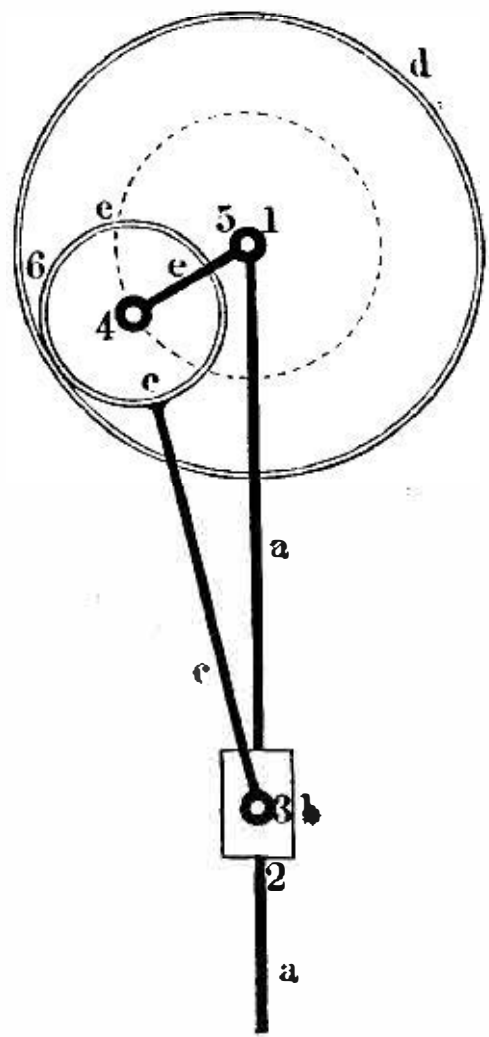


Fig. 437.



erkannt hat, neuerdings mehrere eigenthümliche Anwendungen gefunden. Unter anderem ist sie von Caird & Robertson in einem Mechanismus zum Steuerruderbetrieb benutzt worden\*). Die Kette ist dabei auf  $a$  gestellt und mittelst des Gliedes  $e$  betrieben. Formel:

$(C^1-P^1-C_3''C_z^-)_e^a$ . Das Verhältniss der Zahnräder ist der Einheit nahe gebracht, wodurch eine starke Uebersetzung ins Langsame erzielt wird. Die Steuerruderachse ist konaxial mit  $d$  verbunden.

Unter Einleitung der Bewegung in das Rad ist das vorliegende Getriebe in gewissen Nähmaschinen zum Betrieb der Nadelstange benutzt worden.

\*) Génie industriel, 1869, Bd. 37, S. 29. Caird & Robertson wenden denselben Mechanismus auch im Gangspill an.

Eine fernere Anwendung derselben Kette ist in dem Eades'schen Flaschenzug, den Fig. 438 schematisch darstellt, zu erblicken\*). Stellung auf  $a$ , Betrieb durch  $e$  wie vorhin. Das Glied  $b = C \dots \perp \dots P$  fehlt; es ist weggemindert und zwar nach dem in §. 76 durch Fig. 269 und 270 erläuterten Verfahren. Die Formel des Getriebes lautet also:  $(C^\perp P^\perp C_3'' C_2^-)^\frac{a}{e} - b$ . Abermals derselbe Mechanismus, und zudem mit derselben Verminderung bedachts ist sowohl von Wilcox\*\*), als von Taylor\*\*\*) zu einem Dezimalzählwerk benutzt worden.

5) Die vorliegende Kette erhält eine Bewegung, welche von der in den vorstehenden Beispielen benutzten sich stark unterscheidet, wenn die Länge 3.4 kleiner als 4.5 gemacht wird, während wir sie bis dahin grösser angenommen haben. Fig. 439 stellt den

Fig. 438.

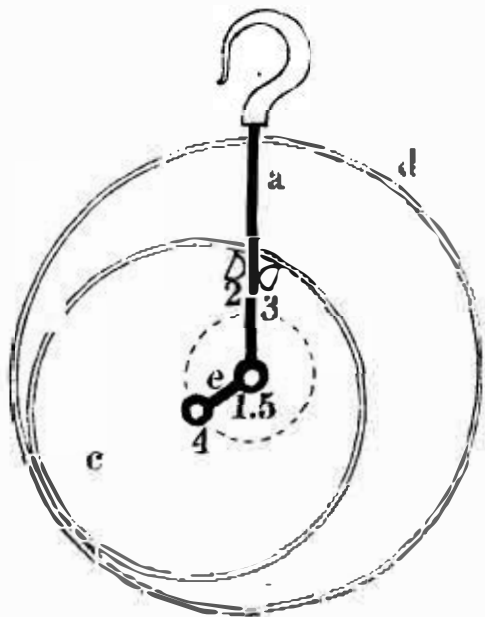
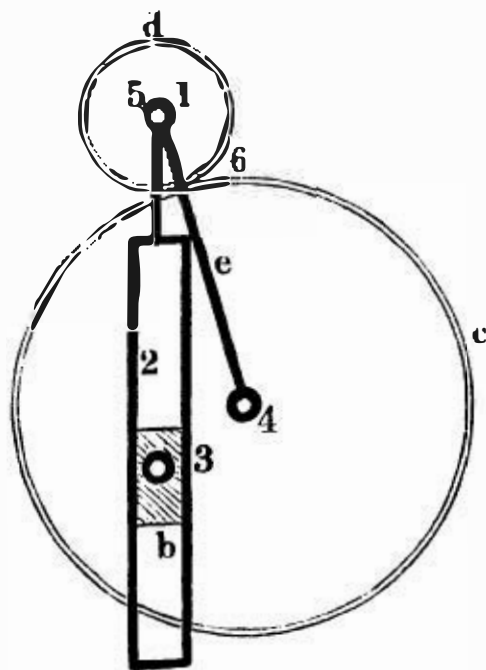


Fig. 439.



Fall dar. Während vorhin bei Stellung der Kette auf  $a$  die ganze Oscillation des Gliedes  $b$  gleich  $2 \times 4.5$  oder  $2 e$  wurde, wird sie jetzt gleich  $2 \times 4.3$ . Dieser Mechanismus ist von mir als Hauptgetriebe für Niet-, Loch- oder Prägepressen angegeben und mit dem Namen Zahnexzentrik belegt worden †) (vergl. auch S. 299).

6) Lässt man die Unendlichsetzung der Glieder  $a$  und  $b$  bestehen, macht aber 1.5 nicht = Null, sondern lässt diesen Werth

\*) Engineer 1867, S. 135.

\*\*) Engineering 1869, Januar, S. 38.

\*\*\*f) Engineering 1869, Juli, S. 1.

†) Siehe Civilingenieur 1858e S. 4: „Das Zahnexzentrik, ein neuer Bewegungsmechanismus.“ Die ganze Reihe der Zahnexzentrikmechanismen wurde von mir in dem angezogenen Artikel behandelt, ohne dass ich den oben erläuterten Zusammenhang mit dem Planetenräderwerk erkannt hatte.

angebbar, so entsteht die in Fig. 440 in allgemeiner Form dargestellte Kette. Wird in derselben  $3.4 < e$  gemacht, so erhält man die Kette in Fig. 441, welche von mir in der soeben angezogenen

Fig. 440.

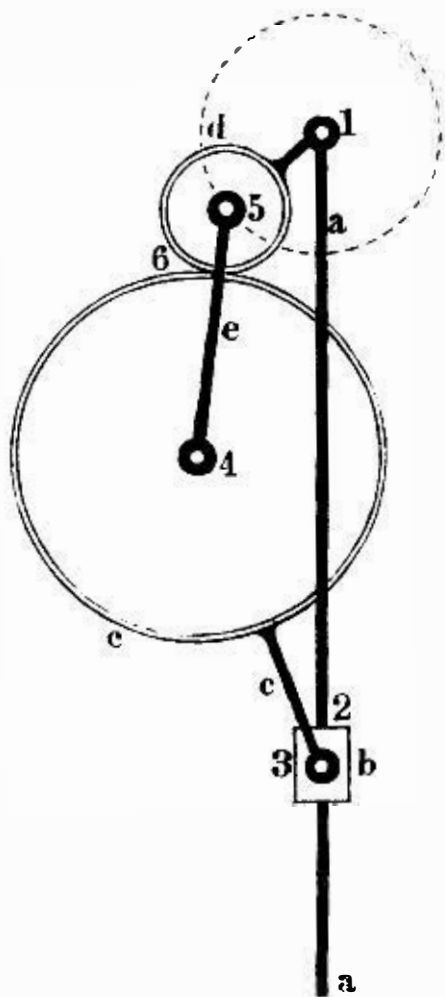
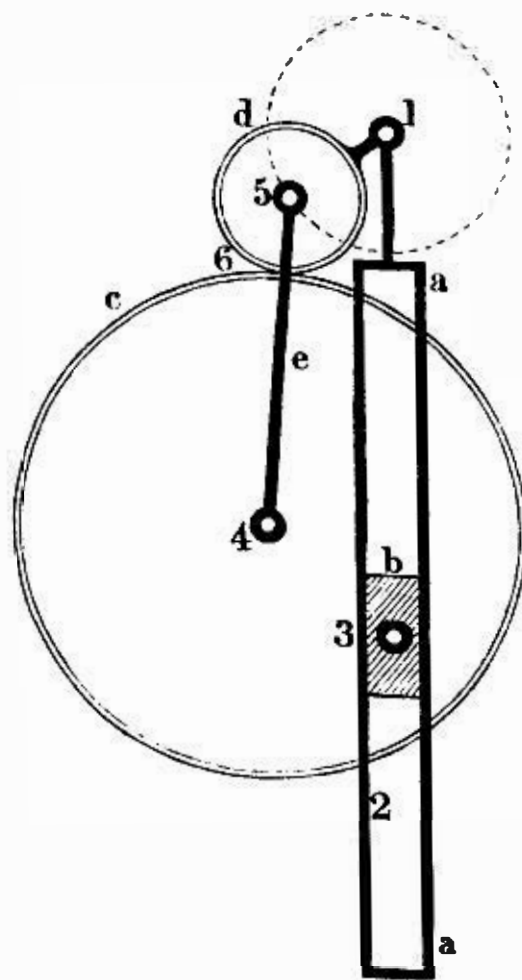


Fig. 441.



Quelle als der allgemeine Fall des Zahnexzentricks bezeichnet worden war. Diese Kette kann bei Stellung auf  $a$  dazu dienen, Oscillationen mit zahlreichen Maximum- und Minimumlagen hervorzubringen. Ein interessanter Fall wird erhalten, wenn die Zahnräder und Exzentrizitäten gleich gross gemacht und so gestellt werden, dass 3.4 und 1.5 symmetrisch zu  $a$  stehen, Fig. 442. Ich nannte den entstehenden Mechanismus das symmetrische Zahnexzentrisk. Die Polbahnen zwischen  $c$  und  $a$ , sowie die zwischen  $d$  und  $b$  werden Cardankreise.

7) Statt  $b$  und  $a$  unendlich zu machen, kann die Wahl hierzu auch auf  $b$  und  $c$  fallen. Man erhält die von der vorigen stark verschiedene Kette, welche in Fig. 443 dargestellt ist. Die Formel lautet:  $(C''C \perp P \perp C_2''C_2)$ . Bei Stellung auf  $c$  und Antrieb durch  $e$  wird eine ziemlich verwickelte Oscillation von  $b$  hervorgebracht. Das Getriebe ist u. a. an der Nähmaschine von Whitehill zur Nadelbewegung benutzt; die beiden Räder sind daselbst gleichgross gewählt.

Macht man  $c$  zum Hohlrade, so entsteht die in Fig. 444 dargestellte Kette. Wird in ihr insbesondere noch das Rad  $d$  halb so

gross als  $c$ , und  $1.5 = 5.4$  gemacht, so geht die Kette in die in Fig. 445 angegebene Form über. Hier bewegt sich der Punkt 1, als dem Umfang eines kleinen Cardankreises angehörig, auf einem

Fig. 442.

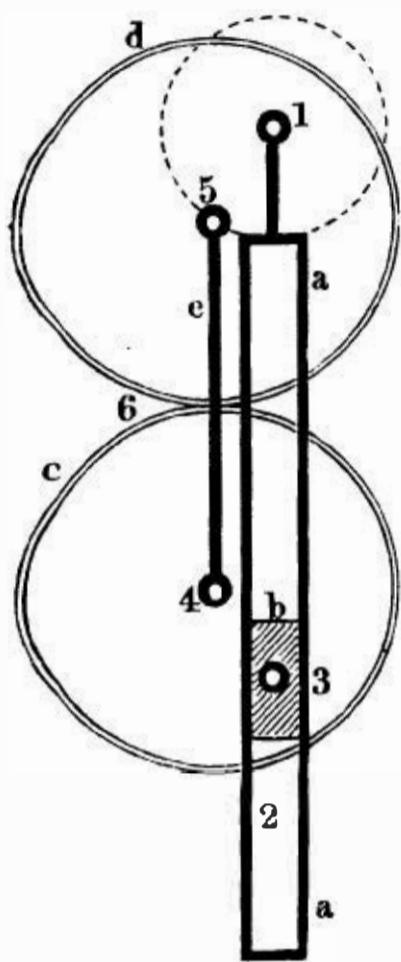


Fig. 443.

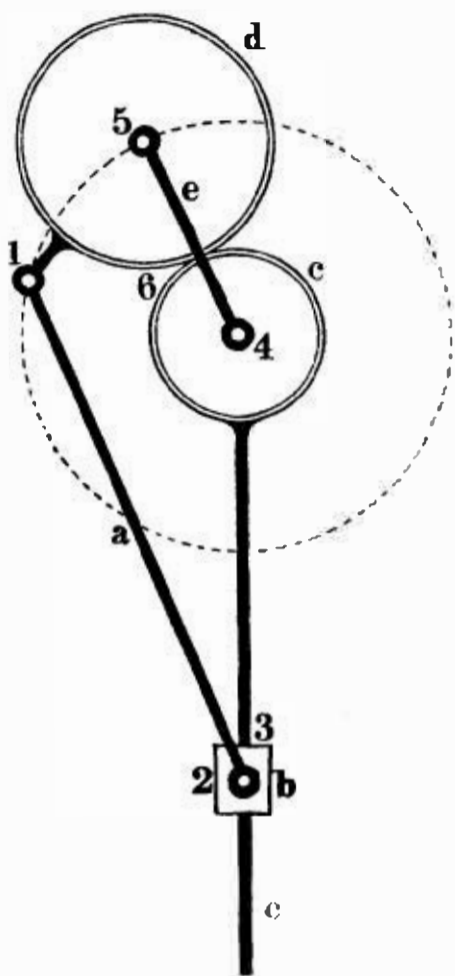
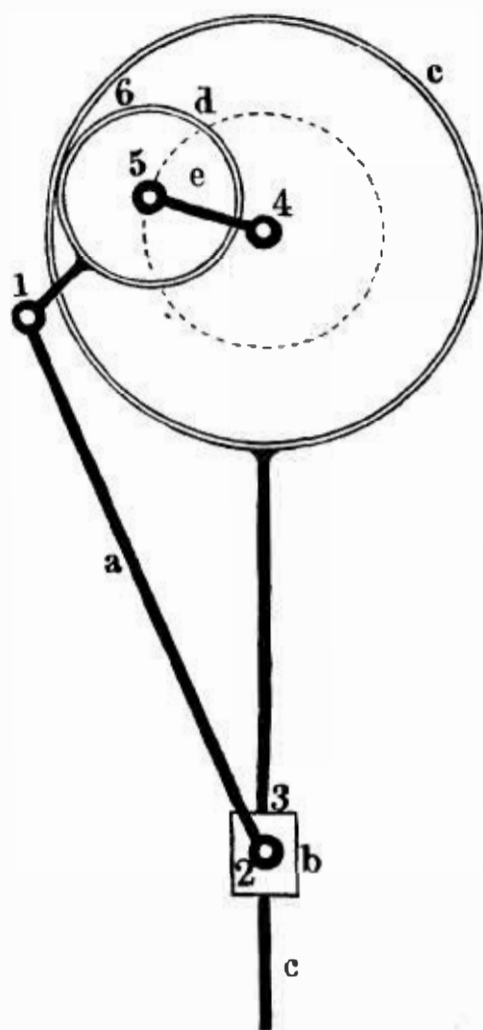
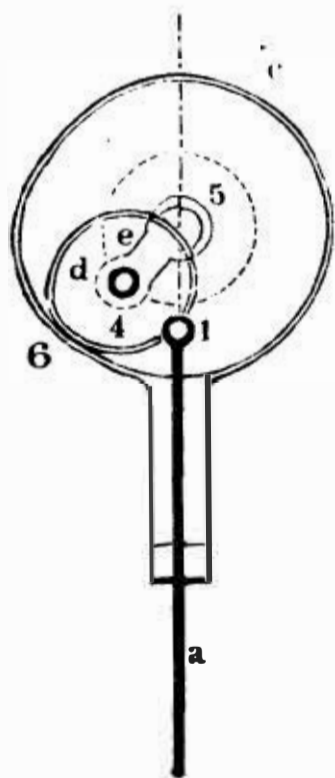


Fig. 444.



Durchmesser des Theilkreises von  $c$ . Bei Stellung auf  $c$  erhält man demzufolge eine Geradföhrung. Es ist ein alter Bekannter, nämlich die Hypocykelföhrung, auch Lahire'sche Geradföhrung,

Fig. 445.



White'sche Geradföhrung genannt, an den Schnellpressen in bewährter Verwendung. Das Glied  $b$  verliert hier seine Achsendrehung um den Zapfen 2, und kann daher ganz wegfallen. Wird dieselbe Kette statt auf  $c$  auf  $a$  gestellt, so entsteht ebenfalls eine Geradföhrung, und zwar für das Glied  $c$ . Dieser Mechanismus ist meines Wissens neu\*).

Es sei nur noch eben erwähnt, dass, wenn man die in  $(C_5''C_2)$  eingeföhrten Prismen geschränkt statt rechtwinklig schneidend gegen die Achsen stellt, abermals eigenthümliche Fälle entstehen, die hier aber unerörtert bleiben können.

\*) Modell im kinematischen Kabinet der Königl. Gewerbe-Akademie.

## §. 162.

**Schlussbemerkungen.**

Die Umschau auf dem synthetischen Gebiete, die wir nun beendet haben, hat mehrere Ergebnisse geliefert, welche bedeutend von dem abweichen, was bisher als allgemeine und auch wissenschaftliche Meinung über das Maschinenwesen umläuft. Die wichtigste Entdeckung, zu welcher wir gelangt sind, ist ohne Zweifel die, dass das Gebiet der kinematischen Verbindungen weit enger begrenzt ist, als es bisher den Anschein hatte. Ich sehe hierbei ab von der Ungenauigkeit der Vorstellungen, welche die bisherige Schule der Sache zu Grunde legte. Hierauf kommt es in diesem Augenblicke weniger an, da auch die bestimmte Auffassung der Elementenverbindungen, mit welcher wir an die Aufgabe herantraten, nicht wohl vernuthen liess, dass die Synthese einen so weitgehenden Erfolg haben könne, wie ich ihn glaube nachgewiesen zu haben.

Sehr bemerkenswerth ist sodann, namentlich im Hinblick auf die Maschinenpraxis und den höheren wie niederen Unterricht, dass die Hauptfolge des Maschinenwesens sich auf eine ziemlich kleine Zahl kinematischer Ketten konzentriren. Sie sind:

die Schraubenkette,  
die Räderkette,  
die Kurbelkette,  
die Kurvenschubkette,  
die Schaltungsketten,  
die Rollenketten,

und endlich die durch Einschiebung von bildsamen Elementen an die Stelle der starren zu bildenden Ketten. Die übrigen treten mehr oder weniger an Bedeutung zurück.

Hier ist der Ort, auf eine in §. 92 gemachte Bemerkung zurückzukommen. Ich berührte dort die auffallende Thatsache, dass die „rotirenden“ Dampfmaschinen und Pumpen in so grosser Mehrzahl den Kurbelgetrieben angehören, indem sie als Kapselwerke aus solchen gebildet sind. Hier erklärt sich dies. Unter den kinematischen Ketten nämlich, die überhaupt der Verwendung am ersten fähig sind, ist die Kurbelkette diejenige, welche die für



die Kapselung und den dichten Verschluss günstigsten Elementenpaare, das Cylinder- und das Prismenpaar, enthält. Somit war die Erfindung unbewusstermaassen in erster Linie auf diese Kette hingewiesen.

Zugleich haben wir gesehen, dass es sich dringend empfiehlt, die Synthese auf dem ganzen Gebiet möglichst konsequent durchzuführen, da dieselbe eine beträchtliche Ausbeute an Neuem verheisst. Es fragt sich, in welcher Form dies zu geschehen habe. Denn das, was wir in dem vorliegenden Buche in dieser Richtung thun konnten, hat uns doch nur zu den äusseren Umrissen gelangen lassen. Der Gedanke liegt nahe, dass es am besten sein möchte, das ganze Gebiet, Paar um Paar, Kette um Kette, vollständig durchzuarbeiten, also die „synthetische Kinematik“ als Lehrgegenstand oder als Aufgabe eines besonderen Werkes zu bezeichnen. Ich halte indessen diesen Weg nicht für den richtigen. Vielmehr scheint es mir angemessener, in der „angewandten Kinematik“ die Mechanismen, welche nach den Bedürfnissen der Anwendung geordnet werden mögen, sowohl analytisch als synthetisch zu behandeln. Die Synthese soll hier, wie es mir am richtigsten scheint, eines der Untersuchungsmittel, nicht aber der Kanon der Behandlung der Aufgaben sein; sie soll mit und neben den übrigen Methoden dazu gebraucht werden, über jeden Gegenstand das erwünschte Licht zu verbreiten.

Eine andere Bemerkung aber drängt sich hier noch auf. Neben dem befriedigenden Gefühle, welches die gewonnene Ueberzeugung gibt, dass wir nicht ins Grenzenlose hinaus arbeiten, wenn wir Kinematik treiben, könnte sich der entgegengesetzte zweifelnde Gedanke einschleichen, ob nicht der Stoff, nach dem neuen Prinzip behandelt, bald wissenschaftlich erschöpft sein werde, ob nicht das Gebiet, einem stark belegten Bergwerk ähnlich, demnächst wissenschaftlich abgebaut sein werde. Diese Frage ist um so berechtigter, je mehr wir andererseits Nachdruck auf die Vereinfachung, zu welcher wir uns durchgearbeitet haben, legen. Allein auch diese Besorgnis ist zu verschuchen.

Die klare Höhe, auf welche die Synthese uns hingeführt hat, gestattet uns, weithin, vorwärts und rückwärts, das durchforschte Gebiet wie seine noch unerforschten Theile zu überblicken. Und da sehen wir denn die reichste ja eine unerschöpfliche Fülle von Problemen sich dem strebsamen Geiste darbieten. Zeigte doch schon der kurze Versuch, den wir vorhin beim Planetenräderwerk

machten, dass der Bereich der zusammengesetzten Ketten noch an tausend Stellen der Aufschliessung harrt. Und dennoch ist hier nur der abstrakte Mechanismus aus starren Elementen betrachtet worden. Substituieren wir den letzteren an den geeigneten Stellen die bildsamen Elemente, als welche die zu bearbeitenden Körper in die Maschine eintreten, behaftet mit allen den zu berücksichtigenden Eigenthümlichkeiten, welche die Natur über ihre Schöpfungen ausschüttet, so sehen wir eine Mannigfaltigkeit der Forderungen uns entgentreten, welcher das abstrakte Schema erst nach immer neuer Durcharbeitung gewachsen sein kann. Dem gegenüber, also vor der Praxis mit ihren zahllosen Forderungen, weicht die graue Skepsis alsbald wieder dem wohlthuenden Bewusstsein welches die Erkenntniss der inneren Einfachheit unserer Hilfsmittel gewährt. Wir sehen uns gestärkt durch die Ueberzeugung, dass das Viele, welches geleistet werden soll, mit wenig Mitteln geleistet werden kann und dass die Gesetze, nach welchen dies zu geschehen hat, unserer Erkenntniss offen liegen.

Hier bin ich, zu guterletzt, bei einem Punkte angelangt, welchen ich in der Einleitung schon berührte, und über welchen bereits dieses ganze Kapitel, ohne das Ding beim Namen zu nennen, gehandelt hat. Es ist die Frage wegen des Erfindens der Mechanismen. Was ich darunter verstanden habe, wenn ich sagte, dass das Erfinden von Mechanismen künftig auf wissenschaftlichem, insbesondere auf synthetischem Wege ausführbar sein werde ist in dem Vorangegangenen erläutert, und die Behauptung, wie ich glaube, auch in jeder Beziehung bewiesen worden. Freilich erleichtert die kinematische Synthese das Finden von Mechanismen nur für denjenigen, welcher den Gegenstand wissenschaftlich erfasst hat, steckt dem Suchenden aber zugleich die Ziele weiter und höher. Die kinematische Synthese bewirkt also nicht sowohl ein Herabdrücken der Geistesarbeit des Erfinders, als eine Hebung derselben, eine Klärung seiner Anschauungen, sowohl hinsichtlich der ihm zu Gebote stehenden Mittel, als der damit zu verfolgenden Zwecke und der sich der Aussicht eröffnenden Endziele.

---