

dessen die beiden Kegelflächen auf entgegengesetzten Seiten der Berührungslinie OC . Dieser Fall entspricht sonach dem äußeren Angriffe der Räder für parallele Axen. In Fig. 139 (a. v. S.) hingegen, in welcher der eine Winkel $\delta_2 > 90^\circ$ ist, liegen beide Kegelflächen auf derselben Seite der Berührungslinie, und man kann daher die Berührung eine innere nennen, entsprechend dem inneren Eingriffe bei den Rädern paralleler Axen. Als Grenzfall zwischen den eben erwähnten kann der in Fig. 140 dargestellte gelten, wobei der Winkel δ_2 der Erzeugungslinie OC mit der Axe OB gleich einem Rechten ist. In Folge dessen artet die zugehörige Kegelfläche hier in eine zur Axe OB normale Ebene aus und pflegt man daher das betreffende Rad EF ein Planrad zu nennen.

Beispiele: 1) Der Axenwinkel zweier Wellen beträgt 70° , es sollen zwei conische Räder für ein Umsehungsverhältniß $n = \frac{\alpha}{\beta} = 3$ zwischen denselben angeordnet werden. Man findet durch Rechnung die halben Spigenwinkel der Kegels aus

$$\operatorname{tang} \delta_1 = \frac{\sin 70^\circ}{3 + \cos 70^\circ} = 0,2812; \delta_1 = 15^\circ 42',$$

daher $\delta_2 = 54^\circ 18'$. Soll nun der äußere Berührungspunkt zwischen beiden Rädern um 1,2 Meter von dem Axendurchschnitte entfernt sein, so hat man die entsprechenden Halbmesser der Räder:

$$a = 1,2 \sin 15^\circ 42' = 0,325 \text{ Meter,}$$

$$b = 1,2 \sin 54^\circ 18' = 0,975 \text{ Meter.} = 3a.$$

Bei einer Länge der Berührung in der Seite des Kegels gemessen von 0,1 Meter folgen ebenso die inneren Halbmesser a_1 und b_1 der Räder zu

$$a_1 = 1,1 \sin 15^\circ 42' = 0,298 \text{ Meter,}$$

$$b_1 = 1,1 \sin 54^\circ 18' = 0,894 \text{ Meter} = 3a_1.$$

2) Wie groß ist das Umsehungsverhältniß zweier conischen Räder, deren Axen einen Winkel von 120° mit einander bilden, und von denen das eine Rad ein Planrad ist?

Man hat hier $\delta = 120^\circ$, $\delta_1 = 90^\circ$ und daher $\delta_2 = 30^\circ$; folglich ist das Umsehungsverhältniß

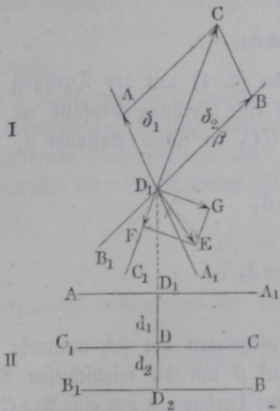
$$n = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 90^\circ} = 0,5;$$

das Planrad hat daher doppelt so große Halbmesser a und a_1 zu erhalten als das zugehörige Rad.

§. 46. Räder für windschiefe Axen. Es sei dieselbe Aufgabe, wie im vorstehenden Paragraphen für einander schneidende Axen, nunmehr für den Fall zweier windschiefen Axen gegeben. In Fig. 141 I und II sind diese Axen AA_1 und BB_1 in zwei zu einander senkrechten Projectionsebenen I und II dargestellt, von denen I parallel mit den parallelen Ebenen angenommen

wurde, welche sich durch die zwei windschiefen Axen legen lassen. Demgemäß stellt offenbar $D_1 D_2 = d$ den normalen (kürzesten) Abstand der beiden Axen dar.

Fig. 141.



Zuvörderst denke man sich wiederum die eine Welle, etwa AA_1 , in absolute Ruhe dadurch versetzt, daß man dem ganzen Systeme, also jeder Axe, eine Drehung gleich und entgegengesetzt der von AA_1 , also im Betrage $-\alpha$ ertheilt denkt. Hierdurch wird die Welle BB_1 zweien Drehungen unterworfen, nämlich einer solchen um die eigene Axe B im Betrage β und einer anderen um A im Betrage $-\alpha$, wo die Größen α und β wieder unendlich kleine Winkelgrößen sein sollen. Die Bestimmung der Axoide für diesen Fall ist nun unter Berücksichtigung des in der Einleitung, §. 25, Gesagten leicht zu bewirken, indem sich danach die Bewegung

um zwei windschiefe Axen jederzeit durch eine bestimmte Schraubebewegung um eine gewisse Axe ersetzen läßt, zu deren Kenntniß man auf dem an obiger Stelle angedeuteten Wege direct gelangt. Zu dem Ende denke man die Axe BB_1 parallel zu sich selbst verschoben, bis sie sich mit AA_1 in dem Fußpunkte D_1 der gemeinschaftlichen Normale d schneidet, was immer geschehen darf (Einleitung §. 4), sobald man nur noch eine zu der Axenebene senkrechte Verschiebung im Betrage $2d \sin \frac{\beta}{2}$ oder bei kleinem

Winkel β von βd hinzufügt. Diese Verschiebung ist in I durch die zu BB_1 normale Strecke $D_1 E = \beta d$ vorgestellt. Man kann nun die beiden Drehungen $-\alpha$ und β nach dem Parallelogramm der Drehungen genau wie im vorigen Paragraphen zu einer resultirenden Drehung γ um eine durch D_1 gehende Axe CC_1 zusammensetzen, welche den Winkel der Axen $AD_1 B = \delta$ in zwei Theile $AD_1 C = \delta_1$ und $BD_1 C = \delta_2$ theilt, und wofür die Proportion gilt:

$$\frac{\alpha}{\sin \delta_2} = \frac{\beta}{\sin \delta_1} = \frac{\gamma}{\sin \delta}. \quad (\S. 22).$$

Diese resultirende Axe $D_1 C$ steht schief zu der Verschiebung $D_1 E = \beta d$, da letztere ja normal zu der einen Componente $D_1 B$ gerichtet ist, und man kann diese Verschiebung βd daher in zwei Componenten $D_1 F$ parallel zu $D_1 C$ und $D_1 G$ senkrecht dazu zerlegen. Man findet, da der Winkel

$$C_1 D_1 E = 90^\circ - \delta_2'$$

ist, auf diese Weise die Componenten

$$D_1 F = \beta d \sin \delta_2$$

und

$$D_1 G = \beta d \cos \delta_2.$$

Die letztere Componente läßt sich nun wieder (§. 4) mit der Drehung um CC_1 vereinigen, und zwar resultirt daraus eine Drehung ebenfalls im Betrage γ um eine Axe, welche parallel zu CC_1 in einem Abstände d_1 von derselben sich befindet, welcher durch

$$\gamma d_1 = \beta d \cos \delta_2$$

zu

$$d_1 = \frac{\beta}{\gamma} d \cos \delta_2$$

gefunden wird.

Durch diese Zerlegungen und Zusammensetzungen hat sich nunmehr ergeben, daß die beiden Drehungen $-\alpha$ und β um die windschiefen Axen AA_1 und BB_1 sich ersetzen lassen durch eine Drehung γ um eine Axe CC_1 , die durch D im Abstände d_1 von AA_1 geht, welche parallel den beiden Parallelebenen der Axen liegt und deren Winkel δ_1 und δ_2 mit den letzteren gegeben sind durch die Gleichung

$$\frac{\alpha}{\sin \delta_1} = \frac{\beta}{\sin \delta_2} = \frac{\gamma}{\sin \delta'}$$

sowie ferner durch eine der Axe CC_1 parallele Verschiebung im Betrage $\beta d \sin \delta_2$, wofür man auch setzen kann $\alpha d \sin \delta_1$. Diese beiden Bewegungen bilden aber zusammen eine Schraubendrehung zur Axe CC_1 . Da nun die Umsezung der Bewegungen eine fortwährend constante ist, so folgt, daß das betreffende Axoid der bewegten Welle B diejenige Umdrehungsfläche sein muß, welche entsteht, wenn die mehrgedachte Gerade oder Momentanaxe CC_1 unter Festhaltung ihres Abstandes und ihrer Neigung gegen BB_1 um diese herumgedreht wird. Ebenso ist die hierzu gehörige, mit AA_1 fest verbundene Momentanaxenfläche die durch Umdrehung derselben Geraden um AA_1 entstehende Umdrehungsfläche. Die so entstehenden Umdrehungsflächen sind bekanntlich einschalige Umdrehungshyperboloide. Denkt man sich nunmehr die zusätzlich gegebene Drehung $-\alpha$ wieder beseitigt durch eine Umdrehung $+\alpha$, so steht jetzt AA_1 nicht mehr still, sondern nimmt eine Drehung $+\alpha$ an, während der Welle BB_1 nur noch ihre anfängliche Drehung $+\beta$ verbleibt, und man hat nunmehr den geforderten Bewegungszustand der beiden Axen herbeigeführt.

Man erkennt aus der vorstehenden Untersuchung, daß dieser Bewegungszustand sich erreichen läßt dadurch, daß man die gefundenen Momentanaxen-

flächen zu materiellen hyperboloidischen Rädern ausgebildet mit den Axen AA_1 und BB_1 fest verbindet, und nun aufeinander abwälzt, wobei außer dem Rollen derselben gleichzeitig noch ein Verschieben längs der jedesmaligen Berührungslinie im Betrage von

$$\alpha d \sin \delta_1 = \beta d \sin \delta_2$$

stattfindet.

Es dürfte noch von Interesse sein, das Theilungsverhältniß zu ermitteln, in welchem der kürzeste Abstand $d = D_1 D_2$, Fig. 142, II, durch die resultirende Schraubenaxe oder Erzeugungslinie CC_1 in D getheilt wird. Es wurde oben der Ausdruck gefunden:

$$DD_1 = d_1 = \frac{\beta}{\gamma} d \cos \delta_2.$$

Ganz ebenso würde man für den Abstand $DD_2 = d_2$ den Werth finden:

$$DD_2 = d_2 = \frac{\alpha}{\gamma} d \cos \delta_1.$$

Durch Division folgt hieraus

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\beta \cos \delta_2}{\alpha \cos \delta_1},$$

und darin

$$\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\sin \delta_1}{\sin \delta_2}$$

gesetzt, liefert schließlich:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\tan \delta_1}{\tan \delta_2} = \frac{D D_1}{D D_2}.$$

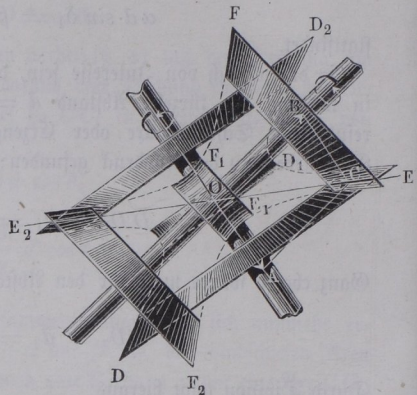
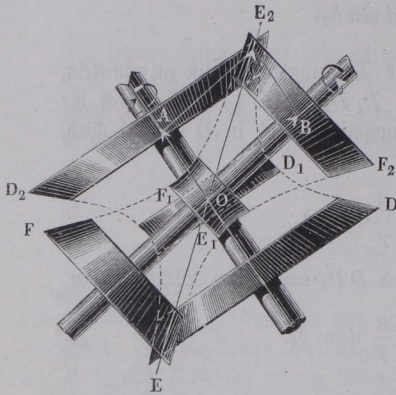
Diese Abstände d_1 und d_2 sind offenbar die Kehlkreisbahnmesser der gefundenen Hyperboloide, und man kann daher die gewonnenen Resultate folgendermaßen in Worte fassen:

Bei den hyperboloidischen Rädern verhalten sich die Kehlkreisbahnmesser direct wie die Tangenten der Winkel, unter denen die Berührungslinie gegen die Axen geneigt ist, während die Umdrehungsgeschwindigkeiten, also auch die Umdrehungszahlen den Sinus dieser Winkel umgekehrt proportional sind. In letzterer Hinsicht stimmen die hyperboloidischen Räder also gewissermaßen mit den conischen Rädern überein. Auch noch in anderer Hinsicht lassen sich gewisse Aehnlichkeiten der beiden Fälle sich schneidender und sich kreuzender Axen anführen, wie aus Folgendem zur Genüge hervorgeht. Zunächst ist auch bei den hyperboloidischen Rädern wie bei den conischen durch die Lage der Axen und das Umsetzungsverhältniß

die Größe der Räder noch keineswegs bestimmt, da man auch bei den Hyperboloiden durch Schnitte normal zu den Axen beider Körper in beliebigen Punkten der Berührungslinie EE_1E_2 , Fig. 142 und 143 Scheiben heraus-

Fig. 142.

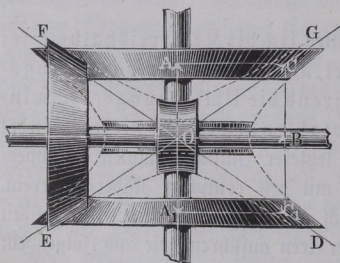
Fig. 143.



schneiden kann, deren Halbmesser mit ihren Abständen von den Kehlkreisen wachsen. Die kleinsten Räder E_1F_1 und E_1D_1 sind natürlich diejenigen, deren mittlere Ebenen mit den Kehlkreisen zusammenfallen, auch haben diese Scheiben die Eigenschaft, daß sie nur wenig von Cylindern abweichen, während alle einseitig herausgeschnittenen Scheiben wie diejenigen durch E und E_2 näherungsweise durch Kegeltumpfe sich ersetzen lassen, deren Seitenneigung mit der Neigung der Tangente an die hyperbolischen Profile in den gedachten Punkten übereinstimmt.

Man erkennt übrigens auch hier, ähnlich wie bei den conischen Rädern im vorhergehenden Paragraphen, daß die beiden in Fig. 142 und 143 dar-

Fig. 144.



gestellten Fälle sich nur durch die entgegengesetzte Drehungsrichtung der einen Axe A unterscheiden. Auch hier erhält man diesen beiden Fällen entsprechend zwei verschiedene Paare von Umdrehungshyperboloiden, welche ebenfalls zu einem einzigen Paare in dem Falle rechtwinkliger Axen zusammenschrumpfen, wie aus Fig. 144 ersichtlich ist. Denkt man sich nämlich die Axe B in einer bestimmten Richtung bewegt, und construirt in bekannter

Weise die beiden Momentanaxen OC und OC_1 , welche bei demselben Umsetzungsverhältnisse sowohl der einen wie der anderen Bewegungsrichtung von A entsprechen, so findet sich, daß die beiden Hyperboloide, welche durch die Umdrehung dieser Erzeugungslinien OC und OC_1 um jede Axe erzeugt werden, zusammenfallen müssen, in derselben Art, wie es auch bei den Kegelflächen der conischen Räder der Fall ist. Hieraus folgt die interessante Thatsache, daß ein Hyperboloidenpaar sich als Axoidenpaar ergibt, welches bei einer Umdrehung der einen Axe in einer bestimmten Richtung eine Umdrehung der anderen Axe unter einem bestimmten Umsetzungsverhältnisse sowohl in der einen wie in der entgegengesetzten Richtung veranlassen kann. Würde man daher in solchem Falle die beiden Axoide als materielle Hyperboloide ausführen, die gegeneinander gepreßt werden, um durch Friction die Bewegungsübertragung zu vermitteln, so würde die Umdrehung des einen eine Umdrehung des anderen nicht zur Folge haben können. Der Grund hiervon ist darin zu suchen, daß diese beiden Hyperboloide sich gleichzeitig in den beiden Geraden OC und OC_1 berühren, welche gegen die Axen symmetrisch liegen, daher die aus beiden Berührungen hervorgehenden Einwirkungen sich gegenseitig aufheben müssen. Wenn man die Hyperboloide jedoch mit Zähnen versieht, so können sie zur Bewegungsübertragung entweder in dem einen oder in dem anderen Sinne brauchbar gemacht werden, jenachdem man die Zähne nach der Richtung der einen oder der anderen Berührungslinie anordnet.

Auch hier berühren sich die Axoide, wie bei den conischen Rädern, von außen, so lange die Erzeugungslinie mit den Axen spitze Winkel bildet. Wenn hingegen der eine Winkel $\delta_2 > 90^\circ$ ist, so wird

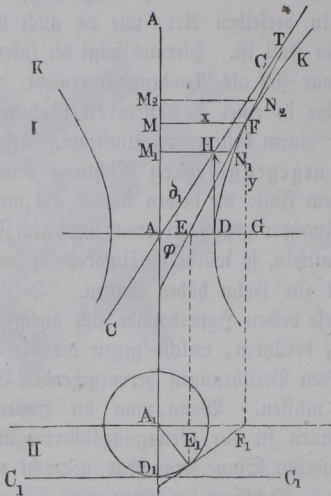
$$d_2 = \frac{d_1}{\tan \delta_1} \tan \delta_2$$

negativ, d. h. die beiden Axoidenflächen liegen auf derselben Seite der Berührungslinie und die Berührung ist eine innere. Für den Grenzfall, für welchen $\delta_2 = 90^\circ$ anzunehmen ist, wird $d_2 = \infty$, und das zugehörige Axoid artet alsdann in eine mit der Erzeugungslinie zusammenfallende Gerade aus, welche einer Zahnstange mit einem schräg gegen dieselbe gelagerten hyperboloidischen Rade ebenso entspricht, wie die normale Zahnstange mit cylindrischem Rade den Grenzfall zwischen äußerer und innerer Berührung bei parallelen Axen repräsentirt.

Daß die durch Umdrehung der Momentanaxe CC_1 um die Axen A und B entstehenden Axoide Umdrehungshyperboloide sind, ergibt sich leicht aus folgender Betrachtung. Es sei Fig. 145 (a. f. S.) I und II durch AA und A_1 die Drehaxe in zwei zu einander rechtwinkligen Projectionen (Aufriß und Grundriß) dargestellt, und unter CC resp. $C_1 C_1$ die Erzeugungslinie verstanden,

welche unter dem constanten Winkel δ_1 gegen AA und in dem Abstände $AD = A_1 D_1 = d_1$ um die Axe A herumgeführt werde. Die dadurch erzeugte Mo-

Fig. 145.



tationsfläche wird von der ersten Projectionsebene in einer gewissen Curve KK geschnitten, von welcher sich leicht nachweisen läßt, daß es eine Hyperbel zur Axe AA sein muß. Bedeuten nämlich EF und $E_1 F_1$ die Projectionen der Erzeugungslinie in einer beliebigen Lage, so ist der Punkt F , in welchem dieselbe durch die erste Projectionsebene geht, offenbar auch ein Punkt der in Rede stehenden Curve K , und seien die recht-

winkligen Coordinaten dieses Punktes in Bezug auf A als Anfangspunkt und AA als Y -Axe durch $AG = A_1 G_1 = x$ und $GF = y$ bezeichnet. Man hat dann in dem Dreiecke $A_1 E_1 F_1$

$$A_1 E_1^2 = A_1 F_1^2 - E_1 F_1^2$$

oder

$$d_1^2 = x^2 - y^2 \tan^2 \delta_1^2.$$

Schreibt man diese Gleichung

$$1 = \frac{x^2}{d_1^2} - \frac{y^2}{d_1^2 \cot^2 \delta_1^2},$$

so ersieht man sogleich, daß sie eine Hyperbel darstellt, deren Halbachsen $d_1 = AD$ und $d_1 \cot \delta_1 = DH$ sind, für welche also AC eine Asymptote ist. Man wird daher zu der fraglichen Momentanaxenfläche anstatt durch Umdrehung von CC auch dadurch gelangen, daß man diese Hyperbel KK um ihre eine Hauptaxe AA herumdreht, d. h. die besagte Fläche ist ein einschaliges Umdrehungshyperboloid. Aus der oben entwickelten Gleichung der Hyperbel folgt

$$y = \cot \delta_1 \sqrt{x^2 - d_1^2}.$$

Nimmt man hierin für x einen großen Werth an, gegen welchen d_1 verschwindet, so nähert sich y dem Werthe $x \cot \delta_1$, d. h. es schließt sich das Hyperboloid in dem Maße, wie man es erweitert, einem gewöhnlichen Regel-

mantel zur selben Axe AA an, dessen halber Spitzenwinkel gleich δ_1 ist (Asymptotenegel).

Wie bereits oben angegeben, kann man die hyperboloidischen Scheiben, welche die Grundform der Räder bilden, näherungsweise durch abgestumpfte Kegelmäntel ersetzen, deren Seite mit der Tangente des hyperbolischen Profils übereinstimmt. Die Neigung φ der Tangente EF in einem beliebigen Punkte F der Hyperbel gegen die Y -Axe bestimmt sich durch Differentiation der Hyperbelgleichung zu

$$\text{tang } \varphi = \frac{dx}{dy} = \frac{y}{x \text{ctg } \delta_1} = \text{tang } \delta_1 \frac{\sqrt{x^2 - d_1^2}}{x}.$$

Diese Neigung gegen die Umdrehungsaxe hätte man daher einer Kegelfone $N_1 N_2$ zu geben, die eine Zone des Hyperboloids, deren Mittelebene den Halbmesser $FM = x$ oder a hat, annähernd ersetzen soll. Bezeichnet man noch mit $M_1 M_2 = e$ die axiale Höhe dieser Zone, so ergeben sich der kleinste und größte Halbmesser derselben zu

$$M_1 N_1 = a_1 = a - \frac{1}{2} e \text{tang } \varphi = a - \frac{e}{2a} \text{tang } \delta_1 \sqrt{a^2 - d_1^2},$$

$$M_2 N_2 = a_2 = a + \frac{1}{2} e \text{tang } \varphi = a + \frac{e}{2a} \text{tang } \delta_1 \sqrt{a^2 - d_1^2}.$$

Will man diese Halbmesser durch den Abstand $MA = h$ der mittleren Ebene vom Kehlkreise bestimmen, so erhält man, da

$$MA = h = \text{ctg } \delta_1 \sqrt{a^2 - d_1^2} \text{ ist:}$$

$$a_1 = a - \frac{eh}{2a} \text{tang } \delta_1^2,$$

$$a_2 = a + \frac{eh}{2h} \text{tang } \delta_1^2.$$

Wenn man endlich die Entfernung eines Punktes F von dem Kehlkreise, in der Berührungslinie FE gemessen, mit $l = FE$ bezeichnet, so ergibt sich der diesem Punkte zugehörige Halbmesser a des Hyperboloids nach der Figur II zu:

$$MF = AF_1 = a = \sqrt{d_1^2 + (l \sin \delta_1)^2}.$$

Anmerkung. Der im Obigen besprochene allgemeinste Fall der Bewegung zweier gekreuzten Axen muß natürlich die Bewegung um sich schneidende sowohl wie um parallele Axen in sich einschließen. Setzt man nämlich $\delta_1 = \delta_2 = 0$, so erhält man aus

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\beta \cos \delta_2}{a \cos \delta_1}$$

die bekannte Beziehung

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\beta}{\alpha},$$

und die Halbmesser an irgend einer Stelle

$$a = \sqrt{d_1^2 + (l \sin \delta)^2} = d_1,$$

sowie $b = d_2$. Es entsprechen diese Formeln also den Stirnrädern für parallele Axen. Ebenso giebt die Annahme $d = 0$ aus der gefundenen Beziehung $a d \sin \delta_1 = \beta d \sin \delta_2$

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{\sin \delta_2}{\sin \delta_1},$$

entsprechend den conischen Rädern.

Beispiel. Es soll ein hyperboloidisches Räderwerk für zwei zu einander rechtwinkelige Axen konstruirt werden, deren kürzester Abstand 0,5 Meter und deren Umsehungsverhältniß zu $\frac{\alpha}{\beta} = \frac{1}{2}$ vorgeschrieben ist.

Man hat hier, da $\delta_1 + \delta_2 = 90^\circ$ ist,

$$2 = \frac{\sin \delta_1}{\sin \delta_2} = \frac{\sin \delta_1}{\cos \delta_1} = \tan \delta_1,$$

woraus $\delta_1 = 63^\circ 26'$ und $\delta_2 = 26^\circ 34'$ folgt.

Ferner folgen die Krehkreis-Halbmesser aus

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\tan \delta_1}{\tan \delta_2} = \frac{2}{1/2} = 4;$$

daher

$$d_1 = \frac{4}{5} 0,5 = 0,4 \text{ Meter}$$

und

$$d_2 = \frac{1}{5} 0,5 = 0,1 \text{ Meter.}$$

Wenn nun der innerste und äußerste Berührungspunkt der Räder von dem Berührungspunkte der Krehkreise Abstände von resp. $l_1 = 0,8$ Meter und $l_2 = 1$ Meter haben sollen, so finden sich die betreffenden Halbmesser für das eine Rad:

$$a_1 = \sqrt{d_1^2 + (l_1 \sin \delta_1)^2} = \sqrt{0,4^2 + (0,8 \cdot \sin 63^\circ 26')^2} = 0,820,$$

$$a_2 = \sqrt{d_2^2 + (l_2 \sin \delta_1)^2} = \sqrt{0,4^2 + (1 \cdot \sin 63^\circ 26')^2} = 0,980,$$

und für das andere Rad:

$$b_1 = \sqrt{0,1^2 + (0,8 \cdot \sin 26^\circ 34')^2} = 0,372,$$

$$b_2 = \sqrt{0,1^2 + (1 \cdot \sin 26^\circ 34')^2} = 0,458.$$

Ebenso sind die mittleren Halbmesser der hyperboloidisch geformten Räder

$$a = \sqrt{0,4^2 + (0,9 \cdot \sin 63^\circ 26')^2} = 0,898$$

und

$$b = \sqrt{0,1^2 + (0,9 \cdot \sin 26^\circ 34')^2} = 0,414 \text{ Meter}$$

und man erhält daher die mittleren Reigungswinkel der Räder φ und ψ durch

$$\tan \varphi = \frac{\sqrt{a^2 - d_1^2}}{a} \tan \delta_1 = \frac{\sqrt{0,898^2 - 0,4^2}}{0,898} \tan 63^\circ 26' = 1,790$$

zu $\varphi = 60^\circ 50'$,

$$\tan \psi = \frac{\sqrt{b^2 - d_1^2}}{b} \tan \delta_2 = \frac{\sqrt{0,414^2 - 0,1^2}}{0,414} \tan 26^\circ 34' = 0,485$$

zu $\psi = 25^\circ 50'$.

Wenn man die Räder als Kegel von dieser Reigung ansieht, so sind daher der innere und äußere Halbmesser des einen Rades a_1 und a_2 gegeben durch

$$a \mp \frac{1}{2} (1 - 0,8) \cos \delta_1 \tan \varphi = 0,898 \mp 0,1 \cdot \cos 63^\circ 26' \cdot \tan 60^\circ 50'$$

$$\text{zu } a_1 = 0,818 \text{ und } a_2 = 0,978,$$

sowie diejenigen des zweiten Rades durch

$$b \mp 0,1 \cos \delta_2 \tan \psi = 0,414 \mp 0,1 \cdot \cos 26^\circ 34' \cdot \tan 25^\circ 50'$$

zu $b_1 = 0,371$ Meter und $b_2 = 0,457$ Meter.

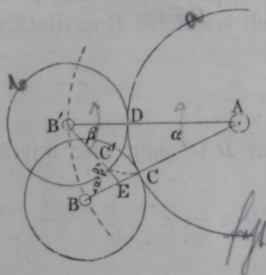
Die Abweichungen von der hyperboloidischen Form sind daher ganz unwesentlich.

Differentialräder. Bei den bisher besprochenen Räderanordnungen §. 47.

war immer die Voraussetzung gemacht worden, daß die beiden Axen durch feste Lager gehalten wurden, welche an den Drehungen nicht Theil nehmen konnten. Die Wirkung der Räder läuft in diesem Falle auf eine einfache Uebertragung der Umdrehungsbewegung von der einen Axe auf die andere hinaus. Dieser Fall kommt in der Praxis zwar am häufigsten vor, doch hat man öfter auch zu bestimmten Zwecken Veranlassung, der einen Axe entweder die Bewegung ganz zu verbieten, oder ihr doch nur eine ganz bestimmte

Drehung zu gestatten, welche von der Umdrehung der anderen Axe in gewissem Sinne unabhängig ist. Diese Art der Bewegungsübertragung soll hier näher untersucht werden.

Fig. 146.



festgekeilten Rade a absolut festgehalten werden soll, an der Drehung also gar nicht Theil nehmen kann. Man kann zu diesem Falle aus dem

gewöhnlichen, in welchem beide Axen A um α und B um $\beta = -\frac{a}{b} \alpha$