

Die Brennpunkteigenschaften der Kegelschnitte im komplexen Gebiet

Autor(en): **Hohenberg, Fritz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Elemente der Mathematik**

Band (Jahr): **6 (1951)**

Heft 6

PDF erstellt am: **09.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-15581>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

ELEMENTE DER MATHEMATIK

Revue de mathématiques élémentaires – Rivista di matematica elementare

*Zeitschrift zur Pflege der Mathematik
und zur Förderung des mathematisch-physikalischen Unterrichts
Organ für den Verein Schweizerischer Mathematiklehrer*

El. Math. Band VI Nr. 6 Seiten 121–144 Basel, 15. November 1951

Die Brennpunkteigenschaften der Kegelschnitte im komplexen Gebiet

Ellipse und Hyperbel hängen durch eine komplexe Affinität zusammen. In ihren Brennpunkteigenschaften (zum Beispiel konstante Leitstrahlsumme bzw. -differenz) kommt aber nicht unmittelbar zum Ausdruck, daß sie im Komplexen eng verwandt sind. Daß dennoch Zusammenhänge bestehen, zeigen die folgenden Betrachtungen.

Zunächst ergibt sich, daß die elementaren Definitionen der Kegelschnitte nur beschränkte Gültigkeit im komplexen Gebiet haben. Hierauf werden die Eigenschaften der komplexen Brennpunkte aufgesucht. Auch die nullteiligen Kegelschnitte werden betrachtet. Schließlich wird der Ort der Punkte konstanter Leitstrahlsumme bzw. -differenz untersucht, wenn statt zweier Brennpunkte eine endliche Anzahl von Brennpunkten vorliegt.

Diese Untersuchungen sind auch erforderlich, um gewisse scheinbare Widersprüche zu klären. Zum Beispiel ist für die komplexen Schnittpunkte einer Hyperbel mit ihrer imaginären Achse die Leitstrahldifferenz nicht $2a$, sondern Null, da die imaginäre Achse die Streckensymmetrale der Brennpunkte ist. Und für die komplexen Fernpunkte einer Ellipse ist die Leitstrahlsumme nicht $2a$, sondern unendlich groß. Schon diese Beispiele zeigen, daß die übliche Betrachtungsweise unzulänglich ist.

1. Konstante Leitstrahlsumme oder -differenz

x und y seien die kartesischen Koordinaten eines Punktes P , d_1 und d_2 seine Abstände von den reellen Brennpunkten $F_1(e, 0)$ und $F_2(-e, 0)$. Wir suchen den Ort der Punkte, für die

$$\underline{\pm d_1 \pm d_2 = 2a} \quad (1)$$

ist, wo a eine reelle Konstante bedeutet. Es ist also

$$\pm \sqrt{(x-e)^2 + y^2} \pm \sqrt{(x+e)^2 + y^2} = 2a. \quad (2)$$

Hieraus folgt – unabhängig von der in (1) gewählten Vorzeichenkombination – durch zweimaliges Quadrieren:

$$(a^2 - e^2) x^2 + a^2 y^2 = a^2 (a^2 - e^2). \quad (3)$$

Diese Gleichung zweiten Grades stellt eine notwendige Bedingung dar; das heißt, wenn P eine der vier Relationen (1) erfüllt, genügen seine Koordinaten (3). Nun ist zu untersuchen, ob (3) auch hinreichend ist, das heißt, ob ein Punkt, der (3) genügt, eine Relation (1) erfüllt.

Setzt man $e/a = \varepsilon$ und eliminiert y mittels (3), so folgt

$$d_1 = \pm (a - \varepsilon x), \quad d_2 = \pm (a + \varepsilon x). \tag{4}$$

Ist x komplex, dann sind d_1 und d_2 komplex, und beide Vorzeichen von d_1 bzw. d_2 sind gleichberechtigt. Man kann sie stets so wählen, daß für einen bestimmten Kurvenpunkt entweder $d_1 + d_2$ oder $d_1 - d_2$ oder $-d_1 + d_2$ oder $-d_1 - d_2$ den Wert $2a$ hat.

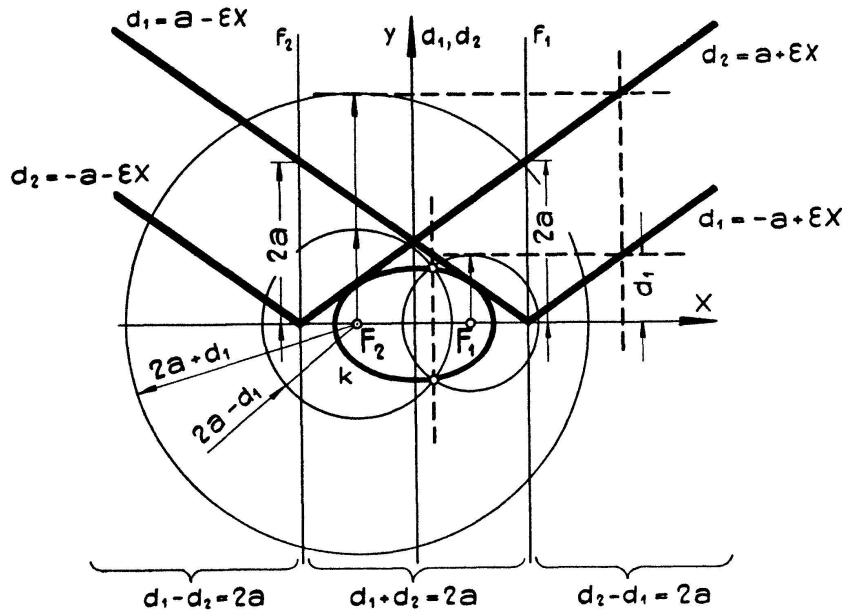


Fig. 1

Ist dagegen x eine beliebige reelle Zahl, so sind d_1 und d_2 reell, und man kann die Vorzeichen in (4) so normieren, daß d_1 und d_2 positiv sind. Wir setzen für das folgende

$$\frac{a^2}{e} = f. \tag{5}$$

$x = f$ stellt bekanntlich die zu F_1 gehörige Leitlinie f_1 des Kegelschnitts dar, das heißt die Polare von F_1 . Ebenso ist $x = -f$ die zu F_2 gehörige Leitlinie f_2 . Wegen (4) ist $d_1 = a - \varepsilon x \geq 0$, wenn $x \leq f$, und $d_1 = -a + \varepsilon x \geq 0$, wenn $x \geq f$ ist. Ebenso ist $d_2 = -a - \varepsilon x \geq 0$, wenn $x \leq -f$, und $d_2 = a + \varepsilon x \geq 0$, wenn $x \geq -f$. Dies zeigt, daß ein Kurvenpunkt mit reellem x im allgemeinen nur eine einzige Relation (1) erfüllt; es gilt (unabhängig vom Wert, den y annimmt):

$$\begin{aligned} d_1 - d_2 &= 2a, & \text{wenn } x &\leq -f, \\ d_1 + d_2 &= 2a, & \text{wenn } -f &\leq x \leq f, \\ -d_1 + d_2 &= 2a, & \text{wenn } f &\leq x. \end{aligned} \tag{6}$$

Für die Punkte mit $x = f$ ist $d_1 = 0$, $d_2 = 2a$, daher $d_1 + d_2 = 2a$ und zugleich $-d_1 + d_2 = 2a$; analog für die Punkte mit $x = -f$.

In Figur 1 sind d_1 und d_2 für eine Ellipse ($a > e$) als Funktionen von x aufgetragen¹⁾. Die Figur zeigt, daß im Grenzfall auch für die komplexen Fernpunkte der Ellipse $|d_1 - d_2| = 2a$ ist. Für eine Hyperbel ergibt sich eine analoge Figur. Für die komplexen Scheitel der Hyperbel ist $d_1 = d_2 = a$, $d_1 + d_2 = 2a$.

Die Kurvenpunkte mit reellem x ergeben sich daher als (reelle oder komplexe) Schnittpunkte je zweier reeller (das heißt einteiliger) Kreise (F_1, d_1) und (F_2, d_2) (das heißt Mitte F_m , Radius d_m , $m = 1, 2$). Dabei entsprechen einem Kreis (F_1, d_1) zwei Kreise um F_2 , nämlich $(F_2, |2a - d_1|)$ und $(F_2, 2a + d_1)$, wie Figur 1 (gestrichelte

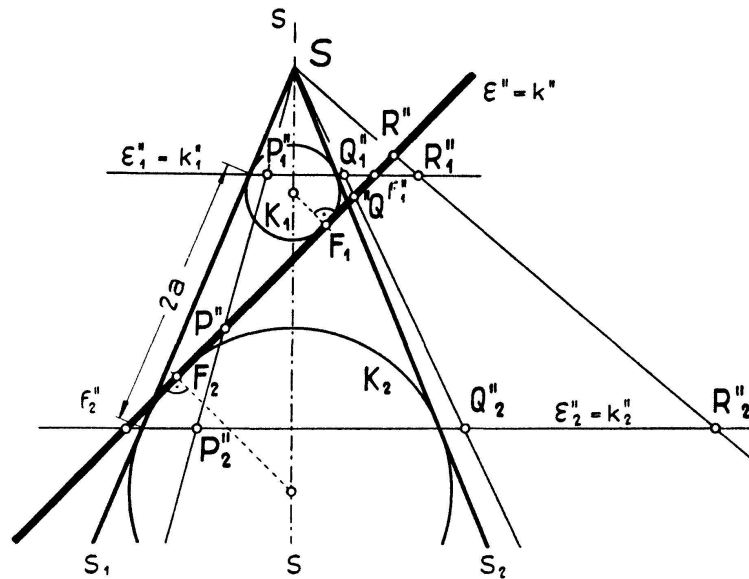


Fig. 2

Linien) zeigt. d_1 nimmt hier jeden nichtnegativen reellen Wert an, insbesondere entspricht dem Nullkreis $(F_1, 0)$ der Leitkreis $(F_2, 2a)$, die zugehörigen konjugiert komplexen Kurvenpunkte liegen auf f_1 . Ebenso liegen die Schnittpunkte von $(F_1, 2a)$ und $(F_2, 0)$ auf f_2 .

Zu den Punkten mit reellem x gehören auch die reellen Kurvenpunkte. Aus (3) folgt

$$y^2 = (1 - \varepsilon^2)(a^2 - x^2). \tag{7}$$

Das ergibt die Unterscheidung in Ellipsen ($\varepsilon < 1, |x| \leq a$) und Hyperbeln ($\varepsilon > 1, |x| \geq a$).

Die Gleichungen (6) lassen sich auch an der Dandelin'schen Beweisfigur synthetisch herleiten (Figur 2). Ein Drehkegel mit der Spitze S , dessen Achse s und dessen Erzeugenden s_1 und s_2 in der Bildebene liegen, werde von der projizierenden Ebene ε (Spur ε'') zum Beispiel nach einer Ellipse k geschnitten (für eine Hyperbel gelten dieselben Überlegungen). Die Dandelin'schen Kugeln K_1 und K_2 berühren ε in den Brennpunkten F_1 und F_2 von k und berühren den Kegel längs der Parallelkreise k_1 und k_2 ,

¹⁾ Die Bildgeraden dieser linearen Funktionen sind übrigens Tangenten des Kegelschnitts (in den Punkten mit $x = \pm e$).

die in den Ebenen ε_1 und ε_2 liegen. Der Normalriß von k_1 bzw. k_2 besteht bekanntlich, wenn man die komplexen Punkte des Kreises mit einbezieht, nicht nur aus einer Strecke, sondern aus allen reellen und komplexen Punkten der Geraden ε_1'' bzw. ε_2'' . Für einen reellen Ellipsenpunkt P folgt in bekannter Weise $\overline{PF_1} + \overline{PF_2} = 2a$. Ist Q ein komplexer Ellipsenpunkt mit reellem x , so ist sein Normalriß ein reeller Punkt Q'' auf $\varepsilon'' = k''$. Q'' liege zum Beispiel zwischen f_1'' und s_2 . Die Kegelerzeugende durch Q hat den reellen Riß $[SQ'']$, ihr komplexer Schnittpunkt mit k_1 bzw. k_2 hat den reellen Riß Q_1'' auf $\varepsilon_1'' = k_1''$ bzw. Q_2'' auf $\varepsilon_2'' = k_2''$. Da alle Tangenten aus Q an K_1 gleich lang sind, ist $d_1 = \overline{QF_1} = \overline{QQ_1}$. Ebenso ist $d_2 = \overline{QF_2} = \overline{QQ_2}$, daher $d_1 + d_2 = \overline{Q_1Q_2} = 2a$ (denn ε_1 und ε_2 schneiden aus jeder Erzeugenden die Strecke

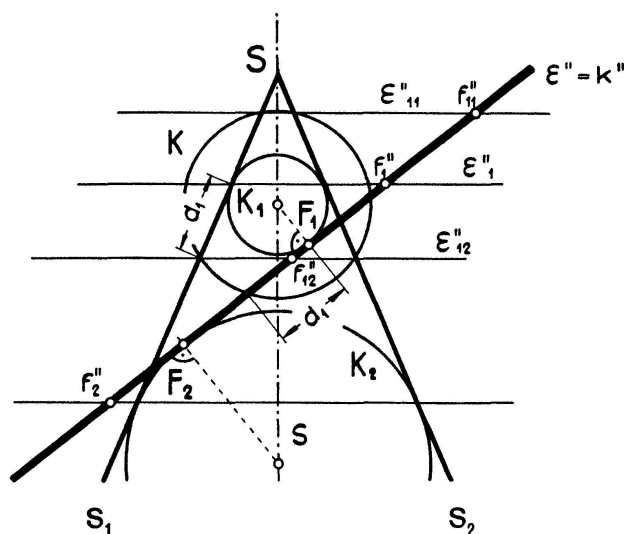


Fig. 3

2a). Ist R ein komplexer Ellipsenpunkt mit reellem x , dessen reeller Riß R'' oberhalb ε_1'' auf ε'' liegt, so folgt ebenso $d_2 - d_1 = \overline{R_1R_2} = 2a$. Die Ellipsenpunkte mit reellem x und $d_1 - d_2 = 2a$ haben ihren Normalriß unterhalb ε_2'' .

Ist für einen Kurvenpunkt jedoch x komplex, so ist sein Normalriß nicht reell, und man kann nicht sagen, ob er oberhalb oder unterhalb ε_1 bzw. ε_2 liegt. Daher gelten für einen solchen Punkt beide Vorzeichen von d_1 und d_2 , und er erfüllt alle vier Relationen (1).

2. Konstantes Verhältnis der Abstände von Brennpunkt und Leitlinie

Der Abstand eines Kurvenpunktes $P(x, y)$ von der Leitlinie $f_1(x = f)$ bzw. $f_2(x = -f)$ heiße d'_1 bzw. d'_2 . Es ist bekanntlich

$$\underline{|d_m : d'_m| = \varepsilon.} \quad (m = 1, 2) \quad (8)$$

Da (8) zum Beispiel für $m = 1$, in Koordinaten ausgedrückt,

$$\sqrt{(x - \varepsilon)^2 + y^2} = \pm \frac{e}{a} \left(x - \frac{a^2}{e} \right) \quad (9)$$

lautet und diese Gleichung quadriert wird, gehören zu einem Wert d_1 zwei entgegen-

gesetzt gleiche Werte d'_1 , das heißt, die vier Schnittpunkte eines Kreises (F_1, d_1) mit dem Kegelschnitt liegen auf zwei zu f_1 symmetrischen Geraden. Dies gilt im Grenzfall $\varepsilon = 1$ auch für die Parabel. Ist d_1 reell, so sind diese vier Punkte zugleich die Schnittpunkte des Kreises (F_1, d_1) mit den beiden Kreisen $(F_2, 2a + d_1)$ und $(F_2, |2a - d_1|)$.

Dies läßt sich auch an der Dandelin'schen Beweisfigur verfolgen (Figur 3). Eine zu K_1 konzentrische Kugel K schneidet ε nach einem Kreis. Sie schneidet den Kegel nach zwei Parallelkreisen. Deren Ebenen ε_{11} und ε_{12} liegen symmetrisch zu ε_1 , denn ε'' und s_1 (oder s_2) sind Tangenten des Umrisses von K_1 , und die zu K_1 konzentrische Kugel K schneidet auf diesen Geraden dieselbe Streckenlänge $2d_1$ aus. Die in ε_{11} und ε_{12} liegenden Parallelkreise des Kegels schneiden daher ε in zwei zu f_1 symmetrischen und parallelen Geraden f_{11} und f_{12} , deren Schnittpunkte mit dem zugehörigen Parallelkreis dem Kegelschnitt angehören.

3. Konstantes Produkt der Brennpunktsabstände der Tangenten

Der Kegelschnitt (3) läßt sich als Punktort durch die Forderung (1) oder auch durch (8) charakterisieren. Bezeichnen t_1 und t_2 die Abstände einer Kegelschnittstangente von F_1 bzw. F_2 , so läßt er sich als Tangentenort durch die Forderung

$$\underline{t_1 t_2 = a^2 - e^2} \tag{10}$$

festlegen, denn die Tangente im Punkt (x, y) des Kegelschnitts lautet in der Hesseschen Normalform wegen (3):

$$\frac{(a^2 - e^2) x \xi + a^2 y \eta - a^2 (a^2 - e^2)}{\sqrt{a^2 - e^2} \sqrt{a^4 - e^2 x^2}} = 0$$

(laufende Koordinaten ξ, η). Daher ist

$$t_1 = \sqrt{a^2 - e^2} \sqrt{\frac{f-x}{f+x}}, \quad t_2 = \sqrt{a^2 - e^2} \sqrt{\frac{f+x}{f-x}}, \tag{11}$$

und hieraus folgt (10). Sind t_1 und t_2 komplex, so können die Wurzeln in (11) beiderlei Vorzeichen erhalten. Zum Beispiel folgt, wenn $x \rightarrow \infty$, für die konjugiert komplexen Asymptoten einer Ellipse $t_1 = t_2 = \pm i \sqrt{a^2 - e^2}$.

Ist die Tangente aber reell, so sind t_1 und t_2 reell, und man wählt die Vorzeichen gleich oder ungleich, je nachdem F_1 und F_2 auf derselben oder auf verschiedenen Seiten der Tangente liegen. Zur Abszisse x gehören dann zwei reelle Tangenten. Sie sind bei der Ellipse die äußeren und bei der Hyperbel die inneren gemeinsamen Tangenten der Kreise (F_1, t_1) und (F_2, t_2) . Die Berührungspunkte dieser Tangenten mit den beiden Kreisen liegen auf dem großen Scheitelkreis des Kegelschnitts. [Die übrigen gemeinsamen Tangenten beider Kreise umhüllen den durch $t_1 t_2 = -(a^2 - e^2)$ bestimmten Kegelschnitt; dieser hat dieselben Brennpunkte F_1 und F_2 und die große Halbachse $\sqrt{2e^2 - a^2}$].

t_1 und t_2 können aber auch reell sein, ohne daß die zugehörigen Tangenten reell sind. Bei der Ellipse tritt dies für $a < |x| < f$, bei der Hyperbel für $f < |x| < a$ ein.

Zur Abszisse x gehören dann zwei konjugiert komplexe Tangenten, die sich im äußeren bzw. inneren Ähnlichkeitspunkt der Kreise (F_1, t_1) und (F_2, t_2) schneiden.

Aus (4) und (11) folgt überdies

$$t_1 = \sqrt{a^2 - e^2} \sqrt{\frac{d_1}{d_2}}, \quad t_2 = \sqrt{a^2 - e^2} \sqrt{\frac{d_2}{d_1}}, \quad t_1 : t_2 = d_1 : d_2. \quad (12)$$

4. Beziehungen zu den komplexen Brennpunkten

In der projektiven Geometrie betrachtet man neben den reellen Brennpunkten F_1 und F_2 die konjugiert komplexen Brennpunkte $F_3(0, ei)$ und $F_4(0, -ei)$ der Ellipse oder Hyperbel. Es scheint nicht bekannt zu sein, daß F_3 und F_4 ähnliche metrische Eigenschaften wie F_1 und F_2 haben.

1. Für die Abstände eines Kurvenpunktes von F_3 und F_4 ergibt sich wegen (3):

$$d_3 = \pm \frac{a^2 - e^2 - eiy}{\sqrt{a^2 - e^2}}, \quad d_4 = \pm \frac{a^2 - e^2 + eiy}{\sqrt{a^2 - e^2}}. \quad (13)$$

Daraus folgt als Seitenstück zu (1) die Beziehung

$$\underline{\pm d_3 \pm d_4 = 2\sqrt{a^2 - e^2}}. \quad (14)$$

Berechnet man x aus (4) und y aus (13), so ergibt sich durch Einsetzen in (3) auch eine Beziehung zwischen d_1 (oder d_2) und d_3 (oder d_4),

$$(d_m \pm a)^2 - (d_n \pm \sqrt{a^2 - e^2})^2 = e^2. \quad (m = 1, 2; n = 3, 4) \quad (15)$$

2. F_3 hat als Polare f_3 die komplexe Leitlinie $y = -i(f - e)$, zu F_4 gehört als Polare f_4 die konjugiert komplexe Leitlinie $y = i(f - e)$. d'_3 bzw. d'_4 seien die Abstände eines Kurvenpunktes von f_3 bzw. f_4 . Es folgt wie in 2., daß auch die Verhältnisse $d_n : d'_n$ ($n = 3, 4$) konstant sind,

$$\underline{|d_n : d'_n| = \frac{\epsilon}{\sqrt{\epsilon^2 - 1}}}. \quad (n = 3, 4) \quad (16)$$

Dieses Verhältnis ist bei einer Ellipse rein imaginär, bei einer Hyperbel ist es reell, und zwar > 1 .

3. Die Hessesche Normalform der Tangente kann wegen (3) auch in der Form

$$\frac{(a^2 - e^2)x\xi + a^2y\eta - a^2(a^2 - e^2)}{a\sqrt{(a^2 - e^2)^2 + e^2y^2}} = 0$$

geschrieben werden. Für die Abstände t_3 und t_4 der Brennpunkte F_3 und F_4 von der Tangente des Punktes (x, y) folgt

$$t_3 = a \sqrt{\frac{a^2 - e^2 - eiy}{a^2 - e^2 + eiy}}, \quad t_4 = a \sqrt{\frac{a^2 - e^2 + eiy}{a^2 - e^2 - eiy}}. \quad (17)$$

Daraus ergibt sich als Seitenstück zu (10) die Beziehung

$$\underline{t_3 t_4 = a^2.} \quad (18)$$

Auch zwischen t_1 (oder t_2) und t_3 (oder t_4) ergibt sich eine Beziehung, wenn man x aus (11) und y aus (17) ausdrückt und in (3) einsetzt. Sie lautet

$$a^2 \left(\frac{a^2 - e^2 - t_m^2}{a^2 - e^2 + t_m^2} \right)^2 - (a^2 - e^2) \left(\frac{a^2 - t_n^2}{a^2 + t_n^2} \right)^2 = e^2. \quad (m = 1, 2; n = 3, 4) \quad (19)$$

5. Nullteilige Kegelschnitte

Bisher waren e und a reell vorausgesetzt. Ist e reell, aber a rein imaginär, so ist der durch (1) bestimmte Kegelschnitt nullteilig. Setzt man

$$\begin{aligned} a &= i a', & \varepsilon &= \frac{e}{a} = -\frac{e}{a'} i = -\varepsilon' i, \\ f &= \frac{a^2}{e} = -\frac{a'^2}{e} = -f', \end{aligned} \quad (a', \varepsilon', f' \text{ positiv reell}) \quad (20)$$

so lauten die Gleichungen (1), (3) und (4) nunmehr

$$\pm d_1 \pm d_2 = 2 i a', \quad (1')$$

$$(a'^2 + e^2) x^2 + a'^2 y^2 + a'^2 (a'^2 + e^2) = 0, \quad (3')$$

$$d_1 = \pm i (a_1 + \varepsilon_1 x), \quad d_2 = \pm i (a_1 - \varepsilon_1 x). \quad (4')$$

Für komplexes x sind in (4') beide Vorzeichen gleichberechtigt. Für reelles x sind d_1 und d_2 rein imaginär, und man kann die Vorzeichen in (4') so normieren, daß d_1 und d_2 positiv imaginär sind. (Man darf hier von «positiv imaginären» Zahlen sprechen, weil diese Zahlen im folgenden nur addiert oder subtrahiert werden.) Es ist dann

$$\begin{aligned} -d_1 + d_2 &= 2 i a', & \text{wenn } x &\leq -f, \\ d_1 + d_2 &= 2 i a', & \text{wenn } -f &\leq x \leq f, \\ d_1 - d_2 &= 2 i a', & \text{wenn } f &\leq x. \end{aligned} \quad (6')$$

Durch eine geeignete Abänderung der Dandelin'schen Beweisfigur läßt sich dies auch synthetisch herleiten. In Figur 4 stehen dieselben Bezeichnungen wie in Figur 2. Die Kugeln K_1 und K_2 schneiden sich hier reell, ihr innerer Ähnlichkeitspunkt sei die Kegelspitze S , eine äußere gemeinsame Tangentialebene (projizierend) sei die schneidende Ebene ε . Dann ist der Drehkegel nullteilig, und die Berührungskreise k_1 und k_2 mit den Kugeln K_1 und K_2 sind auch nullteilig. Ihre Ebenen ε_1 und ε_2 sind die Polarebenen von S bezüglich K_1 und K_2 . ε schneidet den Kegel nach einem nullteiligen Kegelschnitt k .

Hat ein Punkt R von k ein reelles x , so ist sein Normalriß R'' ein reeller Punkt auf $\varepsilon'' = k''$. R'' liege zum Beispiel oberhalb ε_2'' . $\overline{RF_1}$ ist die Tangentenlänge aus R an K_1 ;

sie kann auch längs der durch R gehenden Kegelerzeugenden von R bis zum Schnittpunkt R_1 mit dem nullteiligen Berührungskreis k_1 in ε_1 gemessen werden. Dabei ist die Streckenlänge $\overline{SR_1}$ gleich der Wurzel aus der (negativen) Potenz von S bezüglich K_1 . Da die Kegelerzeugende durch R einen reellen Normalriß hat und die Ebenen K_1 und ε_2 auf jeder Kegelerzeugenden eine Strecke konstanter Länge ausschneiden, ist $d_1 - d_2 = \overline{RF_1} - \overline{RF_2} = \overline{RR_1} - \overline{RR_2} = \overline{R_1R_2} = \text{const.}$ Diese konstante, rein imaginäre Streckendifferenz $2i a'$ ist in der Figur durch die reelle Strecke $2 a'$ gekennzeichnet, die von den Kugelumrissen auf einer horizontalen Geraden durch S ausgeschnitten wird.

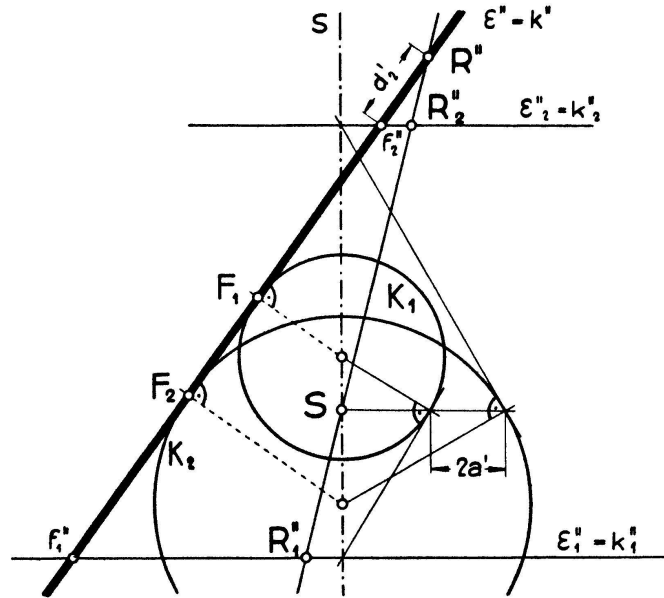


Fig. 4

Aus der Figur ergibt sich auch, daß

$$d_m : d'_m = \varepsilon \quad (m = 1, 2) \quad (8')$$

ist. Dabei sind die reellen Strecken d'_m in wahrer Größe gegeben, $d'_m = \overline{R''f''_m}$.

Ferner ergeben sich die Beziehungen

$$\pm d_3 \pm d_4 = 2i \sqrt{a'^2 + e^2}, \quad (14')$$

$$d_n : d'_n = \frac{\varepsilon}{\sqrt{\varepsilon^2 - 1}} = \frac{\varepsilon'}{\sqrt{\varepsilon'^2 + 1}}, \quad (\text{reell, } < 1; n = 3, 4) \quad (16')$$

$$t_1 t_2 = -a'^2 - e^2, \quad t_3 t_4 = -a'^2. \quad (10', 18')$$

6. Der volle geometrische Ort $\pm d_1 \pm d_2 = 2a$

Ellipsen, Hyperbeln und nullteilige Kegelschnitte lassen sich durch jede der gefundenen Eigenschaften definieren. Die Definition (8) hat den Vorteil, daß sie für $\varepsilon = 1$ auch den Fall der Parabel umfaßt. Es soll zum Schluß gezeigt werden, daß die Definitionen (1) und (14) den Nachteil haben, daß die durch sie bestimmten geometrischen

Örter nicht nur aus einem Kegelschnitt, sondern noch aus der doppelt gezählten Ferngeraden bestehen. Führt man in (2) homogene kartesische Koordinaten

$$x = \frac{x_1}{x_0}, \quad y = \frac{x_2}{x_0} \quad (21)$$

ein, so lautet (2)

$$\pm \sqrt{(x_1 - e x_0)^2 + x_2^2} \pm \sqrt{(x_1 + e x_0)^2 + x_2^2} = 2 a x_0.$$

Hieraus folgt durch zweimaliges Quadrieren

$$x_0^2 [a^2 (e^2 - a^2) x_0^2 + (a^2 - e^2) x_1^2 + a^2 x_2^2] = 0. \quad (22)$$

Der volle geometrische Ort (1) besteht daher aus dem Kegelschnitt (3) und aus der doppelt gezählten Ferngeraden $x_0 = 0$. Für die Punkte der Ferngeraden ist die Relation $|d_1 - d_2| = 2 a$ in der Weise erfüllt, daß d_1 und d_2 unendlich groß sind und ihre Differenz unbestimmt wird¹⁾.

Dies ist von Bedeutung, wenn man den Ansatz (1) auf n Brennpunkte F_1, F_2, \dots, F_n in der Ebene oder im Raum erweitert und nach dem Ort der Punkte fragt, für die

$$\pm d_1 \pm d_2 \pm \dots \pm d_n = n a \quad (a \text{ konstant, natürliche Zahl } n) \quad (23)$$

ist. $n = 1$ ergibt den Kreis bzw. die Kugel um F_1 mit dem Radius a , $n = 2$ ergibt einen Kegelschnitt bzw. eine Drehfläche zweiten Grades, dazu die doppelt gezählte Ferngerade bzw. Fernebene. Für $n = 3$ ergibt sich eine Kurve bzw. Fläche achter Ordnung²⁾. Für $n = 4$ erhält man eine Kurve bzw. Fläche 10. Ordnung³⁾, dazu die sechsfach gezählte Ferngerade bzw. Fernebene. Allgemein bedeutet (23) für ungerades n eine Kurve bzw. Fläche von der Ordnung 2^n . Für gerades n spaltet sich die Ferngerade bzw. Fernebene ab, und es bleibt eine Kurve bzw. Fläche von der Ordnung

$$2^n - \binom{n}{n/2}.$$

FRITZ HOHENBERG, Graz.

Kleine Mitteilungen

I. Bemerkung zur elementaren Konvergenzlehre

In vielen Darstellungen der Theorie der konvergenten Zahlfolgen stößt man auf eine gewisse Unklarheit, die ihren Grund darin hat, daß der Begriff des Häufungspunktes in nicht ganz angemessener Weise gebraucht wird. Bei näherem Zusehen kann man feststellen, daß dieser unangemessene Gebrauch verursacht wird durch die Gepflogenheit, eine Zahlfolge als Spezialfall einer Punktmenge zu interpretieren. Diese Interpretation ist aber nicht genau zutreffend und erzeugt eine leichte Verwirrung, die gerade einem kritischen Anfänger Unbehagen bereiten kann.

¹⁾ Analog besteht der geometrische Ort (1) in der nichteuklidischen Geometrie aus einem Kegelschnitt und dem absoluten Kegelschnitt.

²⁾ Siehe F. HOHENBERG, *Eine einfache Fläche 8. Ordnung*, Mh. Math. 54, 140–156 (1950). Es zeigt sich unter anderem, daß diese Fläche durch die sogenannte Darboux'sche Verwandtschaft mit der bekannten Steinerschen Fläche vierter Ordnung zusammenhängt.

³⁾ Eine Untersuchung dieser Fläche soll demnächst erscheinen.