

# Kegelschnitte

Kegelschnitte sind geometrische Figuren, die entstehen, wenn man Kegel mit Ebenen auf verschiedene Weisen schneidet. Bei der Diskussion von Kegelschnitten sind vor allem die Konstruktion der Figuren sowie das Schneiden mit Geraden oder anderen Kegelschnitten interessant.

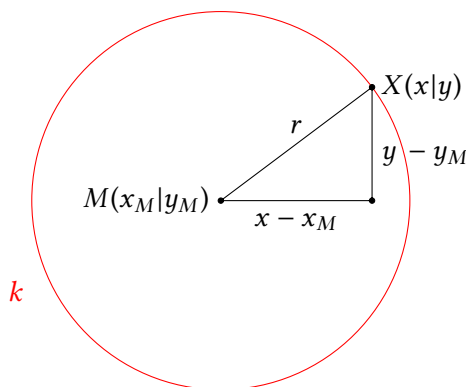
## Kreis

Ein Kreis entsteht, wenn ein Kegel mit einer Ebene geschnitten wird, die parallel zur Basis liegt. Im Koordinatensystem ist ein Kreis durch einen Mittelpunkt  $M$  und einen Radius  $r$  exakt definiert:

$$k : [M(x_M|y_M), r]$$

Jeder Punkt  $X$  auf dem Kreis  $k$  hat vom Mittelpunkt  $M$  den Abstand  $r$ , sodass gilt:  $\overline{MX} = r$

Man kann mittels dem Satz des Pythagoras jeden Punkt  $X$  auf dem Kreis  $k$  berechnen, da die  $x$ - und  $y$ -Koordinaten des Punktes  $X$  als Katheten, zusammen mit dem Radius  $r$  als Hypotenuse, ein rechtwinkliges Dreieck im Kreis bilden:



Durch Entnahme der korrekten Variablen aus der Grafik und Einsetzen in den Pythagoräischen Lehrsatz erhält man so die **Kreisgleichung in Koordinatenform**:

$$\begin{aligned} a^2 + b^2 &= c^2 \\ \Downarrow \\ k : (x - x_M)^2 + (y - y_M)^2 &= r^2 \end{aligned}$$

Liegt der Mittelpunkt eines Kreises mit Radius  $r = 1$  im Koordinatenursprung  $(0,0)$ , erhält man die sehr kompakte und einprägsame Kreisgleichung des *Einheitskreises*:

$$k_E : x^2 + y^2 = 1$$

Multipliziert man die Kreisgleichung aus, erhält man die **allgemeine Kreisgleichung**:

$$\begin{aligned} k : (x - x_M)^2 + (y - y_M)^2 &= r^2 \\ \Downarrow \\ x^2 + y^2 + ax + by + c &= 0 \end{aligned}$$

Um von der ausmultiplizierten, allgemeinen Kreisgleichung auf die Kreisgleichung in Koordinatenform zurückzukommen, muss man die allgemeine Kreisgleichung auf ein volles Quadrat ergänzen. Beispiel:

Die Gleichung  $x^2 + y^2 + 4x - 2y - 20 = 0$  beschreibt einen Kreis. Ermittle den Mittelpunkt  $M$  und den Radius  $r$  des Kreises.

I. Allgemeine Kreisgleichung:	$x^2 + y^2 + 4x - 2y - 20 = 0$
II. Umformung um die Ergänzung zu erleichtern:	$(x^2 + 4x + a^2) + (y^2 - 2y + b^2) = 20$
III. Finden der passenden Variablen:	$a = 2, b = -1$
IV. Addition der Quadrate auf beiden Seiten der Gleichung:	$(x^2 + 4x + 4) + (y^2 - 2y + 1) = 20 + 4 + 1$
V. Zu binomischen Formeln umformen:	$(x + 2)^2 + (y - 1)^2 = 25$
VI. Vergleich mit der Kreisgleichung:	$(x - x_M)^2 + (y - y_M)^2 = r^2$
VII. Entnahme des Mittelpunktes:	$M(-2 1)$
VIII. Entnahme des Radius:	$r^2 = 25 \Rightarrow r = 5$

### Schnitt Kreis - Gerade

Um eine Gerade  $g$  mit einem Kreis  $k$  zu schneiden drückt man eine Variable ( $x$  oder  $y$ ) aus der Geradengleichung aus und setzt sie in die Kreisgleichung von  $k$  ein. Dabei erhält man eine quadratische Gleichung nach der nicht ausgedrückten Variable, welche einem entweder zwei (A), einen (B) oder keinen (C) gemeinsame(n) Punkt(e) liefert. Hierbei muss man beachten, dass es drei mögliche Lagebeziehungen zwischen der Gerade und dem Kreis geben kann. Die Gerade kann nämlich sein:

#### A. Sekante

Die Gerade schneidet den Kreis in zwei Punkten und bildet so zwei Schnittpunkte.

#### B. Tangente

Die Gerade berührt den Kreis in einem Punkt – dem *Berührungspunkt*.

#### C. Passante

Der Kreis wird von der Gerade weder geschnitten noch berührt.

### Schnitt Kreis - Kreis

Zwei Kreise  $k_1$  und  $k_2$  schneidet man nach üblicher Methode in einem Gleichungssystem. Hierbei gibt es auch wieder verschiedene Lagebeziehung zwischen den beiden Kreisen:

#### A. Ident

$k_1$  und  $k_2$  sind gleich, berühren einander also in unendlich vielen Punkten:  $k_1 = k_2$ . Diese Lagebeziehung gilt, wenn sowohl Mittelpunkt als auch Radius der beiden Kreise gleich sind.

#### B. Zwei Schnittpunkte

$k_1$  und  $k_2$  überlappen so, dass sie zwei Schnittpunkte haben.

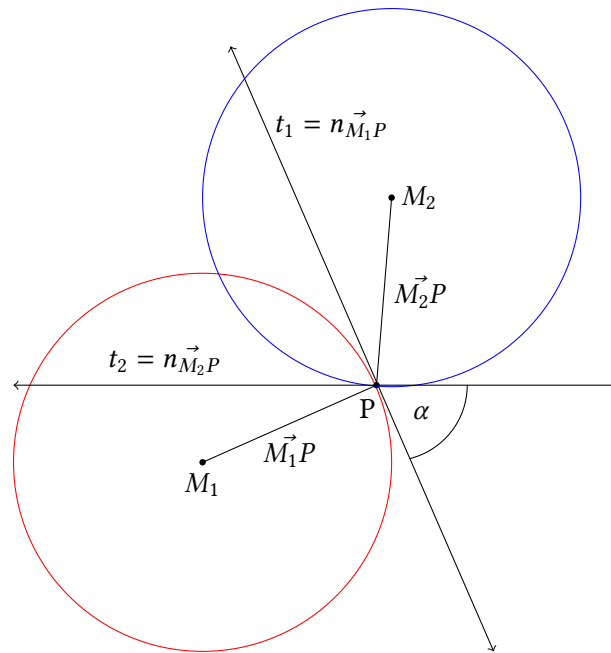
#### C. Ein Berührungspunkt

$k_1$  und  $k_2$  berühren einander in genau einem einzigen Punkt.

#### D. Keine gemeinsamen Punkte

$k_1$  und  $k_2$  liegen entweder nebeneinander oder ineinander, schneiden oder berühren sich jedoch nicht. Liegen sie ineinander, spricht man von *konzentrischen* Kreisen. Sie haben den selben Mittelpunkt, aber verschieden Radii.

Haben zwei Kreise einen Berühr- oder Schnittpunkt, kann man auch die Winkel zwischen den Tangenten der beiden Kreise in diesem Punkt berechnen. Die Richtungsvektoren  $\vec{t}_1$  und  $\vec{t}_2$  der Tangentengleichungen berechnet man als Normalvektoren der Vektoren von jeweils einem Mittelpunkt ( $M_1, M_2$ ) zu dem Berühr- oder Schnittpunkt  $P$ , also:



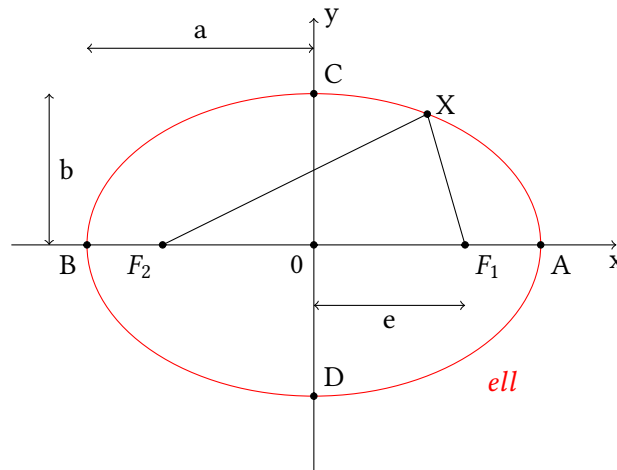
$$\begin{array}{cc} \vec{M_1P} & \vec{M_2P} \\ \downarrow & \downarrow \\ \vec{t}_1 = n_{\vec{M_1P}} & \vec{t}_2 = n_{\vec{M_2P}} \end{array}$$

Den Winkel  $\alpha$  berechnet man dann mittels der Vektoriellen Winkelformel:

$$\cos \alpha = \frac{\vec{t}_1 \cdot \vec{t}_2}{|\vec{t}_1| \cdot |\vec{t}_2|}$$

## Ellipse

Eine Ellipse entsteht wenn ein Kegel von einer Ebene geschnitten wird, die schräg zur Basis steht. Sie ist definiert durch zwei Brennpunkte  $F_1$  und  $F_2$  sowie einer Zahl  $a > 0$  oder einem beliebigen Punkt  $P$  auf der Ellipse. Eine vollständig beschriftete Ellipse *ell* mit einem Punkt  $X$  sieht so aus:



Hierbei sind:

$A, B$	...	Schnittpunkte mit der x-Achse $\Rightarrow$ Hauptscheitel
$C, D$	...	Schnittpunkte mit der y-Achse $\Rightarrow$ Nebenscheitel
$a$	...	große Halbachse
$b$	...	kleine Halbachse
$F_1, F_2$	...	Brennpunkte
$e$	...	Lineare Exzentrizität

Es gibt folgende Zusammenhänge zwischen diesen Variablen:

1.  $\overline{XF_1} + \overline{XF_2} = 2a$
2.  $a = |\vec{OA}| = |\vec{OB}| \Rightarrow A(a|0), B(-a|0)$
3.  $b = |\vec{OC}| = |\vec{OD}| \Rightarrow C(0|b), D(0|-b)$
4.  $e = |\vec{OF_1}| = |\vec{OF_2}| \Rightarrow F_1(e|0), F_2(-e|0)$
5.  $e^2 = a^2 - b^2$

Hat eine Ellipse, wie jene oben, ihre Brennpunkte symmetrisch zum Koordinatenursprung auf der x-Achse mit  $F_1(-e|0)$  und  $F_2(e|0)$ , sowie die große Halbachse auf der x-Achse liegend mit den Hauptscheiteln  $A(a|0)$  und  $B(-a|0)$ , so spricht man von einer Ellipse in **1. Hauptlage**. Liegen die Brennpunkte auf der y-Achse, befindet sich die Ellipse in der **2. Hauptlage**.

Eine Ellipse  $ell$  in 1. Hauptlage mit den Halbachsen  $a$  und  $b$  kann geometrisch durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$\begin{aligned} ell : b^2x^2 + a^2y^2 &= a^2b^2 \\ &\Downarrow \\ ell : \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} &= 1 \end{aligned}$$

### Tangenten an eine Ellipse

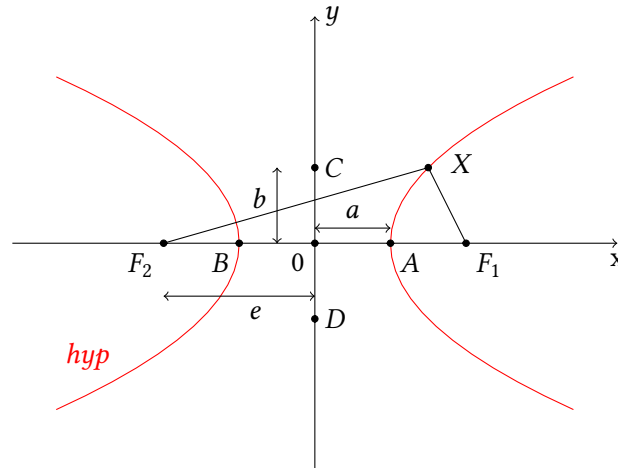
Um eine Tangente  $t$  an eine Ellipse  $ell$  in einem Punkt  $P$  zu legen, muss man die Ellipse implizit differenzieren und in das Resultat dessen den Punkt  $P$  einsetzen, um die Steigung  $k$  der Ellipse in diesem Punkt zu erhalten. Die  $x$  und  $y$  Koordinaten des Punktes  $P$  sowie die Steigung  $k$  der Ellipse in diesem Punkt setzt man dann in die Normalform der linearen Gleichung  $y = kx + d$  einsetzen, um somit die volle Gleichung der Geraden bzw. der Tangente  $t$  zu bestimmen. Beispiel:

*Gegeben sind die Ellipse  $ell : x^2 + 3y^2 = 28$  und der Punkt  $P(4|2)$  der auf der Ellipse liegt. Bestimme die Gleichung der Tangente  $t$  an die Ellipse im Punkt  $P$ .*

- |   |  |
|---|--|
| I. Ellipsengleichung:                                     | $x^2 + 3y^2 = 28$  |
| II Implizites Differenzieren:                             | $2x + 3 \cdot 2y \cdot y' = 0 \Rightarrow 2x + 6yy' = 0$ |
| III. Umformung nach $y'$ :                                | $y' = \frac{-2x}{6y} = \frac{-x}{3y}$                    |
| IV. Einsetzen von $P$ :                                   | $y' = \frac{-4}{3 \cdot 2} = \frac{-2}{3}$               |
| V. $y'$ ist die Steigung $k$ der Tangentengleichung $t$ : | $y = kx + d$   |
| VI. Einsetzung von $k (= y')$ sowie $P$ in $t$ :          | $2 = 4 \cdot \frac{-2}{3} + d$                           |
| VII. Lösen nach $d$ :                                     | $d = 2 + \frac{8}{3} = \frac{14}{3}$                     |
| VIII. Fertige Tangentengleichung $t$ :                    | $y = \frac{-2}{3}x + \frac{14}{3}$                       |

# Hyperbel

Eine Hyperbel besteht aus zwei Bögen bzw. „Ästen“, deren Form durch zwei Brennpunkte  $F_1$  und  $F_2$  sowie einer Länge  $a$  exakt definiert ist. Sind die Brennpunkte symmetrisch zum Koordinatenursprung und liegen auf der  $x$ -Achse ( $F_1(-e|0)$ ,  $F_2(e|0)$ ), spricht man von einer Hyperbel in **1. Hauptlage**. Liegen die Brennpunkte auf der  $y$ -Achse, befindet sich die Hyperbel in **2. Hauptlage**. Geometrisch sieht eine Hyperbel in 1. Hauptlage folgendermaßen aus:



Hierbei sind:

- $A, B$  ... Schnittpunkte mit der  $x$ -Achse  $\Rightarrow$  Hauptscheitel
- $C, D$  ... Schnittpunkte mit der  $y$ -Achse  $\Rightarrow$  Nebenscheitel
- $a$  ... große Halbachse
- $b$  ... kleine Halbachse
- $F_1, F_2$  ... Brennpunkte
- $e$  ... Lineare Exzentrizität

Es gibt folgende Zusammenhänge zwischen diesen Variablen:

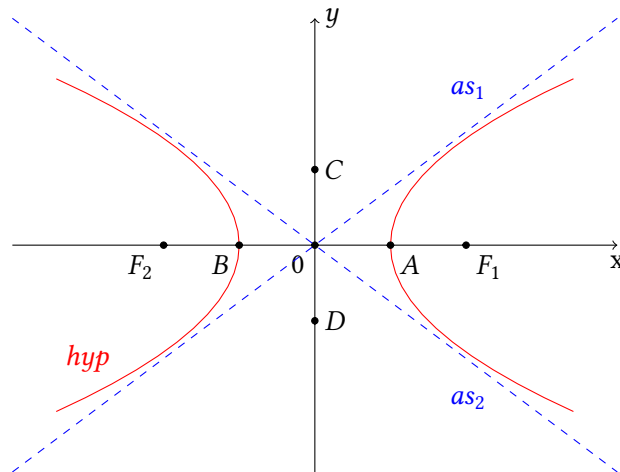
1.  $|\overline{XF_1} - \overline{XF_2}| = 2a$
2.  $a = |\vec{0A}| = |\vec{0B}| \Rightarrow A(a|0), B(-a|0)$
3.  $b = |\vec{0C}| = |\vec{0D}| \Rightarrow C(0|b), D(0|-b)$
4.  $e = |\vec{0F_1}| = |\vec{0F_2}| \Rightarrow F_1(-e|0), F_2(e|0)$
5.  $e^2 = a^2 + b^2$

Eine Hyperbel *hyp* in 1. Hauptlage mit den Halbachsen  $a$  und  $b$  kann durch folgende Gleichung beschrieben werden, welche sich von der Ellipsengleichung nur im Vorzeichen unterscheidet:

$$\begin{aligned} \text{hyp} : b^2 x^2 - a^2 y^2 &= a^2 b^2 \\ \Downarrow \\ \text{hyp} : \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} &= 1 \end{aligned}$$

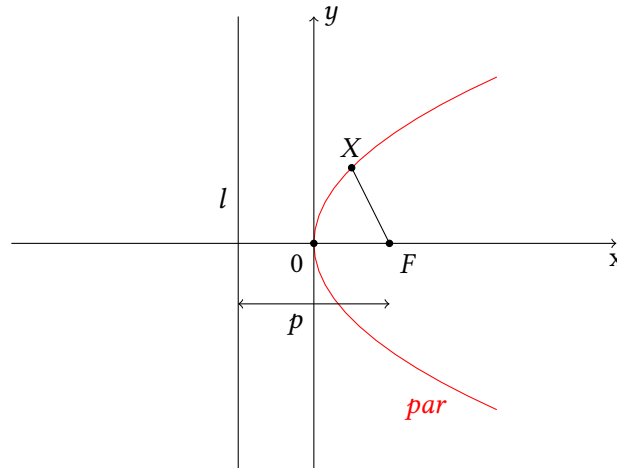
Die Asymptoten  $as_{1,2}$  einer Hyperbel sind jene Geraden, welche den beiden Ästen unendlich nahe kommen ohne sie je wirklich zu berühren. Sie sind definiert als:

$$as_{1,2} : y = \pm \frac{b}{a}x$$



## Parabel

Eine Parabel ist eine Hyperbel mit nur einem Bogen bzw. mit nur einem Ast. Die Kurve einer Parabel ist exakt definiert durch einen Brennpunkt  $F$  sowie eine Leitlinie  $l$ . Liegt der Brennpunkt  $F$  auf der positiven  $x$ -Achse, der Scheitel der Parabel im Koordinatenursprung und ist die Leitlinie  $l$  parallel zur  $y$ -Achse, handelt es sich um eine Parabel in **1. Hauptlage**. In diesem Fall ist die Parabel schon durch den Parameter  $p$  exakt definiert. Dieser Parameter  $p$  bestimmt den Abstand zwischen dem Brennpunkt  $F$  und der Leitlinie  $l$  und ist daher doppelt so groß wie die lineare Exzentrizität  $e$ .



Hierbei sind:

- $l$  ... Leitlinie
- $F$  ... Brennpunkt
- $p$  ... Abstand zwischen Leitlinie und Brennpunkt

Es gibt folgende Zusammenhänge zwischen diesen Variablen:

1.  $\overline{XF} = \overline{XI}$
2.  $p = \overline{FI} = 2 \cdot e$
3.  $F\left(\frac{p}{2} | 0\right)$
4.  $l(y) = -\frac{p}{2}$

Die Gleichung einer Parabel  $par$  in 1. Hauptlage mit dem Parameter  $p$  lautet:

$$y^2 = 2px$$