

---

**Ähnlichkeit  
Theorie**

---

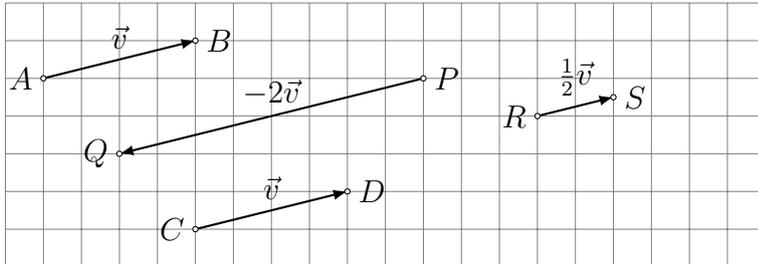
# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Die zentrische Streckung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Strahlensätze</b>	<b>7</b>
2.1	Der erste Strahlensatz . . . . .	7
2.2	Der zweite Strahlensatz . . . . .	8
2.3	Der dritte Strahlensatz . . . . .	9
2.4	Verallgemeinerungen der Strahlensätze . . . . .	10
2.5	Die Umkehrung der Strahlensätze . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Ähnlichkeit</b>	<b>12</b>
3.1	Kongruenzabbildungen (Repetition) . . . . .	12
3.2	Ähnlichkeitsabbildungen . . . . .	16
3.3	Die Ähnlichkeitssätze für Dreiecke . . . . .	17
3.4	Ähnlichkeitsbeziehungen am rechtwinkligen Dreieck . . . . .	20
3.5	Anwendungen der Ähnlichkeit bei Konstruktionen . . . . .	21
3.6	Ähnlichkeitsbeziehungen am Kreis . . . . .	23
3.7	Der Goldene Schnitt . . . . .	24

# 1 Die zentrische Streckung

## Vektoren

Ein *Vektor*  $\vec{v}$  ist die Menge aller gerichteter Strecken (*Pfeile*) mit gleicher Länge und gleicher Richtung. Ein einzelner Pfeil ( $\overrightarrow{AB}$ ,  $\overrightarrow{CD}$ , ...) ist ein *Repräsentant* von  $\vec{v}$ . Ein Vektor wird mit einer Zahl multipliziert, indem man seine Länge mit dieser Zahl multipliziert aber seine Richtung beibehält. Ist die Zahl negativ, wird der Vektor um  $180^\circ$  gedreht.



### Beispiel 1.1

Gegeben: Punkte  $Z$  und  $P$ .

Gesucht: Punkt  $P'$  mit  $\overrightarrow{ZP'} = 3 \cdot \overrightarrow{ZP}$



### Beispiel 1.2

Gegeben: Punkte  $Z$  und  $P$ .

Gesucht: Punkt  $P'$  mit  $\overrightarrow{ZP'} = \frac{1}{3} \cdot \overrightarrow{ZP}$



### Beispiel 1.3

Gegeben: Punkte  $Z$  und  $P$ .

Gesucht: Punkt  $P'$  mit  $\overrightarrow{ZP'} = -2 \cdot \overrightarrow{ZP} = 2 \cdot \overrightarrow{PZ}$

$$\overset{\circ}{Z} \quad \overset{\circ}{P}$$

### Definition

Gegeben ist ein Punkt  $Z$  in der Ebene (oder dem Raum) und  $k \neq 0$  eine reelle Zahl.

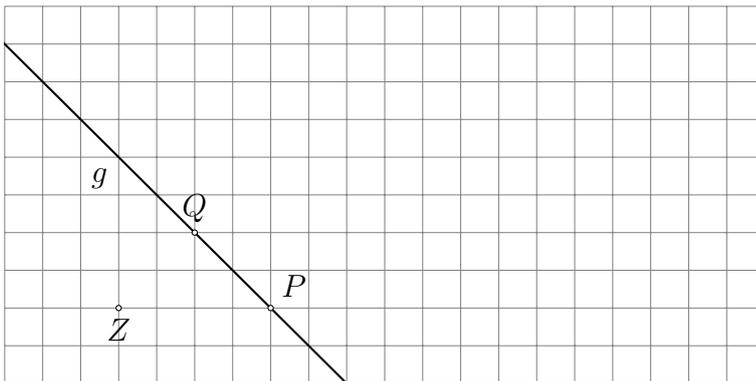
Eine *zentrische Streckung* mit dem Zentrum  $Z$  und dem Streckungsfaktor  $k$  ist eine Abbildung der Ebene (des Raumes) auf sich selbst, bei der jeder Punkt  $P$  auf den Bildpunkt  $P'$  abgebildet wird, so dass

$$\overrightarrow{ZP'} = k \cdot \overrightarrow{ZP}$$

gilt.

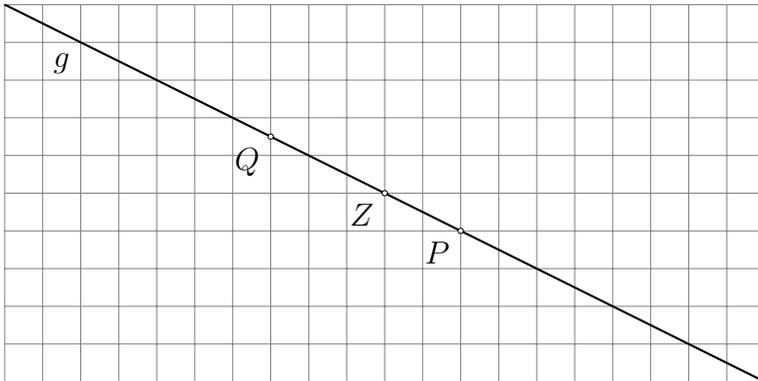
### Beispiel 1.4

Bilde die Gerade  $g = (PQ)$  durch eine zentrischen Streckung mit dem Zentrum  $Z$  und dem Streckungsfaktor  $k = 2.5$  auf die Gerade  $g' = (P'Q')$  ab.



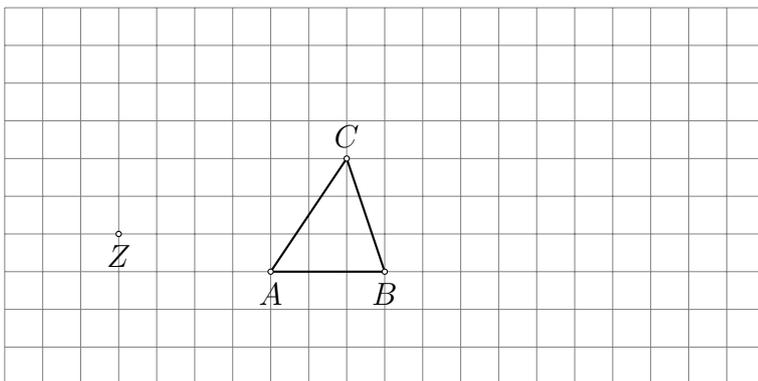
### Beispiel 1.5

Bilde die Gerade  $g' = (P'Q')$  durch eine zentrischen Streckung mit dem Zentrum  $Z$  und dem Streckungsfaktor  $k = -2$  auf die Gerade  $g = (PQ)$  ab.



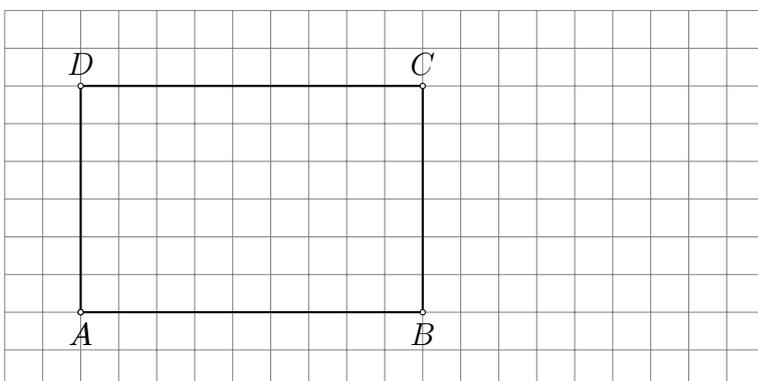
### Beispiel 1.6

Bilde das Dreieck  $ABC$  durch eine zentrischen Streckung mit dem Zentrum  $Z$  und dem Streckungsfaktor  $k = 2$  auf das Dreieck  $A'B'C'$  ab.



### Beispiel 1.7

Bilde das Rechteck  $ABCD$  durch eine zentrischen Streckung mit dem Zentrum  $Z = A$  und dem Streckungsfaktor  $k = \frac{1}{3}$  auf das Rechteck  $A'B'C'D'$  ab.



## Eigenschaften der zentrischen Streckung

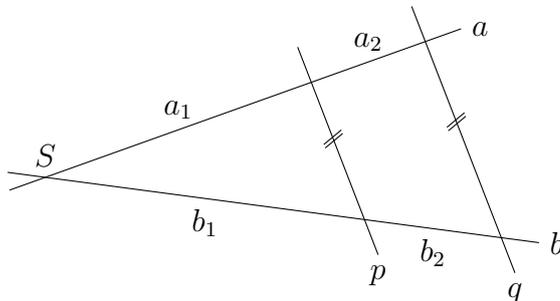
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

$1 < k < \infty$ $k = 1$ $0 < k < 1$	
$-1 < k < 0$ $k = -1$ $-\infty < k < -1$	

## 2 Strahlensätze

### 2.1 Der erste Strahlensatz

Zwei sich im Punkt  $S$  schneidende Geraden  $a$  und  $b$  werden von den Parallelen  $p$  und  $q$  geschnitten.



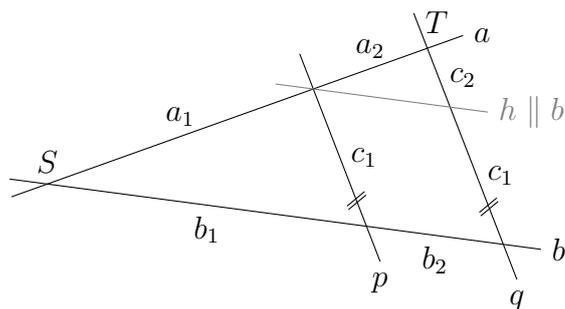
Weil  $p$  und  $q$  parallel sind, muss es eine zentrische Streckung mit Zentrum  $S$  und Faktor  $k$  geben, die  $p$  auf  $q$  abbildet. Also:

Daraus folgt:

**Der erste Strahlensatz**

## 2.2 Der zweite Strahlensatz

Wir ergänzen die obige Figur um die Gerade  $h \parallel b$  durch  $p \cap a$ .

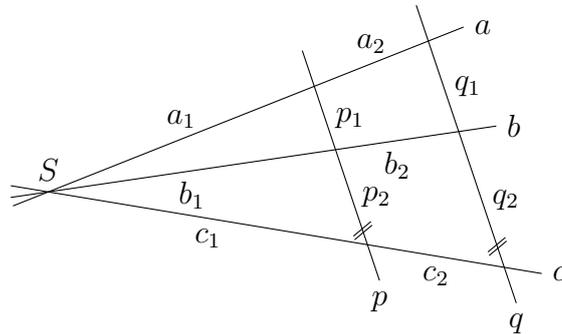


Den zweiten Strahlensatz gewinnt man durch Anwendung des ersten Strahlensatzes auf die sich im Punkt  $T$  schneidenden Geraden  $a$  und  $q$  und die Parallelen  $h$  und  $b$ .

### Der zweite Strahlensatz

## 2.3 Der dritte Strahlensatz

Der dritte Strahlensatz kann aus dem ersten und dem zweiten Strahlensatz hergeleitet werden.



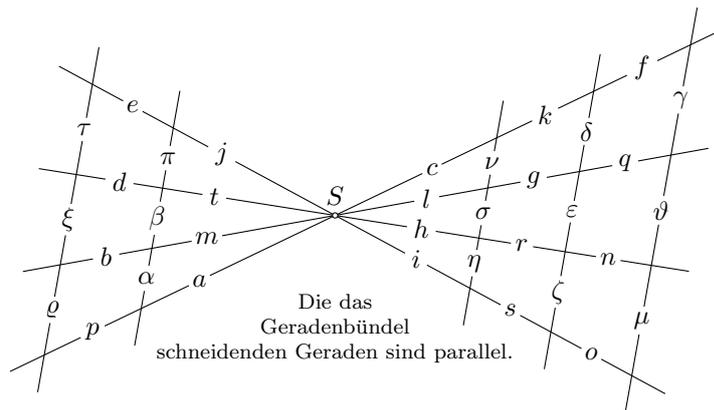
Wegen des ersten Strahlensatzes gilt.

Wegen des zweiten Strahlensatzes gelten:

Da aber die linken Seiten der beiden letzten Gleichung wegen des ersten Strahlensatzes gleich sind, müssen auch die rechten Seiten dieser Gleichungen übereinstimmen. Somit:

**Der dritte Strahlensatz**

## 2.4 Verallgemeinerungen der Strahlensätze



Vervollständige die Proportionen mit dem ersten Strahlensatz.

- (a)  $c : f = h : \square$
- (b)  $q : l = \square : i$
- (c)  $l : m = c : \square$
- (d)  $h : (r + n) = \square : (s + o)$
- (e)  $b : \square = \square : s$
- (f)  $(\square + a) : f = (r + \square) : \square$

Vervollständige die Proportionen mit dem zweiten Strahlensatz.

- (a)  $(l : \sigma) = (l + g + q) : \square$
- (b)  $(c + k) : \delta = (\square + \square + \square) : \gamma$
- (c)  $c : \nu = a : \square$
- (d)  $(t + d) : \square = (h + r) : \square$
- (e)  $c : (\nu + \sigma) = (c + \square) : (\square + \varepsilon)$
- (f)  $t : (\pi + \square) = \square : (\square + \sigma)$

Vervollständige die Proportionen mit dem dritten Strahlensatz.

- (a)  $\sigma : \eta = \varepsilon : \square$
- (b)  $\mu : \gamma = \square : \nu$
- (c)  $\delta : (\varepsilon + \zeta) = \gamma : (\square + \mu)$
- (d)  $\alpha : \beta = \nu : \square$
- (e)  $\gamma : \mu = \varrho : \square$
- (f)  $\tau : (\square + \xi) = \eta : (\eta + \sigma)$

## 2.5 Die Umkehrung der Strahlensätze

Mathematische Aussagen haben oft die folgende Form: *Wenn A, dann B.*

- (a) *Wenn* zwei ganze Zahlen gerade sind, *dann* ist ihre Summe gerade.
- (b) *Wenn* eine ganze Zahl ungerade ist, *dann* ist auch ihr Quadrat ungerade.
- (c) *Wenn* eine Figur ein Quadrat ist, *dann* hat die Figur vier rechte Innenwinkel.

Man erhält die Umkehrungen dieser Aussagen, indem man den Text hinter dem *wenn*-Teil und dem *dann*-Teil vertauscht.

**Achtung:** Auch wenn die ursprüngliche Aussage wahr ist, muss dies nicht für ihre Umkehrung gelten.

- (a) *Wenn* die Summe zweier ganzer Zahlen gerade ist, *dann* sind beide Zahlen gerade.
- (b) *Wenn* das Quadrat einer ganzen Zahl ungerade ist, *dann* ist auch die Zahl selbst ungerade.
- (c) *Wenn* eine Figur vier rechte Innenwinkel hat, *dann* ist es ein Quadrat.

### Die Umkehrung des ersten Strahlensatzes

*Wenn* zwei sich schneidende Geraden  $a$  und  $b$  von zwei Geraden  $p$  und  $q$  geschnitten werden und sich die Abschnitte auf der Geraden  $a$  wie die entsprechenden Abschnitte auf der Geraden  $b$  verhalten, *dann* sind  $p$  und  $q$  parallel.

### Die Umkehrung des zweiten Strahlensatzes

*Wenn* zwei sich schneidende Geraden  $a$  und  $b$  von zwei Geraden  $p$  und  $q$  geschnitten werden und sich die vom Schnittpunkt aus gemessenen Abschnitte auf einer der Geraden wie die entsprechenden Abschnitte auf den Parallelen verhalten, *dann* sind  $p$  und  $q$  parallel.

### Die Umkehrung des dritten Strahlensatzes

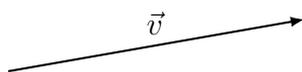
*Wenn* drei sich schneidende Geraden  $a$ ,  $b$  und  $c$  von zwei Geraden  $p$  und  $q$  geschnitten werden und sich die Abschnitte auf der Geraden  $p$  wie die entsprechenden Abschnitte auf der Geraden  $q$  verhalten, *dann* sind  $p$  und  $q$  parallel.

### 3 Ähnlichkeit

#### 3.1 Kongruenzabbildungen (Repetition)

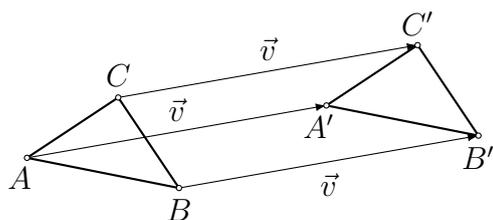
##### Die Translation

Eine Translation  $T_{\vec{v}}$  mit dem Vektor  $\vec{v}$  ist eine Abbildung der Ebene (des Raumes) auf sich selbst, die jedem Punkt  $P$  einen Punkt  $P'$  zuordnet, so dass  $\overrightarrow{PP'} = \vec{v}$ .



$\overset{\circ}{P}$

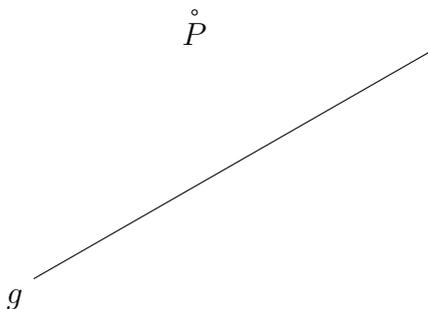
##### Eigenschaften der Translation $T_{\vec{v}}$



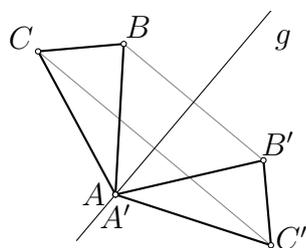
- 
- 
- 
- 
- 
-

## Die Achsenspiegelung

Eine Achsenspiegelung  $A_g$  an der Achse  $g$  ist eine Abbildung der Ebene (des Raumes) auf sich selbst, die jedem Punkt  $P$  einen Punkt  $P'$  zuordnet, so dass  $|Pg| = |P'g|$  und  $PP' \perp g$ .



## Eigenschaften der Achsenspiegelung $A_g$



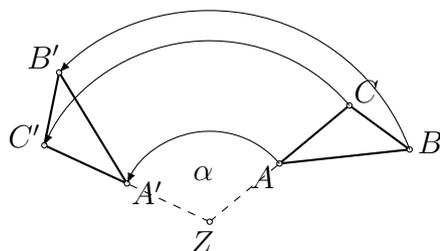
- 
- 
- 
- 
- 
-

## Die Rotation

Ein Rotation  $R_{Z,\alpha}$  mit Zentrum  $Z$  und Winkel  $\alpha$  ist eine Abbildung der Ebene (des Raumes) auf sich selbst, die jedem Punkt  $P$  einen Punkt  $P'$  zuordnet, so dass  $|ZP| = |ZP'|$  und  $\sphericalangle(ZP, ZP') = \alpha$ .



## Eigenschaften der Rotation $R_{Z,\alpha}$



- 
- 
- 
- 
- 
-

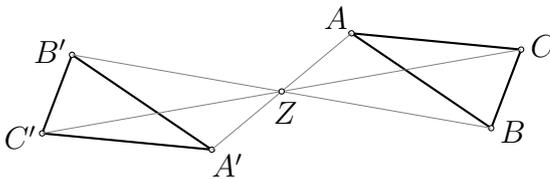
## Die Punktspiegelung (Spezialfall der Rotation)

Eine Punktspiegelung  $P_Z$  am Zentrum  $Z$  ist die Rotation  $R_{Z,180^\circ}$  mit dem Zentrum  $Z$  und dem Winkel  $180^\circ$ .

$$P_\circ$$

$$Z_\circ$$

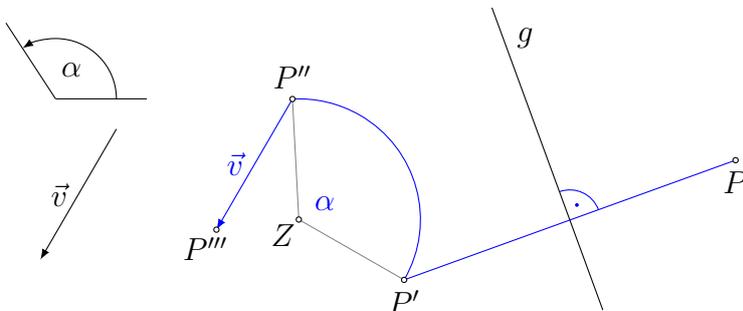
## Eigenschaften der Punktspiegelung $P_Z$



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

## Kongruenzabbildungen

Eine Kongruenzabbildung besteht aus einer oder einer Verkettung mehrerer der oben genannten Abbildungen. Z. B.:  $T_{\vec{v}} \circ R_{Z,\alpha} \circ A_g$



*Beachte:* Verkettungen von Abbildungen werden von rechts nach links interpretiert.

## Bemerkung

Wenn eine Figur  $F$  durch eine oder mehrere Kongruenzabbildungen auf eine Figur  $F'$  abgebildet wird, so heissen  $F$  und  $F'$  *kongruent* (deckungsgleich).

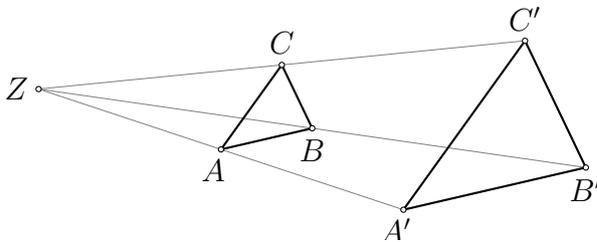
Kurzschreibweise:  $F \cong F'$

## 3.2 Ähnlichkeitsabbildungen

### Zentrische Streckungen (Repetition)

Eine zentrische Streckung  $Z_{Z,k}$  mit Zentrum  $Z$  und Streckungsfaktor  $k \neq 0$  ist eine Abbildung der Ebene (des Raumes) auf sich selbst, die jedem Punkt  $P$  einen Punkt  $P'$  zuordnet, so dass  $\overrightarrow{ZP'} = k \cdot \overrightarrow{ZP}$  gilt.

### Eigenschaften der zentrischen Streckung $Z_{Z,k}$



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 

### Ähnlichkeitsabbildungen

Eine *Ähnlichkeitsabbildung* ist eine Abbildung, die sich aus einer oder mehreren Kongruenzabbildungen und zentrischen Streckungen zusammensetzt.

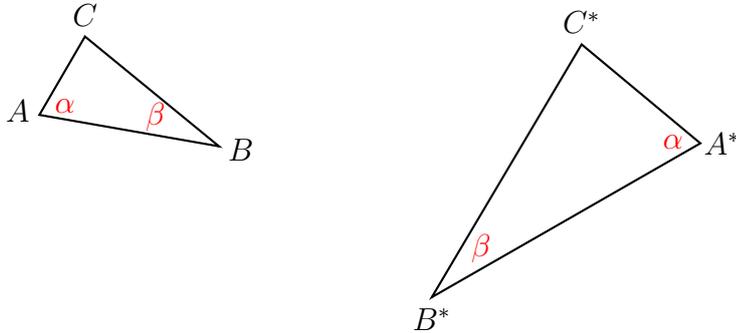
Wenn eine Figur  $F$  durch eine Ähnlichkeitsabbildung auf eine Figur  $F'$  abgebildet wird, so heissen  $F$  und  $F'$  *ähnlich*.

Kurzschreibweise:  $F \sim F'$

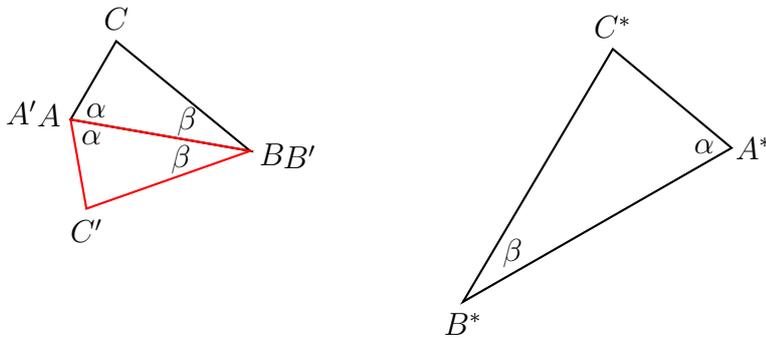
### 3.3 Die Ähnlichkeitssätze für Dreiecke

#### Der erste Ähnlichkeitssatz für Dreiecke

Wenn zwei Dreiecke  $ABC$  und  $A^*B^*C^*$  in zwei Winkeln (z. B.  $\alpha$  und  $\beta$ ) übereinstimmen, dann sind sie ähnlich.

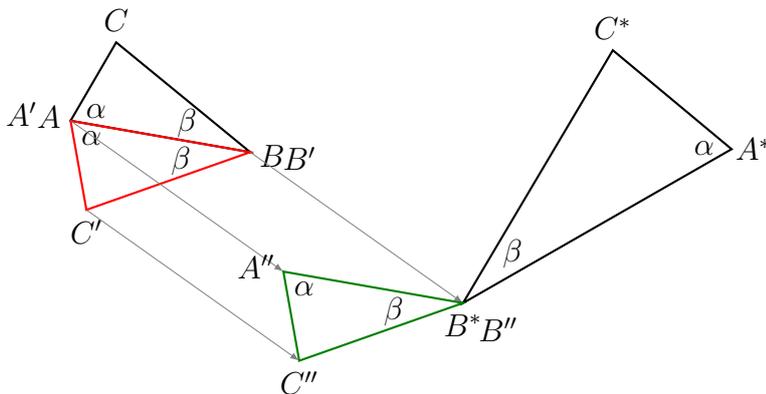


#### Beweis (Schritt 1)



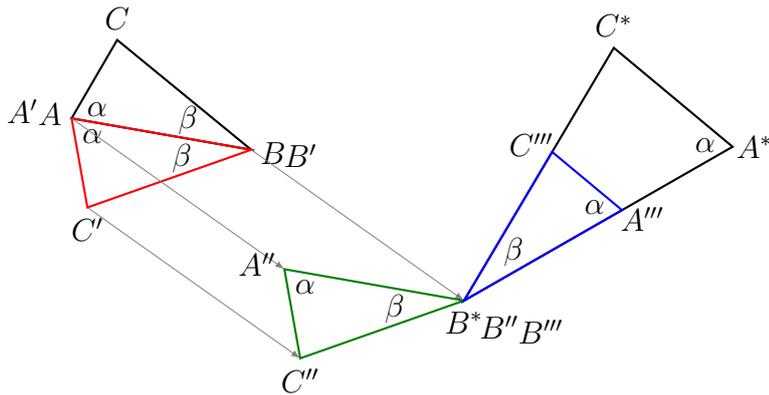
Da die Dreiecke verschieden orientiert sind, spiegeln wir das Dreieck  $ABC$  z. B. an der Seite  $AB \rightarrow A'B'C'$

#### Beweis (Schritt 2)



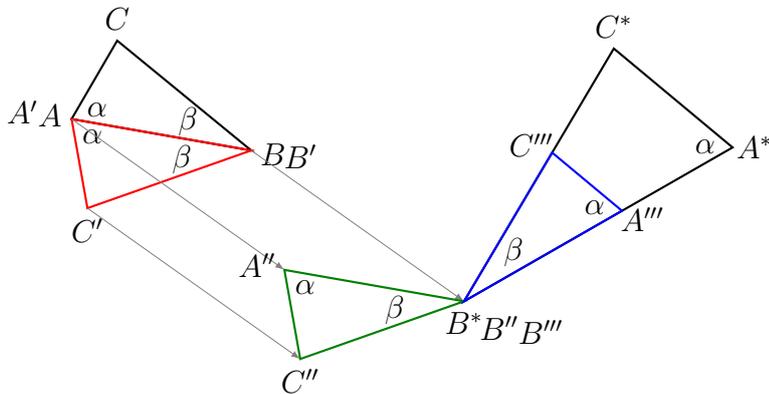
Dann führen wir mit  $A'B'C'$  eine Translation z. B. um den Vektor  $\overrightarrow{B'B^*}$  durch  $\rightarrow A''B''C''$

**Beweis (Schritt 3)**



Da  $B$  auf  $B^*$  abgebildet wurde und die Winkel in  $B$  und  $B^*$  übereinstimmen, gibt es eine Drehung um  $B''$  und dem Winkel  $\varphi$ , welche die Winkel zur Deckung bringt.  $\rightarrow A'''B'''C'''$

**Beweis (Schritt 4)**



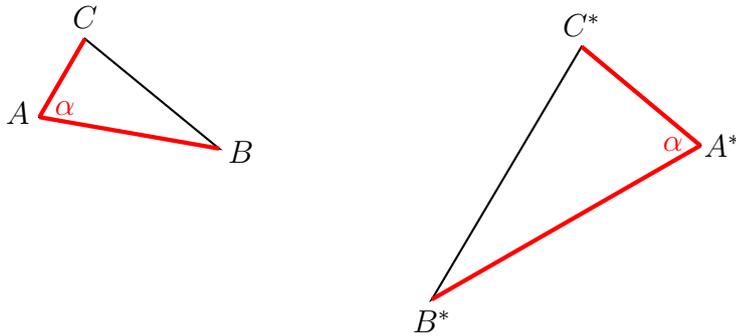
Da die Winkel in  $A'''$  und  $A^*$  übereinstimmen, gilt  $A'''C''' \parallel A^*C^*$ . Also gibt es eine zentrische Streckung mit Zentrum  $B'''$  und Faktor  $k = \frac{|A^*C^*|}{|A'''C'''|}$ , die  $A'''$  auf  $A^*$  und  $C'''$  auf  $C^*$  abbildet.  $\rightarrow A^*B^*C^*$

Da diese Überlegungen unabhängig von der speziellen Lage der Dreiecke sind, haben wir eine Ähnlichkeitsabbildung gefunden, die  $ABC$  auf  $A^*B^*C^*$  abbildet.

Also sind die Dreiecke ähnlich. □

### Der zweite Ähnlichkeitssatz für Dreiecke

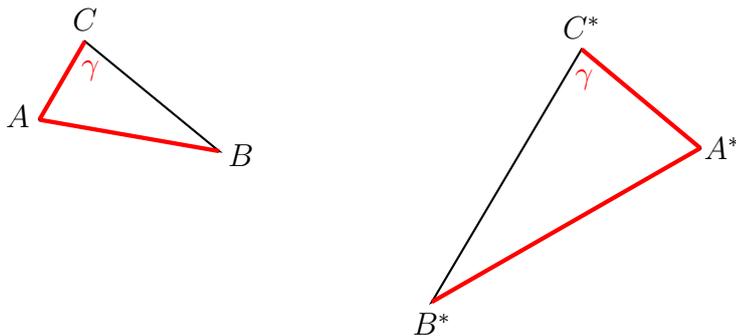
Wenn zwei Dreiecke in einem Winkel und im Verhältnis der beiden anliegenden Seiten übereinstimmen, dann sind sie ähnlich.



Der Beweis verläuft ähnlich wie beim ersten Ähnlichkeitssatz.

### Der dritte Ähnlichkeitssatz für Dreiecke

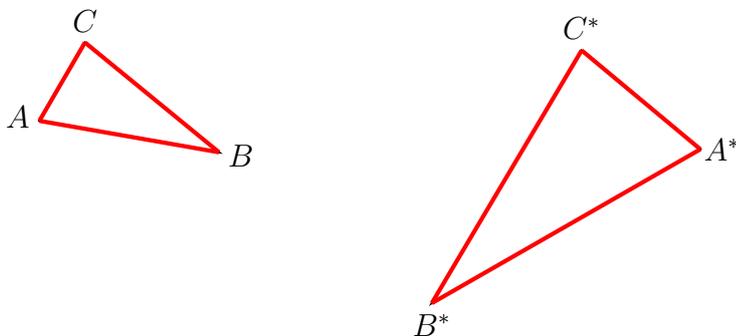
Wenn zwei Dreiecke im Verhältnis zweier Seiten und im Winkel, welcher *der längeren der beiden Seiten* gegenüberliegt, übereinstimmen, dann sind sie ähnlich.



Der Beweis verläuft ähnlich wie beim ersten Ähnlichkeitssatz.

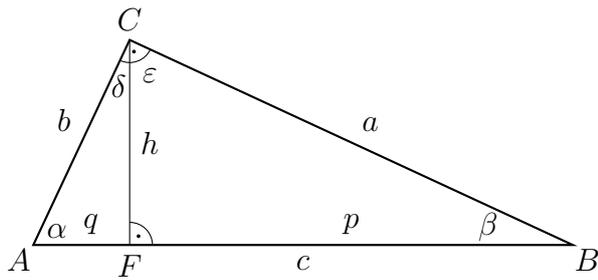
### Der vierte Ähnlichkeitssatz für Dreiecke

Wenn zwei Dreiecke im Verhältnis der drei Seiten übereinstimmen, dann sind sie ähnlich.



Der Beweis verläuft ähnlich wie beim ersten Ähnlichkeitssatz.

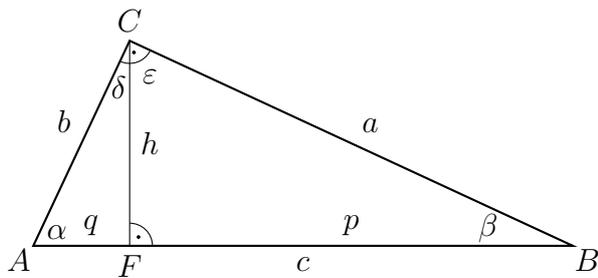
### 3.4 Ähnlichkeitsbeziehungen am rechtwinkligen Dreieck



*Behauptung:* Die Dreiecke  $ABC$ ,  $BCF$  und  $CAF$  sind ähnlich.

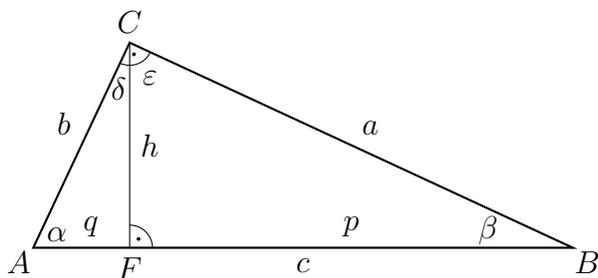
*Beweis:*

#### Der Höhensatz



Aus  $CAF \sim BCF$  folgt:

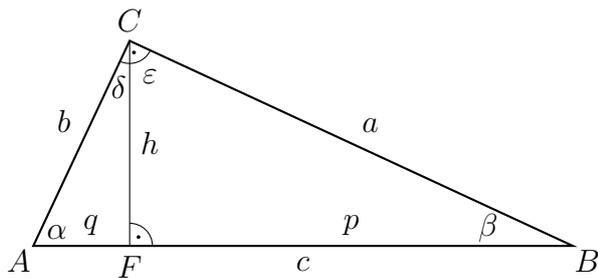
#### Der Satz des Euklid (Kathetensätze)



Aus  $CAF \sim ABC$  folgt:

Aus  $BCF \sim ABC$  folgt:

## Der Satz des Pythagoras

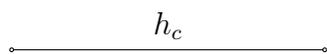


... folgt direkt aus den Kathetensätzen:

## 3.5 Anwendungen der Ähnlichkeit bei Konstruktionen

### Beispiel 3.5.1

Konstruiere ein Dreieck  $ABC$  mit dem Seitenlängenverhältnis  $a : b : c = 4 : 3 : 5$  und der Höhe  $h_c$ .



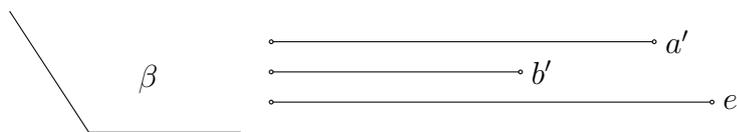
### Beispiel 3.5.2

Konstruiere ein Dreieck  $ABC$  aus den Winkeln  $\alpha$ ,  $\beta$  und der Schwerlinie  $s_a$ .



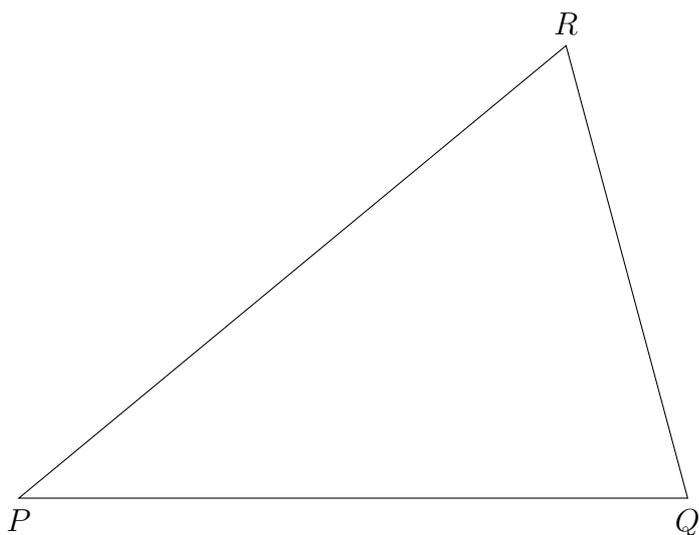
### Beispiel 3.5.3

Konstruiere ein Rhomboid mit dem Seitenverhältnis  $a : b = a' : b'$  dem Winkel  $\beta$  und der Diagonalen  $e = AC$ .



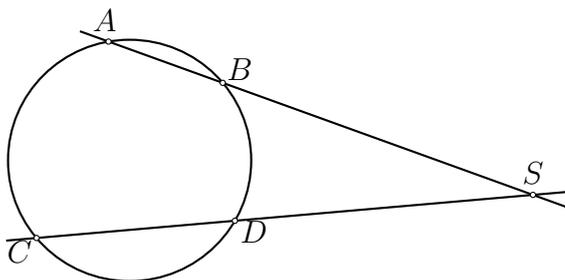
### Beispiel 3.5.4

Dem Dreieck  $PQR$  ist ein Quadrat  $ABCD$  so einzuschreiben, dass zwei Ecken des Quadrates auf der Seite  $PQ$  und die anderen auf den Seiten  $PR$  und  $QR$  liegen.



### 3.6 Ähnlichkeitsbeziehungen am Kreis

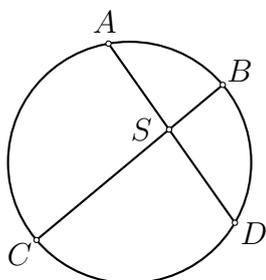
#### Der Sekantensatz



Schneiden sich zwei Sekanten ausserhalb des Kreises, so ist das Produkt aus den vom Schnittpunkt aus gemessenen Abschnitten der einen Sekante gleich dem Produkt der vom Schnittpunkt aus gemessenen Abschnitte der anderen Sekante.

#### Beweis

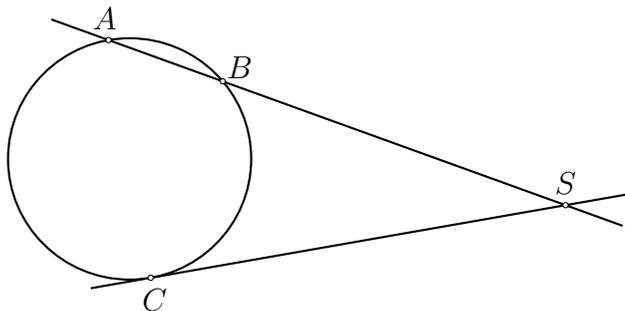
#### Der Sehnensatz



Schneiden sich zwei Sehnen, so ist das Produkt aus den Abschnitten der einen Sehne gleich dem Produkt aus den Abschnitten der anderen Sehne.

#### Beweis

## Der Sekanten-Tangenten-Satz

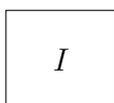
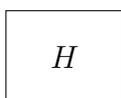
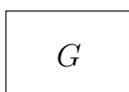
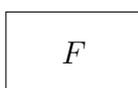
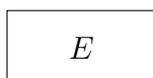
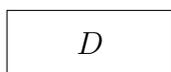


Schneiden sich eine Sekante und eine Tangente, so ist das Produkt aus den vom Schnittpunkt aus gemessenen Abschnitten der Sekante gleich dem Quadrat über dem Tangentenabschnitt.

### Beweis

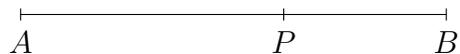
## 3.7 Der Goldene Schnitt

Welches Rechteck ist am „schönsten“?



## Definition

Teilt man eine Strecke  $AB$  durch einen Punkt  $P \in AB$ , so dass sich die gesamte Strecklänge  $|AB|$  zum längeren Abschnitt verhält, wie dieser zum kürzeren, so spricht man von einer *stetigen Teilung* oder von einer Teilung im *Goldenen Schnitt*.



Formal:

## Konstruktion des Teilungspunkts $P$

.

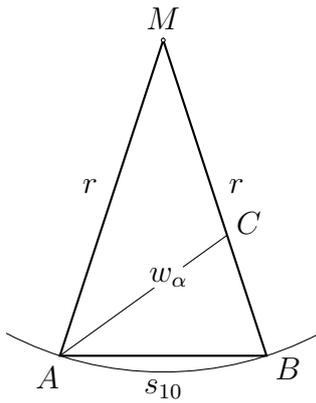


## Ist die Konstruktion korrekt?

Behauptung:  $|AB| : |AP| = |AP| : |PB|$

Beweis:

## Das Goldene Dreieck



## Konstruktion des regulären 10- und 5-Ecks

Gegeben: Strecke  $MA$

Gesucht: reguläres 10- und 5-Eck mit Umkreismittelpunkt  $M$  und Eckpunkt  $A$ .

