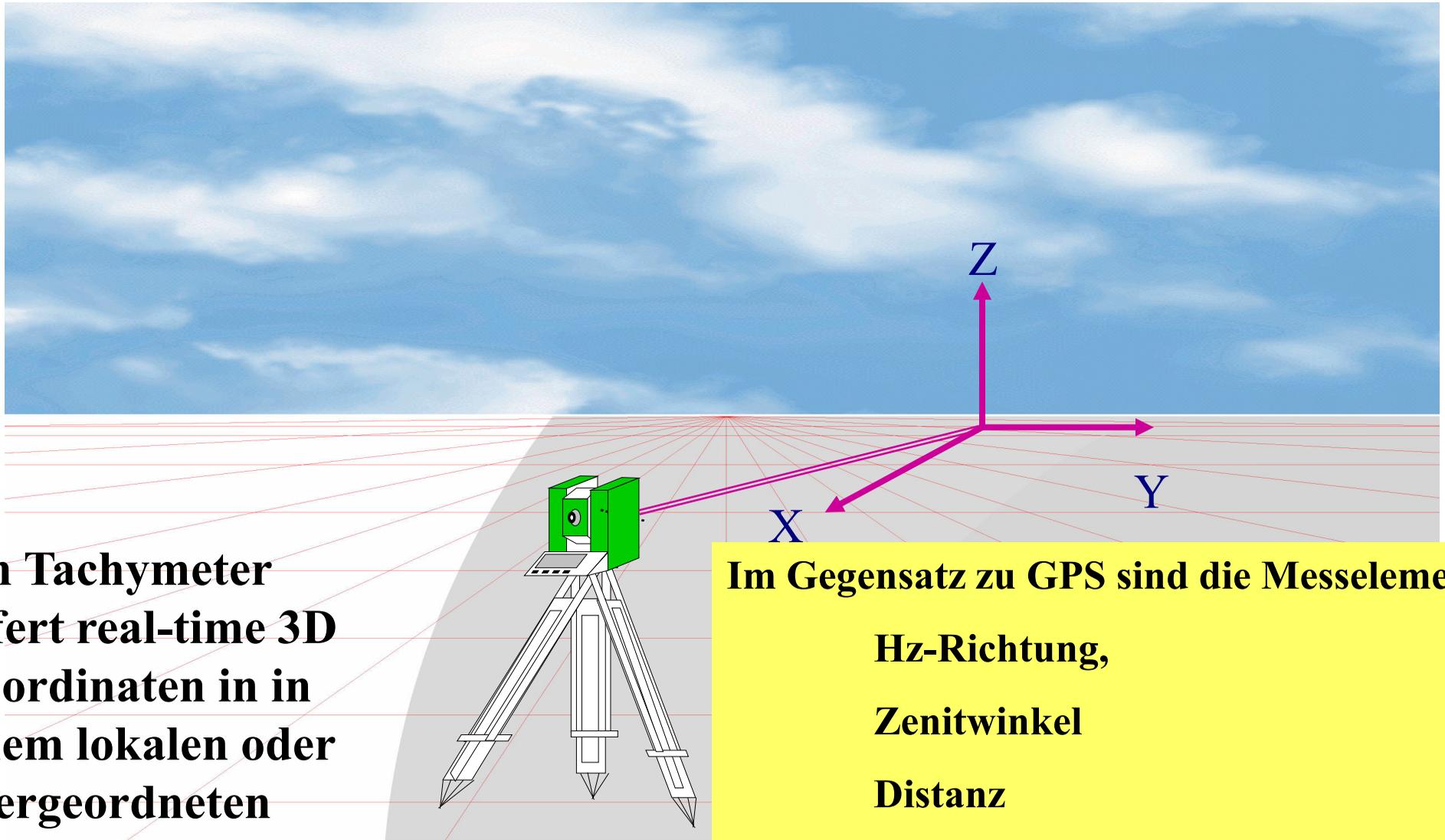


# *Moderne Tachymetrie*

- Aufbau moderner elektronischer Tachymeter
- Achssysteme und Achsbedingungen
- Achsabweichungen und ihre Einflüsse
- Absteckung mit Tachymetern



**Ein Tachymeter liefert real-time 3D Koordinaten in in einem lokalen oder übergeordneten Koordinatensystem**

**Im Gegensatz zu GPS sind die Messelemente:**

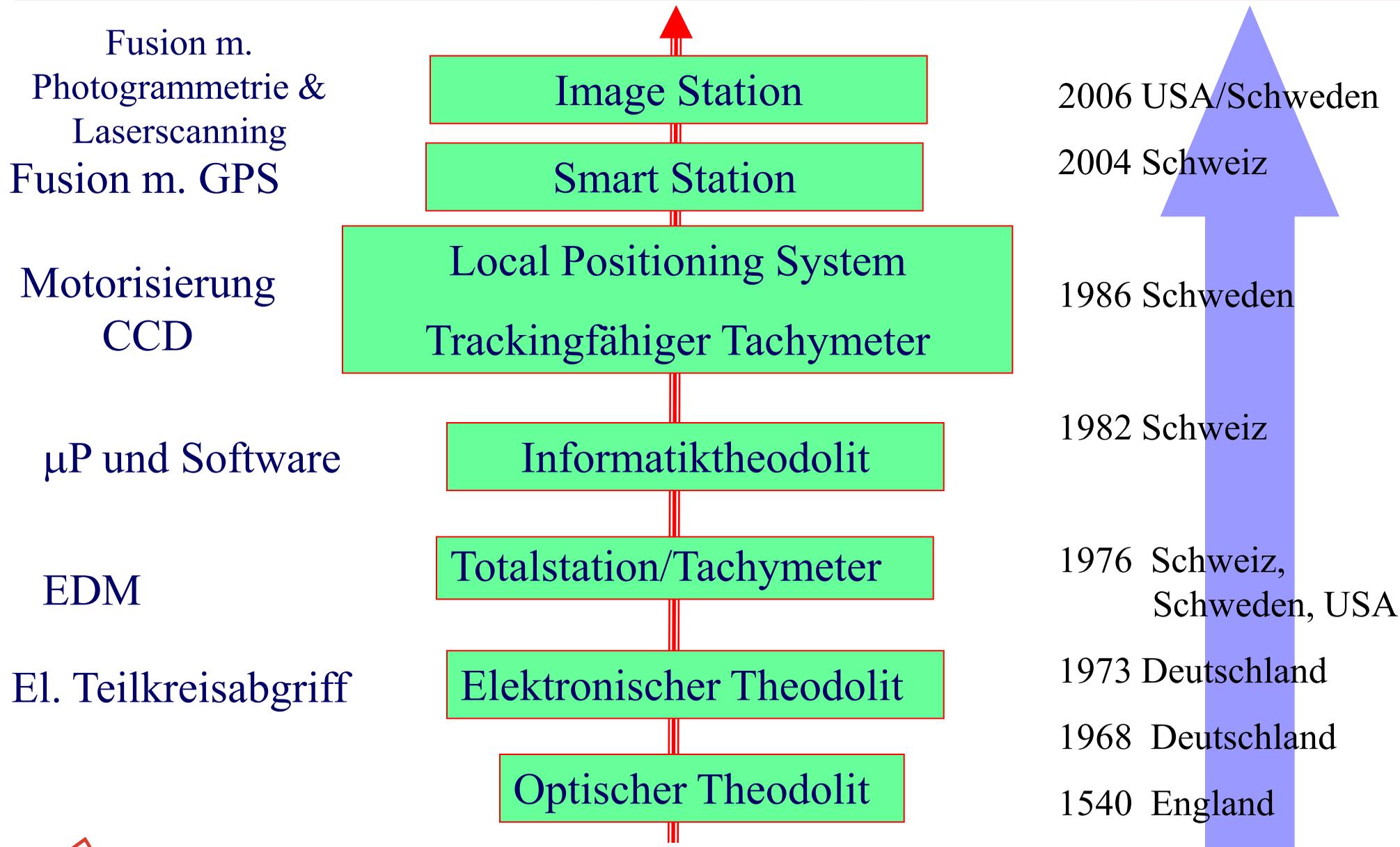
**Hz-Richtung,**

**Zenitwinkel**

**Distanz**

**Weiterhin zugänglich → Postprocessing**

- Tachymeter = Kombination von Theodolit (Richtungs- und Winkelmessung ) und Distanzmessung
- Tachymeter (gr.) Schnellmesser (Tacheometer engl.) Begriff ca. 1880 vermutlich in Italien erfunden
- Total Station (angloamerikanisch)
- Informatiktheodolit/Theomat/Tachymat
- Georobot (motorisierter selbstzielender Tachymeter für Monitoringaufgaben)
- Local Positioning System (LPS)
- TPS (Theodolite based Positioning System)
- One man System
- Imagestation Tachymeter mit CCD
- Lasertracker in der Industrielle Messtechnik

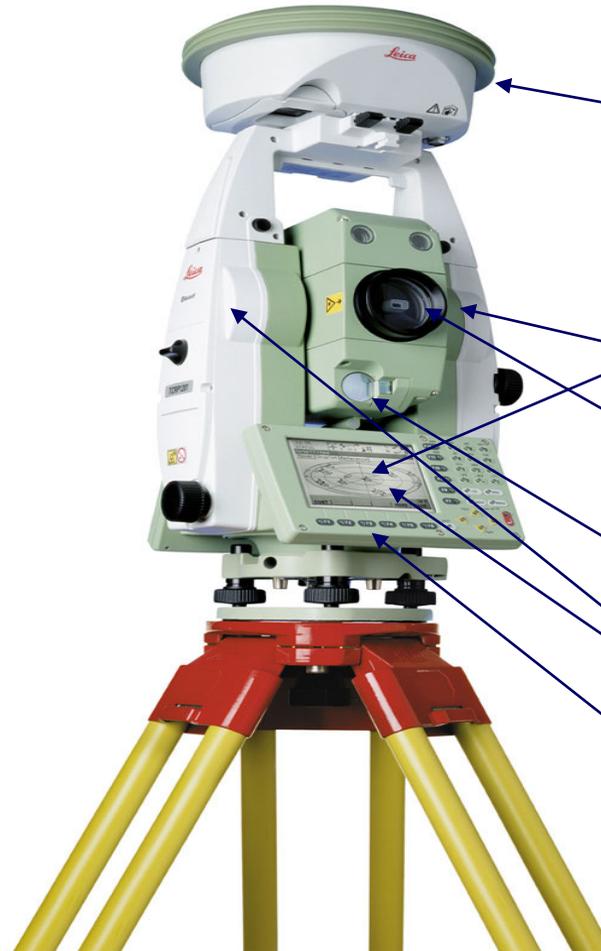


**Satellitengeodäsie**

**Photogrammetrie**

**Tachymetrie**

**Informatik**



GPS

Computer

EDM

CCD

Scanner

Encoder

Neigungssensoren

- Automatische Elektronische Anzielung und Trackingfähigkeit
- Biaxiale elektronische Neigungsmesser und Korrektur von Achsabweichungen
- Elektronische Distanzmesser z.T. auch berührungslos
- Scanfunktion
- Integrierte Bildsensoren
- Motorisiert
- Leistungsfähige Software und Datenbank
- Austauschbare Speichermedien (PCMCIA)
- Schnittstellen: Datenfunk/Bluetooth/Seriell (USB)
- Fernsteuerbar → „One man Systems“
- Kombination mit GNSS
- Genauer als GNSS @ 300 m
- Funktioniert fast überall

*Ein Mann Vermessung*

*3-D Koordinaten*

*Local Positioning System (LPS)*

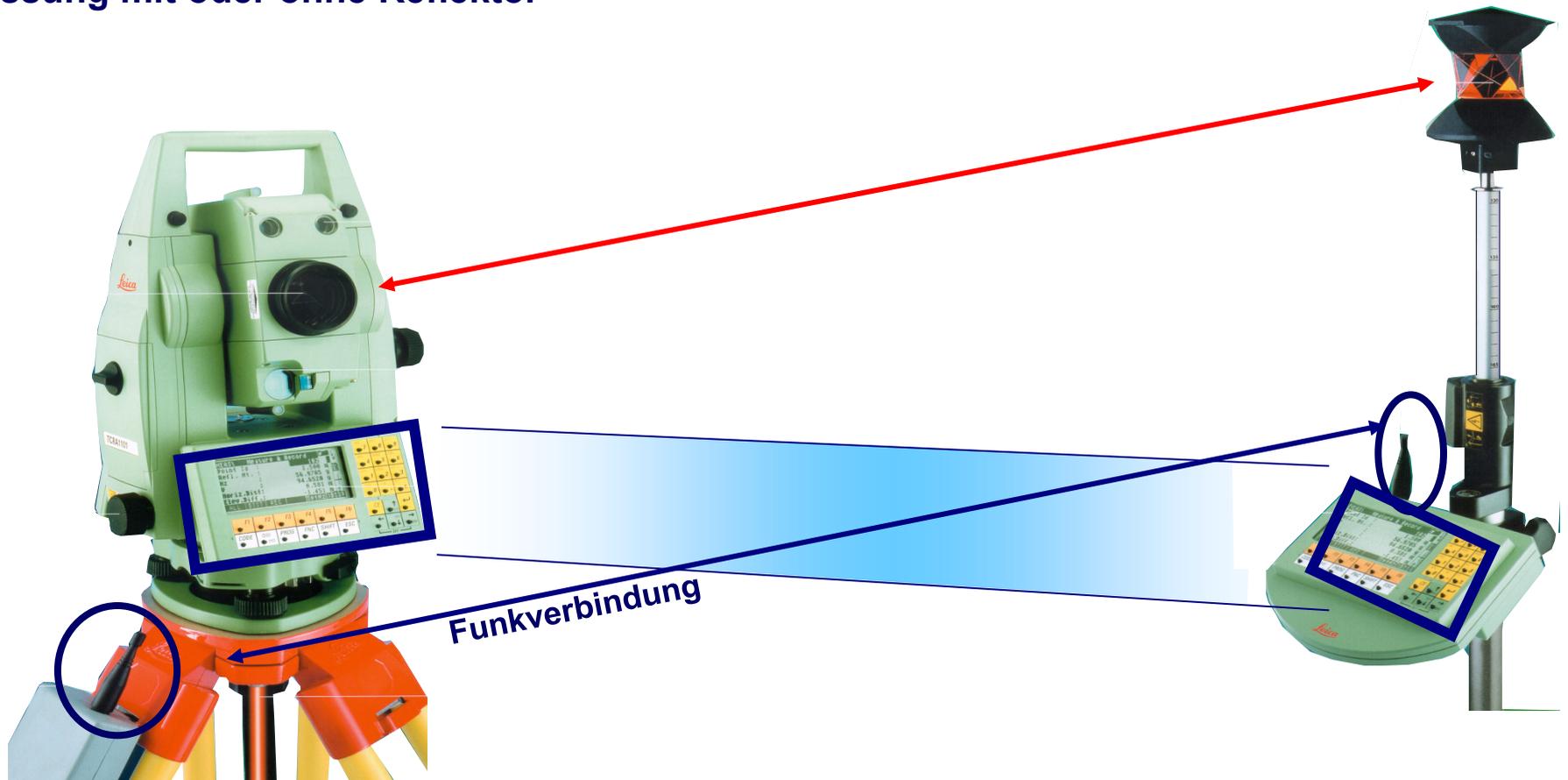
*Robotertheodolit für Monitoring*

*Automatische Anzielung*

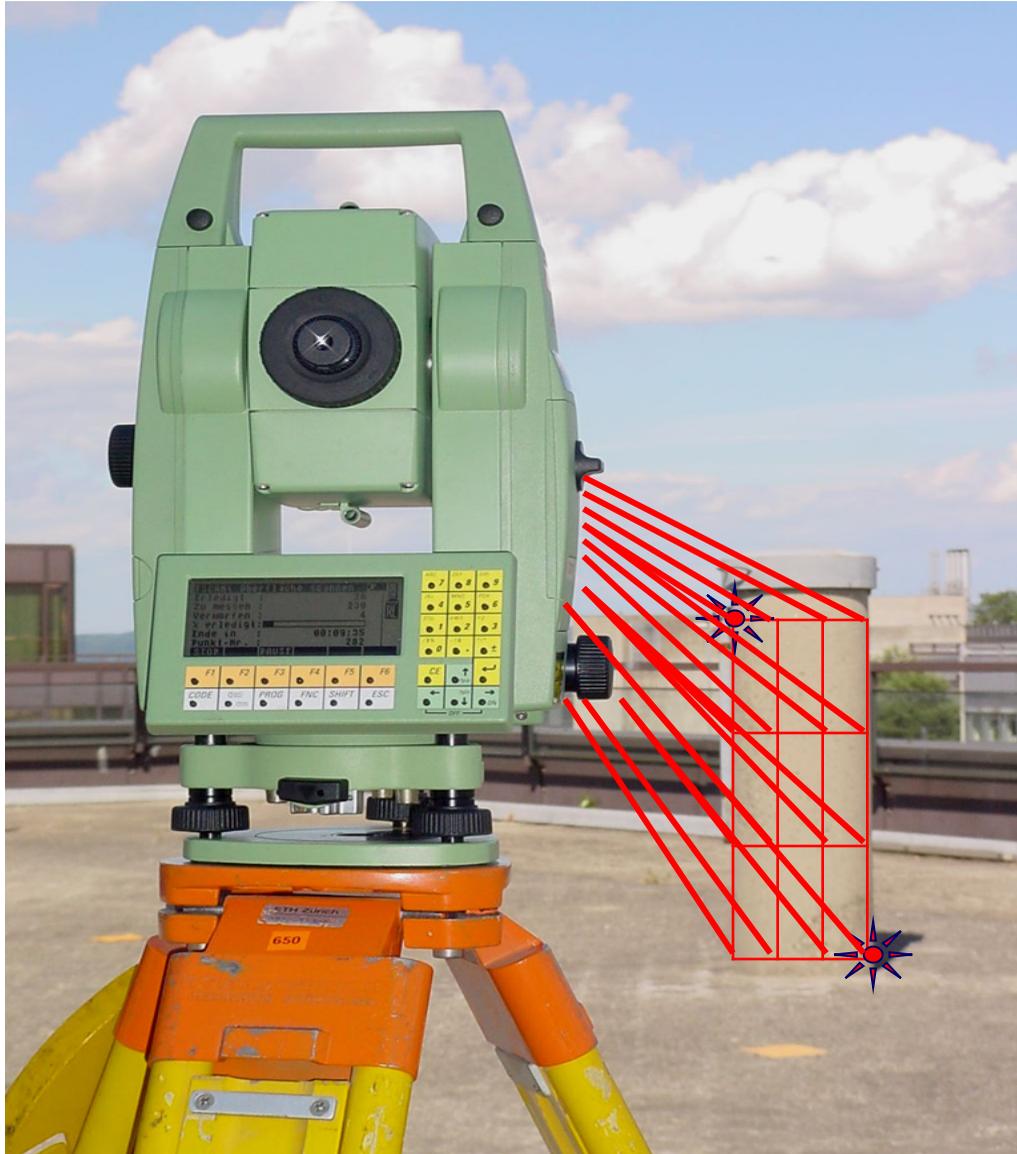




Automatische Zielerfassung und -verfolgung  
Instrumentensteuerung vom Zielpunkt aus  
Distanzmessung mit oder ohne Reflektor



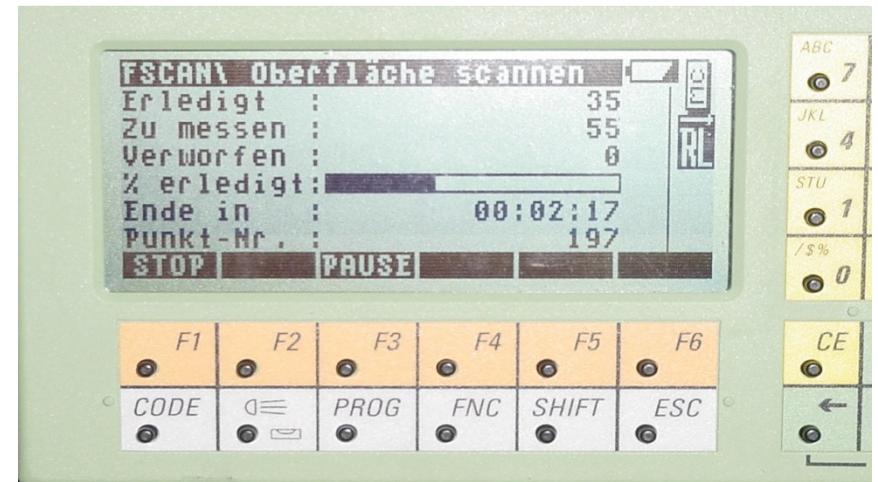




## Nötige Eingaben:

- 1. Eckpunkt anzielen ☞ ALL
- 2. Eckpunkt anzielen ☞ ALL
- Höhe und Breite des Rasters auf der Objektoberfläche vorgeben

## Scanvorgang



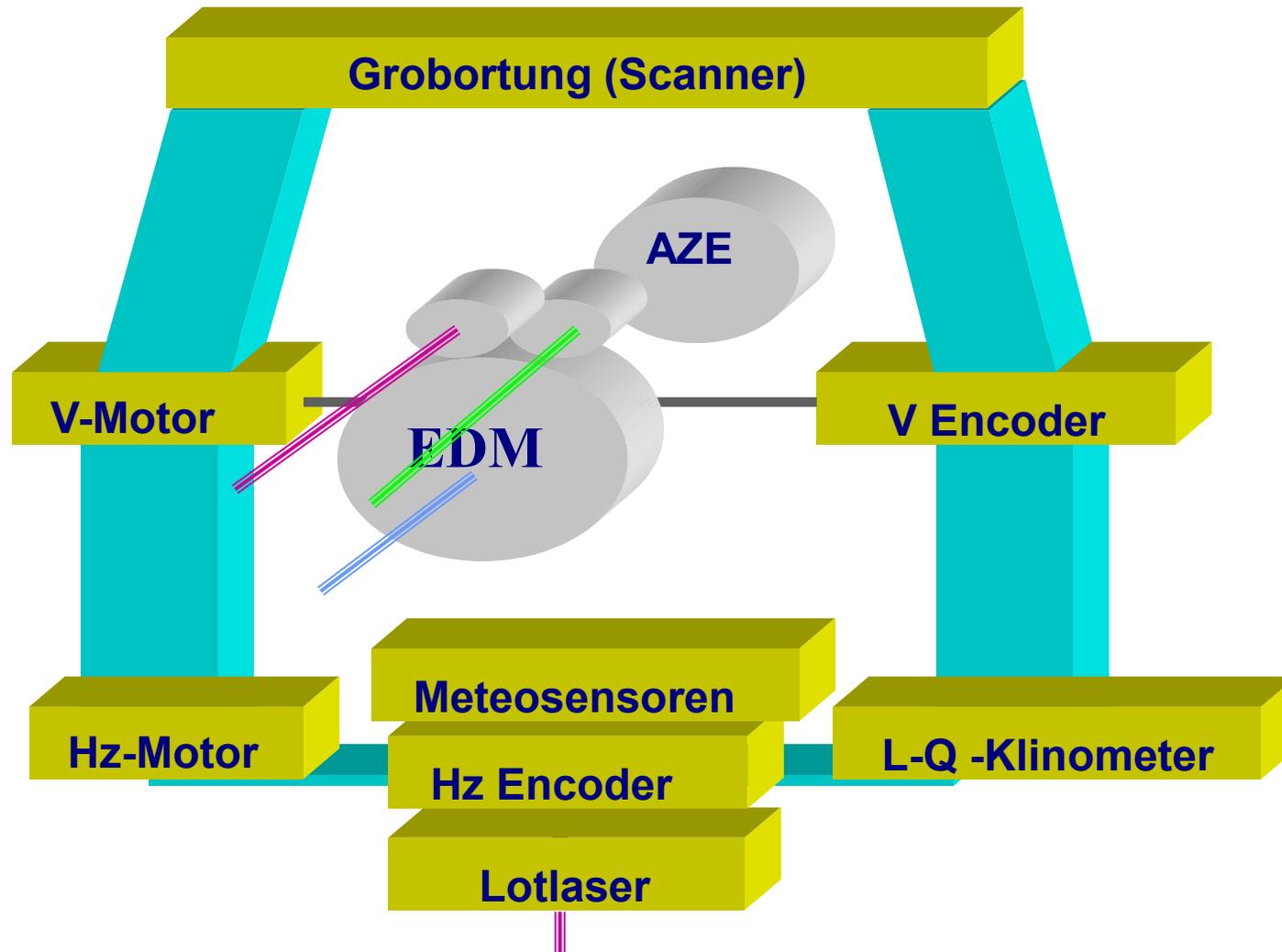


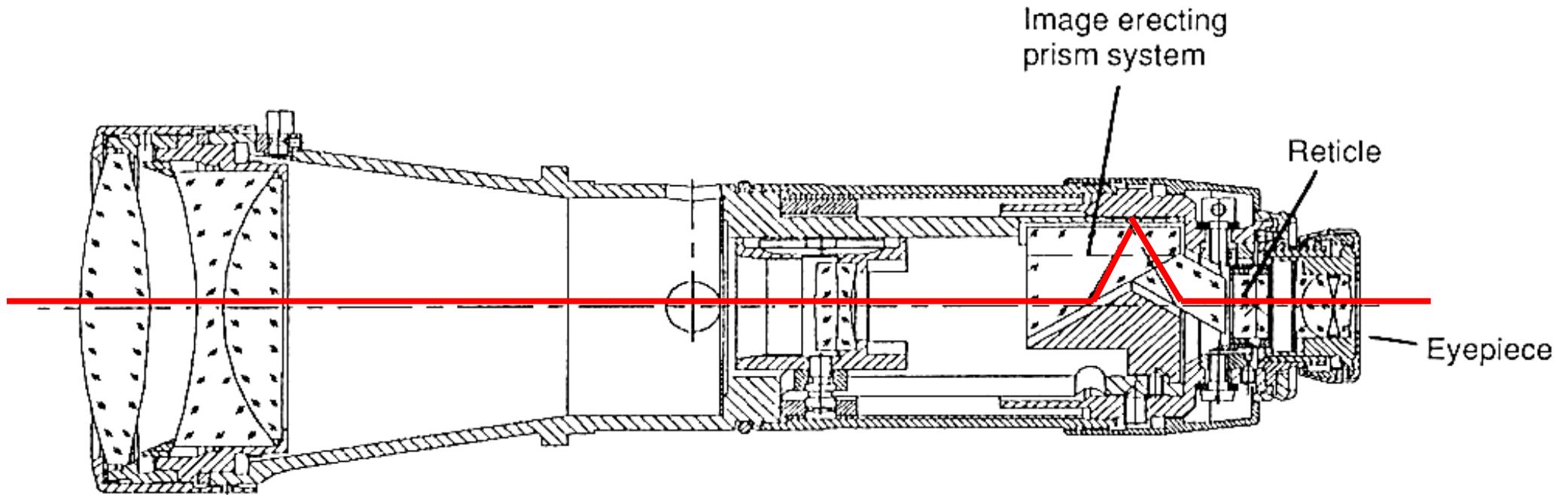
**Leica**



**Faro**

## *Fernrohroptik bei Tachymetern*

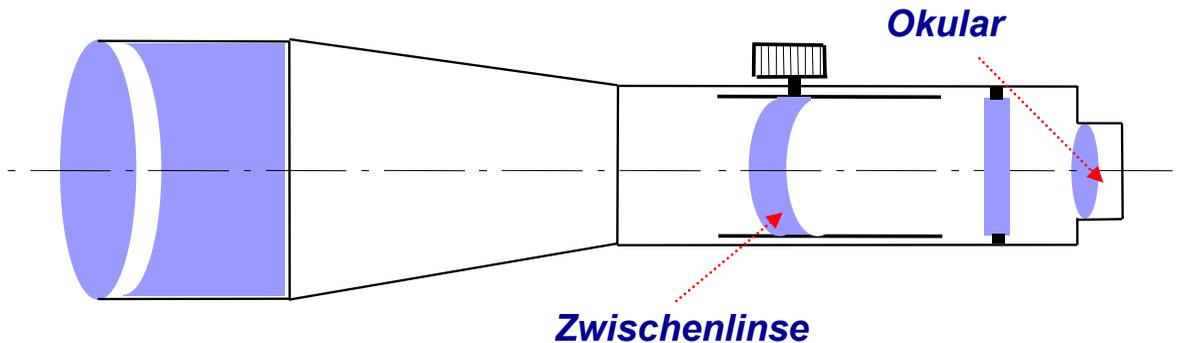




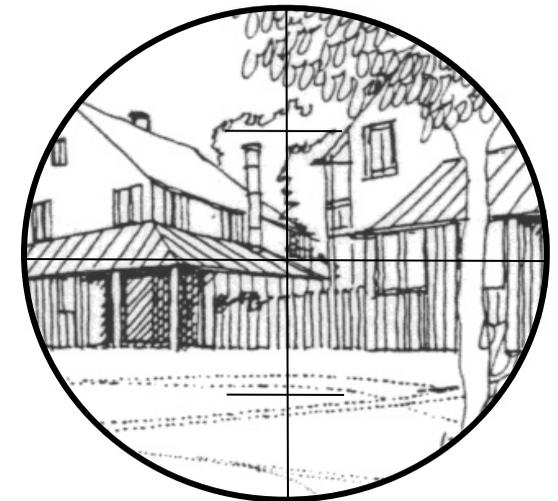
Erected image    Anallactic ( $f = 227.5$ )    Magnification 30x

Vor der ersten Anzielung stellt der Beobachter die Okularoptik auf sein Auge ein. Bei jedem Einzielen wird außerdem das Bild des Zielpunktes scharf eingestellt.

**Fernrohr**



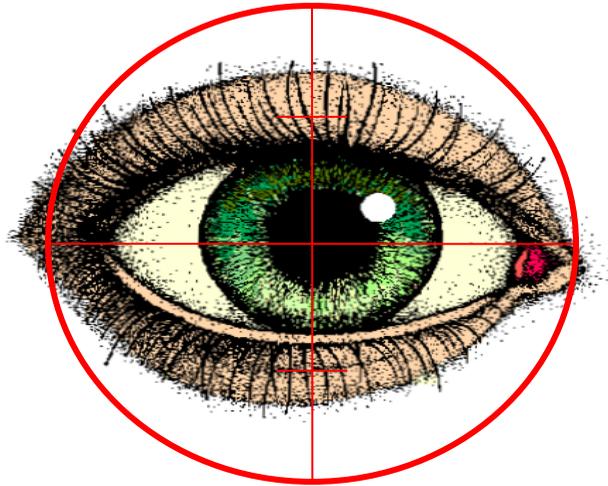
**Fernrohrsehfeld**



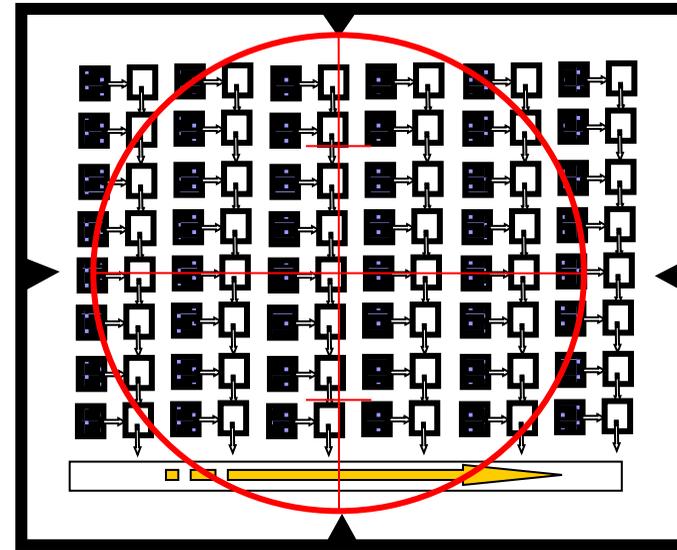
1. Okular so lange verschieben, bis das Strichkreuz scharf gesehen wird.

2. Zwischenlinse so lange verschieben, bis der Gegenstand scharf gesehen wird.

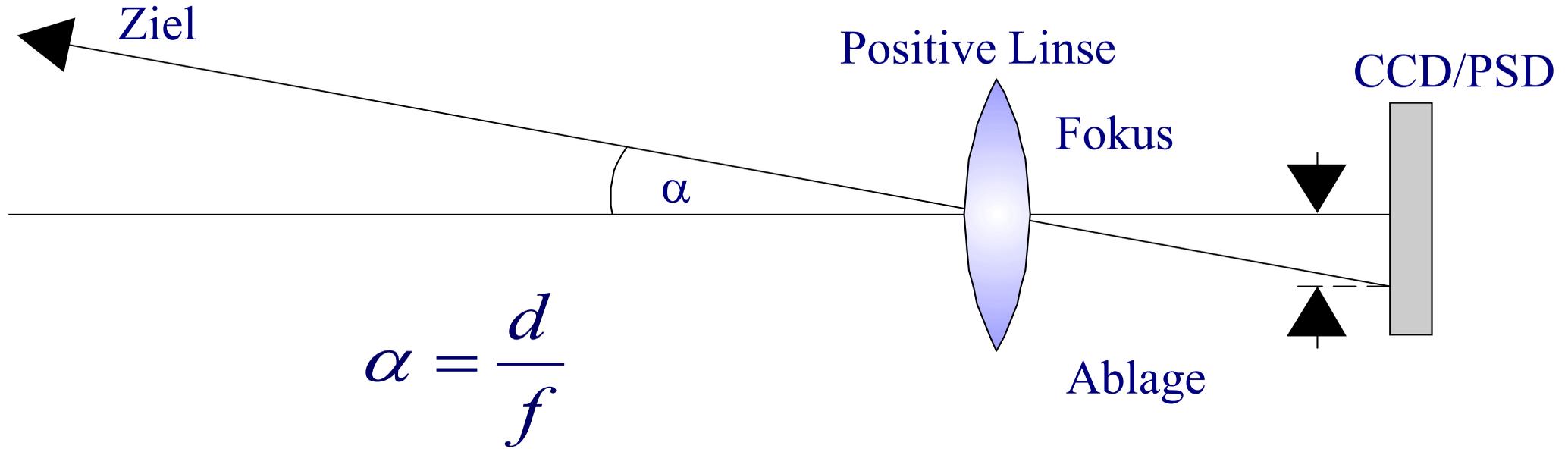
Aus Resnik/Bill



*Auge*



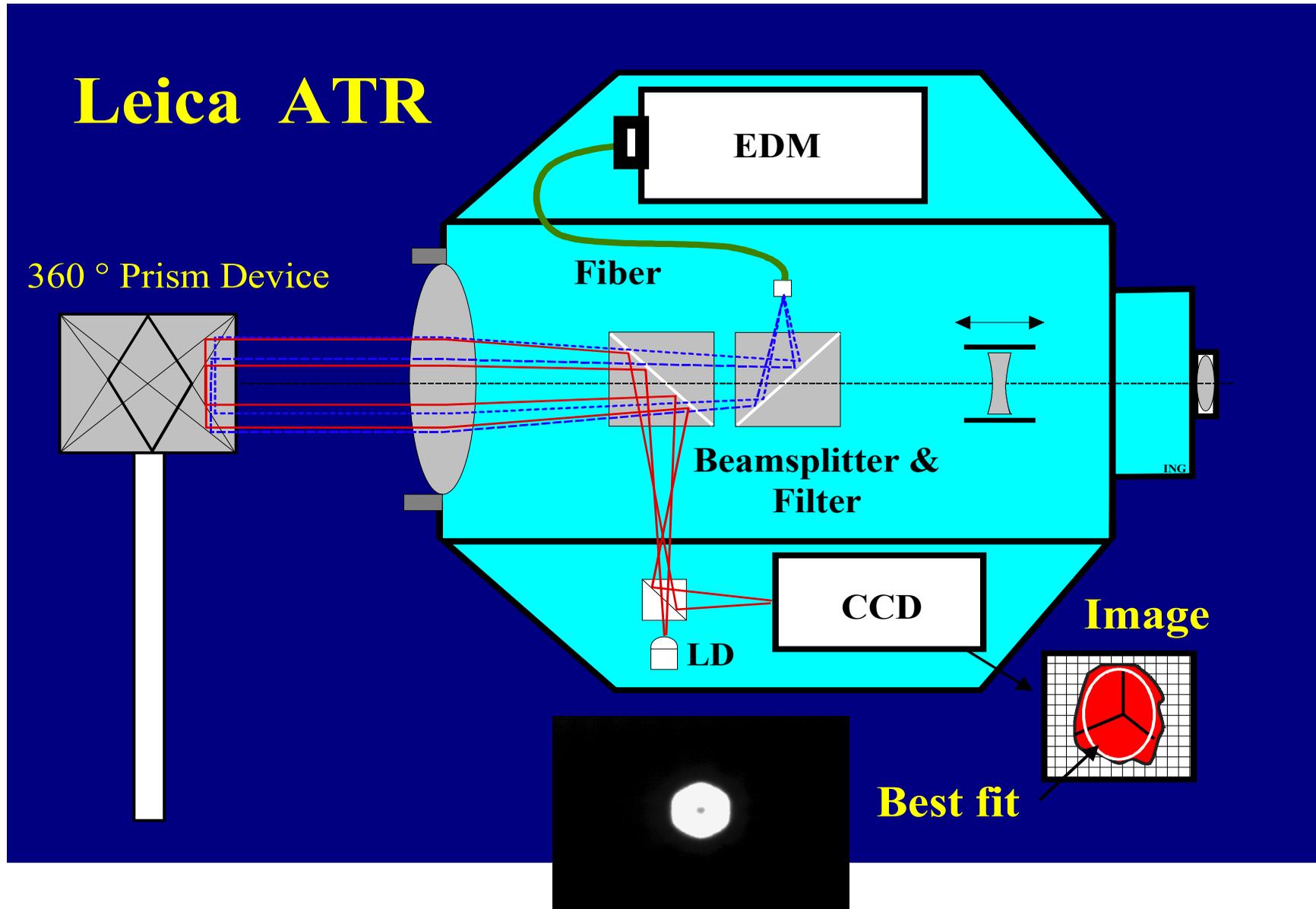
*CCD*



$\alpha$  : Winkel

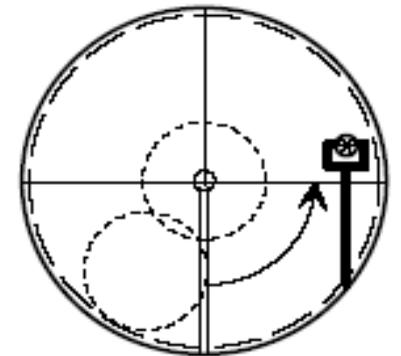
$f$  : Brennweite

$d$  : Ablage auf PSD/CCD



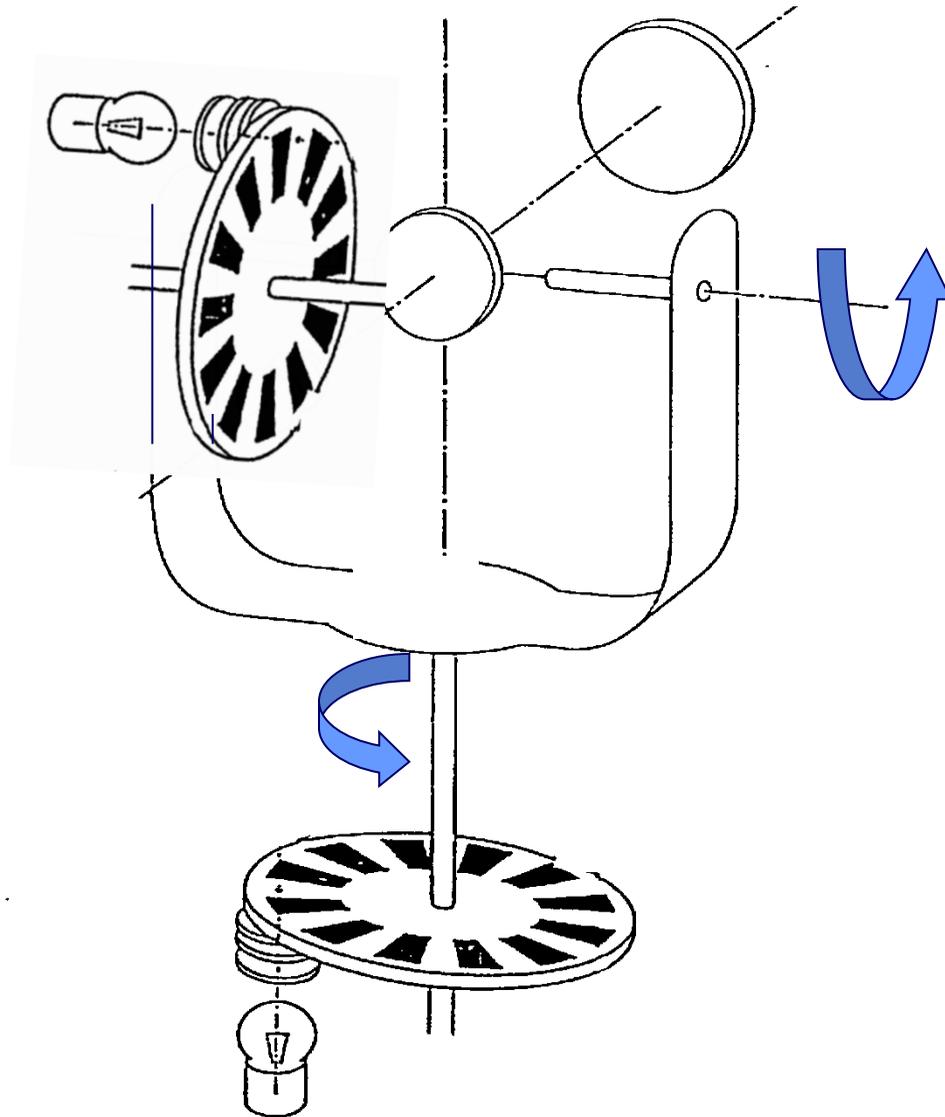
## Messablauf:

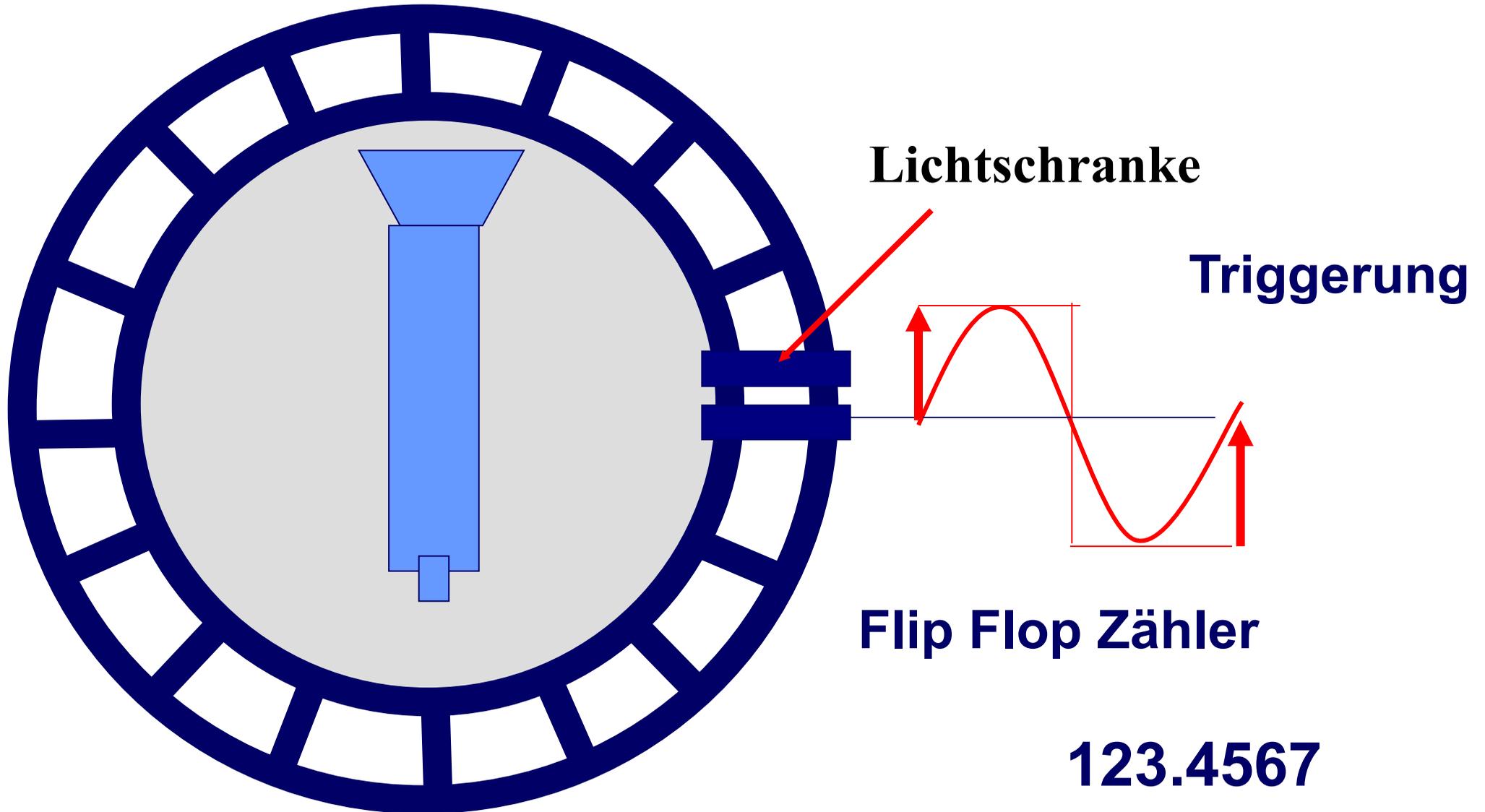
- Mit Hilfe des Diopters wird der Reflektor ungefähr angezielt.
- Danach startet man das Messprogramm (z.B. ALL).
- Das Instrument testet, ob der Reflektor im Messbereich der ATR liegt.
- Wenn nicht, wird der Bereich des Sehfeldes des Theodolitfernrohrs abgesucht.
- Dann wird der Reflektor automatisch angezielt.
- Die Distanz und die Richtungen/Winkel werden gemessen, die Ablagekorrekturen angebracht

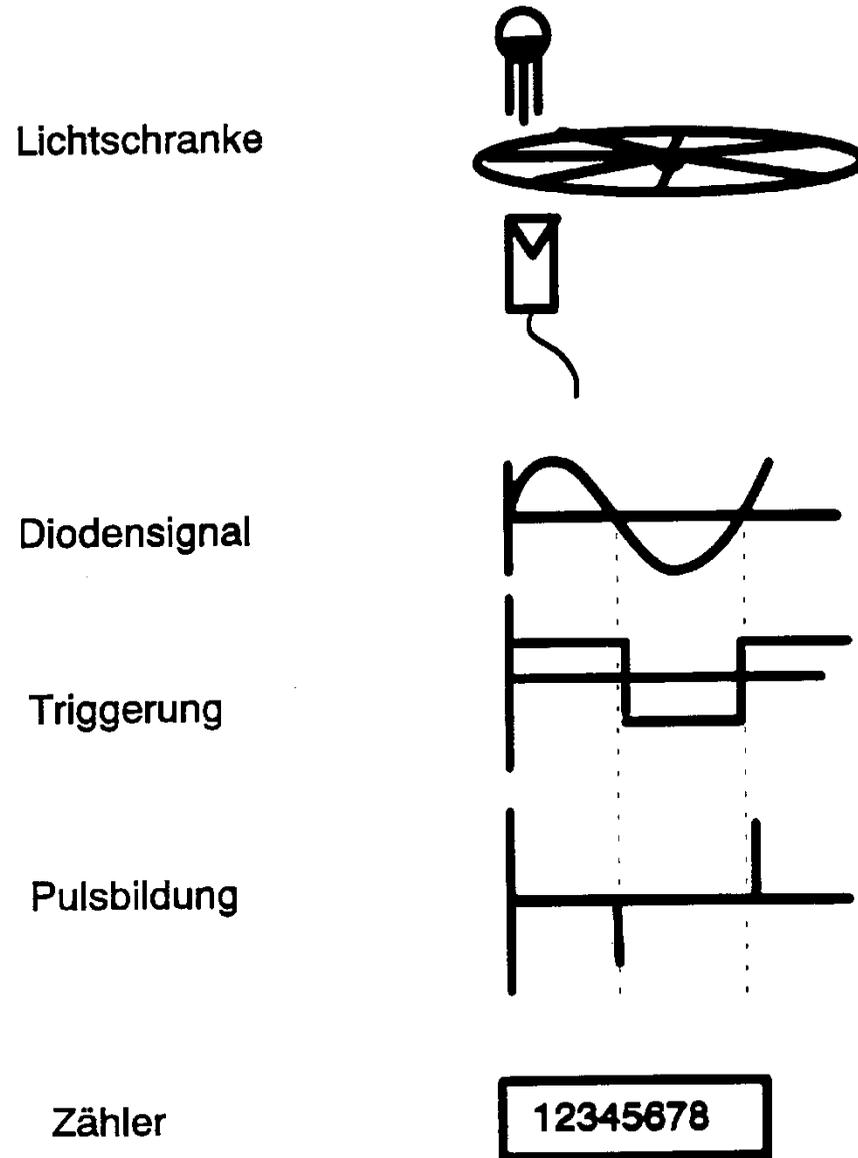


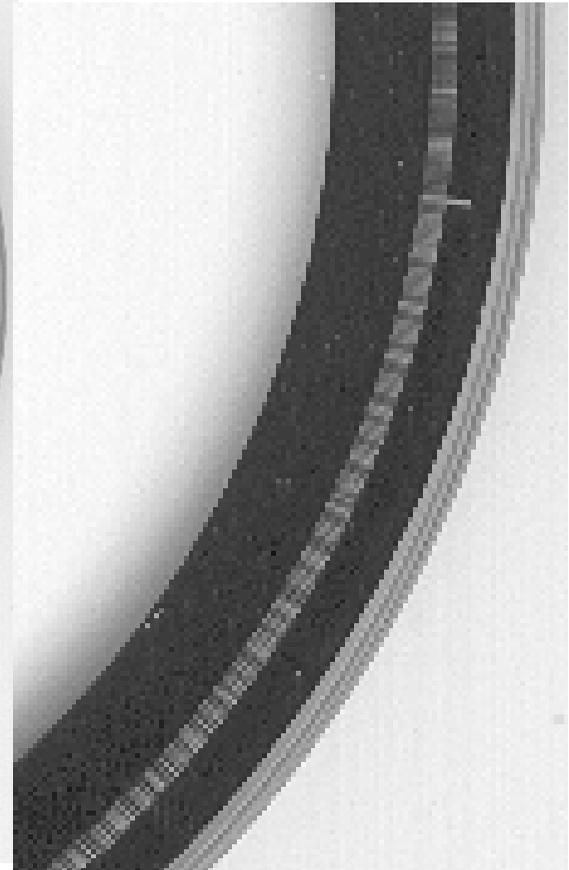
Zeiske1999

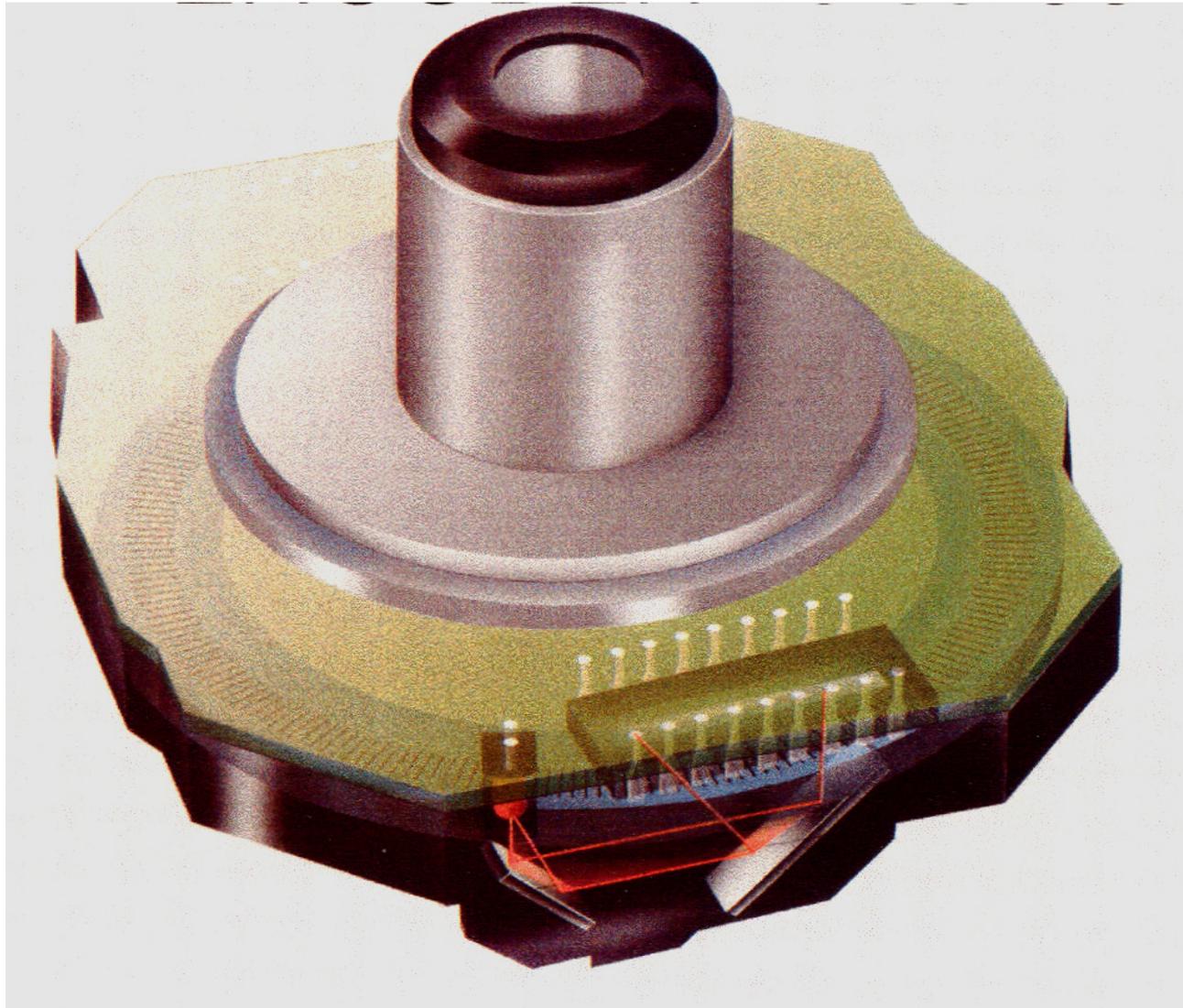
# *Teilkreisabgriffe (Encoder)*





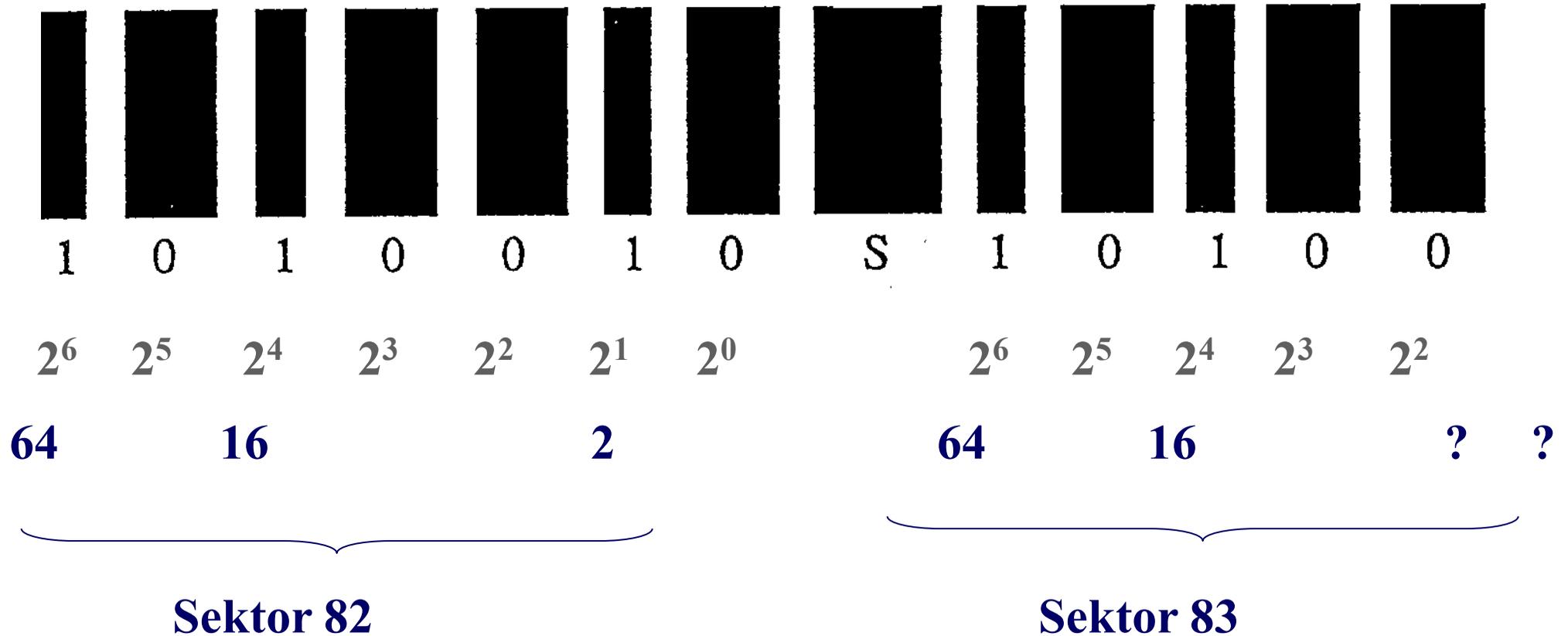


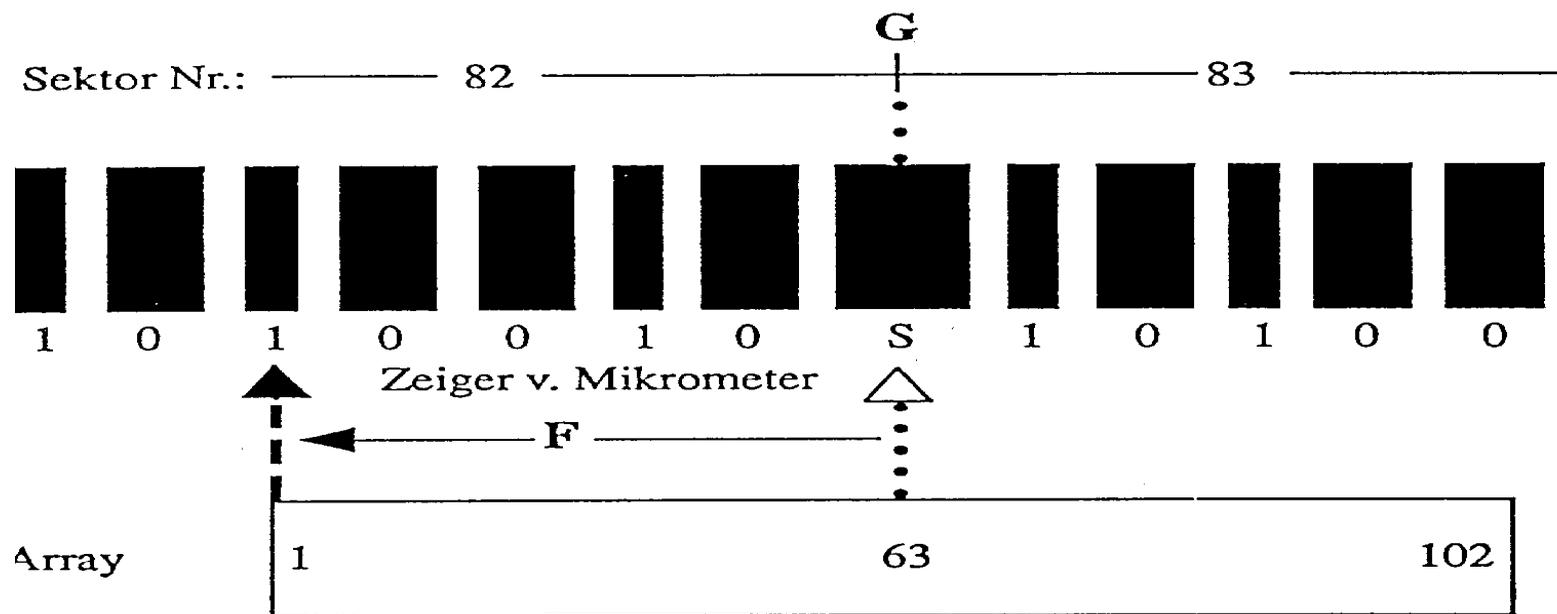




Sektorstrich Nr. 83 von 128 Sektoren

1 Sektor = 3,125 gon





$R = \text{Grobmessung} - \text{Feinmessung}$

Grobmessung =  $G \cdot 400/128$

Feinmessung =  $F / 102$

1 Sektor (von total 128)  $\hat{=} 3.125 \text{ gon}$

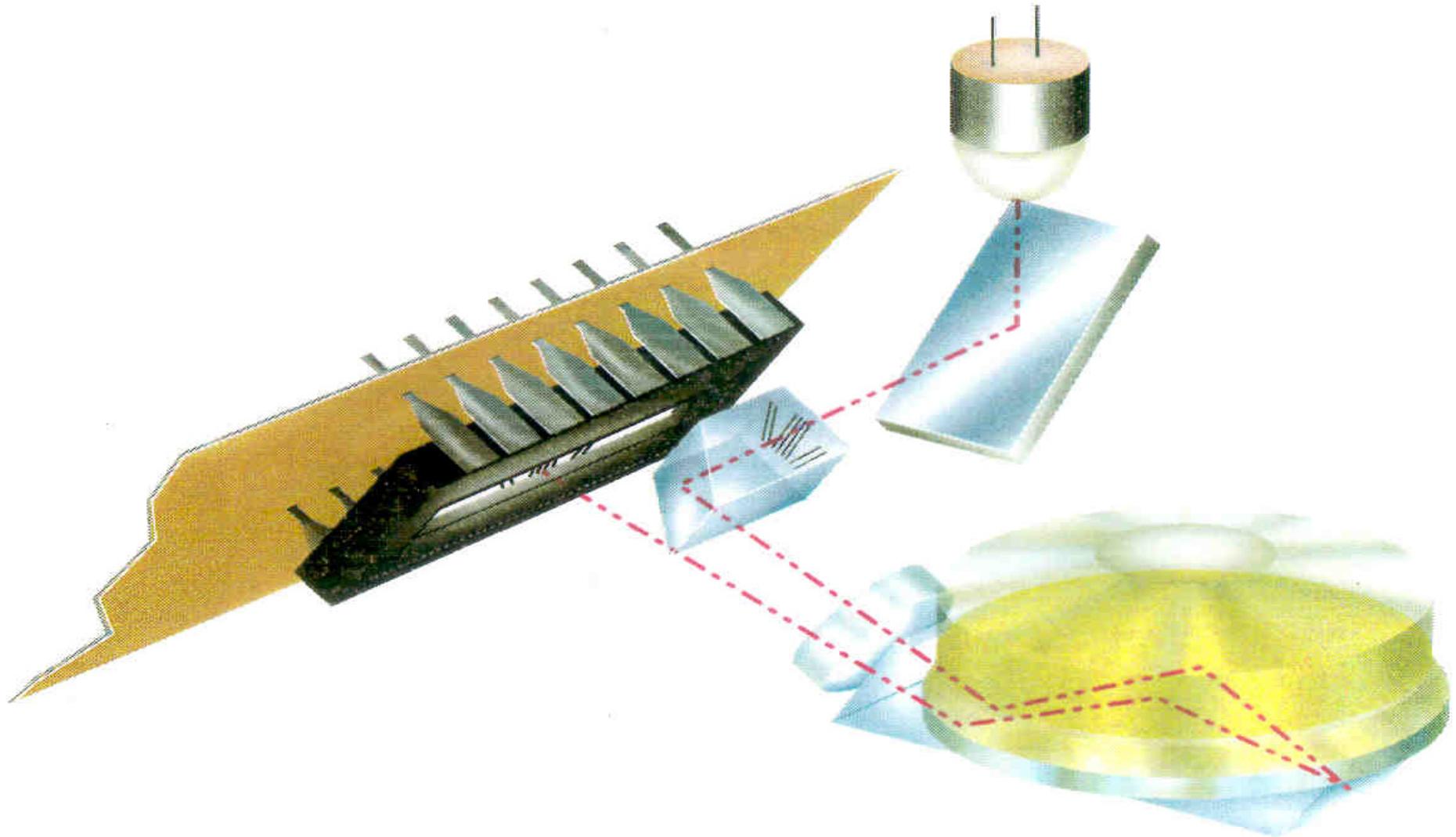
Beispiel:  $G = 83$

$F = 63$

$R = (G - F) \cdot 400/128 = 82.383 (400/128) =$

259 3750  
1 9301  
257 4449

## *Biachsiale Neigungssensoren*

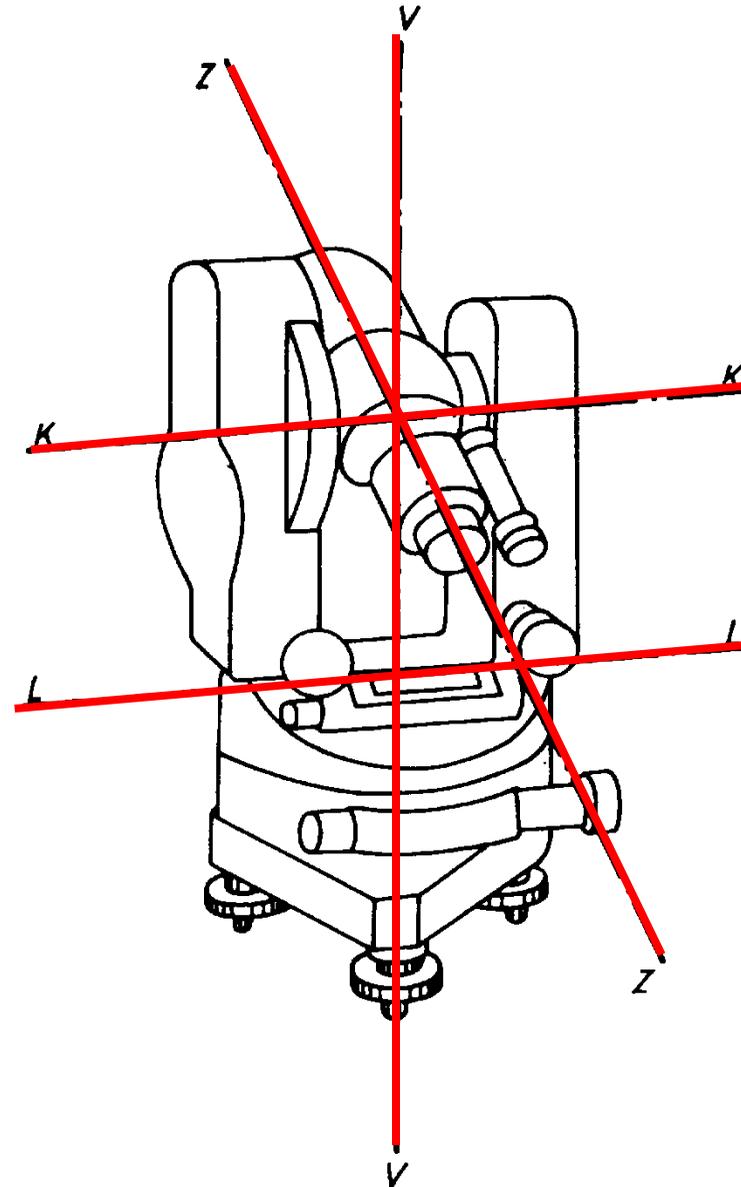


## *Achsbedingungen*

- Abweichungen von den Achsbedingungen*
- Auswirkungen auf die Horizontalrichtungsmessung*

*Andere Abweichungen: Fernrohrexzentrizität, Fokusablauf*

1. Zielachse  $\perp$  Kippachse
2. Kippachse  $\perp$  Stehachse
3. Libellenachse  $\perp$  Stehachse



➤ Zielachse orthogonal Kippachse

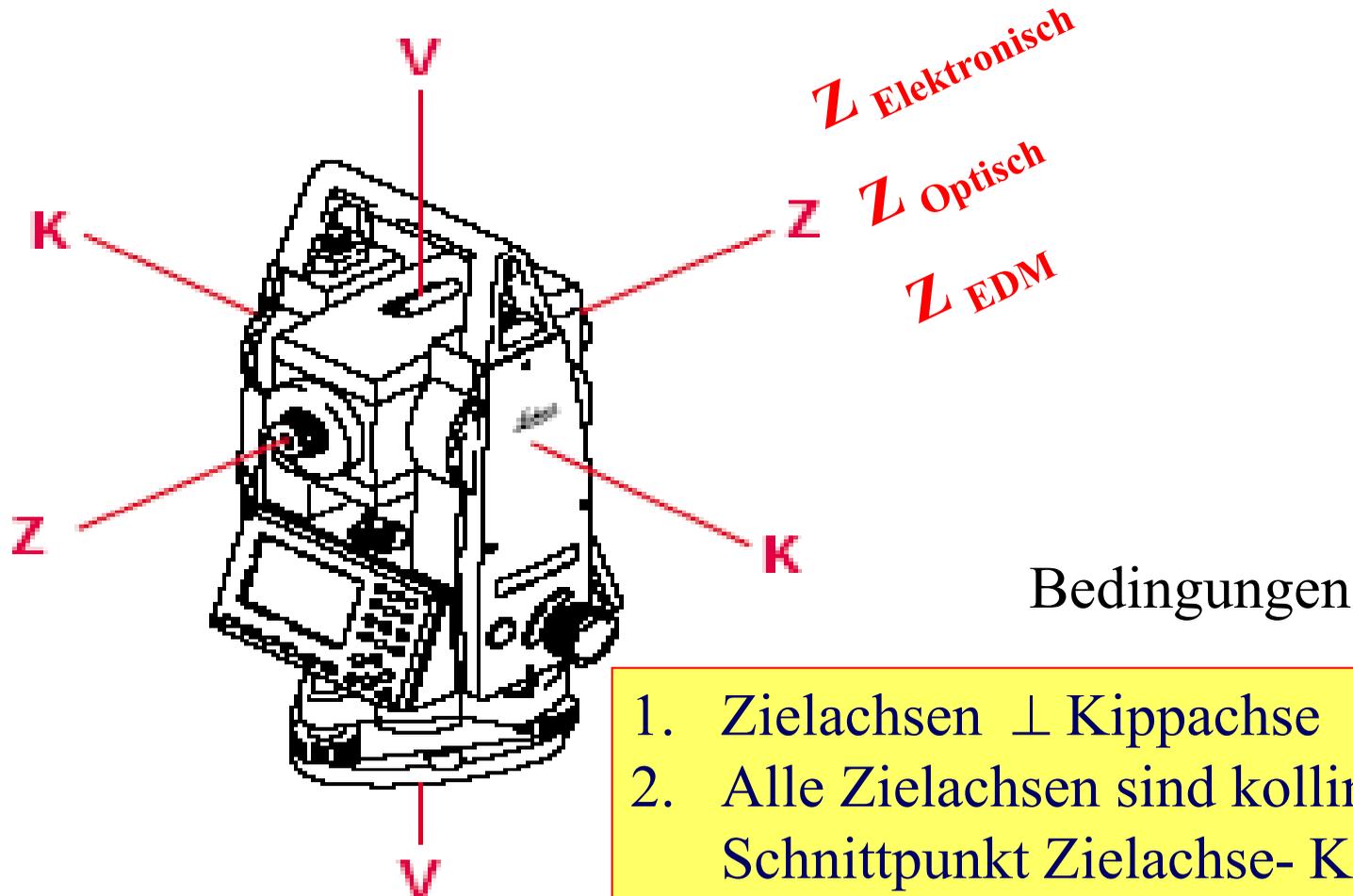
→ **Zielachsabweichung**

➤ Kippachse orthogonal Stehachse

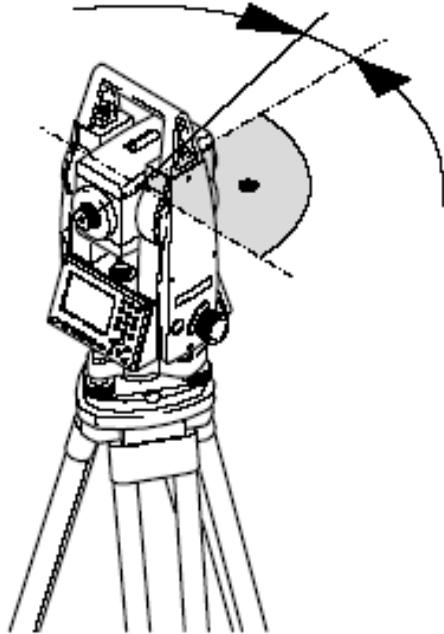
→ **Kippachsabweichung**

➤ Kipp-, Ziel- und Stehachse müssen sich in einem Punkt schneiden

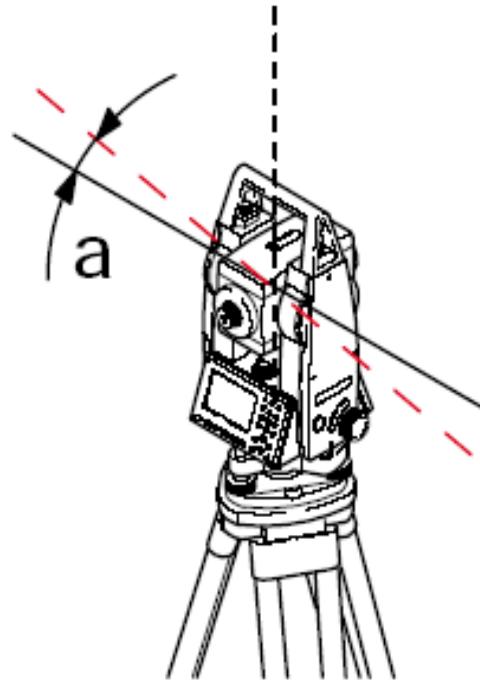
→ **Exzentrizitäten**



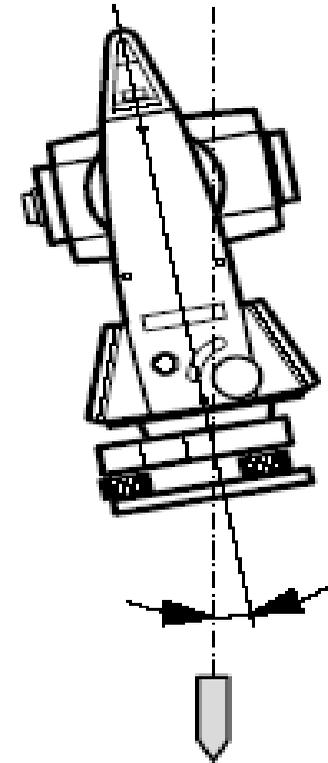
1. Zielachsen  $\perp$  Kippachse
2. Alle Zielachsen sind kollinear und gehen durch Schnittpunkt Zielachse- Kippachse
3. Kippachse  $\perp$  Stehachse
4. Biax. Neigungssensor  $\perp$  Stehachse



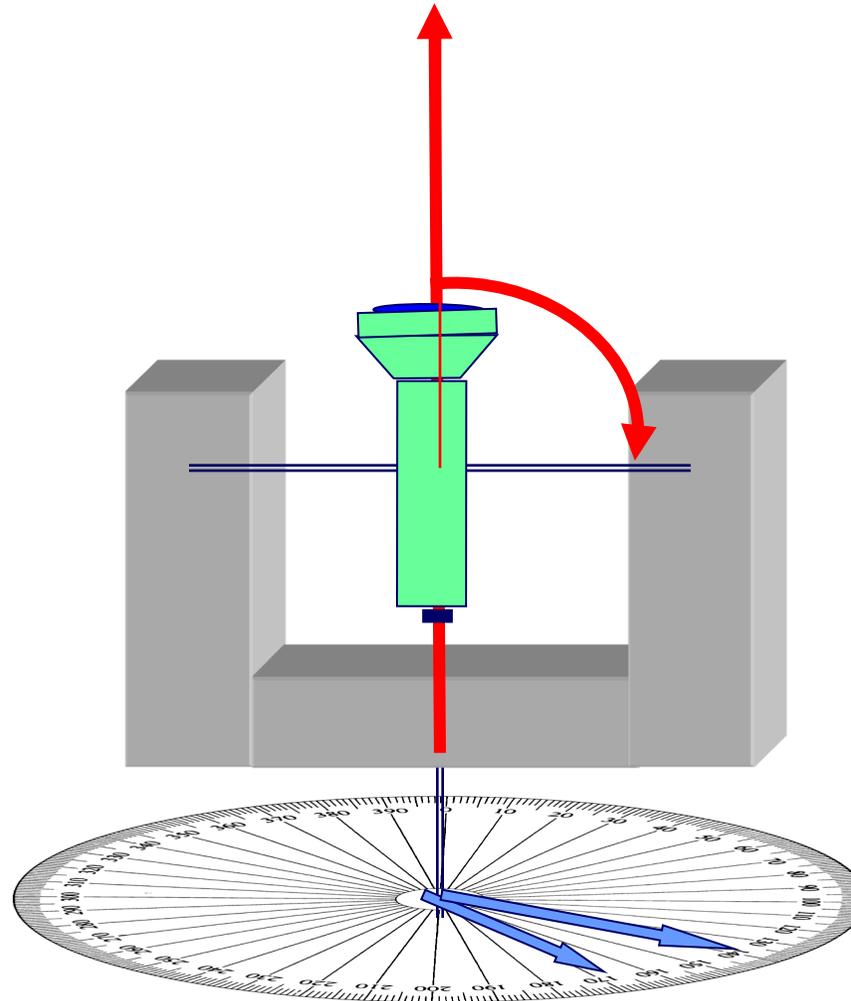
Zielachsabweichung



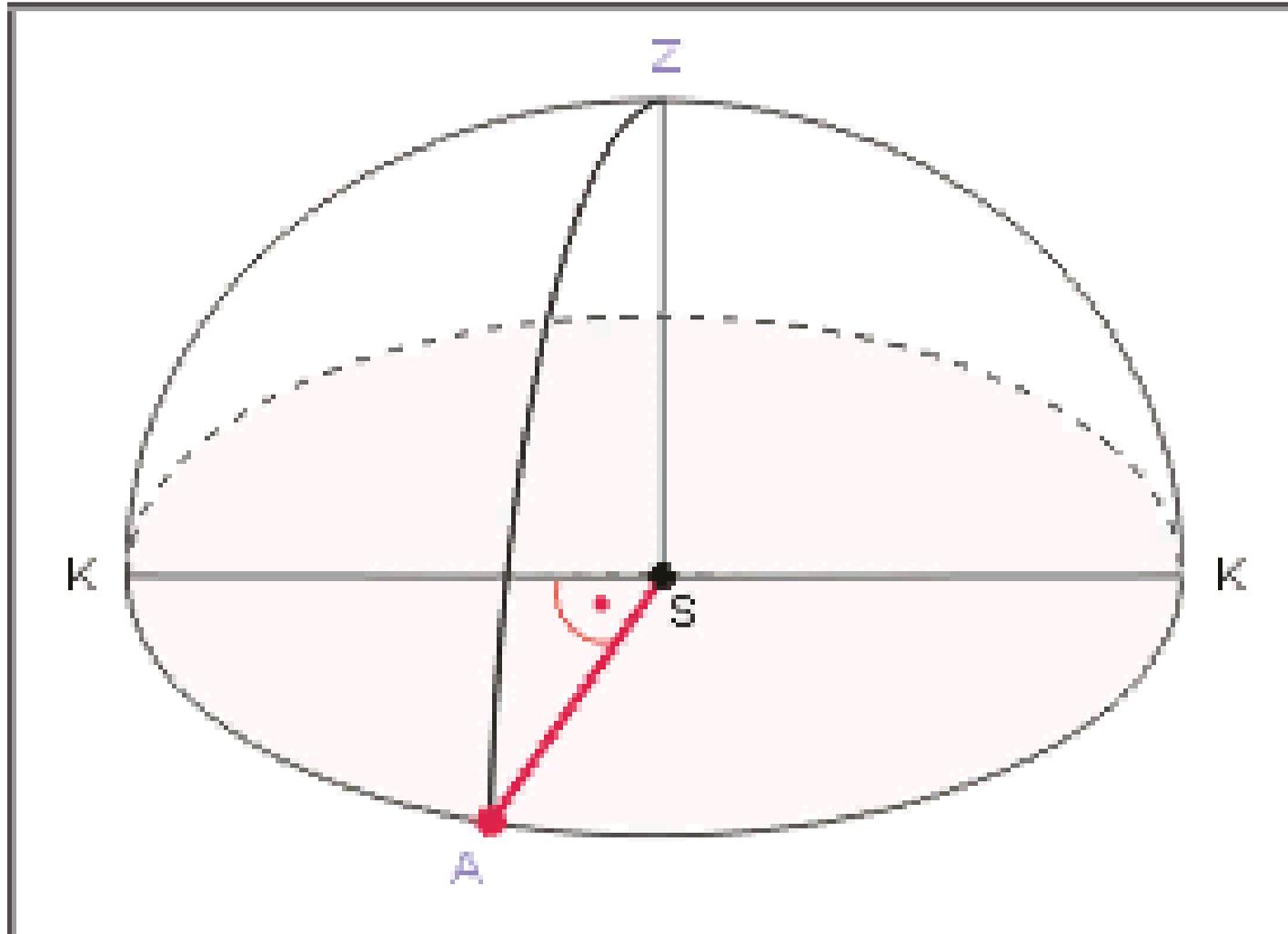
Kippachsschiefe



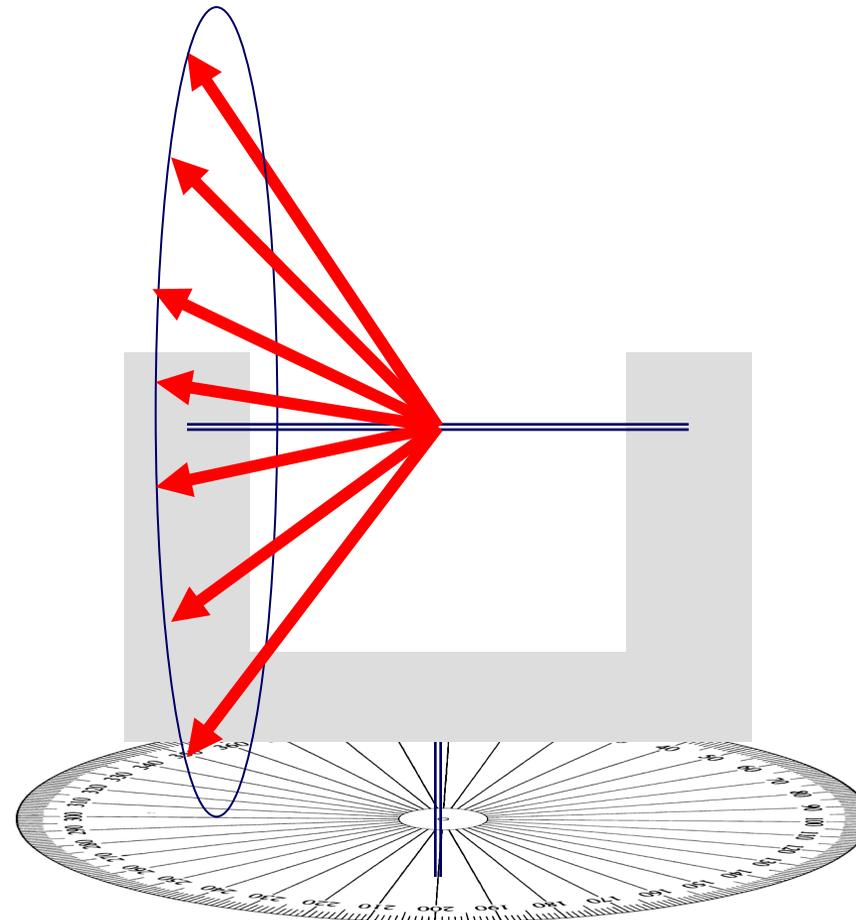
Stehachsschiefe

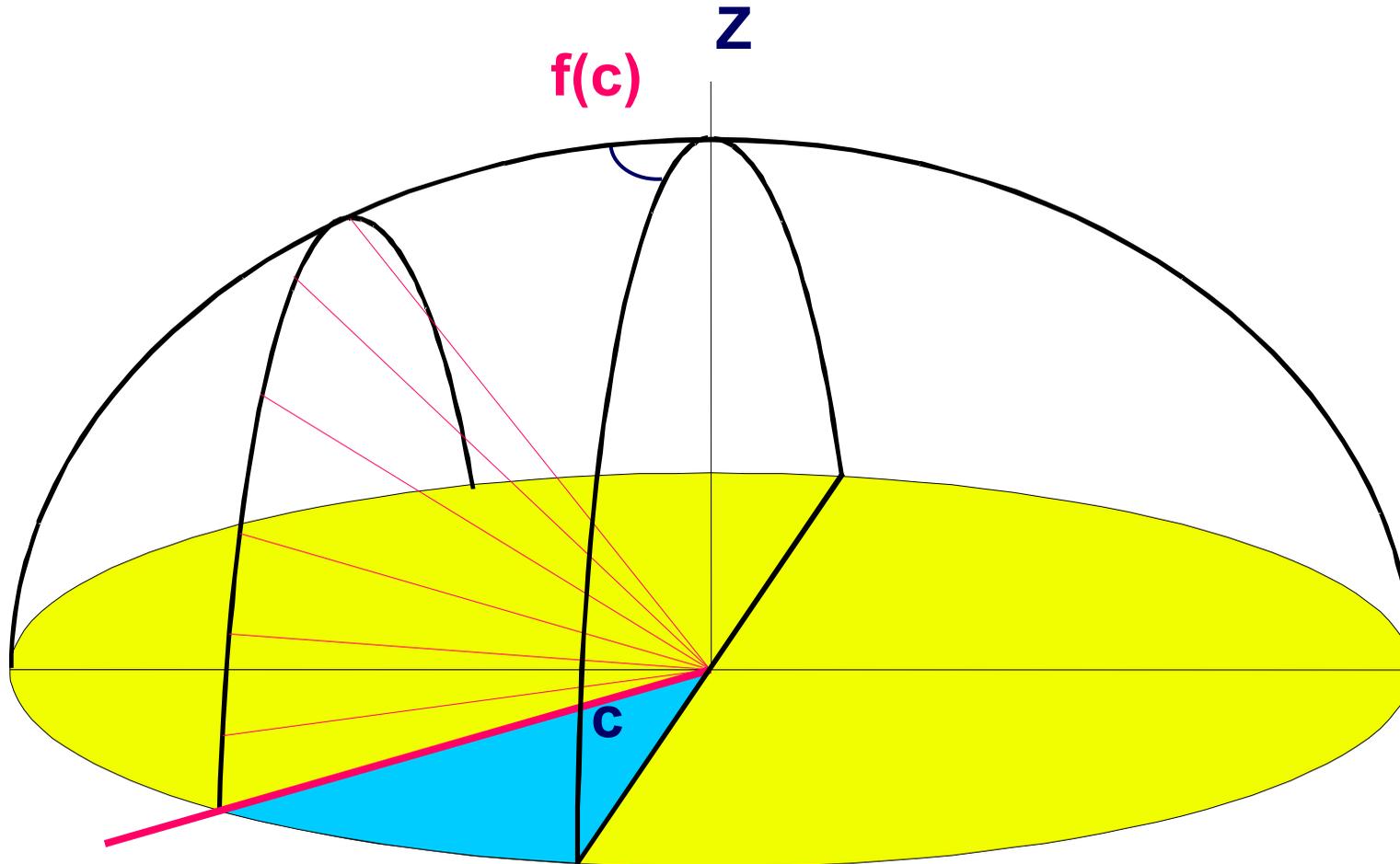


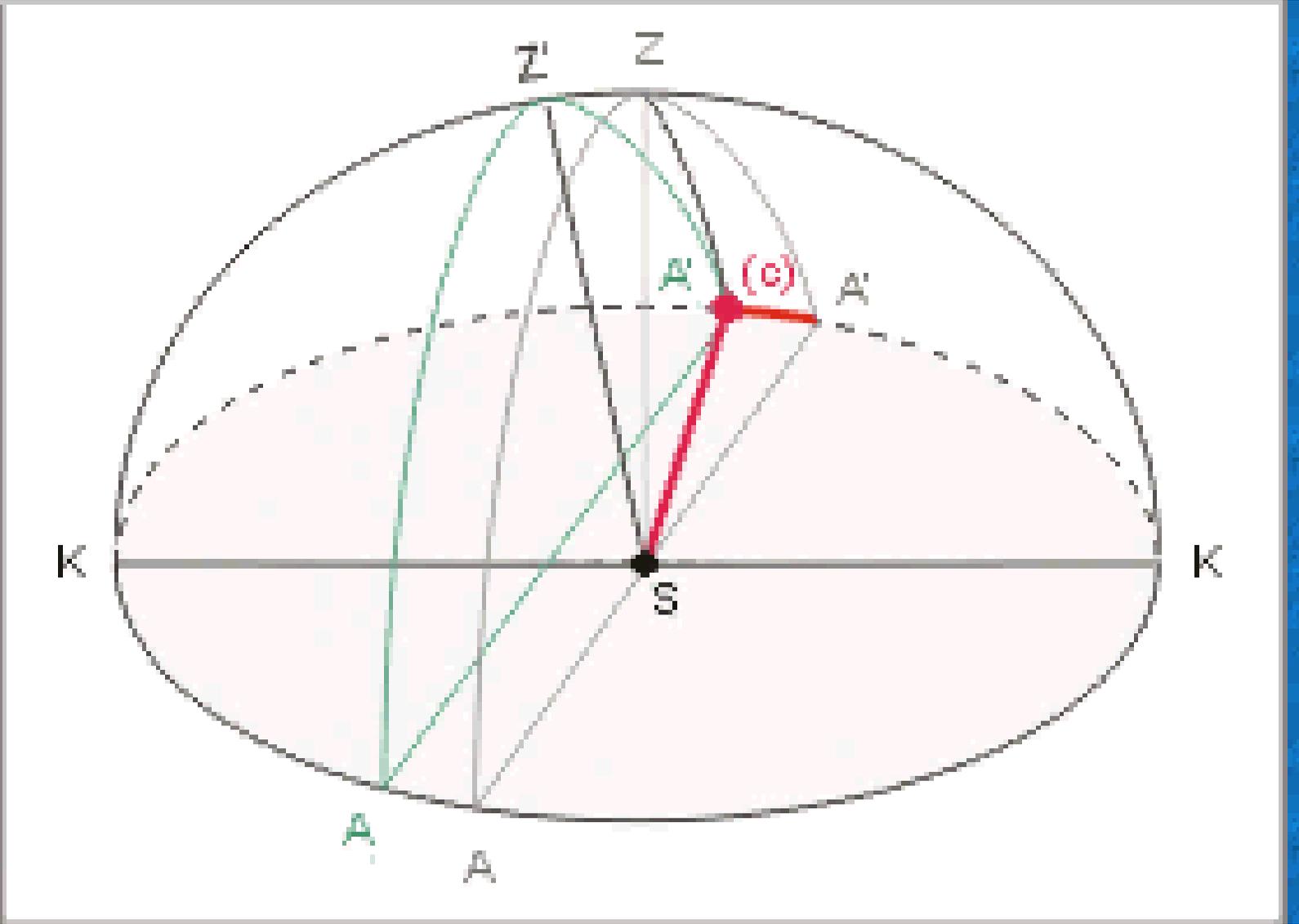
Einfluss der Zielachsabweichung auf die  
Horizontalrichtungsmessung

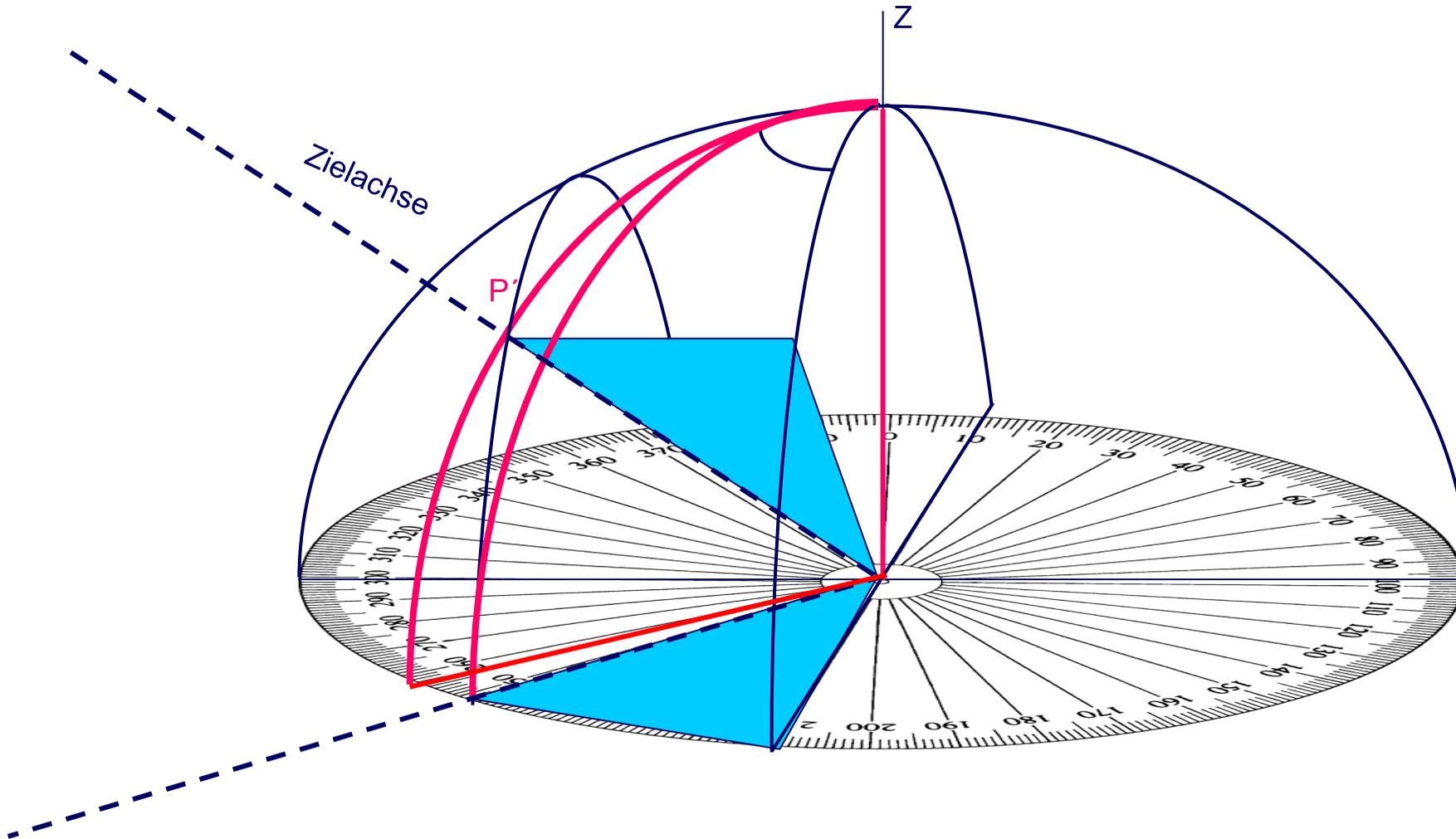


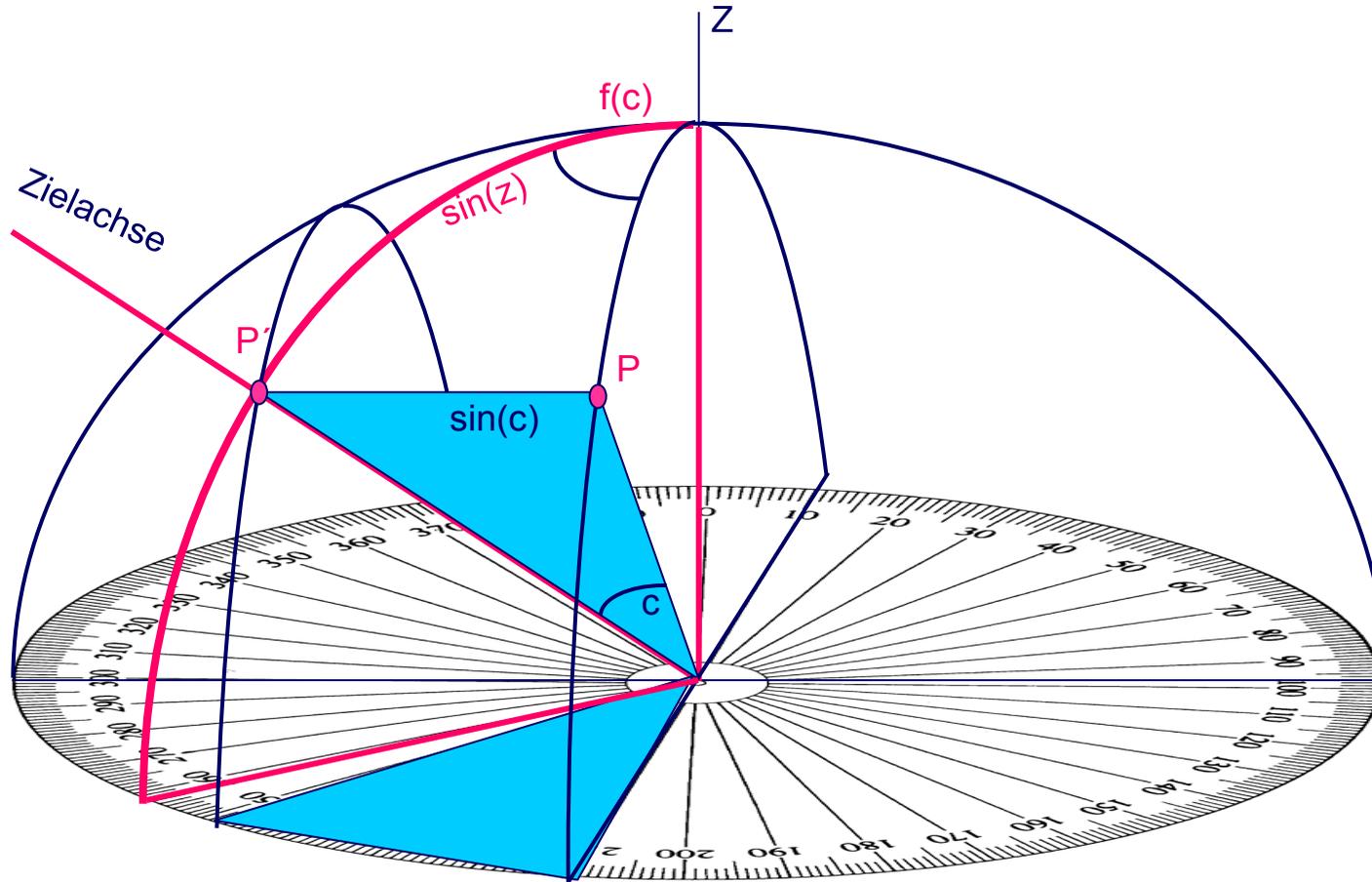
Die von der idealen Zielachse abweichenden Richtungen liegen auf einem Kegelmantel





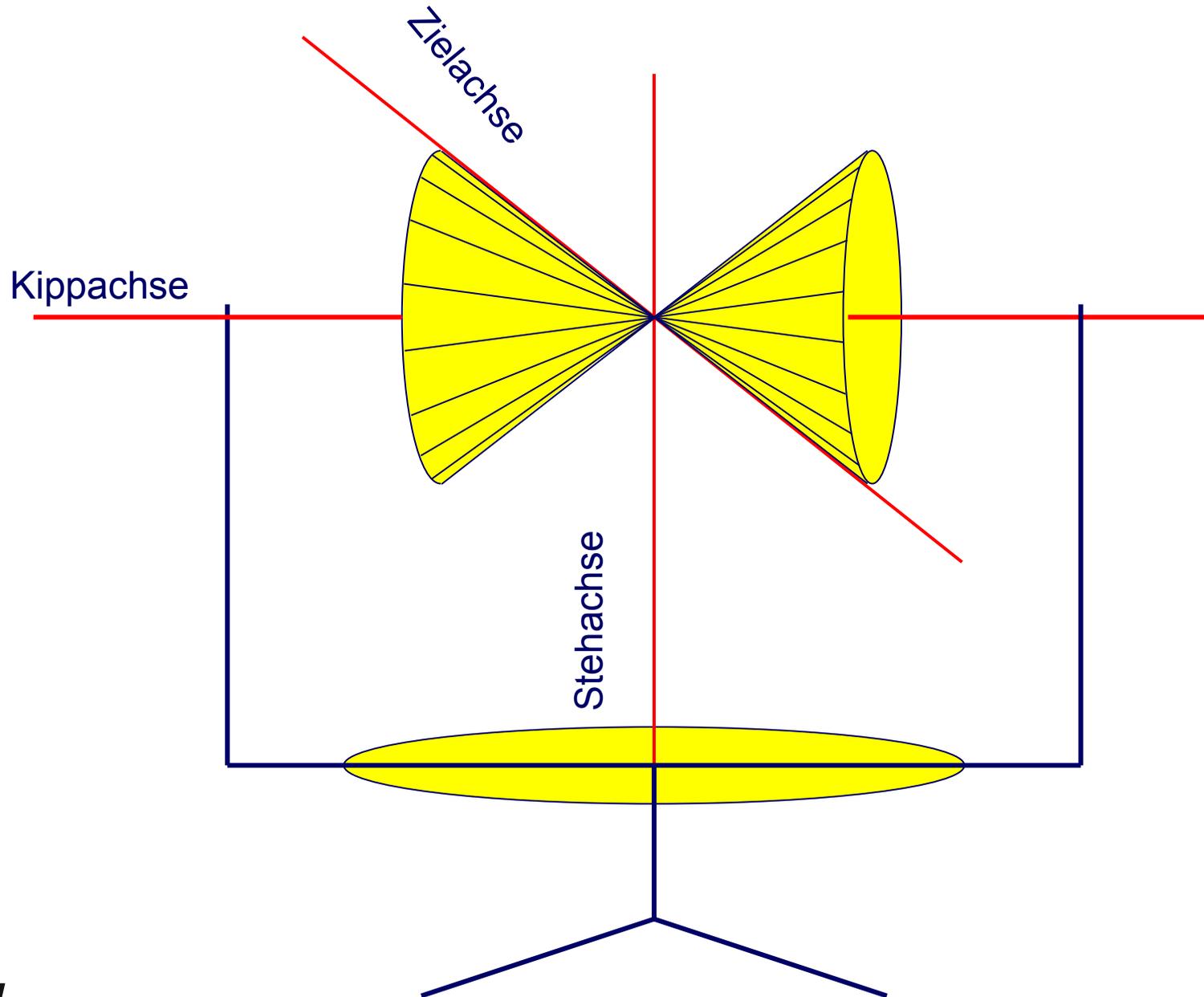


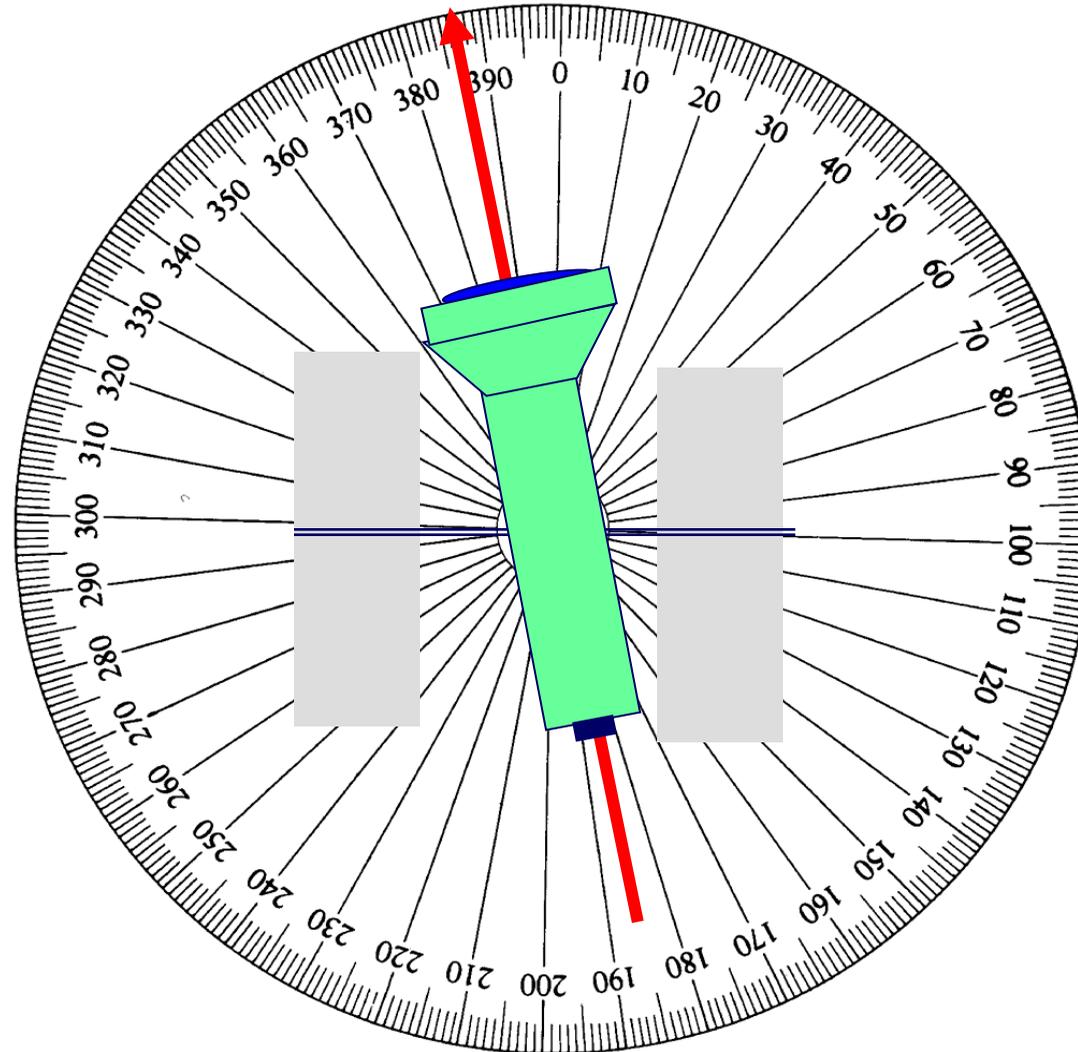


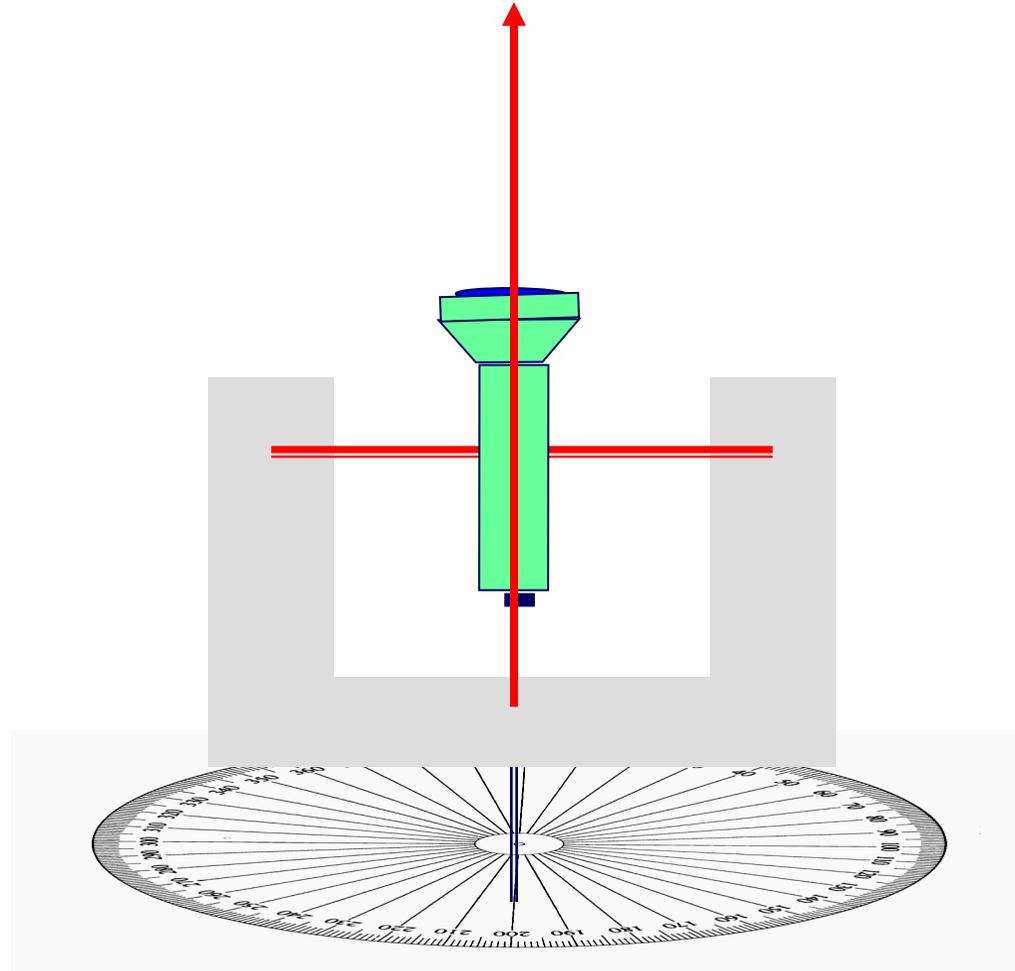


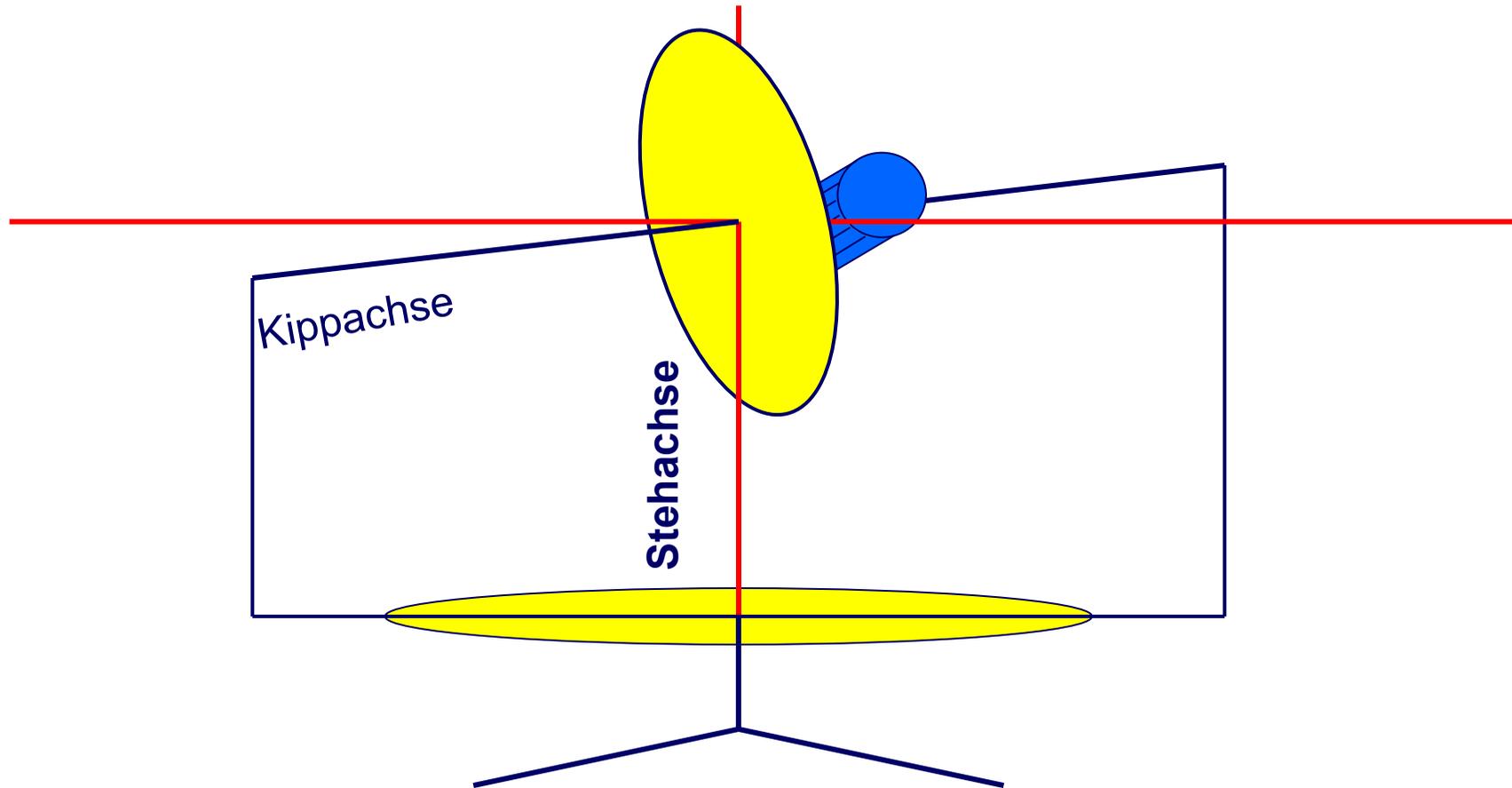
$$\Delta (P', P, Z)$$

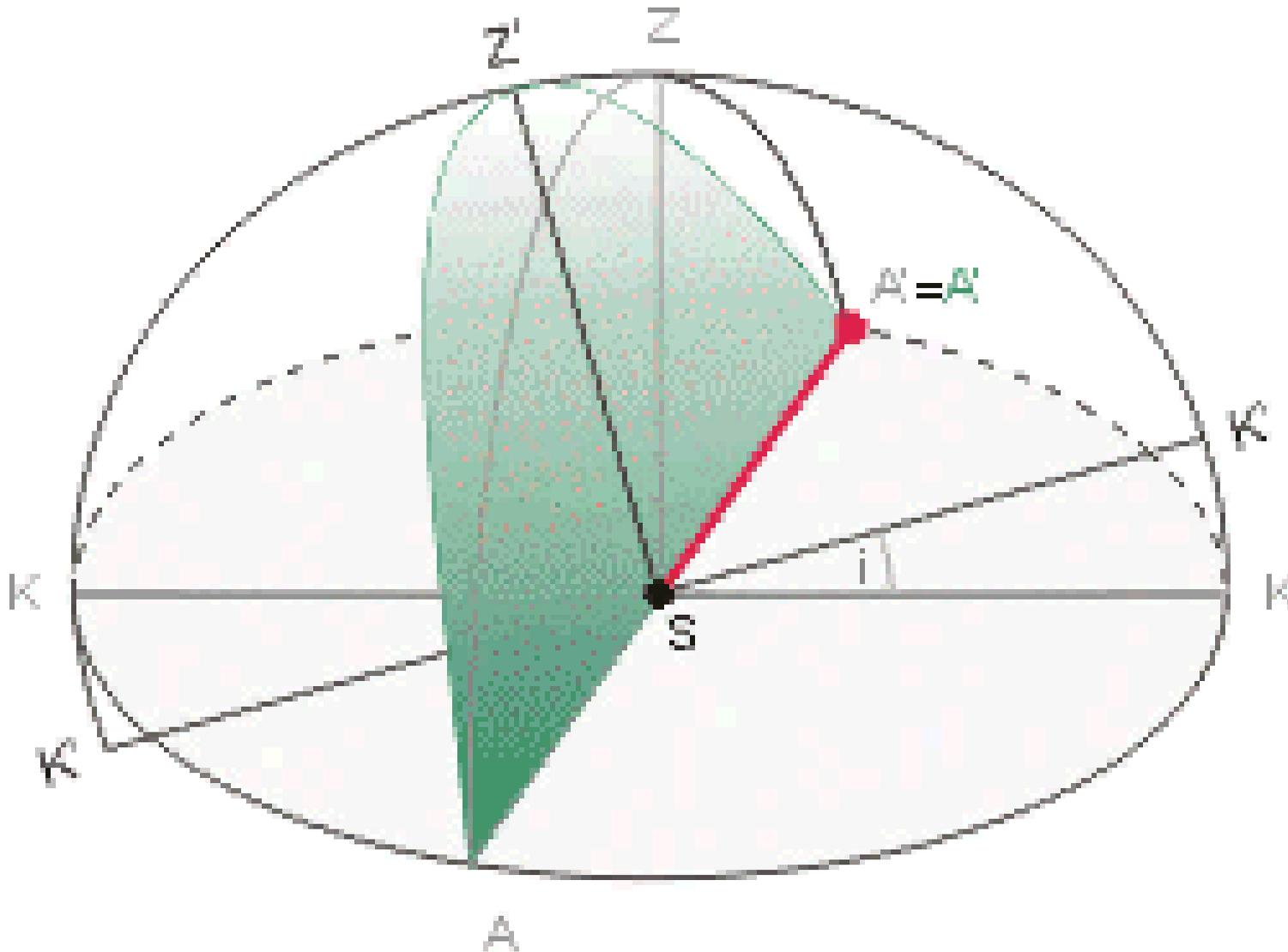
$$\sin f(c) = \frac{\sin c}{\sin z}$$







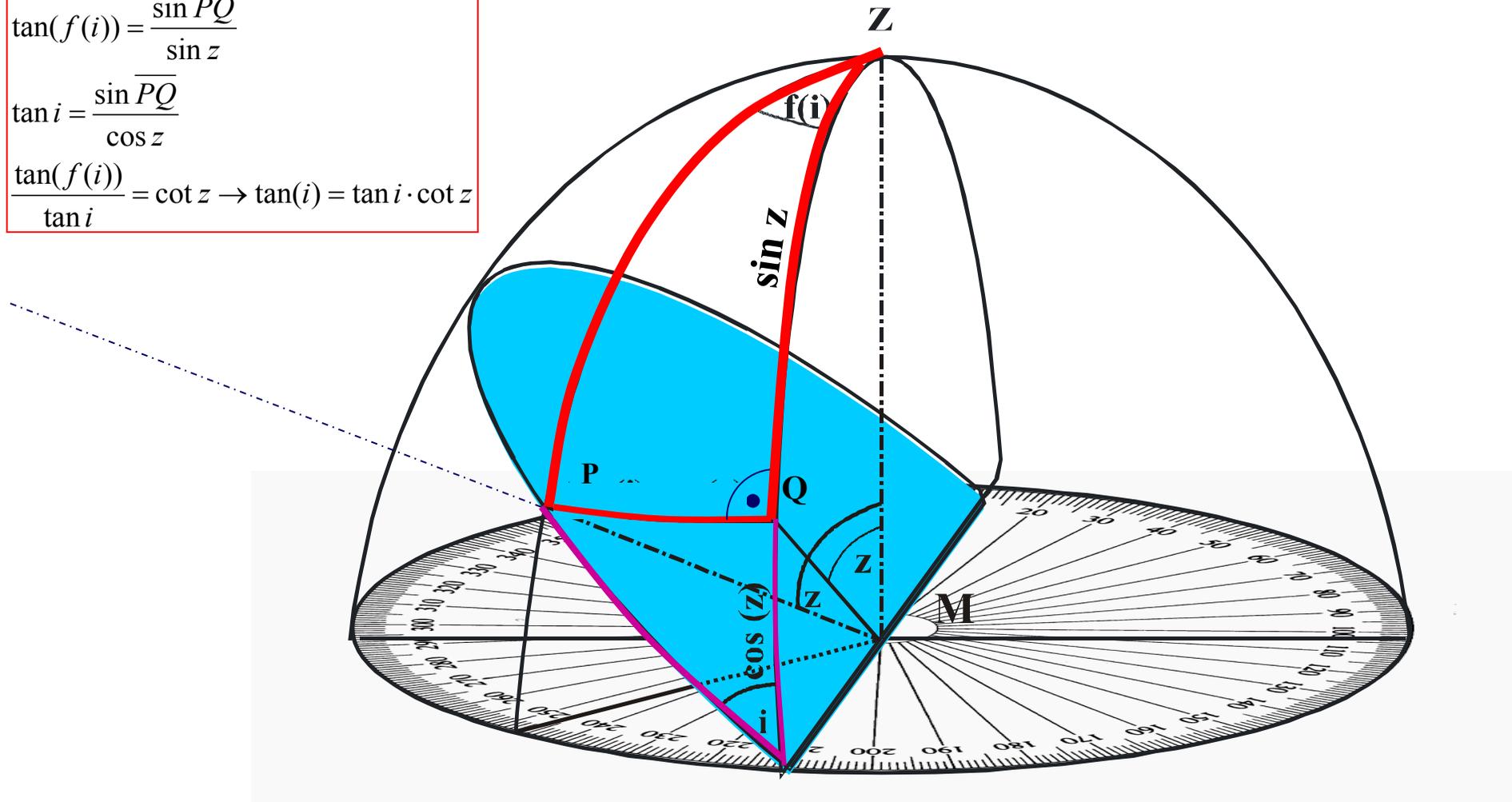




$$\tan(f(i)) = \frac{\sin \overline{PQ}}{\sin z}$$

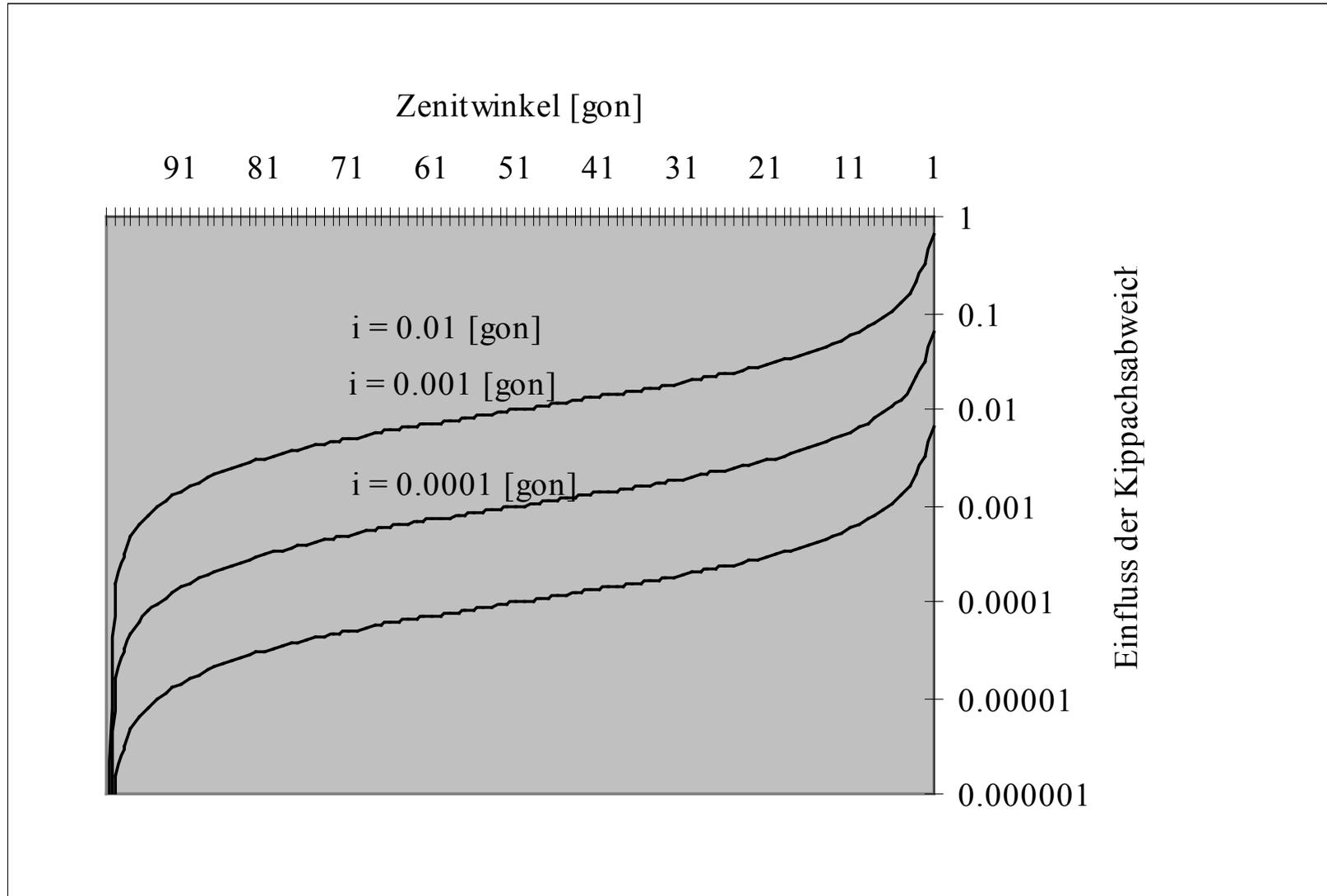
$$\tan i = \frac{\sin \overline{PQ}}{\cos z}$$

$$\frac{\tan(f(i))}{\tan i} = \cot z \rightarrow \tan(i) = \tan i \cdot \cot z$$

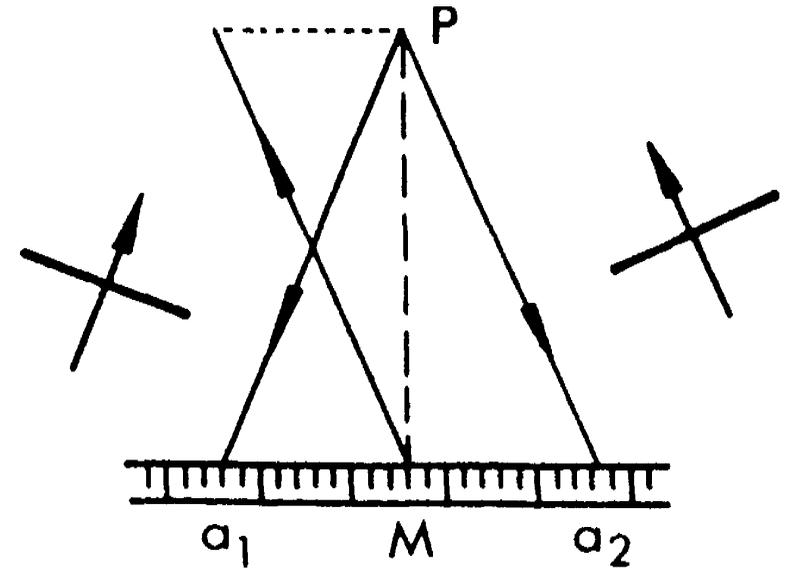


$$\tan(f(i)) = \frac{\sin i \cdot \cos z}{\sin z} =$$

$$f(i) \approx i \cdot \cot z$$



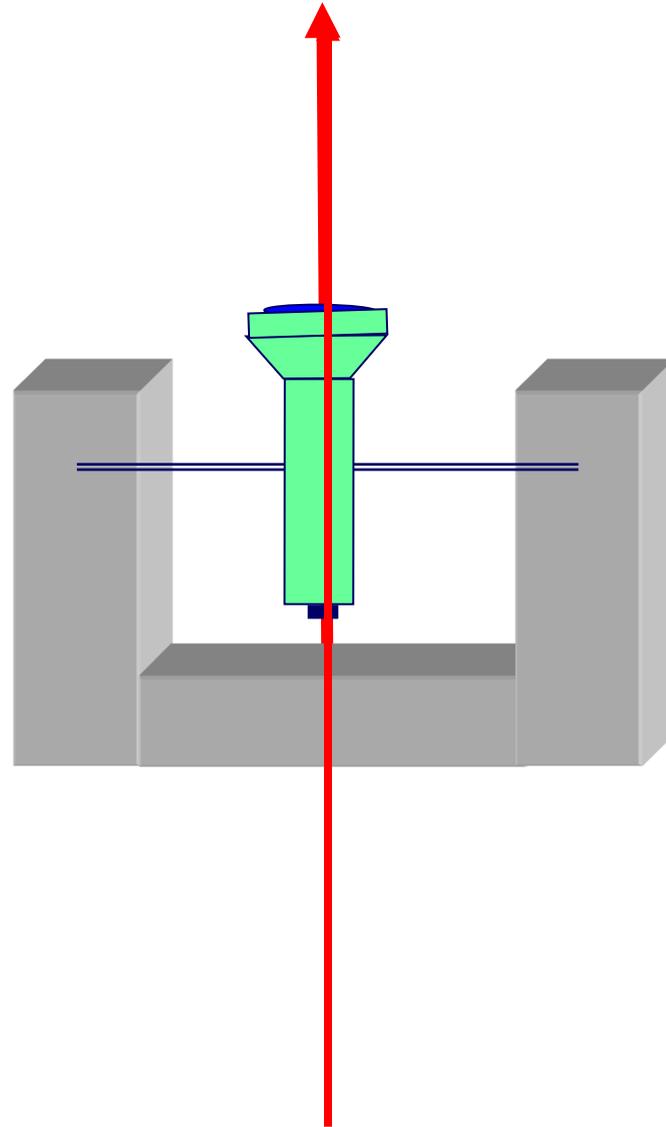
- Vor der Überprüfung muss die Zielachsabweichung beseitigt sein.
- Unter einem Hochpunkt wird rechtwinklig zur Zielung etwa in Kippachshöhe ein Massstab angebracht.
- Mit dem Fernrohr Lage I wird ein Hochpunkt angezielt und mit dem Strichkreuz genau eingestellt. Das Fernrohr wird bis zum Massstab gekippt und der Wert  $a_1$  abgelesen.
- Anschliessend die Zielung in Lage II wiederholen und am Massstab den Wert  $a_2$  ablesen.
- Weichen die Werte  $a_1$  und  $a_2$  voneinander ab, so stellt die Differenz den Einfluss des doppelten Kippachsabweichung dar.
- K.-Abweichung lässt sich bei den heutigen Theodoliten/ Tachymetern nur in einer Spezialwerkstatt beseitigen.

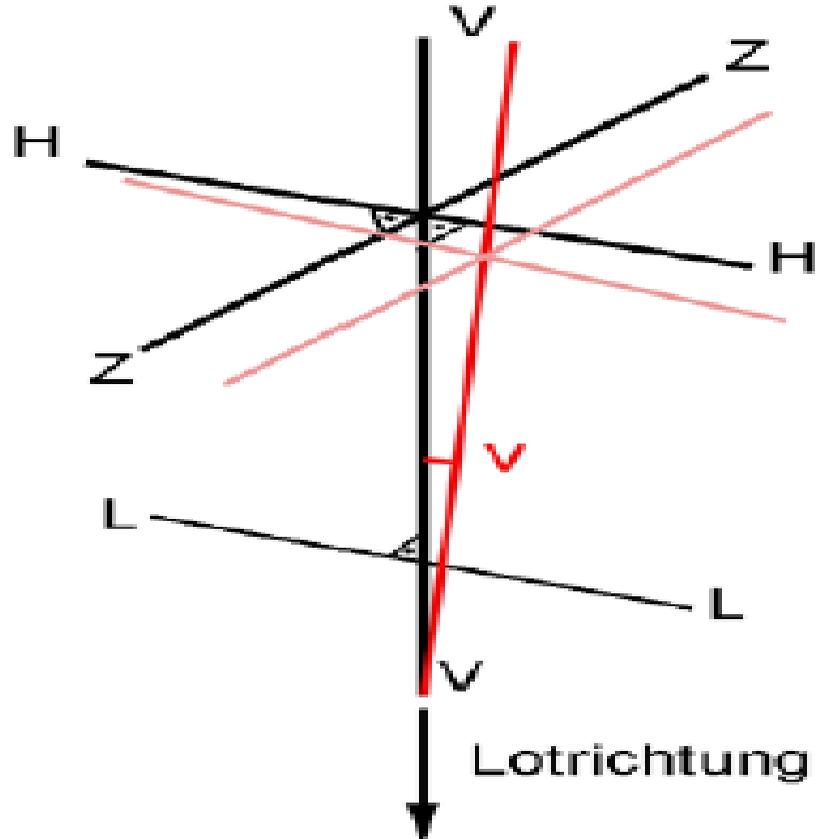


Wirkt auf die Horizontalrichtung wie die Kippachsabweichung, ist aber vom Azimut abhängig

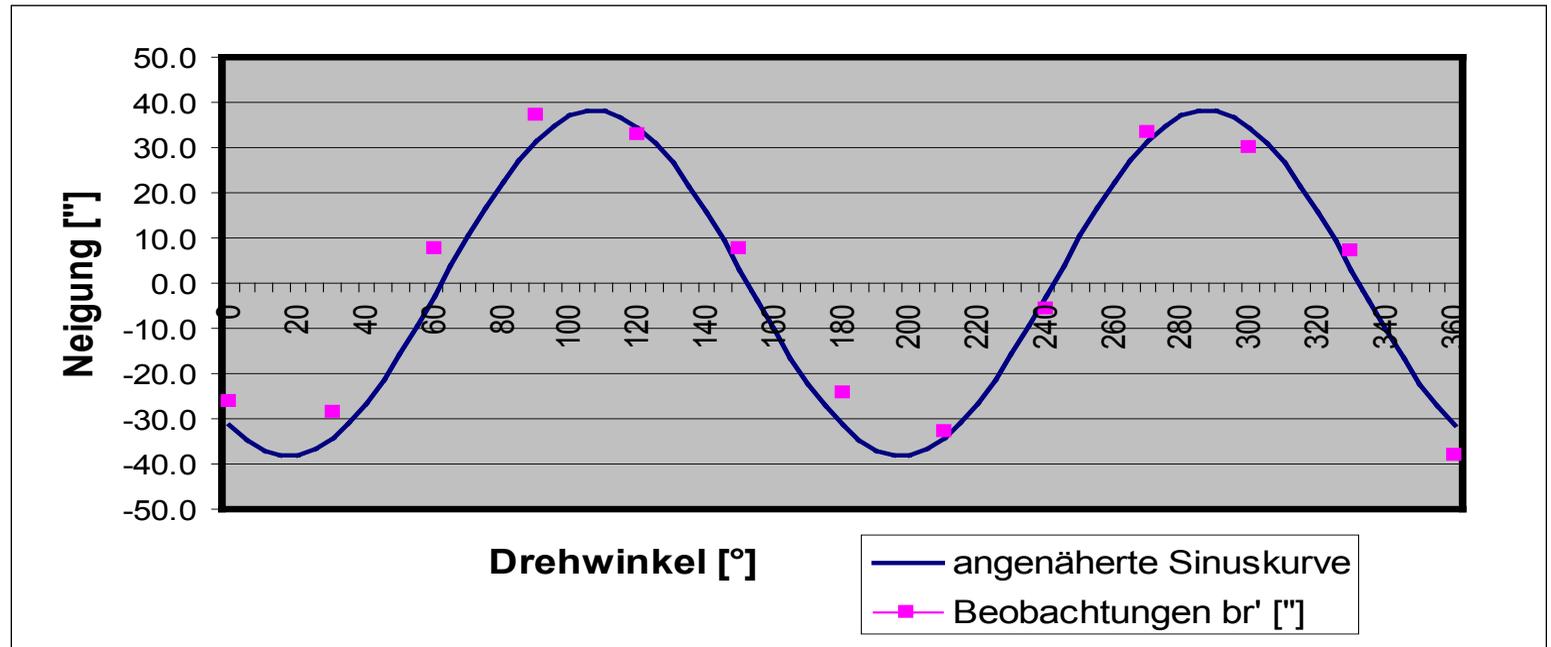
Wird durch 2-Lagenmessung **nicht** kompensiert

Korrektur durch Messung der aktuellen Stehachsneigung





**Bei Trimble S6/S8 wird die Auswirkung auf die Hz Richtung bei einer Veränderung der Stehachsschiefe während der Messung durch die „Shure point“ Funktion korrigiert**



Abweichung	Zielachs abweichung	Kippachs abweichung	Exzentrizität der Zielachse	Exzentrizität des Teilkreises	Stehachs schiefe
Messen in 2 Lagen	eliminiert	eliminiert	eliminiert	eliminiert	nicht eliminiert

**Achtung: Die Korrektur des Einflusses der Stehachsschiefe durch die eingebaute Software erfolgt nur im Zenitwinkelbereich 20-180 gon !**

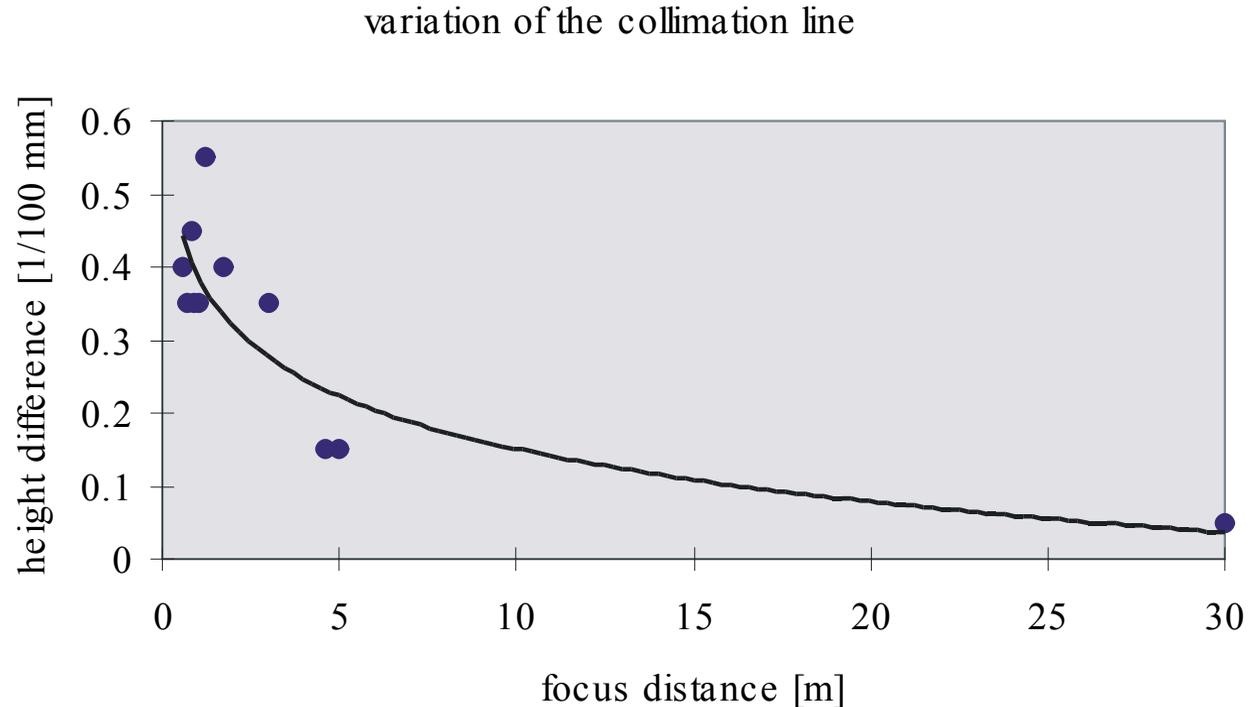
## *Nicht-Kolinearität der Achsen (Visuell, EDM, ATR)*

## Optische Achse

Unter der **optischen Achse** eines Fernrohres versteht man die Verbindungslinie aller Krümmungsmittelpunkte der Linsenflächen eines optischen Systems.

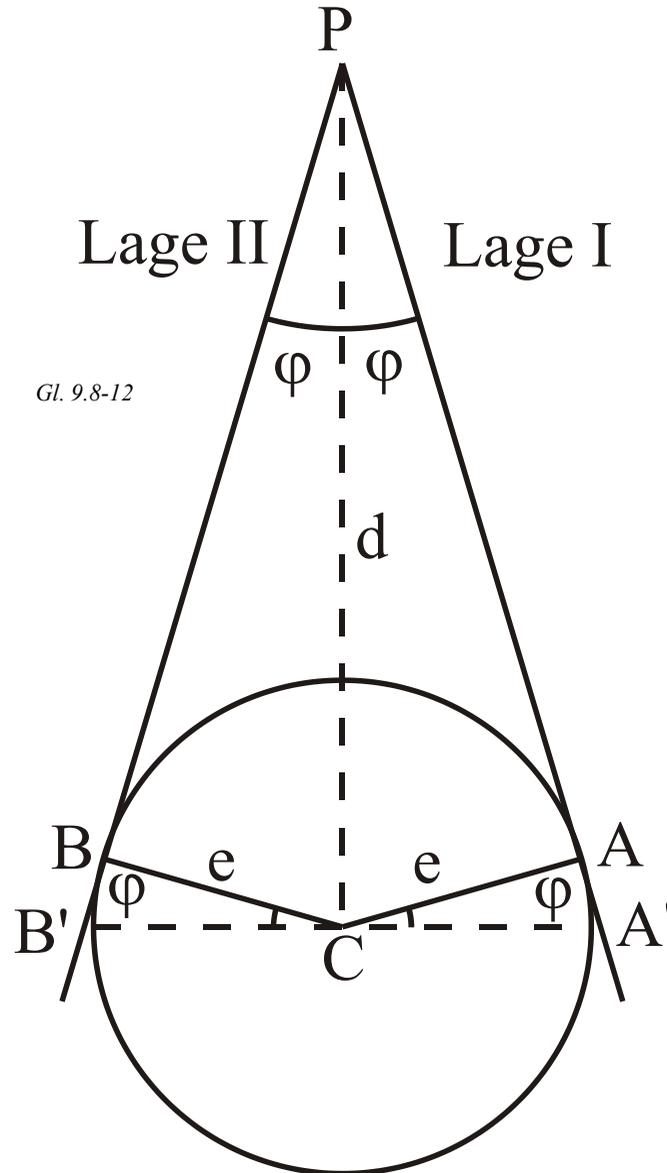
## Ziellinie

Vom Objektiv wird ein **Bild des Strichkreuzes in den Objektraum projiziert**, das sich bei Bewegungen der Fokussierlinse auf einer Kurve bewegt. Diese wird als **Ziellinie** bezeichnet.



Idealerweise ist die Ziellinie über den gesamten Entfernungsbereich eine Gerade.

In Wirklichkeit ergibt sich aber eine zweidimensionale hyperbelförmige Ziellinienfunktion, die sich daraus ergibt, dass die Bahn der Fokussierlinse in den beiden Komponenten nicht parallel zur Zielachse verläuft. Dieser Abweichung wird jedoch bei Theodoliten durch Messungen in zwei Lagen eliminiert.

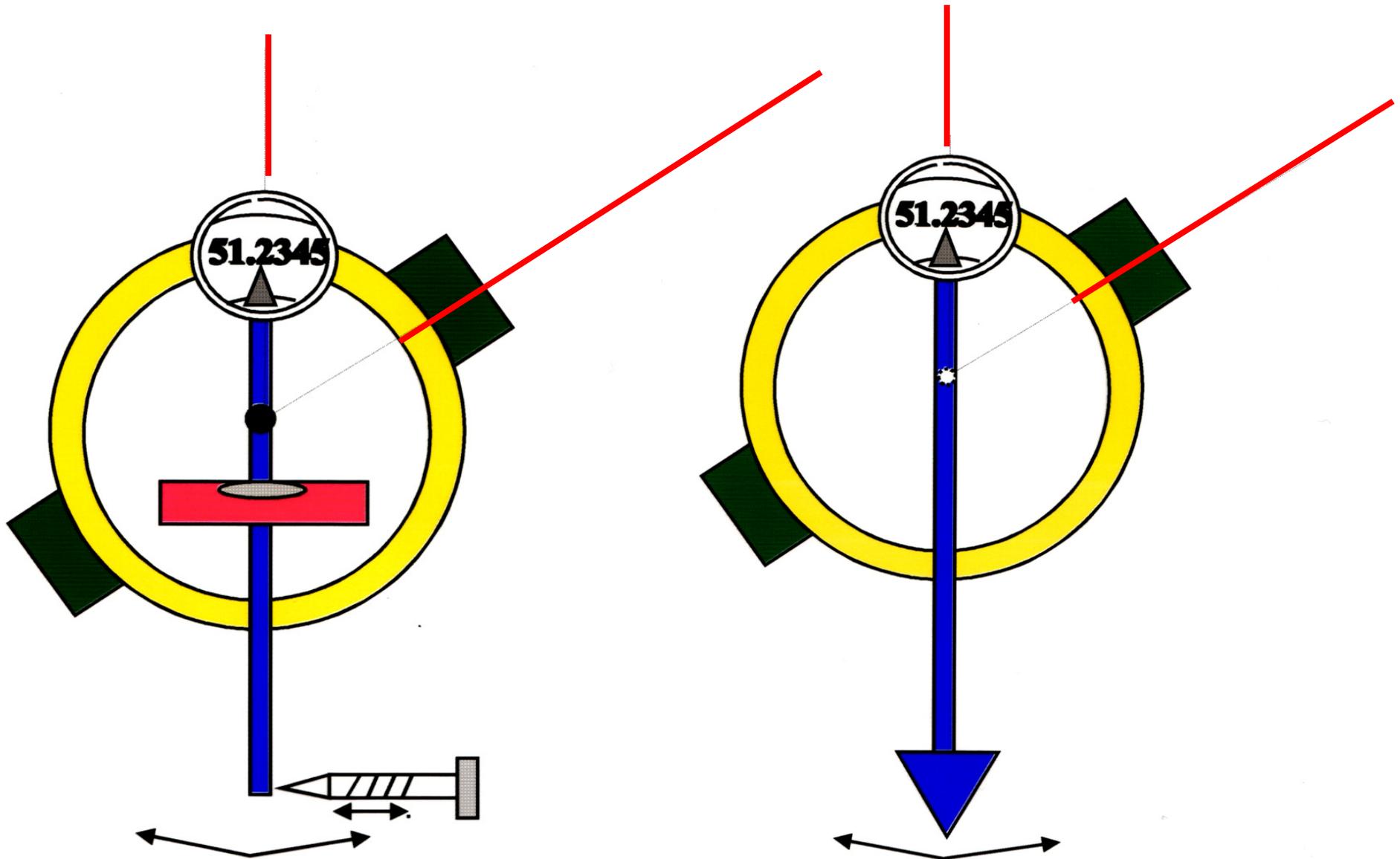


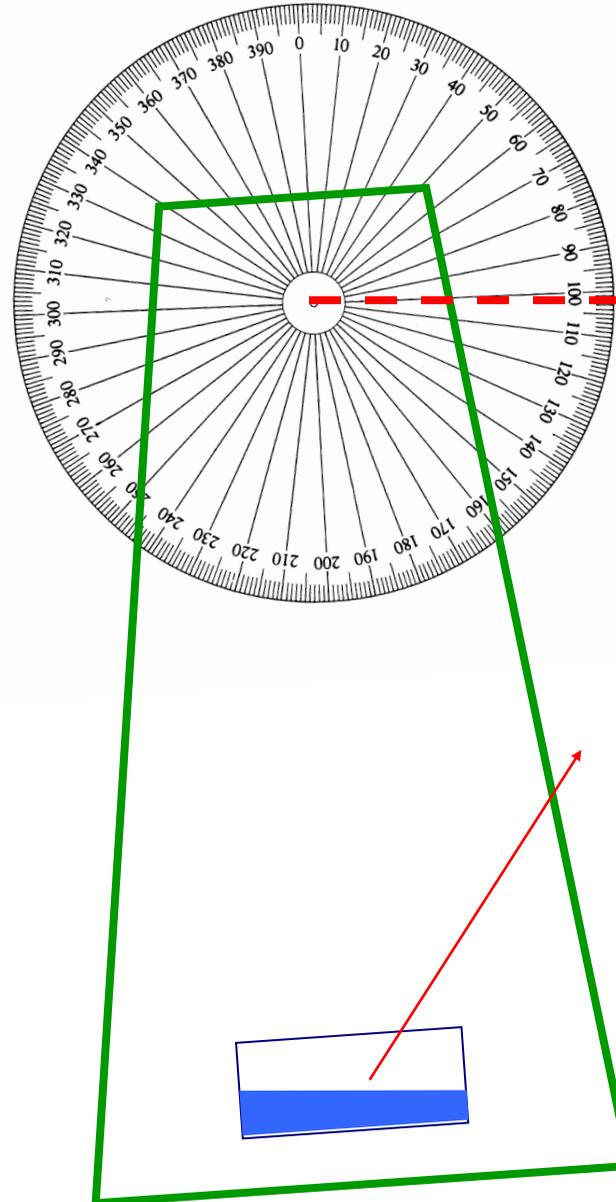
$$A = A' - \varphi, \text{ mit}$$

$$\sin \varphi \approx \varphi = \frac{e}{d}$$

, da  $\varphi$  ein kleiner Winkel ist.

# *Höhenindexabweichung*





**Horizontale Visur**

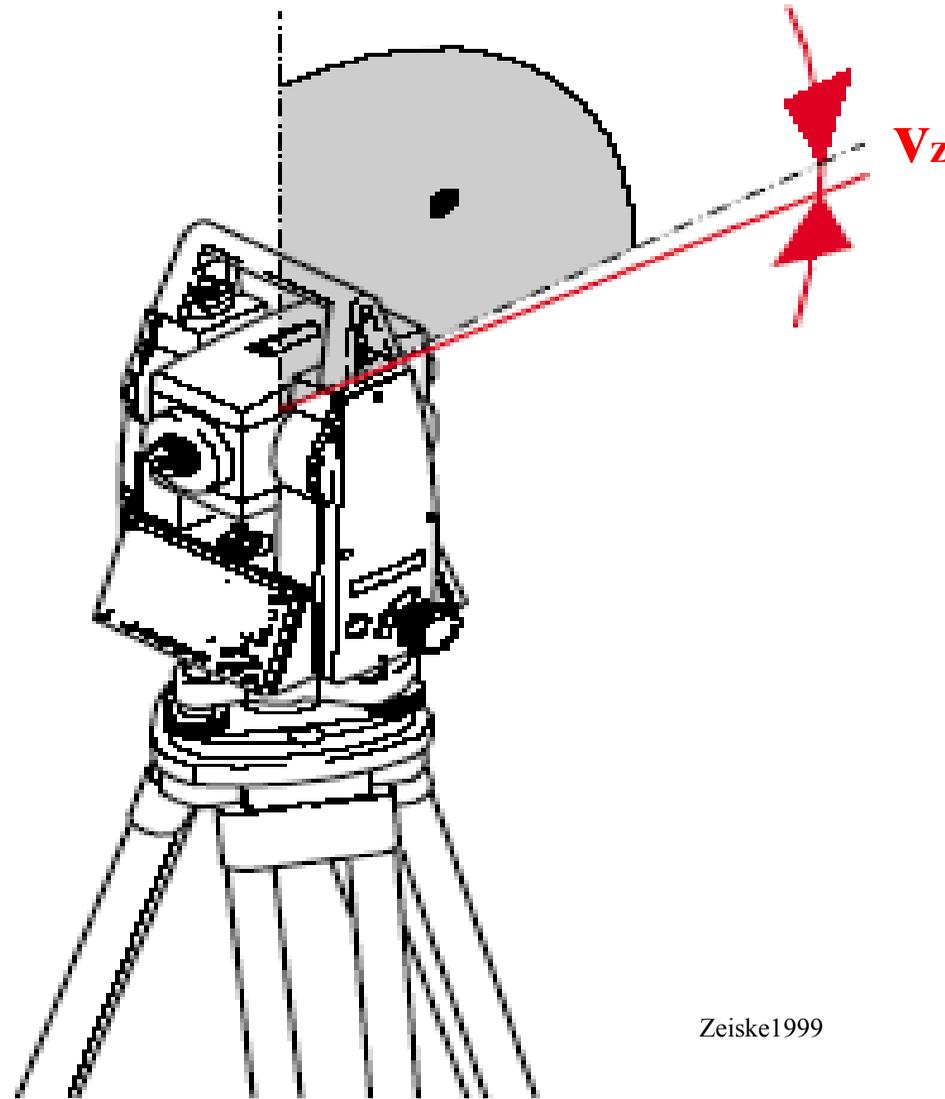
**105.0000 gon**  
**(elektr. Teilkreisablesung)**

+

**-5,0000 gon**  
**(elektron. Neigungsmesser)**

---

**100,0000 gon (Display)**

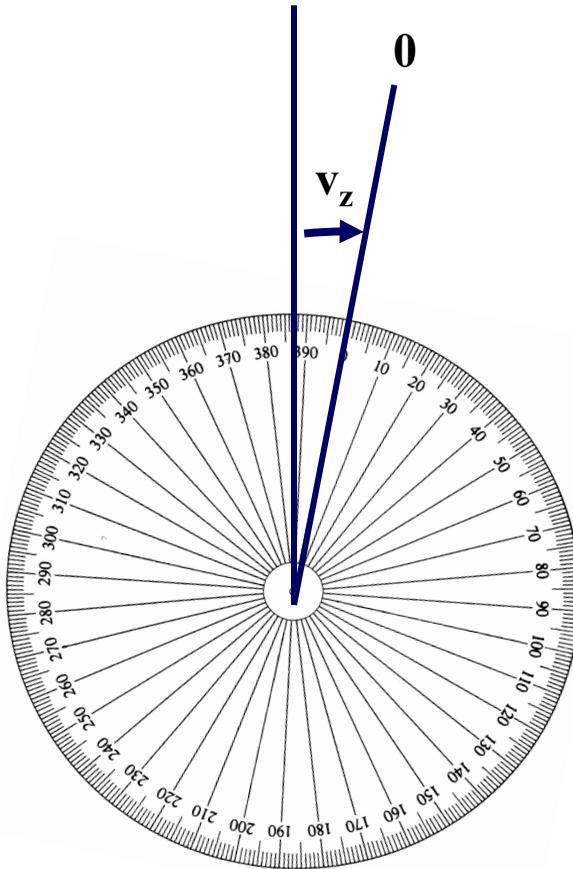


Zeiske1999

- Bei horizontaler Zielung und justiertem Index (Libelle, elektron. Neigungssensor) muss am Vertikalkreis 100,0000 bzw. 300,0000 gon abzulesen sein.
- Wenn dies nicht erfüllt, ist eine Indexabweichung  $v_z$  vorhanden.
- Die Indexabweichung ist eine Konstante und daher nicht von der Grösse der Zenitwinkles abhängig
- Die Indexabweichung fällt durch Mittelbildung Messung in zwei Fernrohrlagen heraus
- $v_z$  kann durch Messungen in zwei Lagen bestimmt werden
- $v_z$  sollte so klein wie möglich gehalten werden.

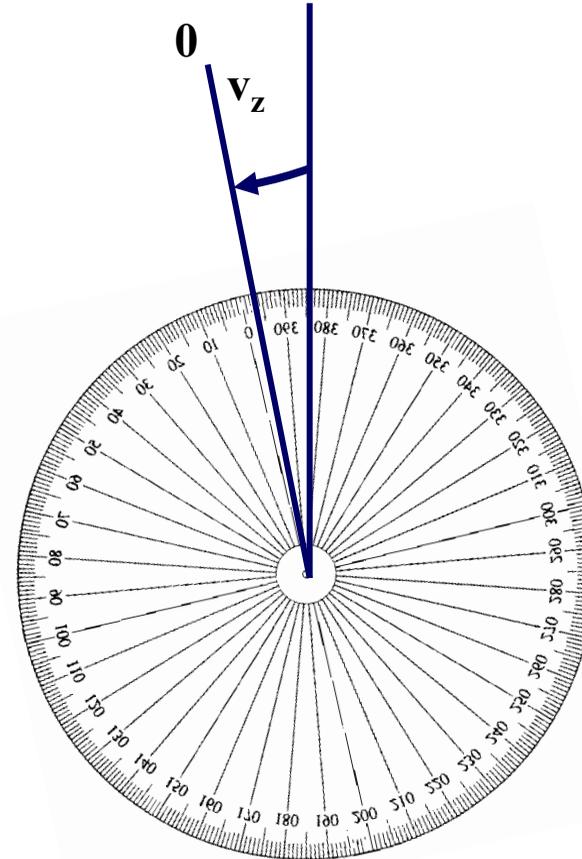
1. Lage

Zenit Höhenindex

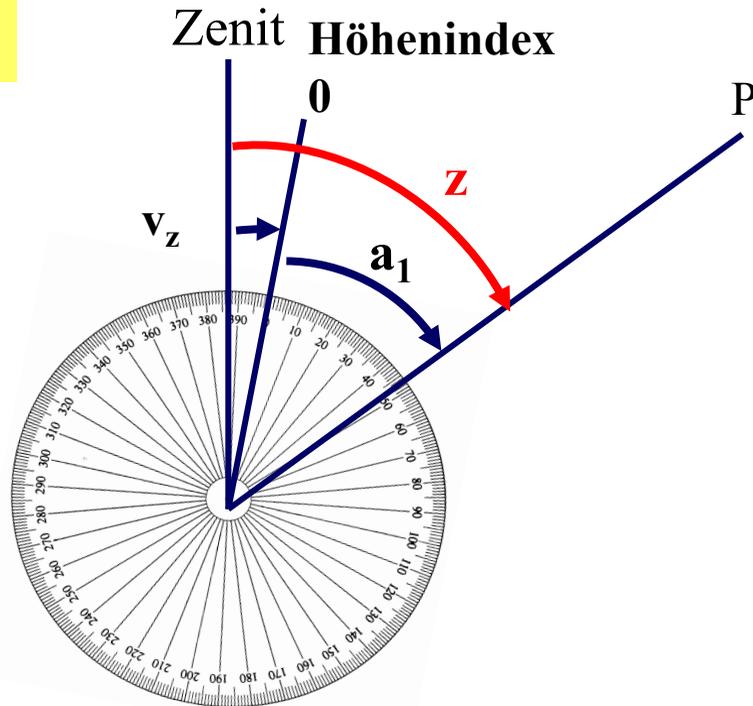


Höhenindex Zenit

2. Lage



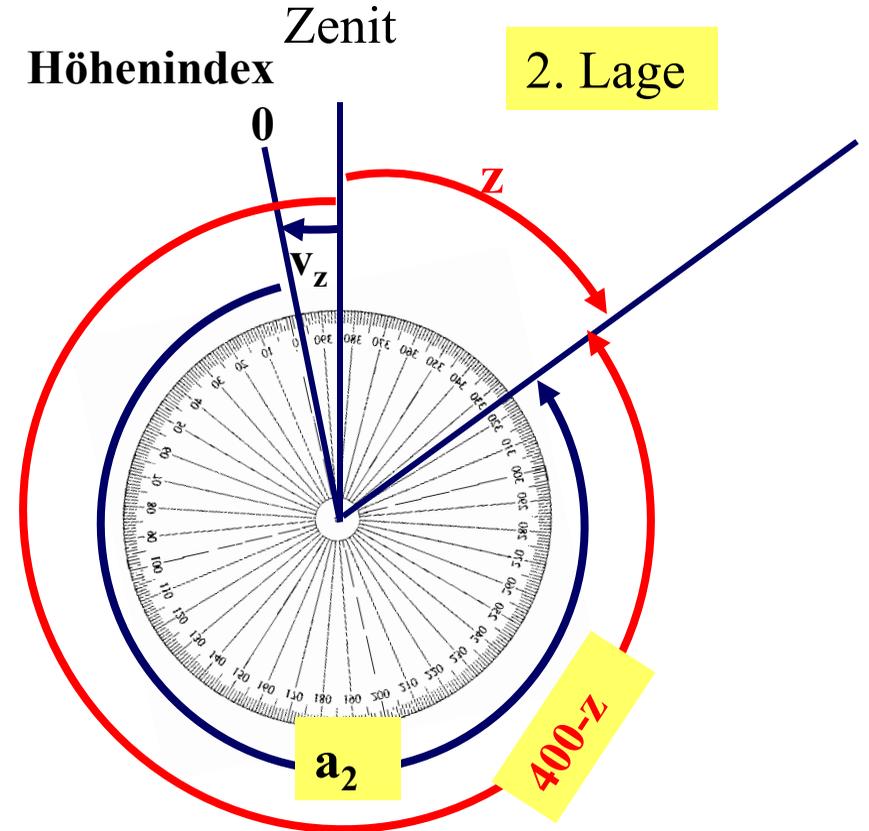
1. Lage



$$z = a_1 + v_z \quad \rightarrow \quad a_1 = z - v_z \quad (1)$$

$$-z = a_2 - 400 + v_z \quad \rightarrow \quad a_2 = 400 - z - v_z \quad (2)$$

2. Lage



(1)-(2)

$$z = \frac{(a_1 + 400 \text{ gon}) - a_2}{2}$$

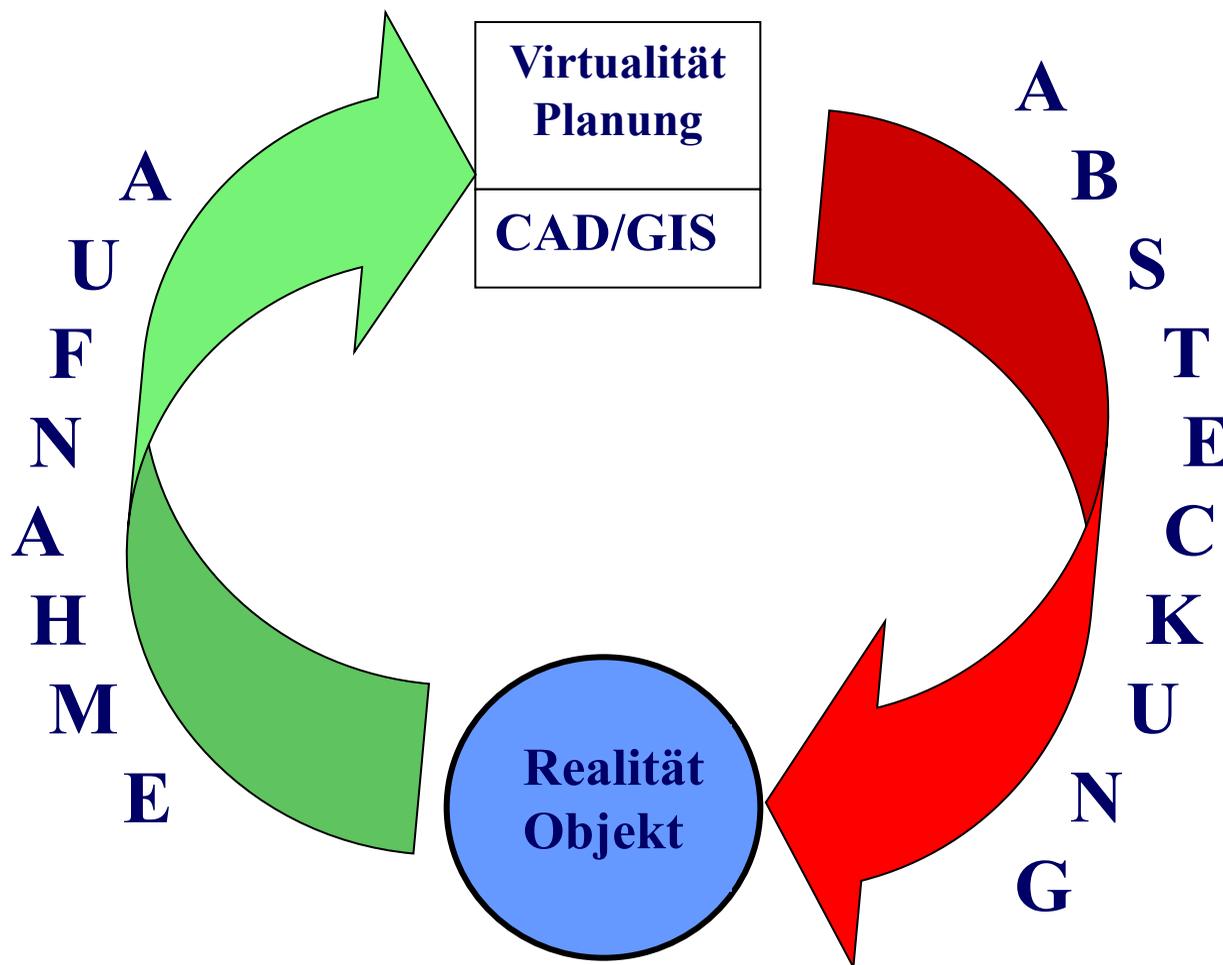
(1)+(2)

$$v_z = \frac{400 \text{ gon} - (a_1 + a_2)}{2}$$

# ***Absteckverfahren mit modernen Tachymetern***

Ausgewählte Erfassung der Realität und Abbildung in analogen oder digitalen Daten

Auftrager-  
teilung an  
Geomatik-  
ingenieur:  
- Umfang  
- Genauigkeits-  
forderung



Übertragung von in der Virtualität geplanten Objekten in die Realität

Auftrager-  
teilung an  
Geomatik-  
ingenieur:  
- Umfang  
- Genauigkeits-  
forderung

## *Einfache Absteckungsverfahren*

*Fluchten*

*Höhenangaben*

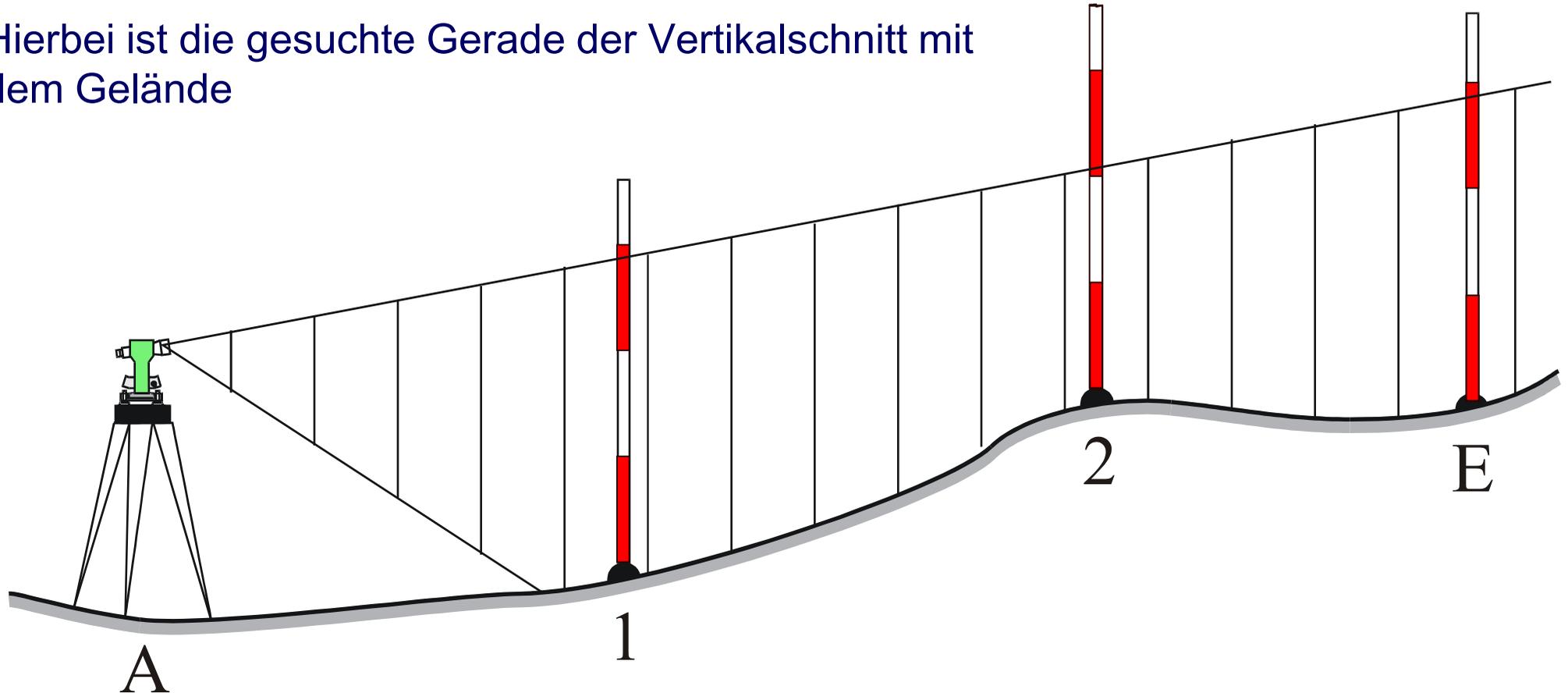
*Lotung*

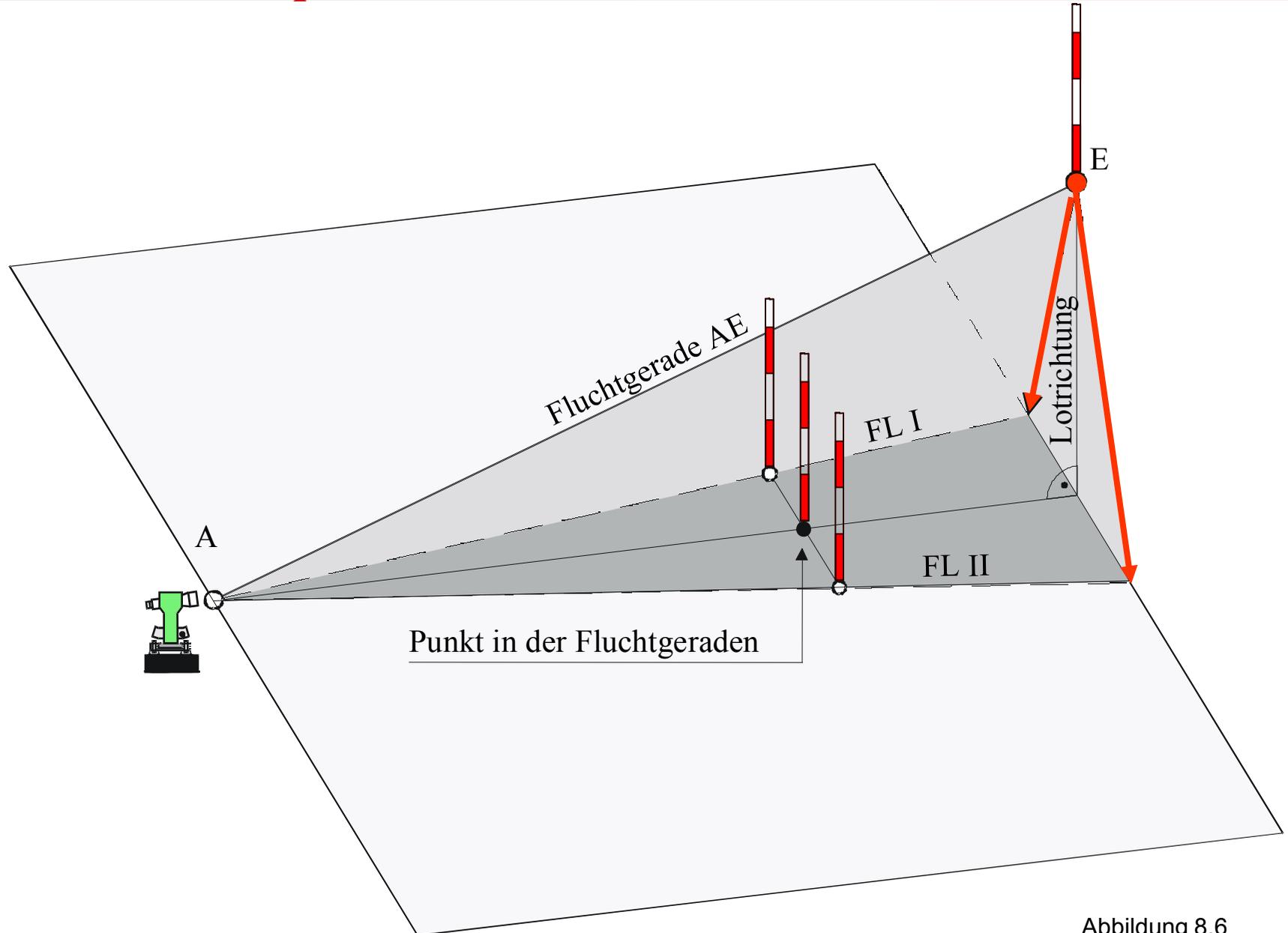
*Rechtwinkel*

*Ebenen*

## Einfluchten von Punkten in eine Gerade.

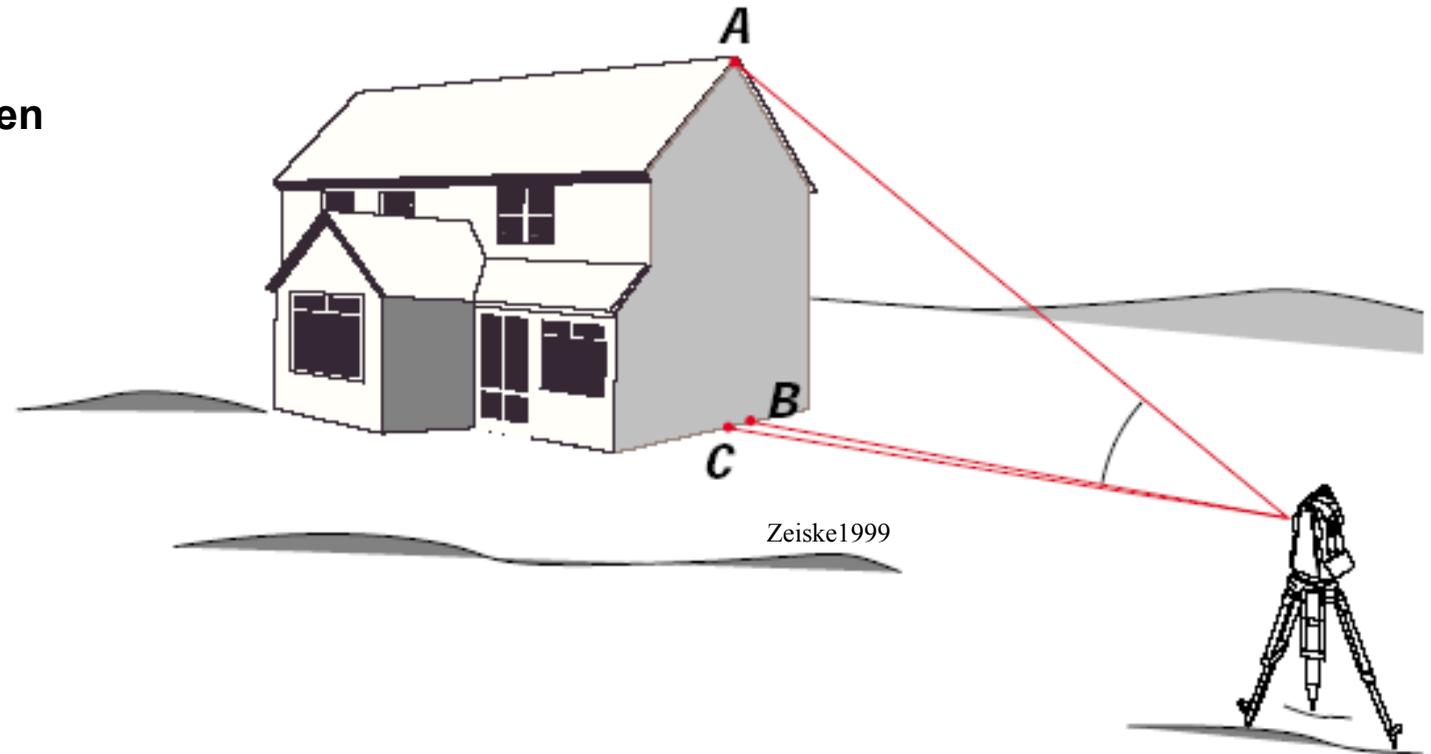
Hierbei ist die gesuchte Gerade der Vertikalschnitt mit dem Gelände

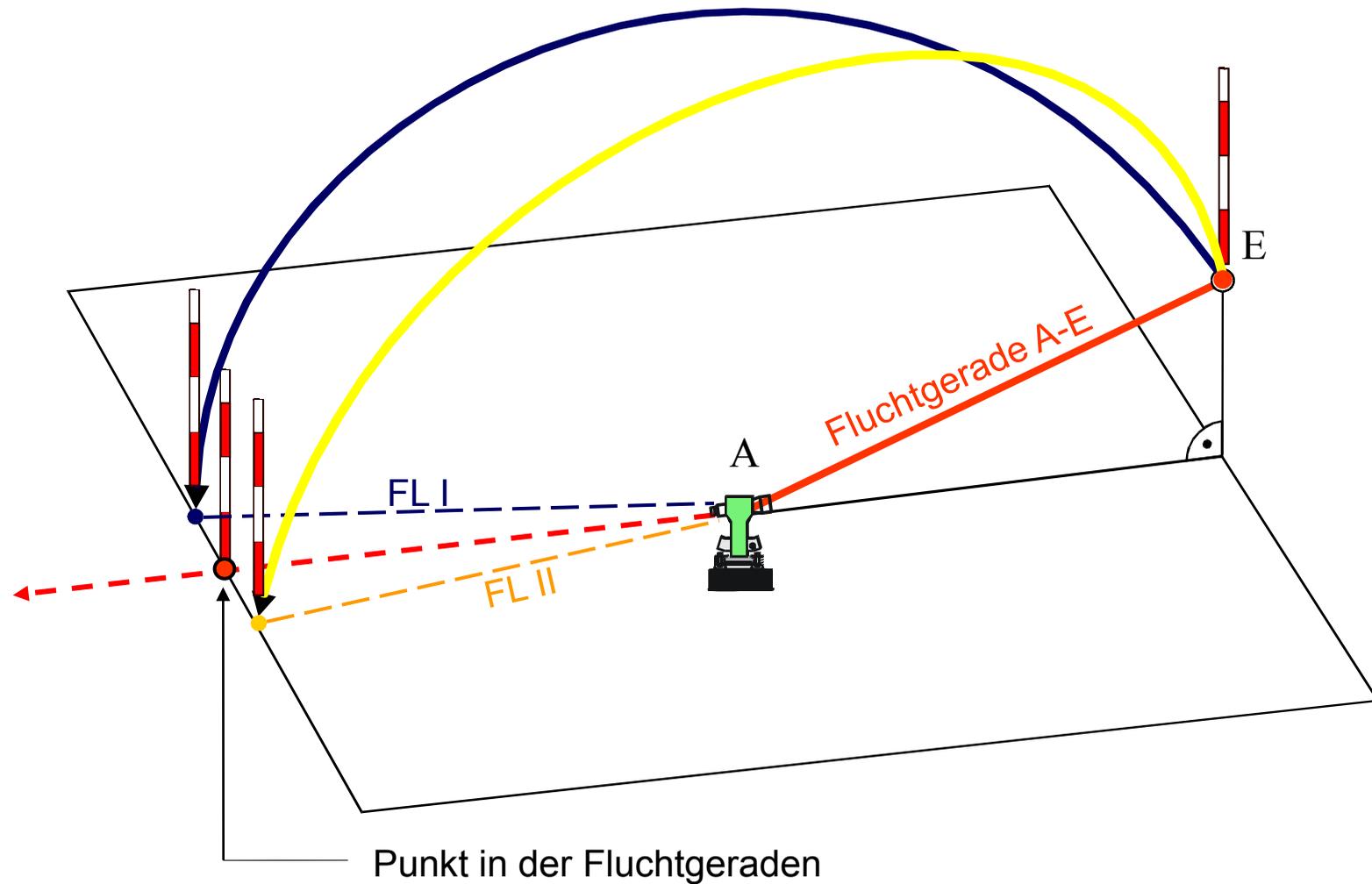




1. Einen Hochpunkt A anzielen, Fernrohr nach unten kippen und Bodenpunkt B markieren.

2. Fernrohr durchschlagen und in der zweiten Lage dasselbe wiederholen. Punkt C markieren.

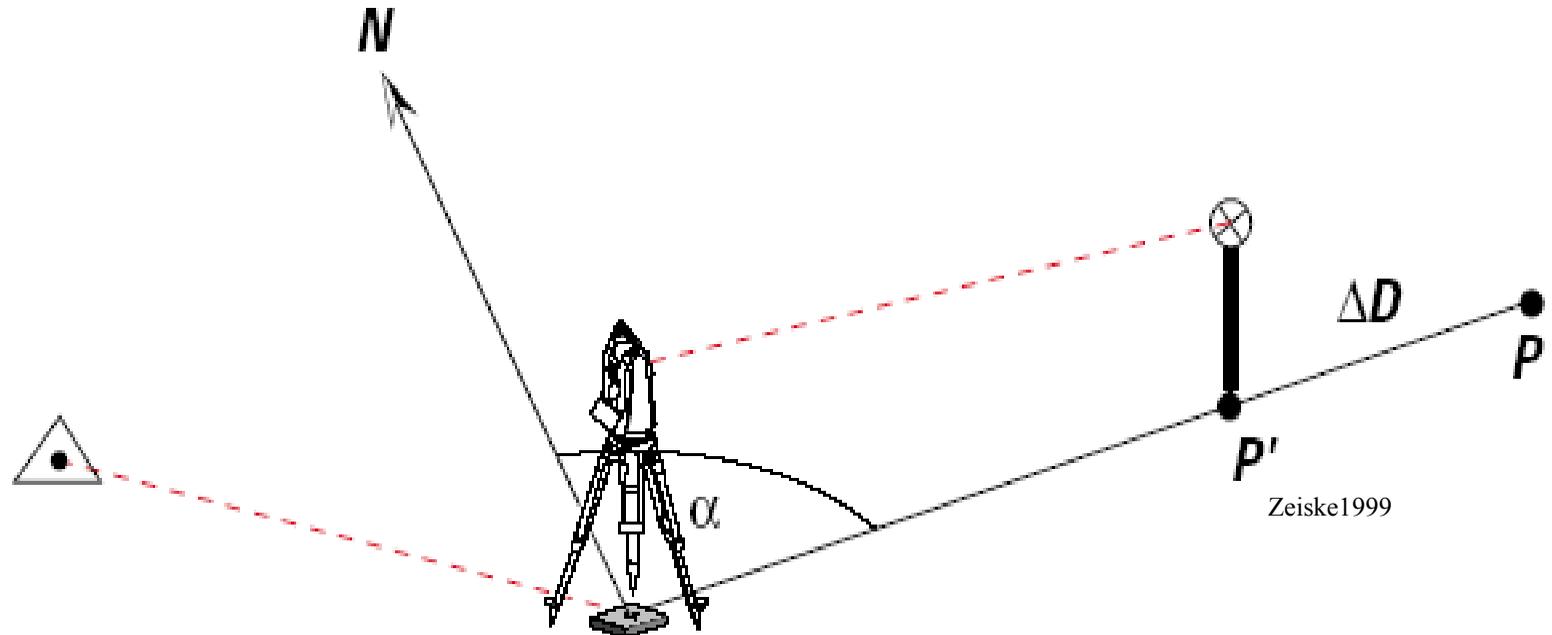




## *Abstecken mit polaren Verfahren*

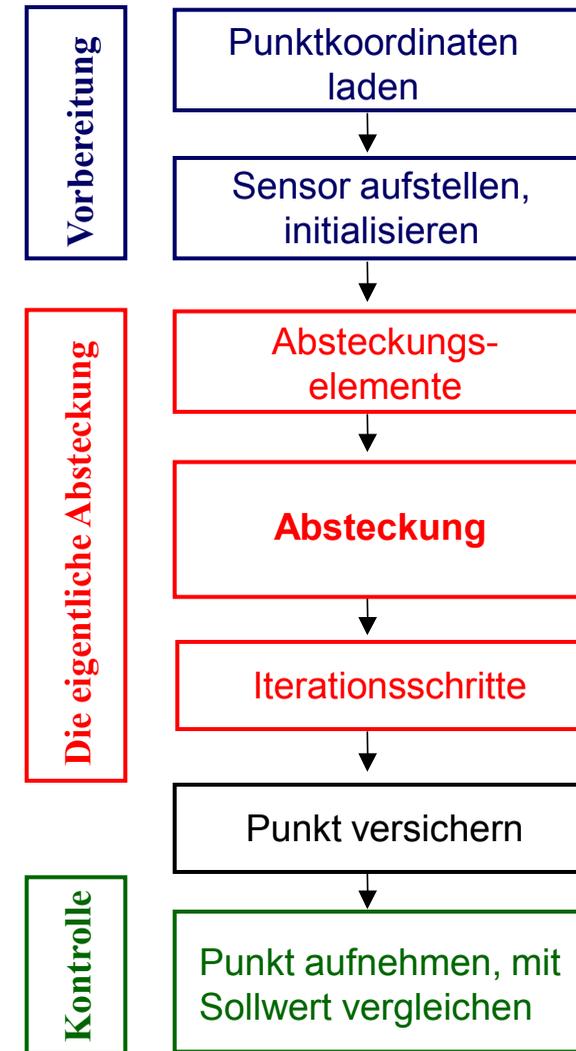
1. Instrument auf einen bekannten Punkt aufstellen und Horizontalkreis orientieren.
2. Koordinaten des abzusteckenden Punktes manuell eingeben oder mittels Freier Stationierung bestimmen. Das Programm rechnet automatisch die Absteckelemente Richtung und Distanz.
3. Tachymeter drehen bis die Horizontalkreisablesung "Null" ist.
4. Reflektor in diese Richtung einweisen (Punkt P').
5. Distanz messen, die Distanzdifferenz  $\Delta D$  zum Punkt P wird automatisch angezeigt.

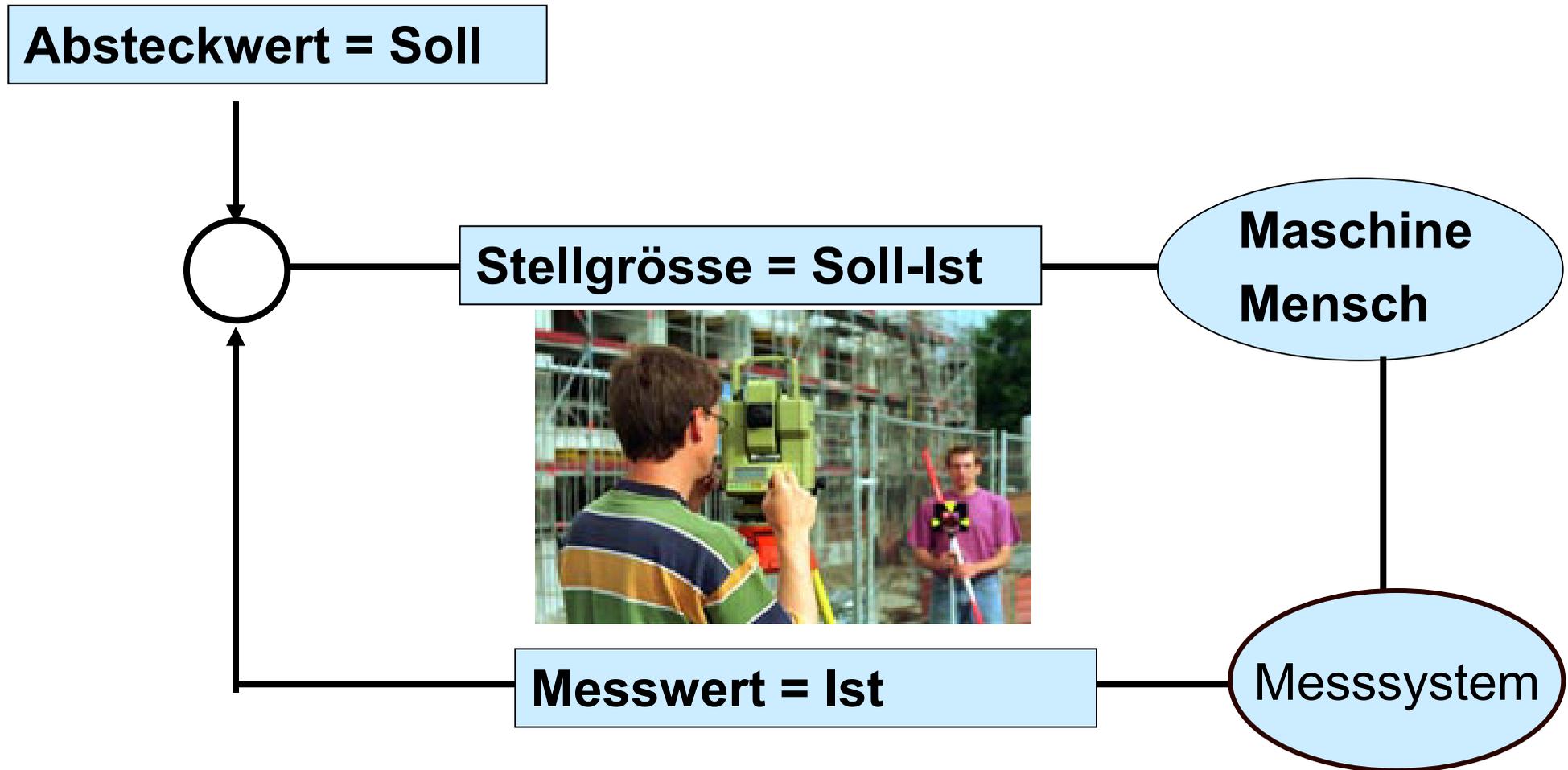
Die Koordinaten der abzusteckenden Punkte können auch vorher im Büro vom PC in den Tachymeter geladen werden. Dann muss zum Abstecken nur noch die Punktnummer eingegeben werden.

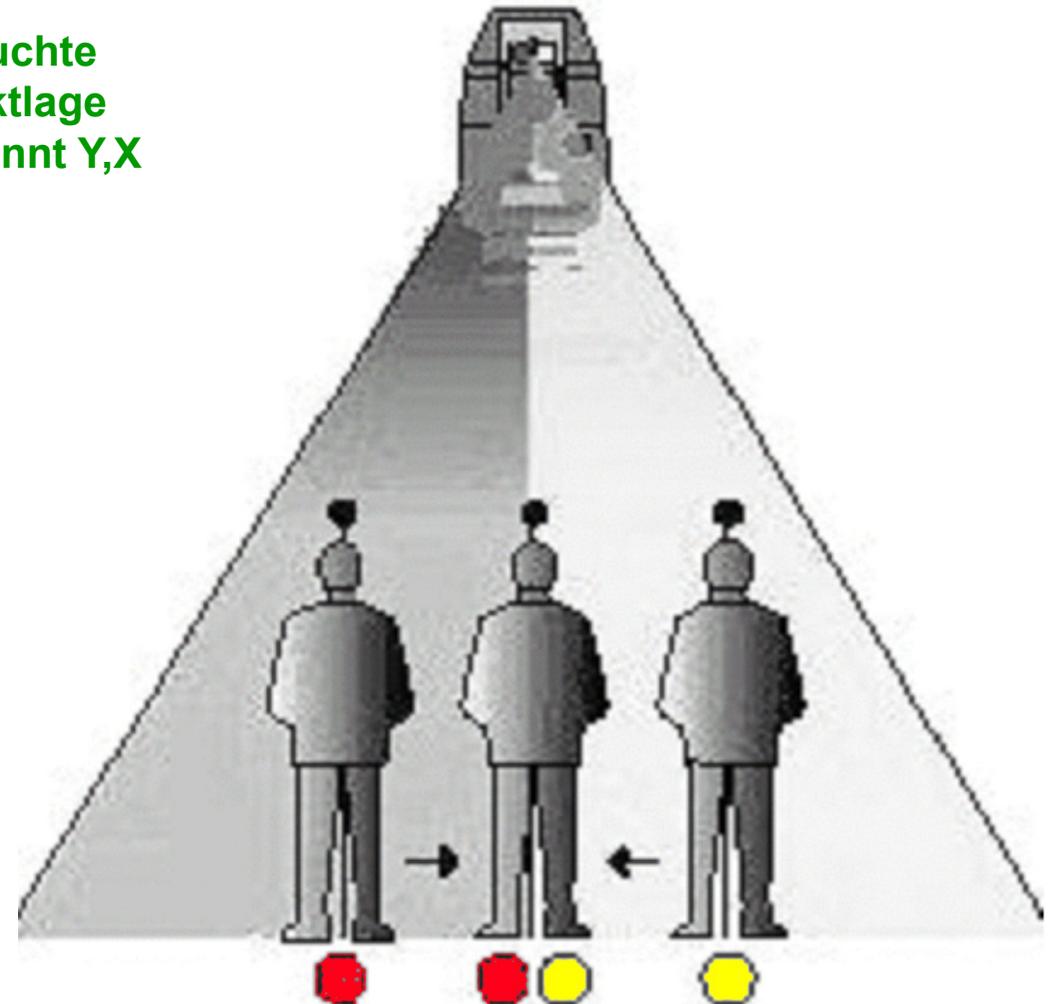
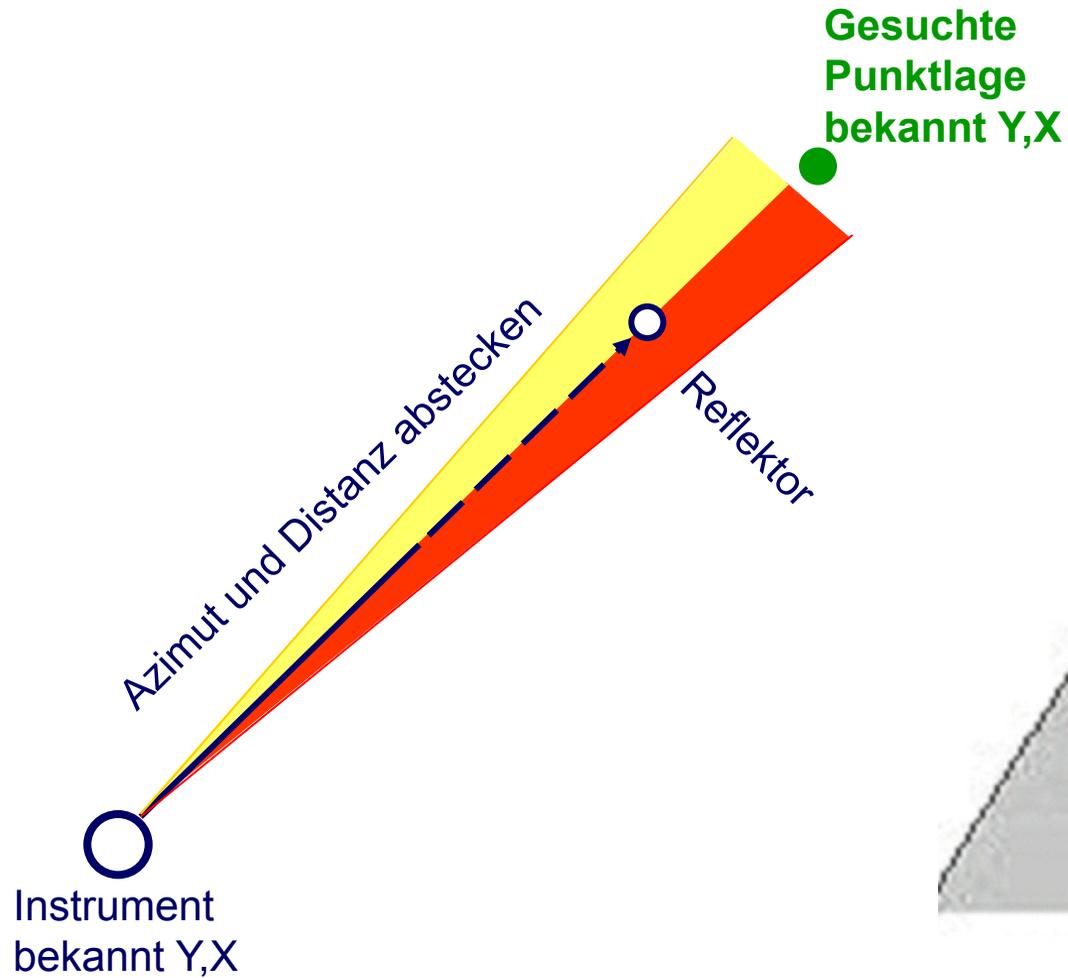




Der hier aufgeführte Ablauf entspricht dem polaren Verfahren, wie auch bei Verwendung eines GPS - Sensors

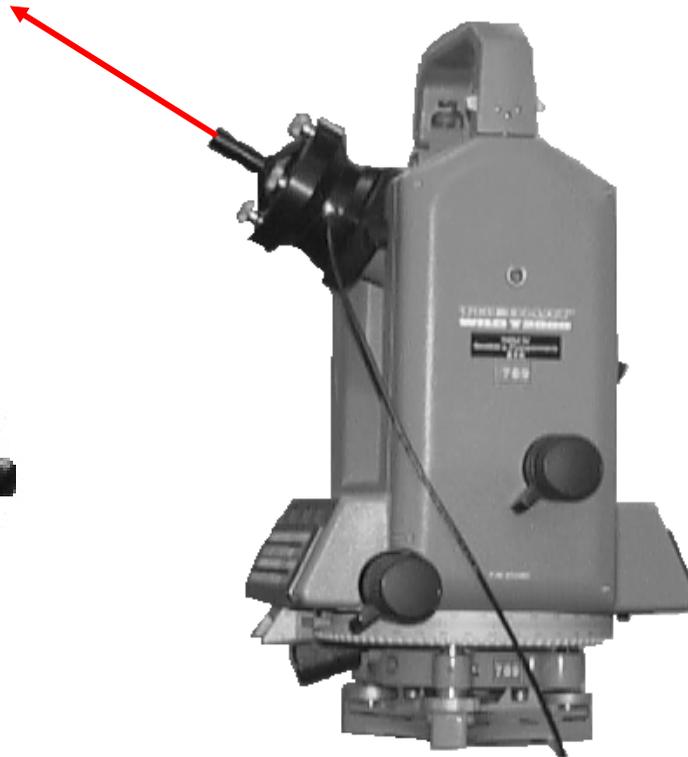








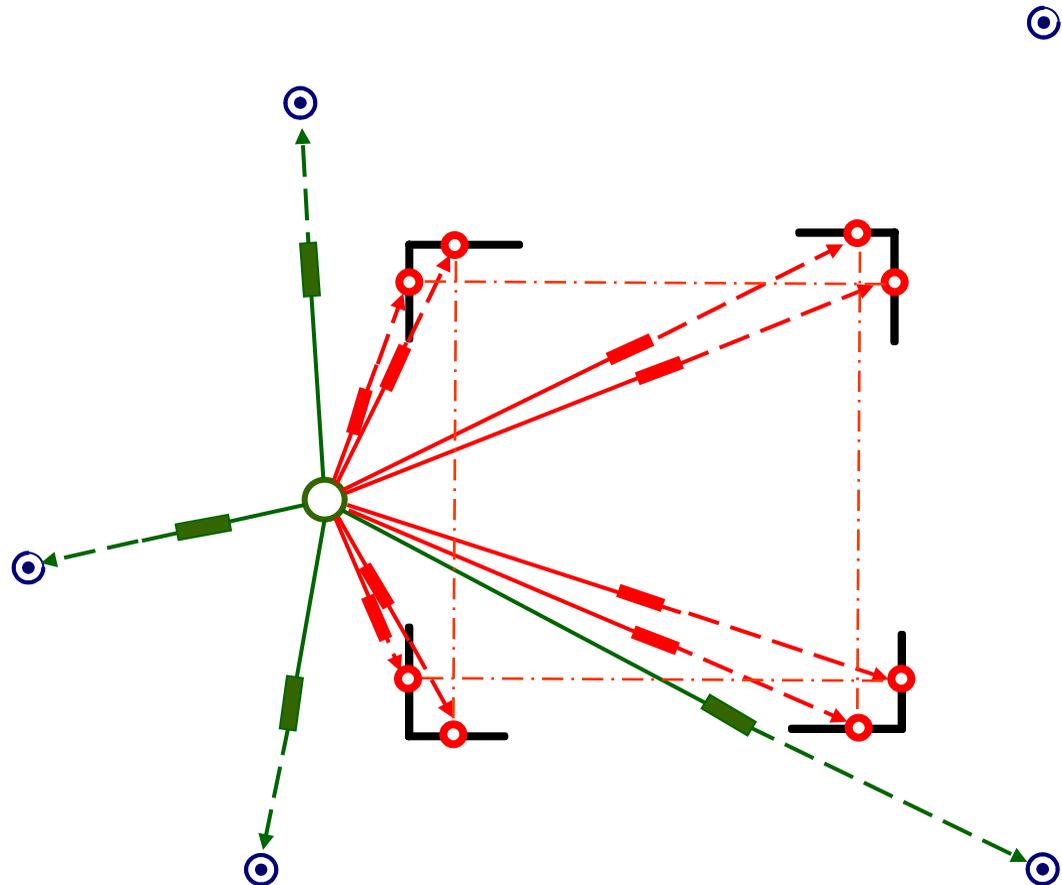
Lotgerät



Tachymeter

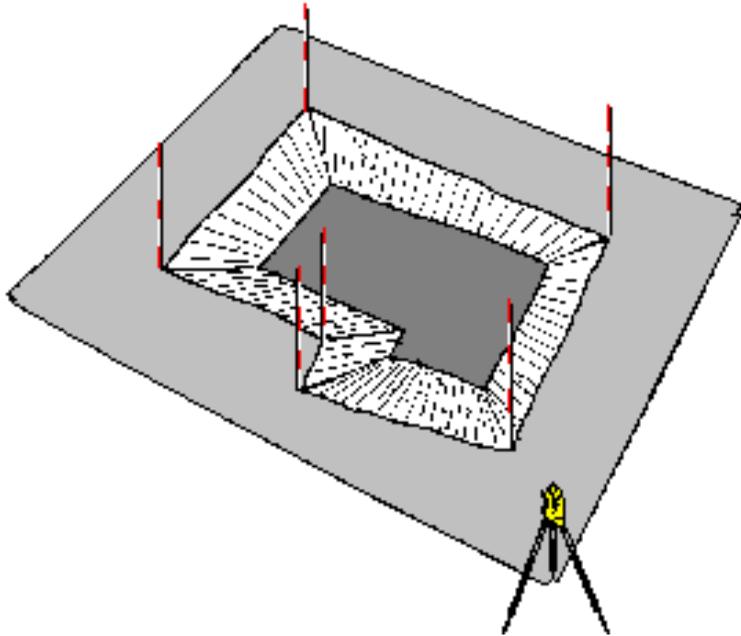


Richtlaser



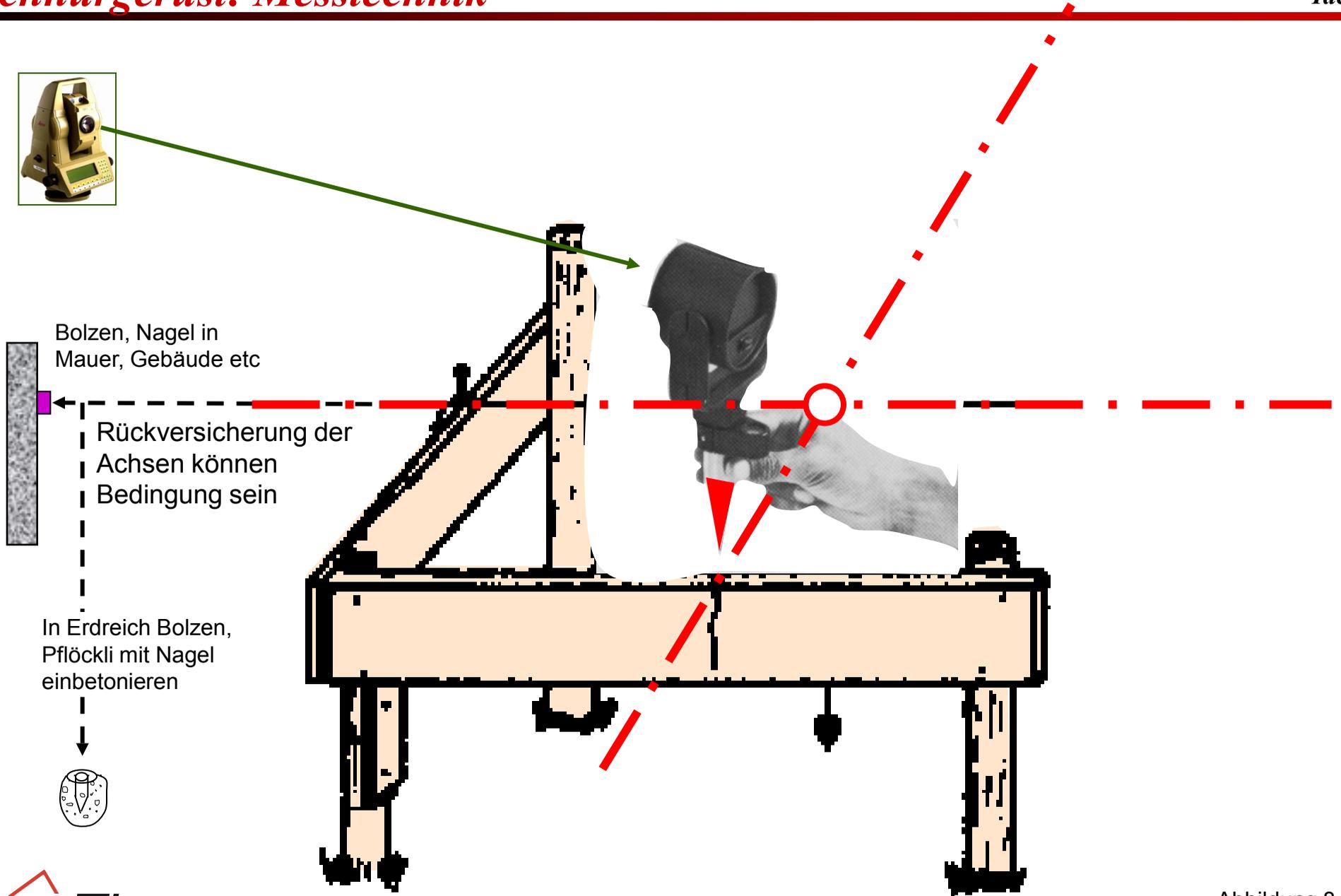
- Freie Stationswahl
- Koordinatenmässig bekannte Punkte
- Gesuchte Achspunkte auf Schnurgerüst

## 1. Absteckung für den Aushub der Baugrube



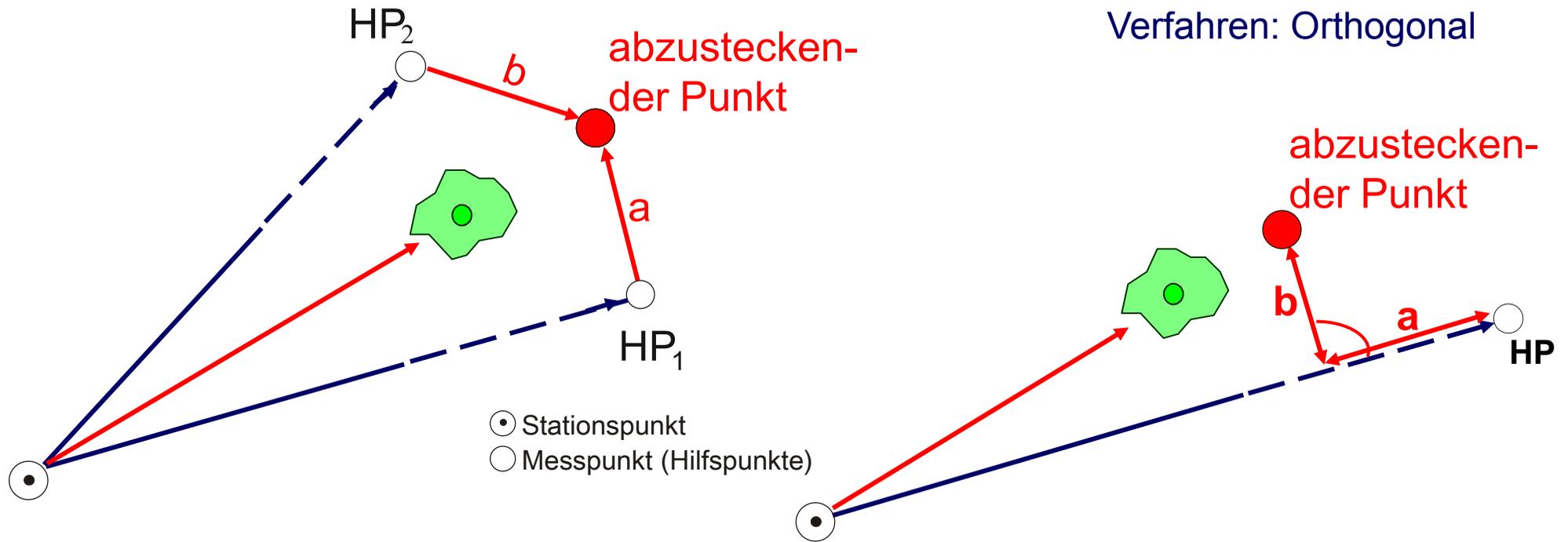
## 2. Absteckung des Schnurgerüsts für die Erstellung des Gebäudes (Gebäudeachsen)





Verfahren: Bogenschlag

Verfahren: Orthogonal



Die Distanzen  $a + b$  werden vom Instrument angegeben

*Ende*