

# 1 Beinachse

## Ganzbeinaufnahme

Grundlage für die radiologische Analyse der Beinachse ist die Ganzbeinaufnahme im a.-p. Strahlengang.

Um die Beinachse korrekt zu bestimmen, ist die parallele Ausrichtung der Femurkondylen zum Röntgenmedium Voraussetzung. Dies wird durch ventrales Ausrichten der Patellae bei neutraler Stellung beider Kniegelenke erreicht. Wichtigstes Qualitätskriterium der Ganzbeinaufnahme ist die Zentrierung der Patellae zwischen den Femurkondylen (Abb. 1.1).

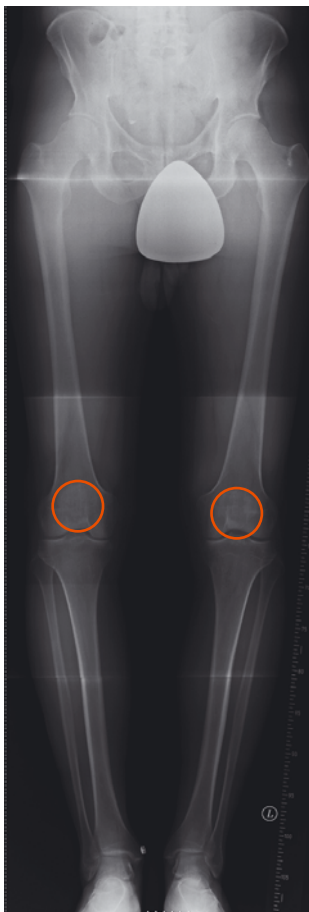


Abb. 1.1 Ganzbeinaufnahme im a.-p. Strahlengang mit regelrecht zwischen den Femurkondylen zentrierter Patella.

Im Allgemeinen geht dies mit einer Stellung der Füße in 8–10° Außenrotation einher. Bei Torsionsfehlstellungen der Tibia, die zur Lateralisierung oder Medialisierung der Patella führen, wird die Position des Gelenks durch Innen- oder Außenrotation des Unterschenkels korrigiert, sodass die Patella nach ventral zeigt (unabhängig von der Position der Füße; Abb. 1.2).

An der unteren Extremität unterscheidet man anatomische und mechanische Achsen:

- **Anatomische Achsen (Abb. 1.3):** Die anatomischen Achsen von Femur und Tibia verlaufen mittldiaphysär und

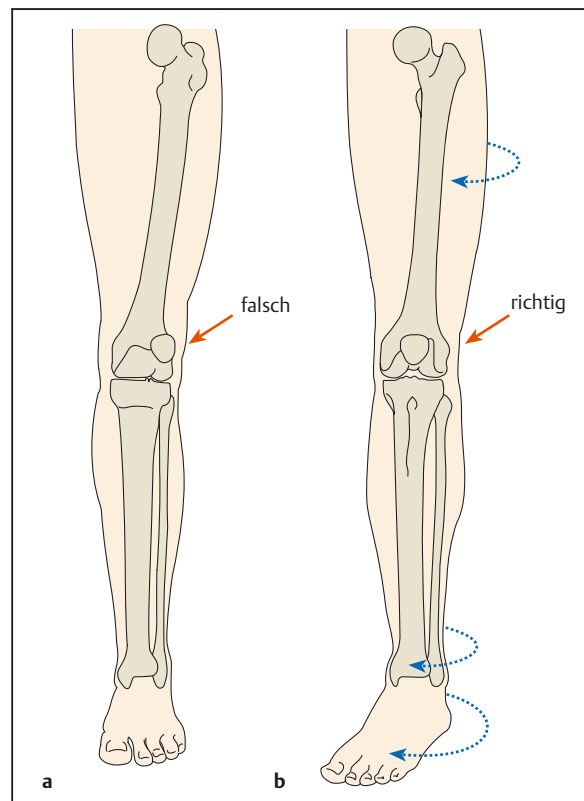


Abb. 1.2 a, b Korrektur von Torsionsfehlstellungen der Tibia bei der Ganzbeinaufnahme. Um bei der Ganzbeinaufnahme eine parallele Positionierung von Femurkondylen und Röntgenfilm zu erreichen, wird die Patella nach ventral ausgerichtet. Drehfehler des Unterschenkels (a) werden durch Innen- oder Außenrotation des Unterschenkels korrigiert (b).

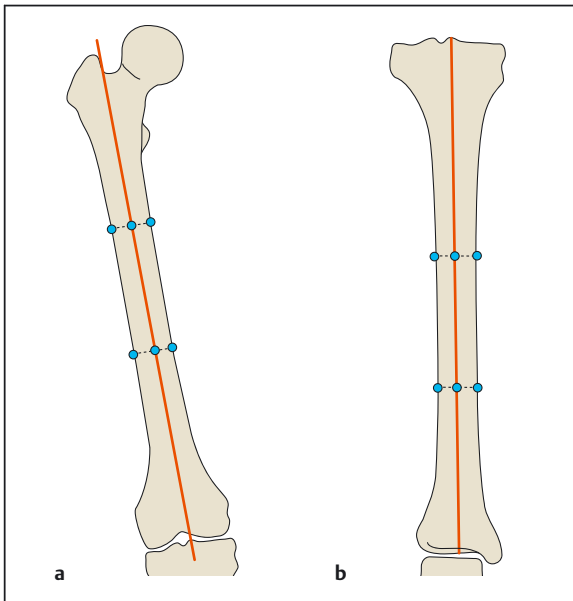


Abb. 1.3 a, b Anatomische Achsen der unteren Extremität.

a Femur.

b Tibia.

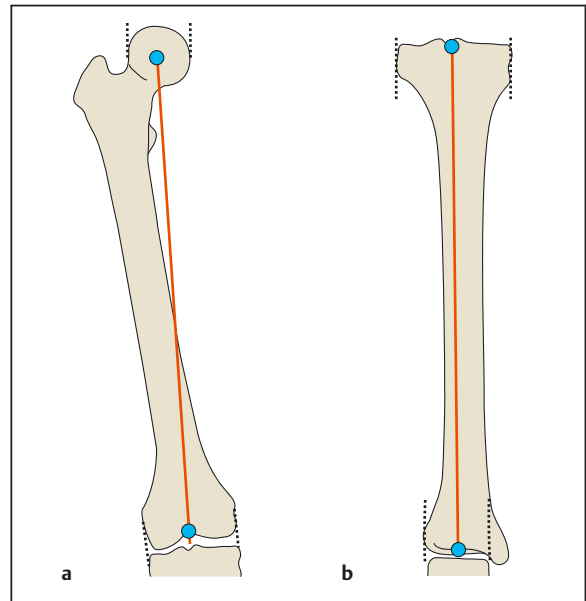
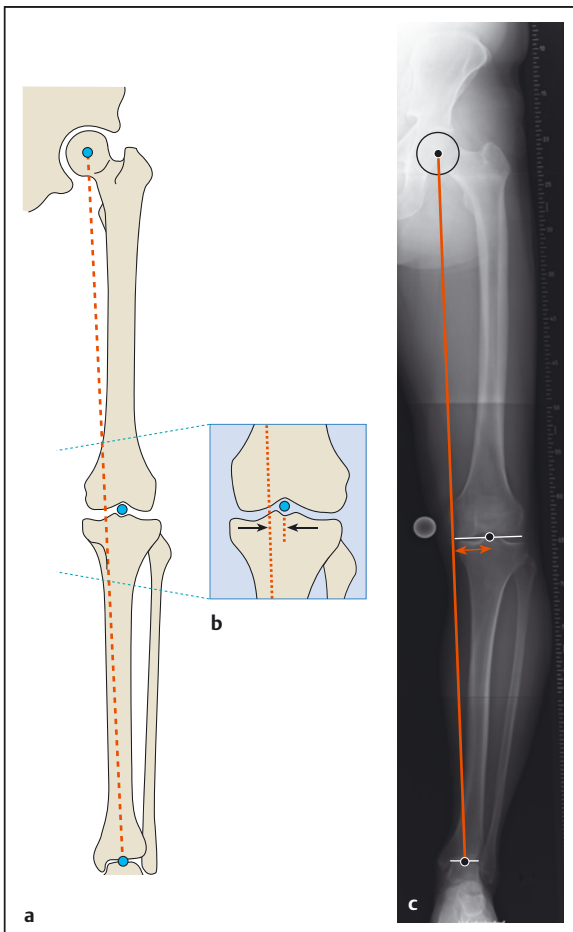


Abb. 1.4 a, b Mechanische Achsen der unteren Extremität.

a Femur.

b Tibia.



werden durch die Mittelpunkte zweier möglichst weit voneinander entfernter Senkrechten zum Schaft festgelegt.

- **Mechanische Achsen (Abb. 1.4):** Die mechanischen Achsen von Femur und Tibia werden durch die Mittelpunkte der angrenzenden Gelenke festgelegt. Die mechanischen Achsen von Femur und Tibia bilden physiologischerweise einen Varuswinkel von  $1,2^\circ$ .

## Mechanische und anatomische Beinachse

### ■ Mechanische Beinachse (Mikulicz-Linie, Traglinie)

Die mechanische Beinachse (Abb. 1.5) wird auf der Ganzbeinaufnahme im a.-p. Strahlengang ermittelt. Die Achse wird durch den Mittelpunkt des Hüftgelenks (Femurkopfmittelpunkt) und durch das Zentrum des oberen Sprunggelenks (Mittelpunkt der distalen tibialen Gelenkfläche) gelegt. Die Traglinie sollte etwas medial des Kniegelenkmittelpunkts verlaufen; gemessen wird die Abweichung vom Mittelpunkt des Gelenks nach lateral bzw. medial in Millimetern (mm).

### ◀ Abb. 1.5 a – c Mechanische Beinachse (Traglinie, Mikulicz-Linie).

Die Achse verläuft durch den Mittelpunkt des Femurkopfs und durch den Mittelpunkt der distalen tibialen Gelenkfläche.

a Schematische Darstellung.

b Vergrößerung des schematischen Verlaufs der Achse durch das Kniegelenk.

c Ermittlung der Achse auf der Röntgenaufnahme.

### Mechanische Beinachse

- Normwerte (mediale Achsabweichung):  $4 \text{ mm} \pm 4 \text{ mm}$  (nach Bhavre u. Mitarb.) bzw.  $9 \text{ mm} \pm 7 \text{ mm}$  (nach Paley u. Mitarb.)
- Genu valgum: Abweichung darüber hinaus ( $> \text{Normwert} - \text{Standardabweichung}$ ) nach lateral
- Genu varum: Abweichung darüber hinaus ( $> \text{Normwert} + \text{Standardabweichung}$ ) nach medial

! Physiologischerweise besteht eine geringe Valgusstellung zwischen anatomischer Femur- und Tibiaachse. Eine komplett gerade Beinachse ist daher als unphysiologisch zu bewerten. Wenn der femorotibiale Winkel negativ wird, liegt ein Genu varum vor.

### Anatomische Beinachse

Die anatomische Beinachse (Abb. 1.6) wird auf der Ganzbeinaufnahme im a.-p. Strahlengang beurteilt. Es wird der nach oben spitze Winkel zwischen den anatomischen Femur- und Tibiaachsen gemessen.

### Anatomische Beinachse

- Normwerte:  $6,85^\circ \pm 1,4^\circ$
- Genu valgum:  $> 8,3^\circ$
- Genu varum:  $< 0^\circ$

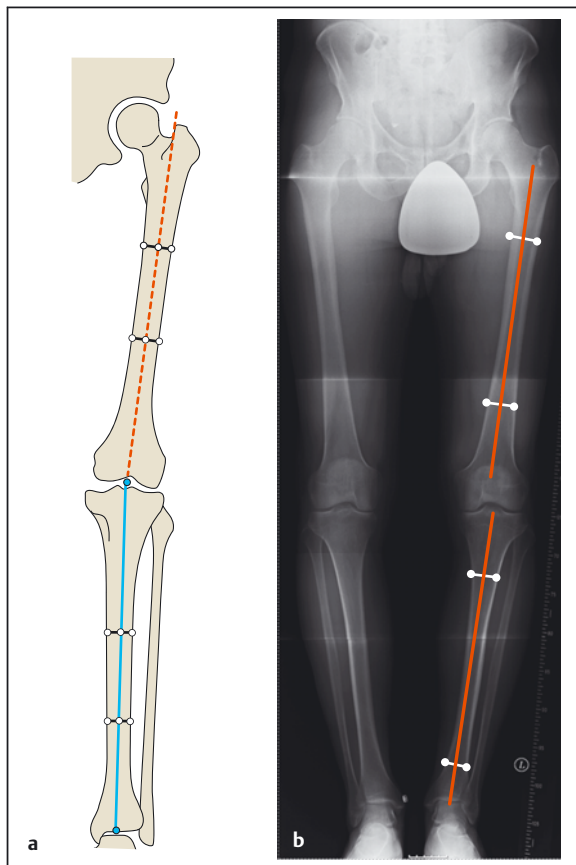


Abb. 1.6a, b **Anatomische Beinachse.** Die anatomische Beinachse wird durch die Femur- und die Tibiaschaftachse festgelegt.  
a Schematische Darstellung.  
b Ermittlung der Achse auf der Röntgenaufnahme.

### Grundlegende Messverfahren für die Planung von Osteotomien

Um die einer Achsfehlstellung zugrunde liegende Deformität weiter zu analysieren, werden die sog. Gelenkwinkel berechnet. Bezugslinien für die Messung der Gelenkwinkel sind die Basislinien der Gelenke, die entsprechend Abb. 1.7 festgelegt werden. Die Winkel werden zwischen den Basislinien und den anatomischen bzw. mechanischen Achsen gemessen. Die von Paley eingeführte Nomenklatur erlaubt es, anhand der Abkürzung des Gelenkwinkels genau auf die durchgeführte Messung zurückzuschließen. Dabei steht als 1. Buchstabe „m“ für die mechanische und „a“ für die anatomische Achse als Bezugsachse. Der 2. Buchstabe gibt an, ob der Winkel „M“ = medial oder „L“ = lateral gemessen wurde. Der nächste Buchstabe zeigt, ob der proximale („P“) oder der distale Gelenkwinkel („D“) von Femur („F“) oder Tibia („T“) ge-

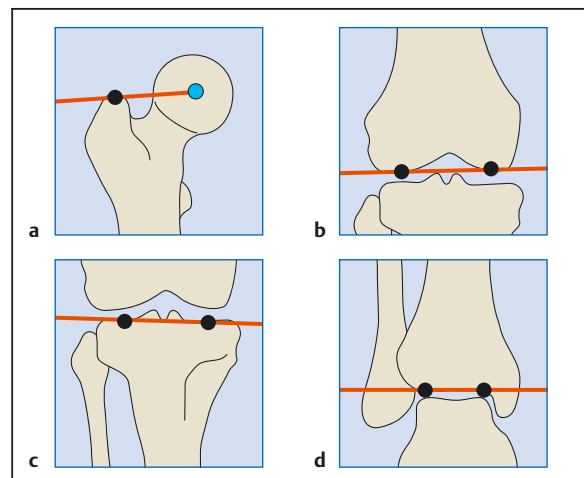
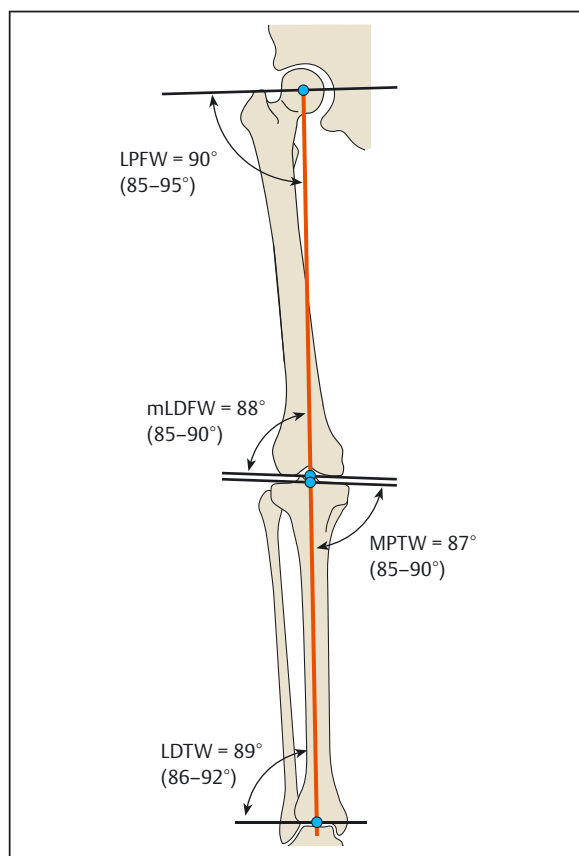
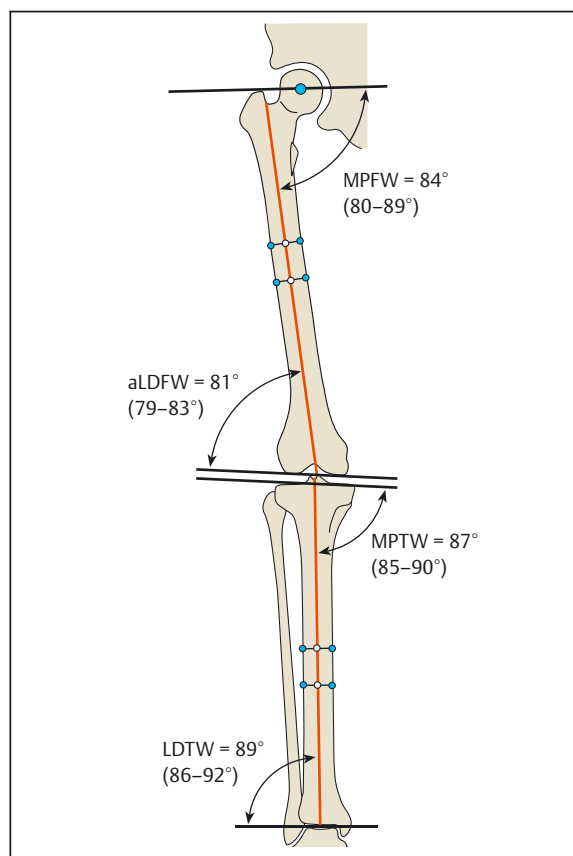


Abb. 1.7 a–d **Darstellung der Basislinien der Gelenke, wie sie an der unteren Extremität eingezeichnet werden, um die Gelenkwinkel zu bestimmen.**

- a Proximale Femur.
- b Distale Femur.
- c Proximale Tibia.
- d Distale Tibia.



**Abb. 1.8 Gelenkwinkel nach Paley in Bezug zu den mechanischen Achsen von Femur und Tibia.** Angegeben sind die Normwerte mit den entsprechenden Streubereichen in Klammern.  
 LDTW = lateraler distaler Tibiawinkel  
 LPFW = lateraler proximaler Femurwinkel  
 mLDFW = mechanischer lateraler distaler Femurwinkel  
 MPTW = medialer proximaler Tibiawinkel



**Abb. 1.9 Gelenkwinkel nach Paley in Bezug zu den anatomischen Achsen von Femur und Tibia.** Angegeben sind die Normwerte mit den entsprechenden Streubereichen in Klammern.  
 aLDFW = anatomischer lateraler distaler Femurwinkel  
 LDTW = lateraler distaler Tibiawinkel  
 MPFW = medialer proximaler Femurwinkel  
 MPTW = medialer proximaler Tibiawinkel

**Tabelle 1.1** Normwerte und Streubereiche der Gelenkwinkel nach Paley.

Winkel		Normwert (°)	Streuung (°)
aMPFW	anatomischer medialer proximaler Femurwinkel	84	80 – 89
mLPFW	mechanischer lateraler proximaler Femurwinkel	90	85 – 95
mLDFW	mechanischer lateraler distaler Femurwinkel	88	85 – 90
aLDFW	anatomischer lateraler distaler Femurwinkel	81	79 – 83
MPTW	medialer proximaler Tibiawinkel	87	85 – 90
LDTW	lateraler distaler Tibiawinkel	89	86 – 92

messen wurden. Da die anatomische und die mechanische Achse der Tibia in der Regel parallel verlaufen, kann am Unterschenkel der 1. Buchstabe weggelassen werden.

Der mediale und der laterale Winkel in Bezug auf eine Achse ergänzen sich logischerweise auf 180°. Es wird normalerweise der Winkel von beiden angegeben, dessen Normwert unter 90° liegt. Am proximalen Femur wird übereinkunftsgemäß der Winkel zur anatomischen Achse

medial und der Winkel zur mechanischen Achse lateral gemessen.

Es ergeben sich die in **Abb. 1.8**, **Abb. 1.9** und **Tab. 1.1** dargestellten Winkel, die in Bezug zu den Basislinien der Gelenke bei der Planung von orthopädischen Korrekturosteotomien herangezogen werden.

Paley D. Principles of deformity correction. Berlin: Springer; 2001

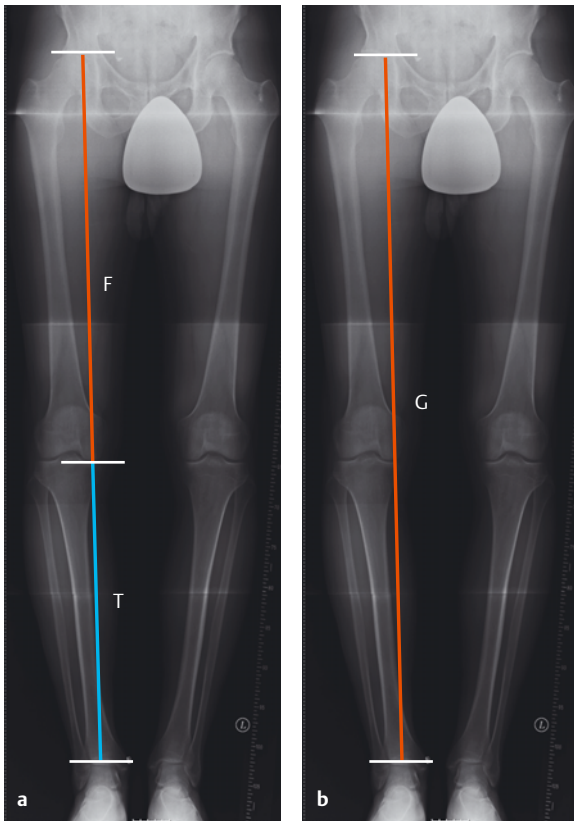


Abb. 1.10 a, b Beinlängenmessung in der Ganzbeinaufnahme.  
 a Bestimmung der Länge des Femurs (F) bzw. des Oberschenkels und der Tibia (T) bzw. des Unterschenkels.  
 b Bestimmung der Gesamteinlänge (G).

## Beinlänge

An der Ganzbeinaufnahme in standardisierter Aufnahmetechnik kann die Beinlänge folgendermaßen gemessen werden (Abb. 1.10): Durch Anlegen einer horizontalen Tangente an die obere Hüftkopfkontur wird der kranialste Punkt des Hüftkopfs festgelegt. Zwischen diesem Punkt und dem distalsten Punkt des medialen Femurkondylus, der durch eine horizontale Tangente an den medialen Femurkondylus festgelegt wird, wird die Femur- bzw. die Oberschenkelgröße gemessen. Die Unterschenkel- bzw. die Tibialänge wird zwischen dem distalsten Punkt des medialen Femurkondylus und dem Zentrum des distalen Tibiaplateaus bestimmt. Entsprechend wird die Gesamtlänge zwischen dem Oberrand des Hüftkopfs und dem Zentrum des Tibiaplateaus gemessen.

## Computertomografische Torsionswinkel- und Längenmessung

### Femurtorsion (AT-Winkel)

Zur Messung des AT-Winkels werden axiale CT-Aufnahmen des proximalen und distalen Femurs in Gelenkhöhe angefertigt. Dabei wird die Untersuchung in Neutralstellung der unteren Extremität durchgeführt. Um die Schenkelhalsachse möglichst genau und reproduzierbar festzulegen, sollten Aufnahmen mit großer Schichtdicke angefertigt werden (empfehlenswert ist eine Schichtdicke von 10 mm).

Der AT-Winkel wird zwischen der Schenkelhalsachse und einer an die Hinterkante der Femurkondylen angelegten Tangente gemessen (Abb. 1.11). Die Tangente an die Hinterkante der Femurkondylen wird auf der Schicht eingezeichnet, auf der die Femurkondylen mit dem größten Durchmesser zur Darstellung kommen.

Zur Festlegung der Schenkelhalsachse wurden unterschiedliche Methoden vorgeschlagen:

- Die Achse kann approximativ auf einer Schicht festgelegt werden, auf der Anteile sowohl des Femurkopfs als auch des Schenkelhalses angeschnitten sind (s. Abb. 1.11).
- Um die Schenkelhalsachse genauer darzustellen, können, soweit das mit der zur Verfügung stehenden Software möglich ist, aneinander grenzende CT-Schichten auf dem Befundungsmonitor addiert bzw. deren Mittelwert berechnet werden.
- Nach Murphy u. Mitarb. wird die Schenkelhalsachse am genauesten als Gerade konstruiert, die durch den Hüftkopfmittelpunkt und durch die Mitte der Schenkelhalsbasis verläuft (Abb. 1.12). Die Basis des Schenkelhalses kommt auf einer relativ weit kaudal gelegenen Schicht als Ellipse zur Abbildung. Der Mittelpunkt dieser Ellipse und der Hüftkopfmittelpunkt, der mittels Kreisschablone konstruiert wird, werden zur Schenkelhalsachse auf addierten Bildern verbunden.

Um die Auswertung zu vereinfachen, können die Winkel, die am proximalen und distalen Femur bestimmt werden, zunächst gegen eine Horizontale ausgemessen und dann entsprechend addiert bzw. subtrahiert werden. Wenn die Winkel zur Horizontalen das gleiche Vorzeichen tragen, werden sie subtrahiert; tragen sie unterschiedliche Vorzeichen, wie in Abb. 1.11, werden sie addiert. Nach Dihlmann und in anatomischen Lehrbüchern wird folgender Normwert für die Antetorsion des Schenkelhalses angegeben:

### Schenkelhalsachse

- Normwert:  $\alpha = 10 - 15^\circ$  Antetorsion