

Dominiek Beckers Jos Deckers

# Ganganalyse und Gangschulung

Therapeutische Strategien für die Praxis

Mit einem Geleitwort von J. Cluitmans und C. Pons



Springer

## 3 Normales Gangbild

### 3.1 Einleitung

#### Definition

Die normale menschliche Bewegung basiert auf dem komplexen Zusammenspiel der Kräfte des Körpers und der von außen auf den Körper einwirkenden Kräfte (J. Hughes 1979).

Das *Gehen* zeichnet sich durch wiederholte rhythmische und alternierende Bewegungen von Extremitäten und Rumpf aus und resultiert normalerweise in einer nach vorne gerichteten Verlagerung des Schwerpunkts.

Der bipedale Gang ist durch den zyklischen Wechsel von monopedaler Phase (ein Fuß hat Bodenkontakt) und bipedaler Phase (beide Füße haben gleichzeitig Bodenkontakt) gekennzeichnet. Die bipedale Phase unterscheidet das Gehen vom Laufen.

Das *Laufen* zeichnet sich ebenfalls durch eine zyklische Bewegung aus, bei der die monopedalen Phasen mit den Schwerephasen (kein Fuß hat Bodenkontakt) wechseln.

Obwohl das menschliche Gangmuster viele generelle Kennzeichen enthält, die in diesem Kapitel noch weiter besprochen werden sollen, sind kleine individuelle Variationen zulässig und normal. Es ist sogar möglich, eine Person lediglich an diesen individuellen Gangbildabweichungen zu erkennen.

Nach Rozendal (1969) ist das Gehen eine persönliche Art des Bewegens, die auf ein individuelles Ziel gerichtet ist und auf individuelle Weise ausgeführt wird.

#### Wichtig



Das individuelle Gangmuster eines jeden Menschen spiegelt seine individuelle Lösung des Problems: „Wie gelange ich mit einem Minimum an Anstrengung, mit ausreichend Stabilität sowie einem guten Erscheinungsbild von einem Ort zum anderen?“

Die Wichtigkeit der hier im einzelnen aufgeführten Faktoren ist für jeden unterschiedlich; während sich einige mehr mit

dem Erreichen ihres Ziels beschäftigen, richten andere ihre Aufmerksamkeit mehr auf ihr Erscheinungsbild während des Gehens (J. Hughes 1979).

Die nachfolgende Beschreibung basiert vor allem auf den Ausführungen von Perry (1992), Winter (1988) und Inman et al. (1981), anerkannten Wissenschaftlern auf dem Gebiet der Ganganalyse.

### 3.2 Schwerpunkt

Der Körperschwerpunkt stellt einen „gedachten“ Punkt im Körper dar, an dem das gesamte Körpergewicht zentralisiert sein soll.

Der Körperschwerpunkt wurde mit Hilfe von einigen Experimenten, die sowohl an toten als auch mit lebenden Personen durchgeführt wurden, bestimmt. Der Körperschwerpunkt liegt auf der senkrechten Mittellinie des Körpers ventral des 2. sakralen Wirbels bzw. vom Boden ausgehend auf 55% der gesamten Körperlänge der jeweiligen Person.

### 3.3 Anatomische Stehhaltung

Im Gegensatz zum C-förmigen Wirbelsäulenverlauf der Vierbeiner zeichnet sich die menschliche Wirbelsäule durch einen S-förmigen Verlauf aus. Aufgrund dieser Wirbelsäulenstruktur ist es dem Menschen möglich, mit einem Minimum an Muskelaktivität die aufrechte Haltung des Körpers zu erhalten. In aufrecht stehender Haltung und von der Seite her betrachtet, passiert die Lotschnur das Ohr und das Schultergelenk und verläuft dann etwas ventral vor dem Hüftgelenk, dem Kniegelenk und dem Fußgelenk Richtung Boden.

### 3.4 Gangzyklus

Während des Gehens befindet sich abwechselnd ein Bein in der Standphase (stance phase) und das andere in der Schwungphase (swing phase; s. Abb. 3.1).

Der Begriff „Gangzyklus“ beschreibt die gesamte Aktivität, die zwischen dem ersten Aufsetzen der Ferse (Fersenkontakt, heel strike) und dem darauffolgenden Fersenkontakt des gleichen Fußes stattfindet. Ein vollständiger Gangzyklus umfaßt eine *Standphase* (stance phase) und eine *Schwungphase* (swing phase; s. Abb. 3.2).

#### Definition

Abb. 3.1. Gangzyklus (skizziert)

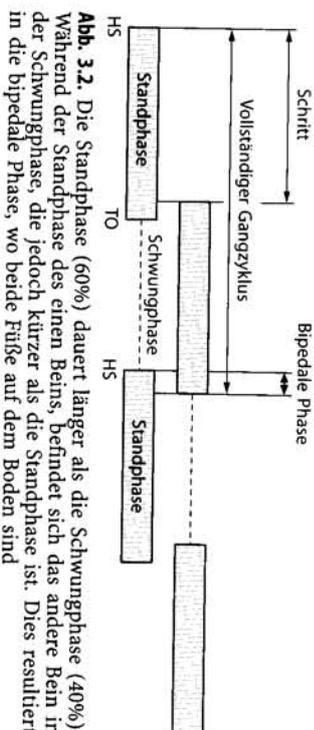
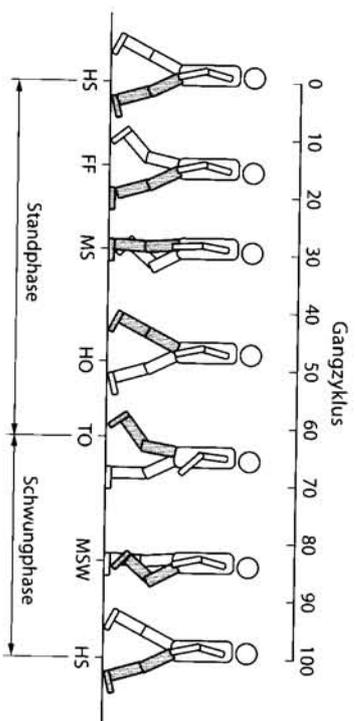


Abb. 3.2. Die Standphase (60%) dauert länger als die Schwungphase (40%). Während der Standphase des einen Beins, befindet sich das andere Bein in der Schwungphase, die jedoch kürzer als die Standphase ist. Dies resultiert in die bipedale Phase, wo beide Füße auf dem Boden sind

### Standphase (stance phase)

Die Standphase (s. Abb. 3.3) beginnt mit dem Fersenkontakt und endet in dem Moment, in dem die Zehen desselben Fußes den Boden verlassen (Zehenablösung, toe-off). Im Verlauf der Standphase, genauer gesagt in der mittleren Standphase, findet die Abrollbewegung des Fußes hauptsächlich im lateralen Fußbereich statt. Im Anschluß an die mittlere Standphase wird dann, bis zum Ende der Standbeinphase, der Vorfuß stärker belastet.

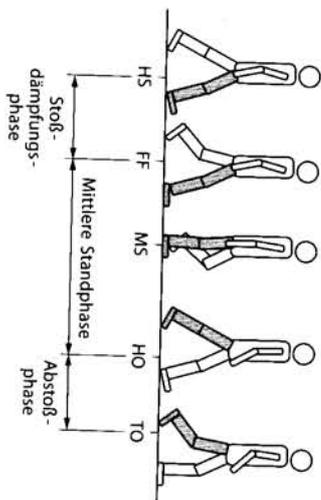
Die Standphase wird darüber hinaus in 3 einzelne Phasen unterteilt (s. Abb. 3.4 a-g):

- Stoßdämpfungsphase (shock absorption phase),
- mittlere Standphase (mid-stance phase),
- Abstoßphase (push-off phase).

In der *Stoßdämpfungsphase* (Abb. 3.4 a,b) wird neben der Verlagerung des Körpergewichts auf das vordere Bein, auch die ab-

#### Definition

**Abb. 3.3.**  
Standphase: vom Fer-  
senkontakt bis zur  
Zehenablösung



wärts gerichtete Verlagerung des Körperschwerpunkts abgebremst. Diese Phase umfaßt den Fersenkontakt und den Fußsohlen-Boden-Kontakt. Während dieser Phase hat insbesondere der Mittelpunkt der Ferse Kontakt mit dem Boden. Je mehr die Ferse belastet wird, desto größer wird die Kontaktfläche zwischen Ferse und Boden.

In der *mittleren Standphase* (Abb. 3.4 b-d) lastet ein Großteil des Körpergewichts auf dem Standbein. Die Phase beginnt mit dem Fußsohlen-Boden-Kontakt und endet mit dem Beginn der Fersenablösung.

In der *Abstoßphase* (Abb. 3.4 d, e) bewegt sich der Körper vor den Fuß; sie umfaßt die Fersen- und die Zehenablösung.

Der Verlauf dieser 3 Phasen wird von 4 spezifischen Momenten begleitet:

- Fersenkontakt (heel strike): der Moment, in dem die Ferse den Boden berührt.
- Fußsohlen-Boden-Kontakt (foot flat): der Moment, in dem die gesamte Fußsohle auf dem Boden aufliegt.
- Fersenablösung (heel-off): der Moment, in dem sich die Ferse vom Boden löst.
- Zehenablösung (toe-off): der Moment, in dem die Zehen den Boden verlassen.

#### Schwungphase (swing phase)

Die Schwungphase (Abb. 3.4 e-g) beginnt in dem Moment, in dem die Standphase endet. Sie dauert von der Zehenablösung bis zum erneuten Fersenkontakt desselben Fußes und wird in 2 große unterschiedliche Phasen aufgeteilt:

- die Beschleunigungsphase und
- die Abbremsphase.

#### Definition

#### Definition

Beide Phasen werden durch die mittlere Schwungphase voneinander getrennt. In der *mittleren Schwungphase* befinden sich beide Füße mit den Fersen fast nebeneinander unterhalb des Körpers.

Die *Beschleunigungsphase* verläuft von der Zehenablösung bis zur mittleren Schwungphase. In dieser Phase bewegt sich das Schwingbein beschleunigt nach vorne mit dem Ziel, das Körpergewicht nach vorne zu verlagern. Die *Abbremsphase* verläuft dann von der mittleren Schwungphase bis zum Fersenkontakt. Hier wird die nach vorne gerichtete Bewegung des Körpers abgebremst und der Fuß in einer kontrollierten Bewegung am Boden aufgesetzt.

#### Doppelstand

(*double-imb support*) (Abb. 3.4 a, b und d, e)

Der Begriff „Doppelstand“ umschreibt die Phase, in der beide Füße gleichzeitig den Boden berühren. Der eine Fuß befindet sich in der Fersenablösung bzw. Zehenablösung und der andere in der Phase Fersenkontakt bzw. Fußsohlen-Boden-Kontakt.

Die Dauer dieser Phase ist direkt von der *Gehgeschwindigkeit* abhängig. Mit steigender Gehgeschwindigkeit verringert sich die Zeit des Doppelstands und umgekehrt. Die normale Schrittfrequenz eines männlichen Erwachsenen beträgt ungefähr 112 Schritte pro Minute.

Das *Laufen* unterscheidet sich vom *Gehen* durch das Wegfallen des Doppelstands. Ab einer Schrittfrequenz von ungefähr 140 Schritten pro Minute fängt ein männlicher Erwachsener an zu laufen. Die Doppelstandphase wird dann durch die *Schwelphase* ersetzt.

**Abb. 3.4 a-g.**  
Gangzyklus, Gesamtab-  
lauf

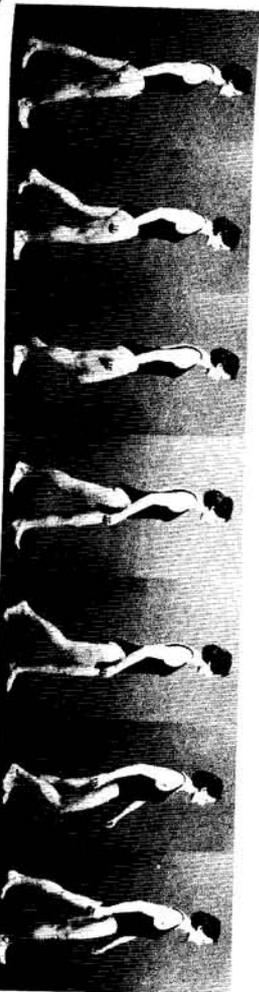


Abb. 3.4 a. Fersekontakt rechts

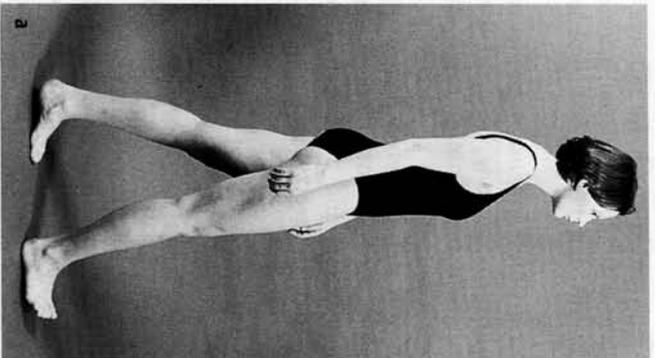


Abb. 3.4 b. Fußsohlen-Boden-Kontakt rechts

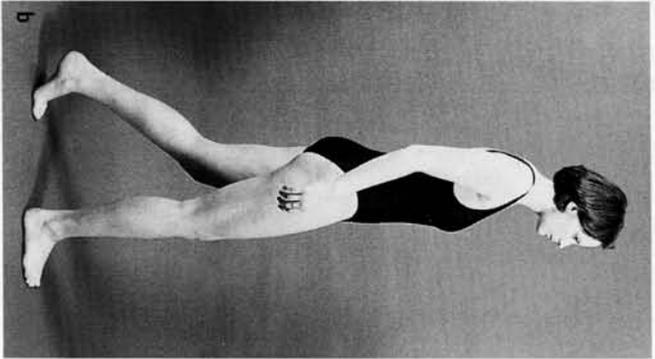


Abb. 3.4 c. Mittlere Standphase rechts

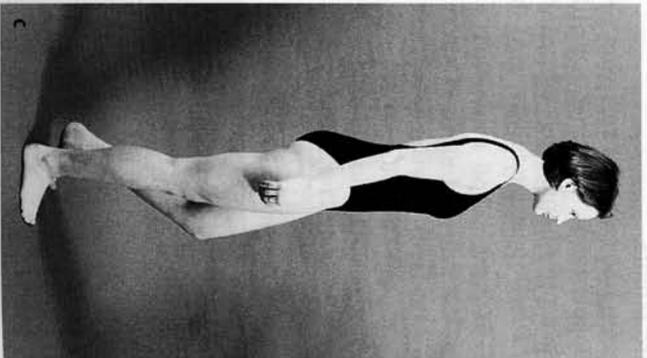


Abb. 3.4 d. Ferseablösung rechts

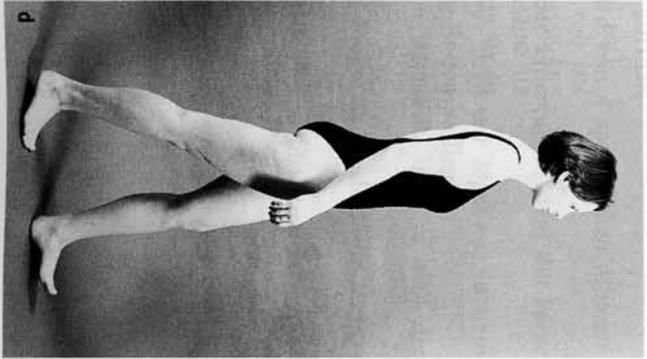


Abb. 3.4 e. Zehenablösung rechts

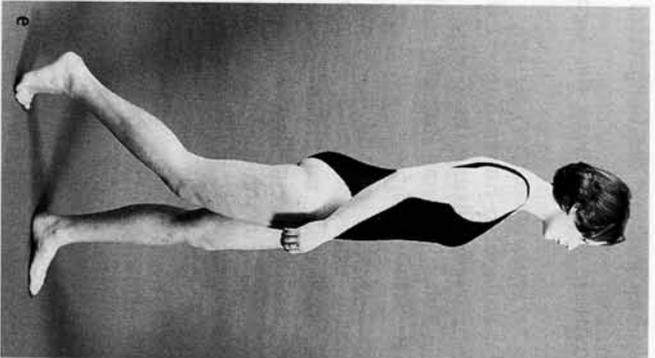


Abb. 3.4 f. Mittlere Schwungphase rechts

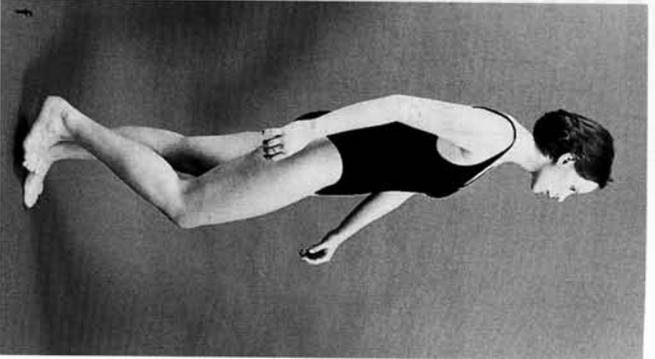
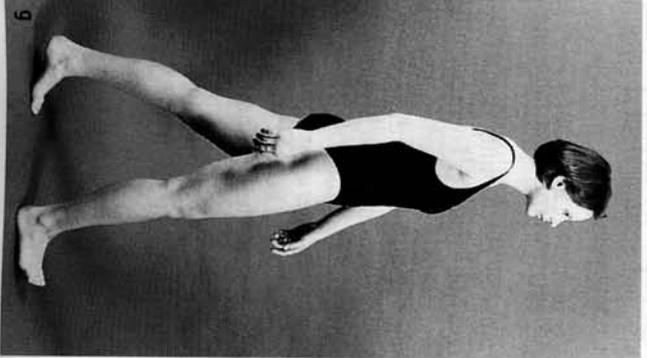


Abb. 3.4 g. Fersekontakt rechts



**Wichtig****Prozentuale Beschreibung des Gangzyklus**

Eine prozentuale Beschreibung des Gangzyklus ergibt folgende Werte:

- bei 0%: Fersenkontakt (heel strike),
- bei 15%: Fußsohlen-Boden-Kontakt (foot flat),
- bei 45%: Fersenablösung (heel-off),
- bei 60%: Zehenablösung (toe-off) und
- bis 100%: Schwungphase.

Normalerweise findet während ungefähr 15% des gesamten Gangzyklus (bei einer normalen Gehgeschwindigkeit von 112 Schritten pro Minute) ein Doppelstand statt. Er liegt zwischen dem Fersen- und Fußsohlen-Boden-Kontakt des einen und der Fersen- und Zehenablösung des anderen Beins.

**3.5****Gangmustercharakteristika beim kompletten Gangzyklus**

Für die Beurteilung des Gangbilds sind folgende Merkmale relevant:

- die vertikale Körperschwerpunktverlagerung,
- die laterale Körperschwerpunktverlagerung,
- die Beckenrotation,
- die axiale Rotation,
- die Bewegung des Beckens bezogen auf die Horizontale,
- die Fuß- und Sprunggelenksbewegungen und
- die Armbewegungen.

**Vertikale Körperschwerpunktverlagerung**

Das rhythmische Hoch- und Herunterbewegen des Körpers ist ein wichtiges Merkmal der Fortbewegung, wobei diese Bewegungen zunächst nur die Verlagerung des Körperschwerpunkts in der Senkrechten zeigen, die normalerweise ungefähr 5 cm beträgt. Der Körperschwerpunkt beschreibt bei der Fortbewegung eine leicht wellenförmige Linie. Die Höhepunkte der vertikalen Körperschwerpunktverlagerung befinden sich bei 25% und 75% des Gangzyklus. Diese Punkte stimmen jeweils mit der gleichzeitig verlaufenden mittleren Standphase des Standbeins und der mittleren Schwungphase des Schwungbeins überein. Der Körperschwerpunkt liegt in der Mitte des Gangzyklus bzw. bei 50% auf seinem tiefsten Niveau (während der Doppelstandperiode).

Die Verlagerung des Körperschwerpunkts steht im direkten Zusammenhang mit der Gehgeschwindigkeit. Je höher die Fortbewegungsgeschwindigkeit, desto größer die senkrechte Verlagerung und desto höher der Energieverbrauch.

**Wichtig****Wichtig**

Der wichtigste, klinisch zu beobachtende Faktor, der dieses Bewegungsmaß auf 5 cm beschränkt, ist die koordiniert verlaufende Knie-Sprunggelenk-Funktion. Direkt nach dem Fersenkontakt, wenn das Knie noch vollkommen gestreckt ist, beginnt gleichzeitig mit der Kniebeugung die Plantarflexion im Sprunggelenk.

Die Körperschwerpunktverlagerung während des Gehens ist beispielsweise bei einem Patienten mit einer Oberschenkelprothese mit festgestelltem Knie weitaus größer und erfordert daher einen viel höheren Energieeinsatz als bei einem gesunden Menschen.

**Laterale Körperschwerpunktverlagerung**

Neben einer vertikalen kommt es beim Gehen auch zu einer lateralen Verlagerung des Körperschwerpunkts. Diese Schwerpunktverlagerung formt bei der graphischen Darstellung eine von links nach rechts verlaufende wellenförmige Linie, je nachdem welches Bein belastet wird.

Eine laterale Körperschwerpunktverlagerung hat die gleiche Form und Größe wie die Verlagerung in der Senkrechten.

Kombiniert man die vertikale und die horizontale Verlagerung und projiziert man beide in eine frontale Ebene, so ergibt sich eine vollständige 8er-Figur, die in ein Quadrat mit einer Seitenlänge von 5 cm paßt. Die laterale Verlagerung wird vorwiegend von der Schrittbreite bestimmt. Verbindet man auf jeder Seite je zwei aufeinanderfolgende vorher definierte Punkte der ersten Fersenkontaktphase, so erhält man bei gesunden Personen zwei parallel verlaufende Linien mit einem Zwischenabstand von 5-10 cm. Die Vergrößerung der Schrittbreite führt gleichzeitig zu einer größeren lateralen Verlagerung des Beckens. Hier könnte man z. B. an den Abduktionsschritt von Oberschenkelamputierten denken oder an die bewußt breiter gewählte Schrittbreite von Patienten mit Gleichgewichtsproblemen.

**Beckenrotation**

Um das Vorwärtsbewegen der Beine beim Gehen zu erleichtern, rotiert das Becken alternierend nach rechts und nach links vorne. Das Bewegungsausmaß beläuft sich insgesamt auf 8°, auf jeder Seite 4°.

**Axiale Rotation**

Die Beckenrotation verläuft gleichzeitig mit der axialen Rotation des Beins, wobei das Ausmaß der axialen Beinrotation von

der Bewegungsgeschwindigkeit abhängig ist. Bei normaler Gehgeschwindigkeit beträgt die gesamte Rotation  $22^\circ$ . Mit steigender Gehgeschwindigkeit kann sich die Rotation bis auf ungefähr  $31^\circ$  vergrößern. Die axiale Rotation setzt sich folgendermaßen zusammen:

- $4^\circ$  Beckenrotation,
- $9^\circ$  Femurrotation und
- $9^\circ$  Tibiarotation.

Während der Schwungphase entwickelt sich eine interne axiale Rotation, die langsam bis zur Standphase mit vollständiger Belastung zunimmt. Im weiteren Verlauf wandelt sich die Rotationskomponente bis zu dem Augenblick, in dem der Fuß den Boden verläßt, in eine nach extern gerichtete axiale Rotation um. Darüber hinaus befindet sich der Vorfuß im ersten Drittel der Standphase in Eversion und bewegt sich dann ab dem zweiten Drittel der Standphase in die Inversion. Das vollständige Bewegungsausmaß von Inversion und Eversion liegt hier bei ungefähr  $6^\circ$ .

#### **Bewegung des Beckens bezogen auf die Horizontale**

Das Becken wird alternierend, in Abhängigkeit vom Standbein, angehoben und gesenkt. Das Bewegungsausmaß weist dabei normalerweise nicht mehr als  $5^\circ$  auf.

#### **Fuß- und Sprunggelenkbewegungen**

Die Sprunggelenkbewegungen verlaufen synchron zur vertikalen Körperschwerpunktverlagerung. Das bedeutet, daß das Sprunggelenk während des Verlaufs vom ersten Fersenkontakt bis zum Fußsohlen-Boden-Kontakt auf seine niedrigste Position sinkt und im Verlauf der Fersenablösung bis zur Zehenablösung seine höchste Position erreicht.

#### **Armbewegungen**

Die Bewegungen der Arme verlaufen entgegengesetzt zu den Beinbewegungen, wodurch entgegengesetzte Reaktionskräfte entstehen. Zur Erhaltung der Balance und der Symmetrie werden während des Gehens sowohl angepaßte Armbewegungen als auch Rumpfrotationsbewegungen eingesetzt.

Patienten mit bilateral ausgeführter Armamputation haben oftmals während des Stehens und Gehens Probleme mit der Balance. Dies basiert auf den fehlenden, aber notwendigen reziproken Bewegungen in der oberen Rumpfhälfte.

### **3.6**

#### **Analyse der Bewegungen in der sagittalen Ebene**

Im folgenden werden die Analysekriterien für die einzelnen Phasen des Gangzyklus aufgeführt, d. h. bezogen auf:

- den Fersenkontakt,
- die direkt auf den Fersenkontakt folgende Phase, den Fußsohlen-Boden-Kontakt,
- die mittlere Standphase,
- die Fersenablösung,
- die Zehenablösung,
- die Beschleunigungsphase,
- die mittlere Schwungphase und
- die Abbremsphase.

#### **Fersenkontakt (heel strike) (s. Abb. 3.5 a)**

Verlauf der Reaktionslinie (mit entsprechender Gelenkstellung):

- vor der Hüfte (Flexion),
- vor dem Knie (Extension) und
- vor dem Sprunggelenk.

**Hüfte:** Die Hüfte ist auf ungefähr  $25^\circ$  flektiert. Sowohl der M. gluteus maximus als auch die Ischiokruralen verhindern eine weitere Flexion.

**Knie:** Das Knie ist in dieser Phase vollständig gestreckt. Im weiteren Bewegungsverlauf kommt es aufgrund der Aktivität der Ischiokruralen zu einer leichten Knieflexion.

**Sprunggelenk:** Das Sprunggelenk befindet sich zu Beginn in der Nullstellung. Die darauf folgende Plantarflexionsbewegung wird von den exzentrisch kontrahierenden Dorsalexensoren kontrolliert.

#### **Direkt auf den Fersenkontakt folgend (s. Abb. 3.5 b)**

Verlauf der Reaktionslinie (mit entsprechender Gelenkstellung):

- vor der Hüfte (Flexion),
- hinter dem Knie (Flexion) und
- hinter dem Sprunggelenk (Plantarflexion).

**Hüfte:** Die Hüfte wird aufgrund der Aktivitäten des M. gluteus maximus und der Ischiokruralen in  $25^\circ$  Flexion gehalten.

**Knie:** Das Knie ist  $5^\circ$  flektiert und zieht während der Bewegung unter Kontrolle des M. quadriceps femoris weiter in die Flexion.

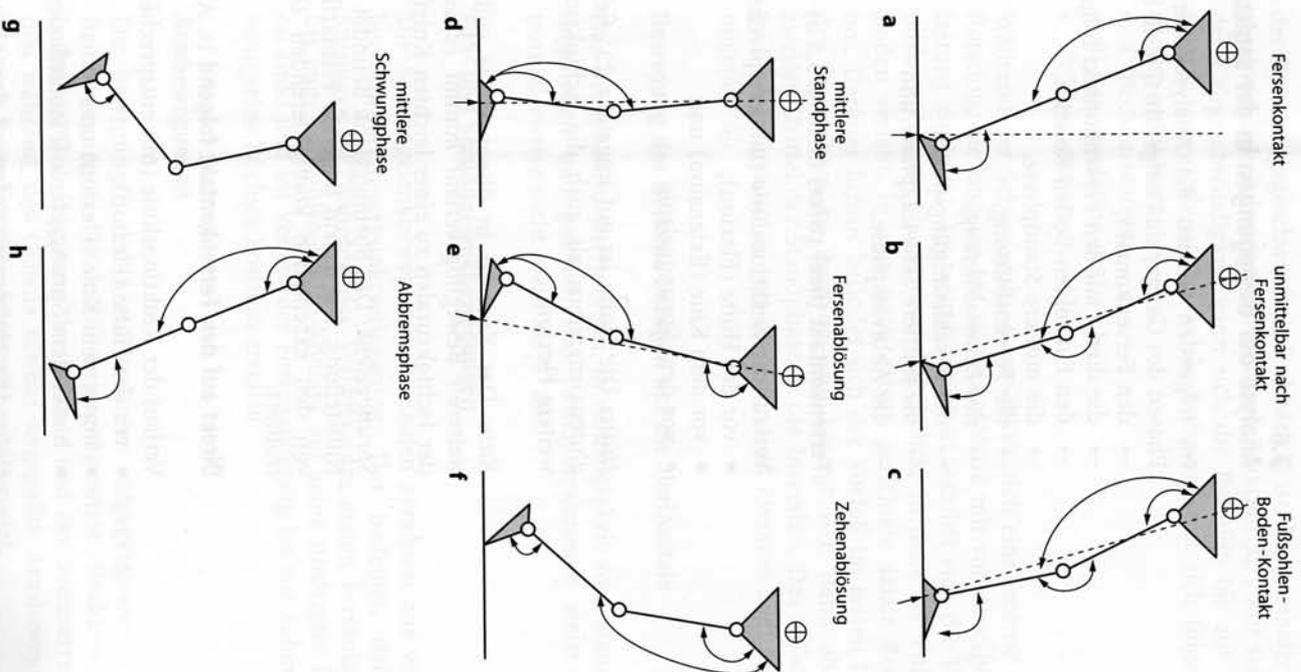


Abb. 3.5 a-h.  
Analyse der Bewegungen in der sagittalen Ebene

**Sprunggelenk:** Sprunggelenk befindet sich in 5° Plantarflexion. Der weitere Bewegungsverlauf in die Plantarflexion wird von den exzentrisch kontrahierenden Dorsalextensoren kontrolliert.

**Fußsohlen-Bodenkontakt (foot flat)** (s. Abb. 3.5 c)

Verlauf der Reaktionslinie (mit entsprechender Gelenkstellung):

- vor der Hüfte (Flexion),
- hinter dem Knie (Flexion) und
- hinter dem Sprunggelenk (Plantarflexion).

**Hüfte:** Die ungefähr 25° flektierte Hüfte wird nun durch die konzentrische Aktivität des M. gluteus maximus und der Ischiokruralen gestreckt.

**Knie:** Das Knie beugt zunächst bis auf 15° und erreicht kurz nach dem Fußsohlen-Bodenkontakt 20° Flexion. Anschließend beginnt die Knieextension. Der Flexionswinkel wird aktiv vom M. quadriceps femoris kontrolliert.

**Sprunggelenk:** Es befindet sich in 10° Plantarflexion. Das Plantarflexionsmoment verringert sich durch die bei der Vorwärtsbewegung entstehende Verlagerung der Reaktionslinie und aufgrund der dadurch wegfallenden Aktivität der Dorsalextensoren.

**Mittlere Standphase (mid-stance)** (s. Abb. 3.5 d)

Verlauf der Reaktionslinie (mit entsprechender Gelenkstellung):

- durch das Hüftgelenk (kein Drehmoment),
- hinter dem Knie (Flexion) und
- vor dem Sprunggelenk (Dorsalextension).

**Hüfte:** Sie befindet sich in 10° Flexion. Die gelenkbezogene Hüftextension beginnt direkt nach der mittleren Standphase, da sich der Verlauf der Reaktionslinie bezogen auf das Hüftgelenk nach dorsal verlagert.

**Knie:** Es bewegt sich weiter in die Extension, während die Aktivität des M. quadriceps femoris langsam abnimmt. Die Kontrolle der Knieextension wird nun vom M. soleus übernommen.

**Sprunggelenk:** Das sich mittlerweile in 5° Dorsalextension befindliche Sprunggelenk bewegt sich unter Kontrolle der Wadenmuskulatur weiter in die Dorsalextension.

**Fersenablösung (heel-off)** (s. Abb. 3.5 e)

- Verlauf der Reaktionslinie (mit entsprechender Gelenkstellung):
- hinter der Hüfte (Extension),
  - vor dem Knie (Extension) und
  - vor dem Sprunggelenk (Dorsalextension).

**Hüfte:** Sie erreicht ungefähr 13° Extension und wechselt dann anschließend in der Schwungphase die Bewegungsrichtung. Der M. iliopsoas kontrolliert aktiv den Wechsel von der Extension in die Flexion.

**Knie:** Die maximale Knieextension in dieser Phase des Gangzyklus beträgt ungefähr 2° Knieflexion. Der M. gastrocnemius verhindert aktiv die weitere Knieextension.

**Sprunggelenk:** Ab ungefähr 15° Dorsalextension setzt unter aktiver Mitarbeit der konzentrisch kontrahierenden Wadenmuskulatur die Plantarflexion ein. Diese Aktivität unterstützt die Vorwärtsverlagerung des Körpers.

**Zehenablösung (toe-off)** (s. Abb. 3.5 f)

In der Phase der Zehenablösung verliert die Reaktionslinie aufgrund der zum anderen Bein hin gerichteten Gewichtsverlagerung ihre Bedeutung.

**Hüfte:** Sie befindet sich nun nur noch in 10° Extension; die Flexionsbewegung wird zum einen durch die kräftige Plantarflexion des Fußes und zum anderen durch die Aktivität des M. rectus femoris zunehmend aktiviert.

**Knie:** Das Knie ist mittlerweile 40° flektiert. Die Flexionsbewegung wird aufgrund der Plantarflexion des Fußes weiter fortgeführt.

**Sprunggelenk:** Es erreicht mit Hilfe der Wadenmuskulatur eine Plantarflexion von ungefähr 20°. Direkt anschließend an die Zehenablösung ist die Wadenmuskulatur inaktiv.

**Beschleunigungsphase (acceleration)**

**Hüfte:** Zu Beginn der Schwungbeinphase befindet sich die Hüfte in 10° Extension. Durch die Aktivität der Hüftflexoren wird das Bein mit steigender Beschleunigung nach vorne bewegt.

**Knie:** Das Knie hat mittlerweile eine Flexion von 40° erreicht. Die Flexionsbewegung wird aufgrund der durch die Beschleunigung entstehenden Pendelbewegung weiter fortgeführt.

**Sprunggelenk:** Das sich nach der Zehenablösung in 20° Plantarflexion befindliche Sprunggelenk bewegt sich nun durch die Aktivität der Extensoren in die Dorsalextension.

**Mittlere Schwungphase (mid-swing)** (s. Abb. 3.5 g)

**Hüfte:** Die Flexionsbewegung der Hüfte verläuft weit über die 20° hinaus.

**Knie:** Die Flexionsbewegung im Knie erreicht ungefähr 65°. Anschließend bewegt sich das Knie aufgrund der Pendelbewegung in die Extension.

**Sprunggelenk:** Das Sprunggelenk hat die Nullstellung erreicht. Diese Position wird aktiv von den Dorsalextensoren stabilisiert.

**Abbremsphase (deceleration)** (s. Abb. 3.5 h)

**Hüfte:** Während der Abbremsphase erreicht die Hüfte 25° Flexion. Eine weiterlaufende Flexion wird durch die Aktivitäten des M. gluteus maximus und der Ischiokruralen verhindert.

**Knie:** Das Knie ist mittlerweile vollständig gestreckt. Die Knieextension wird von den Ischiokruralen ausreichend stabilisiert.

**Sprunggelenk:** Es befindet sich noch in der von den Dorsalextensoren stabilisierten Nullstellung.

**3.7****Analyse der Bewegung in der frontalen Ebene** (s. Abb. 3.6 a–g)

In dieser Ebene richtet sich der Blick während der Bewegungsanalyse vorwiegend auf die Varus- und Valgusstellungen.

**Abb. 3.6 a–g**  
Analyse der Bewegungen in der frontalen Ebene

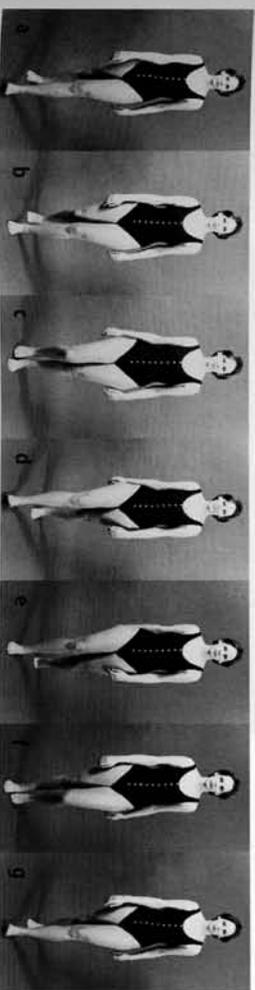


Abb. 3.6 a. Fersenkontakt links

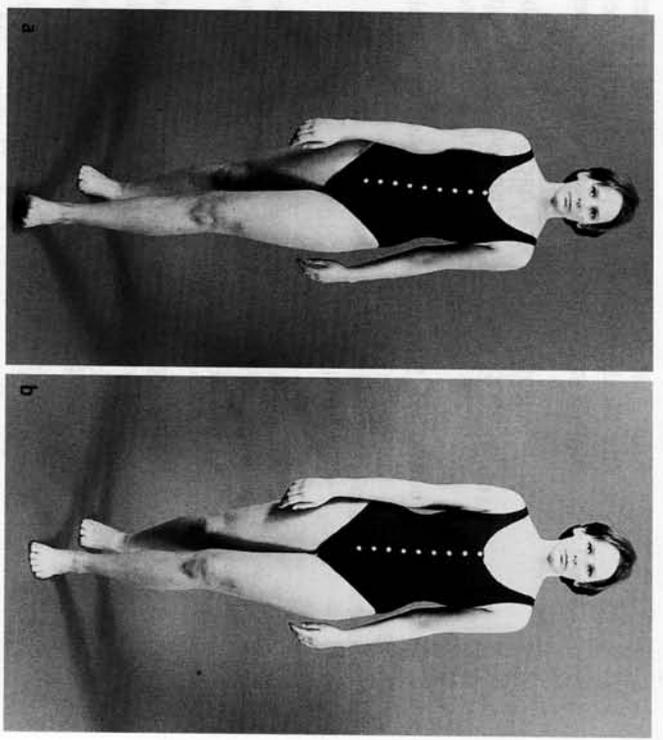


Abb. 3.6 b. Fußsohlen-Bodenkontakt links

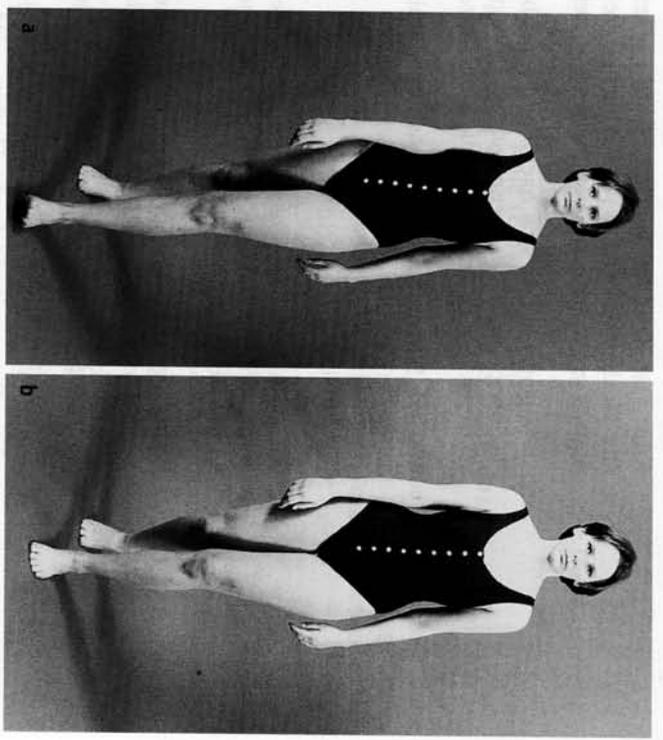


Abb. 3.6 c. Mittlere Standphase links – mittlere Schwungphase rechts

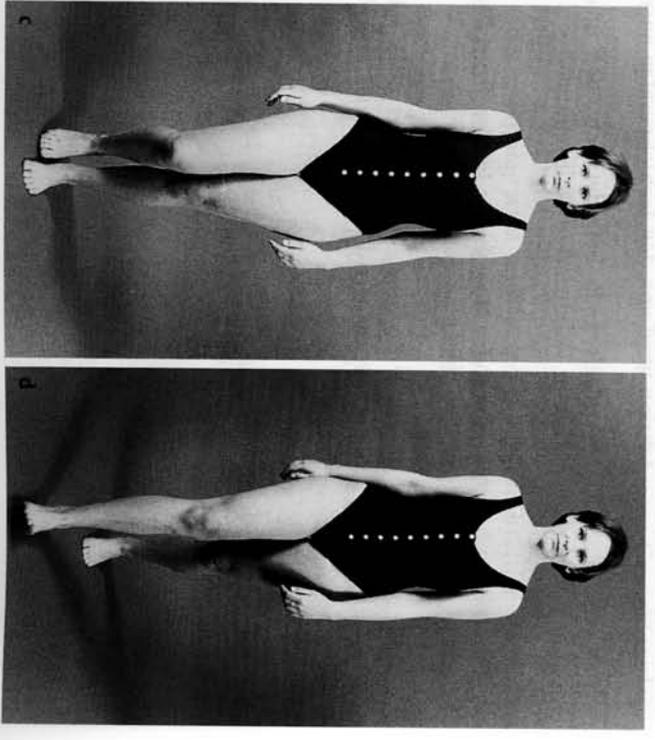


Abb. 3.6 d. Fersenablösung links

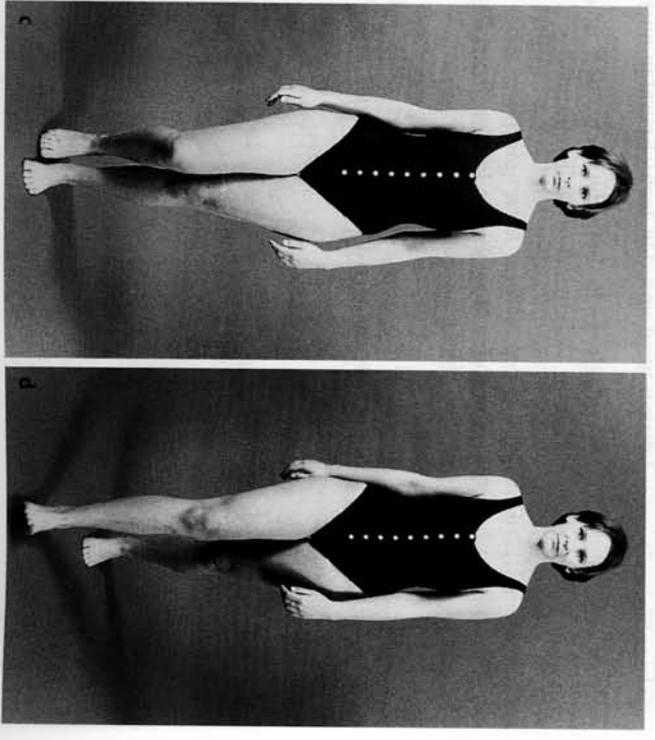


Abb. 3.6 e. Zehenablösung links

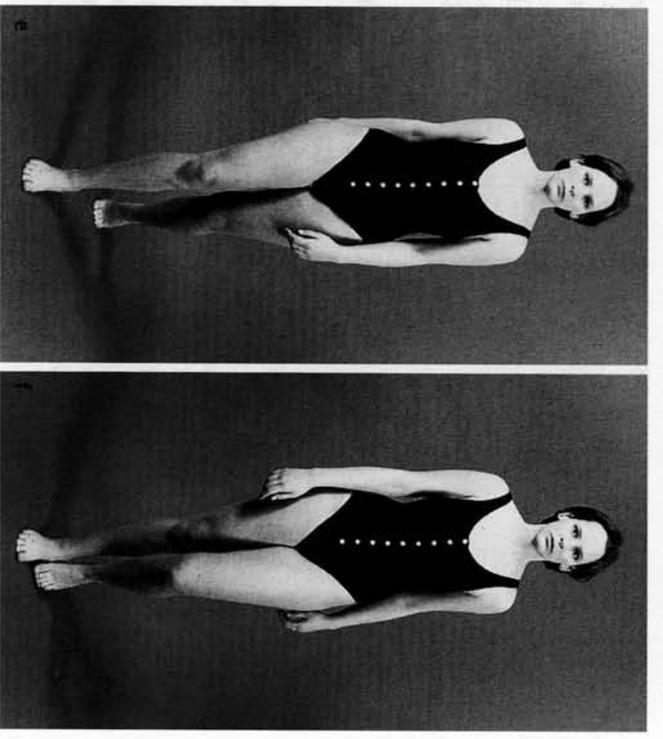


Abb. 3.6 f. Mittlere Schwungphase links – mittlere Standphase rechts

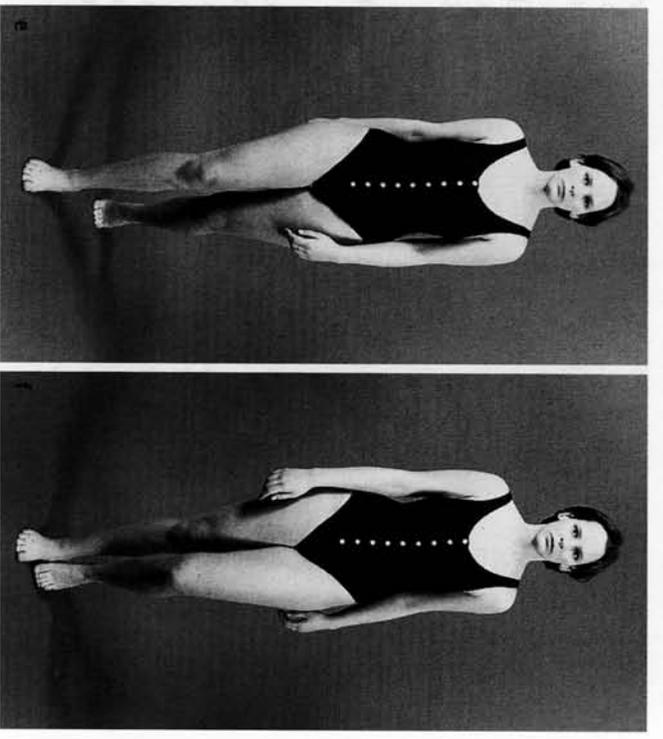
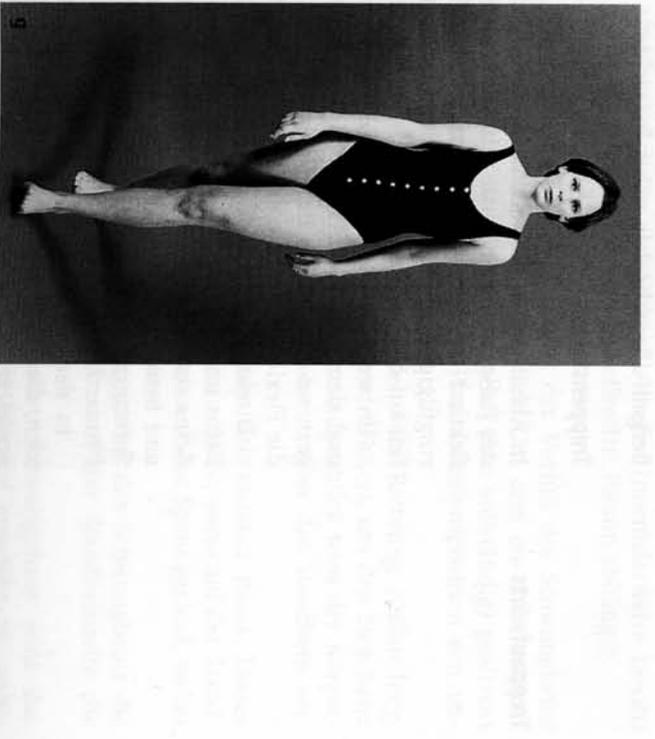


Abb. 3.6 g. Fersenkontakt links



**Sprunggelenk:** In den Phasen vom Fersen- bis zum Fußsohlen-Boden-Kontakt und von der Fersen- bis zur Zehenablösung kann man im Sprunggelenk eine Varusneigung erkennen. Es sind sowohl der *M. peroneus longus* als auch der *M. peroneus brevis* aktiv. In der Phase vom Fußsohlen-Boden-Kontakt bis zur Fersenablösung entsteht durch die Aktivität des *M. tibialis posterior*, des *M. flexor digitorum longus* und des *M. flexor hallucis longus* eine Valgusneigung.

**Knie:** Die Varusneigung im Knie wird durch das Ligamentum collaterale lateralis kontrolliert.

**Hüfte:** In dem Moment, in dem die maximal nach lateral gerichtete Verlagerung des Beckens erreicht wird, ist im Hüftgelenk eine Varusneigung zu verzeichnen. Die Entwicklung der Varusstellung wird von der Muskulatur (*M. gluteus minimus* und *medius* sowie *M. tensor fascia latae*) normalerweise verhindert. Erfüllt diese Abduktionsmuskulatur z. B. aufgrund von Schwäche ihre Funktion nicht, so entsteht das sogenannte *Trendelenburg-Phänomen*.

### 3.8

#### Ausgewählte funktionelle Aktivitäten

Hier wird zum einen das Treppensteigen und zum anderen das Bergauf-/Bergabgehen näher betrachtet.

##### Treppensteigen

In Abhängigkeit von der Höhe der Stufen sind beim Aufsetzen des Fußes auf die nächste Stufe die Hüfte  $60^\circ$  und das Knie  $90^\circ$  flektiert (s. Abb. 3.7). Der Fuß selbst befindet sich in einer geringfügigen Dorsalextension und kommt zuerst mit dem Vorfuß auf der Stufe auf.

Im weiteren Bewegungsablauf wird der Körperschwerpunkt und damit auch der Rumpf in ventrokraniale Richtung verlagert, wo sowohl die Dorsalextension im Sprunggelenk als auch die Flexion von Hüfte und Knie zunimmt.

Direkt anschließend findet die Abstoßphase des hinteren Beins und gleichzeitig die vollständige Streckung des vorderen Beins statt. Das hintere Bein kommt nun in die Schwungphase und bewegt sich am Standbein vorbei zur nächsten Stufe. Das Sprunggelenk des Standbeins bewegt sich gleichzeitig Richtung Plantarflexion.

In der Schwungphase erreicht das Knie maximal  $100^\circ$  Flexion, die Hüfte ungefähr  $75^\circ$  Flexion, und das Sprunggelenk erreicht eine Dorsalextension von  $15^\circ$ . Die angegebenen Werte

**Abb. 3.7.**  
Zum Treppensteigen benötigt man genügend Kraft und Mobilität



sind natürlich von der Höhe der Stufen (normalerweise 18 cm) und von der Beinlänge der betreffenden Person abhängig.

Geht man treppab, wird zuerst der Vorfuß des Schwungbeins auf die nächsttiefere Stufe plaziert. Um dies etwas zu erleichtern, wird das Knie, so gut es geht, (fast vollständig) gestreckt und das Sprunggelenk in eine Plantarflexionsposition von ungefähr  $30^\circ$  bewegt.

Anschließend bewegt sich der Fuß Richtung Nullstellung, und das Knie wird um einige Grad flektiert, um den Stoß beim Aufsetzen aufzufangen. In diesem Augenblick wird der Körperschwerpunkt durch die Hüftextension über das Standbein verlagert.

Darauf folgt die Schwungphase des anderen Beins. Dieses Bein erreicht jedoch erst die nächste Stufe, wenn auf der Standbeinseite das Knie in die Flexion und das Sprunggelenk weiter in die Dorsalextension bewegt wird.

In dem Moment, in dem der Vorfuß des Schwungbeins die gewünschte Stufe berührt, findet auf der Standbeinseite die Fersenablösungsphase statt.

Zu Beginn der darauffolgenden Schwungphase wird das Knie auf ungefähr  $90^\circ$  und die Hüfte auf ungefähr  $30^\circ$  ange-