

Grundlagen über Bau und Funktion des Körpers

Barbara Suppé

| | |
|------------|---|
| 2.1 | Richtungsbegriffe – 12 |
| 2.2 | Ebenen – 13 |
| 2.2.1 | Transversalebene – 13 |
| 2.2.2 | Frontalebene – 13 |
| 2.2.3 | Sagittalebene – 15 |
| 2.2.4 | Ebenen im Überblick – 15 |
| 2.3 | Achsen und Linien – 15 |
| 2.3.1 | Frontosagittale Achsen – 15 |
| 2.3.2 | Sagittotransversale Achsen – 18 |
| 2.3.3 | Frontotransversale Achsen – 19 |
| 2.4 | Muskeln – 20 |
| 2.4.1 | Kategorisierung der Muskulatur – 20 |
| 2.4.2 | Plastizität der Muskulatur – 25 |
| 2.4.3 | Muskelarbeit im Umgang mit den Körpergewichten – 26 |
| 2.5 | Kapseln und Bänder – Arretierungen – 28 |
| 2.6 | Bewegungskontrolle – 30 |
| 2.6.1 | Dynamische Stabilisation – 31 |
| 2.6.2 | Koordination – 31 |
| | Literatur – 34 |

Die angeborenen und erworbenen Orientierungsfähigkeiten (► Kap. 1) des Individuums manifestieren sich normalerweise in einem unterschwelligen Bewusstsein vom eigenen Körper und seinen Bewegungen. Dies gilt für den Therapeuten genauso wie für den Patienten. Da der Therapeut individuelle Bewegungen wieder in Gang bringen möchte, muss er das unterschwellige Bewegungs- und Körpergefühl des Patienten durch Behandlung oder durch instruierende Worte und Gebärden nutzen und lenken. Die Fähigkeiten dazu erlangt der Therapeut durch vertieftes Fachwissen über den Bau und die Funktion des gesunden und des kranken menschlichen Körpers, durch eigene Bewegungserfahrung und durch das Training seiner manuellen Geschicklichkeit.

Um Regeln und approximativ (annähernd) vergleichende Aussagen über Haltungs- und Bewegungsbeobachtung machen zu können, werden in der FBL Functional Kinetics allgemein anerkannte Bezeichnungen aus der Mathematik, Physik, Biomechanik, Anatomie und Physiologie sowie zusätzlich bestimmte Ordnungsschemata und Beobachtungsraster benutzt. In diesem Kapitel werden die Begriffe erklärt, mit denen in der FBL Functional Kinetics gearbeitet wird. Diese spezielle Nomenklatur bezeichnet bestimmte Phänomene und schafft Abgrenzung für ähnliche, aber doch nicht analoge Begriffe. Als Beispiel sei der Begriff „Gelenk“ genannt. Aus anatomischer Sicht wird die bewegliche Verbindung von zwei oder mehreren Knochen so genannt. In der FBL Functional Kinetics interessiert das Gelenk als Ort, an dem Bewegungen innerhalb des Körpers stattfinden, an dem es zu Stellungsänderungen und Distanzveränderungen von Hebeln und Zeigern* kommt. Wir sprechen vom „Drehpunkt“* der Bewegung bei den Extremitätengelenken und vom „Bewegungsniveau“ bei der Wirbelsäule. Diese Bezeichnungen weisen auf den Unterschied zum etablierten anatomischen Gelenkbegriff hin.

2.1 Richtungsbegriffe

Die Lage- und Richtungsbezeichnungen dienen in der Anatomie zur Beschreibung der Position, der Lage und des Verlaufs einzelner Strukturen. Da die Nomenklatur für Bewegungen sehr unterschiedlich ist, benötigt der Therapeut für die fachliche Kommunikation eine unabhängige Beschreibung von Bewegung. Ermöglicht wird ihm dies durch die Beschreibung der Richtung von Distanzpunkten*. Durch die Übertragung des dreidimensionalen Koordinatensystems auf den menschlichen Körper lassen sich seine Bewegungen auf ein Schema mit 3 Ausdehnungen und 6 Richtungen reduzieren (■ Abb. 2.1).

Die **Richtungsbezeichnungen** benötigt der Therapeut, um die Lage von Körperteilen (topographisch) und

die Stellungsänderungen der Gelenkpartner (Richtungsbezeichnung) genau zu kennzeichnen.

Die anatomischen **Lagebezeichnungen** sind unabhängig von der Position des Körpers. Im Folgenden werden die benötigten Begriffe benannt und erläutert.

■ Ventral und dorsal (venter „Bauch“ / dorsum „Rücken“).

Die mittlere Frontalebene* teilt den Körper in einen vorderen und hinteren Teil. In der Patientensprache bedeuten die Begriffe:

- bauchseits bzw. rückenseits,
- am Bauch bzw. am Rücken gelegen,
- vorne, zum Bauch gehörend,
- hinten, zum Rücken gehörend.

■ Lateral und medial (latus „Seite“ / medius „Mitte“)

Die Symmetrieebene teilt den Körper in zwei gleich große Teile. In der Patientensprache bedeuten die Begriffe:

- seitlich oder zur Seite,
- nach außen rechts oder links,
- nach innen, zur Mitte.

■ Kranial und kaudal (cranium „Schädel“ / cauda „Schwanz“)

In der Patientensprache bedeuten die Begriffe:

- am Kopf, kopfwärts, zum Schädel hin,
- am Fuß, fußwärts, zum Schwanz hin.

■ Proximal und distal (proximus „der Nächste“ / distare „sich entfernen“)

In der Patientensprache bedeuten die Begriffe:

- nah am Körpermittelpunkt, zum Körperzentrum hin gelegen oder verlaufend,
- weiter entfernt vom Körpermittelpunkt, vom Körperzentrum entfernt gelegen oder verlaufend.

Die Begriffe proximal und distal sind nur in Relation zueinander zu verstehen. Die proximalste Zone umgibt den funktionellen Körpermittelpunkt und befindet sich im kranialen Teil der Lendenwirbelsäule etwa im Bereich des Bauchnabels (in Abhängigkeit vom Körperbau; s. ► Abschn. 6.5). Alle anderen Körperbereiche liegen distal davon. Körperteile, zwischen denen der Körpermittelpunkt liegt, sowie Körperteile, die auf verschiedenen Wegen mit dem Körpermittelpunkt verbunden sind, können durch die Begriffe proximal/distal nicht verglichen werden, weil der Körpermittelpunkt zwischen ihnen liegt (Beispiel: Kopf und Hand oder Hand und Fuß).

■ Weitere Begriffe

Weiterhin sind folgende Fachtermini im medizinischen und physiotherapeutischen Sprachgebrauch üblich:

- **ipsilateral** und **kontralateral**: auf der gleichen Seite bzw. auf der Gegenseite befindlich,
- **profund** und **superfizial**: tief und oberflächlich,
- **anterior** und **posterior**: vorn liegend / hinten liegend (s. ventral und dorsal),
- **inferior** und **superior**: unten liegend / oben liegend (s. kaudal und kranial),
- **paravertebral**: neben der Wirbelsäule liegend,
- **retrosternal**: hinter dem Brustbein liegend,
- **palmar** (volar) und **dorsal**: Handfläche und Handrücken,
- **plantar**: Fußsohle,
- **thorakal**: am Brustkorb,
- **abdominal**: am Bauch,
- **zervikal**: an der Halswirbelsäule,
- **lumbal**: an der Lendenwirbelsäule,
- **sakral**: zum Kreuzbein,
- **spinal**: Wirbelsäule,
- **aszendent**: aufsteigend,
- **deszendent**: absteigend,
- **longitudinal**: entlang der Körperlängsachse.

2.2 Ebenen

Der Kubus stellt das dreidimensionale Koordinatensystem dar. Seine Höhe wird durch die Körperlängsachse* des aufrecht stehenden Menschen bestimmt. Die Kubusebenen werden auf den Menschen übertragen (Klein-Vogelbach 1994). Damit dient der Kubus als Hilfsraster und erleichtert dem Therapeuten die Orientierung am Patienten (Abb. 2.2a).

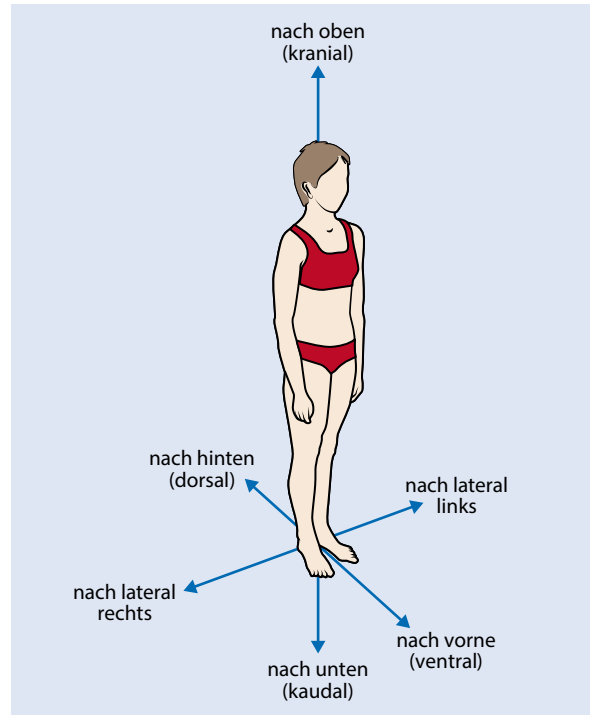
Die 3 Kubusebenen heißen

- Transversalebene,
- Frontalebene,
- Sagittalebene.

Wird kein spezieller Hinweis gegeben, steht der Mensch im Kubus aufrecht. Seine Gelenke befinden sich in Nullstellung. Ändert der Körper seine Stellung im Raum, ändert sich mit ihm auch die Lage der Ebenen.

2.2.1 Transversalebene

Die Standebene des Menschen im Kubus ist die unterste Transversalebene und die Scheitelebene seine oberste Transversalebene. Zwischen diesen beiden Begrenzungen lassen sich beliebig viele parallele Ebenen legen, von denen jede den Körper in einen kranialen (zum Kopf gehörenden) und kaudalen (zum Schwanz bzw. Fuß gehörenden) Abschnitt teilt. Alle diese Ebenen sind Transversalebenen, die sich auf den Körper (und nicht auf den Raum) bezie-



■ Abb. 2.1 Bewegungsrichtungen vom eigenen Körper aus

hen (Abb. 2.2b). Die Bezeichnungen kranial und kaudal benötigt der Therapeut, um die Lage von Körperteilen und die Stellungsänderungen der Gelenkpartner in den Drehpunkten* genau zu kennzeichnen. Für den Patienten ergeben sich daraus die Richtungsbegriffe kopfwärts und fußwärts.

➤ **Steht ein Mensch aufrecht, so liegen seine Transversalebenen horizontal. Liegt er auf der Seite, auf dem Bauch oder auf dem Rücken, so stehen seine Transversalebenen vertikal. Ein häufig auftretender Fehler ist es, v. a. im Liegen die Richtungsbeschreibungen an einer räumlichen Orientierung auszurichten. Zum Fußende wird dann „nach unten“ (richtig: „fußwärts“) und zum Kopfende „nach oben“ (richtig: „kopfwärts“).**

2.2.2 Frontalebene

Bei der Orientierung vom eigenen Körper aus liegt die vordere Kubuseite im Blickfeld, die gegenüberliegende Seite steht hinten (Abb. 2.2c). Die vordere und hintere Begrenzung des Körpers markieren die äußeren Frontalebenen. (Da sie konstitutionsabhängig und im Rahmen der Norm nicht eindeutig sind, gehören sie nicht zu den allgemeinen Orientierungsebenen.) Zwischen diesen Ebenen lassen sich beliebig viele parallele Ebenen legen, von denen jede

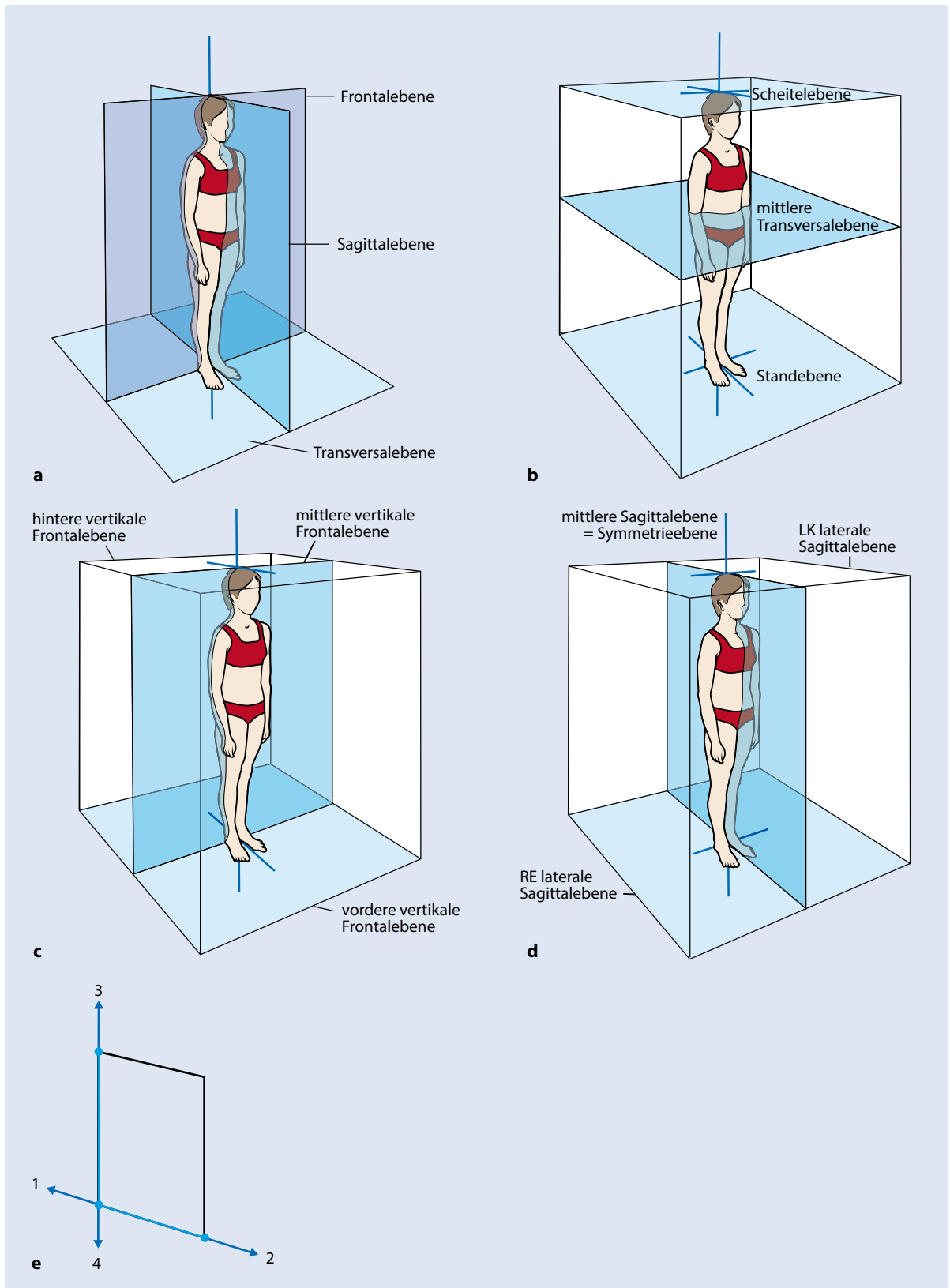


Abb. 2.2a–e Ebenen. a Kubusebenen auf den Körper übertragen, b Transversalebenen, c Frontalebenen, d Sagittalebenen, e eine Ebene hat 2 Ausdehnungen und 4 Richtungen

Tab. 2.1 Körperebenen, ihre Ausdehnungen und mögliche Bewegungsrichtungen

| Ebene | Ausdehnung | Richtung | Trennung | Achse |
|------------------|--|---|---|--------------------|
| Transversalebene | Frontotransversal und sagittotransversal | Nach rechts- und links-lateral, nach ventral und dorsal | Kaudal und kranial | Frontosagittal |
| Frontalebene | Frontotransversal und frontosagittal | Nach rechts- und links-lateral, nach kranial und kaudal | Ventral und dorsal | Sagittotransversal |
| Sagittalebene | Frontosagittal und sagittotransversal | Nach kranial und kaudal, nach ventral und dorsal | Rechts- und links-lateral bzw. lateral und medial | Frontotransversal |

den Körper in einen ventralen und dorsalen Abschnitt teilt. Die **mittlere Frontalebene** verläuft durch die Mitte der oberen Sprunggelenke, Knie-, Hüft- und Schultergelenke und teilt die Körperabschnitte Becken, Brustkorb und Kopf in annähernd gleich große ventrale und dorsale Teile. Für den Patienten ergeben sich die Richtungsbegriffe „bauchwärts“ und „rückenwärts“.

Bei der Beurteilung der Haltung in Stand ist die Verteilung der Gewichte in Bezug zur mittleren Frontalebene bedeutsam, weil eine ungleiche Verteilung dieser Gewichte die passiven Strukturen oder die Muskulatur übermäßig beanspruchen kann.

- **Steht ein Mensch aufrecht oder liegt er auf der Seite, so stehen seine Frontalebenen vertikal. Liegt er auf dem Bauch bzw. auf dem Rücken, so stehen seine Frontalebenen horizontal.**

2.2.3 Sagittalebene

Bei der Orientierung vom eigenen Körper aus gibt es eine Kubusseite, die seitlich rechts, und eine, die seitlich links vom Menschen steht. Die seitlichen Begrenzungen des Körpers bilden die äußeren Sagittalebenen. Zwischen diese lassen sich beliebig viele parallele Ebenen legen, von denen jede den Körper in einen rechts- und links-lateralen Abschnitt teilt (■ Abb. 2.2d). Die mittlere Sagittalebene wird auch als **Symmetrieebene** bezeichnet. Sie teilt den Körper in 2 genau gleich große Teile.

- **Im Stand, Sitz oder Vierfüßlerstand stehen die Sagittalebenen vertikal, in Seitlage stehen sie horizontal.**

2.2.4 Ebenen im Überblick

Eine körpereigene Ebene hat 2 Ausdehnungen und 4 Richtungen (■ Abb. 2.2e). Sie wird aufgrund ihrer Lage im Körper benannt. In ■ Tab. 2.1 und ■ Abb. 2.3 sind die Ebenen

und Achsen (zu Achsen s. ► Abschn. 2.3) zusammengefasst beschrieben.

2.3 Achsen und Linien

Das Wort „Achse“ bezeichnet in der Biologie die gedachte Linie, um die sich ein Körper oder ein System drehen kann. Bewegungsachsen werden durch die Schnittlinien von 2 Ebenen* gebildet, die ihnen den Namen geben. Es können folgende Achsen bestimmt werden (■ Abb. 2.4a):

- frontosagittale Achsen (Schnittlinie der Frontalebene und der Sagittalebene),
- sagittotransversale Achsen (Schnittlinie der Sagittalebene und der Transversalebene),
- frontotransversale Achsen (Schnittlinie der Frontalebene und der Transversalebene).

- **Eine körpereigene Achse entsteht als Schnittlinie zweier Körperebenen oder wird durch 2 Punkte bestimmt (■ Abb. 2.4b). Die Bestimmung durch 2 Punkte ist dann notwendig, wenn die Achse nicht parallel zu einer der 3 Koordinaten unseres Beobachtungsrasters steht. Die Achse hat eine Ausdehnung und 2 Richtungen (■ Abb. 2.4c).**

2.3.1 Frontosagittale Achsen

Senkrecht auf den Transversalebenen stehen frontosagittale Achsen. Die Achse wird gebildet durch die Schnittlinie von Frontalebene* und Sagittalebene*. Im aufrechten Stand stehen die Rotationsachsen der Arme und Beine frontosagittal. Eine wichtige frontosagittale Orientierungslinie ist die **Körperlängsachse**, die durch die Schnittlinie der Symmetrieebene und der mittleren Frontalebene gebildet wird (■ Abb. 2.5). Die Körperlängsachse steht in aufrechter Haltung vertikal und verläuft in enger Beziehung zur Wirbelsäule. Sie ist eine virtuelle Achse, die im in sich beweglichen System des menschlichen Körpers nur existiert, wenn

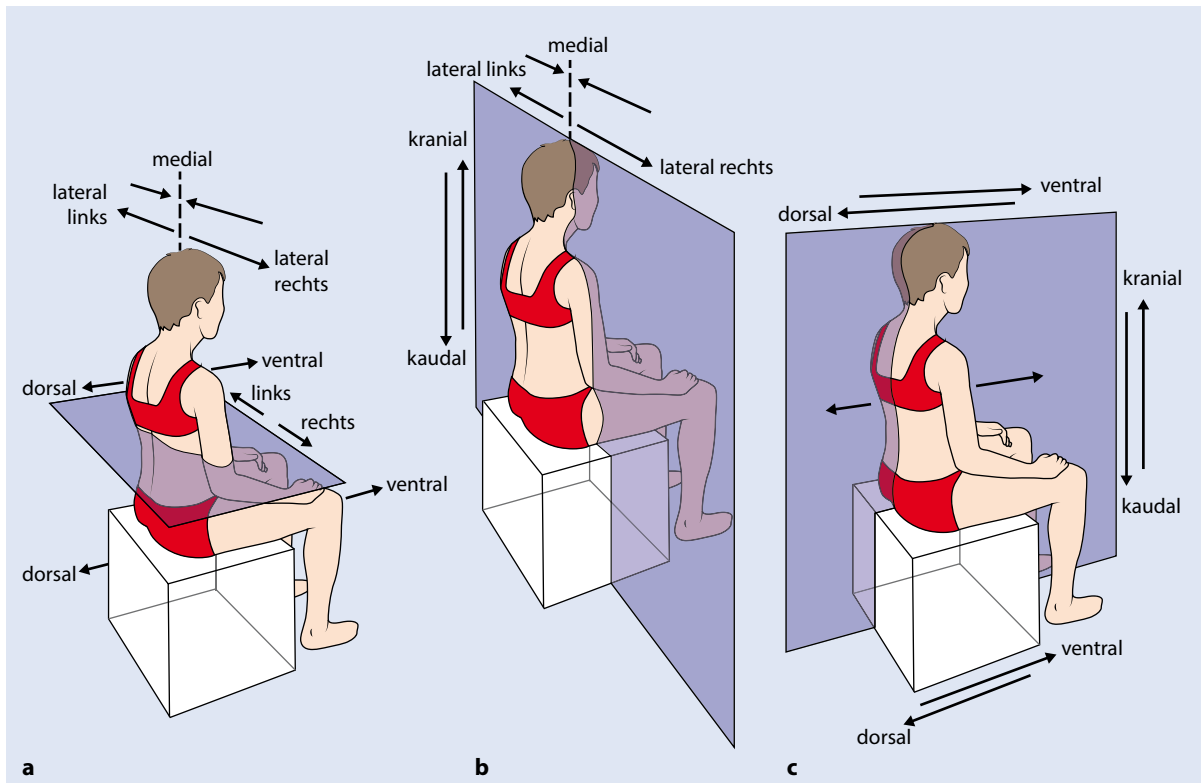


Abb. 2.3a–c Ebenen, Ausdehnungen und Richtungen. a Transversalebene, b Frontalebene, c Sagittalebene

sich die Wirbelsäule in ihrer Nullstellung befindet und die Längsachsen der Körperabschnitte Becken, Brustkorb und Kopf eine gemeinsame Achse bilden. Wir sprechen davon, dass dann die Körperabschnitte Becken, Brustkorb und Kopf in die Körperlängsachse eingeordnet sind.

■ Bewegungen um frontosagittale Achsen

(Abb. 2.6)

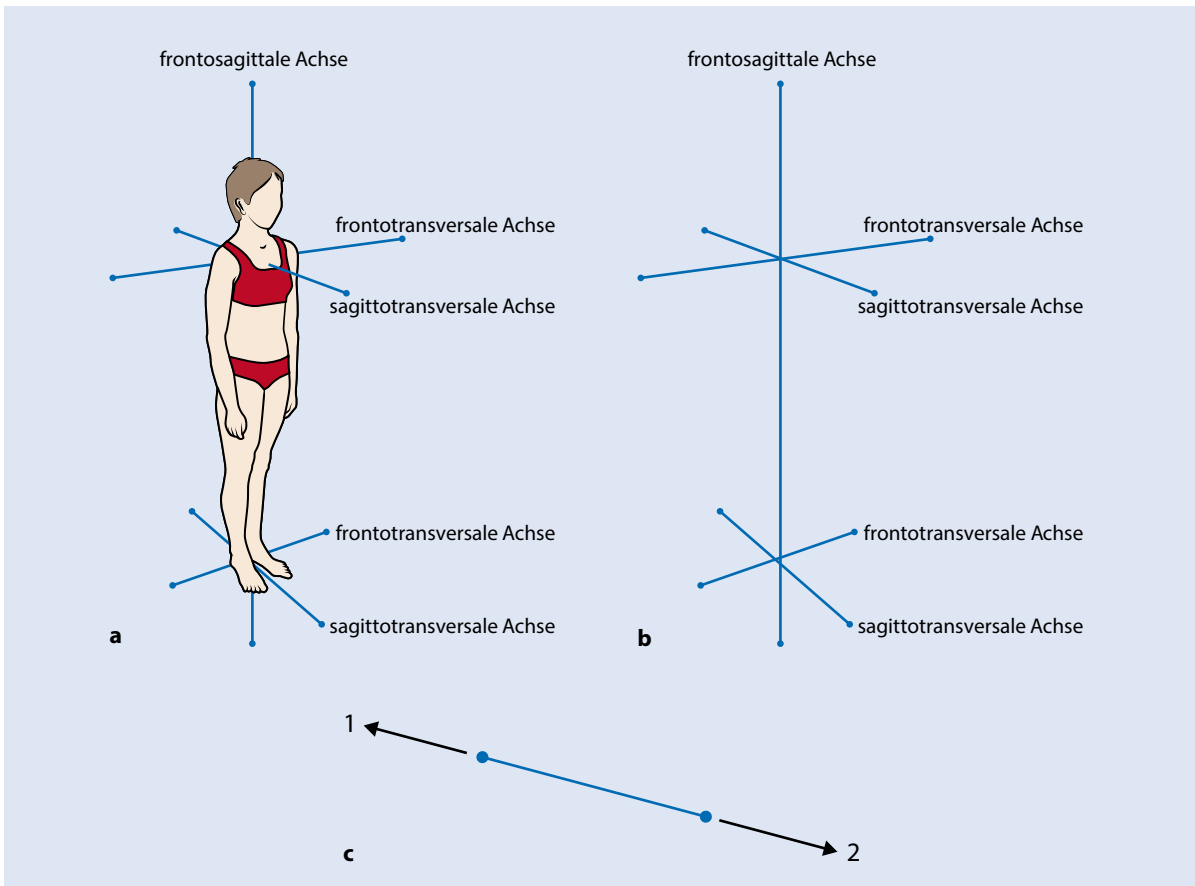
In den proximalen Extremitätengelenken heißen die Bewegungen um frontosagittale Achsen Innenrotation (IR) und Außenrotation (AR). In den Bewegungsniveaus der Halswirbelsäule und untere Brustwirbelsäule werden die Bewegungen nach der Richtung des bewegten Körperabschnitts* benannt und heißen dann Rotation des Kopfs/ Brustkorbs/Beckens nach rechts/links. Dabei bewegen sich die Zeiger* rotationstypisch in transversalen Ebenen.

➤ **Aus anatomischer Sicht ist es für die Facettengelenke der Halswirbelsäule das Gleiche, ob sich der Kopf nach links oder der Brustkorb nach rechts gedreht hat. Für die Bewegungsanalyse ist es jedoch von Interesse, auf welche Art und Weise die Bewegung zustande gekommen ist.**

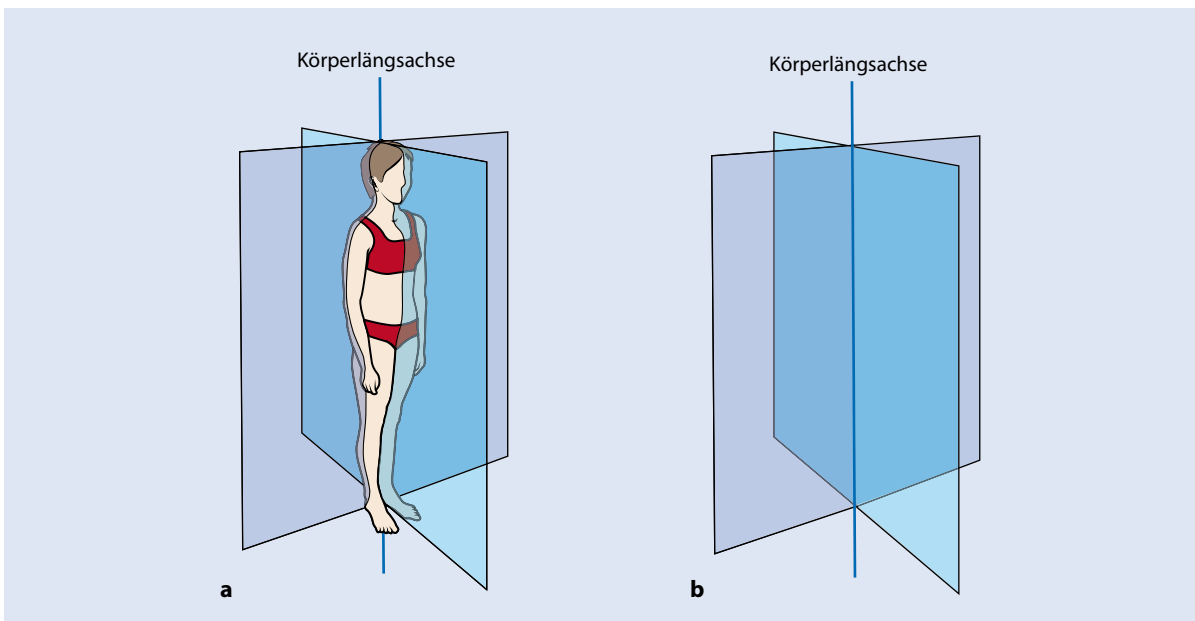
Zudem gibt es in den proximalen Extremitätengelenken um frontosagittale Achsen scharniertypische Bewe-

gungsausschläge. Sie heißen im Schultergelenk transversale Flexion und transversale Extension, im Hüftgelenk transversale Abduktion und transversale Adduktion. In den Sternoclavicular- und Akromioclaviculargelenken wird der Schultergürtel um eine frontosagittale Achse nach vorn oder hinten bewegt. Die Bewegungsausschläge heißen Protraktion und Retraktion. Dabei bewegt sich das Akromion kreisbögig nach ventral/medial und nach dorsal/medial (Ventralkuktion und Dorsalkuktion des Schultergürtels).

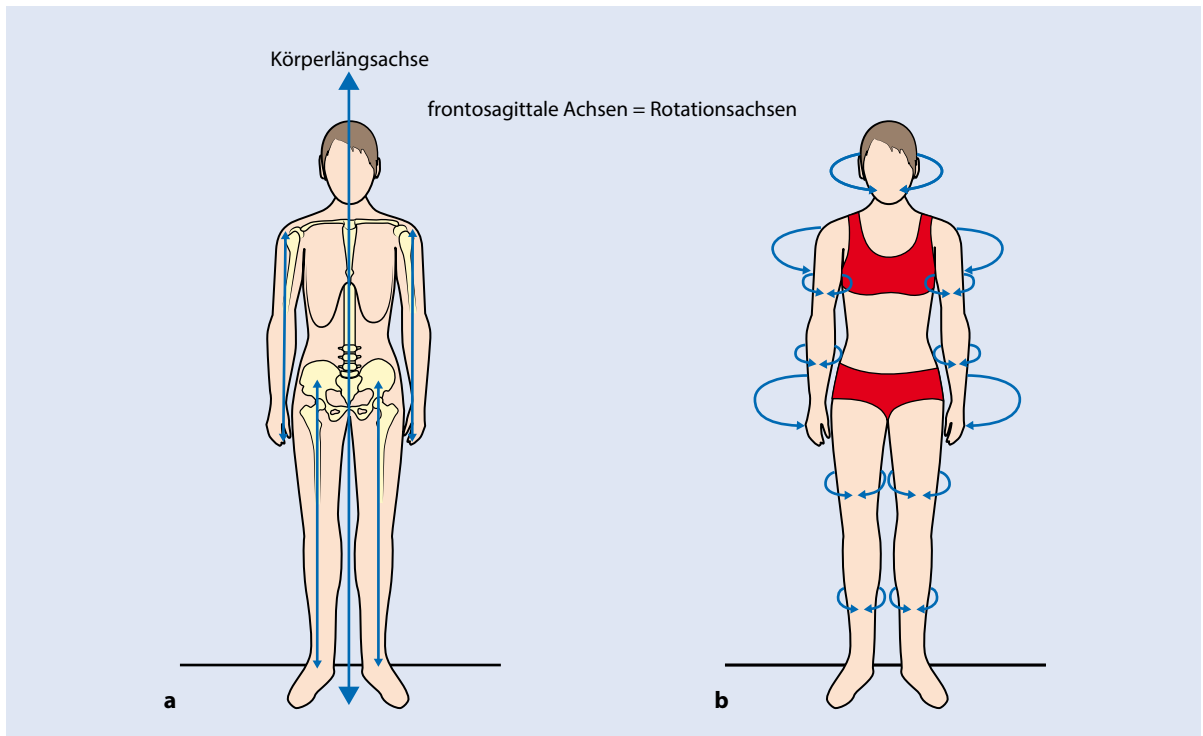
Je nachdem, welche Distanzpunkte* betrachtet werden, ergeben sich unterschiedliche Richtungen. Das ist bedeutsam, wenn sich zwei oder mehr Personen über ihre Beobachtung austauschen. Als Beispiel kann die Außenrotation im rechten Hüftgelenk aus der Nullstellung im aufrechten Stand dienen. Dabei bewegt sich der Distanzpunkt Knie- scheibe des kaudalen Gelenkpartners (Oberschenkel) dabei im Uhrzeigersinn nach rechts/außen (lateral rechts), der Distanzpunkt Spina iliaca anterior superior (SIAS) der Gegenseite des kranialen Gelenkpartners Becken bewegt sich gegen den Uhrzeigersinn nach hinten (dorsal/medial). Wird der Unterschenkel im Kniegelenk 90° flektiert, zeigt er genau nach hinten und dient als gut zu beobachtender Zeiger der Rotationsbewegung. Der Distanzpunkt Mal- leolus medialis bewegt sich bei Außenrotation nach links/ innen und damit nach ventral/medial. Auch am proxima-



■ **Abb. 2.4a–c** Achsen. **a** Bewegungsachsen auf den Körper übertragen, **b** Orientierungsskizze, **c** eine Achse hat 1 Ausdehnung und 2 Richtungen



■ **Abb. 2.5a,b** Körperlängsachse. **a** als Schnittlinie von Frontal- und Sagittalebene, **b** Orientierungsskizze



■ **Abb. 2.6a,b** Frontosagittale Achsen. **a** Bewegungsachsen für Innen- und Außenrotation der Arme und Beine sowie Rotation der Körperabschnitte Becken, Brustkorb und Kopf in der Wirbelsäule, **b** Bewegungsrichtung der Zeiger um frontosagittale Achsen in transversalen Ebenen

len Gelenkpartner können unterschiedliche Distanzpunkte gewählt werden. Geeignet ist die SIAS der Gegenseite, weil sie eine große Distanz zum rechten Hüftgelenk hat. Sie bewegt sich bei der Außenrotation von proximal nach dorsal/medial. Betrachtet man die SIAS der gleichen Seite, bewegt diese sich bei der Bewegung nach ventral/medial (■ [Abb. 2.7](#)).

➤ **Um Aussagen über Gelenkbewegungen zu machen, müssen die Distanzpunkte und deren Bewegungsrichtung benannt werden.**

2.3.2 Sagittotransversale Achsen

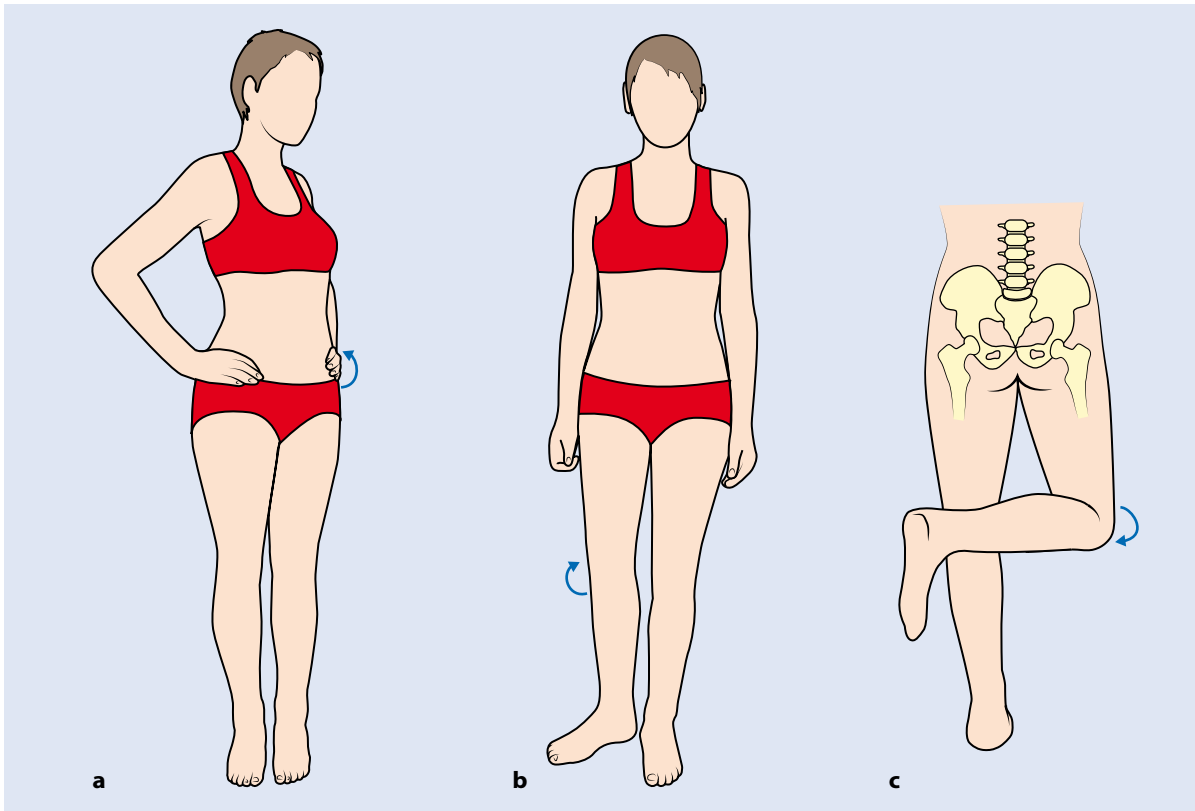
Senkrecht auf den Frontalebene stehen sagittotransversale Achsen. Sie werden gebildet durch die Schnittlinien von Sagittalebene* und Transversalebene*. Im aufrechten Stand stehen die Abduktions- und Adduktionsachsen der Arme und Beine sagittotransversal. Eine wichtige sagittotransversale Orientierungslinie ist der Brustkorbdurchmesser, der sich in Höhe Th7 an der tiefsten Stelle des Brustkorbs befindet. Im aufrechten Stand steht der sagittotransversale Brustkorbdurchmesser horizontal. Mit seiner Hilfe kann der Therapeut Aussagen über die Brustkorbtiefe machen (■ [Abb. 2.8](#)).

■ **Bewegungen um sagittotransversale Achsen** (■ [Abb. 2.9](#))

In den proximalen Extremitätengelenken heißen die Bewegungen um sagittotransversale Achsen Abduktion (ABD) und Adduktion (ADD). In den Bewegungsniveaus der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule werden die Bewegungen nach der Richtung des bewegten Körperabschnitts* benannt und heißen dann Lateralflexion des Kopfs/Brustkorbs/Beckens nach rechts/links. Dabei bewegen sich die Körperabschnitte in frontalen Ebenen. Zudem gibt es in den proximalen Extremitätengelenken um sagittotransversale Achsen rotationstypische Bewegungsausschläge, sobald der Oberarm oder der Oberschenkel in 90° Flexion eingestellt werden. Sie heißen im Hüft- und Schultergelenk Innenrotation (IR) und Außenrotation (AR) bei 90° Flexion. In den Sternoclaviclar- und Akromioclaviculargelenken wird der Schultergürtel um eine sagittotransversale Achse nach kranial oder kaudal bewegt. Die Bewegungsausschläge heißen Elevation/Depression. Dabei bewegt sich das Akromion kreisförmig nach kranial/medial und nach kaudal/lateral (Kranialduktion und Kaudalduktion des Schultergürtels).

Beispiel

Bei Abduktion des rechten Hüftgelenks aus der Nullstellung im aufrechten Stand gehen die Distanzpunkte* zur

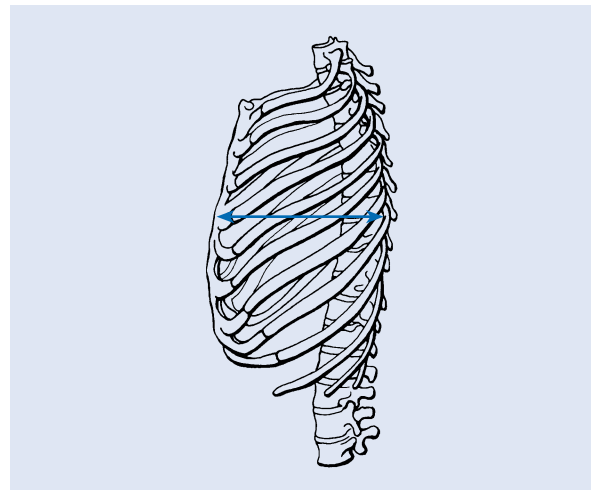


■ **Abb. 2.7a–c** Richtung der Distanzpunkte bei Außenrotation im rechten Hüftgelenk. **a** von proximal: Der Distanzpunkt SIAS der Gegenseite bewegt sich nach dorsal/medial, **b** von distal: Der Distanzpunkt Knie Scheibe bewegt sich nach lateral/dorsal, **c** von distal mit flektiertem Kniegelenk: Der distale Distanzpunkt Malleolus medialis am Rotationszeiger Unterschenkel bewegt sich nach medial/ventral

rechten Seite nach lateral. Die Distanzpunkte des kaudalen Gelenkpartners (Condylus lateralis am Oberschenkel) bewegen sich dabei nach oben (kranial/lateral), diejenigen des kranialen Gelenkpartners (SIAS der Gegenseite) bewegen sich ebenfalls nach oben (kranial/medial), während sich der Drehpunkt* für eine Abduktion nach medial verschiebt (■ [Abb. 2.10](#)).

2.3.3 Frontotransversale Achsen

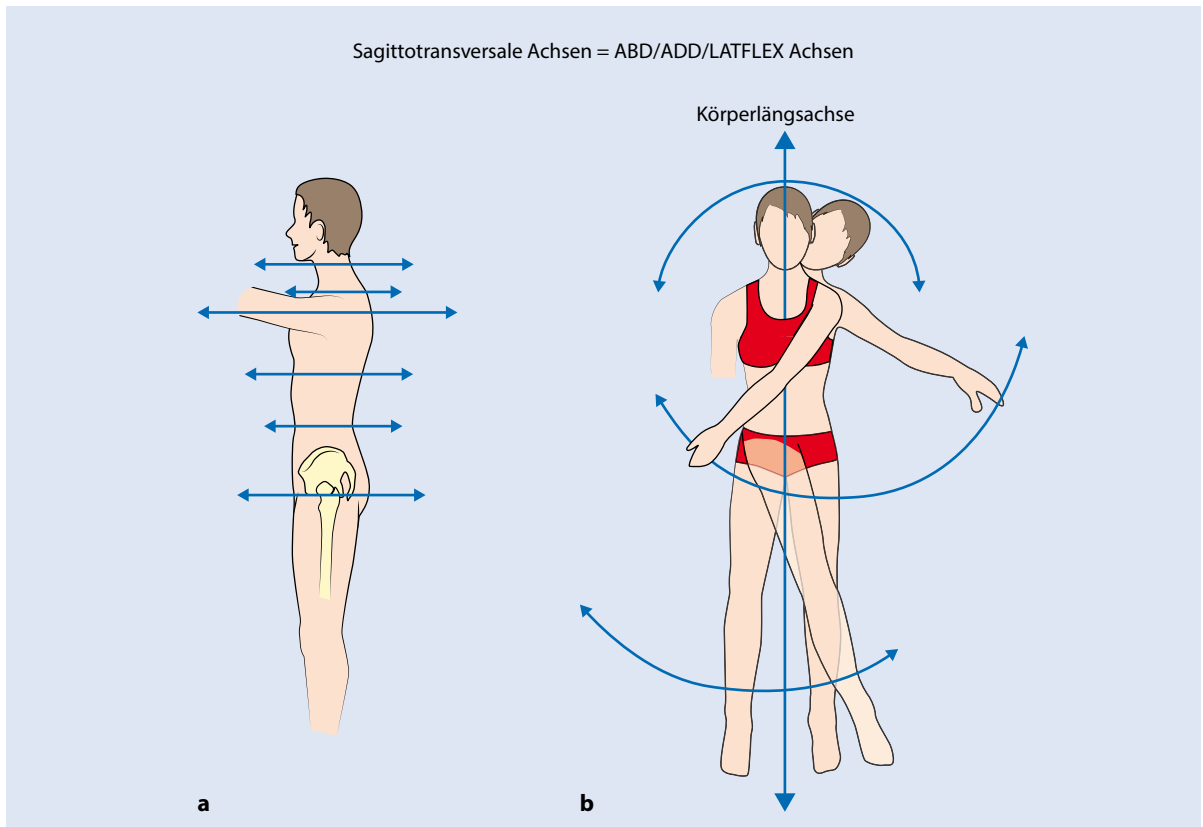
Senkrecht auf den Sagittalebene stehen frontotransversale Achsen. Sie werden gebildet durch die Schnitlinien von Frontalebene* und Transversalebene*. Der frontotransversale Brustkorbdurchmesser, der sich in Höhe Th7 an der breitesten Stelle des Brustkorbs befindet, ist eine wichtige Orientierungslinie, mit deren Hilfe man Lageveränderungen des Körpers oder Haltungsabweichungen genau kennzeichnen oder Bewegung veranlassen kann. Der frontotransversale Brustkorbdurchmesser kann von Patienten gut wahrgenommen werden und ist dadurch für die Instruktion von Wirbelsäulenbewegungen gut geeignet (■ [Abb. 2.11](#)).



■ **Abb. 2.8** Sagittotransversaler Brustkorbdurchmesser

■ Bewegungen um frontotransversale Achsen (■ [Abb. 2.12](#))

In den proximalen Extremitätengelenken und in der Wirbelsäule heißen die Bewegungen um frontotransversale Achsen Flexion (FLEX) und Extension (EXT). Dabei be-



■ **Abb. 2.9a,b** Sagittotransversale Achsen. **a** Bewegungsachsen für Ab- und Adduktion der Arme und Beine sowie Lateralflexion der Körperabschnitte Becken, Brustkorb und Kopf in der Wirbelsäule, **b** Bewegungsrichtung der Zeiger um sagittotransversale Achsen in frontalen Ebenen

wegen sich die Zeiger* bzw. Körperabschnitte* in sagittalen Ebenen. Zudem gibt es im Schultergelenk um eine frontotransversale Achse rotationstypische Bewegungsausschläge, sobald der Oberarm in 90° Abduktion eingestellt wird. Die Bewegungen heißen Innenrotation (IR) und Außenrotation (AR) bei 90° Abduktion. In den Sternoclavicular- und Akromioclaviculargelenken wird der Schultergürtel um eine frontotransversale Achse nach ventral und nach dorsal gedreht. Die Bewegungsausschläge heißen Ventralrotation und Dorsalrotation des Schultergürtels. Dabei bewegt sich das Akromion kreisbögig nach ventral/kaudal und nach dorsal/kaudal.

Beispiel

Bei einer Flexion der Hüft- und Wirbelsäulengelenke gehen die Distanzpunkte nach vorn (ventral), bei einer Extension bewegen sie sich nach dorsal. Die Distanzpunkte des kaudalen Gelenkpartners (beispielsweise des Oberschenkels) bewegen sich für eine Flexion nach vorn/oben (ventral/kranial), die des kranialen Gelenkpartners (beispielsweise des Beckens) bewegen sich nach vorn/unten (ventral/kaudal), während der Drehpunkt sich für eine Flexion nach hinten (dorsal) schieben muss. Bei einer Extension bewegen sich die Distanzpunkte des kaudalen Gelenkpartners nach hinten/oben (dorsal/kranial),

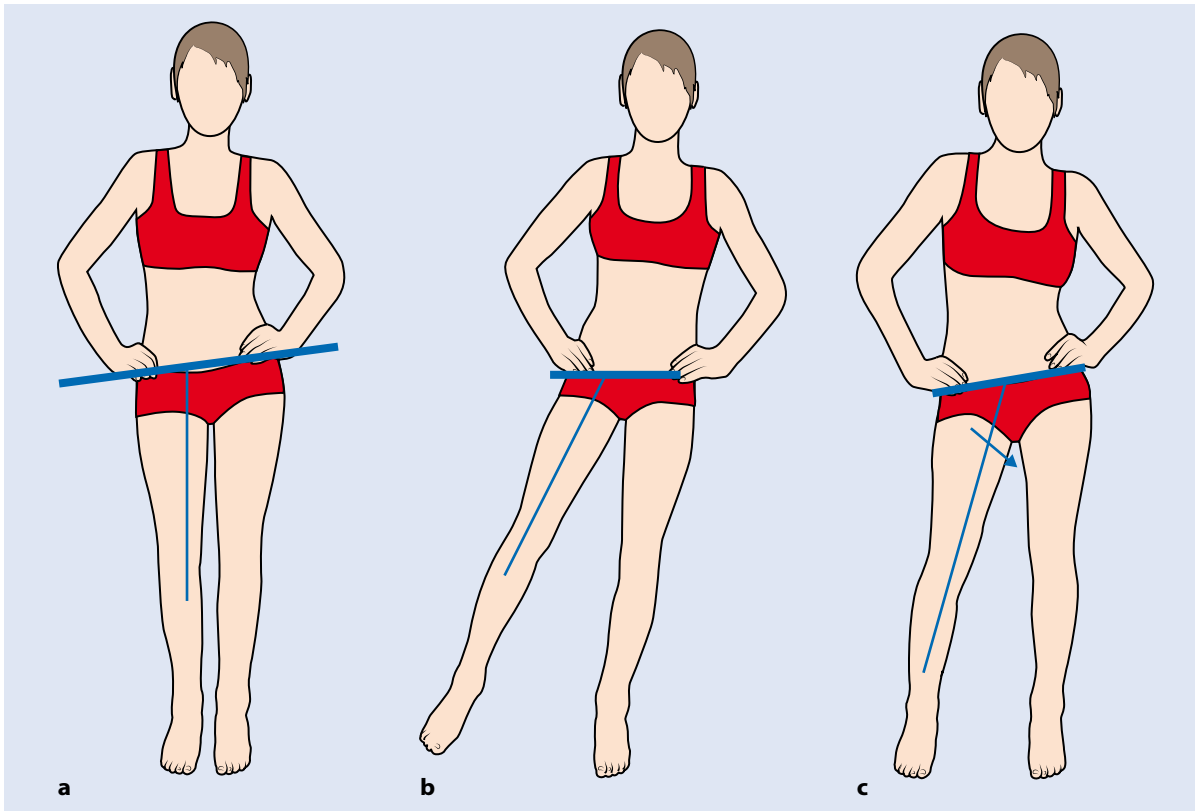
die des kranialen Gelenkpartners Becken bewegen sich nach hinten/unten (dorsal/kaudal), während sich der Drehpunkt für die Extension nach vorn (ventral) schieben muss (■ [Abb. 2.13](#)).

2.4 Muskeln

Die Muskulatur ist eines der Organsysteme im Körper. Durch Kontraktion und Erschlaffung werden innere und äußere Strukturen des Körpers bewegt. Diese Bewegung ist die Grundlage der Fortbewegung des Menschen, der Gestaltveränderung des Körpers und vieler innerer Körperfunktionen.

2.4.1 Kategorisierung der Muskulatur

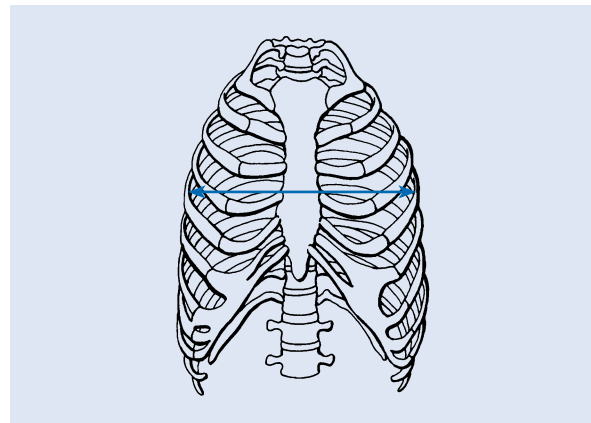
Die Muskulatur ist keine Gruppierung von homogenen Muskelfasern mit gleichen metabolischen und funktionellen Eigenschaften, sondern besteht aus verschiedenen Fasertypen, die nach ihren kontraktile und metabolischen Charakteristika klassifiziert sind. Man unterscheidet beispielsweise **Muskeltypen** (glatte und quergestreifte Muskulatur) und teilt die **Fasertypen** nach ihrer Enzymaktivität



■ **Abb. 2.10a–c** Richtung der Distanzpunkte bei Abduktion im rechten Hüftgelenk. **a** von proximal: Der Distanzpunkt SIAS der Gegenseite bewegt sich nach kranial/medial, **b** von distal: Der Distanzpunkt Condylus medialis am Oberschenkel des distalen Gelenkpartners bewegt sich nach kranial/medial, **c** der Drehpunkt Hüftgelenk verschiebt sich nach medial

ein (Typ I = langsame Fasern; Typ II a,b = schnelle Fasern). Die Fasertypen werden auch nach ihren Kontraktionseigenschaften unterschieden. So gibt es „slow twitch fibers“, die ausdauernd sind, aber keine hohe Kräfte entwickeln können (entspricht Fasertyp I), und „fast twitch fibers“, die hohe Kräfte entwickeln, aber sehr schnell ermüden (entspricht Fasertyp II). Man unterscheidet auch rote Muskeln (Fasertyp I) und weiße Muskeln (Fasertyp II). In ■ **Tab. 2.2** sind die Muskelfasertypen nach ihren Enzymaktivitäten und Kontraktionseigenschaften aufgelistet (Bacha 2007).

Alle Muskeln enthalten alle Fasertypen (Typ I, IIa, IIb) allerdings in unterschiedlicher prozentualer Zusammensetzung. Diese Zusammensetzung ist u. a. bestimmt durch das individuelle Aktivitätsprofil, womit sich unterschiedliche motorische Fähigkeiten erklären. Muskeln haben eine hohe Plastizität, und je nach Funktion oder Gebrauch verändern sich deren Umfang und auch der Fasertypus. Längere Inaktivität oder fehlender Druck auf die Gelenke, z. B. nach längerer Bettlägerigkeit, führt bereits nach einer Woche zu einer beginnenden Atrophie. Diese Atrophie trifft aber nicht alle Fasertypen gleichermaßen, sondern vermehrt den Fasertyp I. Die Muskeln vom Typ II neigen schneller zur Verkürzung – sie verlieren ihre elastische Eigenschaft.



■ **Abb. 2.11** Frontotransversaler Brustkorbdurchmesser

Stabilisierende eingelenkige Muskulatur wie beispielsweise die Glutealmuskulatur besteht mehrheitlich aus Fasertyp I. Solche Muskelgruppen werden im Bewegungsverhalten vorwiegend in ihrer Funktion als Fallverhinderer gebraucht. Die Schwerkraft ist demnach ein notwendiger Reiz zur Stimulierung und Erhaltung der normalen Funktion.

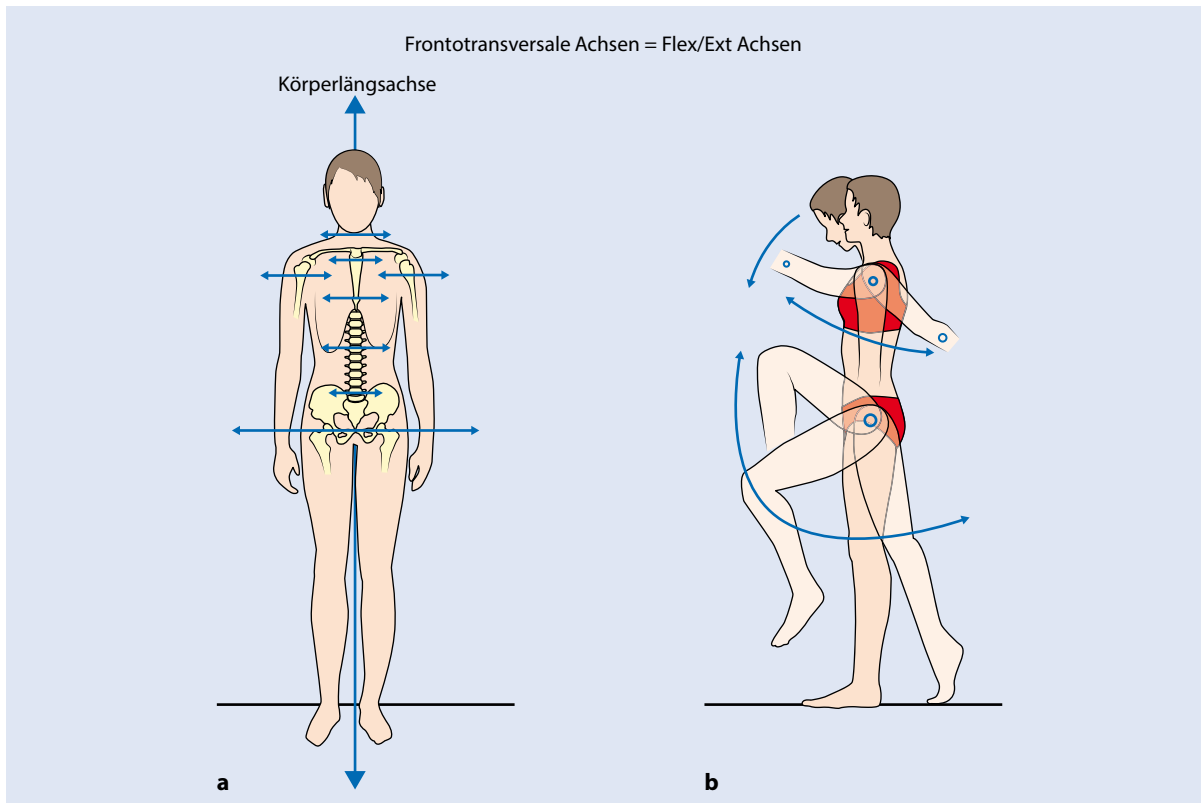


Abb. 2.12a,b Frontotransversale Achsen. **a** Bewegungsachsen für Flexion und Extension der Arme und Beine sowie der Körperabschnitte Becken, Brustkorb und Kopf in der Wirbelsäule, **b** Bewegungsrichtung der Zeiger um frontotransversale Achsen in sagittalen Ebenen

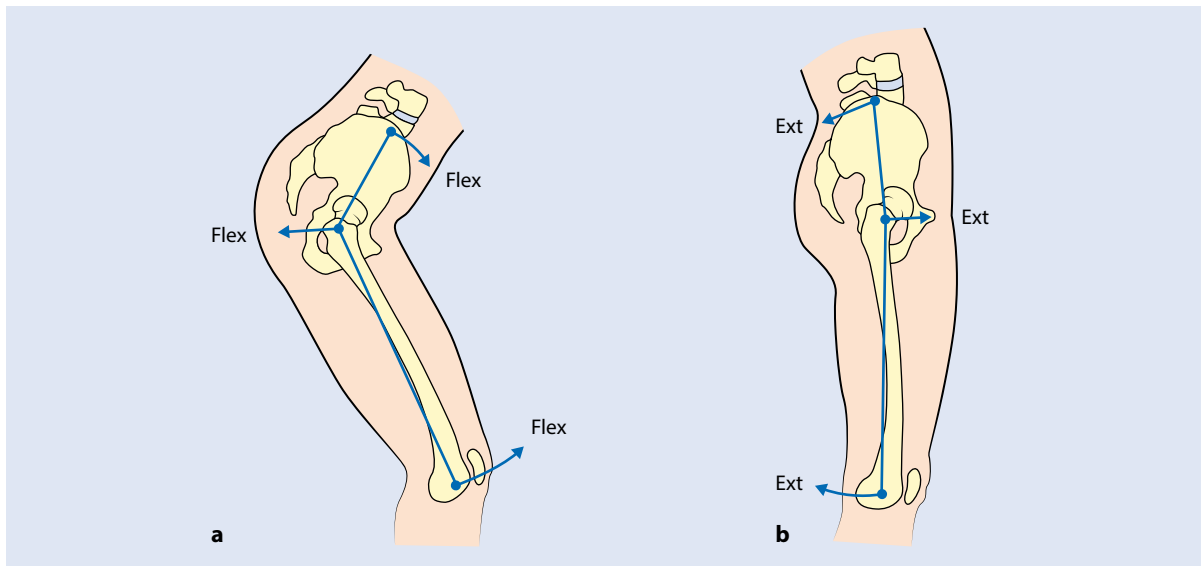


Abb. 2.13a,b Richtung der Distanzpunkte bei Flexion und Extension in den Hüftgelenken. **a** Flexion des Hüftgelenks vom proximalen bzw. distalen Gelenkpartner aus und durch Drehpunktverschiebung, **b** Extension des Hüftgelenks vom distalen bzw. proximalen Gelenkpartner aus und durch Drehpunktverschiebung

Tab. 2.2 Fasertypen und ihre Eigenschaften

| Muskelfaser | Typ I | Typ IIa | Typ IIb |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Kontraktion | Langsam/tonisch | Schnell/dynamisch | Schneller/dynamisch |
| Sauerstoffbedarf | Oxidativ | Glykolytisch/oxidativ | Oxidativ |
| Energiefreisetzung | ATPase gering | ATPase hoch | ATPase hoch |
| Ermüdung | Ausdauernd | Weniger ausdauernd | Schnell ermüdend |
| Aktivität Spezifikation | Primär bei wenig Intensität | Sekundär gegen die Schwerkraft | Sekundär bei hoher Intensität |
| Charakteristika | Interaktion mit Propriozeption | Interaktion mit Kompression | |

➤ **Alle Muskeln enthalten alle Fasertypen. Ein gezieltes Funktionstraining kann gezielt auf einen bestimmten Fasertyp fokussieren.**

Eine weitere Unterscheidung erfolgt nach **Muskelkontraktionsarten**. Man unterscheidet isometrisch (statisch haltend) und dynamisch. Und innerhalb der dynamischen Kontraktionsart kommt es darauf an, ob sich der Muskel verkürzt (konzentrisch) oder verlängert (exzentrisch) (Abb. 2.14).

Die funktionelle Einteilung der Skelettmuskulatur wird im Hinblick auf ihre gegenspielende und zusammenwirkende **Zusammenarbeit** vorgenommen, und so ergeben sich die Begriffe Agonist (Wettkämpfer), Antagonist (Gegenspieler) und Synergist (Mitspieler).

Je nachdem, wie viele Gelenke ein Muskel überbrückt, spricht man von **eingelenkiger** und **zwei- oder mehrgelenkiger Muskulatur**. Die Arbeitsweise mehrgelenkiger Muskeln offenbart in vollkommener Weise das ökonomische Prinzip natürlicher Bewegung. In einer Mittelstellung zwischen maximaler Dehnung und Verkürzung kann ein Muskel die größte Hub- und Bremskraft entfalten. Mehrgelenkige Muskeln werden bei zunehmender distaler Verkürzung proximal durch kompensatorische Dehnung entsprechend verlängert – so kann die optimale Gesamtlänge konstant bleiben.

Mehrgelenkige Muskeln haben ihre Hauptfunktion (bewegende Funktion) an den distalen Gelenken und können dort die größte Hub- und Bremskraft entfalten. Die günstigste Arbeitsbedingung für mehrgelenkige Muskeln ist die distale dynamisch-konzentrische Verkürzung bei gleichzeitiger kompensatorischer proximaler Dehnung oder im gegenteiligen Fall die distale dynamisch-exzentrische Verlängerung bei gleichzeitiger proximaler Verkürzung, wie beispielsweise beim Tasche anheben oder absenken.

Aufgrund seiner mikroskopischen Anatomie kann sich ein Muskel weder vollkommen zusammenziehen noch unbegrenzt verlängern. Daraus ergeben sich die **aktive und passive Insuffizienz** der Muskulatur. Passive Insuffizienz

eines Muskels liegt vor, wenn er sich nicht so weit dehnen lässt, dass der Bewegungsausschlag der Gelenkpartner bis an die Arretierungen* ausgeschöpft werden kann. Sobald ein Muskel mehr als ein Bewegungsniveau überbrückt, kann passive Insuffizienz physiologisch sein. Die gebremste Dehnfähigkeit ist eine erwünschte ökonomische Bremse. Bei einer konzentrischen Kontraktion zieht sich der Muskel niemals zu 100 % zusammen. Es bleibt immer ein Rest. Die Differenz zwischen tatsächlicher Kontraktion und hundertprozentiger Kontraktion nennt sich aktive Insuffizienz.

Myofasiales System

Die anatomische Betrachtung der Muskulatur offenbart eine enge Verflechtung mit dem Bindegewebe (Faszie). Eine **Faszie** bezeichnet die bindegewebige Umhüllung von Muskeln und Muskelgruppen. Sie besteht vor allem aus Kollagenfasern, die der Muskulatur die nötige Festigkeit und Elastizität geben. Zudem gibt die Faszie dem Muskel seine eigentliche Form. Eine wichtige Aufgabe der Faszie ist die Gewährleistung der Gleitfähigkeit und Kraftübertragung der Muskeln untereinander. An den Enden des Muskels vereinen sich die Faszien häufig zu einer Sehne, mit der der Muskel am Knochen angeheftet ist. Eine lokale Kontraktion eines einzelnen Muskels löst eine weiterlaufende Spannung aus, die sich entlang des anatomischen Verbundes fortpflanzt (kinetische Kette). Deshalb bilden Muskel und Faszie eine funktionell untrennbar miteinander verbundene Einheit, wir sprechen vom myofasialen System (Bacha 2007).

Die Vielfalt der Kontaktaufnahme des Körpers mit der Umwelt und die ständige Einwirkung der Schwerkraft erfordern ein komplexes dynamisches myofasiales System, das auf die jeweilige Situation adäquat reagieren kann. Bacha (2007) beschreibt bestimmte **Fähigkeiten der Muskulatur**, die jeweils von spezifischen myofasialen Systemen mit unterschiedlicher Effizienz erfüllt werden:

- Muskulatur kann eine zielgerichtete Bewegung einleiten und die ausgelöste Bewegung widerlagern.
- Die Muskulatur kontrolliert auf lokaler Ebene die Bewegungen einzelner Wirbelsäulensegmente.

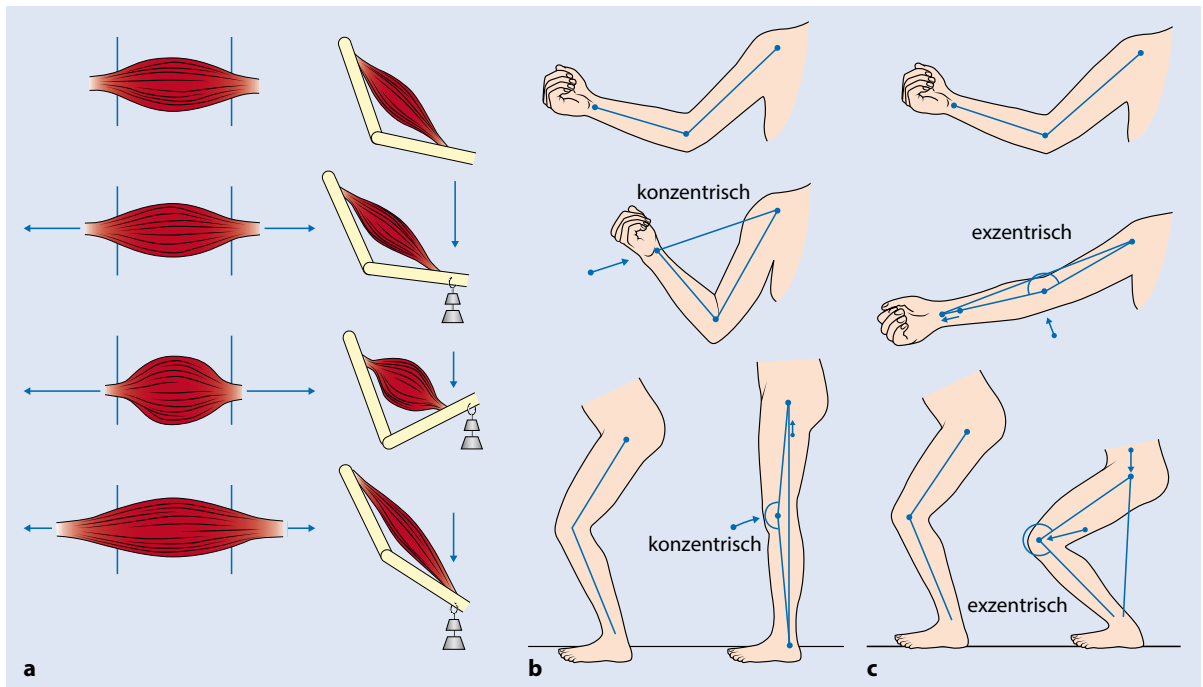


Abb. 2.14a–c Muskelkontraktionsarten. **a** Muskeln in Ruhespannung, bei statischer Arbeit, bei dynamisch konzentrischer und dynamisch exzentrischer Arbeit, **b** M. biceps und M. quadriceps arbeiten dynamisch konzentrisch, **c** M. biceps und M. quadriceps arbeiten dynamisch exzentrisch

- Sie kontrolliert bei jeder Bewegung die Zentrierung der Gelenke.
- Die Muskulatur sichert das Gleichgewicht durch den reaktiven Einsatz von Gewichten und Gegengewichten.
- In der Interaktion mit dem zentralen Nervensystem übt sie antizipatorisch eine Schutzfunktion für die umliegenden Strukturen wie Bänder, Gefäße und Nerven aus.
- Durch Feedback sichert sie in der Interaktion mit dem zentralen Nervensystem die Bewegungskontrolle*.

Lokale und globale Muskeln

Das Konzept der Klassifikation der Muskulatur in myofasziale Systeme entspricht deren funktionellen Aufgaben im Bewegungsverhalten. Bergmark (1989) klassifiziert die Muskeln nach ihrer Aufgabe bei der Kraftübertragung innerhalb der Wirbelsäule.

Lokale Muskeln (Bergmark 1989) sind durch ihre topographische Lage, überwiegend nahe und quer liegend am Gelenk, bestens geeignet zur Kontrolle der intersegmentalen Bewegung. Bezüglich der Reihenfolge der Muskelrekrutierung sind die lokalen Muskeln vor jeglicher Extremitätenbewegung zuerst aktiviert, wobei diese Präaktivierung unabhängig von der Richtung der Bein- und Armbewegungen ist (Hodges u. Richardson 1997). Damit sind sie in der

Lage, die Wirbelsegmente zu stabilisieren und sie antizipatorisch vor ankommenden Impulsen aus der Peripherie zu schützen. Das entspricht einem Teil der Definition der **dynamischen Stabilisation** nach Klein-Vogelbach und wird beispielsweise in der therapeutischen Übung „Kurz und bündig“ umgesetzt (Spirgi-Gantert u. Suppé 2012). Die Relevanz dieser spezifischen Rekrutierung zeigt sich am Beispiel des M. vastus medialis obliquus (VMO, Quadrizeps femoris), der während der ganzen Standbeinphase die Patella-Bewegung auf dem Femur kontrolliert.

Globale Muskeln (Bergmark 1989) liegen mehrheitlich oberflächlich, überspringen mehrere Drehpunkte* und koordinieren die Kraftübertragung vor allem zwischen den Körperabschnitten Becken und Brustkorb. Der Einsatz dieser Muskeln im Bewegungsverhalten orientiert sich an der **Schwerkraft**. Sie steuern abhängig von der Bewegungsrichtung die Gegengewichte bei Gleichgewichtsreaktionen*. Es sind Muskeln, die bei Abweichungen der idealen Haltung die Körperabschnitte* fallverhindernd fixieren und damit eine **reaktive Hyperaktivität*** aufweisen (► Abschn. 6.7). Weil der Schwerkraft im Verständnis der Fähigkeiten der myofaszialen Systeme in diesem Konzept eine entscheidende Rolle zukommt, entspricht das Konzept der Betrachtungsweise der funktionellen Bewegungslehre (Klein-Vogelbach 1984).

Einen Überblick über die Eigenschaften der lokalen und globalen Muskulatur gibt **Tab. 2.3**.

■ **Tab. 2.3** Eigenschaften der lokalen und globalen Muskulatur (Bacha 2007)

| Lokal | Global |
|--|---|
| Tiefste Muskeln mit segmentalen Ansätzen | Oberflächlich, äußere Schichten |
| Kontrolle der neutralen Stellung der WS | Kein segmentaler Ansatz |
| Kontrolle der intersegmentalen Bewegung | Verbinden Körperabschnitte (Becken – Brustkorb) |
| Aktivität unabhängig von der Bewegungsrichtung | Aktivität in Zusammenhang mit einer Bewegungsrichtung (Flexion – Extension) |
| Geeignet für Aktivität mit wenig Hub | Aktivität vorwiegend bei schnellem und großem Hub |
| | Aktivität bei großen Amplituden |
| Reagieren mit Inhibition bei Dysfunktion | Reagieren eher mit Festigkeit bei Dysfunktion |
| Reagieren mit Inhibition bei Fehllhaltung | Reagieren eher mit Festigkeit bei Fehllhaltung |

Stabilisatoren und Mobilisatoren

Als **Stabilisatoren** bezeichnet Richardson et al. (2004) sowohl die lokalen Muskeln als auch die oberflächlich liegende eingelenkige Muskulatur wie beispielsweise den M. gluteus medius oder den M. vastus intermedius. Diese Muskeln werden vor allem bei der Stützfunktion des Beines benötigt, wobei sie z. B. beim Treppabwärtsgehen und Hinsetzen als Bremsen absinkender Gewichte wirken (Klein-Vogelbach 1984).

Mobilisatoren sind die global oberflächlich liegenden mehrgelenkigen Muskeln wie beispielsweise der M. rectus femoris, M. rectus abdominis oder die ischiokrurale Muskulatur. Ihre Fähigkeiten entsprechen den globalen Muskeln, d. h., sie koordinieren die Kraftübertragung zwischen den Körperabschnitten und werden durch die Einwirkung der Schwerkraft reaktiv aktiviert.

Die Eigenschaften der Stabilisatoren und Mobilisatoren sind in ■ **Tab. 2.4** zusammengefasst.

- **Nach funktionellen Gesichtspunkten ist ein Muskel vor allem Effektor von Haltung und Bewegung (Klein-Vogelbach 1990) (Effektor = Organ, das einen vom Zentralnervensystem kommenden Befehl ausführt). D. h., seine Aufgabe besteht einerseits darin, im Gravitationsfeld entgegen der Anziehungskraft der Erde das Fallen zu verhindern, also dagegenzuhalten. Andererseits muss er Bewegung veranlassen oder verhindern. Dazu muss ein Muskel**
- **den Drehpunkt* überbrücken, dessen Gelenkpartner er in Bewegung versetzen soll,**
 - **proximal und distal (bzw. kaudal und kranial) vom jeweiligen Bewegungsniveau befestigt sein,**
 - **mit dem Nervensystem in Verbindung stehen, das letztlich die Bewegung veranlassen, unterdrücken und koordinieren kann.**

2.4.2 Plastizität der Muskulatur

Die Muskulatur ist eine dynamische Struktur, die durch eine hohe Plastizität charakterisiert ist. Das Gesetz der Transformation der Knochen, mit dem Wolff (1892), sinngemäß wiedergegeben, die Interaktion zwischen Form und Funktion formulierte, lässt sich auch auf die Muskulatur übertragen. Tierexperimente u. a. von Williams u. Goldspink (1973) haben gezeigt, dass die Muskulatur dem Prinzip der Ökonomie und Funktionalität folgt.

Bei **Immobilisation** in angenäherter oder verlängerter Stellung passt sich die Muskulatur strukturell stets so an, dass sie die optimale Kraft in der jeweilig gehaltenen Position entfalten kann (aktuelle Ruhestellung). Neben der Abnahme der Viskoelastizität verliert die angenäherte Muskulatur jedoch an maximaler Kraft. Der Atrophieprozess ist bei der verlängerten Muskulatur weniger ausgeprägt und zeigt eine höhere maximale Kraft (Bacha 2007).

Das Fehlen bzw. die **verminderte Schwerkrafteinwirkung** ist mit reduziertem mechanischen Reiz und propriozeptiven Inputs verbunden. Ein Aufenthalt im All oder fehlende Aktivität über längere Zeit führen zu einer spezifischen Atrophie der Muskulatur. Studien u. a. von Desplanches (1997) haben in diesem Zusammenhang eine bevorzugte Atrophie des Fasertyps I (langsame Fasern, ausdauernd, keine hohe Kraftentwicklung) sowie eine Teilumwandlung des Typs I in Typ II festgestellt. Erfahrungen mit Astronauten haben diese Tatsache belegt. Es ist bekannt, dass sie nach einem Aufenthalt im All wegen der ausgeprägten Atrophie und verminderter Propriozeption zu Rückenschmerzen neigen.

Tab. 2.4 Eigenschaften der Stabilisatoren – Mobilisatoren. (Bacha 2007, adaptiert nach Comerford 2001)

| Stabilisatoren | Mobilisatoren |
|---|--|
| Monoartikulär | Biartikulär/multiartikulär |
| Segmentale Ansätze | Oberflächliche Lage |
| Tief liegend mit kleinem Drehmoment | Lange Hebelarme, großes Drehmoment |
| Oberflächlich liegend mit flächigen Ansätzen (bessere Kraftübertragung) | Können schnelle Bewegungen und große Amplituden erzeugen |
| Überwiegend aktiviert in der Stützfunktion | Überwiegend aktiviert in der Spielfunktion |
| Aktiviert bei der Bremsfunktion (Kontrolle der Gewichte im exzentrischen Modus) | Aktiviert bei ballistischen Bewegungen |

2.4.3 Muskularbeit im Umgang mit den Körpergewichten

Der ökonomische Umgang mit den eigenen Körpergewichten unter Einfluss der Schwerkraft kennzeichnet das normale Bewegungsverhalten jedes Menschen und ist ein Kernelement des klinischen Denkens in der FBL Functional Kinetics. Dabei bilden die physiologischen Begriffe „dynamisch konzentrisch/exzentrisch und isometrisch“ das theoretische Wissen um Kontraktionseigenschaften der Muskulatur. Der Begriff „statisch“ (isometrisch) bedeutet, dass der Muskel die gleiche Längenausdehnung beibehält, während sich die Muskelfaserlänge bei „dynamischer“ Muskularbeit verändert.

Klinisch bedeutsamer ist, ob ein Muskel Gewichte heben kann, sie dosiert mit der Schwerkraft absenken kann, ob die Gewichte auf horizontalen Ebenen bewegt werden oder ob diese Gewichte am Fallen gehindert werden. Die räumliche Komponente beeinflusst demnach die Arbeitsweise der Muskulatur. Die Qualität der Bewegung wird anhand des äußeren Erscheinungsbilds beurteilt und ist ein Zeichen von optimaler motorischer Kontrolle. Nach funktionellen Gesichtspunkten kann ein Muskel demnach unterschiedlich in Aktion treten. Die Intensität der Muskularbeit ist abhängig von der Lage der Bewegungsachsen, von der Länge des Hebels oder von der Größe des einwirkenden Gewichts.

Hubbelastung

Physikalisch ist Hub ausschließlich die senkrechte Bewegung eines Objekts von unten nach oben. Hubarbeit ist daher eine Art von mechanischer Arbeit, bei der ein Körper oder Körperteildurch eine Kraft bewegt oder verformt

wird. Immer, wenn ein Körper oder Körperteil angehoben wird, wird Hubarbeit verrichtet. Ein Beispiel dafür wäre ein Kran auf einer Baustelle. Dieser hebt Baumaterial vom Boden auf eine höhere Stelle. Handelt es sich um den ursprünglichen, senkrechten Hub von unten nach oben, so spricht man in der Physik heute von Aufwärtshub. Die umgekehrte Bewegung zu einer Aufwärtsbewegung wird als Abwärtshub bezeichnet. Im Laufe der Zeit hat sich eingebürgert, alle Bewegungen eines Objekts von einem zum anderen Punkt auf gerader Strecke und unabhängig von der Richtung als Hub zu bezeichnen (Stöcker 2000).

Die physikalische Bezeichnung der Hubarbeit hat Klein-Vogelbach auf die Belastung (Last!), also die Beanspruchung übertragen.

- Aufwärtshub entspricht der positiven Hubbelastung (Abb. 2.15a).
- Abwärtshub entspricht der negativen Hubbelastung (Abb. 2.15b).
- Horizontales Bewegen, bei dem Gewichte immer den gleichen Abstand zum Boden (bzw. Erdmittelpunkt) haben, wird hubfreies Bewegen genannt (Abb. 2.15c).

Die Muskulatur hat demnach unterschiedliche Aufgaben im Bewegungsverhalten. Bei dynamischer Muskelaktivität wird unterschieden, ob sich die Muskulatur aktiv verkürzt und als Beweger und Heber arbeitet oder ob sie sich aktiv verlängert und als Bremsen von Bewegung arbeitet. Man unterscheidet demnach:

- **dynamisch-konzentrische*** Muskularbeit: Sie ist gegen die Schwerkraft gerichtet und entsteht bei Bewegungen, die nach oben gerichtet sind. Die Muskulatur verkürzt sich aktiv. Wir sprechen von positiver Hubbelastung, da die Muskeln als **Heber** arbeiten. Dabei steht die Bewegungsachse horizontal. Wenn eine Bewegungsachse vertikal steht, werden körpereigene Gewichte auf horizontalen Ebenen bewegt. Dann arbeiten die Muskeln auf der Seite, in welche die Bewegung geht, ebenfalls dynamisch konzentrisch. Da allerdings ist die Belastung nicht durch die Schwerkraft geprägt und wird daher **hubfreies** Bewegen genannt;
- **dynamisch-exzentrische*** Muskularbeit: Sie bremst Bewegungen nach unten, die durch die Schwerkraft beschleunigt würden. Die arbeitenden Muskeln werden länger und senken Gewichte nach unten ab. Wir sprechen von negativer Hubbelastung, da die Muskeln als **Bremsen** arbeiten.

Der Einfluss der Schwerkraft bestimmt die Art und Weise, wie der Muskel mit den eigenen Körpergewichten umgeht. Der Muskel kann als Beweger und Heber von Gewichten, als Verhinderer des Fallens von Gewichten

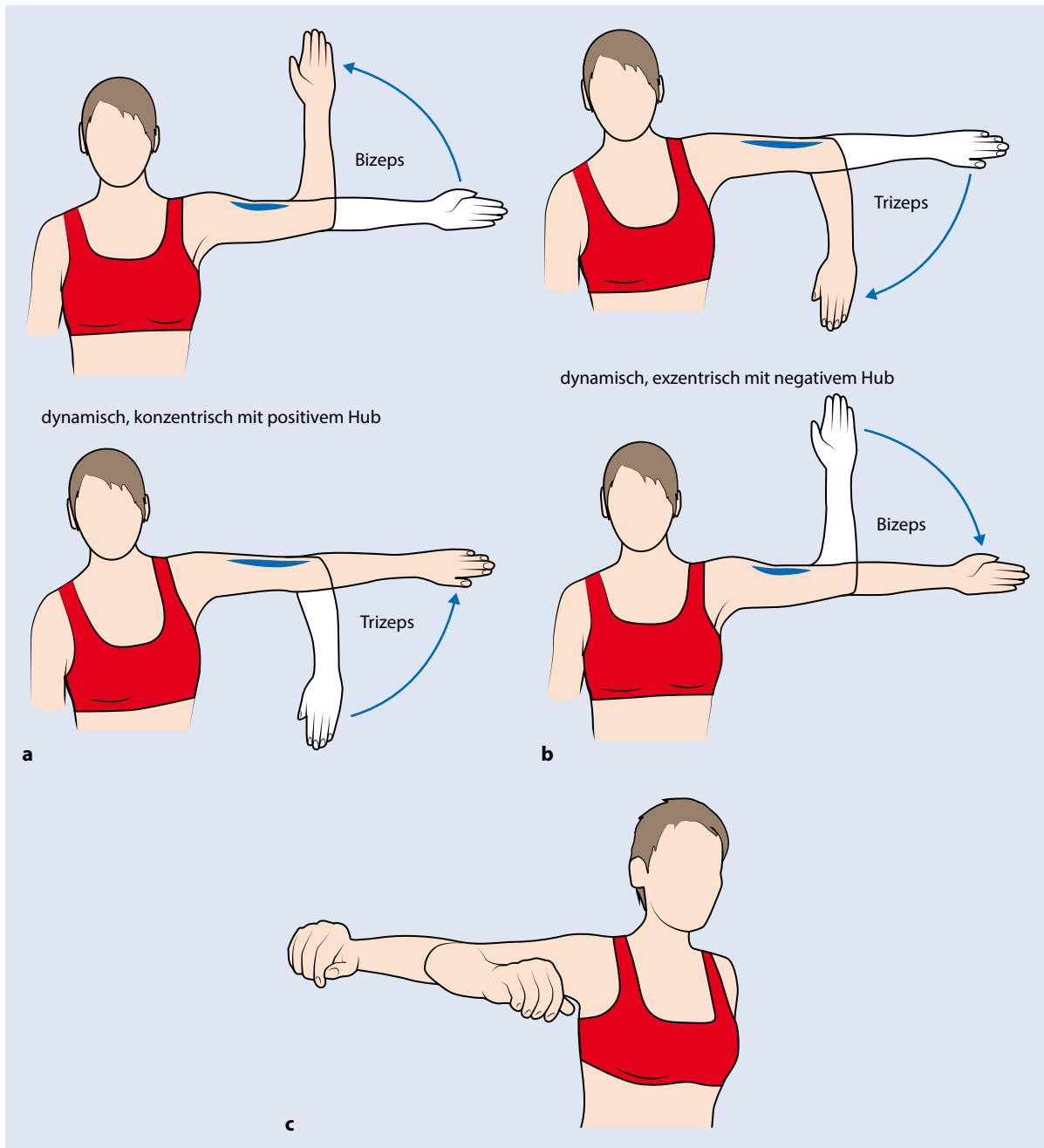


Abb. 2.15a–c Muskelarbeit im Umgang mit den Körpergewichten. **a** Positive Hubbelastung der Mm. biceps und triceps brachii: Die Muskeln arbeiten als Heber von Gewichten, **b** negative Hubbelastung: Die Mm. biceps und triceps brachii arbeiten als Bremsen von Gewichten, **c** hubfreies Bewegen: Die Gewichte werden horizontal bewegt

oder als Bremsen fallender Gewichte in Aktion treten. Wenn ein Muskel die Funktion erfüllt, die der anatomischen Funktionsbezeichnung entspricht, so arbeitet er dynamisch-konzentrisch als Heber und Beweger. Beispiel: Beim Anheben einer Tasche beugt der M. biceps brachii das Ellenbogengelenk – er arbeitet dynamisch-konzentrisch.

Erfüllt ein Muskel die Funktion, die seiner anatomischen Funktionsbezeichnung entgegengesetzt ist, so arbeitet er dynamisch exzentrisch als Bremsen.

Beispiel

Beim Hinsetzen auf einen Stuhl lässt der M. quadriceps kontrolliert nach, damit man nicht auf den Stuhl fällt – er arbeitet

tet dynamisch-exzentrisch. Anatomisch wird er als Strecker im Kniegelenk bezeichnet, in seiner Funktion ist er jedoch in diesem Fall ein Beugeverhinderer – er arbeitet bremsend und lässt somit eine kontrollierte Beugung zu.

Gibt ein Therapeut in bestimmte Bewegungsrichtungen **Widerstand**, ist die Muskularbeit unabhängig von der Lagebeziehung zur Schwerkraft. Die Verkürzung eines Muskels gegen therapeutischen Widerstand entspricht dynamisch-konzentrischer Muskularbeit (der Patient „gewinnt“). Kontrolliertes Nachgeben eines Muskels bei einwirkendem therapeutischem Widerstand entspricht dynamisch-exzentrischer Muskularbeit (der Therapeut „gewinnt“). Sind beide, Therapeut und Patient, „gleich stark“, arbeitet die Muskulatur statisch.

Bewegende und komprimierende Gelenkkomponente

Ein Muskel kann durch seine Lagebeziehung zum Drehpunkt* entweder vorwiegend **bewegend** oder vorwiegend **komprimierend** auf die Gelenkflächen einwirken. Der Abstand zwischen Drehpunkt und Zugrichtung eines Muskels, bestimmt durch das Lot, zeigt in jeder Stellung der Gelenkpartner zueinander, welche Gelenkkomponente vorherrscht. Bei großem Abstand ist es die bewegende, bei kleinem Abstand die komprimierende Gelenkkomponente. Je mehr Freiheitsgrade ein Gelenk besitzt, umso komplexer müssen die stabilisierenden Aktivitäten sein. Die bewegende Komponente wird durch gelenknahe Tuberkel, Trochantere, Spinae und Margines verbessert.

Beispiel

Die Ansatzsehne des Quadrizeps wird durch die Patella von der Flexions-/Extensionsachse des Kniegelenks entfernt. Dadurch hat der Muskel eine bessere bewegende Komponente. Ist der Muskel fallverhindernd statisch aktiv, kann durch die gleichzeitige Kontraktion der Flexoren eine komprimierende Komponente entstehen. Das ist immer der Fall, wenn die Körperlängsachse* im Hüftgelenk flexorisch nach vorn geneigt wird und die Ischiokruralmuskulatur die flexorische Falltendenz des Beckens in den Hüftgelenken kontrolliert.

Die gleichzeitige Aktivierung von Agonist und Antagonist, die sog. **Kokontraktion**, stabilisiert den aktuellen Gelenkzustand insofern, als die Empfindlichkeit des Gelenks für äußere Einflüsse herabgesetzt wird. Der Mensch nutzt diese Strategie effektiv zur Stabilisierung seiner Bewegungsabläufe. Es wurde nachgewiesen, dass das Heben einer instabilen Last (wassergefüllter Behälter) unter weit aus größerer Aktivität der lumbalen Muskulatur erfolgt als beim Heben eines starren Gegenstandes gleichen Gewichts (van Dieen et al. 2003). Diese Art der Gelenkstabilisierung geht jedoch einher mit einer großen Belastung der

Gelenkstrukturen und einem hohen Energieverbrauch der beteiligten Muskeln. Sie wird daher immer nur kurzzeitig eingesetzt. Die menschliche Bewegungssteuerung sucht immer den optimalen Kompromiss zwischen Schutz des Gelenks vor äußeren Störungen und Energieeffizienz der Bewegung.

Die bewegende Gelenkkomponente ist besonders günstig, wenn der Winkel zwischen den Gelenkpartnern ca. 90° beträgt und Ansatz und Ursprung der Muskulatur möglichst weit entfernt vom Drehpunkt liegen. Wird der Winkel größer, dann nimmt die bewegende Komponente ab, die komprimierende zu und der Muskel wird durch Dehnung zur Kontraktion stimuliert. Stehen die Gelenkpartner in Verlängerung zueinander, beträgt der Winkel ca. 180°, und die bewegende Komponente ist gleich Null, während die komprimierende extrem groß ist, weil die Kontraktion die Gelenkflächen gegeneinander drückt (Abb. 2.16).

Bei parallelem Verlauf von Rotationsachse und Zugrichtung des Muskels ist die bewegende Komponente gleich Null und die komprimierende relativ am größten. Bildet die Rotationsachse mit der Zugrichtung des Muskels einen Winkel von $\pm 90^\circ$, dann ist die bewegende Komponente relativ am größten und die komprimierende gleich Null.

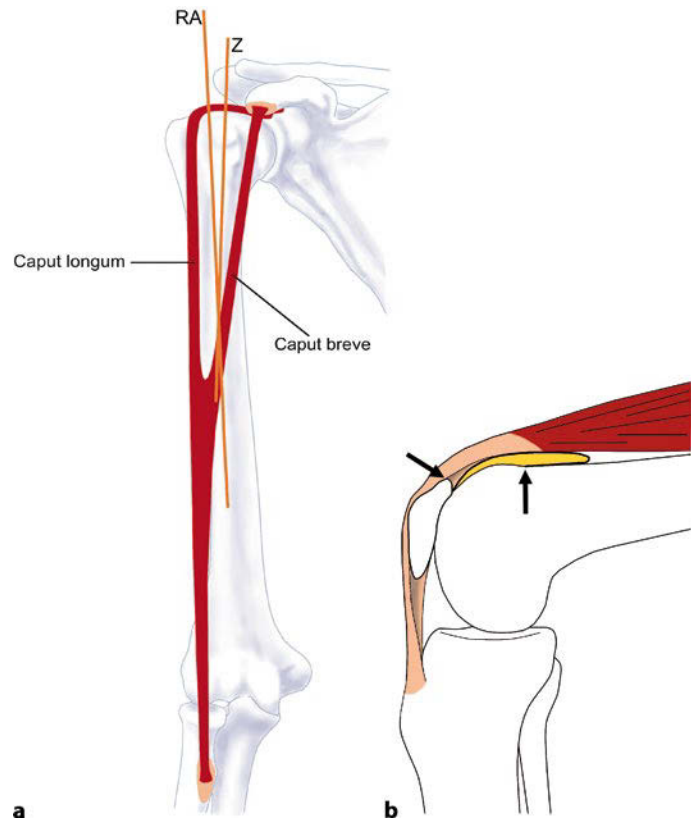
Steht die Zugrichtung eines Muskels rechtwinklig auf der Verschiebeebene der einzelnen Wirbelkörper, so ist die komprimierende Komponente am größten und die bewegende gleich Null. Je kleiner der Winkel zwischen Zugrichtung des Muskels und Verschiebeebene wird und je weiter die Befestigungsstellen voneinander entfernt sind, desto größer wird die bewegende Komponente. Im Bereich der Wirbelsäule zwischen Brustkorb und Becken sowie zwischen Brustkorb und Kopf muss die autochthone Wirbelsäulenmuskulatur die translatorischen Feinbewegungen ausführen. Sie kontrolliert die **segmentale Stabilisation** wie auch die einzelnen geringen, aber in der Summe beträchtlichen Bewegungsausschläge der Wirbelsäule.

2.5 Kapseln und Bänder – Arretierungen

Betrachtet man nur die knöcherne Form der Gelenke, so sind meistens ausgiebigere Bewegungsausschläge zu erwarten. Diese werden jedoch durch Gelenkkapseln und Bänder sowie durch Muskeltonus und -aktivität auf die wirklich vorhandenen Bewegungstoleranzen begrenzt.

Die Lokalisation dieser Arretierungen, d. h., ihre Lagebeziehung zu den jeweiligen Bewegungsachsen, folgt dem Prinzip der Ökonomie. Es werden Muskeln gespart, die mögliche, aber entbehrliche Bewegungen kontrollieren müssten. Und es werden Bewegungen blockiert, die den bewegten oder gehaltenen Körper gefährden würden.

■ **Abb. 2.16a,b** Bewegende **a** und komprimierende **b** Gelenkkomponenten



Definition

Als **Arretierungen** wird die Begrenzung der Gelenkbeweglichkeit durch passive Strukturen des Bewegungssystems bezeichnet.

Der Grad der Arretierungen ist konstitutionell und konditionell sehr unterschiedlich. Bei einer Beweglichkeitsuntersuchung der Gelenke sollte man die Bewegung bis an die Arretierungen prüfen und sich nicht durch bremsende Muskelaktivitäten täuschen lassen. Arretierungen sind nützliche Sicherungen. Werden sie allerdings ständig benutzt, so ist das ein Charakteristikum für eine schlechte Haltung. Es wird zwar Muskelaktivität gespart, aber die passiven Strukturen des Bewegungssystems werden unphysiologischen und unkontrollierbaren Belastungen ausgesetzt. Beispiel dafür ist das Genu recurvatum, bei dem das Kniegelenk in voller Extensionsstellung durch den dorsalen Kapsel-Band-Apparat vor dem Einknicken bewahrt wird und dabei der Quadrizeps vollständig entlastet wird.

■ Wichtige Arretierungen

■ **Fuß:** Das Skelett des Fußes, das aus einer Vielzahl kleiner Knochen besteht, hat gewölbebildende Aufgaben, die ohne Arretierungen nicht erfüllt werden könnten. Die Talusrolle, der Kopf des oberen Sprunggelenks, wird von der Malleolengabel umfasst, die nur durch die tibiofibuläre Syndesmose brauchbar wird. Ohne intakten Bandapparat ist die Funktion der Fußgelenke sehr beeinträchtigt.

gelenks, wird von der Malleolengabel umfasst, die nur durch die tibiofibuläre Syndesmose brauchbar wird. Ohne intakten Bandapparat ist die Funktion der Fußgelenke sehr beeinträchtigt.

- **Kniegelenk:** Die dorsalen Arretierungen lassen normalerweise die Überstreckung des Kniegelenks nicht zu. Mediale und laterale Arretierungen verhindern die unterwünschten ab-/adduktorischen Bewegungen des Unterschenkels gegen den Oberschenkel. Das Abrutschen der Femurkondylen vom Tibiaplateau wird durch die Kreuzbänder verhindert.
- **Hüftgelenk:** Das iliofemorale Band stellt eine der wichtigsten und ökonomischsten Arretierungen dar. Es verhindert, dass bei extendierten Hüftgelenken das Becken mit den darüber liegenden Körperteilen nach hinten kippt.
- **Wirbelsäule:** Jedes Bewegungssegment besitzt arretierende dorsale, ventrale und laterale Bandverbindungen. Sie konditionieren das komplexe Gebilde der Wirbelsäule bestens für eine axiale Belastung und machen z. B. direkt an der Brustwirbelsäule ansetzende Flexoren überflüssig. Die Häufigkeit der statischen Rückenbeschwerden zeigt deutlich, was geschieht, wenn die Arretierungen durch schlechte Haltungsgewohnheiten ungebührlich strapaziert werden.

■ Sternoklavikular- und Akromioklavikulargelenke:

Wie wichtig Arretierungen sind, zeigt sich an diesen Gelenken, da sie als einzige gelenkige Verbindungen des Schultergürtels mit dem Brustkorb den großen Belastungen durch Hand- und Armaktivitäten standhalten müssen.

2.6 Bewegungskontrolle

Der Begriff „Bewegungskontrolle“ stammt ursprünglich aus den Ingenieurwissenschaften und bedeutet dort die Fähigkeit eines Systems, während der Ausführung eines Ablaufs dabei entstehende Abweichungen und/oder Fehler zu entdecken und selbständig zu korrigieren. Diese Definition ist in gewisser Weise auf den Menschen zu übertragen.

Die Bewegungskontrolle im menschlichen Organismus erfolgt auf mehreren Ebenen, von der überschaubaren Reflexkontrolle im Rückenmark bis hin zur Kontrolle komplexer Bewegungsabläufe über das Kleinhirn und die Basalganglien. Die Kontrolle der menschlichen Bewegungen erfolgt unbewusst. Im Laufe der Evolution haben sich sehr differenzierte Kontrollmechanismen der menschlichen Bewegung entwickelt, die sich nach unterschiedlichen Kriterien ordnen lassen. Die Aufgabe der Bewegungskontrolle besteht darin, alle Strukturen so zu organisieren, dass auf ökonomische Weise das Bewegungs- oder Handlungsziel erreicht wird. Die Bewegungskontrolle wird während des Lernprozesses des Bewegungsablaufs (automatisch und in der Regel unbewusst) aufgebaut, indem Abweichungen und Fehler entdeckt und selbständig korrigiert werden. Damit dies gelingt, muss das System in der Lage sein, eine bestimmte Bewegung auf vielen verschiedenen Wegen durchzuführen. Durch diese Flexibilität des motorischen Systems sind wir in der Lage, eine Aktion auf verschiedene Art und Weise unter verschiedenen Bedingungen durchzuführen. Demnach besteht eine endlose Zahl an Möglichkeiten, um bestimmte Bewegungen durchzuführen.

Aber welcher Weg wird aus den schier unendlichen Möglichkeiten ausgewählt, um an ein Bewegungsziel zu gelangen?

- Der effizienteste Weg ist der geradlinige. Alles, was den Handelnden interessiert, ist das Erreichen des Ziels (nicht der Weg) (Marasso 1981).
- Die effizienteste Bewegung ist diejenige, bei der die Gelenke die minimale Bewegung vornehmen (Uno et al. 1989).
- Ökonomisch ist es, wenn Gelenke und Muskelgruppen synergistisch zusammenarbeiten (Santello et al. 1998).
- Die antizipatorische* posturale Anpassung gewährleistet, dass der Körper sich automatisch jeder neuen Situation anpasst (Massion 1994), wobei ein

großer Datensatz von Körperpositionen in unserem Gedächtnis gespeichert ist. Die richtige Stellung wird erstens im Hinblick auf die Präzision und zweitens auf den Energieverbrauch ausgewählt (Rosenbaum et al. 1995).

Bewegungskontrolle oder **motorische Kontrolle** beschreibt das Planen und Ausführen von Bewegungen. Lernen motorischer Fähigkeiten beschreibt eine steigende Präzision in Bezug auf Raum und Zeit mit Hilfe von Übung. Diese motorischen Fähigkeiten sind generalisierbar, ihre Speicherung gelingt gut, sie werden durch Übung automatisiert, und der Anspruch an Aufmerksamkeit wird immer kleiner.

Eine effiziente Haltung und Bewegung ist ohne eine ständige Kontrolle und Anpassung des zentralen Nervensystems und des muskuloskeletalen Systems nicht möglich. Dazu existieren teils angeborene, unbewusst ablaufende Bewegungsprogramme wie Atmen, Schlucken und einfache Massenbewegungen der Extremitäten und teils erworbene, oft automatisierte Bewegungsprogramme, die im Laufe der Zeit immer ökonomischer, leichter und differenzierter ausgeführt werden. Das ist das Ergebnis eines motorischen Lernprozesses. Da dieser Lernprozess in einer individuellen biopsychosozialen Konstellation stattfindet, stellen die erlernten Bewegungen wie Gehen, Haltung, die Schrift und somit das gesamte Bewegungsverhalten die einmaligen und daher unverwechselbaren Merkmale des Individuums dar (Bacha 2007; Suppé et al. 2011).

Motorische Kontrolle bedeutet, dass die Muskulatur und ihre Faszien* Bewegungen antizipatorisch*, reaktiv und kontrolliert zulassen. Je nach Ziel werden eine oder mehrere Bewegungskomponenten stabilisiert und die anderen frei gegeben. Die motorische Kontrolle kann anhand des idealen äußeren Erscheinungsbilds und der situationsangepassten Aktivierung der Muskulatur beurteilt werden. Eine schlechte Bewegungsqualität kann als verminderte neuromuskuläre Kontrolle interpretiert werden (Bacha 2007).

Klein-Vogelbach (1976) und Janda (1979) sehen die Entstehung und Manifestierung von unökonomischen Bewegungen als Zeichen einer zentralen Fehlsteuerung.

Nach Janda (1979) äußert sich diese zentrale Fehlsteuerung in Form einer **muskulären Dysbalance** zwischen zwei strukturell und funktionell unterschiedlichen Muskelgruppen. Während die posturalen Muskelgruppen zu Überaktivität neigen, tendieren die phasischen Muskelgruppen zur Inhibition. Diese Klassifikation ist eine wichtige Hilfe für die Diagnostik und Therapie bei neuromuskulären Dysfunktionen.

Bergmark (1989) schlug eine Klassifikation basierend auf der biomechanischen Betrachtungsweise vor. Je nach Hebelwirkung auf das Bewegungssegment unterscheidet

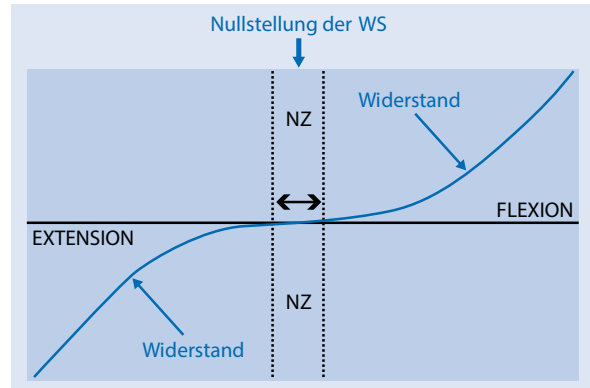
er lokale Muskelgruppen mit der Hauptfunktion „Stabilisation“ von globalen mit eher „bewegender Funktion“. Nach Panjabi (1992) hat das stabilisierende System die Aufgabe, die neutrale Zone eines Gelenks innerhalb ihrer physiologischen Grenzen zu halten, sodass es zu keinem entsprechenden klinischen Bild kommt. Er unterteilt das Bewegungsausmaß eines Gelenks in eine neutrale Zone (NZ) und eine elastische Zone (EZ) (Abb. 2.17). Die neutrale Zone ist der Bereich einer Bewegung, in dem ausgehend von der neutralen Position die Bewegung gegen minimalen internen Widerstand durchgeführt wird. In seiner ursprünglichen Definition bezieht Panjabi die Beschreibung der neutralen Zone nur auf anguläre (physiologische) Bewegungen.

➤ In der FBL Functional Kinetics wird die Muskulatur nach den beobachtbaren Merkmalen beurteilt, die der Körper im Umgang mit der Schwerkraft und durch die Verbindung des Körpers mit der Umwelt aufweist (Klein-Vogelbach 1976). Der Unterschied dieser Betrachtungsweise zur Betrachtung der physiologischen Kontraktionseigenschaften (dynamisch konzentrisch, exzentrisch, isometrisch) liegt darin, dass Klein-Vogelbach durch ihre Klassifikation die Muskelarbeit „beobachtbar“ gemacht hat. Das ermöglicht es dem Therapeuten/Beobachter, jederzeit und bei jedem beliebigen Bewegungsablauf die Fähigkeit der Muskulatur in Bezug auf Bewegungskontrolle zu beurteilen. Der Therapeut interpretiert also die Muskelaktivität anhand der Bewegungsanalyse. In der Bewegungsanalyse erkennt der Therapeut, ob die Bewegungskontrolle unter Einfluss der Schwerkraft und im Umgang mit den Kontaktstellen mit der Umwelt effektiv erfolgt.

2.6.1 Dynamische Stabilisation

Muskulatur wird immer aktiviert, sobald sich die Gleichgewichtslage des Körpers ändert. Diese sichernde Muskelaktivität wird in der FBL „dynamische Stabilisation“ genannt. Damit die Muskulatur ein Gelenk stabilisieren kann, muss sie folgende Fähigkeiten haben (Lee 1999; Jull et al. 1996; Klein-Vogelbach 1984):

- Eine statische Kontraktion kann über längere Zeit gehalten werden.
- Die Muskulatur arbeitet so koordiniert, dass sie die neutrale Zone kontrollieren kann (adäquate Kompression der artikulären Strukturen).
- Die Gelenkflächen werden jederzeit optimal zueinander angeordnet.
- Die Muskulatur reagiert adäquat auf einwirkende Kräfte.



■ **Abb. 2.17** Bewegungsdiagramm für die FLEX-EXT (der Wirbelsäule) mit der Visualisierung der neutralen Zone (NZ). (Mod. nach Panjabi 1992)

Die Stabilisation findet sowohl auf lokaler Ebene innerhalb eines Körperabschnitts* statt als auch auf globaler Ebene zwischen zwei oder mehreren Körperabschnitten. Sie geschieht zumeist antizipatorisch* (vorbereitend) für eine geplante Bewegung und reaktiv als Antwort auf eine Gefährdung der Gleichgewichtslage (Bacha 2007).

➤ Die Funktionsweise des myofaszialen Systems erklärt sich nicht durch die Arbeitsweise einzelner Muskeln, sondern nur durch deren Zusammenspiel.

Die Stabilisation eines Gelenks oder eines Körperabschnitts wird durch das stabilisierende System (aktives, passives und Kontrollsystem) gewährleistet. 1984 hat Klein-Vogelbach den Begriff der dynamischen Stabilisation geprägt. Seit 1998 wird auch in der englischsprachigen Literatur der Begriff der dynamischen Stabilisation benutzt (O'Sullivan 2000; Lee 1999; Gill u. Callaghan 1998). Durch diesen Begriff wird deutlich, dass Stabilisation kein statisches Geschehen ist. Das Ziel der dynamischen Stabilisation ist es, in jeder Phase einer Bewegung sowie in jeder Haltung die optimale Gelenkstellung sicherzustellen.

2.6.2 Koordination

Unter Koordination versteht man das aufeinander Abstimmen verschiedener Vorgänge wie beispielsweise Kondition, Kraft, Schnelligkeit, Schnellkraft und Ausdauer, um zu einem effektiven Bewegungsergebnis zu kommen. Im physiologischen Sinne ist Bewegungskoordination das Wechselspiel von Agonisten und Antagonisten. Man unterscheidet zwischen der intramuskulären Koordination, bei der das Zusammenspiel zwischen Nerven und Muskeln innerhalb eines Muskels verstanden wird, und der intermuskulären Koordination, die sich auf das Zusammenwirken mehrerer Muskeln bezieht. Im Bezug auf die menschliche

Bewegung bedeutet Koordination das sinnvolle Zusammenspiel einzelner Körperabschnitte oder des gesamten Körpers.

Bei den meisten Bewegungen macht das Zusammenspiel der koordinativen Fähigkeiten erst die Zielbewegung aus. Betrachtet man beispielsweise einen Handballspieler beim sogenannten „Sprungwurf“, benötigt er für den Anlauf eine gute Rhythmisierungs- und Orientierungsfähigkeit, Absprung und Wurf benötigen Kopplungsfähigkeit, und die Umstellungsfähigkeit hängt eng mit der Reaktionsfähigkeit zusammen.

Was versteht man unter den einzelnen koordinativen Fähigkeiten?

- **Reaktionsfähigkeit** ist die Fähigkeit, auf einen oder mehrere Reize aus der Umwelt schnell und zielsicher zu reagieren.
- Treten während einer Bewegungsausführung plötzlich veränderte Bedingungen auf, muss der Mensch seine Handlungen zweckmäßig anpassen. Diese Form der Koordination nennt man **Umstellungsfähigkeit**. Sie ist abhängig von der Reaktionsgeschwindigkeit und der Bewegungserfahrung. Je größer das Bewegungsrepertoire, desto besser auch die Umstellungsfähigkeit.
- Unter **Orientierungsfähigkeit** wird die Fähigkeit verstanden, die Lage des eigenen Körpers im Raum zu bestimmen und zielgenau zu verändern. Sie ist abhängig von der Bewegungserfahrung.
- Die **Differenzierungsfähigkeit** dient der Feinabstimmung der Bewegungskoordination.
- Die **Kopplungsfähigkeit** beschreibt am besten das koordinative Zusammenspiel des ganzen Körpers. Einzelne Impulse werden dabei simultan oder nacheinander so koordiniert, dass Bewegungsfluss, Bewegungsrhythmus, Bewegungstempo und Bewegungsgenauigkeit gewährleistet werden. Dazu müssen die Bewegungselemente zeitlich, räumlich und kräftemäßig aufeinander abgestimmt werden.
- Die **Gleichgewichtsfähigkeit** des Menschen zeichnet sich dadurch aus, dass er in der Lage ist, seinen Körper von einem labilen ins stabile Gleichgewicht zu bringen.
- **Rhythmisierungsfähigkeit** ermöglicht, einen vorgegebenen Rhythmus wahrzunehmen und die eigenen Handlungen diesem Rhythmus anzupassen.

Der Therapeut erkennt eine optimale Bewegungskoordination an dem optischen, ästhetisch ansprechenden und scheinbar mühelosen äußeren Erscheinungsbild. Die Bewegungslehre umschreibt sie mit Merkmalen wie flüssig, rhythmisch, körpergerecht, ökonomisch, präzise, ästhetisch und gekonnt. Die gelungene Bewegungskoordination macht die Qualität einer Bewegungsgestalt aus und ist ein signifikanter Gradmesser für die Beherrschung eines Bewegungsablaufs.

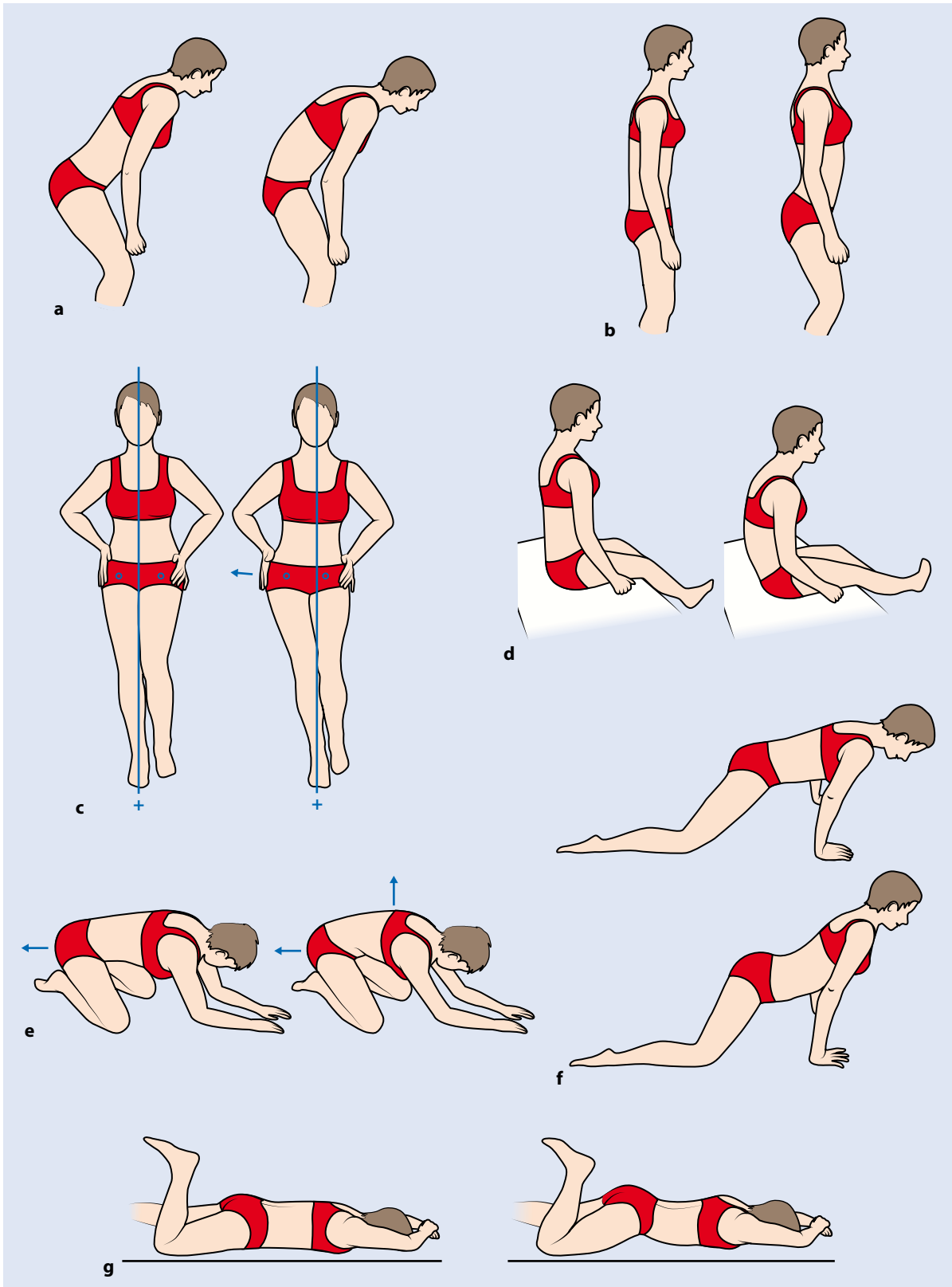
Verschiedene Lebensbereiche stellen verschiedene Anforderungen an die Bewegungskoordination. So zeigen sich Alltagsbewegungen als relativ einfach strukturierte Bewegungsformen, die schnell beherrschbar sind. Berufsbezogene Bewegungen erfordern spezifische Lernprozesse. Höchste Ansprüche an das Koordinationsvermögen werden an Sportler und Musiker gestellt. Die Bewegungskoordination ist wegen ihrer Komplexität die am schwierigsten zu messende Grundfertigkeit. Um ihre unterschiedlichen Komponenten und deren Zusammenspiel zu erfassen, reicht kein Einzeltest. Es bedarf einer so genannten Testbatterie, die eine Serie von Einzelaufgaben koordiniert, die diese Komponenten repräsentieren.

Eine solche Testbatterie wurde von Luomajoki et al. (2007) entwickelt, um die **Dysfunktion der Bewegungskontrolle** bei Patienten mit **Rückenschmerzen** zu untersuchen (■ Abb. 2.18). Wenn Patienten ihre Bewegungen im Rücken nicht kontrollieren können, zeigen sich folgende Abweichungen:

- Beim Bücken findet die Bewegung nicht im Hüftgelenk statt, sondern flexorisch in der Wirbelsäule.
- Beim isolierten Bewegen des Beckens in Hüft- und LWS-Gelenken wird das Becken nach vorn und hinten geschoben.
- Beim Wechsel vom Einbeinstand von rechts nach links verschiebt sich das Hüftgelenk um mehr als 8 cm.
- Im Sitz kann bei der Extension des Unterschenkels im Kniegelenk die WS nicht stabil gehalten werden.
- Wenn im Vierfüßlerstand das Gewicht nach vorn/hinten geschoben wird, kann die WS nicht horizontal gehalten werden.
- In Bauchlage kann bei Flexion des Unterschenkels im Kniegelenk das Becken nicht liegen bleiben.

Weitere Tests bzw. Kriterien zur Beurteilung der Koordinationsfähigkeit der Muskulatur werden in ► Abschn. 6.6.3 vorgestellt.

■ Abb. 2.18a–g Funktion und Dysfunktion der Bewegungskontrolle. **a** bei Vorneigung des Körpers, **b** bei selektivem Bewegen des Beckens in den Hüftgelenken, **c** bei Wechsel vom Zweibeinstand in den Einbeinstand, **d** beim Anheben des Unterschenkels im Sitzen, **e** beim Rückwärtsbewegen des Körpers im Vierfüßlerstand, **f** beim Vorwärtsbewegen des Körpers im Vierfüßlerstand, **g** beim Anheben des Unterschenkels aus Bauchlage



Literatur

- Bacha S (2007) Muskelfähigkeiten. In: Spirgi-Gantert I, Suppé B (Hsg) FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics. Die Grundlagen, 6. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg
- Bergmark A (1989) Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand* 230(60):20–24
- Desplanches D (1997) Structural and functional adaptation of skeletal muscle to weightlessness. *Int J Sports Med Suppl* 4:259–264
- van Dieën JH, Kingma I, van der Burg P (2003) Evidence for a role of antagonistic cocontraction in controlling trunk stiffness during lifting. *J Biomech* 36(12):1829–1836
- Gill KP, Callaghan MJ (1998) The measurement of lumbar proprioception in individuals with or without low back pain. *Spine* 3:371–177
- Hodges PW, Richardson CA (1997) Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Exp Brain Res* 2:362–270
- Janda V (1979) Muskelfunktionsdiagnostik. Aco, Leuven
- Jull GA et al (1996) Towards the validation of a clinical test for the deep abdominal muscles in pain patients Ninth Biennial Conference of the Manipulative Physiotherapists Association of Australia. Manipulative Therapist Association of Australia, Gold Coast, Queensland, Australia
- Klein-Vogelbach S (1976) Funktionelle Bewegungslehre. Springer, Berlin Heidelberg
- Klein-Vogelbach S (1984) Funktionelle Bewegungslehre, 3. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg
- Klein-Vogelbach S (1990) Funktionelle Bewegungslehre, 4. Aufl. Springer, Berlin Heidelberg
- Lee D (1999) The pelvic girdle. An approach to the examination and treatment of the lumbo-pelvic-hip region. Churchill Livingstone, Edinburgh London New York
- Luomajoki H, Kool J, De Bruin ED, Airaksinen O (2007) Reliability of movement control tests in the lumbar Spine. *BMC Musculoskelet Disord* 8:90
- Massion J (1994) Postural control system. *Curr Opin Neurobiol* 4:877–887
- Marasso P (1981) Spatial control of arm movements. *Exp Brain Res* 42:223–227
- O'Sullivan P (2000) Lumbo-pelvic instability: diagnosis and management. In: Proceedings of European IFOMT Antwerp Belgium, Sept. 2001. (Conference Publication)
- Panjabi M (1992) The stabilizing system of the spine. Part I: Function, dysfunction adaptation and enhancement. *J Spinal Disord* 5:383–389
- Richardson C, Hodges P, Hides J (2004) Therapeutic exercise for lumbo-pelvic stabilization. A motor control approach for the treatment and prevention of low back pain, 2. Aufl. Churchill Livingstone, Edinburgh London New York
- Rosenbaum DA, Loukopoulos LD, Meulenbroek RGJ, Vaughan J, Engelbracht SE (1995) Planning reaches by evaluating stored postures. *Psychol Rev* 102:28–67
- Santello M, Flanders M, Soechting JF (1998) Postural hand synergies for tool use. *J Neurosci* 18(23):10105–10115
- Spirgi-Gantert I, Suppé B (Hrsg) (2012) FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics. Therapeutische Übungen. Springer, Berlin Heidelberg
- Stöcker H (2000) Taschenbuch der Physik, 4. Aufl. Harry Deutsch, Frankfurt a. M.
- Suppé B, Bacha S, Bongartz M (Hrsg) (2011) FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics – praktisch angewandt. Becken und Beine untersuchen und behandeln. Springer, Berlin Heidelberg
- Uno Y, Kawato MR, Suzuki R (1989) Formation and control of optimal trajectory in human multijoint arm movement. *Biol Cybern* 61:89–101
- Williams PE, Goldspink G (1973) The effect of immobilization on the longitudinal growth of striated muscles fibers. *J Anat* 116:45–55
- Wolff J (1892) Das Gesetz der Transformation der Knochen. Hirschwald, Berlin

FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics Die Grundlagen
Bewegungsanalyse, Untersuchung, Behandlung
Suppé, B. - Spirgi-Gantert, I.; Suppé, B. (Hrsg.)
2014, XIII, 190 S. 115 Abb. in Farbe., Softcover
ISBN: 978-3-642-41900-3