

Björn Gustafsson:

Leitfaden zur Bewegungsanalyse

Zusammenfassung:

Die videogestützte, zweidimensionale Bewegungsanalyse bietet eine wichtige Grundlage für die orthopädisch-technische Versorgung. Doch welche technischen Anforderungen sind dabei zu beachten? Der Verfasser informiert in einem systematischen Überblick über die notwendige Ausstattung und räumlichen Mindestvoraussetzungen. Die Länge der Gangstrecke sowie der Mindestabstand der Kamera, das Laufband, Kameraart

und -befestigung sowie Kalibrierungstafeln müssen festgelegten Anforderungen entsprechen, um verlässliche Messergebnisse zu gewährleisten. Eine geeignete Software erleichtert die Auswertung.

Im zweiten Teil des Artikels wird ein systematisches Vorgehen in der Bewegungsanalyse vorgestellt: Das Fünf-Stufen-System beinhaltet Anamnese, Markierung, kinematische Datenerfassung, Analyse und Therapieempfehlungen.

sich demnach primär in der Klinik bei neurologischen Fragestellungen.

Laufband

Nutzt man für die Analyse ein Laufband, kann eine objektive biomechanische Analyse bereits mit wesentlich geringerem Platzbedarf durchgeführt werden. Schon in Räumlichkeiten von 4 Meter Länge und 3 Meter Breite werden Videoaufnahmen von vielen aneinander folgenden Zyklen analysiert, bei denen die Person in voller Größe zu sehen ist. Im Gegensatz zu einer freien Gangstrecke können auf einem Laufband sowohl Gang- als auch Laufanalysen durchgeführt werden. Allerdings kann es bei ungeübten Läufern zu Veränderungen des Bewegungsverhaltens (erhöhte Oberkörperneigung, kürzere Schrittlänge, höhere Kadenz, erhöhte Plantarflexion) kommen. Eine vorherige Einweisung in das Laufen auf dem Laufband reduziert diese ungewünschten Einflüsse.

Grundsätzlich unterscheidet man Laufbänder hinsichtlich der Beschaffenheit Ihrer Lauffläche – hier differenziert man Schleifgurt- oder Lamellenttechnologie. Die Lamellenttechnologie verfügt über eine nahezu reibungsfreie Lagerung der Lauffläche und ermöglicht schon bei geringer Motorleistung eine sehr konstante Geschwindigkeitseinstellung.

Wichtigstes Unterscheidungskriterium zwischen diesen beiden Technologien ist jedoch die Federung der Lauffläche. Die Lamelle des Lamellenlaufbandes taucht unter Belastung punktelastisch ein (lokal), ohne dass der restliche Teil der Lauffläche davon beeinflusst wird (Abb. 1). So erzielt diese Technologie annähernd die gleichen Dämpfungskennlinien wie ein natürlicher Untergrund, der nur lokal dämpft. Herkömmliche und verbreitete Schleifgurt-Laufbänder federn flächenelastisch (global) über die gesamte Fläche und ähneln so dem Gefühl, auf einem Trampolin mit globaler Dämpfung zu laufen. Beeinflussungen aller relevanten Gelenkstellungen bis zu muskulären Reaktionen auf diesem Unter-

Das Verständnis von Bewegungsanalysen ist vielfältig: Sportgeschäfte betreiben „Analysen“ mit dem Ziel, erhöhte Glaubwürdigkeit beim Schuhverkauf zu erzielen. In der universitären Forschung hingegen wird die Bewegung von Menschen in einem dreidimensionalen Raum nach den derzeit modernsten Verfahren und Systemen ermittelt, um Antworten auf spezifische Fragestellungen zu erhalten. Die beiden Pole der Bewegungsanalyse unterscheiden sich vor allem in der Aussage und Dauer der Durchführung. Die Analyse im Schuhverkauf kann nicht länger als 5–10 Minuten dauern, während der Faktor Zeit in der Forschung eine untergeordnete Rolle spielt. Die Orthopädisch-technik findet sich auf diesem Kontinuum genau zwischen beiden Polen. Zeit spielt eine Rolle, sollte aber unter ethisch-medizinischen Aspekten der verbesserten Patientenversorgung und Nachhaltigkeit untergeordnet sein.

Der folgende Abriss gibt einen systematischen Überblick zur videogestützten, zweidimensionalen Bewe-

gungsanalyse innerhalb der Orthopädisch-technik. Der erste Teil dieses Artikels informiert über wichtigste technische Anforderungen, der zweite Teil stellt eine neue und umfassende Systematik zur objektiven Bewegungs-

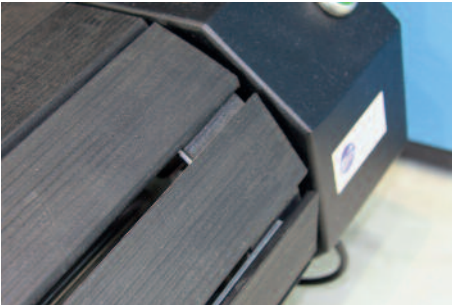
Das Laflabor – Gangstrecke oder Laufband?

Gangstrecke

Zur quantitativen Betrachtung des Gangbildes (z.B. Messung der Schrittlänge oder des Kniebeugewinkels im lateralen Videobild) ist es notwendig, eine Kamera im rechten Winkel zur Saggittalebene zu platzieren. In dieser Ebene ist für die qualitative Betrachtung des Gangbildes die Aufnahme mindestens eines Doppelschrittes notwendig. Die Kamera muss einen Minimalabstand von 4 Metern vom Untersuchungsobjekt aufweisen, was eine Mindestraumbreite von zirka 5 Metern erforderlich macht. Forschungen in der klinischen Ganganalyse ergaben, dass erst eine Gangstrecke von mindestens 9 Meter Länge objektive Untersuchungsergebnisse bei der dorsalen Betrachtung liefern. Somit sind videobasierte Analysen auf einer Gangstrecke mit Aufnahme zweier Körperebenen nur unter bestimmten räumlichen Voraussetzungen möglich – Laufanalysen gar unmöglich. Eine Vergleichbarkeit von unterschiedlichen Analysen ist bedingt möglich, da keine gleiche Geschwindigkeit zwischen unterschiedlichen Untersuchungen herrscht. Einsatzbereiche von Gangstrecken finden

Anschrift des Verfassers:

Björn Gustafsson
Currex GmbH
Dorotheenstraße 48
22301 Hamburg
E-Mail: bg@currex.de



1 Laufband ist nicht gleich Laufband. Unterschiedliche Technologien beeinflussen die Messergebnisse. Hier: Lamellenlaufband.

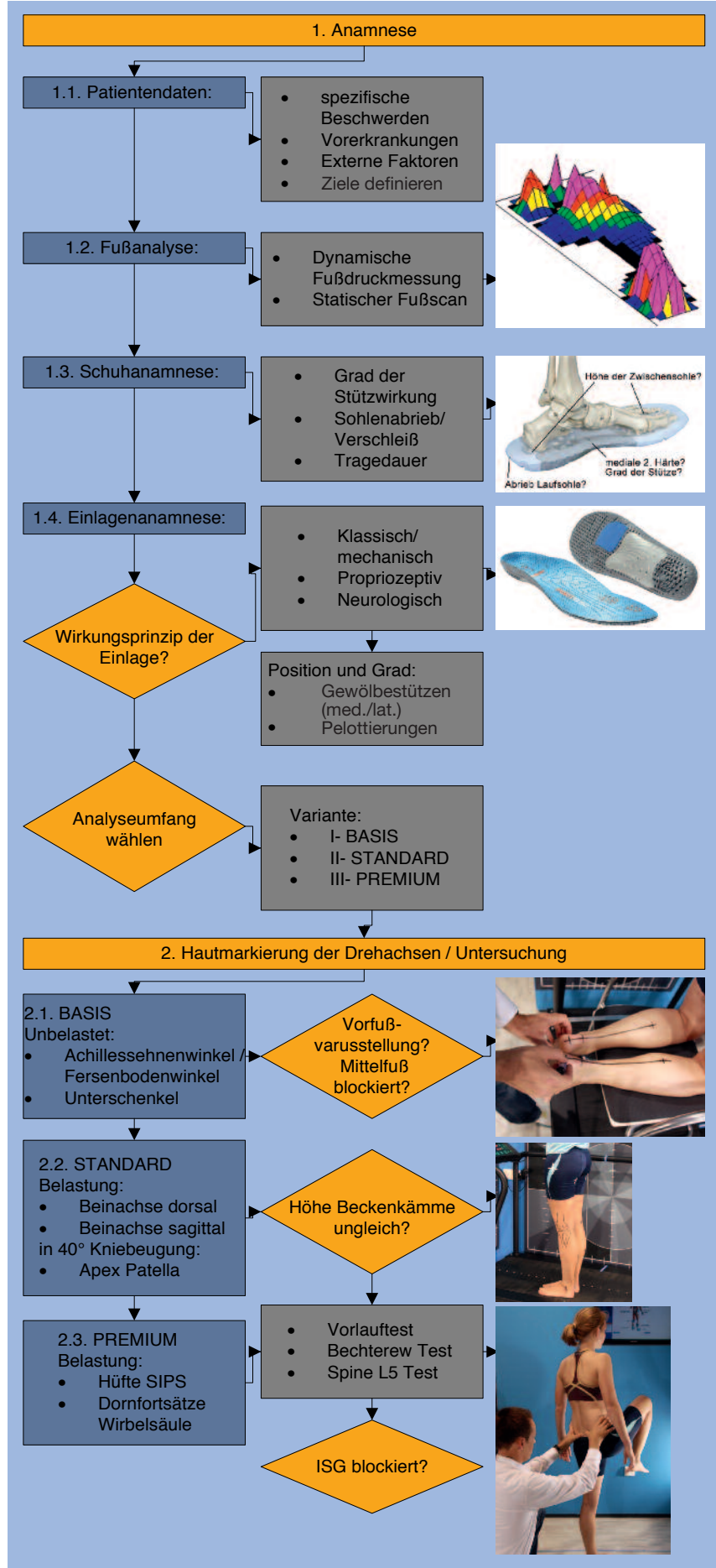
grund sind die Folge. Durch das Eintauchen der Lauffläche – bis zu 4 Zentimeter! – wird zudem die Lage des Körperschwerpunktes verändert, was eine räumliche Punktnachverfolgung (z. B. Patellatracking) höchst störanfällig macht. Dem Einsatz solcher Bänder in der Bewegungsanalyse ist abzuraten.

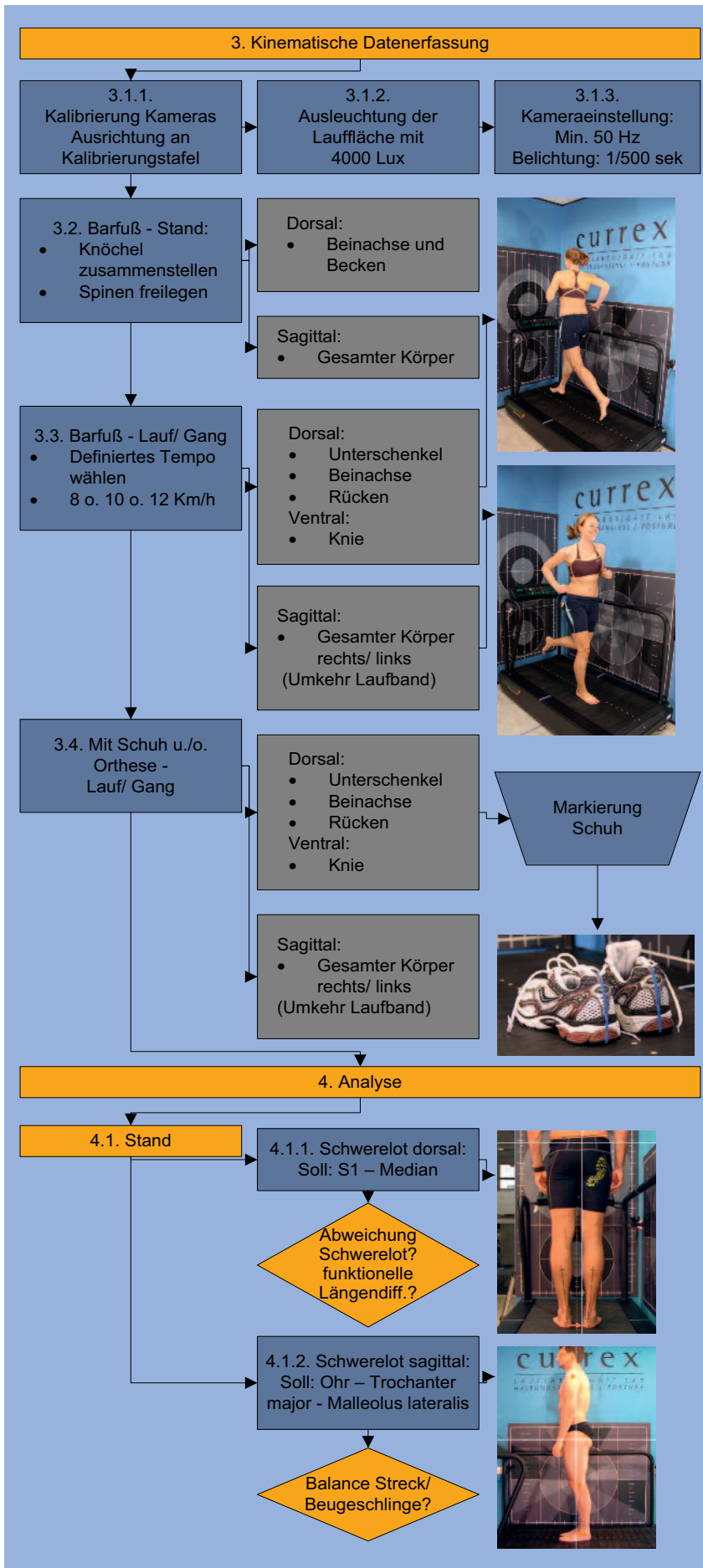
Weiterhin ist die Dimension der Lauffläche von Bedeutung, wenn man objektive Messergebnisse erhalten will. Erst Bänder mit einer Fläche von 50 cm x 150 cm ermöglichen normales Laufen. Für die Durchführung von klinischen Ganganalysen mit Bewegungsgestörten oder zur Anpassung von Prothesen/Orthesen sollte das Band nach Möglichkeit noch über eine breitere Lauffläche verfügen. Eine durchgehende, permanente Mittenmarkierung der Lauffläche ermöglicht die Feststellung der Spurbreite und Rotationstellung der Fußlängsachse.

Zur Beurteilung des ventralen Kniebewegungsmusters bei einem Zwei-Kamera-Setup (frontal und lateral) ist eine Funktion zur Laufrichtungsumkehr nötig. Diese Funktion macht eine Betrachtung der vorher kameraabgewandten Körpersegmente möglich – die dorsale Perspektive wird zur ventralen. Speziell konfektionierte Handläufe gewährleisten einen permanenten Blick von lateral auf den Hüftgelenksdrehpunkt.

Kameras

Nach Stand der Technik eignen sich handelsübliche DV-Kameras zur Durchführung von Bewegungsanalysen. Für die direkte Datenübermittlung an eine Videoanalyse-Software ist ein DV- oder HDMI-Ausgang notwendig. Die Videosignale werden über Kabel an einen Rechner übermittelt. Bei der Analyse von Laufbewegungen bis 10 km/h auf dem Laufband genügt eine Bildwieder-





holungsrate von 50 Hz. Hiermit werden zirka 15 Einzelbilder vom ersten Fußaufsatz (Initial Contact) bis zum Abheben der Zehen (Toe Off) erzeugt, die im Bereich der Orthopädieschuh-technik hinreichend genaue Analyse-möglichkeiten bieten.

Um hochwertige und scharfe Einzelbilder betrachten zu können, ist es notwendig, dass die Kamera über eine manuelle Einstellmöglichkeit der Belichtungsdauer (shutter speed) verfügt. Die besten Ergebnisse werden bei einer Belichtungszeit von $\frac{1}{1000}$ erzielt. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Qualität des Objektivs und des Chipsatzes. Leica DICOMAR und ein 3 CCD Chip (engl. Charge Couple Device, ein Sensor, der das Licht in elektrische Impulse umwandelt) sollten einen Standard darstellen. Weitwinkelobjektive können zusätzlich auf das Objektiv geschraubt werden, wenn die räumlichen Gegebenheiten dies erfordern.

Kamerabefestigung

Die Kameras werden für eine zeitersparende Arbeit höhenverstellbar direkt in Verlängerung hinter dem Laufband und seitlich an einer Wand montiert. Dabei darf die Kamera die Orthogonale nicht verlassen. Die Kamera bleibt immer im rechten Winkel zum Objekt ausgerichtet und wird nicht in der Höhe geschwenkt. Ein herkömmliches 3-Fuß-Stativ kann solch eine reproduzierbare Kameraposition nicht gewährleisten, da die Kamera nicht ausreichend fixiert ist (Abb. 2).

Kalibrierungstafeln

Erst Kalibrierungstafeln ermöglichen es, die Kameras an deren vertikalen und horizontalen Markierungslinien auszurichten. Ohne eine exakte Ausrichtung an Kalibrierungstafeln können keine Winkel und Schwerlotdarstellungen gemessen werden. Zusätzlich sorgen die Tafeln für einen homogenen Kontrast im Analyse-Videobild und ermöglichen eine Visualisierung von orthopädischen Auffälligkeiten wie Overcrossing, Becken- und Beininstabilitäten. Die Kalibrierungstafeln werden in direkter Verlängerung hinter und neben dem Laufband angebracht.

Licht

Nur durch eine ausreichende Beleuchtung aller Betrachtungsebenen (transversal, sagittal und frontal) mit 7 – 9 Scheinwerfern kann das bewegte Ob-



2 Eine besondere Kameralagerung sollte die Kamera bei der Bewegungsanalyse im rechten Winkel zum Objekt ausrichten.

jekt mit einer kurzen Verschlusszeit (Shutter speed, siehe Abschnitt Kameras) aufgenommen werden und so qualitativ hohe Bilddaten erzeugt werden. Die Lichtmenge von 4000 Lux auf der Lauffläche gilt als Richtmaß. Die Ausleuchtung sollte aus drei Ebenen erfolgen, um einen ungewünschten Schattenwurf zu unterbinden.

Software

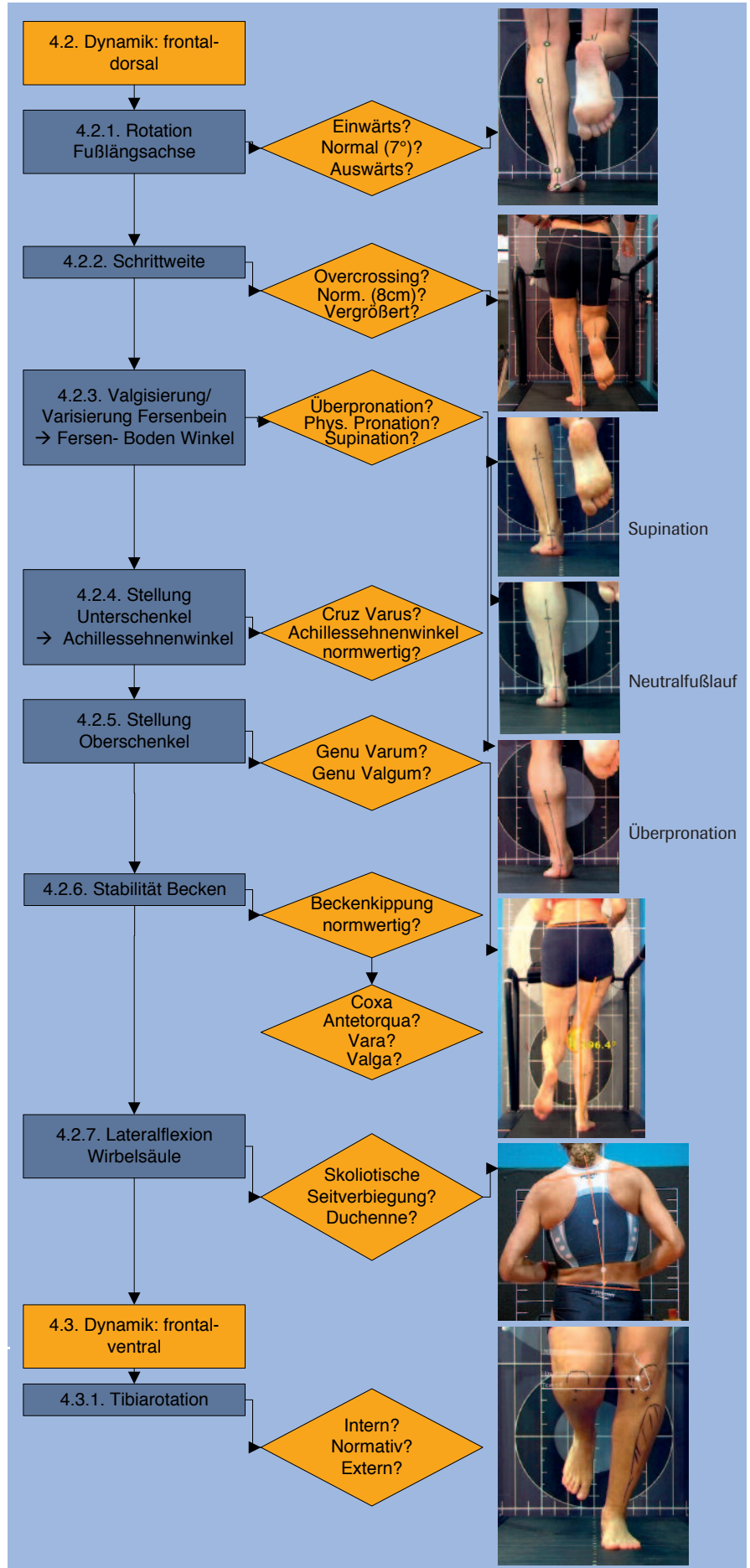
Gute Softwaresysteme ermöglichen die Aufnahme von bis zu vier synchronen Kameraperspektiven. Die Kundenverwaltung erfolgt über intelligente Datenbanken, so dass außer den Kundendaten nichts Weiteres über die Tastatur eingegeben wird. Entsprechende orthopädische Untersuchungsschemata zur Gang-/Laufanalyse weisen den Weg durch die Analyse und sämtliche Messungen stehen nach der Analyse sofort zur Weiterverarbeitung zur Verfügung. Ein schlüssiges Reportsystem mit weitreichenden Empfehlungen bis hin zu Einlagen rundet eine solche anspruchsvolle Analysesoftware ab.

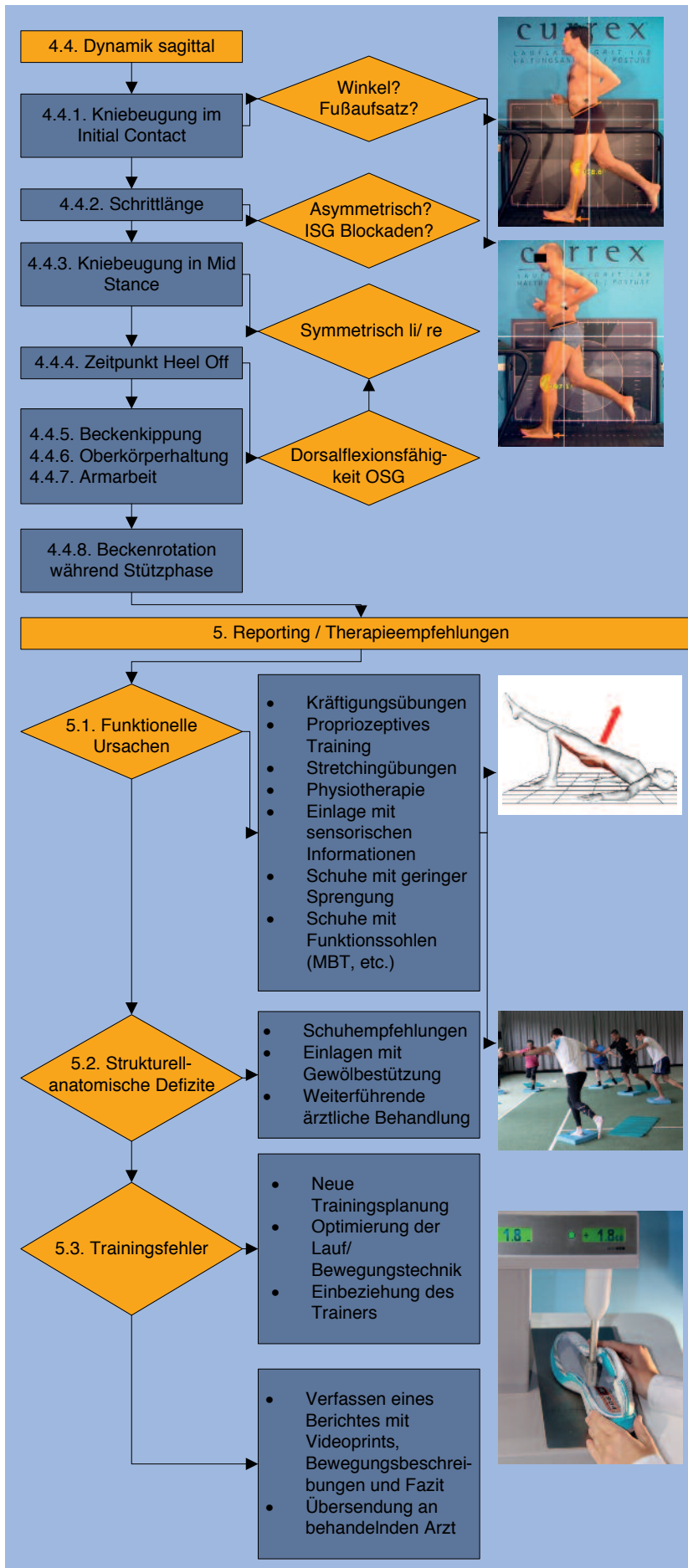
Systematik der Analyse

Die Bewegungsanalyse der OST sollte einem „Fünf Stufen System“ folgen:

1. Anamnese,
2. Markierung,
3. Kinematische Datenerfassung,
4. Analyse,
5. Reporting/ Therapieempfehlungen.

Nach Erfassung der Patientendaten erfolgt eine ausführliche Anamnese aller Einfluss nehmenden Faktoren, die somit den Umfang der Analyse festlegen. Direkt im Anschluss werden am Probanden die entsprechenden Dreh-





achsen markiert. Das Anbringen der Markierungen lässt sich in der Praxis funktionell sehr gut mit der Anamnese verbinden und spart somit Analysezeit.

Es folgt die Datenerfassung auf dem Laufband – erst in der Statik, dann in der Dynamik. Erst barfuß, dann mit dem getragenen Lieblingsschuh. Die hier vorgestellte Abfolge kann beliebig erweitert werden, wenn es der Meinung des Analytikers entspricht. Bei Analyse im geringeren Umfang könnten entsprechende Aufnahmeperspektiven wegfallen. Von großer Wichtigkeit ist die Wahl einer festen Laufbandgeschwindigkeit, damit alle aufgenommenen Körperregionen zeit-synchron verglichen werden können.

Die Analyse sollte immer mit der Begutachtung der statischen Situation beginnen. Deren Ansichten (frontal und sagittal) ergeben eine wichtige Ausgangssituation, die immer bei der dynamischen Analyse berücksichtigt werden sollte. Die dynamische Analyse sollte nach Möglichkeit immer in allen Punkten dem vorgestellten Curriculum folgen. Dem Wissen des Analytikers obliegt es, die Beobachtungen miteinander in Zusammenhang zu bringen und die Ursache zu determinieren. Sicherlich lassen sich noch mehr Dinge, als die hier aufgeführten, zur Ergebnisfindung heranziehen. Das Curriculum kann somit beliebig in seinem Umfang erweitert werden und stellt einen Vorschlag ohne das Recht auf Vollständigkeit dar.

Ein kompletter Bericht, der in ausgewählten Softwarelösungen schon kerngeneriert zur Verfügung steht, hilft den Partnern im Versorgungsnetzwerk, objektiv miteinander zu kommunizieren. Diesem Bericht sollten Videoprints und ein Übungsplan beigelegt werden, um eine Nachhaltigkeit der Analyse sicherzustellen. Schuh- und Einlagenempfehlung runden solch ein mehrdimensionales Verletzungsmanagement ab. Derzeit können alle modernen Systeme zur Bewegungsanalyse die Probandendaten auf einem portablen Datenspeichermedium sichern, der Proband erhält somit seine eigene Analyse zur privaten Archivierung und zur Weitergabe an Partner oder den Arzt. So können neue Versorgungsmöglichkeiten, neue Partnerschaften oder Netzwerke – vor allem aber neue Wege in der dynamischen Orthopädeschuhtechnik entstehen. ■