

# **Photogrammetrische Erfassung von orthopädischen Laufparametern zur Ganganalyse**

Torsten PUTZE

## **Zusammenfassung**

In Zusammenarbeit mit dem Funktionsbereich Rehabilitations- und Sportmedizin der Klinik und Poliklinik für Orthopädie des Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden wurden photogrammetrische Verfahren für die Analyse der Gangparameter zur Anwendung gebracht. Nach der Definition der gesuchten Größen wurde ein Stereokamerasystem in Verbindung mit signalisierten Retromarken zur Aufnahme der Daten genutzt. Nach Bestimmung der Topologie der Punkte der Einzelepochen konnten die zuvor bestimmten Parameter bestimmt und statistisch ausgewertet werden. Diese Methode wurde an verschiedenen Bewegungstypen angewandt, Hauptaugenmerk lag auf der Laufbandanalyse.

## **1 Einleitung**

Die Erfassung von Gangparametern mit medizinischem Hintergrund kann aus verschiedenen Gründen durchgeführt werden. Zumeist geht es auch darum, die Entwicklung des Ganges über einen längeren Zeitraum zu verfolgen. Eine subjektive Beurteilung ist von daher problematisch, da zwischen den zu vergleichenden Epochen längeren Zeitabständen liegen. Des Weiteren ist die Reproduzierbarkeit der Datensätze fraglich. Ein Vergleich von verschiedenen Probanden und oder verschiedenen Spezialisten gestaltet sich schwierig. Eine Möglichkeit zum objektiven Vergleich stellen Bilddaten dar, die jedoch bei jeder Analyse neu interpretiert werden müssen und einen enormen Speicherbedarf aufweisen.

Deshalb ist es das Ziel, die relevanten Parameter des Gangzyklus automatisch zu erfassen. Die so gewonnenen Daten sind vergleichbar, reproduzierbar und für eine statistische Analyse zu gebrauchen.

Es gibt eine Vielzahl an verschiedenen Methoden, wie diese Parameter gewonnen werden können. Bildbasierte Verfahren nutzen Ein- oder Mehrkamerasysteme, die signalisierte Punkte an den Probanden auswerten oder lediglich die Konturen der Gliedmaßen analysieren (CALOW 2005). Daneben gibt es auch eine Vielzahl von nicht bildbasierten Sensoren (z.B. Ultraschall (z.B. SCHREIBER 1994), Druckmessplatten).

### **1.1 Ziel**

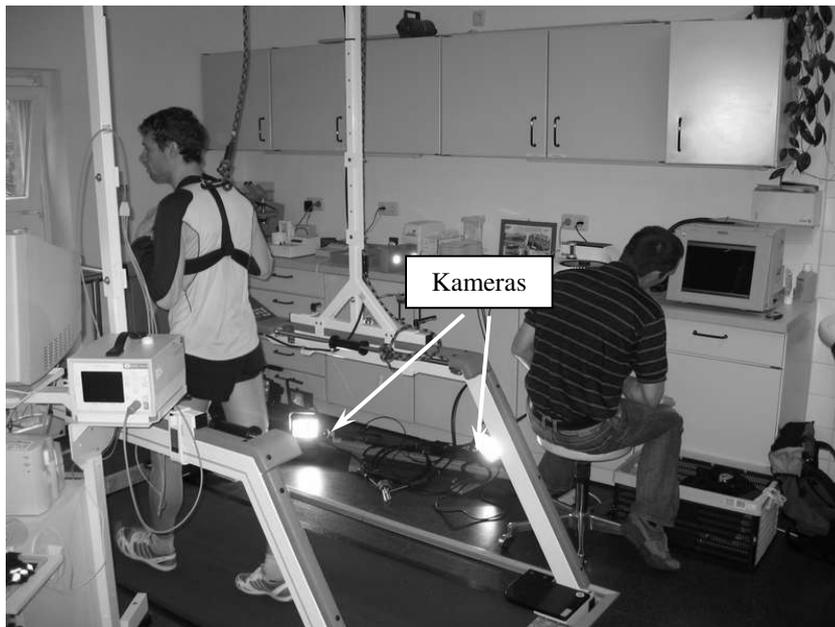
Im Rahmen einer ersten Versuchreihe in Zusammenarbeit mit dem Funktionsbereich Rehabilitations- und Sportmedizin (RSM) (Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden) wurde ein Konzept für die Integration einer optischen Analyse am Laufband aufgestellt. Der Funktionsbereich RSM betreut neben Leistungssportlern aus der Umgebung (Volleyball, Rudern, Wintersport) auch Hobbysportler und Rehapatienten. Trotz der Verschiedenartigkeit der Anforderungen ist die erste Ziel-

richtung auf die Bestimmung von Stilparametern gelegt worden. Es soll der Gang, bestehend aus verschiedenen Parametern analysiert werden. Für Hobby- und Leistungssportler können daraus Vorschläge zur Optimierung gegeben werden. Für Rehapatienten soll eine Funktionsüberprüfung und Erfolgskontrolle erreicht werden (z.B. SCHABLOWSKI-TRAUTMANN 2005).

## 1.2 Versuchsumgebung

Das Konzept beruht auf der Analyse von Objektkoordinaten signalisierter Punkte. Hierzu wird ein Stereokamerasystem, bestehend aus zwei KWD LogLux (1280 x 1024 Pixel, 2/3'' CMOS, 25 Hz) genutzt. Diese Konfiguration wurde zum einen vor einem Rad (montiert auf der Rolle) als auch an einem Laufband aufgestellt. Die zurzeit gestellten Genauigkeitsanforderungen von < 5mm sind durch herkömmliche Methoden zur Bestimmung der Kalibrierungs- und Orientierungsparameter zu erreichen. Eine synchrone Erfassung der Bilddaten ist zwingend notwendig, da es sonst zu erheblichen Fehlern der Objektkoordinatenbestimmung kommt. Eine Methode zur Korrektur zeigt RAGUSE (2007).

Das Beobachtungsvolumen am Laufband beträgt 2,0 x 1,0 x 0,7 m<sup>3</sup>. Nur so kann gewährleistet werden, dass alle Punkte zu jeder Zeit beobachtet werden können. Da sich das Messsystem in den eigentlichen Betrieb der Leistungsdiagnostik einfügen muss, sind die Kamerapositionen für die ersten Versuche auf eine seitliche Positionierung am Boden beschränkt. **Abb. 1** zeigt das Laufband mit dem massiven Geländer.



**Abb. 1:** Versuchsumgebung Laufband

Die Systemfestlegung für die Messungen wurde zweckmäßig gewählt. Die X-Achse zeigt in Laufrichtung, speziell in die Bewegungsrichtung des Laufbandes. Die Lotrichtung ist

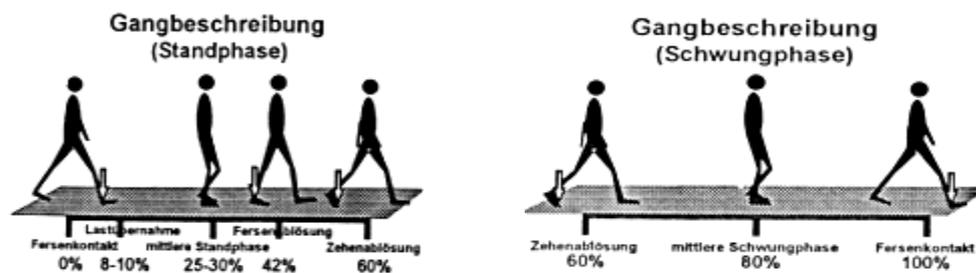
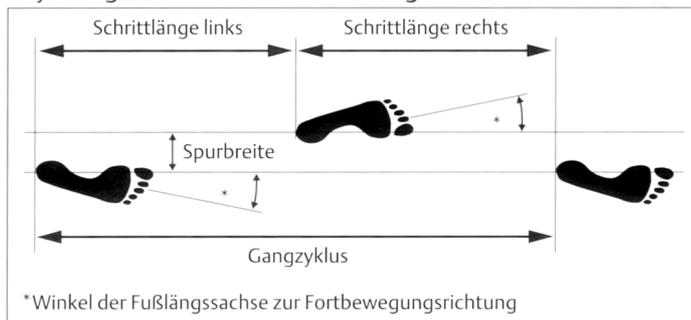
gleich der Z-Achse, das System wird zu einem Rechtshandsystem ergänzt. Der Bewegungsvektor des Laufbandes wird mit Hilfe eines auf das Laufband gestellten Dummies gemessen. Damit sind sowohl die Bewegungsrichtung als auch der Betrag exakt bekannt. Die Kenntnis der Bewegungsrichtung ermöglicht den Übergang vom ortsfesten Kamera- oder Messkoordinatensystem den Übergang in das Inertialsystem des Laufbandes. Dies hat für die Analyse verschiedener Parameter erhebliche Vorteile (siehe unten).

## 2 Zielgrößen

In Absprache mit den verantwortlichen Sportmedizinern sind vor der Messung die zu bestimmenden Parameter zu definieren. Da der aktuelle Algorithmus nur die Auswertung von signalisierten Punkten vorsieht, müssen diese vor der Messung an den entscheidenden Stellen angebracht werden.

Die zu bestimmenden Parametern leiten sich zum einen aus der Physiologie des menschlichen Ganges ab (**Abb. 2**) als auch aus den Anforderungen zur Beschreibung des Laufstils. Wichtige Punkte für die Unterteilung der Bewegung stellen die Aufsetzpunkte der Füße dar. Diese sind daran zu erkennen, dass im Rahmen der Messgenauigkeit keine Bewegung der Punkte im Inertialsystem des Laufbandes stattfindet.

Physiologie des menschlichen Gangbildes



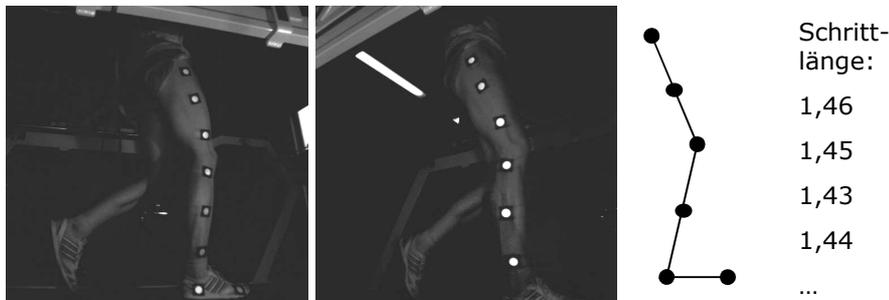
**Abb. 2:** Beschreibung des Ganges (oben GÖTZ-NEUMANN 2003, unten BUMANN)

Als wesentliche Parameter sind für die folgenden Analysen herausgearbeitet worden:

- Doppelte Schrittweite als Abstand zweier Fußpunkte (genutzt werden hier die Zehenpunkte, diese haben über eine längere Zeit Bodenkontakt und können als solche erkannt werden)
- Spurweite (Abstand eines Fußpunktes des aufgesetzten linken Fußes von der Verbindungsgeraden zweier angrenzender Fußpunkte des rechten Fußes mit Bodenkontakt)
- Schrittfrequenz (Zyklen pro Sekunde)
- Vertikalbewegung der Hüfte
- Bewegungsausmaß der einzelnen Gelenke (maximaler und minimaler Winkel zwischen den angrenzenden Geraden eines Gelenkes, z.B. Unter- und Oberschenkel)
- Winkelgeschwindigkeit und -beschleunigung der Gelenke
- Gleichförmigkeit der Bewegungszyklen

### 3 Auswertung

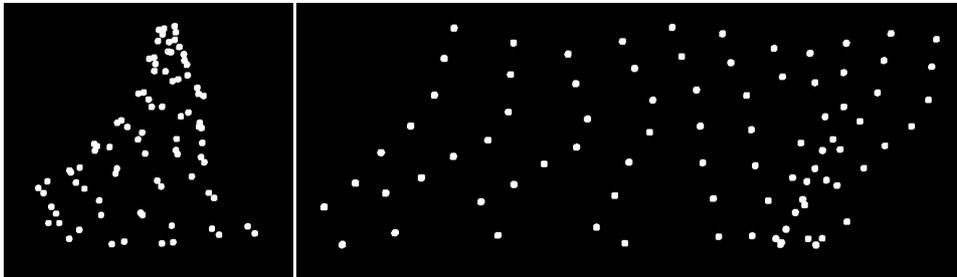
Die Auswertung erfolgt in einer dreiteiligen Messkette. In den aufgenommenen Stereobildpaaren werden die Bildkoordinaten subpixelgenau gemessen. Mit den zuvor bestimmten Parametern der inneren und äußeren Orientierung der Kameras können die Objektkoordinaten bestimmt werden. Für die so für jede Epoche ermittelten 3D Punktdaten wird eine Topologie ermittelt. Dadurch ist festgelegt, welche Punkte zusammen eine Gerade (die Achse des Körperteils) bilden und zwischen welchen ein Winkel berechnet werden kann. Im vereinfachten Fall ergibt sich die Topologie durch vertikales sortieren der Punkte. Für schnelle Bewegungen ist diese Methode nicht mehr ausreichend. Unter Beachtung der Topologie werden die zeitlichen und räumlichen Geometrien berechnet und für die statistische Auswertung aufbereitet.



**Abb. 3:** Auswerteablauf: Bildmessung → Topologie → Parameter

Die berechneten Objektkoordinaten sind im ortsfesten Kamerasystem bekannt. Die Überlagerung mehrerer Epochen ergibt eine Punktverteilung ähnlich **Abb. 4** links. Daraus lassen

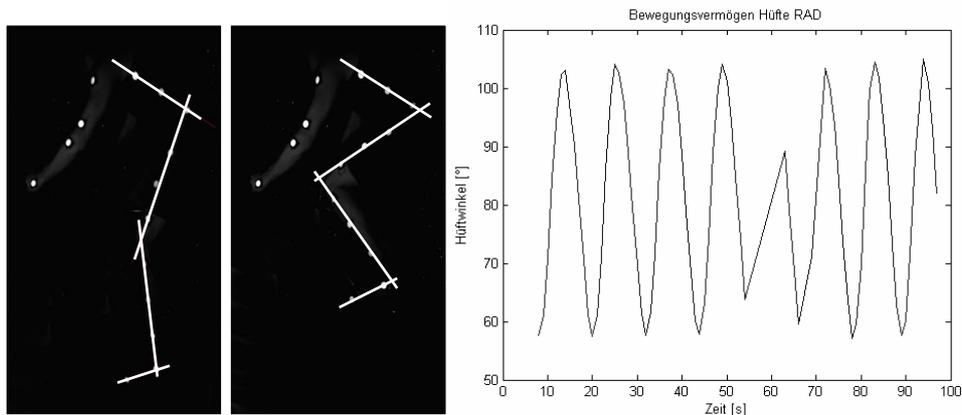
sich Hüftbewegungen und laterale Schwankungen einfach bestimmen. Die Standphase ist hier jedoch nicht ohne weiteres zu erkennen. Der auf dem Band aufgesetzte Fuß bewegt sich im ortsfesten System. Werden die Objektpunkte in das Inertialsystem des Laufbandes transformiert (Addition des Laufbandvektors, in Abhängigkeit der Zeit), so stellen sich dieselbe Punkte wie in **Abb. 4** rechts dar.



**Abb. 4:** Sequenz im ortsfesten Koordinatensystem (links) und im Inertialsystem des Laufbandes (rechts)

## 4 Ergebnisse

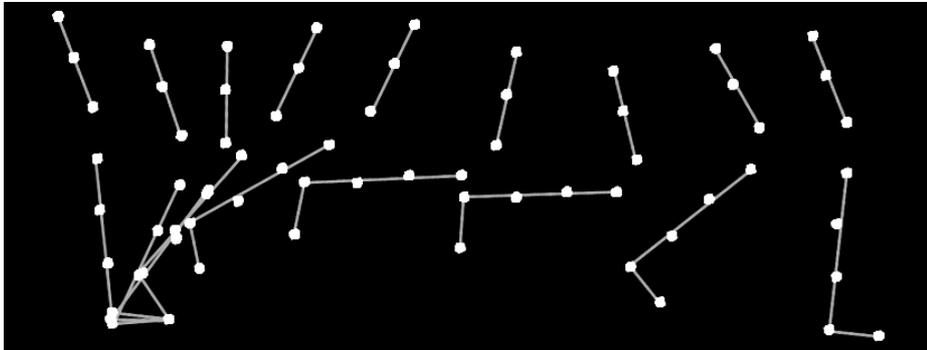
**Abb. 5** zeigt die Bestimmung des Bewegungsumfanges der Hüfte am Radfahrer. Wie im Diagramme ersichtlich können der maximale und minimale Wert, die Variation und die Frequenz bestimmt werden.



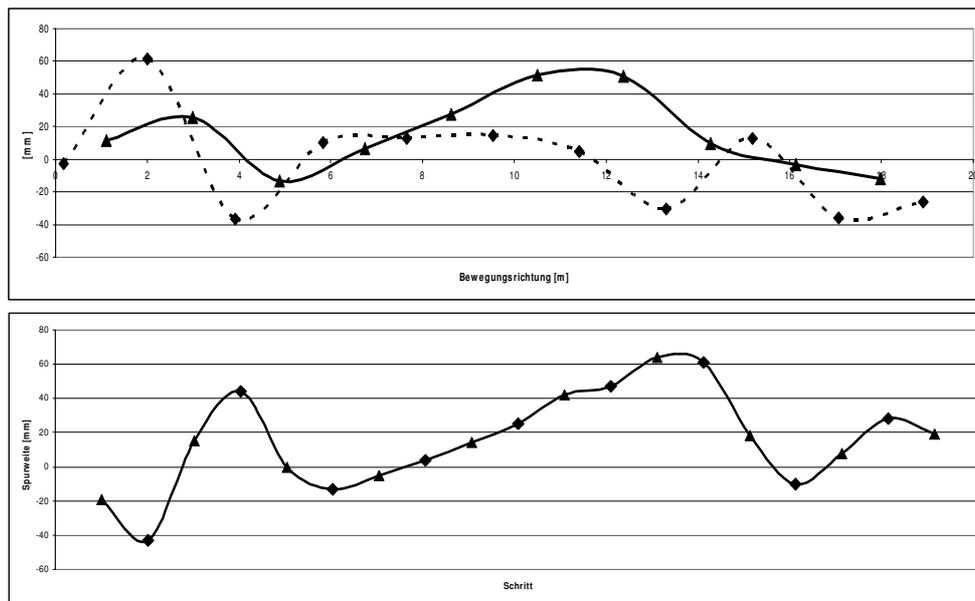
**Abb. 5:** Bewegungsumfang der Hüfte am Beispiel eines Radfahrers

Die weiteren Ergebnisse stellen einen Läufer auf dem Laufband dar. Für diese Reihe wurde eine Geschwindigkeit von etwa 10 km/h angesetzt. Exemplarisch sind 10 Doppelschritte analysiert. **Abb. 6** zeigt die Punktwolke eines Zyklus mit der zugehörigen Topologie. Die

aus dieser Sequenz abgeleiteten Parameter sind in den folgenden Diagrammen zusammengefasst. Die Aufsetzpunkte der beiden Füße sind in **Abb. 7** oben dargestellt. Hier ist deutlich eine „Unruhe“ des rechten Beines (gestrichelte Linie) zu sehen. Daraus ergibt sich die Spurbreite wie oben beschrieben (**Abb. 7** unten).



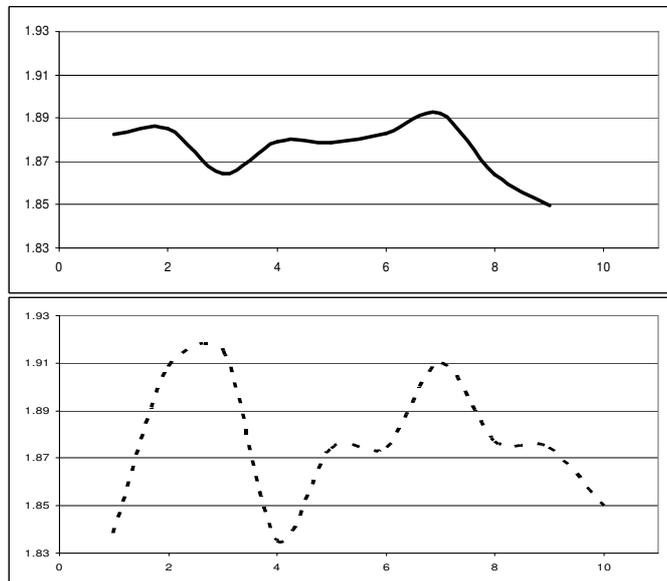
**Abb. 6:** Gangzyklus im Inertialsystem des Laufbandes; links deutlich die Standphase und das Abrollen über die Zehen erkennbar



**Abb. 7:** Fußpunkte (oben) und dazugehörige Spurbreite (unten)

Die resultierenden Schrittweiten sind in **Abb. 8** dargestellt. Ungewöhnlich ist, dass die Daten des rechten Beines im Vergleich zu gängigen Annahmen so stark streuen. Ohne spezielle medizinische Begutachtung ergab die nachträgliche Befragung des Probanden

eine vermutliche Hüftschiefstellung. Die weitere Analyse der Daten ergibt eine Vielzahl von Parametern. Die durchgeführte statistische Analyse beschreibt den speziellen Laufstil anhand von Mittelwerten und Standardabweichungen der Parameter sowie deren Frequenz.



**Abb. 8:** Schrittweite des linken (oben, durchgezogen) und rechten (unten, gestrichelt) Beines

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Artikel wurde die Anwendung photogrammetrischer Techniken zur Analyse von Gangparametern dargestellt. Auf Grund äußerer Umstände ist es dem Funktionsbereich Rehabilitations- und Sportmedizin der Klinik und Poliklinik für Orthopädie der Uniklinik Dresden nicht möglich, auf kommerzielle Systeme zurückzugreifen. Es wurde gezeigt, dass mit einem geringen Aufwand bestehende Technik und Algorithmen zur Auswertung des menschlichen Ganges genutzt werden können. Wesentlicher Punkt hierbei ist die genaue Vorplanung und Definition der zu ermittelten Parameter.

Das beschriebene System ist vor allem um eine robustere Bestimmung der Topologie zu erweitern. Damit können auch schnelle und komplexe Bewegungen ausgewertet werden. Des Weiteren ist es das Ziel die Stilparameter statistisch auszuwerten und einen Parametersatz des normalen bzw. optimalen Ganges abzuleiten. Damit können im Nachgang Vergleiche zum abnormalen Gang von Rehapatienten bzw. zur Optimierung für Hobby- und Leistungssportler durchgeführt werden.

## 6 Literatur

- BUMANN, M.: *Biomechanik des Ganges und Messmethoden der Ganganalyse*. [http://www.biomechanics.de/ufb/Lehre/Vorlesungen/FH\\_Biomechanik\\_Skript/Ganganalyse.pdf](http://www.biomechanics.de/ufb/Lehre/Vorlesungen/FH_Biomechanik_Skript/Ganganalyse.pdf) (Zugriff: 04.02.2008).
- CALOW, R., 2005: *Markerlose Ganganalyse mit einem Multikamerasystem*. Dissertation Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.
- GÖTZ-NEUMANN, K., 2003: *Gehen verstehen – Ganganalyse in der Physiotherapie*. Verlag Thieme.
- RAGUSE, K., 2007: *Dreidimensionale photogrammetrische Auswertung asynchron aufgenommener Bildsequenzen mittels Punktverfolgungsverfahren*. Schriftreihe der DGK, Reihe C, Heft 602.
- SCHABLOWSKI-TRAUTMANN, M., 2005: *Konzept zur Analyse der Lokomotion auf dem Laufband bei inkompletter Querschnittslähmung mit Verfahren der nichtlinearen Dynamik*. Schriftreihe des Institutes für Angewandte Informatik/Automatisierungstechnik, Universität Karlsruhe (TH), Band 12.
- SCHREIBER, U., 1994: *Computerisiertes Meßsystem (Zebris CMS 50) zur Bewegungsanalyse bei Patienten mit low back pain*. Motodiagnostik - Therapie. Jena. Scholl.