

Die Ganggeschwindigkeit – eine zentrale Größe in der Ganganalyse

Dr. phil. Günther Hegewald

T&T medilogic Medizintechnik GmbH Schönefeld

1. Einführung

Um das Gehen zu ermöglichen, muß der Bewegungsapparat folgende vier Aufgaben bewältigen /1/:

1. Jedes Bein muß das gesamte Körpergewicht übernehmen zu können.
2. Auch während des Standes auf einem Bein ist die Balance beizubehalten.
3. Das schwingende Bein muß solch eine Position erreichen, daß es die stützende Rolle übernehmen kann.
4. Es ist mindestens soviel Kraft erforderlich, daß die notwendigen Bewegungen der Gliedmaßen durchgeführt werden können um den Körper vorwärts zu bringen.

Im Normalfall werden alle diese Anforderungen ohne besondere Probleme und Kraftaufwand erfüllt. Bei einem gestörtem Bewegungssystem findet eine Anpassung an die Behinderung statt. Dem Patienten ist die Bewältigung der genannten Aufgaben oft nur mit zusätzlichem Bewegungs- und Kraftaufwand möglich. Häufig ist eine Verringerung der Ganggeschwindigkeit die Folge der Anpassung an die Behinderung. Eine sehr langsame Geschwindigkeit ist daher ein wichtiger Hinweis auf ein pathologisches Geschehen. Die frei gewählte Geschwindigkeit des Patienten ist also ein wichtiges Bewertungskriterium für den Gang.

Andererseits sind viele Gangparameter Funktionen der Geschwindigkeit. Eigene Untersuchungen /2,3/ haben gezeigt, daß auch gesunde Probanden erst bei Geschwindigkeiten ab etwa 2 km/h ein unauffälliges Gangbild entwickeln. Bei einer Ganganalyse ist also immer die Ganggeschwindigkeit mit zu berücksichtigen. Im folgenden soll der Einfluß der Ganggeschwindigkeit auf verschiedene Gangparameter genauer analysiert werden.

2. Meßprinzipien und Auswahl der Probanden

Die Untersuchungen erfolgten mit dem Ganganalysemeßplatz GANGAS der Firma T&T medilogic. Die Sensorik des Systems besteht u.a. aus Druckmeßsohlen, wobei in jede Sohle 16 Drucksensoren integriert sind. Die Abtastfrequenz beträgt 150Hz. Die Datenübertragung findet über Funk statt /2, 3/.

Um die Probanden bei den verschiedensten Geschwindigkeiten von „sehr langsam“ bis „sehr schnell“ vermessen zu können, erfolgten die Untersuchungen auf einem Laufband. Die Probanden hatten die Gelegenheit, sich vor den Messungen auf dem Laufband einzulaufen. Sie gingen im allgemeinen mit ihrem gewohnten Schuhwerk. Dieses war naturgemäß sehr unterschiedlich. Schuhe mit extremen Absätzen oder nach hinten offene Sandalen wurden ausgeschlossen. Die Meßdauer betrug 20 Sekunden, so daß auch bei geringen Bandgeschwindigkeiten mindestens 10 Doppelschritte zur Auswertung zur Verfügung standen.

Große Personen haben meist eine höhere Ganggeschwindigkeit als kleine. Es hat sich daher als zweckmäßig erwiesen, eine relative Geschwindigkeit v_{rel} einzuführen:

$$v_{rel} = \frac{v}{L_0}$$

Gleichung 1

mit L_0 als Körpergröße des Probanden.

Es sind 164 Personen bei verschiedenen Ganggeschwindigkeiten vermessen worden. Die Gesamtzahl der Messungen betrug 816. Das mittlere Alter der Probanden lag bei 32 ± 12 Jahre. Sie hatten nach eigener Aussage keine Auffälligkeiten am Bewegungsapparat und fühlten sich gesund.

3. Die Geschwindigkeitsabhängigkeit einiger Gangparameter

3.1. Doppelschrittlänge, Schrittfrequenz, Standphasendauer und Zweibeinstand

Ein vollständiger Gangzyklus erstreckt sich von einem bis zum nächsten Auftritt desselben Fußes. Er wird als Doppelschritt bezeichnet. Man teilt den Gangzyklus in die Stand- und die Schwungphase (Abbildung 1).

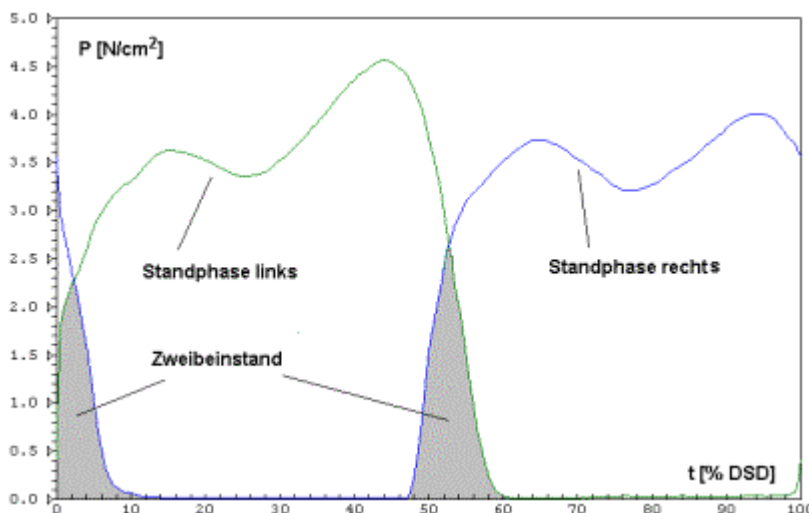


Abbildung 1: Standphase und Zweibeinstand während eines Doppelschrittes

Die Standphase ist die Phase in der das Bein Bodenkontakt hat. Man unterscheidet zwischen Standphasendauer links StP_L und rechts StP_R . Die Schwungphase ist der Teil des Ganges, bei dem das Bein in der Luft schwingt. Die Zeitdauer in der beide Beine am Boden sind heißt Zweibeinstand ZBS. Das Gehen unterscheidet sich vom Laufen dadurch, daß die Standphase größer als die Schwungphase ist.

Die Doppelschrittlänge L ist die Wegstrecke, die während eines Doppelschrittes zurückgelegt wird. Da auch die Schrittlänge von den Körpermaßen der Versuchsperson abhängt, ist es sinnvoll, die relative Schrittlänge L_{rel} folgendermaßen zu definieren:

$$L_{rel} = \frac{L}{L_0}$$

Gleichung 2.

Die Schrittfrequenz f_0 wird üblicherweise auf die Zeiteinheit Minute bezogen. Die Bezugsgröße ist der Doppelschritt und die Maßeinheit für die Schrittfrequenz ist Doppelschritte pro Minute ([DS/min]).

Aus vorhergehenden Untersuchungen /4/ und auch aus anderen Literaturhinweisen /1, 5/ ist eine Geschwindigkeitsabhängigkeit der Parameter Schrittlänge L , relative Schrittlänge L_{rel} , Schrittfrequenz f_0 , Zweibeinstand ZBS und Standphasendauer StP_L bzw. StP_R bekannt. Statistische Tests anhand eigener Meßdaten bestätigen diesen Sachverhalt. In **Abbildung 2** ist die von uns gemessene Geschwindigkeitsabhängigkeit der Schrittfrequenz grafisch dargestellt. Die **Abbildung 3** enthält den

Geschwindigkeitsverlauf der relativen Doppelschrittlänge L_{rel} . Es ergeben sich für beide Verläufe näherungsweise $\sqrt{v_{rel}}$ - Abhängigkeiten.

In **Abbildung 4** ist die Standphasendauer in Abhängigkeit von v_{rel} dargestellt. In diese Grafik sind zusätzlich zu den Werten für das Gehen, einige Messungen für das Laufen aufgenommen worden. Aus der Darstellung wird ersichtlich, daß das Gehen und das Laufen zwei sich klar unterscheidende Bewegungsvorgänge sind. Beim Übergang vom Gehen zum Laufen erfolgt ein Sprung bzgl. der Standphasendauer. Beim Gehen ist die Dauer der Standphase größer und beim Laufen kleiner als 50% Doppelschrittdauer.

Standphasendauer und Zweibeinstand (**Abbildung 5**) sind negativ zu v_{rel} korreliert.

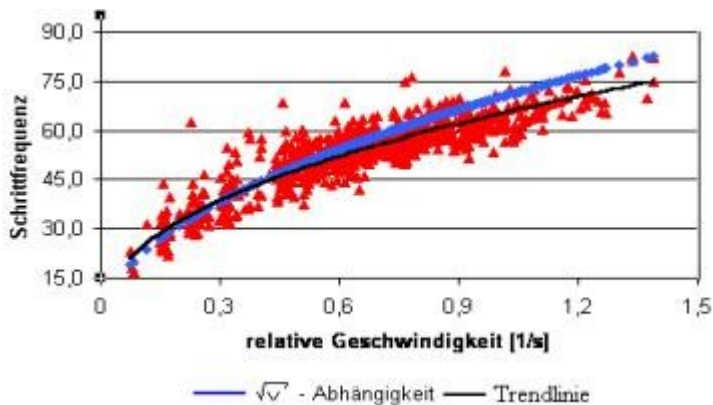


Abbildung 2: Die Abhängigkeit der Schrittfrequenz f_0 [Schritte pro min] von der relativen Geschwindigkeit v_{rel}

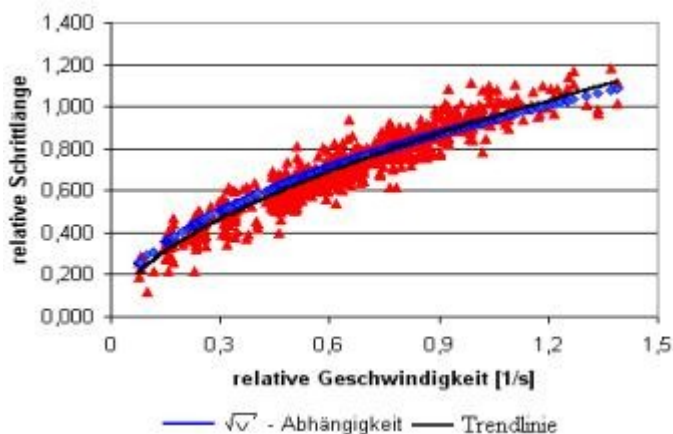


Abbildung 3: Die Abhängigkeit der relativen Schrittlänge L_{rel} von der relativen Geschwindigkeit v_{rel}

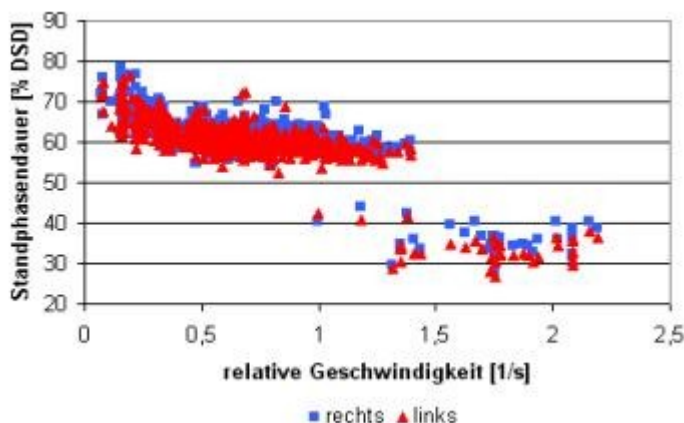


Abbildung 4: Die Standphasendauer StP als Funktion der relativen Geschwindigkeit v_{rel} , sowohl für das Gehen als auch für das Laufen

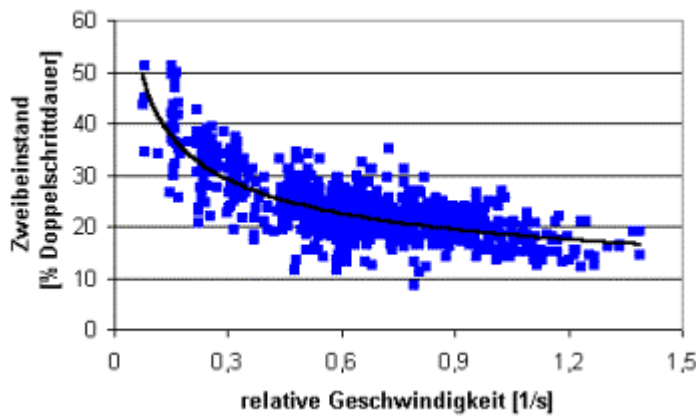


Abbildung 5: Die Abhängigkeit des Zweibeinstandes ZBS von der relativen Geschwindigkeit v_{rel}

3.2. Die Geschwindigkeitsabhängigkeit der Druckverläufe

Faßt man die Meßwerte der Drucksensoren jeder Druckmeßsohle zusammen, erhält man zeitliche Verläufe, die vergleichbar sind mit denen, welche mit Kraftmeßplattformen bestimmt werden. Bei Messungen mit Druckmeßsohlen ist jedoch von Vorteil, daß mehrere Einzelschritte zeitlich aufeinander folgen. Mit Hilfe der Ganganalysesoftware GANGAS ist es möglich, aus diesen Einzelschritten einen für den Probanden typischen mittleren Schritt zu berechnen (Abbildung 1). Bei der grafischen Darstellung des mittleren Schrittes hat es sich als günstig erwiesen, die Zeitachse in % Doppelschrittdauer anzugeben.

Es ist naheliegend, daß der Druck unter dem Fuß vom Gewicht des Probanden abhängig ist. Weiterhin ist für die Größe des Druckes entscheidend, auf welche Sohlenfläche A_0 sich das Körpergewicht verteilt. Daher wurde der individuelle Körpergewichtsdruck P_K als Quotient aus Gewicht und Sohlenfläche A_0 definiert. P_K stellt den statischen Druck dar, welchen die Gewichtskraft des Probanden auf die Fläche der Sohle eines Fußes ausübt. Es gilt:

$$P_K = \frac{m_0 \cdot g}{A_0} \quad [\text{N/cm}^2]$$

Gleichung 3.

Hierbei ist m_0 die Masse des Probanden in kg, A_0 in cm^2 und die Erdbeschleunigung g in $9,8067 \text{ m/s}^2$ anzugeben.

Zur Auswertung des Einflusses der Geschwindigkeit auf die Druckverläufe ist es zweckmäßig, Geschwindigkeitsbereiche von „sehr langsam“ bis „sehr schnell“ zu definieren (**Tabelle 1**).

| Geschwindigkeitsbereich | Bewertung |
|---|--------------|
| $v_{rel} < 0,2$ Körpergröße pro s | Sehr langsam |
| $0,2$ Körpergröße pro s $\leq v_{rel} < 0,52$ Körpergröße pro s | Langsam |
| $0,52$ Körpergröße pro s $\leq v_{rel} < 0,9$ Körpergröße pro s | Mittel |
| $0,9$ Körpergröße pro s $\leq v_{rel} < 1,15$ Körpergröße pro s | Schnell |
| $v_{rel} \geq 1,15$ Körpergröße pro s | Sehr schnell |

Tabelle 1: Geschwindigkeitsbereiche für Probanden mit unauffälligem Gangbild.

In **Abbildung 6** bis **Abbildung 11** /6-10/ sind die Verläufe des mittleren Sohlendruckes unterm Fuß P_{rel} , normiert durch den Körpergewichtsdruck, für die Dauer der Standphase bei verschiedenen Geschwindigkeiten dargestellt.

Zusätzlich zu den Mittelwerten MW sind auch die Standardabweichungen St. mit eingezeichnet. Die Verläufe sind Mittelwerte aller in /3/ ausgewerteten Versuchspersonen.

Trotz der großen Standardabweichung hat die Kurvenform eine ausgeprägte

Geschwindigkeitsabhängigkeit. Bei sehr geringen Geschwindigkeiten steigt der Druck bis etwa Standphasenmitte an und hat hier sein Maximum (**Abbildung 6**). Danach sinkt der Druck wieder ab. Mit zunehmender Geschwindigkeit geht der Druckverlauf in eine Kurve mit zwei Maxima über. Am stärksten ausgeprägt ist die Zweigipfligkeit bei der höchsten Ganggeschwindigkeit (**Abbildung 11**).

Bei sehr geringen Geschwindigkeiten hatten die Probanden einen unsicheren Gang und empfanden das Tempo als belastend. Als optimal wurde die Geschwindigkeit im mittleren bis schnellen Bereich angesehen.

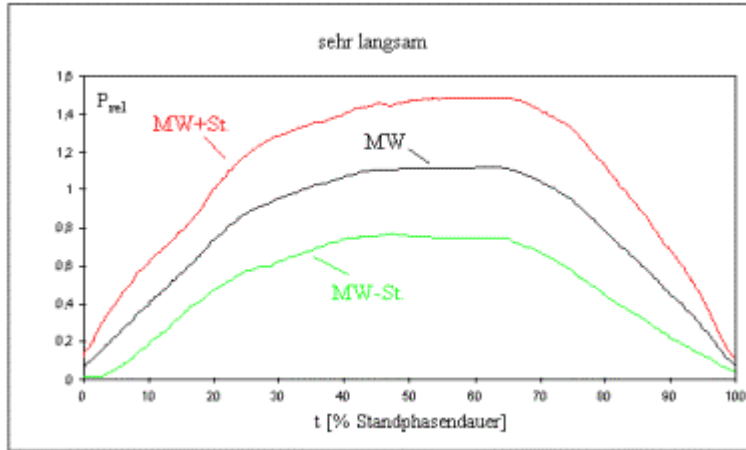


Abbildung 6: Mittlerer Druckverlauf in der Standphase bei sehr langsamer Geschwindigkeit

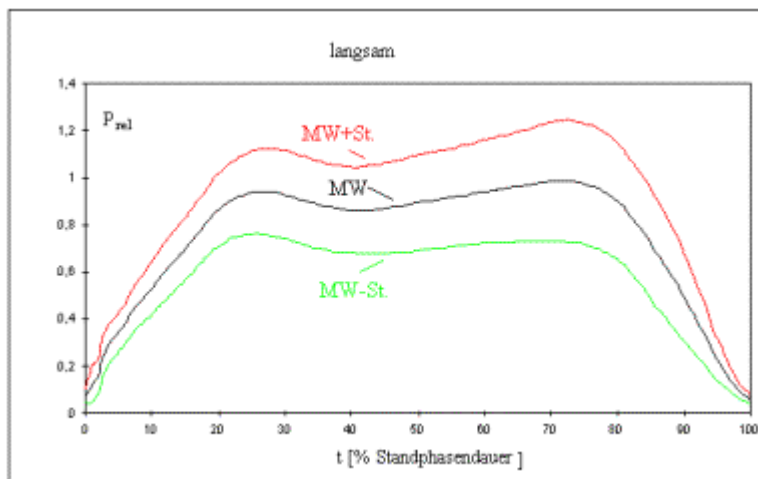


Abbildung 7: Mittlerer Druckverlauf in der Standphase bei langsamer Geschwindigkeit

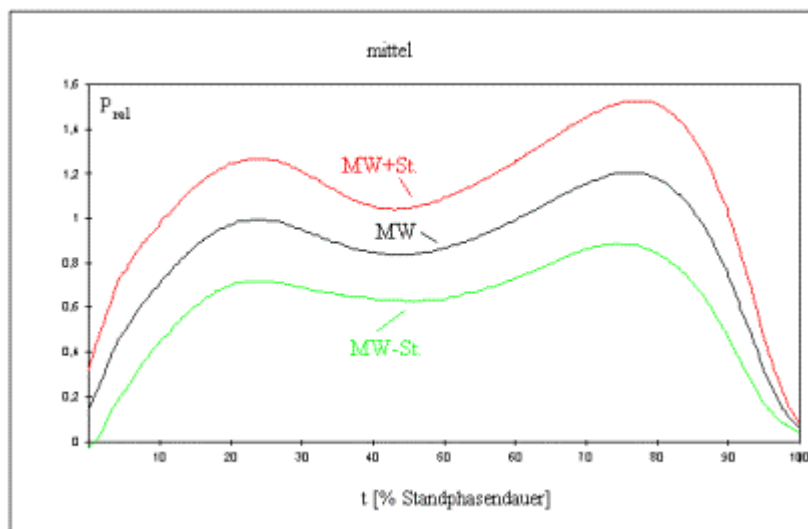


Abbildung 8: Mittlerer Druckverlauf in der Standphase bei mittlerer Geschwindigkeit

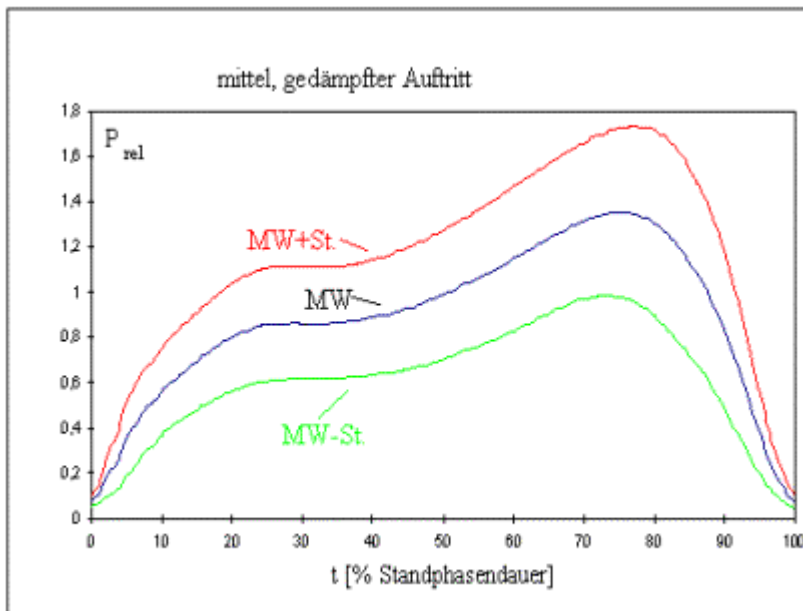


Abbildung 9: Mittlerer Druckverlauf in der Standphase bei mittlerer Geschwindigkeit, gedämpfter Auftritt

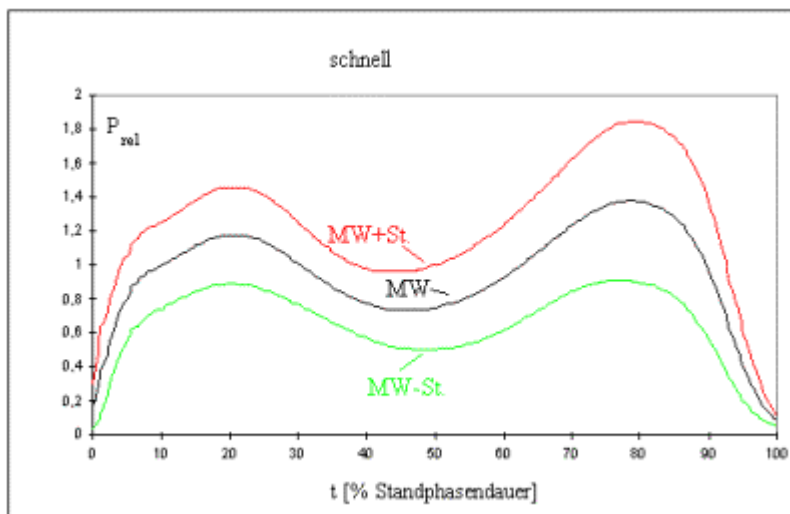


Abbildung 10: Mittlerer Druckverlauf in der Standphase bei schneller Geschwindigkeit

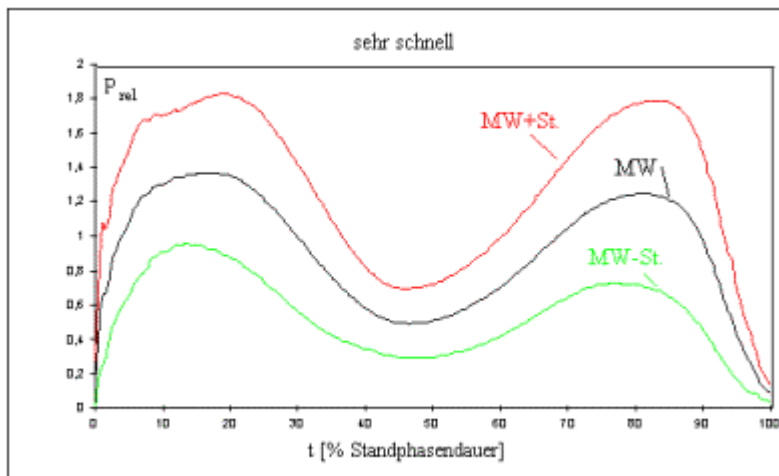


Abbildung 11: Mittlerer Druckverlauf in der Standphase bei sehr schneller Geschwindigkeit

Im mittleren Geschwindigkeitsbereich ist eine weitere Kurvenform zu beobachten, welche durch das Fehlen des Auftrittsmaximums charakterisiert ist. Gründe für das Fehlen können sowohl individuelle Gangeigenheiten, als auch spezielle Dämpfungseigenschaften der bei der Messung getragenen Schuhe sein.

Es lassen sich drei Grundtypen des Druckverlaufes unterscheiden (**Tabelle 2**). Die Übergänge zwischen den Typen sind fließend.

| Kurventyp | Geschwindigkeitsbereiche | Lage der Extrema | | |
|-----------|--------------------------|------------------|------------|------------|
| | | 1. Drittel | 2. Drittel | 3. Drittel |
| Typ 1 | Sehr langsam bis langsam | ----- | Maximum | ----- |
| Typ 2 | Langsam bis sehr schnell | Maximum | Minimum | Maximum |
| Typ 3 | Sehr langsam bis schnell | ----- | ----- | Maximum |

Tabelle 2: Grundtypen des Druckverlaufes unterm Fuß während des Ganges

Typ 1 tritt ausschließlich bei sehr langsamer bis langsamer Geschwindigkeit auf. Diese Geschwindigkeit wird für die meisten gesunden Probanden als unangenehm empfunden. Eigene Messungen an Patienten mit Beeinträchtigungen am Bewegungsapparat ergaben jedoch, daß gerade eine sehr langsame bis langsame Geschwindigkeit für diesen Personenkreis typisch ist. Sohlenparameter, die auch für den pathologischen Gang anwendbar sein sollen, müssen demzufolge geringe Geschwindigkeiten und damit Druckverläufe vom Typ 1 berücksichtigen.

Die Kurvenverläufe des Typs 2 und 3 sind charakteristisch für den unauffälligen Gang. Typ 2 wird in der Literatur am häufigsten dargestellt. Parameter zur quantitativen Beschreibung der Verläufe beziehen sich oft auf die Form der Kurven. Solche Parameter sind u.a. die Lage der Extrema (z.B. das Auftrittsmaximum), Kurvenanstiege und ähnliches.

Zu diesen Parametern ist folgendes kritisch anzumerken. Wie nachgewiesen wurde, hängt die Kurvenform stark von der Ganggeschwindigkeit ab. Werden nun Parameter genutzt, die mit der Form zusammenhängen, dann sind Vergleiche verschiedener Messungen nur bei gleicher Geschwindigkeit sinnvoll. Ansonsten trifft man nur indirekt Aussagen zur Ganggeschwindigkeit.

Entsprechen die Kurven nicht der Idealvorstellung eines zweigipfligen Verlaufes (was beim pathologischen Gang sehr häufig der Fall ist), dann ist oft keine Berechnung obiger Parameter möglich.

4. Zusammenfassung

Zum einen ist die frei gewählte Ganggeschwindigkeit ein grundlegender Parameter zur Beurteilung der Gangqualität. Zum anderen sind viele Gangparameter abhängig von der Geschwindigkeit. Daher ist die Ganggeschwindigkeit eine zentrale Größe in der Ganganalyse und sollte immer mit gemessen und angegeben werden.

Nicht selten werden auch heute noch, z.B. bei einer Kontrolle des Therapieverlaufes, Gangparameter zu Beginn und am Ende der Behandlung verglichen und die Unterschiede der Parameter bewertet, ohne zu beachten, daß der Patient zu Therapiebeginn deutlich langsamer gegangen ist als nach der Behandlung.

Eine Interpretation der meisten aus der Literatur bekannten Gangparameter ist ohne Angabe der Ganggeschwindigkeit nur bedingt aussagefähig.

5. Literatur

/1/ Whittle, M., „Gait Analysis, an Introduction“, Butterworth-Heinemann Ltd, 1991

/2/ Hegewald, G., „Ganganalytische Bestimmung und Bewertung der Druckverteilung unterm Fuß und von Gelenkwinkelverläufen – eine Methode für Diagnose und Therapie im medizinischen Alltag und für die Qualitätssicherung in der reha-bilitationstechnischen Versorgung“, Dissertations-schrift an der Humboldt-Universität zu Berlin (2000)

/3/ Tober, H., „Die Ganganalyse als technisches Beurteilungsmittel für die menschliche Fortbewegung“, Symposium „10 Jahre Biokinetische Biomedizintechnik in Mittweida (2000)

- /4/ Obenaus, F., „Quantitative Bewertung des menschlichen Ganges – Ermittlung und Bewertung typischer Parameterwerte“, Diplomarbeit an der Technischen Universität Berlin (1997)
- /4/ Winter, D. A. „Biomechanics and Motor Control of Human Movement“, Ontario: University of Waterloo Press, (1990)