

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Klinik und Poliklinik für Technische Orthopädie und Rehabilitation  
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. Hans Henning Wetz -

**EINSATZ DER POSTUROGRAPHIE  
ZUR ERFASSUNG  
DER DIABETISCHEN POLYNEUROPATHIE**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae  
der Medizinischen Fakultät  
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Ditz, Anna (geb. Wagenleitner)  
aus Novokusnezsk (Russland)

2012

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen  
Wilhelms-Universität Münster.

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Schmitz

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Hans Henning Wetz

2. Berichterstatter: PD Dr. Thomas Meiners

Tag der mündlichen Prüfung: 14.02.2012

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Klinik und Poliklinik für Technische Orthopädie und Rehabilitation  
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. Hans Henning Wetz -  
Referent: Univ.-Prof. Dr. Hans Henning Wetz  
Koreferent: PD Dr. Thomas Meiners

**ZUSAMMENFASSUNG**  
**EINSATZ DER POSTUROGRAPHIE**  
**ZUR ERFASSUNG**  
**DER DIABETISCHEN POLYNEUROPATHIE**

Anna Ditz

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob und wie sich die diabetische Polyneuropathie (dPNP) auf die Standstabilität der Patienten auswirkt und testet im Vergleich zu den etablierten Untersuchungstechniken eine neue Methode, die es erlaubt, die Auswirkung der dPNP auf regulatorische Mechanismen zur Standstabilität zu erfassen. Angesichts früherer Studien scheint es eine Möglichkeit zu geben die gesunden Probanden von den Diabetikern mit dPNP anhand des Ausmaßes von Belastungsschwankungen in der Horizontalebene von einander zu unterscheiden. Auf dieser Annahme baut die vorliegende Arbeit auf und testet die Hypothese mithilfe des L.A.S.A.R. Posture Messgeräts. Die Messungen wurden mit und ohne Schuhe sowie mit offenen und geschlossenen Augen durchgeführt.

Außerdem beschäftigt sich diese Arbeit mit der Frage, ob auch die Ausprägung der dPNP anhand der Messergebnisse ermittelt werden kann. Dazu wird als Bezugsgröße der Neuropathie Defizit Score (NDS) zugrunde gelegt.

Weiterhin wird der Zusammenhang zwischen den horizontalen Belastungsschwankungen und einer positiven Ulkusanamnese untersucht.

An der Studie nahmen insgesamt 36 Diabetiker mit einer dPNP verschiedener Schweregrade und 28 gesunde Probanden teil. Es wurden signifikante Unterschiede in der Stand- und Lagestabilität zwischen den beiden Gruppen festgestellt. Es hat sich keine Korrelation zwischen den Messwerten und der Ausprägung der dPNP anhand des NDS ergeben. Ebenso wenig wurde ein eindeutiger Zusammenhang mit einer positiven Ulkusanamnese gefunden.

Tag der mündlichen Prüfung: 14.02.2012

# ERKLÄRUNG

Ich gebe hiermit die Erklärung ab, dass ich die Dissertation mit dem Titel:

EINSATZ DER POSTUROGRAPHIE  
ZUR ERFASSUNG  
DER DIABETISCHEN POLYNEUROPATHIE

Im Universitätsklinikum Münster  
Klinik und Poliklinik für Technische Orthopädie und Rehabilitation

Unter Anleitung von:

Univ.-Prof. Dr. Hans Henning Wetz und Prof. Dr. Burkhard Drerup

1. selbständig angefertigt
2. nur unter der Benutzung der im Literaturverzeichnis angegebenen Arbeiten angefertigt und sonst kein anderes gedrucktes oder ungedrucktes Material verwendet,
3. keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen,
4. sie weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung einer in- oder ausländischen Fakultät als Dissertation, Semesterarbeit, Prüfungsarbeit oder zur Erlangung eines akademischen Grades, vorgelegt habe.

Osnabrück, 18.02.12

Anna Ditz

## Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>S. 8</b>
<b>Ziele dieser Arbeit</b> .....	<b>S. 11</b>
<b>Grundlagen</b> .....	<b>S. 13</b>
Definition der dPNP .....	S. 13
Arten der dPNP .....	S. 13
Die Folgen der dPNP für den diabetischen Fuß .....	S. 14
Die Posturographie .....	S. 16
Wahl des Messgeräts .....	S. 17
<b>Material und Methoden</b> .....	<b>S. 22</b>
Die untersuchten Kollektive .....	S. 22
Untersuchungszeitraum .....	S. 22
Ein- und Ausschlusskriterien .....	S. 23
Untersuchungsablauf .....	S. 24
1. Anamnese anhand des Dokumentationsbogens.....	S. 24
2. Untersuchung gemäß Leitlinien .....	S. 25
3. Posturographische Messung mit dem L.A.S.A.R. Posture-Meßgerät und der L.A.S.A.R.-Software .....	S. 30
Auswertung der Messdaten .....	S. 33
Statistische Auswertung .....	S. 33
<b>Ergebnisse</b> .....	<b>S. 34</b>
Allgemeine Daten .....	S. 34
Auswertung der posturographischen Messdaten zwischen der Kontroll- und Diabetikergruppe .....	S. 37

Auswertung der posturographischen Messdaten	
innerhalb der Gruppen .....	S. 42
a) Diabetikergruppe .....	S. 42
b) Kontrollgruppe .....	S. 45
Berücksichtigung der Ulkusanamnese .....	S. 48
Auswertung der Daten im Bezug auf die Ausprägung	
der dPNP .....	S. 50
Auswertung der Messdaten im Bezug auf	
die anderen erhobenen Daten .....	S. 50
<b>Diskussion .....</b>	<b>S. 52</b>
Vergleich der Messdaten zwischen	
der Kontroll- und Diabetikergruppe .....	S. 54
Vergleich der Messdaten innerhalb der Gruppen .....	S. 59
Vergleich der Daten im Bezug auf die Ulkusanamnese .....	S. 63
Vergleich der Messdaten	
mit den anderen erhobenen Daten .....	S. 67
Vorschläge für die weiteren Studien .....	S. 69
Einsatz in der Praxis .....	S. 69
Fehlerdiskussion .....	S. 70
Schlussfolgerung .....	S. 72
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>S. 73</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>S. 75</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>S. 79</b>
<b>Lebenslauf .....</b>	<b>S. 80</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>S. 82</b>
Dokumentationsbogen .....	S. 82

## Einleitung

Das Thema Diabetes gewinnt in Deutschland immer mehr an Bedeutung, nicht zuletzt, weil dessen Prävalenz in den letzten 40 Jahren kontinuierlich gestiegen ist und eine weitere Steigung mit großer Wahrscheinlichkeit zu erwarten ist **Abb.1** [8]. Nach Schätzungen der WHO ist mit einer Verdoppelung der Zahl der Diabetiker bis zum Jahr 2025 zu rechnen [17].

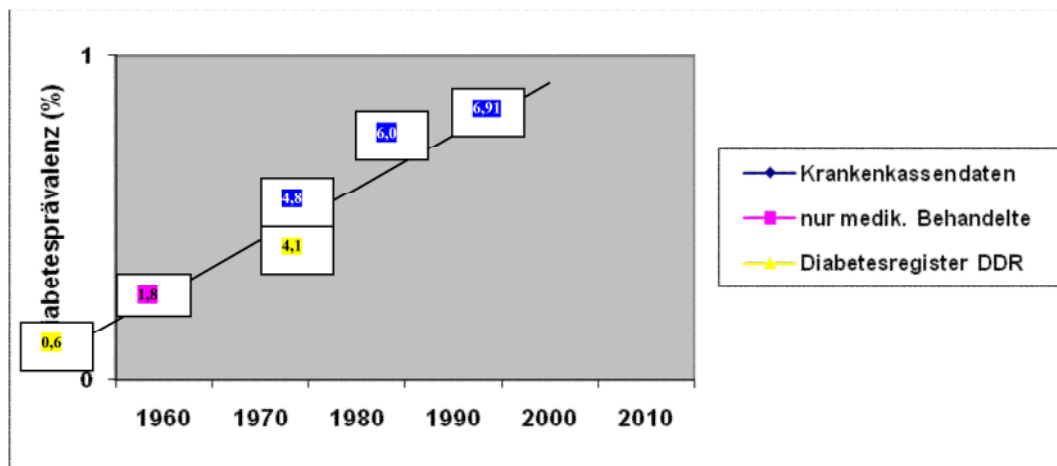


Abb.1 Entwicklung der Diabetesprävalenz seit 1960 in Deutschland

Vor allem in den jüngeren Altersgruppen ist die Anzahl der an Diabetes Typ II Erkrankten aufgrund der modernen Lebensweise mit Überernährung und Bewegungsmangel drastisch gestiegen [8]. Darüber hinaus bringen die immer jünger werdenden Typ II Diabetiker längere Krankheitsverläufe, steigende Anzahl von Komplikationen und nicht zuletzt erhebliche Kosten für das Gesundheitssystem.

Zurzeit sind ca. 7% der Deutschen wegen Diabetes in Behandlung. Das sind umgerechnet ca. 6 Mio. Menschen. Bei den über 60-jährigen liegt die Prävalenz für Diabetes sogar bei 18-28%. Die Dunkelziffer ist vermutlich noch viel höher [17].

Die Kostenbelastung für das Gesundheitssystem ist enorm. Laut Hauner „... betragen die jährlichen direkten und indirekten Kosten für den



Diabetes in Deutschland über 22 Mrd. Euro (Stand 2001)“ [9]. Nach den neusten gesundheitsökonomischen Analysen entsteht der wesentliche Anteil dieser Kosten durch Diabetes bedingte Komplikationen [9]. Dazu gehört in erster Linie das diabetische Fußsyndrom mit all seinen Folgen. Denn mehr als ein Viertel aller Kosten, die durch Diabetiker im Krankenhaus verursacht werden, entstehen durch den diabetischen Fuß mit langer Liegezeit, Langzeitverabreichung von Antibiotika, Amputation und anschließender prothetischer Versorgung [4]. Im Vergleich zu den sehr hohen Kosten von Ulzera und Amputationen erscheinen die relativ geringen Kosten der Präventivmassnahmen in den meisten Gesellschaften als kosteneffektiv [26].

Zurzeit werden ca. 70% aller Amputationen in Deutschland bei Diabetikern durchgeführt. Das sind nach den Zahlen der AOK aus dem Jahr 2001 mehr als 29.000 Amputationen im Jahr [17]. Laut WHO ist sogar ein Anstieg von bis zu 44.000 Amputationen pro Jahr zu erwarten.

Die durch Diabetes bedingten Amputationen bedeuten aber nicht nur hohe Kosten für das Gesundheitssystem, sondern auch erhebliche Einschnitte in die Lebensqualität der Diabeteskranken, denn oft ist die Immobilität eine Folge davon. Nach Unter- und Oberschenkelamputationen können über 35% der Betroffenen kein eigenständiges Leben mehr führen und müssen die Hilfe von Pflegediensten in Anspruch nehmen oder sogar in Pflegeheimen versorgt werden [22]. Deswegen ist es umso wichtiger die Zahl der Amputationen in Deutschland zu senken und sie durch die Behandlung der Ursachen vorzubeugen.

Ein wichtiger Grund für die Amputationen bei Diabetikern sind die diabetischen Fußulzera, die in bis zu 85% der Fälle einer Amputation voraus gehen. Die Prävalenz des Fußulkus unter den Diabetikern in

verschiedenen Ländern ist mit 2-10% sehr hoch. Die jährliche Inzidenz liegt bei 2-6% [17]. Zu den Hauptrisikofaktoren der Ulzerationen gehören die Dauer und Verlauf der Erkrankung, schlechte Stoffwechseleinstellung, diabetische Polyneuropathie (dPNP), periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK) und das Alter des Patienten [17]. Jedoch sind sich viele Experten einig, dass der wichtigste endogene Faktor für die Entwicklung eines Fußulkus die dPNP ist. In vielen Studien wurde nachgewiesen, dass sie in ca. 60% der Fälle die Ursache für die diabetischen Fußläsionen ist, in ca. 20% liegt eine pAVK vor und in ca. 20% sind dPNP und pAVK zusammen für die Fußulzera verantwortlich [29].

Umgekehrt weisen 70 bis 100% der Patienten mit Fußulzera Zeichen einer dPNP mit unterschiedlichen Graden einer AVK auf [26].

## **Ziele dieser Arbeit**

Die Kontrolle des Gleichgewichtes und somit sicheres Stehen und Gehen wird durch das Zusammenspiel mehrerer zentralnervös geregelter Systeme ermöglicht, und zwar durch das vestibuläre, visuelle und das propriozeptive System [28][30]. Durch die PNP werden die Propriozeption und die sensible Wahrnehmung der Füße wesentlich in ihrer Funktion beeinträchtigt und somit die Kontrolle des Körpergleichgewichtes erschwert [15]. Es ist daher zu erwarten, dass die dPNP zu einer vermehrten Schwankung des Belastungsschwerpunktes führt. Die posturographische Messung ermöglicht die Bewegung des Belastungsschwerpunktes auf der Kraftmessplatte zu verfolgen und somit die Schwankung des Probanden zu erfassen.

Im Gegensatz zu den früheren Studien [1][12][15][28], die die Möglichkeit der Posturographie zur Erfassung der PNP untersuchten, wird in dieser Arbeit nicht mit den üblichen Kraftmessplattformen, z.B. Kistler-Kraftmessplatte, gearbeitet, sondern mit dem in den orthopädiotechnischen Werkstätten häufig angewandtem L.A.S.A.R.- Messgerät, welches zur Überprüfung der Körperhaltung und des statischen Aufbaus von orthopädischen Heil- und Hilfsmittel (Orthese oder Prothese) direkt am Patienten eingesetzt wird [19].

Außerdem werden bei der Messung mit der Kistler-Messplatte als Maße zur Quantifizierung der Schwankung die Bewegungen des COP (Center Of Pressure) in Anterior-posterior-Richtung (A/P) und in Medio-lateral-Richtung (M/L) als übliche Parameter eingesetzt [1][2][28].

Das L.A.S.A.R.-Messgerät erlaubt ebenso wie die Kistler-Messplatte die Messung der Kinetik und somit der Bodenreaktionskräfte und fasst die Bewegung des COPs in A/P- und M/L-Richtung zu der „Totalen Länge“

(TL) zusammen, welche die zweidimensionale Bewegung des COPs darstellt. Als weiterer Parameter dient der „Radius“ (Rad) der Kreisfläche, die die äußersten Eckpunkte der TL bilden.

Frühere Studien haben gezeigt, dass Diabetiker mit einer dPNP signifikant mehr schwanken als gleichaltrige gesunde Probanden [1][3][28][30]. In der Arbeit von Simoneau et al. wird eindeutig betont, dass die posturale Instabilität signifikant mit der sensorischen Neuropathie assoziiert ist, aber nicht mit Diabetes per se [28].

Das Ziel dieser Arbeit ist also zu untersuchen, ob die Diabetiker mit einer dPNP auf dem L.A.S.A.R.-Messgerät mehr schwanken als die gesunden Probanden und ob diese posturographische Messung eine quantitative Erfassung der dPNP ermöglicht.

Um die Anwesenheit der dPNP sicher belegen zu können wird parallel zu der L.A.S.A.R.-Messung die Diagnose der dPNP mit den standardisierten Untersuchungstechniken gesichert. Die Untersuchungsergebnisse werden auf die Korrelation mit den L.A.S.A.R.-Messergebnissen geprüft.

Da die dPNP als wichtigster endogener Faktor für die Entstehung der diabetischen Fußulzera angesehen wird [29], beschäftigt sich diese Studie ebenfalls mit der Frage, ob die Ergebnisse der L.A.S.A.R.-Messung ein Hinweis auf das erhöhte Ulkusrisiko sein könnten. Dazu ist es nötig, dass beide Gruppen – Patienten, die ein Ulkus entwickelt haben und Patienten, die kein Ulkus entwickelt haben – sich signifikant unterscheiden.

## **Grundlagen**

### **Definition der dPNP**

Unter dem Begriff der diabetischen Polyneuropathie versteht man eine klinisch manifeste Erkrankung peripherer Nerven infolge von schlechter Stoffwechseleinstellung beim Diabetes mellitus, die durch die glykierungsbedingte Veränderungen der Axone, Markscheiden und der kleinen nutritiven Gefäße entsteht.

### **Arten der dPNP**

Man unterscheidet drei wichtige Arten des dPNP-Syndroms: die symmetrische, sensible Polyneuropathie (ssPNP), die motorische Neuropathie (MNP) und die autonome Neuropathie (ANP).

Die ssPNP äußert sich in erster Linie entweder in Empfindungsminderung bzw. –Verlust oder in Empfindungsstörungen mit einer sehr vielfältigen Symptomatik. Im Gegensatz zu den AVK-bedingten Beschwerden ist für die ssPNP-bedingte Beschwerden eine Verstärkung in Ruhe und besonders nachts charakteristisch. Die ssPNP hat ein, wie der Name schon sagt, symmetrisches Verteilungsmuster, sie beginnt immer am distalen Ende des längsten Nervs und entwickelt sich im Laufe der Zeit weiter nach proximal.

Die motorische Neuropathie führt durch die gestörte Innervation kleiner Fußmuskeln zur Entstehung von Fußdeformitäten, z.B. zur typischen Krallenzehebildung und dadurch zu einem gestörten Gehmuster mit einer Fehlbelastung des Fußes.

Die autonome Neuropathie ist ein Frühsymptom der dPNP. Sie führt durch den Verlust der Schweißsekretion des Fußes zu trockener Haut mit Rissen und Fissuren, die eine ideale Eintrittspforte für Bakterien bilden. Außerdem bewirkt die ANP durch das Öffnen sämtlicher arterio-venöser Shunts eine Hyperperfusion des Fußes [25][26].

### **Die Folgen der dPNP für den diabetischen Fuß**

Eine nicht rechtzeitig erkannte dPNP kann sehr schwerwiegende Folgen nach sich ziehen und nicht selten zu einer Amputation der unteren Extremität führen. Das wesentliche Problem bei der dPNP ist, dass sie meistens erst in einem weit fortgeschrittenen Stadium diagnostiziert wird, denn viele Diabetiker haben keine Beschwerden, wie z. B. Schmerzen, da sie durch die fehlende Wahrnehmung des Fußes infolge von ssPNP maskiert werden. Dies hat zur Folge, dass die Betroffenen erst sehr spät zum Arzt gehen, im Stadium, in dem der Schaden bereits schwer bzw. gar nicht zu beheben ist.

Bei 10% der Patienten besteht zum Zeitpunkt der Diagnose des Typ II Diabetes mellitus bereits eine manifeste PNP. Nach 25-jähriger Diabeteserkrankung findet sie sich bei ca. 50% der Patienten [29]. Nicht selten wird die Diagnose einer dPNP erst durch die Entstehung eines Fußulkus gestellt [10].

Die fehlende Schmerzwahrnehmung der Füße infolge der ssPNP bedeutet den Verlust eines der wichtigsten Schutzmechanismen des menschlichen Körpers. Die Fußverletzungen und Ulzera werden von den Diabetikern nicht bemerkt und dementsprechend nicht behandelt. Außerdem werden die typischen AVK-Symptome, wie Claudicatio intermittens

(Schaufensterkrankheit) und der Ruheschmerz, durch die ssPNP maskiert, wodurch die AVK erst nach dem Auftreten einer Gangrän entdeckt wird [29]. Ein weiteres Problem der ssPNP ist, dass viele Diabetiker durch die Empfindungsstörung der Füße ein zu enges Schuhwerk tragen. Die Studien zu diesem Thema belegen, dass das Schuhwerk in ca. 30% bis 50% der Fälle der Hauptauslöser für die initiale Ulzerationen ist [26][29]. Darüber hinaus gibt es Schuhe, die besonders gefährlich für den diabetischen Fuß sind, z.B. Schuhe mit Riemen oder einem Ledersteg zwischen der 1. und 2. Zehe [29]. Nicht zuletzt deswegen ist es so wichtig die dPNP rechtzeitig zu erkennen, um den Diabetikern Fußverletzungen durch ungeeignete Schuhe zu ersparen.

Eine weitere Folge der dPNP ist die diabetischen Neuroosteoarthropathie (DNOAP) mit dem daraus resultierenden Charcot-Fuß. Über 90% aller Diabetiker mit DNOAP haben eine klinisch nachweisbare dPNP und 10% der Diabetiker mit einer dPNP leiden unter DNOAP [17]. Sie entsteht durch die Kombination aller drei Arten der dPNP, und zwar durch die lokale Osteopenie als Folge der autonomen Neuropathie mit lokaler Hyperperfusion des Knochens und Osteoklastenaktivierung, durch die muskuläre Funktionsstörung als Folge der motorischen Neuropathie und durch die wegen fehlender Schmerzwahrnehmung ungemerkten Mikrotraumen infolge der sensiblen Neuropathie. Diese ganzen Faktoren führen zu den Fußdeformitäten, die wiederum eine Fehlbelastung beim Gehen und Stehen nach sich ziehen. Der Fuß kann der fehl belasteten Druckstelle durch regulierende Mechanismen, wie z.B. Schonhinken, nicht mehr ausweichen, dementsprechend entsteht an dieser Stelle eine

druckinduzierte Ulzeration, die wiederum zu spät erkannt wird, da der Betroffene keine Schmerzen verspürt [17][24].

Darüber hinaus führen die gestörte Propriozeption mit fehlender Rückkopplung und die Fehlfunktion der kleinen Fußmuskeln als Folge von MNP zu einem gestörten Gehmuster mit starken Schwankungen und zur Unsicherheit und Instabilität beim Gehen und Stehen [24]. Dies führt neben dem höheren Verletzungsrisiko auch zu einem erheblichen Sturzrisiko. Teilweise kann diese Fehlfunktion durch das visuelle System kompensiert werden. Ist dieses ausgeschaltet (z.B. nachts) oder beeinträchtigt (z.B. durch die diabetische Retinopathie) kann es für die Diabetiker besonders gefährlich werden. Dieser Gefahr sind sich viele Patienten durch den schleichenden Verlauf der Erkrankung nicht bewusst. So endet ein nächtlicher Toilettengang nicht selten mit einer Schenkelhalsfraktur. Das kann vermieden werden, wenn man die Risikofaktoren rechtzeitig erkennt und die Patienten auf die Gefahren hinweist.

### **Die Posturographie (Gleichgewichtsanalyse)**

Posturographie ist eine Methode, die das Zusammenspiel verschiedener regulatorischer Mechanismen im Sinne der Gleichgewichtshaltung erfasst. Zu den regulatorischen Mechanismen gehören der Vestibulärapparat, der Tastsinn der Haut, die Propriozeption, welche Informationen über die Stellung und Bewegung der Gelenke liefert, und das visuelle System. In der Posturographie wird unter Verwendung von Kraftmessplattformen mit Kraftsensoren die Verlagerung des Druckmittelpunktes des Körpers (Center of Pressure = COP) erfasst und analysiert.

Die digitale Posturographie ist die Weiterentwicklung des **Romberg-Tests**.



Darunter versteht man ein neurologisches Untersuchungsverfahren zum Nachweis der Koordinationsstörung im Sinne einer Ataxie (Schwanken). Der Romberg-Test kann, ebenso wie Posturographie, mit und ohne Augenschluss durchgeführt werden. Dabei steht der Patient Aufrecht mit direkt nebeneinander stehenden Füßen und nach vorne ausgestreckten Armen. Der Untersucher stellt sich hinter den Patienten und hält seine Arme seitlich um den Patienten, um ein eventuelles Hinstürzen abzufangen. Der Test ist pathologisch bei großen Schwankbewegungen (Ataxie) oder Fallneigung zu einer Seite. [6]

Das Verfahren der Posturographie findet immer breitere Anwendung in der klinischen Praxis, wie z.B. Beinprothetik- und Orthetik, sowie Kinderorthopädie (Rumpfprothetik). [27] Auch in den zahlreichen klinischen Studien wird der Einsatz der Posturographie in den unterschiedlichen medizinischen Gebieten erprobt. [6][1][2][30] Demzufolge gibt es immer mehr kommerziell verfügbarer Kraftmessplatten, wie z.B. Kistler-Plattform oder L.A.S.A.R. Posure, die die diagnostischen Möglichkeiten zur Gleichgewichtsanalyse von Patienten mit diversen Krankheitsbildern bedeutend erweitern.

Die angebotenen Systeme, unterstützt durch die entsprechende Software, bieten zahlreiche Alternativen zur objektiven, vom Untersucher unabhängigen Kontrolle koordinativer Aufgaben, wobei die erhobenen Messungen einfach und schnell wiederholt werden können. [34] Dies ermöglicht statistische Auswertung und repräsentative Aussagen.

### **Wahl des Messgerätes**

Wie bereits oben erwähnt, sind zurzeit mehre Geräte auf dem Markt, mit denen die Posturographie betrieben werden kann. Zu den bekanntesten

gehört die Kistler-Kraftmessplatte, welche in den Ganglaboren häufig Anwendung findet.

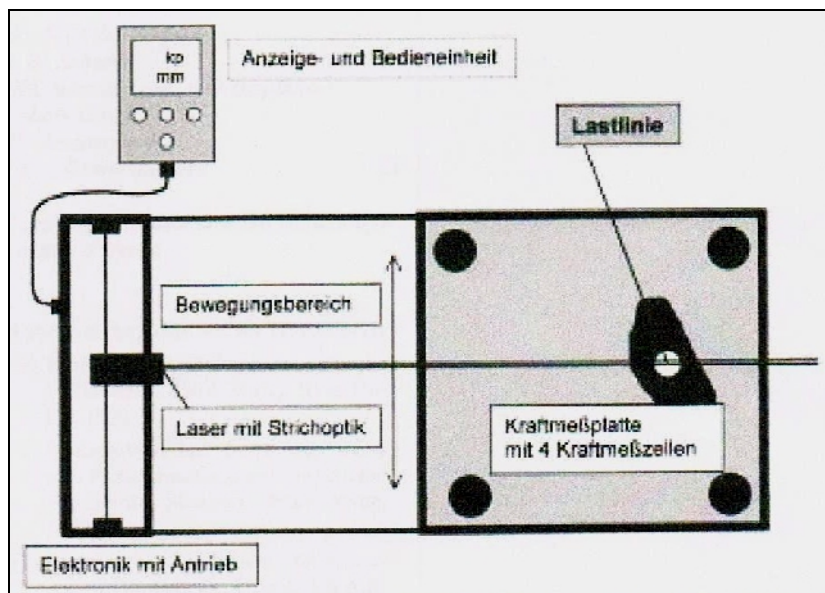
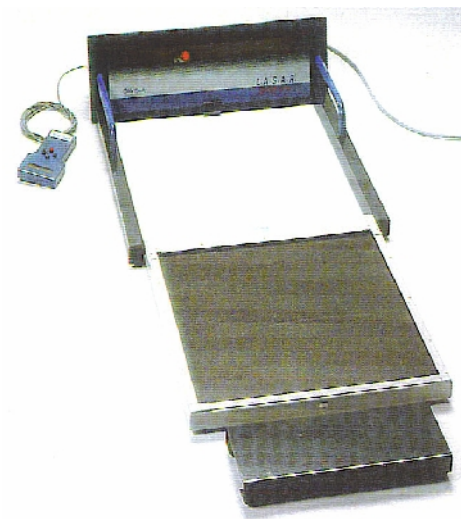
Bei einer Kistler-Kraftmessplatte handelt es sich um ein präzises Messinstrument zur mehrdimensionalen Bestimmung von Kräften, Drehmomenten und Kraftangriffspunkten. Sie findet in den Bereichen, wie Biomechanik, Sport, Orthopädie, Neurologie und Fahrzeugbau Anwendung. [11]

Eine Kistler-Platte beinhaltet vier Messpylons mit jeweils drei piezoelektrischen Sensoren, die die Reaktionskräfte in AP-Richtung (**A**nterior-**P**osterior), ML-Richtung (**M**edio-**L**ateral) und die Vertikalkräfte messen. Die Messdaten werden durch Verstärker verarbeitet und an den Datenerfassungsrechner weitergeleitet.

In den Ganglaboren werden mehrere Kistler-Platten in eine Laufbahn eingebaut. Somit sind sowohl statische als auch dynamische Untersuchungen möglich.

In dieser Arbeit wurde das in den orthopädischen Werkstätten häufig eingesetzte L.A.S.A.R. –Messgerät angewandt.

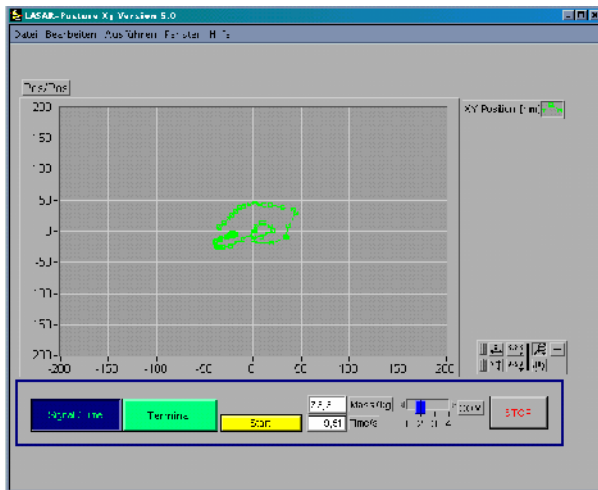
Das **L.A.S.A.R.-Messgerät**, Handelsname **L.A.S.A.R. Posture** ( **L**aser **A**ssisted **S**tatic **A**lignment **R**eference), hergestellt von der Firma **Otto Bock Orthopädische Industrie GmbH & Co.** [19], ist ein Messgerät zur Bestimmung der Körperschwerpunktlinie bzw. der Belastungslinie im Stand. Es besteht aus einer Kraftmessplattform mit vier integrierten Kraftmesszellen, einem Projektionssystem mit Laser und Strichoptik, einem Positionierungssystem mit Elektronik und Schrittmotor, einer Bedien- und Anzeigeeinheit und einer Höhenausgleichsplatte **Abb.2.**



**Abb.2 L.A.S.A.R. Posture Messgerät [17]**

Die L.A.S.A.R.-Software ist ein Programmsystem, welches aus den 4 Kraftmesszellen die Lage des Belastungsschwerpunktes in der Horizontalebene berechnet und dessen Wanderung während der Messzeit registriert. Der Belastungsschwerpunkt wird als ein Punkt angezeigt. Der Nullpunkt der Messung ist die Lage des Schwerpunktes bei Beginn der Messung ( $t_0$ ). Während der Messung wird die Entfernung des aktuellen

Belastungsschwerpunktes vom Nullpunkt im Koordinatensystem in x- und y- Richtung erfasst und am Ende der Messung zu der Gesamtstrecke des zurückgelegten Weges des Belastungsschwerpunktes addiert. **Abb.3.**



**Abb.3** Die Messplattform als ein Koordinatensystem [17]

Anschließend wird vom Programm ein Messbericht erstellt. Der enthält die Information über die Länge der Gesamtstrecke, die vom Belastungsschwerpunkt innerhalb der 10 Sekunden zurückgelegt wurde und den Radius der vom Schwerpunkt erfassten Fläche. Die Streckenlänge wird in der späteren Auswertung als „totale Länge“ (TL) bezeichnet und genauso wie der Radius (Rad) in mm angegeben.

Außerdem werden im Messbericht noch weitere Werte angegeben, die für die Auswertung nicht benutzt werden, da sie für die Fragestellung nicht relevant sind. Darauf wird noch mal in dem Diskussionskapitel eingegangen.

Die ursprüngliche Anwendung des Messgeräts besteht u. a. in der Überprüfung der Körperhaltung und des statischen Aufbaus von

orthopädischen Heil- und Hilfsmittel (Orthese oder Prothese) direkt am Patienten [19].

Im Rahmen dieser Arbeit wurde aber das Gerät auf eine andere, bisher nicht angewandte Weise eingesetzt, mit dem Ziel u. a. die Schwankung des Belastungsschwerpunktes zu messen, um so die Schwankung des Probanden zu erfassen und damit ein Maß für die Schwere der dPNP zu erhalten.

Die Auswahl des Gerätes erfolgte aufgrund seiner einfachen Handhabung. Durch das Zusammenklappen bietet das Gerät einfache Transportmöglichkeiten auch im gewöhnlichen Pkw und kann in jedem Raum mit festem und ebenem Untergrund schnell und ohne großen Aufwand durch eine Person aufgebaut und an das PC oder einen Laptop angeschlossen werden. Die Bedienung ist einfach zu verstehen, die Anwendung ist nicht invasiv und erfordert vom Patienten keine besonderen Fähigkeiten. Dadurch ist dieses Messgerät gut für den Einsatz bei den Visiten im Krankenhaus oder in den anderen auch kleineren Räumlichkeiten zur Verlaufs- und Erfolgskontrolle von Therapien oder auch als diagnostisches Mittel geeignet. [27]

## **Material und Methoden**

### Die untersuchten Kollektive

Insgesamt wurden 65 Personen untersucht, davon waren 36 Diabetiker mit einer bestehenden diabetischen Polyneuropathie und 29 Nichtdiabetiker ohne jegliche Polyneuropathie als Kontrollkollektiv. Im Laufe der Untersuchung musste eine Person aus dem Gesundenkollektiv ausgeschlossen werden, da bei ihr der Verdacht auf eine bisher nicht bekannte Polyneuropathie bestand, der sich später erhärtet hat. Auf diesen Fall wird später noch mal detailliert eingegangen.

Die Probandenauswahl für die Diabetikergruppe erfolgte anhand von Ein- und Ausschlusskriterien aus der Diabetikersprechstunde der Klinik und Poliklinik für technische Orthopädie und Rehabilitation des Universitätsklinikum Münster (UKM) der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster (WWU).

Die Diabetikergruppe bestand aus 12 weiblichen und 24 männlichen Probanden. Das Durchschnittsalter lag bei 58 Jahren mit einer Bandbreite von 31 bis 76 Jahren.

Die gesunde Vergleichsgruppe bestand aus 16 weiblichen und 12 männlichen Probanden. Das Durchschnittsalter lag bei 42 Jahren mit einer Bandbreite von 29 bis 64 Jahren.

### Der Untersuchungszeitraum

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von Dezember 2005 bis April 2006.

## Ein- und Ausschlusskriterien

Für die Diabetikergruppe lagen bei der Auswahl folgende Einschlusskriterien vor:

1. Diabetes mellitus ( Typ I oder II)
2. Durch standardisierte Untersuchungstechniken (Nationale Leitlinien vom Dezember 2006) [17] gesicherte diabetische Polyneuropathie.

Die Ausschlusskriterien waren:

1. Zustand nach Apoplex mit noch bestehenden Paresen
2. Neurologische Krankheitsbilder mit Beeinträchtigung des Gangbildes
3. Periphere Nervenschädigung im Sinne einer motorischen oder sensiblen Störung
4. Jegliche Form von Aphasie
5. Akute oder chronische neuromuskuläre Läsionen
6. Aktuelle Erkrankungen des Gleichgewichtssystems
7. Aktuelle Schmerzen im Bewegungsapparat, die das Stehverhalten und das Gangbild beeinträchtigen
8. Zustand nach Totalendoprothese der unteren Extremitäten, die noch Beschwerden hervorrufen und das Gangbild des Probanden beeinträchtigen.
9. Größere Amputationen an unteren Extremitäten (z.B. Vorfußamputation)

## Untersuchungsablauf

1. Anamnese anhand des Dokumentationsbogens (s. Anhang)
2. Untersuchung gemäß Leitlinien
3. Posturografische Messung mit dem L.A.S.A.R. Posture-Meßgerät und der L.A.S.A.R.-Software

### 1. Anamnese anhand des Dokumentationsbogens

Im Dokumentationsbogen (s. Anhang) wurden Alter, Geschlecht, Größe, Gewicht, Diabetes-Typ, Dauer der Diabeteserkrankung, Art der aktuellen Diabetestherapie (orale Antidiabetika, Insulin) sowie die Dauer der Therapie erfasst.

Es wurde eine Anamnese im Bezug auf Voroperationen und Traumata der unteren Extremitäten erhoben sowie das Bestehen möglicher Diabetes -begleitender Erkrankungen, wie Retinopathie, Nephropathie und Koronare Herzkrankheit (KHK) abgefragt. Die Ereignisse bzw. deren Folgen, wie Apoplex oder Bandscheibenvorfall mit gebliebenen neurologischen Läsionen, die das Ergebnis der späteren Messung verfälschen könnten, wurden ausgeschlossen. Die Dauer und Art der bestehenden Schuhversorgung wurden dokumentiert, da die meisten Patienten aufgrund der dPNP und DNOAP mit orthopädischen Schuhen bzw. Orthesen versorgt waren.

Der zweite Teil des Bogens erfasst eine ausführliche Inspektion der Füße, einschließlich der genauen Dokumentation der bestehenden bzw. abgeheilten Ulzera und anderer Auffälligkeiten, der Hautbeschaffenheit, der neurologischen und der orthopädischen Untersuchung sowie der Erhebung des Pulsstatus und der Beinlänge. Anhand der neurologischen



Untersuchung wurde der Neuropathie Defizit Score (NDS) zur Beurteilung der Ausprägung der Polyneuropathie ermittelt. Zusätzlich wurde bei allen Probanden ein Finger-Nase-Versuch durchgeführt, um Koordinationsstörungen anderer Genese auszuschließen. Dabei führt der Patient bei seitlich ausgestrecktem Arm die Spitze seines Zeigefingers in einem großen Bogen auf seine Nasenspitze. Jede Seite einzeln, zuerst mit offenen, dann mit geschlossenen Augen. Bei Störung im Bereich des Kleinhirnes misslingt diese Zielbewegung. [7]

## 2. Untersuchung gemäß Leitlinien

Zu den standardisierten Untersuchungstechniken die hier eingesetzt werden sind Methoden, die von den Nationalen Leitlinien (Dezember 2006) [17] für die Versorgung der diabetischen Fußkomplikationen empfohlen und im klinischen Alltag weitgehend eingesetzt werden (**Abb.4**). Dazu gehören in erster Linie klinische Untersuchung der Beine und Füße beidseits und im Seitenvergleich, die Erfassung des peripheren Pulsstatus, u. a. mit einem Taschendoppler sowie eine orientierende Untersuchung der Gelenk- und Muskelfunktion, einschließlich der Muskeleigenreflexe (Patellarsehnenreflex und Achillessehnenreflex) mit einem Reflexhammer.

Zu den weiteren diagnostischen Mitteln der dPNP gehören gemäß den Nationalen Leitlinien von Dezember 2006: ein 10g Semmes-Weinstein Monofilament, Rydell-Seiffersche Stimmgabel sowie das Tip Therm®.



**Abb.4** Das Instrumentarium der klinischen Untersuchung, bestehend aus Taschendoppler, Winkelmesser, Reflexhammer, Rydell-Seifferschen Stimmgabel, Tip Therm® und 10 g Semmes-Weinstein Monofilament. [14]

Das **10g Semmes-Weinstein Monofilament** wurde für die sensorische Untersuchung der Berührungssensibilität der Füße eingesetzt. Hierbei wird der Proband beim Ansetzen des Monofilaments gefragt, ob und wo er den Druck spürt. Der Vorgang wird zweimal in der gleichen Region wiederholt mit mindestens einer Scheinanwendung, bei der das Monofilament nicht in den Kontakt mit der Haut kommt. Das Monofilament wird zuerst an der Hand des Probanden angewandt, damit er weiß, was ihn erwartet. Bei der Untersuchung sieht der Proband nicht, wann und an welcher Stelle das Monofilament angesetzt wird. Das Monofilament wird senkrecht zur Hautoberfläche angesetzt. Dabei soll so viel Druck ausgeübt werden, dass es sich verbiegt (**Abb.5**). Der Kontakt zwischen Haut und dem Monofilament sollte ca. 2 Sekunden betragen.

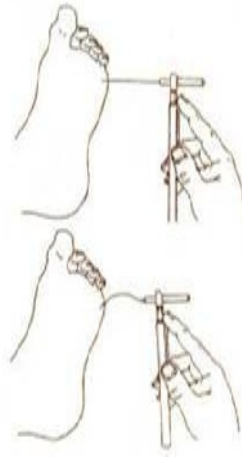


Abb.5 10g Semmes-Weinstein Monofilament und seine Anwendung [10][14]

An jedem Fuß werden jeweils drei, insgesamt also 6 Regionen getestet: die Unterseite des Großzehs, der Großzehballen und der Kleinzehballen. Der Test gilt als bestanden, wenn mindestens zwei von drei Testungen an jedem Fuß richtig beantwortet werden [10].

Das Vibrationsempfinden der Füße und Beine wurde mithilfe der **Rydell-Seiffersche Stimmgabel** untersucht. Dabei wird die Stimmgabel auf den knöchernen Teil des gewählten Prüfpunktes aufgesetzt nachdem sie angeschlagen wurde. Der Patient soll dabei angeben, wie lange er die Vibration empfindet, ohne die Stimmgabel anzusehen. An den schwingenden Enden der Stimmgabel befindet sich eine in acht Abschnitte aufgeteilte Skala. Im gleichen Zeitpunkt, in dem der Patient angibt, die Vibration nicht mehr empfinden zu können, wird anhand der Skala der jeweilige Wert abgelesen. Dabei entspricht ein Wert von  $1/8$  der stärksten und  $8/8$  der feinsten Vibration (**Abb.6**).

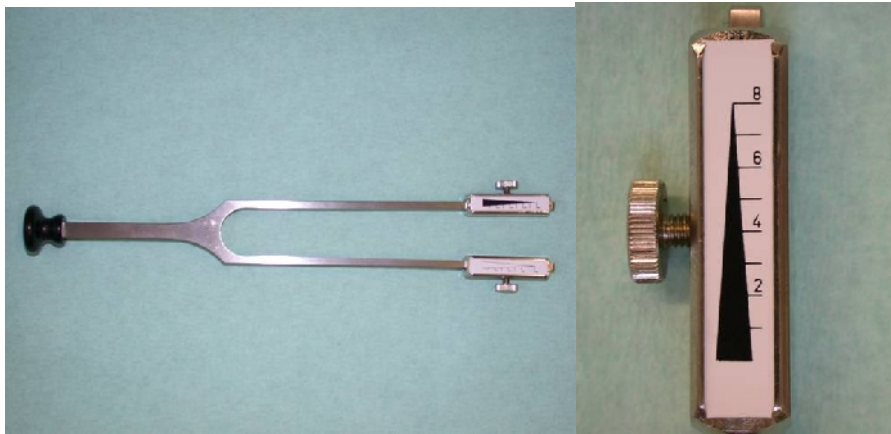
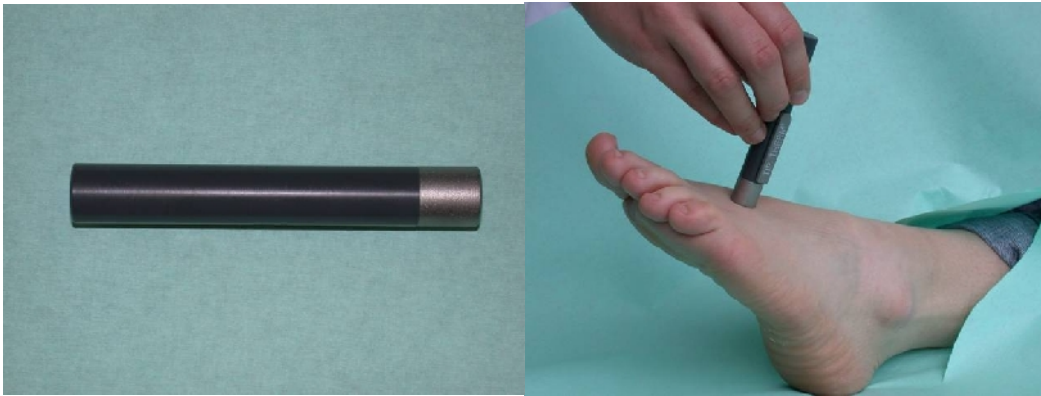


Abb.6 Rydell-Seiffersche Stimmgabel [14]

Gesunde unter 60 Jahren sollten an allen Prüfpunkten auch kleinste Amplituden ( $7/8 - 8/8$ ) gut wahrnehmen. Es wurden jeweils drei Regionen getestet: Großzehgrundgelenk, äußerer Fußknöchel und die Vorderkante des Schienensbeins. Der Test gilt als bestanden, wenn an mindestens zwei von drei Prüfpunkten das Vibrationsempfinden (Pallaesthesie) im Normalbereich liegt [10].

Zusätzlich wurde das Temperaturempfinden beider Extremitäten mittels **Tip Therm®** überprüft. Bei Tip Therm® handelt es sich um ein Instrument, welches die unterschiedlichen thermischen Eigenschaften von Kunststoff und Metall nutzt, um an der Hautoberfläche die Empfindungen verschiedener Temperaturen zu erzeugen (**Abb.7**). Obwohl beide Materialien Raumtemperatur haben, entzieht das Metallteil der Haut mehr Wärme als der Kunststoff und wird deswegen vom Gesunden eindeutig als „kälter“ empfunden [31].



**Abb.7 Tip Therm® und seine Anwendung [14]**

Das Tip Therm® wird senkrecht zur Hautoberfläche auf den Fußrücken gesetzt, dabei berührt einmal das Kunststoffende und einmal das Metallende die Haut. Der Patient sollte ohne das Instrument anzusehen angeben, welches Ende er als „kälter“ empfindet.

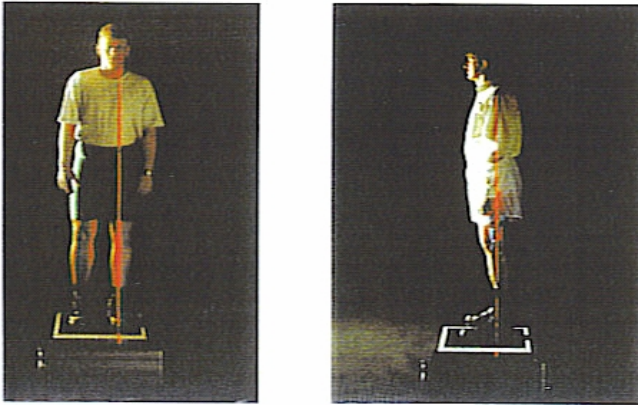
Die Ergebnisse der Untersuchung wurden dokumentiert und skizziert. Der daraus resultierende Neuropathie Defizit Score wurde ermittelt **(Abb.8)**.

<b>Erhebung des neurologischen Defizit-Scores (NDS)</b>			
<b>Achillessehnenreflex</b>			
		<b>rechts</b>	<b>links</b>
Reflexe:	normal	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
	vermindert	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1
	fehlend	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2
<b>Vibrationsempfindung</b>			
Messung am Großzehgrundgelenk dorsal, Außenknöchel, Schienenseite			
		<b>rechts</b>	<b>links</b>
	normal	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
	vermindert/fehlend	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1
<b>Schmerzempfindung</b>			
Messung am Fußrücken			
	normal	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
	Vermindert/fehlend	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1
<b>Temperaturempfinden</b>			
Messung am Fußrücken			
	normal	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
	Vermindert/fehlend	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1
Gesamtscore: <input type="checkbox"/> Punkte			
<b>Bewertung:</b>			
3-4 = leichte neuropathische Defizite			
6-8 = mäßige neuropathische Defizite			
9-10 = schwere neuropathische Defizite			

**Abb.8 aus: Diagnose und Therapie der sensomotorischen diabetischen Neuropathien. Diabetes und Stoffwechsel, 11 Suppl.2 (2002)**

### 3. Posturographische Messung mit dem L.A.S.A.R. Posture- Messgerät und der L.A.S.A.R.- Software

Die posturographische Messung erfolgte mithilfe des L.A.S.A.R. Posture -Messgeräts.

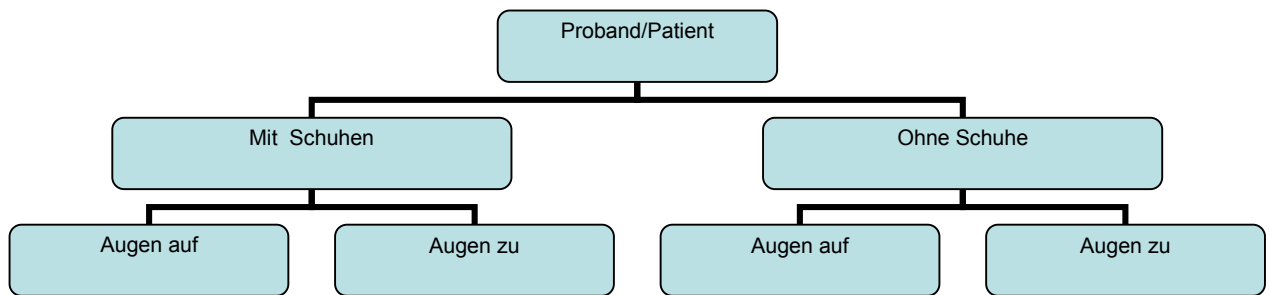


**Abb.9** L.A.S.A.R.-Messung [19]

Die posturographische Messung erfolgte folgendermaßen: der Proband steht mit beiden Beinen auf der Kraftmessplatte des L.A.S.A.R.-Messgeräts, die Körperhaltung sollte möglichst normal sein, der Laserstrahl projiziert die Belastungsschwerpunktlinie auf den Körper des Probanden **Abb.9**.

Mit jedem Proband werden zwölf Messungen durchgeführt. Sie setzen sich zusammen aus jeweils drei Messungen mit den Schuhen bzw. mit der aktuellen Schuhversorgung, mit geöffneten und geschlossenen Augen und jeweils drei ohne Schuhe mit geöffneten und geschlossenen Augen (**Abb.10**).

Abweichungen von dieser Regel gab es nur, wenn der Patient z.B. mit geschlossenen Augen nicht sicher stehen konnte und somit stark sturzgefährdet war. In solchen Fällen wurde auf eine Wiederholungsmessung verzichtet.



**Abb.10 Messverlauf**

Für die spätere Auswertung wurde der beste Wert der 3 Messungen genommen. Die Dauer jeder Messung beträgt 10 Sekunden.

Vor Beginn der posturographischen Messung wurden die Probanden zunächst genau über den Ablauf der Messung informiert. Sie wurden aufgefordert ihre normale Standhaltung einzunehmen, geradeaus nach vorne zu schauen, die Arme an den Seiten locker hängen zu lassen und 10 Sekunden lang möglichst ruhig stehen zu bleiben.

Während der Messung galt es, eine ruhige, geräuscharme Umgebung zu schaffen und die Probanden zu motivieren, sich genau auf die Messung zu konzentrieren und sich nicht von anderen Gedanken ablenken zu lassen. Auf die Bedeutung dieser Maßnahmen wird noch eingegangen. Um den Einfluss der Standbreite des Probanden auf die Messergebnisse auszuschließen bzw. zu belegen wurde auf der Messplattform ein Blatt Papier platziert und die Position der Füße durch die Umrandung der Fersen skizziert. Für die Auswertung wurde der Fersenabstand ausgemessen.



Die Erfassung und Auswertung der Messdaten erfolgte mit der vorhandenen **L.A.S.A.R.-Software**. Dabei wird die vom Belastungsschwerpunkt innerhalb der vorgegebenen Zeit zurückgelegte Gesamtstrecke und der Radius der erfassten Fläche angegeben.

### Auswertung der Messdaten

Entsprechend der Zielsetzung dieser Arbeit werden schwerpunktmäßig folgende Werte miteinander verglichen:

- Totale Länge (TL) und der Radius (Rad) zwischen den beiden Gruppen in jeder Messoption
- TL und Rad innerhalb der Gruppen mit und ohne Schuhe
- TL und Rad innerhalb der Gruppen mit offenen und geschlossenen Augen
- Höhe der Messwerte mit der Ausprägung der dPNP entsprechend dem Neuropathie Defizit Score (NDS)
- Korrelation der hohen Messwerte mit der Ulkusinzidenz

### Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse dieser Arbeit erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS.

Um die Aussage über die Signifikanz und die Korrelation der Messergebnisse machen zu können wurden sie mit freundlicher Unterstützung des Instituts für medizinische Informatik und Biomathematik der Uni Münster dem Mann-Whitney-Test, dem Wilcoxon-Test und dem Korrelationstest nach Pearson unterzogen. Als Signifikanzniveau werden  $p < 0,05$  (signifikant) festgelegt.

## Ergebnisse

### Allgemeine Daten

Insgesamt wurden die Daten von 64 Probanden ausgewertet. 36 davon waren Diabetiker mit einer bestehenden diabetischen Polyneuropathie (dPNP) und 28 gesunde Probanden ohne Zeichen einer dPNP.

In **Tab.1** sind die erhobenen Daten über das Geschlecht, Alter und BMI (Body-Mass Index) der Probanden tabellarisch zusammengefasst.

	Untersuchte Personen	Geschlecht		Alter (J.)			BMI (kg/m <sup>2</sup> )	
	<i>Gesamt</i>	♂	♀	<i>Mittel.</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Mittel.</i>	$\sigma$
<i>Diabetiker</i>	<b>36</b>	24	12	58	31	76	32	± 6,2
	<b>100%</b>	66,7 %	33,3 %					
<i>Gesunde</i>	<b>28</b>	12	16	42	29	64	25,5	± 4,4
	<b>100%</b>	42,9 %	57,1 %					

**Tab.1**

9 (25%) der 36 Diabetiker hatten Diabetes Typ I und die restlichen 27 (75%) Diabetes Typ II. Die Mittlere Dauer der Diabeteserkrankung lag bei  $17,5 \pm 11,7$  Jahren mit einer Bandbreite von 5 bis 65 Jahren.

5 (13,9%) Patienten nahmen orale Antidiabetika ein und 31 (86,1%) Diabetiker wurden mit Insulin behandelt. Dabei lag die mittlere Dauer der Insulintherapie bei 11,5 Jahren mit einer Bandbreite von 0,3 bis 65 Jahren.

9 Diabetiker wiesen eine diabetische Nephropathie und 14 eine diabetische Retinopathie auf.

Im Bezug auf die Schuhversorgung trugen die meisten Patienten aufgrund der unterschiedlich stark ausgeprägten DNOAP orthopädische Maßschuhe bzw. Orthesen. Von den 36 Probanden hatten 20 orthopädische Schuhe beidseits, 3 normale Schuhe beidseits, 7 orthopädischen Schuh auf einer und Orthese auf der anderen Seite, 5 normalen Schuh auf einer und Orthese auf der anderen Seite, 1 Orthesen beidseits.

Bei allen Patienten wurde eine ausführliche Anamnese im Bezug auf die Fußulzerationen erhoben. 32 Patienten (88,9%) haben eine positive Ulkusanamnese gehabt mit Ulzera unterschiedlicher Genese.

Es wurde danach geschaut, ob ein Fuß oder beide Füße von Ulzera betroffen waren und ob das Ulkus einmalig oder rezidiv aufgetreten war.

Die Ergebnisse sind in der **Tab.2** zusammengefasst.

<b>Ulkusanamnese</b>	<b>Patientenanzahl</b>	<b>Prozentanteil</b>
negative Ulkusanamnese	4	11,1%
ein Fuß, einmalig	8	22,2%
beide Füße, einmalig	5	13,9%
ein Fuß, rezidiv	10	27,8%
beide Füße, rezidiv	9	25,0%
<b>Gesamtergebnis</b>	<b>36</b>	<b>100,0%</b>

**Tab.2**

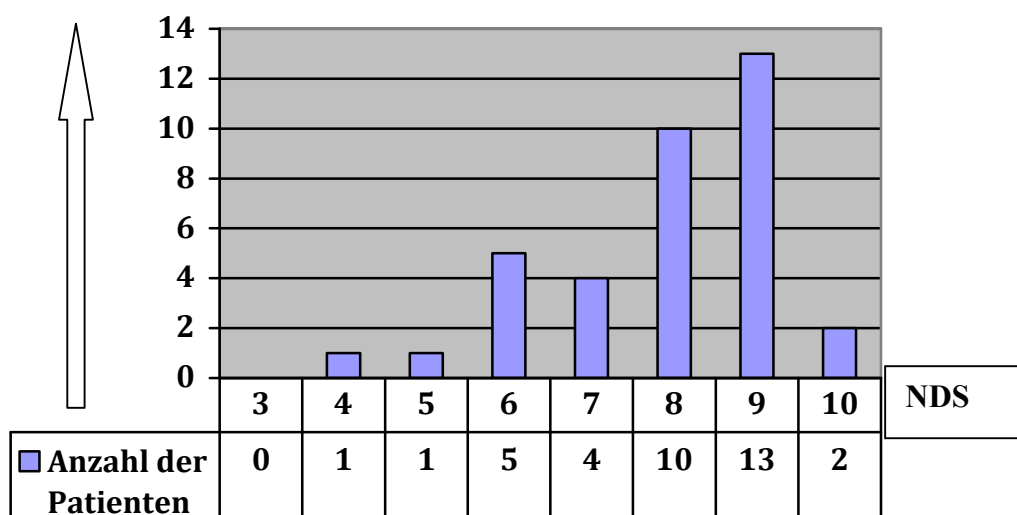
Bei 23 Diabetikern (63,9%) handelte es sich um ein plantares Ulkus. 14 Patienten (38,9%) hatten zur Zeit der Untersuchung ein akutes Ulkus und bei 18 Diabetikern (50%) war das Ulkus bereits abgeheilt.

Anhand der durchgeführten neurologischen Untersuchung wurde für jeden Patienten die entsprechende Punktzahl anhand des Neuropathie Defizit Scores (NDS) ermittelt (s. Material- und Methodenkapitel S. 23).

Demnach liegen bei einer Punktzahl von:

- 3-5 leichte neuropathische Defizite
- 6-8 mäßige neuropathische Defizite
- 9-10 schwere neuropathische Defizite vor.

Die Ergebnisse sind in **Diagramm 1** zusammengefasst.



**Diagramm 1** Verteilung in der Diabetikergruppe (n=36) anhand der NDS-Punktzahl

Dementsprechend hatten 2 Patienten (5,6%) leichte neuropathische Defizite, 19 (52,8%) mäßige neuropathische Defizite und 15 (41,7%) schwere neuropathische Defizite.

Bei der sensorischen Untersuchung mit dem Semmes-Weinstein Monofilament wurden an beiden Füßen jeweils drei, also insgesamt 6 Regionen getestet.

Eine ausreichende Sensibilität ist in jeder Region vorhanden, wenn der Patient mindestens zwei von drei Testungen richtig beantwortet [10].

4 der 36 Diabetiker (11,1%) konnten 4 oder mehr der 6 Testungen richtig beantworten, 32 Diabetiker (88,9%) haben keine Testung richtig beantwortet.

### **Auswertung der posturographischen Messdaten zwischen der Kontroll- und Diabetikergruppe**

Bei der Auswertung der Messdaten ergaben sich signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen den beiden Gruppen im Bezug auf die totale Länge und den Radius.

Das **Diagramm 1** zeigt in der Übersicht die Mittelwerte für die totale Länge im Vergleich zwischen den beiden Gruppen und die dazugehörigen Standardabweichungen. Die einzelnen Werte sind in der **Tab.4** zusammengefasst.

### Übersicht der Mittelwerte Totale Länge

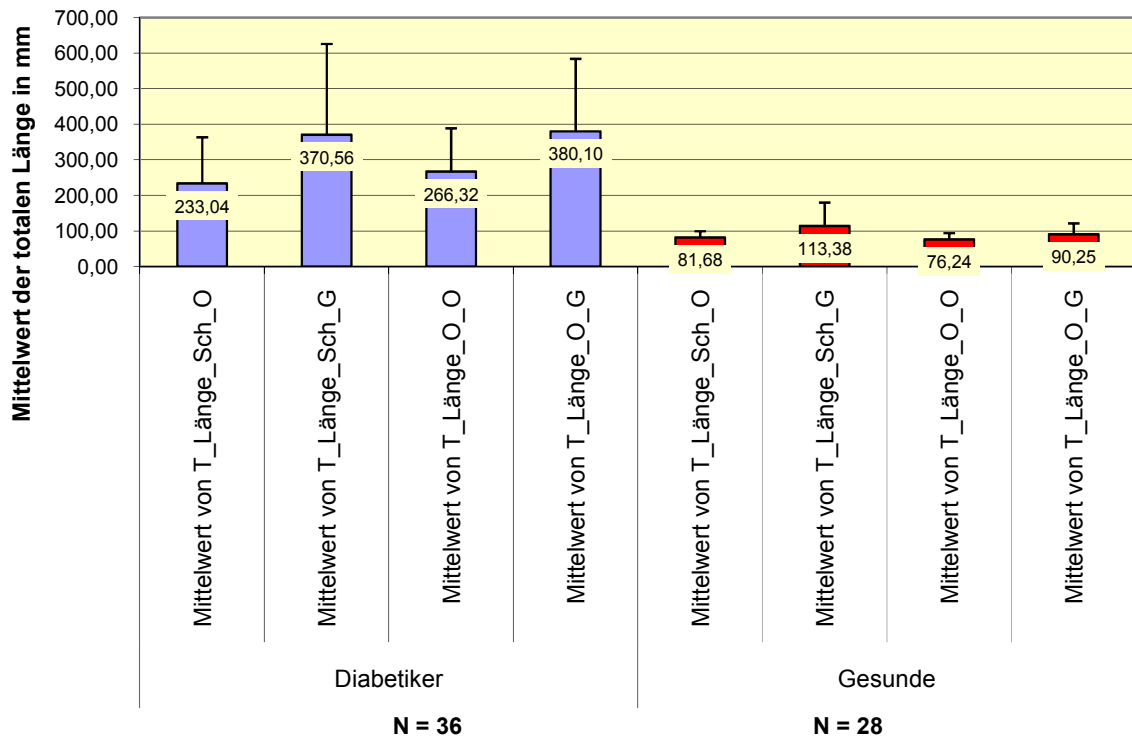


Diagramm 1: Abkürzungen: T\_Länge = totale Länge; Sch\_O = mit den Schuhen, Augen offen; Sch\_G = mit den Schuhen, Augen geschlossen; O\_O = ohne Schuhe, Augen offen; O\_G = ohne Schuhe, Augen geschlossen

Mittelwert für Totale Länge mit Standardabweichung	Mit Schuhen	Ohne Schuhe
<b>Augen offen</b>	233,04 ±129,96	266,32 ±121,74
<b>Augen geschlossen</b>	370,56 ±254,82	380,1 ±202,69

Tab. 4: Mittelwerte für die Totale Länge mit der Standardabweichung in der Diabetikergruppe

Mittelwert für Totale Länge mit Standardabweichung	Mit Schuhen	Ohne Schuhe
Augen offen	81,68 ±17,47	76,24 ±17,37
Augen geschlossen	113,38 ±66,18	90,25 ±30,77

Tab. 5: Mittelwerte für die Totale Länge mit der Standardabweichung in der Kontrollgruppe

Die **Tab.4** und **5** zeigen deutlich, dass die Mittelwerte für die totale Länge in der Gesundengruppe deutlich unter den Mittelwerten in der Diabetikergruppe liegen. Auch die Standardabweichungen in der Kontrollgruppe sind bedeutend geringer.

Den größten Wert für die totale Länge hatten die Diabetiker bei der Messoption: ohne Schuhe, mit geschlossenen Augen (= 380,10 mm) und die Gesunden bei der Messoption: mit den Schuhen, mit geschlossenen Augen (=113,38 mm).

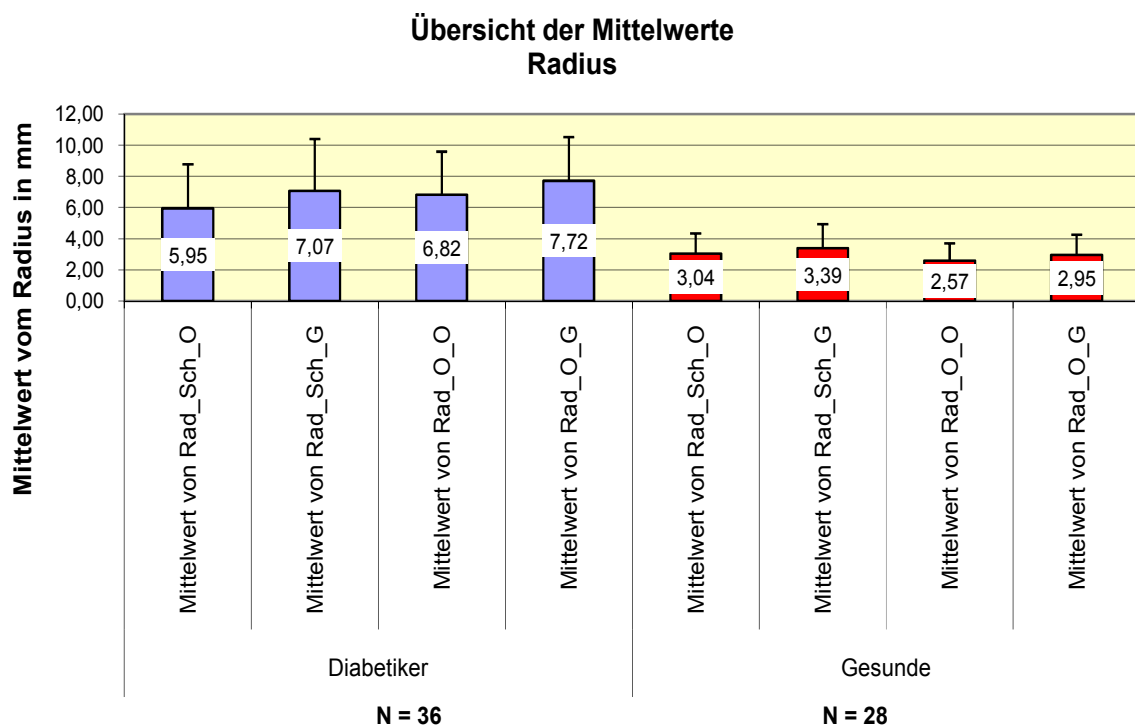
Die Ergebnisse der Signifikanzprüfung für die Messwerte zwischen den beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-Test sind in der **Tab.5** zusammengefasst.

Messoption		N	Mittlerer Rang	P-Wert	Signifikanz
Sch_O	Diabetiker	35	44,89	< 0,001	signifikant
	Gesunde	28	15,89		
Sch_G	Diabetiker	33	43,58	< 0,001	signifikant
	Gesunde	28	16,18		
O_O	Diabetiker	32	44,22	< 0,001	signifikant
	Gesunde	28	14,82		
O_G	Diabetiker	28	42,18	< 0,001	signifikant
	Gesunde	28	14,82		

Tab 6: Signifikanzprüfung für die totale Länge, Abkürzungen: Sch\_O = mit den Schuhen, Augen offen; Sch\_G = mit den Schuhen, Augen geschlossen; O\_O = ohne Schuhe, Augen offen; O\_G = ohne Schuhe, Augen geschlossen

Aus der **Tab.6** geht hervor, dass die Messwerte für die totale Länge in der Gesundengruppe in allen vier Messoptionen signifikant ( $p < 0,001$ ) kleiner sind als in der Diabetikergruppe.

Eine ähnliche Situation ergibt sich beim Vergleich der Werte für den Radius zwischen der Diabetiker- und Gesundengruppe. Das **Diagramm 2** zeigt eine Übersicht der Mittelwerte für den Radius und die dazugehörigen Standardabweichungen. Die einzelnen Werte sind in der **Tab.7** und **8** zusammengefasst.



**Diagramm 2: Abkürzungen: Rad = Radius; Sch\_O = mit den Schuhen, Augen offen; Sch\_G = mit den Schuhen, Augen geschlossen; O\_O = ohne Schuhe, Augen offen; O\_G = ohne Schuhe, Augen geschlossen**



Mittelwert für Radius mit Standardabweichung	Mit Schuhen	Ohne Schuhe
Augen offen	5,95 ±2,82	6,82 ±2,77
Augen geschlossen	7,07 ±3,33	7,72 ±2,78

Tab. 7: Mittelwerte für Radius mit Standardabweichung in der Diabetikergruppe

Mittelwert für Radius mit Standardabweichung	Mit Schuhen	Ohne Schuhe
Augen offen	3,04 ±1,28	2,57 ±1,12
Augen geschlossen	3,39 ±1,54	2,95 ±1,29

Tab. 8: Mittelwerte für Radius mit Standardabweichung in der Kontrollgruppe

Aus der **Tab.7** und **8** geht hervor, dass die Radiusmittelwerte und deren Standardabweichungen in der Gesundengruppe deutlich unter den Mittelwerten in der Diabetikergruppe liegen.

Die Ergebnisse der Signifikanzprüfung für die Messwerte zwischen den beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-Test sind in der **Tab.9** zusammengefasst.

Messoption		N	Mittlerer Rang	P-Wert	Signifikanz
Sch_O	Diabetiker	35	42,29	< 0,001	signifikant
	Gesunde	28	19,14		
Sch_G	Diabetiker	33	41,88	< 0,001	signifikant
	Gesunde	28	18,18		
O_O	Diabetiker	32	43,19	< 0,001	signifikant
	Gesunde	28	16,00		
O_G	Diabetiker	28	41,39	< 0,001	signifikant
	Gesunde	28	15,61		

**Tab.9** Signifikanzprüfung für die Radiuswerte, Abkürzungen: Sch\_O = mit den Schuhen, Augen offen; Sch\_G = mit den Schuhen, Augen geschlossen; O\_O = ohne Schuhe, Augen offen; O\_G = ohne Schuhe, Augen geschlossen

Aus der **Tab.9** geht hervor, dass die Messwerte für die Radien in der Gesundengruppe in allen vier Messoptionen signifikant ( $p < 0,001$ ) kleiner sind als in der Diabetikergruppe.

### Auswertung der posturographischen Messdaten innerhalb der Gruppen

#### a) Diabetikergruppe

Die Daten für vier Messoptionen:

- mit Schuhen, mit offenen Augen (N = 36)
- mit Schuhen, mit geschlossenen Augen (N = 33)
- ohne Schuhe, mit offenen Augen (N = 31)
- ohne Schuhe, mit geschlossenen Augen (N = 28)

sind in den **Tab.10** und **11** zusammengefasst.

Da der Schwierigkeitsgrad mit jeder Messoption anstieg, kam es zu unterschiedlichen Gesamtpersonenzahlen (N). In der ersten Messoption (mit Schuhen, mit offenen Augen) konnten alle Diabetiker

vermessen werden, dagegen konnten an der letzten Messung (ohne Schuhe, mit geschlossenen Augen) nur 28 Patienten teilnehmen. Für die restlichen war durch erhebliche Schwankung die Sturzgefahr stark erhöht, so dass die Messung in dieser Messoption nicht vertretbar bzw. gar nicht durchführbar war.

**Tab.10** zeigt den Vergleich zwischen den Werten für Totale Länge in der Diabetikergruppe und gibt als **N** die Anzahl der Personen an, die in der jeweiligen Messoption den größeren Wert für die Totale Länge hatten, daneben wird der Anteil am Gesamtkollektiv in % angegeben. Als **N gesamt** wird die gesamte Anzahl der Personen angegeben, die in den jeweiligen Messoptionen vermessen und verglichen werden konnten. Mit \* oder # wird angegeben ob der Vergleich statistisch signifikant war.

**Beispiel:** In der Messoption mit Schuhen, mit offenen Augen hatten 13 Patienten größeren Wert für die Totale Länge als ohne Schuhe, mit offenen Augen, also 13 Patienten schwankten in dieser Option mehr. Insgesamt konnten in diesen beiden Messoptionen 31 Diabetiker miteinander verglichen werden. Der Unterschied war aber statistisch nicht signifikant.

N=Anzahl der Personen mit dem größeren Wert für <b>Totale Länge</b> in der jeweiligen Messoption	<b>Mit Schuhen</b> N/(%)	<b>Ohne Schuhe</b> N/(%)	<b>N gesamt</b>
Augen Offen N/(%)	3 (9,1%)	13 (41,9%) ↔ # 18 (58,1%)	3 (10,7%)
	↑ ***		↓ ***
<b>Augen Geschlossen</b> N/(%)	30 (90,9%)		25 (89,3%)
		13 (46,4%) ↔ # 15 (53,6%)	28
<b>N gesamt</b>	33		28

Tab. 10: Vergleich der Werte für **Totale Länge** zwischen den vier Messoptionen in der Diabetikergruppe (# = nicht signifikant, \* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,02$ , \*\*\* =  $p \leq 0,01$ )

**Tab.11** vergleicht die Werte für den Radius in der Diabetikergruppe und gibt als N die Anzahl der Patienten an, die in der jeweiligen Messoption den größeren Wert für den Radius hatten. Daneben wird der Anteil am Gesamtkollektiv in % angegeben. Als **N gesamt** wird die gesamte Anzahl der Personen angegeben, die in den jeweiligen Messoptionen vermessen und verglichen werden konnten.

Mit \* oder # wird angegeben ob der Vergleich statistisch signifikant war.

**Beispiel:** In der Messoption mit Schuhen, mit geschlossenen Augen hatten 22 Patienten größeren Wert für den Radius als mit Schuhen, mit offenen Augen, also 22 Patienten schwankten in dieser Option mehr.

Insgesamt konnten in diesen beiden Messoptionen 33 Diabetiker miteinander verglichen werden. Der Unterschied war statistisch signifikant.

N=Anzahl der Personen mit dem größeren Wert für <b>Radius</b> in der jeweiligen Messoption	<b>Mit Schuhen</b> N/(%)			<b>Ohne Schuhe</b> N/(%)	<b>N gesamt</b>
Augen Offen N/(%)	11 (33,3%)  ↑ **	13 (41,9%)	↔ #	18 (58,1%)	31
7 (25%)					
<b>Augen Geschlossen</b> N/(%)	22 (66,7%)				↓ ***
21 (75%)					
		9 (32,1%)	↔ #	19 (67,9%)	28
<b>N gesamt</b>	33			28	

Tab. 11: Vergleich der Werte für Radius zwischen den vier Messoptionen in der Diabetikergruppe (# = nicht signifikant, \* =  $p \leq 0,05$ , \*\* =  $p \leq 0,02$ , \*\*\* =  $p \leq 0,01$ )

## b) Kontrollgruppe

Die Daten für vier Messoptionen:

- mit Schuhen, mit offenen Augen (N = 28)
- mit Schuhen, mit geschlossenen Augen (N = 28)
- ohne Schuhe, mit offenen Augen (N = 28)
- ohne Schuhe, mit geschlossenen Augen (N = 28)

sind in den **Tab.12** und **13** zusammengefasst. In der Kontrollgruppe konnten im Unterschied zur Diabetikergruppe die komplette Probandenzahl in allen vier Messoptionen vermessen werden.

**Tab.12** zeigt den Vergleich zwischen den Werten für Totale Länge in der Kontrollgruppe und gibt als N die Anzahl der Personen an, die in der

jeweiligen Messoption den größeren Wert für die Totale Länge hatten, daneben wird der Anteil am Gesamtkollektiv in % angegeben. Als **N gesamt** wird die gesamte Anzahl der Personen angegeben, die in den jeweiligen Messoptionen vermessen und verglichen werden konnten. Mit \* oder # wird angegeben ob der Vergleich statistisch signifikant war. **Beispiel:** In der Messoption mit Schuhen, mit offenen Augen hatten 19 Patienten größeren Wert für die Totale Länge als ohne Schuhe, mit offenen Augen, also 19 Patienten schwankten in dieser Option mehr. Insgesamt konnten in diesen beiden Messoptionen 28 Probanden miteinander verglichen werden. Der Unterschied war statistisch signifikant.

<b>N=Anzahl der Personen mit dem größeren Wert für Totale Länge in der jeweiligen Messoption</b>	<b>Mit Schuhen</b> N/(%)	<b>Ohne Schuhe</b> N/(%)	<b>N gesamt</b>
<b>Augen Offen</b> N/(%)	6(21,4%)	19 (67,9%) ↔ 9 (32,1%) *	7 (25%)
	↓ ***		↓ ***
<b>Augen Geschlossen</b> N/(%)	22 (78,6%)		21 (75%)
		22 (78,6%) ↔ 6 (21,4%) ***	28
<b>N gesamt</b>	28		28

**Tab. 12 Vergleich der Werte für Totale Länge zwischen den vier Messoptionen in der Kontrollgruppe (# = nicht signifikant, \* = p≤0,05, \*\* = p≤0,02, \*\*\* = p≤0,01)**

**Tab.13** vergleicht die Werte für den Radius in der Kontrollgruppe und gibt als **N** die Anzahl der Patienten an, die in der jeweiligen Messoption den größeren Wert für den Radius hatten. Daneben wird der Anteil am Gesamtkollektiv in % angegeben. Als **N gesamt** wird die gesamte Anzahl der Personen angegeben, die in den jeweiligen Messoptionen vermessen und verglichen werden konnten.

Mit \* oder # wird angegeben ob der Vergleich statistisch signifikant war.

**Beispiel:** In der Messoption mit Schuhen, mit offenen Augen hatten 22 Patienten größeren Wert für den Radius als ohne Schuhen, mit offenen Augen, also 22 Patienten schwankten in dieser Option mehr. Insgesamt konnten in diesen beiden Messoptionen 28 Probanden miteinander verglichen werden. Der Unterschied war statistisch signifikant.

<b>N</b> =Anzahl der Personen mit dem größeren Wert für <b>Radius</b> in der jeweiligen Messoption	<b>Mit Schuhen</b> N/(%)	<b>Ohne Schuhe</b> N/(%)		<b>N gesamt</b>	
Augen Offen N/(%)	9 (32,1%)  ↓ #	22 (78,6%)	↔ ***	6 (21,4%)	28
<b>Augen Geschlossen</b> N/(%)		19(67,9%)		19 (67,9%)	
		20 (71,4%)	↔ #	8 (28,6%)	28
<b>N gesamt</b>	28			28	

**Tab. 13: Vergleich der Werte für Radius zwischen den vier Messoptionen in der Kontrollgruppe (# = nicht signifikant, \* = p≤0,05, \*\* = p≤0,02, \*\*\* = p≤0,01)**

Insgesamt schwankten die meisten gesunden Probanden barfuss weniger, unabhängig davon, ob die Augen offen oder geschlossen waren.

### Berücksichtigung der Ulkusanamnese

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen den L.A.S.A.R.-Messergebnissen und einer positiven Ulkusanamnese der Patienten zu untersuchen wurde eine Signifikanzprüfung mit dem Mann-Whitney-Test durchgeführt.

Dabei wurden die Diabetiker in zwei Gruppen aufgeteilt. In der Gruppe mit positiver Ulkusanamnese wurden alle Fälle mit dem plantaren Ulkus zusammengefasst. In der Gruppe mit negativer Ulkusanamnese sind alle Fälle ohne Ulkus sowie einer nicht plantaren Ulkuslokalisation enthalten. Die genauen Hintergründe und Überlegungen zu dieser Aufteilung werden im Diskussionskapitel ausführlich erläutert. Die Ergebnisse dieser Signifikanzprüfung sind in der **Tab.16** aufgeführt.

Messoption	plantares Ulkus	N	Mittelwert in mm	Standard-abweichung	Mittlerer Rang	P-Wert	Signifikanz
Sch_O	negativ	12	186,09	72,68	15,75	0,449	nicht signifikant
	positiv	22	246,56	140,57	18,45		
	Gesamt	34					
Sch_G	negativ	12	294,11	143,68	14,42	0,330	nicht signifikant
	positiv	20	395,82	290,03	17,75		
	Gesamt	32					
O_O	negativ	12	286,19	135,6	17,42	0,491	nicht signifikant
	positiv	19	247,22	113,05	15,11		
	Gesamt	31					
O_G	negativ	11	420,83	224,27	15,64	0,374	nicht signifikant
	positiv	16	347,39	194,12	12,88		
	Gesamt	27					

**Tab.16** Signifikanzprüfung zwischen einer positiven bzw. einer negativen Anamnese für ein plantares Ulkus und der totalen Länge in der Diabetikergruppe



Anhand der **Tab.16** fällt auf, dass bei der Messung mit den Schuhen die Mittelwerte für die TL in der Gruppe mit negativer Ulkusanamnese deutlich unter den Mittelwerten der Gruppe mit positiver Ulkusanamnese liegen (Messoption mit offenen Augen: 186,09 mm < 246,56 mm; Messoption mit geschlossenen Augen: 294,11 mm < 395,82 mm), auch die Standardabweichungen in der ersten Gruppe sind um ca. 50% kleiner als in der zweiten Gruppe. Die Signifikanzprüfung ergibt bei der Messung mit den Schuhen für die ulkusnegative Gruppe einen kleineren mittleren Rang als für die ulkuspositive Gruppe. Das Ergebnis ist aber mit  $p = 0,449$  und  $p = 0,33$  statistisch nicht signifikant.

Umgekehrt ist das Verhältnis zwischen den Mittelwerten bei der Messung ohne Schuhe. Sowohl bei der Messung mit offenen Augen als auch mit geschlossenen Augen liegen die Mittelwerte in der ulkuspositiven Gruppe unter den Mittelwerten in der ulkusnegativen Gruppe

(247,22 mm < 286,19 mm bzw. 347,39 mm < 420,83 mm). Die Signifikanzprüfung für die Messung ohne Schuhe ergibt für die ulkuspositive Gruppe einen kleineren mittleren Rang als für die ulkusnegative Gruppe. Das Ergebnis ist mit  $p = 0,491$  und  $p = 0,374$  statistisch nicht signifikant. Es gibt also keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen bezüglich der vier hier angewandten Messoptionen.

## Auswertung der Daten im Bezug auf die Ausprägung der dPNP

Zwischen den einzelnen Ausprägungen der neuropathischen Defizite (NDS) und den Messergebnissen konnte anhand der statistischen Auswertung (Korrelation nach Pearson) keine Korrelation festgestellt werden.

## Auswertung der Messdaten im Bezug auf die anderen erhobenen Daten

Um einen möglichen Zusammenhang zwischen den Messdaten (TL und Rad) und anderen erhobenen Daten, wie Geschlecht, BMI, Dauer der Diabeteserkrankung und der Insulintherapie sowie Fußabstand während der Messung, zu widerlegen bzw. zu belegen, wurde eine Signifikanzprüfung durchgeführt.

Für die Geschlechtsverteilung, Dauer der Diabeteserkrankung und der Insulintherapie sowie den Fußabstand sind sowohl in der Diabetikergruppe als auch in der Kontrollgruppe keine signifikanten Ergebnisse zustande gekommen. Für den Body-Mass Index waren die Ergebnisse in der Kontrollgruppe ebenfalls nicht signifikant. Im Gegensatz dazu sind in der Diabetikergruppe, in der Messoption ohne Schuhe, sowohl für die TL als auch für den Radius statistisch signifikante ( $p < 0,05$ ) bzw. schwach signifikante ( $p = 0,055$ ) Ergebnisse im Bezug auf den Body-Mass Index zustande gekommen. Die Details sind in der **Tab.17** zusammengefasst.

	O_O		O_G	
	totale Länge/BMI	Radius/BMI	totale Länge/BMI	Radius/BMI
P-Wert	0,055	0,038	0,048	0,013

**Tab.17 Signifikanzprüfung zwischen BMI und Lasar-Messdaten für die Diabetikergruppe, ohne Schuhe**

Demzufolge schwankten Diabetiker mit höherem BMI ohne Schuhe mehr als Diabetiker mit geringerem BMI, sowohl mit offenen als auch mit geschlossenen Augen.

## **Diskussion**

Die Idee dieser Arbeit basiert auf der Beobachtung, dass Diabetiker mit einer dPNP bei der Kontrolle des Körpergleichgewichtes erheblich beeinträchtigt sind.

Dies kann verschiedene fatale Folgen für den Patienten haben:

- die Sturzneigung wird erhöht
- Läsionen des ohnehin verstärkt verletzungsgefährdeten Gewebes werden nicht mehr empfunden, sind also nicht mehr schmerzverbunden, so dass ein erhöhtes Ulkusrisiko entsteht

In beiden Fällen hat die Neuropathie einen entscheidenden Einfluss, denn sie stört die Funktion des propriozeptiven und sensiblen Systems und beeinträchtigt somit die für die Balance wichtigen Rückkopplungsmechanismen. Es ist zu erwarten, dass gestörte Rückkopplungsmechanismen sich als eine verstärkte Schwankung des Körpers und durch größere Ausschläge des COP's bemerkbar machen.

Die posturographische Messung mit dem L.A.S.A.R.-Messgerät ermöglicht die Erfassung der Schwankung des Körperschwerpunktes mithilfe verschiedener Parameter, wie z.B. Totale Länge (TL) und Radius (Rad)

(→ Grundlagenkapitel).

Die Fragestellung dieser Arbeit ist, ob Diabetiker mit dPNP mehr schwanken als Gesunde und ob man aus den mit L.A.S.A.R.-Messgerät gemessenen Schwankungsparametern auf das Vorliegen und die Ausprägung der dPNP zurückschließen kann.

Eine zu spät erkannte dPNP hat die oben beschriebenen Folgen, wie erhöhte Sturzgefährdung und größeres Ulkusrisiko. Es stellt sich daher

die Frage, ob die Messung der Körperschwankung die frühe Erkennung der dPNP erlaubt. Es gab bereits im Vorfeld Studien und Publikationen, die sich mit der Fragestellung beschäftigten, ob bei den Diabetikern mit einer dPNP die posturale Instabilität stärker ausgeprägt ist als bei den gesunden gleichaltrigen Probanden und sich dafür die Methode der Posturographie zunutze machten [2][3][18][28][30].

In diesen Studien wurde die Standstabilität der Diabetiker mit Polyneuropathie mit offenen und geschlossenen Augen gemessen. Wichtig ist aber, die Standstabilität mit Schuhen zu prüfen, da sie eine differenziertere Aussage über die Bedingungen, unter denen sich die Standstabilität verbessert oder verschlechtert erlaubt. Daher wurde in dieser Arbeit die Schwankung unter insgesamt **vier Bedingungen** untersucht:

1. mit Schuhen, mit offenen Augen
2. mit Schuhen, mit geschlossenen Augen
3. ohne Schuhe, mit offenen Augen
4. ohne Schuhe, mit geschlossenen Augen

Eine zweite Hypothese dieser Arbeit geht dahin, dass die Ergebnisse der L.A.S.A.R.-Messung nicht nur auf ein Vorhandensein einer dPNP hindeuten können, sondern auch Hinweise zur Ulkuserstehung geben könnten. Zu diesem Zweck wurde bei jedem Probanden eine ausführliche Ulkusanamnese erhoben.

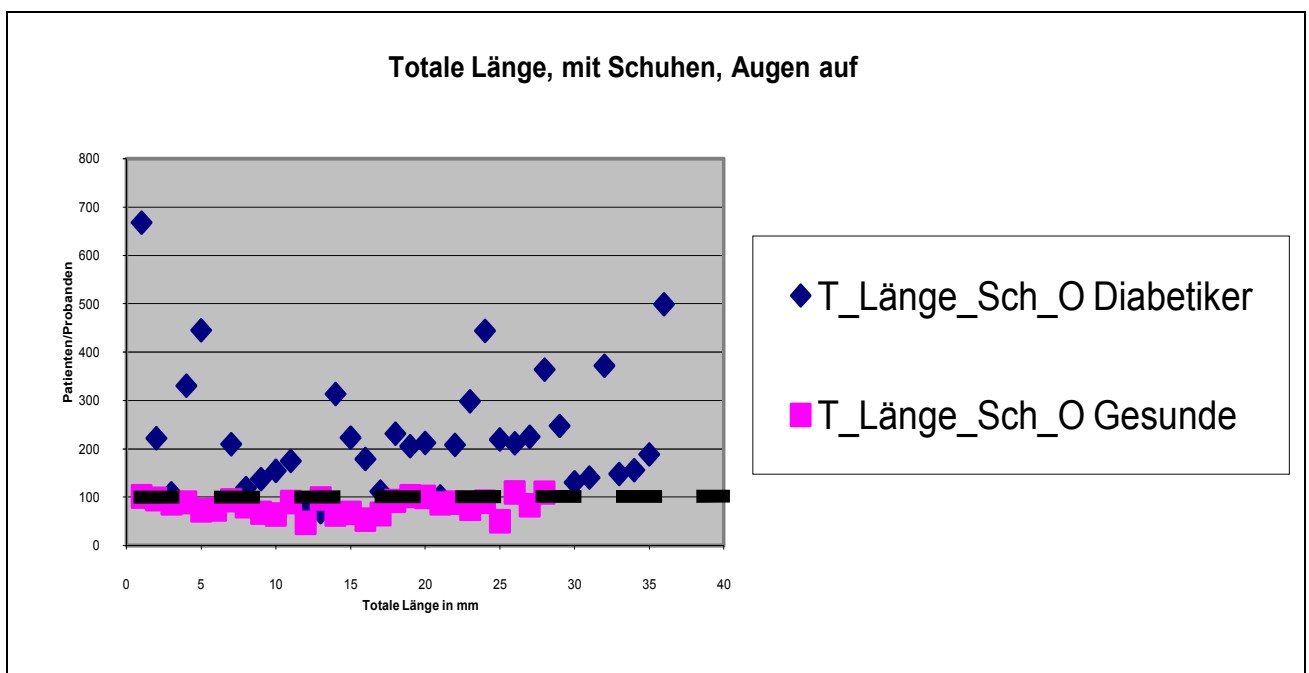
Um die Unterschiede in der Standstabilität zwischen den beiden Gruppen zu erfassen, wurden die Totale Länge und der Radius als Maß für die Schwankung ausgewählt. Dies folgt aus der Überlegung, dass ein

kleiner Radius gute Standstabilität aufzeigt, da sich dann der Schwerpunkt bzw. die Projektion des Schwerpunktes auf die Unterstützungsebene nicht aus der Standfläche herausbewegt. Ein kurzer Weg des Schwerpunktes zeigt eine schnelle und sensible Gleichgewichtsreaktion an, je länger der Weg, um so mehr ist die Gleichgewichtsreaktion verlangsamt, was auf gestörte Rückkopplungsmechanismen infolge der dPNP hinweisen konnte.

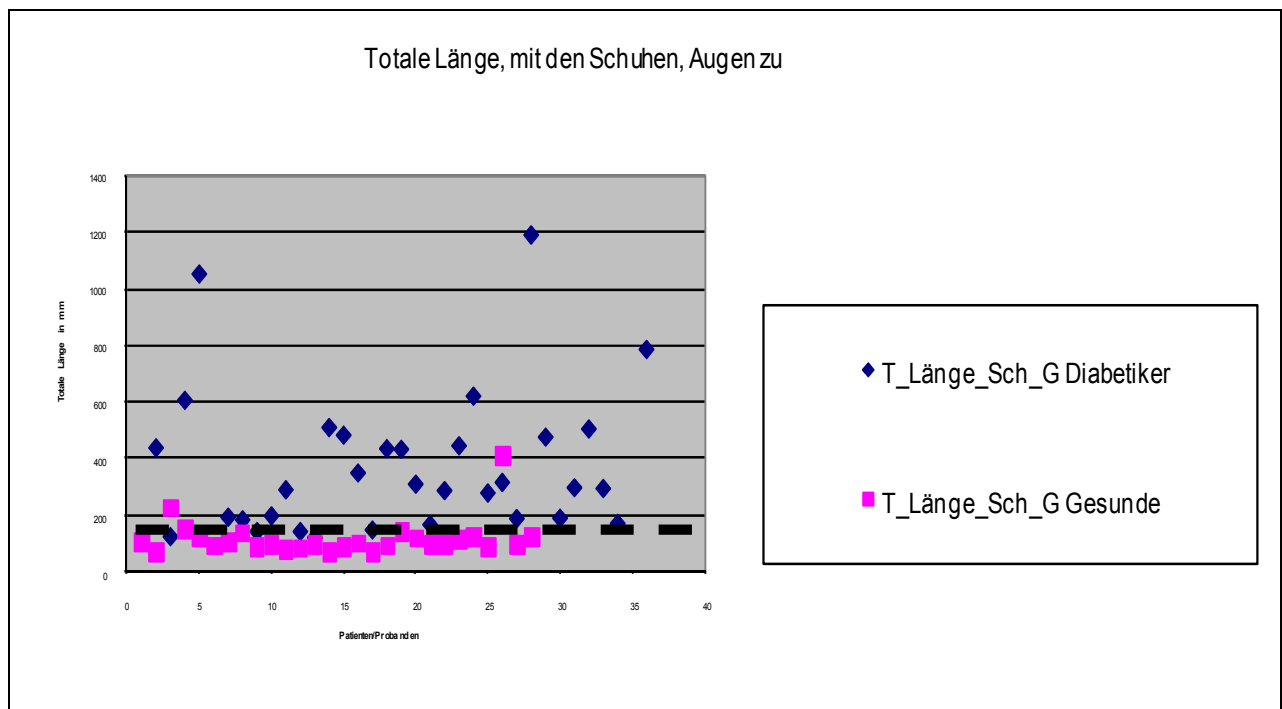
### **Vergleich der Messdaten zwischen der Kontroll- und Diabetikergruppe**

Die Ergebnisse dieser Arbeit (**Tab.4-9**) zeigen, dass zwischen der Gruppe mit dPNP und der Kontrollgruppe in allen vier Messoptionen hochsignifikante Unterschiede bestehen, und zwar sind die Messwerte sowohl für Totale Länge (**Tab.4-6**) als auch für Radius (**Tab.7-9**) in der Diabetikergruppe signifikant größer als in der Kontrollgruppe. Das heißt die Diabetiker mit PNP schwanken erheblich mehr und haben somit eine geringere Standstabilität. Zu diesem Ergebnis führte bereits die Studie von Corriveau et al. [3], in der die klinischen und biomechanischen Charakteristika des Gleichgewichtes zwischen den älteren Diabetikern mit PNP und gleichaltrigen gesunden Probanden mithilfe der Kraftplattform verglichen wurden, denn sowohl mit den geschlossenen als auch mit den offenen Augen zeigten die Diabetiker eine signifikant geringere posturale Stabilität als die gesunden Probanden [3]. Auch die ähnlichen Studien von Lafond et al. [15], Boucher et al. [1] und Simoneau et al. [28] fanden signifikante Unterschiede zwischen Diabetikern mit PNP und gesunden Probanden. Die Studie von Simoneau et al. fügte noch die Gruppe mit Diabetikern ohne PNP hinzu

und kam zu dem Ergebnis, dass die Diabetiker mit PNP signifikant instabiler waren als die Diabetiker ohne PNP, welche aber keine signifikanten Unterschiede zu den gesunden Probanden zeigten [28]. Um zu verdeutlichen, wie stark sich die Werte der beiden Gruppen in dieser Arbeit unterscheiden, sei auf die unten stehenden **Abb.11** und **12** verwiesen, die die für das **Diagramm 1-2** und **Tab.4-9** verwendeten Daten in einer anderen Form darstellen.



**Abb.11** Messwerte für die totale Länge in der Diabetiker- und Kontrollgruppe mit den Schuhen, Augen offen

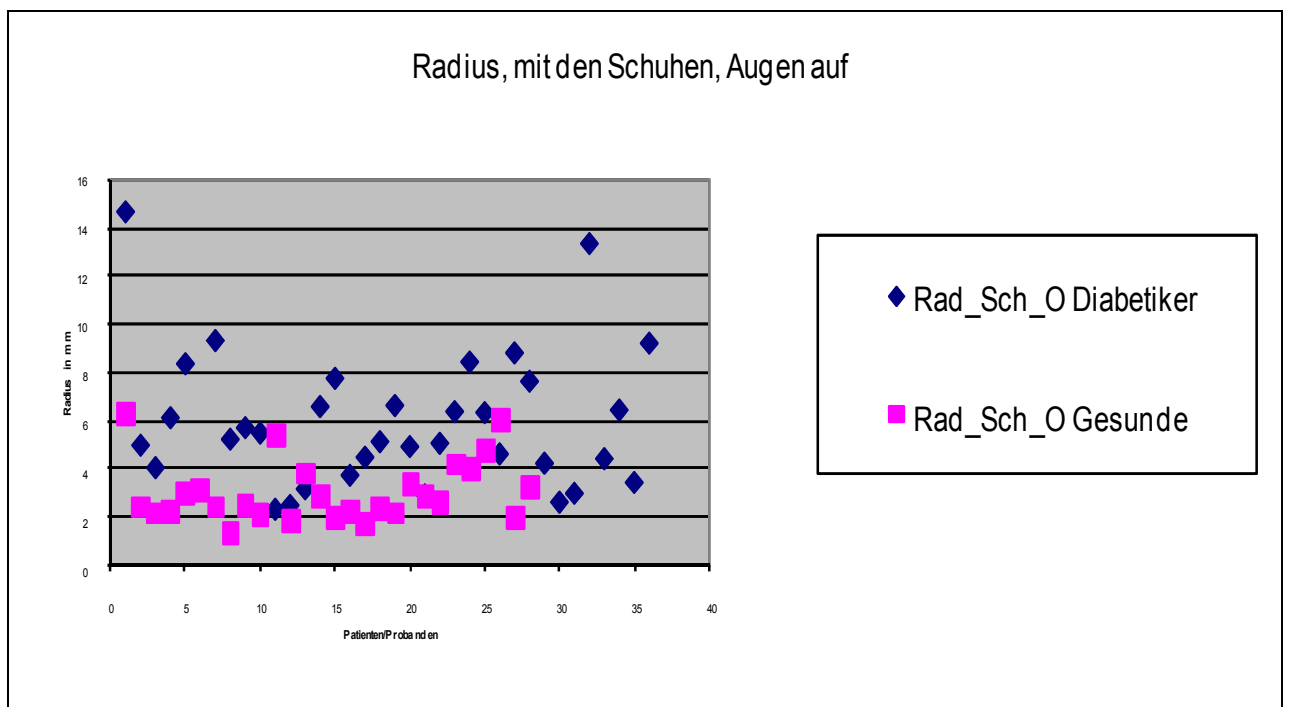


**Abb.12** Messwerte für die totale Länge in der Diabetiker- und Kontrollgruppe mit den Schuhen, Augen geschlossen

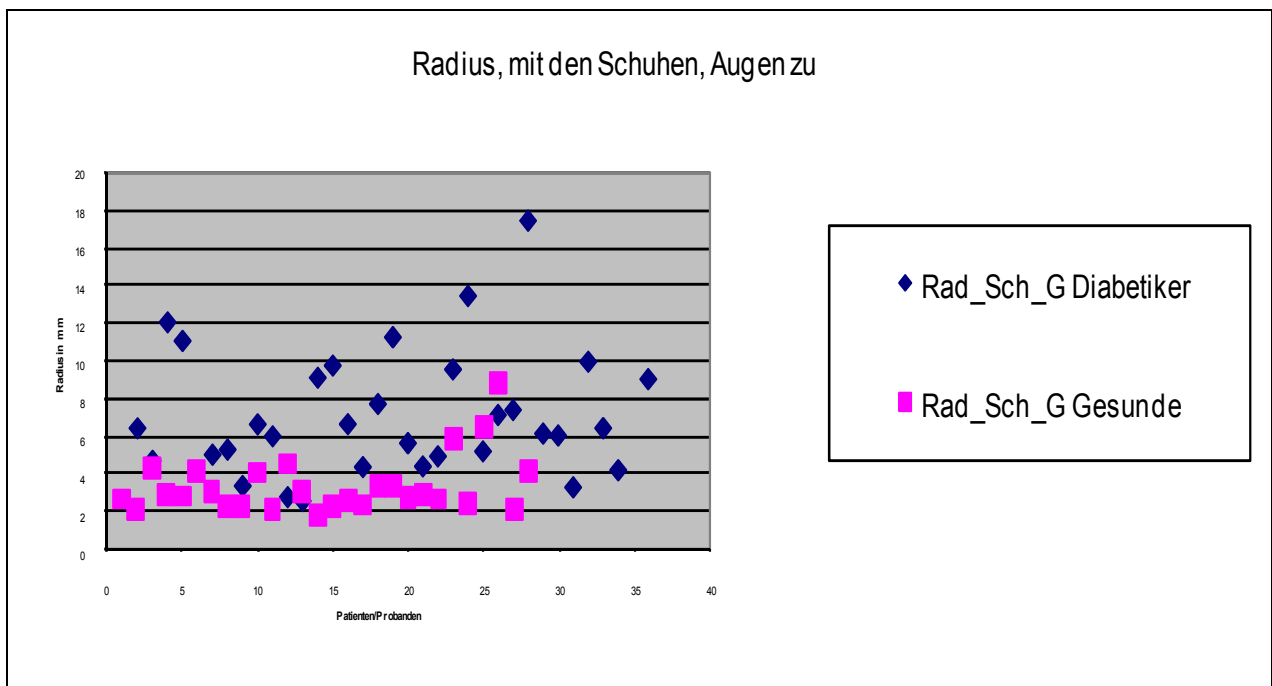
Man sieht, dass die beiden Gruppen, mit einzelnen Ausnahmen, deutlich voneinander getrennt sind, so dass eine Grenzziehung durch eine gedachte Linie (in der Graphik gestrichelte schwarze Linie) zwischen den beiden Gruppen möglich ist. Außerdem fällt auf, dass die Messwerte der Gesunden viel weniger streuen als die Werte der Diabetiker und in einem relativ schmalen Messbereich liegen. Diese geringere Streuung der Messwerte wird in **Tab.4** durch entsprechend kleinere Standardabweichungen deutlich. Die graphische Darstellung der Messergebnisse ohne Schuhe zeigt ein ähnliches Bild und ebenso eine scharfe Trennung zwischen den beiden Gruppen. Sie ist hier nicht gesondert dargestellt.



Die gemessenen Werte für Radius zeigen ebenso signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (**Tab.7-9**) und sind in der Kontrollgruppe deutlich kleiner als in der Diabetikergruppe. Trotz der statistisch hochsignifikanten Unterschiede ist die Trennung der Messwerte in der graphischen Darstellung nicht so deutlich, wie bei Totaler Länge (**Abb.13** und **14**).



**Abb.13** Messwerte für den Radius in der Diabetiker- und Kontrollgruppe mit den Schuhen, Augen offen



**Abb.14** Messwerte für den Radius in der Diabetiker- und Kontrollgruppe mit den Schuhen, Augen geschlossen

Die geringere Trennschärfe vom Radius im Vergleich zur Totalen Länge wird ebenfalls anhand der Zahlen der **Tab.10-11** (s. Ergebniskapitel) deutlich. Hier ergibt sich aus der Messung von Totaler Länge, dass 30 der 33 Probanden aus der Diabetikergruppe mit Schuhen mit geschlossenen Augen mehr schwankten als mit geöffneten Augen. Bei der Radius-Messung sind es aber nur 22 der 33 Probanden. Daraus ergibt sich ein deutlicher Vorteil zur Gunsten von TL, obwohl in beiden Fällen die Ergebnisse statistisch signifikant sind.

Ähnlich ist es bei der Messung ohne Schuhe. Hier ergibt sich ein Verhältnis bezüglich der Totalen Länge von 3 zu 25 der 28 Probanden, im Vergleich zum Radius mit 7 zu 21 der 28 Probanden.

Zusammenfassend bedeutet es, dass das Maß Totale Länge beim Vergleich, Augen zu bzw. offen, über eine bessere Trennschärfe

gegenüber dem Radiusmaß verfügt. Das gilt sowohl für die Untersuchungen mit als auch ohne Schuhe.

Daraus entsteht die Schlussfolgerung, dass Totale Länge bei diesem Test viel besser als Maß für die Schwankung geeignet ist, weil sie eindeutiger Ergebnisse liefert und zur Kennzeichnung einer geringeren Standstabilität als Hinweis auf eine dPNP ausreicht. Außerdem zeigen die Messergebnisse, dass ein hoher Wert der Totale Länge in den meisten Fällen mit einem hohen Wert für Radius einhergeht, so dass man allein durch Totale Länge einen klaren Eindruck über den Schwankungsmaß bekommen kann.

### **Vergleich der Messdaten innerhalb der Gruppen**

Der Vergleich der Messwerte innerhalb der Diabetiker- und der Kontrollgruppe ergab, dass in beiden Gruppen die Schwankungen mit geschlossenen Augen höher waren als mit offenen Augen. Das galt unabhängig davon, ob Schuhe getragen wurden oder nicht. Allerdings war der Unterschied in der Diabetikergruppe erheblich größer. Das heißt die Schwankung der Probanden mit geschlossenen Augen war höher als mit offenen Augen und somit die Standstabilität geringer. Zu ähnlichen Ergebnissen sind auch frühere Studien gekommen. So schwanken bei Corriveau et al. die Diabetiker mit geschlossenen Augen signifikant mehr. Allerdings gab es in der Kontrollgruppe signifikante Unterschiede nur in der anterior-posterioren Richtung [3]. Bei Lafond et al. schwanken im Gegensatz zu der oben genannten Studie die Probanden aus der Kontrollgruppe in alle Richtungen mehr. Bei den Diabetikern

nahm das Schwankungsausmass mit den geschlossenen Augen aber nur in der anterior-posterioren Richtung signifikant zu [15]. O. Surminski [30] und Boucher et al. [1] kamen bei ihren Messungen zum gleichen Ergebnis, wie in dieser Arbeit beschrieben, und zwar schwankten beide Gruppen mit geschlossenen Augen signifikant mehr, da bei der Standstabilität mehrere Systeme eine wesentliche Rolle spielen: das vestibuläre, das visuelle und das propriozeptive System [28][30]. Durch die Auswahl der Probanden anhand der Ein- und Ausschlusskriterien wird vorausgesetzt, dass alle Probanden ein funktionierendes Gleichgewichtssystem haben und man durch verschiedene Messoptionen den Einfluss von anderen Faktoren auf die Standstabilität untersuchen kann. Durch das Schließen der Augen wird das visuelle System ausgeschaltet. Dadurch steigen die Messwerte für die totale Länge in der gesunden Probandengruppe mit den Schuhen um durchschnittlich 39% (31,7 mm) und ohne Schuhe um 21% (16,01 mm). In der Diabetikergruppe steigen die Werte mit den Schuhen um durchschnittlich 60% (137,52 mm) und ohne Schuhe um 43% (113,78 mm). Daraus folgt, dass durch das Ausschalten des visuellen Systems die Standstabilität in beiden Gruppen geringer wird. Doch was man sowohl am prozentualen als auch am absoluten Anstieg der TL sieht, ist dass die Standstabilität der Diabetiker infolge der PNP erheblich mehr darunter leidet als die der gesunden Probanden. Auch frühere Studien kamen zu dieser Schlussfolgerung [1][3][28][30]. demzufolge sind die Menschen mit dPNP durch das Ausschalten des visuellen Systems, z.B. nachts beim Toilettengang, viel mehr in ihrer Standsicherheit gefährdet als die Menschen ohne dPNP, da bei ihnen durch die dPNP Kompensationssysteme, welche für die Standsicherheit

notwendig sind, wie Tastsinn der Haut und Propriozeption, ebenfalls gestört sind. Dies ist einer der Gründe, warum es so wichtig ist die dPNP rechtzeitig zu erkennen und die Patienten auf die damit verbundene Gefahren, wie erhöhtes Sturz- und Verletzungsrisiko hinzuweisen.

Der Vergleich der Werte innerhalb der Gruppen hinsichtlich des Effektes, den das Tragen der Schuhe auf die Standsicherheit hatte, führte zu unterschiedlichen Ergebnissen.

Anhand der **Tab.10** und **11** im Ergebniskapitel sieht man, dass mehr Diabetiker, sowohl mit offenen als auch mit geschlossenen Augen, ohne Schuhe größere Messwerte haben, als mit den Schuhen. Das heißt sie stehen mit den Schuhen sicherer. In der Kontrollgruppe ergab sich dagegen ein umgekehrtes Verhältnis.

Die Signifikanzprüfung in der Diabetikergruppe ergab aber, dass der Unterschied der Messwerte statistisch nicht signifikant ist. Dies könnte eine Folge des Selektionsbias sein, da man, wie schon oben erklärt, aus Sicherheitsgründen nicht alle Patienten ohne Schuhe wegen des hohen Sturzrisikos vermessen und somit nur die Werte von 28 der 36 Patienten vergleichen konnte. Die restlichen Patienten gehören aber zu denjenigen, die ohne Schuhe unsicherer stehen bzw. gar nicht aufrecht stehen können. Hätte man diese Patienten in die Signifikanzprüfung einbeziehen können, wäre sie mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Gunsten der besseren Signifikanz ausgefallen.

Eine weitere Ursache könnte hypothetisch die mangelnde Compliance der Patienten im Bezug auf das Tragen der diabetischen Schuhversorgung sein. Denn es ist vorstellbar, dass wenn die Patienten

viel ohne bzw. mit normalen Schuhen laufen und wenig an das Laufen mit ihren orthopädischen Schuhen gewohnt sind, sie beim Stehen mit diesen Schuhen unsicherer sind. Außerdem ist bei den Messergebnissen aufgefallen, dass bei der Messoption mit offenen Augen und bei der Messoption mit geschlossenen Augen die gleiche Anzahl von Patienten (13 Patienten) ohne Schuhe sicherer steht als mit den Schuhen. Bei 9 dieser Patienten handelt es sich um dieselben Personen. Tatsächlich hat beim genauen Nachfragen ca. die Hälfte von ihnen zugegeben, dass sie viel ohne Schuhe laufen. Es könnte also sein, dass ein schlechteres Ergebnis mit den Schuhen einen Hinweis auf die mangelnde Compliance bzgl. der Nutzung des verordneten Schuhwerkes liefert.

Nicht zuletzt könnte eine schlechte Schuhversorgung, wie schlecht sitzende orthopädische Schuhe, der Grund dafür sein, dass eine ausreichende Standstabilität nicht gewährleistet ist.

Abschließend ist zu sagen, dass trotz der statistisch nicht signifikanten Ergebnisse eine deutliche Tendenz zu erkennen ist, dass die Standsicherheit der Patienten mit dPNP mit der richtigen orthopädischen Schuhversorgung höher ist als barfuss. Dies könnte erstens daran liegen, dass durch die Schuhe eine größere Kontaktfläche zum Boden geschaffen wird, zweitens dass die oft durch die dPNP stark deformierte Standfläche der Füße ausgeglichen wird und drittens wird die motorische Neuropathie, die ein Bestandteil der dPNP ist, durch den festen Halt der Füße in den Schuhen kompensiert.

Die Auswertung der Messdaten innerhalb der Kontrollgruppe im Bezug auf die Standsicherheit mit und ohne Schuhe ergab, dass sowohl mit offenen als auch mit geschlossenen Augen, die Probanden ohne Schuhe

kleinere Werte hatten als mit den Schuhen (**Tab.12** und **13**). Das heißt im Gegensatz zu den Patienten mit dPNP schwanken sie ohne Schuhe weniger und standen somit sicherer. Auch die Signifikanzprüfung ergab statistisch signifikante Unterschiede. Tatsächlich gaben die meisten gesunden Probanden an, aus subjektivem Empfinden heraus ohne Schuhe sicherer zu stehen.

Dies könnte daran liegen, dass ohne Schuhe der Kontakt der Fußfläche zum Boden intensiver ist, was eine bessere Funktion der Oberflächen- und Propriozeptoren ermöglicht und sich positiv auf die Standstabilität auswirkt. Die Funktionalität der Schuhe wurde jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht gesondert untersucht, aber es wurde darauf geachtet, dass die Probanden solche Schuhe trugen, die sie täglich die meiste Zeit benutzten bzw. im Rahmen der orthopädischen Schuhversorgung verordnet bekommen haben.

### **Vergleich der Messdaten im Bezug auf die Ulkusanamnese**

Wie bereits oben erwähnt, sollte im Rahmen dieser Arbeit ein eventueller Zusammenhang der L.A.S.A.R.-Messergebnisse und der positiven Ulkusanamnese der Patienten mit dPNP untersucht werden. Dazu wurden die Patienten in zwei Gruppen unterteilt. Die erste Gruppe enthält Patienten mit einem plantaren Ulkus. Diese Gruppe wurde als „**ulkuspositive**“ Gruppe bezeichnet. Die zweite Gruppe enthält Patienten mit einer nicht-plantaren Ulkuslokalisation und diejenigen, die gar kein Ulkus gehabt haben. Diese Gruppe wurde als „**ulkusnegative**“ Gruppe bezeichnet. Der Hintergrund für diese Aufteilung ist folgender:

alle Patienten mit einem nicht plantaren Ulkus gaben eine exogene Einwirkung als Grund für ihre Ulzeration an, z.B. Gipsdruck, Verletzung, schlecht sitzende Schuhe, Folge eines operativen Eingriffs usw. Bei diesen Patienten könnte man davon ausgehen, dass ohne eine äußere Einwirkung es zu keinem Ulkus gekommen wäre. Die Patienten mit einem plantaren Ulkus, konnten sich meist an kein auslösendes Ereignis erinnern, so dass man hier von einer endogenen Ursache für die Ulkuserstehung ausgehen kann. Wobei exogene Einwirkungen in diesem Fall sicherlich auch eine Rolle gespielt haben, aber eher als Co-Faktoren und nicht als Hauptfaktor für die Ulkuserstehung betrachtet werden sollen. Als endogene Ursache für die Ulkuserstehung bei Diabetikern zählt in erster Linie die dPNP gefolgt von der pAVK [17][26]. Da in dieser Arbeit die L.A.S.A.R. -Messung als eine Methode zur Diagnose einer dPNP untersucht wird, ist die Gruppe mit der überwiegend endogenen Ulkuserstehung von besonderem Interesse und wird deshalb im Bezug auf dPNP als „ulkuspositiv“ bezeichnet. Die Auswertung der Messdaten ergibt, dass in der Messoption mit Schuhen die Mittelwerte für TL in der ulkusnegativen Gruppe deutlich kleiner sind als in der ulkuspositiven Gruppe, auch der mittlere Rang bei der Signifikanzprüfung zeigt die gleiche Tendenz. Anhand der P-Werte sind die Ergebnisse aber statistisch nicht signifikant (s. **Tab.16** im Ergebniskapitel). Interessanterweise ist das Verhältnis in der Messoption ohne Schuhe umgekehrt, die Mittelwerte sind nämlich in der ulkuspositiven Gruppe kleiner als in der ulkusnegativen, also scheint es so zu sein, dass Ulkuspatienten ohne Schuhe sicherer stehen **Abb.15**.



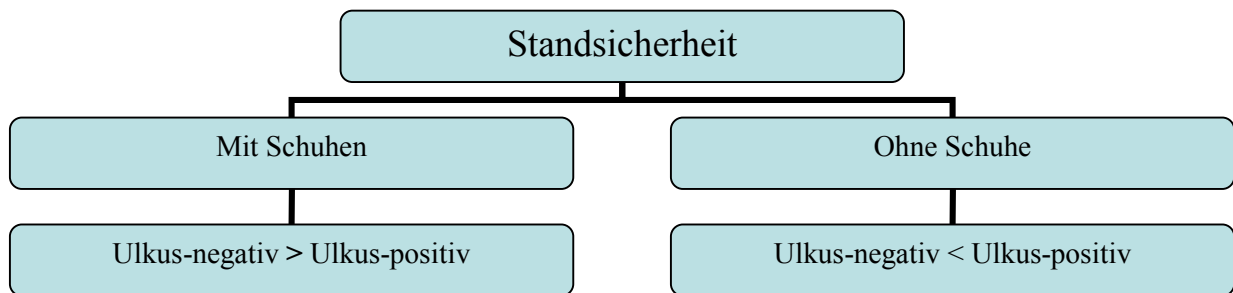


Abb.15

Theoretisch könnte man diese Beobachtung durch folgende Kausalkette erklären: die Patienten stehen ohne Schuhe sicherer, weil sie gewohnt sind ohne Schuhe zu laufen, was wiederum zur Entstehung von Ulzera führt.

Für diese Hypothese spricht die bereits oben beschriebene Feststellung, dass es eine bestimmte Anzahl von Diabetikern gab, die ohne Schuhe sicherer standen. Das waren jeweils 13 in der Messoption mit offenen Augen und mit geschlossenen Augen. Interessant war die Beobachtung, dass in jeder Messoption von den 13 Patienten jeweils 9 eine positive Anamnese für ein plantares Ulkus hatten, also rund 69%. Es wurde ebenfalls festgestellt, dass von diesen 13 Patienten in jeder Messoption es sich in 9 Fällen um die gleichen Personen handelte, von denen 6 ulkuspositiv waren.

Zusammengefasst heißt es, auch wenn ein eindeutiger Zusammenhang zwischen L.A.S.A.R.-Messergebnissen und dem erhöhten Ulkusrisiko im Rahmen dieser Arbeit nicht bestätigt werden konnte, kann man durch den Vergleich der Messwerte eventuell einen Hinweis auf die mangelnde

Compliance der Patienten bezüglich des Tragens des verordneten Schuhwerks bekommen.

In der Arbeit von Katoulis et al. wurde der Zusammenhang zwischen Schwankung des Körperschwerpunktes und der positiven Ulkusanamnese mithilfe der Kistler- Kraftplattform bereits untersucht. Dort wurden 4 Gruppen mit jeweils 20 Probanden mit einander verglichen und zwar

1) Kontrollgruppe mit gesunden Probanden, 2) Diabetiker ohne PNP, 3) Diabetiker mit PNP (Ulkusanamnese negativ), 4) Diabetiker mit PNP (Ulkusanamnese positiv). Die Messwerte für die Schwankung des Körperschwerpunktes waren in der vierten Gruppe (Diabetiker mit PNP und positiver Ulkusanamnese) signifikant höher als in jeder der anderen drei Gruppen [12]. Dies spricht für die Hypothese, dass posturale Stabilität und Ulkulentstehung miteinander im Zusammenhang stehen. Allerdings werden in der Arbeit von Katoulis et al. keine signifikanten Unterschiede zwischen den ersten drei Gruppen gefunden.

Die dPNP ist außerdem nicht die einzige Ursache für die Ulkulentstehung. Der Einfluss von weiteren Faktoren, wie z.B. pAVK, schlechte orthopädische Schuhversorgung, mangelndes Verständnis des Patienten für die eigene Krankheit und viele anderen darf nicht unterschätzt werden. Diese Faktoren können aber nicht allein durch das L.A.S.A.R.-Messgerät erfasst werden, wodurch eine eindeutige Aussage zum Zusammenhang zwischen Messergebnissen und Ulkulentrisiko schwierig ist.

## **Vergleich der Messdaten mit den anderen erhobenen Daten**

Das Vorhandensein der dPNP wurde bei allen Diabetikern mit dem Neuropathie Defizit Score (NDS) und des Semmes-Weinstein Monofilament gesichert. Der Vergleich der L.A.S.A.R.-Messwerte mit der Ausprägung der neuropathischen Defizite entsprechend dem NDS ergab keine signifikanten Ergebnisse. Daraus folgt, dass man die Graduierung der dPNP anhand des NDS nicht auf die Ergebnisse der L.A.S.A.R.-Messung übertragen kann. Dennoch scheint die L.A.S.A.R.-Methode zur Diagnosestellung der dPNP hilfreich zu sein. Dies machen die signifikanten Unterschiede zwischen der Diabetiker- und der Kontrollgruppe anschaulich.

An dieser Stelle soll noch mal auf den im Material- und Methodenkapitel angesprochenen Fall der ursprünglich als gesund eingestuften Probandin eingegangen werden. Bei dieser noch relativ jungen Probandin (39 J.) war vorher weder Diabetes noch eine PNP bekannt. Im Rahmen der Untersuchung konnte bei dieser Probandin ein NDS von 6 ermittelt werden, was für mäßig neuropathische Defizite spricht. Auch bei der Messung ist diese Person im Vergleich zum Restkollektiv durch relativ hohe Werte aufgefallen. Aus diesen Gründen wurde die Probandin aus der Gesundengruppe ausgeschlossen. Aufgrund des Verdachts auf eine bisher nicht bekannte PNP hat sich die Probandin einer ärztlichen Untersuchung unterzogen, bei der ein Diabetes mellitus Typ II festgestellt worden war. Dieser Fall liefert einen Hinweis darauf, dass die L.A.S.A.R.-Messung tatsächlich dafür geeignet ist, um eine Erstdiagnose einer dPNP zu stellen.

Betrachtet man die Ergebnisse der Monofilament-Untersuchung, so fällt auf, dass nur 4 der 36 Patienten den Test bestanden haben, das sind nur 11,1%.

Würde man die L.A.S.A.R.-Messung als einen diagnostischen Test betrachten, so könnte man mit Bezug auf die Gauß'sche Normalverteilung festlegen, dass der Test nicht bestanden ist, wenn der Wert der Messung um mehr als 2 Standardabweichungen vom Mittelwert abweicht. Der Mittelwert und die Standardabweichung wurden aus den Messwerten des Gesundenkollektivs ermittelt, denn da konnte man trotz einer nicht all zu großen Probandengruppe sehen, dass die Messergebnisse in einem ziemlich einheitlichen Bereich liegen und sehr wenig streuen.

Geht man von der Messoption mit Schuhen und mit offenen Augen aus, da man in dieser Messoption die meisten Diabetiker vermessen konnte, dann liegt der Mittelwert für die totale Länge in der gesunden Kontrollgruppe bei 81,68 mm, die Standardabweichung bei 17,47 mm, die zweifache Standardabweichung bei 34,94 mm und somit der obere Grenzwert für den Test bei 116,62 mm. Nur 14,3% aller vermessenen Diabetiker liegen unter diesem Wert. 85,7% der Diabetiker haben einen höheren Messwert und haben den Test somit nicht bestanden. Ähnliche Werte ergeben sich bei dem Semmes-Weinstein-Monofilament-Test, welcher von 88,9% der Diabetiker nicht bestanden wurde. Bei den restlichen 11,1% der Diabetiker, die den Test mit dem Semmes-Weinstein-Monofilament bestanden haben, wurde die Diagnose der PNP anhand des NDS gestellt.

## **Vorschläge für die weiteren Studien**

Um die L.A.S.A.R.-Messung als ein diagnostisches Verfahren in der alltäglichen Praxis einsetzen zu können, müssen noch weitere Messungen sowohl an gesunden als auch an den Patienten mit dPNP durchgeführt werden. Insbesondere sollte untersucht werden, ob man ebenso signifikante Unterschiede zwischen den Diabetikern mit und ohne dPNP finden würde. Denn es gehört sicherlich zu den wichtigsten Aufgaben dieses Tests die Entwicklung einer dPNP bei diabeteskranken Patienten so früh wie möglich festzustellen und den Verlauf zu verfolgen, um rechtzeitig mit therapeutisch wichtigen Maßnahmen anfangen zu können.

Auch wenn kein Zusammenhang zwischen den Messergebnissen und der Dauer der Diabeteserkrankung, dem Diabetestyp oder Dauer der Insulintherapie festgestellt werden konnte, könnte man untersuchen, ob ein Unterschied in den Messwerten besteht, wenn es sich um eine dPNP und eine PNP anderer Genese handelt.

## **Einsatz in der Praxis**

Der Einsatz der L.A.S.A.R.-Messmethode oder einer vereinfachten Posturographie in der Arztpraxis wäre sicherlich überlegenswert, denn sie bringt einige Vorteile mit sich.

Erstens ist es eine einfache Methode, die auch vom nicht ärztlichen Personal eingesetzt werden könnte, z.B. während der Wartezeit. Die Methode könnte im Rahmen einer Screening-Untersuchung bei älteren Patienten angewandt werden, auch bei denjenigen bei denen noch kein

Diabetes bekannt ist. Denn wie der oben beschriebene Fall zeigt könnte bei einem noch nicht diagnostizierten Diabetes mellitus bereits eine PNP vorliegen. Die Methode erfordert vom Patienten keine besondere körperliche Anstrengung und ist nicht invasiv. Außerdem ist das L.A.S.A.R.-Messgerät leichter zu transportieren und einzubauen als die in den Ganglaboren übliche Kistler-Kraftplattform.

Sehr hilfreich für den täglichen Einsatz in der Praxis wäre die Entwicklung einer geeigneten Software für eine digitale Auswertung und Bewertung der Messergebnisse. Auch könnte man über eine Vereinfachung des L.A.S.A.R.-Geräts nachdenken, um eventuell die Anschaffungskosten den geringer zu halten, denn nicht alle derzeit vorhandene Funktionen werden im Rahmen dieses Test gebraucht. Bedenkt man aber die Kosten, die eine nicht rechtzeitig erkannte dPNP verursachen kann, ist die Anschaffung des Messgeräts sicherlich eine Investition wert.

### **Fehlerdiskussion**

Der Erfolg der Messung mit dem L.A.S.A.R.-Messgerät kann durch einige Faktoren beeinflusst werden. Dazu gehören vor allem äußere Einflüsse, wie z.B. Lärm, Ablenkung durch andere Personen oder einfach die mangelnde Konzentration des Probanden auf den Messvorgang. Diese Störfaktoren machten sich vor allem bei gesunden Probanden bemerkbar, da sie relativ niedrige Messwerte hatten und eine bereits durch plötzlichen Lärm ausgelöste zusätzliche Schwankung sich deutlich in dem Messwert widerspiegelte. Deswegen wurde ein großer Wert auf eine weitgehend ungestörte Atmosphäre gelegt, die aber in

einem großen Haus nicht hundertprozentig gewährleistet werden kann. Bei den diabetischen Patienten haben solche Störfaktoren keine große Rolle gespielt, da eine eventuell zusätzlich ausgelöste Schwankung an dem ohnehin bereits hohen Messwert keinen großen Anteil ausmachte. Auch personenbezogene Störfaktoren können nicht vollständig ausgeschlossen werden. Dies könnte z.B. Einnahme von bestimmten Medikamenten oder Alkohol sein, was nicht von allen Patienten immer zugegeben wird. Wie bereits vorher angesprochen, könnte eine ungeeignete Schuhversorgung ein Grund für die Fehlmessung sein, dies können neben den schlecht angepassten Schuhen auch neue Schuhe sein, an die sich der Patient noch nicht gewöhnt hat.

Selektionsbias spielte bei der Auswertung der Ergebnisse dieser Arbeit ebenfalls eine Rolle, denn wie bereits erwähnt, konnten nicht alle Patienten ohne Schuhe oder mit geschlossenen Augen vermessen werden, da bei diesen Personen aufgrund einer sehr weit fortgeschrittenen dPNP die Standsicherheit so stark beeinträchtigt war, dass das Sturzrisiko während der Messung zu hoch gewesen war und der Versuch deswegen unterbrochen werden musste. Dies würde aber in der Praxis kaum ein Problem sein, denn man braucht kein genaues Messgerät, um eine dPNP bei einem Patienten zu erkennen, wenn dieser mit geschlossenen Augen 10 Sekunden lang nicht aufrecht stehen kann.

## **Schlussfolgerung**

Abschließend werden an dieser Stelle nochmals wesentliche Punkte dieser Arbeit zusammengefasst.

Es ließ sich anhand der gewonnenen Messergebnisse feststellen, dass es signifikante Unterschiede in der Standsicherheit zwischen der Diabetikern mit dPNP und DNOAP und der gesunden Probandengruppe gibt. Um diese Unterschiede sichtbar zu machen ist der Wert für TL bereits ausreichend. In den beiden Gruppen wird die Standsicherheit durch das Ausschalten des visuellen Systems geringer, jedoch sind die Diabetiker durch die zusätzliche dPNP erheblich mehr davon betroffen. Es bestehen Differenzen in den beiden Gruppen im Bezug auf das Standverhalten mit und ohne Schuhe und zwar stehen die Gesunden ohne und die Diabetiker mit den Schuhen sicherer, was die Notwendigkeit einer geeigneten orthopädischen Schuhversorgung bei Diabetikern betont.

Die Messergebnisse korrelieren im hohen Maße mit den Ergebnissen der sensorischen Untersuchung mit dem Semmes-Weinstein Monofilament, dies macht den Einsatz des L.A.S.A.R.-Geräts zur Diagnose einer dPNP sehr wahrscheinlich. Die L.A.S.A.R.-Messmethode ist nicht dafür geeignet, um die Ausprägung der dPNP entsprechend dem Neuropathie Defizit Score zu ermitteln. Die L.A.S.A.R.- Messergebnisse lassen keinen direkten Rückschluss auf das Ulkusrisiko beim Patienten, vor allem, weil bei der Ulkuserstehung neben der dPNP noch weitere Faktoren eine wichtige Rolle spielen, sie könnten aber einen Hinweis darauf geben.



## **Zusammenfassung**

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, ob und wie sich die diabetische Polyneuropathie (dPNP) auf die Standstabilität der Patienten auswirkt und testet im Vergleich zu den etablierten Untersuchungstechniken eine neue Methode, die es erlaubt, die Auswirkung der dPNP auf regulatorische Mechanismen zur Standstabilität zu erfassen. Angesichts der früheren Studien scheint es eine Möglichkeit zu geben die gesunden Probanden von den Diabetikern mit der dPNP anhand des Ausmaßes der Schwankung von einander zu unterscheiden. Diese Erkenntnisse macht sich diese Arbeit zu nutze und testet die Hypothese mithilfe des L.A.S.A.R. Posture Messgeräts. Die Messungen wurden mit und ohne Schuhe sowie mit offenen und geschlossenen Augen durchgeführt.

Außerdem beschäftigt sich diese Arbeit mit der Frage, ob auch die Ausprägung der dPNP anhand der Messergebnisse ermittelt werden kann. Dazu wird als Vergleichsgröße der Neuropathie Defizit Score (NDS) zugrunde gelegt.

Ausgehend von der allgemeinen Übereinstimmung, dass die dPNP der wichtigste endogene Faktor für die Entstehung diabetischer Fußulzera ist, untersucht diese Studie außerdem den Zusammenhang zwischen den Messergebnissen und der positiven Ulkusanamnese der Patienten.

An der Studie nahmen insgesamt 36 Diabetiker mit einer dPNP und 28 gesunde Probanden teil. Es konnten signifikante Unterschiede in der Stand- und Lagestabilität zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. Zwischen den Messergebnissen und der positiven

Ulkusanamnese konnte kein eindeutiger Zusammenhang festgestellt werden.

## Literaturverzeichnis

1. Boucher P, [Teasdale N](#), [Courtemanche R](#), [Bard C](#), [Fleury M](#) (1995) Postural stability in diabetic polyneuropathy. Diabetes care 18: 638-645
2. Corriveau H, Hebert R, Raiche M, Dubois MF, Prince F (2004) Postural stability in the elderly: empirical confirmation of a theoretical model. Archives of gerontology and geriatrics. Sep-Oct; 39(2): 163-177
3. Corriveau H, Prince F, Hebert R, Raiche M, Tessier D, Maheux P, Ardilouze JL (2000) Evaluation of postural stability in elderly with diabetic neuropathy. Diabetes care 23: 1187-1191
4. Fährenkemper T. (1999) Operative Revaskularisation. In: Reike H (Hrsg) Diabetisches Fußsyndrom: Diagnostik und Therapie der Grunderkrankungen und Komplikationen, Walter de Gruyter, Berlin New York
5. Geurts AC, Nienhuis B, Mulder TW (1993) Intrasubject variability of selected force-platform parameters in the quantification of postural control. Archives of physical medicine and rehabilitation Nov; 74(11): 1144-1150
6. Glexner C., Müller M., Wirth S. und Mitarbeiter (2007/08) Neurologie und Psychiatrie für Studium und Praxis, Medizinische Verlags- und Informationsdienste, Breisach
7. Greitemann B. (1999) Der diabetische Fuß: Ursachen – Prophylaxe – konservative und operative Therapie. In: Reike H (Hrsg) Diabetisches Fußsyndrom: Diagnostik und Therapie der Grunderkrankungen und Komplikationen, Walter de Gruyter, Berlin New York
8. Hauner H (2005) Epidemiologie und Kostenaspekte des Diabetes in Deutschland. Dtsch Med Wochenschr 130: 64-65

9. Heller G, Günster C, Schellschmidt H (2003) Wie häufig sind Diabetesbedingte Amputationen unterer Extremitäten in Deutschland? Dtsch Med Wochenschr 129: 429-433
10. Internationale Arbeitsgruppe über den diabetischen Fuß (1999) „Internationaler Konsensus über den Diabetischen Fuß“, Kirchheim, Mainz
11. Jöllenbeck T. (2003) Gratwanderung zwischen Präzision und versteckten Fehlerquellen – biomechanische Ganganalyse mit einer Kistler-Kraftmessplattform . In: Roemer, K., Edelmann-Nusser, J., Witte, K., Moritz, E.F. (Hrsg.): Sporttechnologie zwischen Theorie und Praxis. Shaker, Aachen, 132-138
12. Katoulis EC, Ebdon-Parry M, Hollis S, Harrison AJ, Vileikyte L, Kulkarni J, Boulton AJM (1997) Postural instability in diabetic neuropathic patients at risk of foot ulceration. Diabetic medicine Apr; 14(4): 296-300
13. Kistler Instrumente GmbH: [www.kistler.com](http://www.kistler.com)
14. Klinik und Polyklinik für technische Orthopädie Münster: Tool- Box Abbildungen
15. Lafond D, Corriveau H, Prince F (2004) Postural control mechanisms during quiet standing in patients with diabetic sensory neuropathy. Diabetes care 27: 173-178
16. Morbach S, Müller E, Reike H, Risse A, Spraul M (2004) Diagnostik, Therapie, Verlaufskontrolle und Prävention des diabetischen Fußsyndroms. Diabetes und Stoffwechsel 13: 9-30
17. Nationale Versorgungsleitlinie (NVL) Typ-2-Diabetes Fußkomplikationen Langfassung (2006), Version 2.1

18. Oppenheim U, Kohen-Raz R, Alex D, Kohen-Raz A, Azarya M (1999) Postural characteristics of diabetic neuropathy. *Diabetes care* 22: 328-332
19. Otto Bock Orthopädische Industrie GmbH & Co.: L.A.S.A.R.-Abbildungen
20. Paulus W, Straube A, Brandt TH (1987) Visual postural performance after loss of somatosensory and vestibular function. *Journal of Neurologie, Neurosurgery and Psychiatry* 50: 1542-1545
21. Reike H. (1999) Diabetische Osteoarthropathie und Charcot-Fuß. In: Reike H (Hrsg) *Diabetisches Fußsyndrom: Diagnostik und Therapie der Grunderkrankungen und Komplikationen*, Walter de Gruyter, Berlin New York
22. Reike H. (1999) Einleitung mit Epidemiologie. In: Reike H (Hrsg) *Diabetisches Fußsyndrom: Diagnostik und Therapie der Grunderkrankungen und Komplikationen*, Walter de Gruyter, Berlin New York
23. Richardson JK, Ching C, Hurvitz EA (1992) The Relationship between electromyographically documented peripheral neuropathy and falls. *I am Geriatr Soc* 40: 1008-1012
24. Rischbieter E. (1999) Funktionelle Anatomie und Biomechanik des Fußes. In: Reike H (Hrsg) *Diabetisches Fußsyndrom: Diagnostik und Therapie der Grunderkrankungen und Komplikationen*, Walter de Gruyter, Berlin New York
25. Risse A. (1999) Diabetisches Polyneuropathie-Syndrom: Diagnostik und neo-phänomenologische Aspekte der Therapie. In: Reike H (Hrsg) *Diabetisches Fußsyndrom: Diagnostik und Therapie der*

Grunderkrankungen und Komplikationen, Walter de Gruyter, Berlin  
New York

26. Scherbaum WA, Kiess W, Landgraf R (2004) Diagnostik, Therapie, Verlaufskontrolle und Prävention des diabetischen Fußsyndroms. Diabetes und Stoffwechsel 13: 9-30
27. Scherer H.W. (1999) Praktische Erfahrungen mit dem Aufbaumessgerät „L.A.S.A.R.-Posture“. Orthopädie-Technik 6/99: 468-474
28. Simoneau GG, Ulbrecht JS, Derr JA, Becker MB, Cavanagh PR (1994) Postural instability in patients with diabetic sensory neuropathy. Diabetes care 17: 1411-1421
29. Spraul M. (1999) Prophylaxe des diabetischen Fuß-Syndroms. In: Reike H (Hrsg) Diabetisches Fußsyndrom: Diagnostik und Therapie der Grunderkrankungen und Komplikationen, Walter de Gruyter, Berlin New York
30. Surminski O: Ganganalytische Besonderheiten bei Patienten mit diabetischer Neuropathie am Ganganalysesystem Gang AS. Medizinische Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin (2003)
31. Tip Therm Gesellschaft für neurologische Diagnostik mbH
32. Valk GD, NautaJJ, Strijers RL, Bertelsmann FW (1992) Diabet Med.Oct;9(8): 716-721
33. Win-Yi Cheng et al. (1999) Quantitative sensory testing and risk factors of diabetic sensory neuropathy. J Neurol 246: 394-398
34. Witte H., Recknagel S. (1997) Ist die indirekte Posturographie mittels Kraftmessplatten der direkten Posturographie durch Bewegungsanalyse gleichwertig? Eine physikalische Betrachtung. Biomed. Technik 42: 280-283

## **Danksagung**

Hiermit möchte ich all den Menschen danken, die mich bei dieser Arbeit unterstützt und mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben.

Ich danke dem Hr. Univ.-Prof. Dr. Hans Henning Wetz für die Überlassung des Themas. Dem Hr. Dr. Armin Koller danke ich für seine intensive Betreuung sowie die unverzichtbare Hilfe im Anfangsstadium dieser Arbeit und einen ganz besonderen Dank an den Herrn Univ.-Prof. Dr. Burkhard Drerup, welcher durch sein Engagement und Unterstützung mir die Fertigstellung dieser Arbeit ermöglicht hatte. Ich möchte mich ebenso bei allen anderen Mitarbeitern des Ganglabors bedanken, die mir bei den technischen Fragen immer zur Seite gestanden haben. Außerdem möchte ich einen herzlichen Dank an die Fr. Dr. Nani Osada aussprechen, die mich bei der statistischen Auswertung der Daten unterstützt hat und möchte ihre große Geduld und Mühe lobend erwähnen. Nicht zuletzt möchte ich allen Mitarbeitern der Klinik und Poliklinik für Technische Orthopädie und Rehabilitation danken für die Teilnahme an der Studie und für Ihren stets freundlichen Umgang.







## Anhang: Dokumentationsbogen

Datum:

### Dokumentationsbogen für die posturographische Untersuchung

#### Stammdaten:

Name, Vorname: \_\_\_\_\_

Geburtsdatum:  Alter:

#### Allgemeine Angaben:

Größe:  Gewicht:  Geschlecht:  w.  m.

Diabetes-Typ:  Erstdiagnose:

Orale Antidiabetika seit   Insulin seit

#### Anamnese:

Voroperationen:  nein  ja \_\_\_\_\_

Traumata:  nein  ja \_\_\_\_\_

#### Erkrankungen:

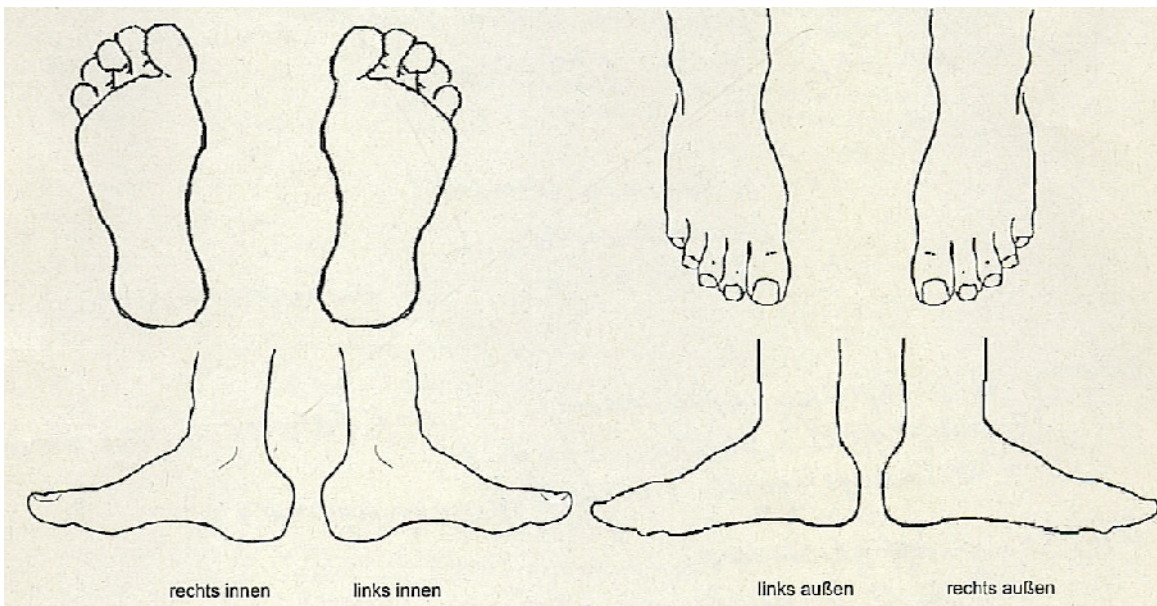
- **Nephropathie:**  nein  ja Dialysepflicht:  ja  nein
- **Sensomotorische PNP**  nein  ja
- **Retinopathie**  nein  ja
- **KHK**  nein  ja
- **Apoplex**  nein  ja Wann?  Folgen:

- **Parkinson**  nein  ja Auffälligkeiten:

- **Bandscheibenvorfall:**  nein  ja Wann?  Folgen:

- **Schmerzen im Bewegungsapparat:**  nein  ja \_\_\_\_\_





**Neurologie:**

		rechts			links		
Vibration [x/8]	Pallästhesie	MTPG1:	Malleolus:	Tibia:	MTPG1:	Malleolus:	Tibia:
ASR		nicht	schwach	kräftig	nicht	schwach	kräftig
PSR		nicht	schwach	kräftig	nicht	schwach	kräftig
10g Sem. Weinstein Filament		GZ	KZ	GZB	GZ	KZ	GZB
LOPS		KZB	MF	F	KZB	MF	F

Pulse	rechts				links				rechts				links				
A. femoralis	++	+	(+)	-	++	+	(+)	-	A. poplitea	++	+	(+)	-	++	+	(+)	-
A. tibialis posterior	++	+	(+)	-	++	+	(+)	-	A. dorsalis pedis	++	+	(+)	-	++	+	(+)	-

**Orthopädie**

Gelenkkontraktur o keine		rechts				links				Gelenkimplantat o keines		rechts				links			
Neutral-0 Methode für Flexion und Extension	Hüfte																		
	Knie																		
	OSG											o varisch				o valgisch			
	MTPG1											o symmetrisch				o asymmetrisch			

Beinlänge: rechts  links  ggf. Unterschied

## Neuropathie Defizit Score

NDS	rechts	links
Achillessehnen-Reflex		
Normal	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Vermindert	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1
Fehlend	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 2
Pallaesthesie		
Normal	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Vermindert/fehlend	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1
<b>Schmerzempfindung am Fußrücken</b>		
Normal	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Vermindert/fehlend	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1
<b>Temperaturempfinden am Fußrücken</b>		
Normal	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 0
Vermindert/fehlend	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1
<b>Gesamtscore</b>	<b>Punkte</b>	
<i>Bewertung</i>		
3-5	<i>leichte neuropathische Defizite</i>	
6-8	<i>mäßige neuropathische Defizite</i>	
9-10	<i>schwere neuropathische Defizite</i>	

Nystagmus sichtbar:            O nein            O ja

Unterberger Tretversuch:    O negativ    O positiv    Bemerkungen: \_\_\_\_\_

Barany Zeigeversuch:        O negativ    O positiv    Bemerkungen: \_\_\_\_\_

Finger-Nase-Versuch:        O negativ    O positiv    Bemerkungen: \_\_\_\_\_

**Sonstige Bemerkungen:**