

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

**„Stellenwert der Posturographie in der Diagnostik der
diabetischen Polyneuropathie“**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des doctor medicinae
der Medizinischen Fakultät

der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von

Sandra Söbbe

aus Gronau

2013

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

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

1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. med. H. H. Wetz

2. Berichterstatter: Prof. Dr. B. Drerup

Tag der mündlichen Prüfung: 02.05.2013

**Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik und Poliklinik für Technische Orthopädie und Rehabilitation
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. H. H. Wetz-
Referent: Univ.-Prof. Dr. med. H. H. Wetz
Koreferent: Prof. Dr. B. Drerup**

Zusammenfassung

„Stellenwert der Posturographie in der Diagnostik der diabetischen Polyneuropathie“

Söbbe, Sandra

Die diabetische Polyneuropathie (dPNP) ist eine der häufigsten Komplikationen der Volkskrankheit Diabetes mellitus und führt bei inadäquater Behandlung zu schweren Folgeerkrankungen (diabetisches Fußsyndrom, diabetisch-neuropathische Osteoarthropathie). Da die dPNP zunächst symptomfrei verläuft, wird sie häufig zu spät diagnostiziert, so dass präventive Maßnahmen zur Vermeidung schwerer Verläufe zu spät ergriffen werden. Trotz dieses Wissens wird im ärztlichen Alltag der klinischen Untersuchung auf dPNP eine zu geringe Bedeutung beigemessen. Der Grundgedanke dieser Arbeit ist daher, ein Verfahren zu testen, das eine Früherkennung der dPNP zuverlässig, günstig, schnell und einfach ermöglicht. Zu diesem Zweck wurde die posturale Stabilität von 80 Diabetikern mit und ohne dPNP unter unterschiedlichen Bedingungen (Augen offen/geschlossen, mit Schuhen/ohne Schuhe) mit Hilfe des L.A.S.A.R Posture (posturographisches Messgerät) untersucht.

Es wurden zwischen Diabetikern mit dPNP und ohne dPNP signifikante Unterschiede in der posturalen Stabilität festgestellt. Zudem zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen der Posturographie und dem Neuropathie Defizit Score. Die Studie beweist, dass es möglich ist mithilfe der Posturographie bei Diabetikern die Wahrscheinlichkeit des Vorliegens einer dPNP zu beurteilen.

Weiterhin wurde festgestellt, dass die Messbedingungen einen Einfluss auf die posturographischen Messergebnisse haben. Alle Probanden schwankten mit geschlossenen Augen bzw. mit Schuhen mehr. Bei Diabetikern mit dPNP war dieser Unterschied stärker ausgeprägt als bei Diabetikern ohne dPNP.

Tag der mündlichen Prüfung: 02.05.2013

ERKLÄRUNG

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

„Stellenwert der Posturographie in der Diagnostik der diabetischen Polyneuropathie“

im Universitätsklinikum Münster in der
Klinik und Poliklinik für Technische Orthopädie und Rehabilitation
unter Anleitung von:
Univ.-Prof. Dr. med. H. H. Wetz

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.

Ahaus, 28.06.2012

Sandra Söbbe

Für Franziska

Inhaltsverzeichnis

<u>1. Einleitung</u>	<u>1</u>
1.1 Die diabetische Polyneuropathie (dPNP)	1
1.1.1 Epidemiologie.....	1
1.1.2 Pathogenese.....	2
1.1.3 Symptome.....	3
1.1.4 Diagnostik der sensomotorischen Polyneuropathie.....	6
1.1.5 Therapie.....	11
1.2 Das diabetische Fußsyndrom (DFS)	14
1.3 Die diabetisch-neuropathische Osteoarthropathie (DNOAP)	17
1.4 Bedeutung der diabetischen Polyneuropathie für das diabetische Fußsyndrom und die diabetisch-neuropathische Osteoarthropathie	18
1.5 Sozioökonomische Aspekte	19
<u>2. Fragestellung und Zielsetzung</u>	<u>21</u>
<u>3. Material und Methoden</u>	<u>23</u>
3.1 Patientengut und Studienablauf	23
3.2 Ein- und Ausschlusskriterien	24
3.3 Datenerhebungsbogen	25
3.4 Erläuterungen zum Datenerhebungsbogen	29
3.5 Posturographische Messungen	33
3.5.1 L.A.S.A.R Posture	33
3.5.2 Ablauf der posturographischen Messungen.....	37

3.6	Gruppeneinteilung	40
------------	--------------------------------	-----------

3.7	Statistik	41
------------	------------------------	-----------

4. Ergebnisse **41**

4.1	Allgemeine Analyse des gesamten Patientenkollektivs	41
------------	--	-----------

4.1.1	Stammdaten.....	42
-------	-----------------	----

4.1.2	Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie, HbA _{1c} -Wert	43
-------	--	----

4.1.3	Hyperkeratose, Krallenzehen.....	44
-------	----------------------------------	----

4.1.4	Patellasehnenreflex, Beinlängendifferenz.....	45
-------	---	----

4.1.5	Fußulkus.....	46
-------	---------------	----

4.2	Allgemeine Analyse innerhalb der Gruppen	46
------------	---	-----------

4.2.1	Gruppe ohne diabetische Polyneuropathie (ØPNP).....	46
-------	---	----

4.2.1a	Stammdaten.....	47
--------	-----------------	----

4.2.1b	Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie, HbA _{1c} -Wert.....	48
--------	---	----

4.2.1c	Hyperkeratose, Krallenzehen.....	50
--------	----------------------------------	----

4.2.1d	Patellasehnenreflex, Beinlängendifferenz.....	50
--------	---	----

4.2.1e	Fußulkus.....	51
--------	---------------	----

4.2.2	Gruppe mit diabetischer Polyneuropathie (PNP).....	52
-------	--	----

4.2.2a	Stammdaten.....	52
--------	-----------------	----

4.2.2b	Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie, HbA _{1c} -Wert.....	53
4.2.2c	Hyperkeratose, Krallenzehen.....	55
4.2.2d	Patellasehnenreflex, Beinlängendifferenz.....	56
4.2.2e	Fußulkus.....	57
4.3	Tabellarische Zusammenfassung der allgemeinen Analyse des Gesamtkollektivs und innerhalb der Gruppen.....	57
4.4	Gruppenunterschiede bzgl. Patientenmerkmalen.....	60
4.5	Vergleich der Messergebnisse der Posturographie bzgl. möglicher Einflussfaktoren.....	62
4.6	Test der Hypothesen.....	66
4.6.1	H 1: Vergleich der posturographischen Messung mit den Ergebnissen der Rydel-Seifferschen Stimmgabel und des Semmes-Weinstein Monofilaments.....	66
4.6.2	H 2: Unterscheidung zwischen Diabetikern mit diabetischer Polyneuropathie und Diabetikern ohne diabetische Polyneuropathie mit Hilfe der Posturographie.....	69
4.6.2a	Untersuchung der posturographischen Messergebnisse in Bezug auf die Zuteilung zu den Gruppen.....	69
4.6.2b	Vergleich der posturographischen Messungen mit dem Neuropathie Defizit Score.....	74

4.6.2c	Grenzwert zur Entscheidung über das Vorliegen einer dPNP..	81
4.6.3	H 3: Einfluss der Messbedingungen auf die posturographischen Messungen.....	86
4.6.3a	Unterschiede der Mittelwerte im Gesamtkollektiv.....	86
4.6.3b	Unterschiede der Mittelwerte in der Gruppe ØPNP.....	90
4.6.3c	Unterschiede der Mittelwerte in der Gruppe PNP.....	93
4.6.3d	Vergleich der relativen Mittelwertdifferenzen (Δ MW) der beiden Gruppen.....	97
5.	Diskussion	99
6.	Schlussfolgerung	111
7.	Literaturverzeichnis	113
8.	Tabellenverzeichnis	121
9.	Abbildungsverzeichnis	125
10.	Diagrammverzeichnis	126
11.	Danksagung	127
12.	Lebenslauf	128

1. Einleitung

1.1 Die diabetische Polyneuropathie (dPNP)

Die diabetische Polyneuropathie (dPNP) ist eine Organkomplikation des Diabetes mellitus. Sie äußert sich in Störungen des sensomotorischen und des autonomen Nervensystems. Ihr Auftreten ist unabhängig davon, an welchem Diabetestyp der Betroffene erkrankt ist.

1.1.1 Epidemiologie

In einer Publikation des Deutschen Diabetes-Zentrums der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf aus dem Jahr 2008 wurde bei Diabetikern – unabhängig davon, ob ein Typ-1- oder Typ-2-Diabetes vorliegt – eine Prävalenz für die dPNP von 28 % angegeben [92]. Auch andere Autoren geben eine Prävalenz für die dPNP bei Diabetikern von etwa 30 % an [28, 31, 74, 82, 89]. Da unter anderem die Diabetesdauer sowie das Alter eines Diabetikers Einfluss auf die Entwicklung einer dPNP haben [89], ist es von Bedeutung, dass im Speziellen die Prävalenzen betrachtet werden, die bei älteren Patienten angegeben werden. Dabei zeigen sich folgende Ergebnisse: Annähernd 50 % der Diabetiker, die über 60 Jahre alt sind, haben eine dPNP. [38, 89]. Macht man sich zudem bewusst, dass nahezu 38 % aller Menschen über 60 Jahre an Diabetes mellitus erkrankt sind [75], so wird deutlich, dass 19 % der Bevölkerung in einem Alter über 60 Jahren an einer dPNP erkrankt sind.

1.1.2 Pathogenese

Die Pathogenese der dPNP ist nicht vollständig geklärt. Man geht von einer multifaktoriellen Genese aus. Die Bedeutung der Hyperglykämie als Hauptfaktor für die Entstehung der Nervenschäden wird heute allerdings nicht mehr bezweifelt und wurde in der DCCT-Studie (Diabetes Control and Complications Trial) bewiesen [20]. Durch die Hyperglykämie werden metabolische und vaskuläre Mechanismen induziert, die dann zur Beeinträchtigung und Zerstörung der Nerven führen. Im Sinne dieser Mechanismen werden folgende Hypothesen zurzeit am häufigsten diskutiert [30, 31, 42, 59, 73]:

1. Erhöhter Umsatz im Polyolstoffwechsel mit Akkumulation von Sorbitol und Fruktose, Depletion von Myo-Inositol, Reduktion der Aktivität der Na⁺-K⁺-ATPase und Veränderungen der Expression verschiedener Isoenzyme der Proteinkinase C
2. Störungen im Metabolismus der n-6 essentiellen Fettsäuren und Prostaglandine, die zur Änderung der Struktur der Nervenmembran sowie zu mikrovaskulären und hämorrheologischen Veränderungen führen
3. Vaskuläre Ursachen mit konsekutiver Ischämie bzw. Hypoxie und Bildung freier Sauerstoffradikale (oxidativer Stress) und sog. „hyperglykämische Pseudohypoxie“
4. Störungen des Neurotrophismus mit reduzierter Expression und Mangel an neurotrophen Faktoren (z. B. Nerve Growth Factor, Neurotrophin-3 und Insulin-like Growth Factor) und Störungen des axonalen Transports

5. Nicht-enzymatische Glykierung mit erhöhten glykierten Blutproteinen und Akkumulation von Glykierungsendprodukten (AGEs: advanced glycation end products) an Nerven- und/oder Gefäßwandproteinen
6. Immunprozesse mit Autoantikörpern gegen N. vagus, sympathische Ganglien und Nebennierenmark sowie inflammatorische Veränderungen (Cytokine)

Unter Punkt 4 der Aufzählung ist zudem zu erkennen, dass wichtige Reparationsmechanismen und Wachstumsprozesse gestört werden, so dass die beim Diabetiker auftretende Beeinträchtigung bzw. Zerstörung der Nerven und der damit einhergehende Funktionsverlust unumkehrbar sind.

Da die diabetische Polyneuropathie nur dann entsteht, wenn der Blutzuckerspiegel über einen langen Zeitraum von mehreren Jahren unphysiologisch hoch ist, ist die Entwicklung der Erkrankung ein langsam fortschreitender Prozess. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, dass die Polyneuropathie bei optimierter, frühzeitiger primärer und sekundärer Prävention verhindert oder aufgehalten werden kann.

1.1.3 Symptome

Da die dPNP das autonome und das sensomotorische Nervensystem betreffen kann, sind die Symptome der dPNP sehr unterschiedlich und hängen davon ab, welche Nervenäste betroffen sind [74, 91]. Zunächst wird an dieser Stelle auf die autonome dPNP eingegangen. In Tabelle 1 sind, abhängig von den betroffenen Organsystemen, einige Beispiele der Symptome der autonomen dPNP dargestellt.

Tabelle 1: Symptome der autonomen dPNP

Organsystem	Symptom
kardiovaskulär	schmerzloser Infarkt, Pulsdysregulation
respiratorisch	Toleranz gegenüber Hyperkapnie und Hypoxie
gastrointestinal	Gastroparese, Diarrhoe, Inkontinenz
urogenital	erektile Dysfunktion, Blasenentleerungsstörung
neuroendokrin	gestörte Hypoglykämiewahrnehmung und Katecholaminsekretion
thermoregulatorisch	Hypo-/Anhidrose
muskuloskeletal	Hypästhesie, Störung der Propriozeption, Fehlregulation der Gefäßweite

Nun wird auf die sensomotorische dPNP eingegangen. Dabei liegen besonders an den Füßen und Unterschenkeln distal betonte, symmetrische, sensible Reiz- und Ausfallerscheinungen vor. Die Ausfallerscheinungen können sich auf alle sensiblen Qualitäten erstrecken, d.h. auf das Temperatur-, das Tiefen-, das Schmerz- und das Berührungsempfinden [6, 38, 58].

Da alle sensiblen Qualitäten des peripheren Nervensystems betroffen sind, ist auch das Spektrum der Symptome breit gefächert. Zu Beginn der Erkrankung, wenn erst leichte Schädigungen der nervalen Strukturen vorliegen, ist die Erkrankung zunächst symptomlos. Meist kommt es als erstes zu einer Verminderung des Vibrations- und des Temperaturempfindens. Da die Patienten die Verminderung allerdings selbst nicht bemerken, konsultieren sie keinen Arzt [74]. Auch in fortgeschrittenen Stadien empfinden die Patienten die Polyneuropathie häufig nicht als einschränkend, da die

Symptome so schleichend zunehmen, dass sie von den Patienten nicht bemerkt werden. Nicht selten wird daher die Diagnose einer diabetischen Polyneuropathie erst durch das Auftreten einer Fußulzeration festgestellt [38].

Wird die Erkrankung doch vor Auftreten eines Ulkus symptomatisch, bemerken die Patienten folgende Symptome in den Füßen und Unterschenkeln: Brennen, Taubheit, Parästhesien, Schwäche (Ermüdung, Erschöpfung), Krämpfe, Schmerzen und Temperaturmissempfinden [38, 58, 74]. Die Symptome der sensomotorischen dPNP sind zur Übersicht in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Symptome der sensomotorischen dPNP

Symptome der sensomotorischen dPNP in den Füßen und Unterschenkeln
Brennen
Taubheit
Parästhesien
Schwäche
Krämpfe
Schmerzen
Temperaturmissempfinden

1.1.4 Diagnostik der sensomotorischen Polyneuropathie

Die Diagnostik und die genaue Einteilung der sensomotorischen Polyneuropathie haben neben der Blutzuckereinstellung einen sehr hohen Stellenwert bei der Betreuung von Diabetikern, da nur eine gute Diagnostik die primäre und sekundäre Prävention ermöglicht. Da verschiedene sensible Qualitäten betroffen sind, müssen auch verschiedene Untersuchungen durchgeführt werden, die jede für sich die Beurteilung einer sensiblen Qualität ermöglicht [7, 31]. Die verschiedenen Untersuchungen werden im Folgenden erläutert.

Tiefensensibilität:

Die Tiefensensibilität wird mithilfe der Rydel-Seifferschen Stimmgabel überprüft. Dabei wird die Stimmgabel in der Hand angeschlagen, um sie zum Schwingen zu bringen und dann an definierten Knochenvorsprüngen bei der zu untersuchenden Person aufgesetzt (siehe Abbildung 1). Die Werte der Messung liegen zwischen 0/8 und 8/8. Dabei stehen niedrige Werte für eine erniedrigte Tiefensensibilität. Wird ein Wert von 0/8 gemessen, so ist die Tiefensensibilität sehr stark eingeschränkt.

Abbildung 1: Untersuchung mit der Rydel-Seifferschen Stimmgabel



Temperaturempfinden:

Zur Untersuchung des Temperaturempfindens wird ein Gerät namens Tip Therm benutzt. Das Tip Therm ist stiftförmig, mit einer Stirnfläche aus Kunststoff und einer Stirnfläche aus Metall (siehe Abbildung 2). Beim Aufsetzen auf die Haut bewirken diese Flächen ein Wärme- bzw. Kältegefühl, welches aufgrund der unterschiedlichen Materialien und deren unterschiedlichen Materialeigenschaften in Bezug auf die Leitfähigkeit für Wärme entsteht. Wenn ein Proband den Unterschied zwischen dem Aufsetzen der kalten und der warmen Seite des Tip Therms auf die Haut nicht empfinden kann, gilt das Temperaturempfinden als pathologisch.

Abbildung 2: Untersuchung mit dem Tip Therm



Berührungsempfinden:

Das Berührungsempfinden wird mithilfe des Semmes-Weinstein Monofilaments untersucht. Das Semmes-Weinstein Monofilament besteht aus einem Griff und einem Plastikfaden, mit dem der Untersucher einen definierten Druck auf die Hautoberfläche ausübt (siehe Abbildung 3). Spürt der Patient die Berührung durch den Faden, so ist der Test positiv, spürt er ihn nicht, so ist der Test pathologisch. Da das Berührungsempfinden an den verschiedenen Flächen des Fußes unterschiedlich sein kann, wird die Untersuchung an mehreren definierten Punkten durchgeführt, z. B. an der Unterseite der Großzehe, am Großzehballen und am Kleinzehballen.

Abbildung 3: Untersuchung mit dem Semmes-Weinstein Monofilament



Schmerzempfinden:

Das Schmerzempfinden wird mithilfe eines spitzen Gegenstandes untersucht (siehe Abbildung 4). Dabei muss vom Untersucher darauf geachtet werden, dass tatsächlich nur ein Schmerzempfinden ausgelöst wird und keine Verletzungen hervorgerufen werden. Wenn beim Probanden kein Schmerz ausgelöst werden kann, gilt das Untersuchungsergebnis als pathologisch.

Abbildung 4: Untersuchung des Schmerzempfindens



1.1.5 Therapie

Die sensomotorische dPNP wird je nach Verlaufsform und Stadium therapiert. In Anlehnung an eine Arbeit von Boulton et al. aus dem Jahr 1998 [7] und den Leitlinien der Deutschen Diabetes Gesellschaft [31] ist im Folgenden die Therapie der sensomotorischen dPNP zusammengefasst.

In jedem Stadium steht im Mittelpunkt, eine weitere Progredienz der Erkrankung zu verhindern. Das kann mithilfe folgender Ansätze erreicht werden:

- Optimierung der Diabeteseinstellung
- Normalisierung von Blutdruck und Dyslipidämie
- Patientenschulung (Leben mit Diabetes)

Liegt eine subklinische dPNP vor, ist das Ziel der Therapie die Prophylaxe von Fußschäden. Das kann mithilfe folgender Ansätze erreicht werden:

- Professionelle Fußpflege
- Eigeninspektion der Füße, Schuhinnenraum überprüfen, konsequent Schuhwerk tragen
- Orthopädietechnische Schuhversorgung

Die orthopädietechnische Schuhversorgung ist in den Nationalen Versorgungsleitlinien zu den Präventions- und Behandlungsstrategien für Fußkomplikationen bei Diabetes in Abhängigkeit von der Verordnungsklasse genau festgelegt [57]. Die Tabelle 3 gibt dazu einen Überblick.

Tabelle 3: Verordnungskriterien zur Schuhversorgung beim diabetischen Fußsyndrom und analogen Neuro-Angio-Arthropathien

Verordnungsklasse		Erläuterung	Regelversorgung
0	Diabetes mellitus ohne PNP/pAVK	Aufklärung und Beratung	fußgerechte Konfektionsschuhe
1	wie 0, mit Fußdeformität	höheres Risiko bei späterem Auftreten einer PNP/pAVK	orthopädiesschuhtechnische Versorgung aufgrund orthopädischer Indikation
2	Diabetes mellitus mit Sensibilitätsverlust durch PNP/relevante pAVK	PNP mit Sensibilitätsverlust, pAVK	Diabetesschutzschuh mit herausnehmbarer konfektionierter Weichpolstersohle, ggf. mit orth. Schuhzurichtung Höherversorgung mit DAF (diabetesadaptierter Fußbettung) oder orth. Maßschuhen bei Fußproportionen, die nach einem konfektionierten Leisten nicht zu versorgen sind/ Fußdeformität, die zu lokaler Druckerhöhung führt/ fehlgeschlagener adäquater Vorversorgung/ orthopädischer Indikation
3	Z. n. plantarem Ulkus	deutlich erhöhtes Ulkusrezidiv-Risiko gegenüber Gr. 2	Diabetesschutzschuh i.d.R. mit diabetes-adaptierter Fußbettung, ggf. mit orth. Schuhzurichtung Höherversorgung mit orth. Maßschuhen bei Fußproportionen die nach einem konfektionierten Leisten nicht zu versorgen sind/ fehlgeschlagene Vorversorgung/ orthopädischer Indikation

Verordnungsklasse		Erläuterung	Regelversorgung
4	wie 2 mit Deformitäten bzw. Dysproportionen	nicht nach konfektionierten Leisten zu versorgen	orth. Maßschuhe mit DAF
5	diabetische Neuroosteoarthropathie (DNOAP, Sanders-Typ II-V, LEVIN-Stadium III)	Orthesen i.d.R. bei DNOAP Sanders-Typ IV-V oder bei starker Lotabweichung	knöchelübergreifende orth. Maßschuhe mit DAF, Innenschuhe, Orthesen
6	Wie 2 mit Fußteillamputation	mindestens transmetatarsale Amputation, auch als innere Amputation	Versorgung wie 4 plus Prothesen
7	akute Läsion/floride DNOAP	stets als temporäre Versorgung	Entlastungsschuhe, Verbandsschuhe, Interimsschuhe, Orthesen, Vollkontakt-Gips (TCC) ggf. mit DAF und orth. Zurichtungen

Liegt eine chronisch-schmerzhafte dPNP vor, können folgende Therapieoptionen genutzt werden:

- Medikamente (Alpha-Liponsäure, Antikonvulsiva, Capsaicin, Selektive Serotonin-Wiederaufnahme-Hemmer, Tramadol, Trizyklische Antidepressiva)
- Physikalische Therapie

Liegt eine akut-schmerzhafte dPNP vor, können folgende Therapieoptionen genutzt werden:

- Analgetika, ansonsten wie bei der chronisch-schmerzhaften dPNP

Liegt eine schmerzlose Neuropathie (hypästhetische bzw. anästhetische Form) vor, können folgende Therapieoptionen genutzt werden:

- Fußpflege
- Prophylaxe von Fußläsionen
- Krankengymnastik

Bei Langzeitkomplikationen der dPNP muss eine sofortige Überweisung nach individuellem Befund zu folgenden Fachrichtungen erfolgen:

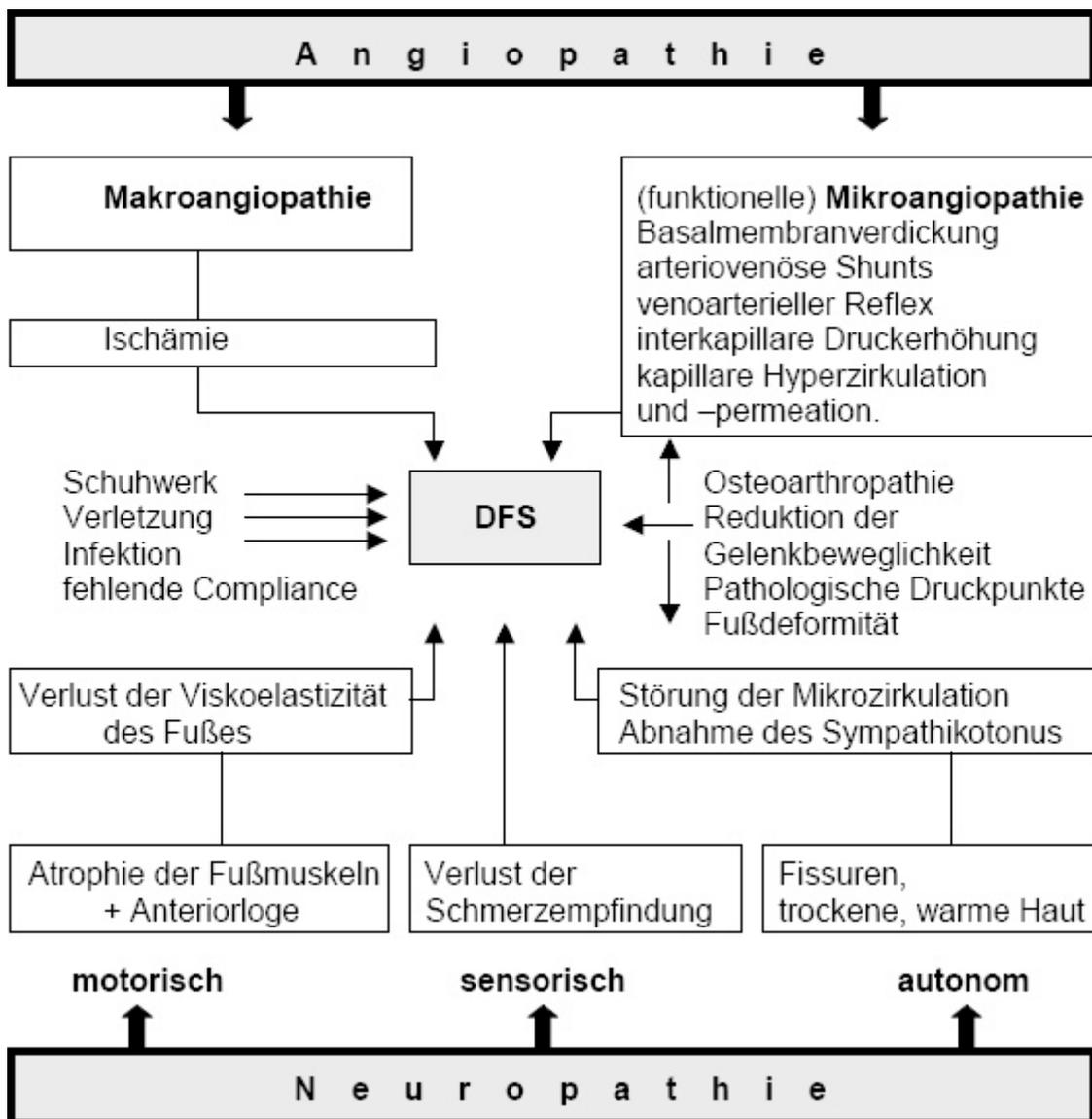
- Diabetologie
- Neurologie
- Orthopädie
- Spezialisierte Fußambulanz oder Fußklinik
- Orthopädietechniker
- Orthopädischer Schuhmacher

1.2 Das diabetische Fußsyndrom (DFS)

Das diabetische Fußsyndrom (DFS) ist eine häufige und schwerwiegende Komplikation bei Diabeteserkrankungen [26, 41, 48, 52, 93]. Der Begriff beinhaltet verschiedene Krankheitsbilder, die durch unterschiedliche Ätiologien und Pathomechanismen hervorgerufen werden. Das Syndrom umfasst Erkrankungen des Weichteilgewebes, des Knochens, der Gelenke, der Nerven und der Blutgefäße, die bei verzögerter oder ineffektiver Behandlung die Amputation der gesamten Extremität zur Folge haben

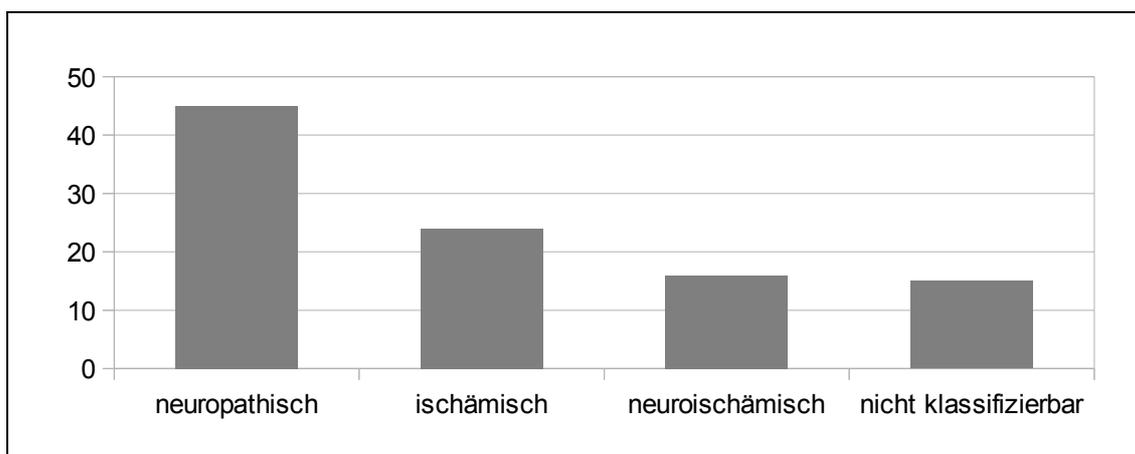
können [57]. Die folgende Abbildung (Abbildung 5) stellt die multifaktorielle Genese des DFS graphisch dar [81].

Abbildung 5: Die multifaktorielle Genese des diabetischen Fußsyndroms (DFS)



Wie in der Abbildung deutlich wird, sind die Neuropathie und die Angiopathie zwei wichtige Risikofaktoren für ein DFS [23, 47, 66, 81, 93]. Die Angiopathie und die autonome Neuropathie führen zu Durchblutungsstörungen am Fuß, wodurch sich eine höhere Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von krankhaften Veränderungen am Fuß ergibt [57] und zudem die Heilung verzögert wird. Die sensomotorische Neuropathie führt aufgrund der verminderten Sensibilität dazu, dass schädigende Einflussfaktoren wie Druck, Hitze, scharfe oder spitze Gegenstände etc. an der Haut nicht wahrgenommen werden. Die Ausführungen machen deutlich, dass der Fuß eines Diabetikers stark gefährdet ist. Zur Auslösung des akuten DFS, also eines Ulkus, bedarf es eines Traumas [46, 81]. Dieses Trauma wird vor allem durch akuten oder chronischen Druck ausgelöst, aber auch durch Verletzungen beim Gehen ohne Schuhwerk oder bei der Fußpflege [81]. Abbildung 6 gibt einen Überblick über die relativen Prävalenzen der unterschiedlichen Einflussfaktoren, die zur Ausbildung eines DFS beitragen [54].

Abbildung 6: Relative Prävalenzen (%) der Einflussfaktoren, die zur Ausbildung eines diabetischen Fußsyndroms beitragen



Boulton weist in seinem Review „The diabetic foot: from art to science.“ (2004) zudem auf die psychosozialen Faktoren des Entstehens von Fußulzerationen hin, denn auch das Verhalten der Patienten (tägliche Fußinspektion, Schuhinnenraum überprüfen, konsequent Schuhwerk tragen etc.) ist ein wichtiger Einflussfaktor für das Entstehen von Fußulzerationen [8, 9].

1.3 Die diabetisch-neuropathische Osteoarthropathie (DNOAP)

Einen Sonderfall des DFS stellt die diabetisch-neuropathische Osteoarthropathie (DNOAP) dar [76]. Es handelt sich dabei um Knochennekrosen, die den Vor- und Rückfuß betreffen und dadurch Destruktionen und Deformierungen des Fußes verursachen. Bedingt durch die Schmerzunempfindlichkeit des Patienten werden diese Veränderungen zunächst nicht wahrgenommen. Da zudem Röntgenaufnahmen lange einen unauffälligen Befund zeigen, kann die DNOAP sich mit verheerenden Auswirkungen weiterentwickeln. Dies zeigt sich in den hohen Amputationsraten [70]. Wie auch das DFS, ist die DNOAP eine multifaktorielle Erkrankung [1, 12, 13, 24, 77, 86]. Zur Entstehung der DNOAP gibt es zwei Theorien. Zentrale Bedeutung hat in beiden Theorien die diabetische Polyneuropathie [24, 25, 43].

Bei der „neurotraumatischen Theorie“ geht man davon aus, dass repetitive Traumatisierungen eine Gelenkzerstörung hervorrufen. Bei der „neurovaskulären Theorie“ nimmt man an, dass die autonome Neuropathie einen gesteigerten ossären Blutfluss hervorruft [43]. Dadurch kommt es zur Osteoklastenaktivierung, die zur Knochenresorption mit Frakturen und Gelenkzerstörung führt [86].

Folgende weitere Faktoren scheinen zudem an der Entstehung der DNOAP beteiligt zu sein:

- Glykolisierung von Kollagen bedingt ligamentäre Instabilitäten und Muskelverkürzungen mit konsekutiver Spitzfußstellung und dadurch pathologischer Druckverteilung im Fuß [23, 37]
- „innere“ Druckbelastung durch Pseudoexostosen [37]
- Vorliegen einer geringen Knochendichte [90]
- distale Muskelatrophie führt zu Fehl- und Überbelastung im Fußbereich [22]

1.4 Bedeutung der diabetischen Polyneuropathie für das diabetische Fußsyndrom und die diabetisch-neuropathische Osteoarthropathie

Die Ausführungen unter 1.2 und 1.3 machen deutlich, dass der dPNP eine zentrale Bedeutung bei der Entstehung des DFS und der DNOAP zukommt und schlecht heilende Ulzerationen, aufsteigende Infektionen bis hin zu Amputationen, Sepsen und Todesfälle begünstigt [17, 34, 35]. Dennoch ist es im klinischen Alltag nicht ungewöhnlich, dass erst die Manifestation einer Fußulzeration zur Diagnose einer dPNP führt, ohne dass subjektive Symptome oder eine klinische Untersuchung dazu geführt haben [38]. Umso bedeutender ist es, dass die diabetische Polyneuropathie frühzeitig diagnostiziert und behandelt wird, um präventiv auf das Fortschreiten der Erkrankung und das Neuauftreten von weiteren Folgeerkrankungen einwirken zu können [14, 52]. Zudem ist die dPNP, wie in der Einleitung (siehe Kapitel 1.1.2) beschrieben, unumkehrbar, was die Bedeutung der Primärprävention deutlich unterstreicht.

1.5 Sozioökonomische Aspekte

In Deutschland wurden im Jahr 2001 6,4 Millionen Menschen aufgrund von Diabetes mellitus behandelt [93]. Das entspricht im Vergleich zum Jahr 1988 einem Anstieg der Prävalenz um 54 % [32]. Es wird auch in Zukunft mit einem kontinuierlichen Anstieg der Prävalenz von Diabetes mellitus gerechnet. Die Internationale Diabetes Föderation gibt an, dass im Jahr 2000 weltweit ca. 177 Millionen Menschen an Diabetes mellitus erkrankt waren, im Jahr 2003 zählte sie bereits ca. 194 Millionen Diabetiker. Bei gleichbleibender Entwicklung wird ein Anstieg der Diabeteserkrankungen um ca. 50 % bis zum Jahr 2025 vermutet [39]. Die Angaben über das Lebenszeitrisiko eines Diabetikers für das Entstehen einer Fußulzeration liegen im Bereich von 15 % bis 25 % [8, 63, 80]. In Deutschland erleiden rund ein Viertel der Diabetiker im Laufe ihres Lebens ein DFS [50].

Das DFS ist eine der häufigsten klinischen Komplikationen des Diabetes mellitus und führt weltweit zu über einer Million Amputationen im Jahr [40]. Eine Untersuchung der AOK zählte im Jahr 2002 deutschlandweit über 55.000 und im Jahr 2003 über 60.000 diabetesbedingte Amputationen [33]. Das Risiko einer Amputation ist für einen Diabetiker im Vergleich zur Normalbevölkerung 10- bis 30-fach erhöht [9, 53, 83]. Im Jahr 2001 betrugen die Kosten für die Behandlung neuropathisch bedingter Fußulzera in den USA ca. 10,7 Milliarden US Dollar. Das entspricht neun Prozent der Gesamtausgaben im amerikanischen Gesundheitssystem [29]. Die Behandlungskosten für einen Diabetiker mit Ulzeration sind im folgenden Jahr nach der Ulzeration 5,4-mal höher als die Kosten der Behandlung eines Diabetikers ohne Ulzeration [72]. Die Mortalitätsrate von Patienten mit diabetischen Fußulzerationen ist zudem deutlich höher als die von Patienten ohne Ulzeration [10].

Die Liste der Zahlen über Diabetes, DFS, Amputationen und Behandlungskosten ließe sich noch weiterführen. In der Summe weisen sie jedoch alle in die gleiche Richtung: Diabetes, die dPNP und weitere Folgeerkrankungen werden langfristig eine zunehmende Belastung der Gesundheitssysteme weltweit darstellen. Im Speziellen ist die dPNP mitverantwortlich für die Kostenintensität der Behandlung der Folgeerkrankungen bei Diabetes, weil sie im Mittelpunkt des diabetischen Fußsyndroms und der DNOAP (siehe Kapitel 1.2 bis 1.4) steht. Der frühzeitigen Diagnose und der optimalen Therapie der dPNP muss daher ein sehr hoher Stellenwert eingeräumt werden.

2. Fragestellung und Zielsetzung

Da die Diagnose der dPNP ausschließlich durch einen Arzt mit den in Kapitel 1.1.4 beschriebenen Standarduntersuchungen gestellt wird, ist die Diagnosestellung im klinischen Alltag sehr zeitaufwändig, dadurch kostenintensiv und wird zum Teil vernachlässigt. So ist es möglich, dass die dPNP erst beim Auftreten eines Fußulkus diagnostiziert wird [38]. Die Ausführungen legen nahe, dass es notwendig ist, eine Untersuchung bereit zu stellen, die kostengünstig, einfach, mit geringem Zeitaufwand und dennoch mit großer Zuverlässigkeit eine Beurteilung des Vorliegens einer dPNP ermöglicht.

Studien haben einen signifikanten klinischen Effekt der dPNP auf die Körperhaltung festgestellt [15]. In dem Review „Diabetes and postural Stability: Review and Hypotheses“ konkludieren C. Bonnet et al. (2009) zudem als generelle Beobachtung, dass Menschen mit Diabetes – insbesondere wenn sie an einer dPNP erkrankt sind – ein vermehrtes posturales Schwanken zeigen [4]. Ein Zusammenhang zwischen dPNP und posturaler Stabilität ist also zu vermuten.

Ähnliche Ergebnisse erbrachte die Arbeit „Einsatz der Posturographie zur Erfassung der diabetischen Polyneuropathie“ vom Februar 2012 aus der Klinik und Poliklinik für Technische Orthopädie und Rehabilitation des Universitätsklinikums Münster. In dieser Arbeit zeigten posturographische Messergebnisse signifikante Unterschiede zwischen Diabetikern mit Polyneuropathie und einer gesunden Kontrollgruppe, deren Zugehörige weder an Diabetes noch an dPNP erkrankt waren. Zudem wurde festgestellt, dass das Tragen von Schuhen und das Schließen der Augen einen Einfluss auf die posturographischen Messergebnisse hatte. Als Folgestudie aufgrund dieser Datenlage ist diese Arbeit entstanden. Die Ergebnisse warfen die Frage auf, ob ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen Diabetikern mit und ohne Polyneuropathie mit Hilfe der Posturographie messbar sind. Ebenfalls erschien es sinnvoll, den Einfluss des Tragens

von Schuhen und des Schließens der Augen bei posturographischen Messungen in Bezug auf Diabetiker mit und ohne Polyneuropathie genauer zu untersuchen.

In der vorliegenden Arbeit werden daher folgende Hypothesen untersucht:

- H 1: Die Ergebnisse einer posturographischen Messung korrelieren mit den Standarduntersuchungen der dPNP (Rydel-Seifferschen Stimmgabel und Semmes-Weinstein Monofilament, siehe Kapitel 1.1.4).

- H 2: Die Posturographie kann zur Unterscheidung zwischen Diabetikern mit diabetischer Polyneuropathie und Diabetikern ohne diabetischer Polyneuropathie genutzt werden.

- H 3: Unterschiedliche Bedingungen (offene oder geschlossene Augen, Schuhe tragen oder nicht) bei einer posturographischen Messung haben einen Einfluss auf die Messergebnisse.

3. Material und Methoden

Um Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen von posturographischen Messungen und dem Vorliegen einer dPNP zu überprüfen, wurden an 80 zufällig ausgewählten Diabetikern Untersuchungen durchgeführt.

3.1 Patientengut und Studienablauf

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine Studie, die mithilfe der Patienten der Diabetologischen Gemeinschaftspraxis Rose, Pohlmeier und Lammers aus dem Zentrum für Diabetes und Gefäßerkrankungen im Franziskus Carré in Münster durchgeführt wurde. Die Patientenauswahl wurde durch Zufall bestimmt. Die Patienten wurden während der Sprechstunde persönlich angesprochen und um Mithilfe bei der Studie gebeten. Jeder Patient, der während des Untersuchungszeitraums Interesse hatte teilzunehmen, wurde in die Studie aufgenommen.

Das untersuchte Kollektiv umfasst 80 Patienten. Der Untersuchungsablauf beinhaltete eine Anamnese – diese wurde mittels eines Dokumentationsbogens festgehalten – (siehe Kapitel 3.3), eine Untersuchung der Füße mit standardisierten Untersuchungstechniken (siehe Kapitel 3.4), die Errechnung des Neuropathie Defizit Scores anhand der Untersuchungsergebnisse und eine posturographische Messung mit einem L.A.S.A.R-Messgerät und der zugehörigen L.A.S.A.R-Software.

Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich von März bis Mai 2007.

3.2 Ein- und Ausschlusskriterien

Einschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie:

- Diabetes mellitus Typ 1 oder Typ 2

Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie:

- vorangegangene Operationen oder Traumata, die die Bewegung, das Stehverhalten oder das Gangbild des Patienten beeinträchtigen
- Zustand nach Apoplex
- Morbus Parkinson
- akuter Bandscheibenvorfall oder Zustand nach Bandscheibenvorfall mit noch bestehenden neurologischen Beeinträchtigungen
- akute Schmerzen, die die Bewegung, das Stehverhalten oder das Gangbild des Patienten beeinträchtigen
- jegliche Erkrankungen des vestibulären Gleichgewichtssystems
- ausgeprägte Gelenkkontrakturen, die die Bewegung, das Stehverhalten oder das Gangbild des Patienten beeinträchtigen
- periphere Nervenschädigung (Parese)
- akute Läsion oder Ulzeration im Fußbereich
- Tragen von Schuhen mit Absätzen, die eine Höhe von mehr als zwei Zentimeter haben

3.3 Datenerhebungsbogen

Der Datenerhebungsbogen diente der systematischen Erfassung und Dokumentation aller relevanten Parameter. Zu diesem Zweck war er in mehrere Abschnitte untergliedert. In der nachfolgenden Abbildung (Abbildung 7) ist der Datenerhebungsbogen dargestellt.

Abbildung 7: Datenerhebungsbogen

Datum: _____
<u>Datenerhebungsbogen</u>
<u>Stammdaten</u>
Name, Vorname: _____
Geburtsdatum: _____ Alter: _____
<u>Allgemeine Angaben</u>
Größe : _____ Gewicht: _____ Geschlecht: _____
Diabetestyp: _____ Erstdiagnose: _____
Insulin seit: _____ HbA _{1c} : _____ mg/dl

Anamnese

- Voroperationen/Traumata der unteren Extremitäten:
-

Erkrankungen:

- KHK
- Apoplex Zeitpunkt: _____
- Morbus Parkinson
- Bandscheibenvorfall Zeitpunkt: _____
- Schmerzen im Bewegungsapparat _____
- Erkrankungen des vestibulären Gleichgewichtssystems _____

Orthopädie

Gelenkkontraktur

- keine
- rechts ○ Hüfte
- Knie
- OSG
- MTPG1

Gelenkimplantat

- keines
- rechts ○ Hüfte
- Knie

Sonstiges

Fußteillamputationen: _____ Krallenzehen: nein ja

Finger-Nase-Versuch

negativ positiv

10g Weinstein Filament

links Großzehe: _____ Großzehenballen: _____ Kleinzehe: _____

rechts Großzehe: _____ Großzehenballen: _____ Kleinzehe: _____

Vibrationen [x/8]

MTPG1 rechts 0 1 2 3 4 5 6 7 8 /8

links 0 1 2 3 4 5 6 7 8 /8

Malleolus rechts 0 1 2 3 4 5 6 7 8 /8

links 0 1 2 3 4 5 6 7 8 /8

Tibia rechts 0 1 2 3 4 5 6 7 8 /8

links 0 1 2 3 4 5 6 7 8 /8

Schmerzempfindung am Fußrücken

rechts normal vermindert/fehlend

links normal vermindert/fehlend

Temperaturempfinden am Fußrücken

rechts normal vermindert/fehlend

links normal vermindert/fehlend

Neuropathie Defizit Score

Gesamtscore: _____

3.4 Erläuterungen zum Datenerhebungsbogen

Einige Abschnitte des Datenerhebungsbogens, die sich nicht selbst erklären, werden im Folgenden erläutert. Insbesondere wird darauf eingegangen, wie bestimmte Untersuchungen durchgeführt wurden.

Bestimmung der Beinlängendifferenz:

Bei der Messung der Beinlänge war für die Studie vor allem von Bedeutung, ob eine Beinlängendifferenz (BLD) bei den Probanden besteht, da untersucht werden sollte, ob eine Beinlängendifferenz einen Einfluss auf die Ergebnisse der Posturographie hat. Bei der üblichen funktionellen Beinlängenmessung wird der Abstand zwischen der Spina iliaca anterior superior und dem Malleolus medialis gemessen. Da die Probanden in dieser Studie allerdings zum Teil stark adipös waren, so dass die Bestimmung der Lage der Spina iliaca anteriores superiores oft nur sehr ungenau vorgenommen werden konnte, wurde in dieser Arbeit von der üblichen funktionellen Beinlängenmessung gering abgewichen. Zunächst wurden an der Körperoberfläche am Rücken der

Probanden die grübchenartigen Hauteinziehungen markiert, die durch Fixierung der Haut am Knochen über den Spinae iliacae posteriores superiores entstehen. Dann wurde ausgehend von diesen Markierungen im Stand die Länge bis zum Malleolus medialis mithilfe eines Maßbandes bestimmt (siehe Abbildung 8). Anhand der Bestimmung der Beinlängen konnte so die Beinlängendifferenz festgestellt werden. Bei der Bestimmung der Beinlängendifferenz wurde jeweils die Beinlänge des rechten Beines von der Beinlänge des linken Beines subtrahiert, so dass positive und negative Werte entstanden.

Abbildung 8: Bestimmung der Beinlängendifferenz



Finger-Nase-Versuch:

Der Finger-Nase-Versuch wurde durchgeführt, um Koordinationsstörungen auszuschließen. Die Probanden wurden bei diesem Test dazu aufgefordert im Sitzen die Arme in Schulterhöhe nach links und rechts auszustrecken und dann bei geschlossenen Augen langsam im großen Bogen nacheinander die Zeigefinger an die Nasenspitze zu führen (siehe Abbildung 9).

Abbildung 9: Finger-Nase-Versuch



Die Erläuterung der Untersuchungen für die Empfindungsqualitäten Tiefensensibilität, Temperatur, Berührung und Schmerz können im Kapitel 1.1.4 nachgelesen werden. Die oben beschriebenen Untersuchungstechniken wurden für die Studie ausgewählt, da

sie im klinischen Alltag weitgehend eingesetzt werden. Sie werden zudem von den Nationalen Leitlinien (Dez 2006) für die Versorgung der diabetischen Fußkomplikation empfohlen [57].

Der Neuropathie Defizit Score wurde folgendermaßen berechnet (siehe Abbildung 10):

Abbildung 10: Berechnung des Neuropathie Defizit Scores

Achillessehnen-Reflex		
	rechts	links
Normal	0	0
Vermindert	1	1
Fehlend	2	2
Pallaesthesie MTPG1 dorsal		
Normal	0	0
Vermindert/fehlend	1	1
Schmerzempfinden am Fußrücken		
Normal	0	0
Vermindert/fehlend	1	1
Temperaturempfinden am Fußrücken		
Normal	0	0
Vermindert/fehlend	1	1

3.5 Posturographische Messungen**3.5.1 L.A.S.A.R Posture**

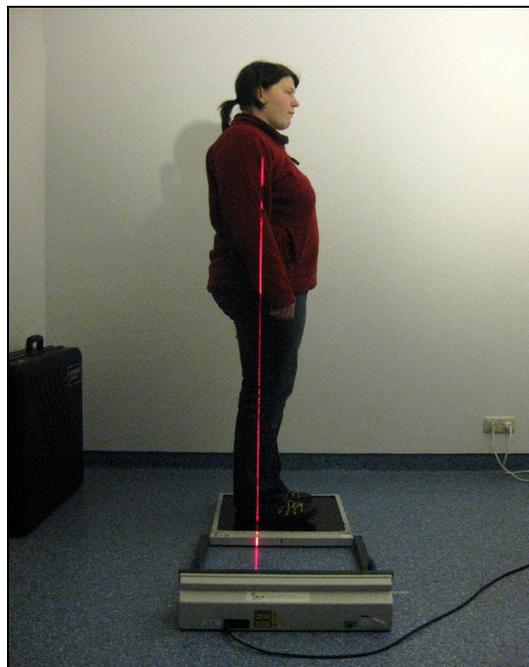
Die posturographischen Messungen wurden mithilfe eines L.A.S.A.R-Messgerätes und der dazugehörigen L.A.S.A.R-Software durchgeführt. Zum L.A.S.A.R-Messgerät gehören außerdem ein Positionierungssystem, eine Bedien- und Anzeigeeinheit und eine Höhenausgleichsplatte (siehe Abbildung 11).

Abbildung 11: Aufstellung des L.A.S.A.R Posture (Fa. Otto Bock) im Labor



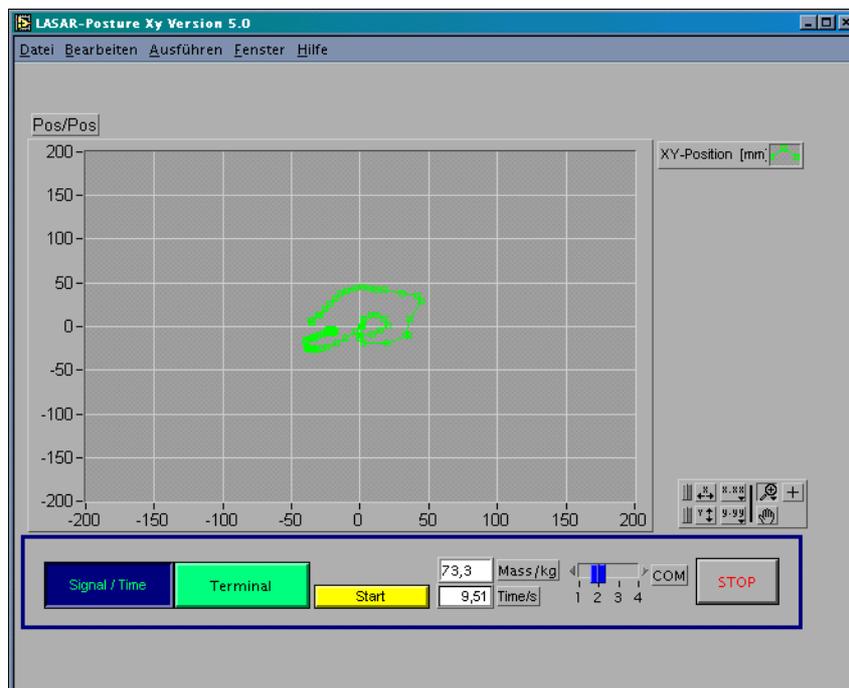
Das Messgerät wurde von der Firma Otto Bock Orthopädische Industrie GmbH entwickelt und hergestellt. Der Handelsname des Gerätes lautet L.A.S.A.R Posture (Laser Assisted Static Alignment Reference). Der von der Herstellerfirma Otto Bock angegebene Verwendungszweck für das L.A.S.A.R. Posture ist die Prüfung und Optimierung des Aufbaus einer Beinprothese direkt am Patienten. Während die Patienten auf einer Kraftmessplatte stehen, wird mit einem Laserstrahl die Position des Körperkraftschwerpunktes auf den Körper projiziert, so dass die Körperhaltung oder der statische Aufbau von orthopädischen Heil- und Hilfsmitteln direkt am Patienten überprüft werden kann (siehe Abbildung 12). So können aus dem Ergebnis Rückschlüsse über den statischen Aufbau von Prothesen oder Orthesen gezogen werden.

Abbildung 12: Messung mit dem L.A.S.A.R Posture



Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Gerät genutzt, um die Auslenkung des Kraftschwerpunktes einer Person auf der Messplatte in Form der zurückgelegten Strecke des Kraftschwerpunktes zu erfassen, um so das Schwanken des Körpers einer Person in einem definierten Zeitraum festzustellen. Als Ausgangspunkt der Strecke des Kraftschwerpunktes wurde die Lage des Kraftschwerpunktes des Körpers zu Beginn der Messung festgelegt. Die Software des L.A.S.A.R.-Gerätes erfasst die Messdaten. Dabei wird die Messplatte als Koordinatensystem dargestellt. Der Kraftschwerpunkt wird als ein grüner Punkt angezeigt, der sich abhängig von der Verlagerung des Schwerpunktes durch Schwanken des Körpers auf der Messplatte und damit auch auf dem Koordinatensystem verändert. Ein exemplarischer Verlauf des Kraftschwerpunktes auf dem Koordinatensystem während einer posturographischen Messung ist in Abbildung 13 dargestellt.

Abbildung 13: Verlauf des Kraftschwerpunktes während einer posturographischen Messung



Am Ende jeder Messung wird von der Software ein Messbericht erstellt. Dieser enthält Informationen über die Länge der Strecke, die vom Kraftschwerpunkt innerhalb des Messzeitraums vom Ausgangspunkt zurückgelegt wurde, sowie über den Radius der Fläche, die durch die Verlagerung des Schwerpunktes entsteht. Die Streckenlänge wird in dieser Arbeit als „Totale Länge“ (in der Abbildung „Total Length“), abgekürzt „T_Länge“, bezeichnet und der Radius (in der Abbildung „Radius-Mean“) wird durch die Abkürzung „Rad“ bezeichnet. Beide Werte werden jeweils in Millimeter angegeben. Im Folgenden (Abbildung 14) ist das Beispiel einer Displayausgabe eines Messergebnisses abgebildet.

Abbildung 14: Displayausgabe eines posturographischen Messergebnisses

A N A L Y S I S	
Radius-Mean:	3,46714
Radius-Standard Deviation:	2,46488
Total Length:	90,64073

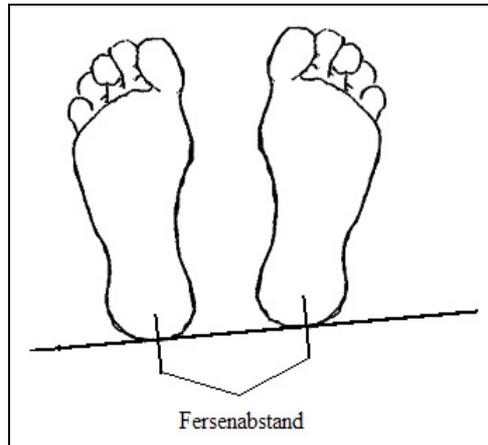
Um beurteilen zu können, ob das Tragen von Schuhen oder das Schließen der Augen Auswirkungen auf das Schwanken der Probanden hat, wurden die Messungen mit Schuhen oder ohne Schuhe und mit geöffneten oder geschlossenen Augen durchgeführt. In dieser Arbeit stehen die Abkürzungen „s+“ bzw. „s-“ dafür, dass die Patienten bei den Messungen mit (s+) bzw. ohne (s-) Schuhen auf der Messplatte standen. Die Abkürzung „a+“ bzw. „a-“ stehen dafür, dass die Patienten bei den Messungen die Augen geöffnet (a+) bzw. geschlossen (a-) hatten.

3.5.2 Ablauf der posturographischen Messungen

Der Grundgedanke dieser Arbeit ist, ein Verfahren zu testen, das eine Früherkennung der dPNP ermöglicht und somit schwerwiegende Folgeerkrankungen verhindert werden können (siehe Kapitel 2). Da es für ein derartiges Verfahren wünschenswert ist, dass es zuverlässig, günstig, schnell und einfach ist, wurden auch die posturographischen Messungen bei dieser Untersuchung kurz und einfach gehalten. Der genaue Ablauf der posturographischen Messungen bei der Datengewinnung für diese Arbeit wird im Folgenden beschrieben.

Zunächst wurde den Probanden der Ablauf der Messung erläutert. Um beurteilen zu können, ob der Abstand zwischen den beiden Füßen bei der Fußstellung auf der Messplatte einen Einfluss auf das Schwankverhalten der Probanden hat, wurde auf die Messplatte ein Bogen Papier gelegt, bevor die Probanden zum ersten Mal die Messplatte betraten. Die Probanden wurden dann aufgefordert, auf der Messplatte ihre normale Standhaltung einzunehmen. Die Bezeichnung „normale Standhaltung“ bezieht sich zum einen auf die Fußstellung auf der Messplatte und zum anderen auf die Körperhaltung des Probanden. Die Fußstellung und die Körperhaltung sollten dabei so eingenommen werden, wie die Probanden sie auch im Alltag beim Stehen einnehmen. Für die Haltung der Arme wurde bei der „normalen Standhaltung“ die Vorgabe gemacht, dass die Arme an den Seiten herabhängen sollten. Auf dem Papierbogen wurde nun bei bequemer Fußstellung der Probanden die Fußstellung in Form einer Umrandung der Fersen aufgezeichnet. Später wurde an die Fersenskizze eine Verbindungslinie gezeichnet, die beide Fersenumrandungen tangiert. Anschließend wurde dann der Abstand zwischen beiden Berührungspunkten der Verbindungslinie mit der Fersenumrandung bestimmt (siehe Abbildung 15 auf der folgenden Seite).

Abbildung 15: Bestimmung des Fersenabstands



Nach dem Skizzieren der Fersen wurde dann das Gewicht der Probanden notiert, das von dem L.A.S.A.R-Gerät angegeben wurde. Vor Beginn der Messung wurden die Probanden schließlich dazu aufgefordert den Kopf geradeaus zu richten, die Arme an den Seiten locker hängen zu lassen und während der Messung möglichst ruhig zu stehen. Um sicherzustellen, dass die Probanden während der Messung nicht abgelenkt wurden und damit möglichst unverfälschte Ergebnisse, d.h. eine kurze T_Länge und ein kleiner Radius, gemessen werden konnten, wurde auf eine ruhige Umgebung geachtet. Die Probanden wurden zusätzlich motiviert, sich auf die Messung zu konzentrieren und sich nicht ablenken zu lassen. Nach der Einweisung der Probanden wurden dann drei Messungen mit geöffneten Augen und mit Schuhen durchgeführt. Jede Messung umfasste dabei ein Zeitintervall von zehn Sekunden. Zwischen den drei Messungen verließen die Probanden die Messplatte nicht. Anschließend wurden drei Messungen mit geschlossenen Augen durchgeführt. Dazu wurden die Probanden jeweils direkt vor Beginn der zehnsekündigen Messung aufgefordert, die Augen zu schließen. Um sicher zu gehen, dass die Probanden während der Messung aufgrund von Standunsicherheit oder aus anderen Gründen die Augen nicht öffneten, wurden sie während der

Messungen beobachtet. Wenn es dazu kam, dass ein Proband während der Messungen die Augen öffnete oder mit geschlossenen Augen das Gleichgewicht verlor und die Messplatte verließ, wurde die Messung wiederholt. Nach den sechs Messungen mit Schuhen wurden die Probanden gebeten von der Messplatte hinunterzusteigen und ihre Schuhe auszuziehen. Danach betraten sie an den Füßen lediglich mit Socken bekleidet erneut die Messplatte und es wurden weitere sechs Messungen – drei mit geöffneten und drei mit geschlossenen Augen – von jeweils zehnssekündiger Dauer durchgeführt. Die gesamte posturographische Messung dauerte durchschnittlich ca. sechs Minuten. Der Ablauf der posturographischen Messungen ist in Abbildung 16 zusammengefasst.

Abbildung 16: Ablauf einer posturographischen Messung

1. Erklärung des Ablaufs der Messungen und Auflegen eines Papierbogens auf die Messplatte
2. Betreten der Messplatte durch den Probanden mit Schuhen und Einnahme der normalen Standhaltung
3. Skizzieren der Fersen auf dem Papierbogen und Notieren des Körpergewichts des Probanden
4. Instruktion des Probanden (Kopf geradeaus richten, konzentrieren)
5. Drei Messungen à zehn Sekunden mit geöffneten Augen
6. Drei Messungen à zehn Sekunden mit geschlossenen Augen
7. Proband verlässt die Messplatte und zieht seine Schuhe aus
8. Betreten der Messplatte durch den Probanden ohne Schuhe und Einnahme der normalen Standhaltung
9. Drei Messungen à zehn Sekunden mit geöffneten Augen
10. Drei Messungen à zehn Sekunden mit geschlossenen Augen

Für die spätere Auswertung wurde jeweils der kleinste Wert, d.h. der Wert mit der geringsten Auslenkung des Kraftschwerpunktes für T_Länge und Rad, verwendet. Der Grund dafür ist folgender: Die posturographischen Messungen kontrollieren im Rahmen dieser Studie die Leistungsfähigkeit eines Körpers in Bezug darauf möglichst ruhig zu stehen. Dabei besteht die beste Leistung darin niedrige Werte für T_Länge und Rad zu erzielen, und diese Werte sollten Ausgangspunkt der Berechnungen sein.

3.6 Gruppeneinteilung

Die Probanden wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Die Gruppeneinteilung der Patienten wurde auf Grundlage der Ergebnisse der für Diabetiker standardisierten Untersuchungen (siehe Kapitel 1.1.4) der Füße vorgenommen. Für die Feststellung der dPNP sind Untersuchungen mit dem Semmes-Weinstein Monofilament und der Rydel-Seifferschen Stimmgabel aussagekräftig und als Untersuchungsstandard etabliert [2, 44, 55, 59, 62, 69], so dass in dieser Arbeit die Ergebnisse dieser beiden Untersuchungen zur Gruppeneinteilung genutzt wurden.

In die erste Gruppe (Gruppe ØPNP) wurden die Diabetiker aufgenommen, die nach den festgelegten Kriterien dieser Arbeit nicht an einer diabetischen Polyneuropathie erkrankt waren, in die andere Gruppe (Gruppe PNP) wurden Diabetiker mit diabetischer Polyneuropathie aufgenommen. Folgende Kriterien wurden für die Einteilung in die Gruppen festgelegt:

- a) Vibrationsempfinden an ≥ 2 der untersuchten Stellen unter 4/8
- b) Semmes-Weinstein Monofilament an zwei Orten an einem Fuß pathologisch

Sobald eines der beiden Kriterien erfüllt wurde, wurde der Patient der Gruppe PNP zugeordnet.

3.7 Statistik

Die statistische Auswertung der Ergebnisse dieser Arbeit wurde mit der Software SPSS für Windows Release 15.0.1 (Nov 2006, Chicago) und mit freundlicher Unterstützung durch Frau Dr. Nani Osada vom Institut für medizinische Informatik und Biomathematik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster durchgeführt.

Um Aussagen über die Signifikanz und Korrelationen der Messergebnisse machen zu können, wurden der Mann-Whitney-Test, der Wilcoxon-Test sowie die bivariaten Korrelationen nach Pearson durchgeführt. Der Vergleich für die kategoriellen Variablen wurde mithilfe des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson und des exactem Fisher-Tests durchgeführt. Für den Vergleich der stetigen Variablen der zwei unabhängigen Gruppen wurde der Mann-Whitney-Test und für die zwei abhängigen Gruppen der Wilcoxon-Test benutzt. Das Signifikanz-Niveau ist zweiseitig und für einen p-Wert kleiner als 0,05 getestet. Die Patientendaten wurden in eine Excel-Tabelle (Microsoft Excel 2002) eingegeben. Die kategoriellen Patientenvariablen werden in Häufigkeiten bzw. Prozenten dargestellt und die stetigen Variablen in Mittelwert (MW) und Standardabweichung (σ) angegeben.

4. Ergebnisse

4.1 Allgemeine Analyse des gesamten Patientenkollektivs

Aus den Angaben der Datenerhebungsbögen leiten sich die in der allgemeinen Analyse des Patientenkollektivs ermittelten Ergebnisse direkt ab.

4.1.1 Stammdaten

Das Kollektiv umfasste 80 Probanden. Darunter befanden sich 35 Frauen (43,8 %) und 45 Männer (56,3 %). Die Probanden waren zum Zeitpunkt der Studie zwischen 22 und 89 Jahre alt. Das Durchschnittsalter betrug 60,51 Jahre bei einer Standardabweichung von 15,57 Jahren. Außerdem wurde aus den Angaben zur Größe und zum Gewicht der Body-Mass-Index errechnet. Durchschnittlich hatten die Probanden einen BMI von 31,76 kg/m² mit einer Standardabweichung von 6,6 kg/m², einem Maximum bei 51,9 kg/m² und einem Minimum bei 21 kg/m². Dabei fiel auf, dass 45 Probanden (56,3 %) als adipös einzustufen waren (BMI \geq 30 kg/m²), weitere 25 Personen (31,3 %) übergewichtig (BMI \geq 25 kg/m² und $<$ 30 kg/m²) waren und lediglich 10 Untersuchte (12,5 %) normalgewichtig waren (BMI $<$ 25 kg/m²) (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Geschlecht, Alter und BMI im Gesamtkollektiv

Anzahl	Gesamt	80	100 %
Geschlecht	♀	35	43,8 %
	♂	45	56,3 %
Alter in Jahren	Mittel	60,51	
	Min.	22	
	Max.	89	
	σ	15,6	
BMI (kg/m ²)	Mittel	31,76	
	σ	6,6	

4.1.2 Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie, HbA_{1c}-Wert

Im Kollektiv befanden sich 20 Typ-1-Diabetiker (25 %) und 60 Typ-2-Diabetiker (75 %). Die durchschnittliche Erkrankungsdauer betrug 14,73 Jahre (Standardabweichung 11,12 Jahre). Der längste Krankheitsverlauf wurde mit 44 Jahren angegeben und der kürzeste mit einem Jahr. Die Erkrankungsdauer wurde zudem zwischen Typ-1- und Typ-2-Diabetikern verglichen. Dabei zeigte sich eine deutlich längere Erkrankungsdauer bei den Typ-1-Diabetikern. Zum Untersuchungszeitpunkt wurden 64 Patienten (80 %) mit Insulin therapiert. Die durchschnittliche Dauer der Insulintherapie betrug 8,83 Jahre (Standardabweichung 10,51 Jahre). Der durchschnittliche HbA_{1c}-Wert betrug 7,76 % (Standardabweichung 1,36 %). Das Maximum des HbA_{1c}-wertes lag bei 14,3 % , das Minimum bei 5,6 % (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie und HbA_{1c}-Wert im Gesamtkollektiv

Anzahl	Gesamt	80	100 %
Diabetestyp	Typ 1	20	25 %
	Typ 2	60	75 %
Erkrankungsdauer in Jahren	Gesamt	Mittel	14,73
		σ	11,12
	Typ 1	Mittel	25,75
		σ	9,61
	Typ 2	Mittel	11,05
		σ	8,99

Dauer Insulintherapie in Jahren	Mittel	8,83
	σ	10,51
HbA_{1c} in %	Mittel	7,76
	σ	1,36

4.1.3 Hyperkeratose, Krallenzehen

Wie in Tabelle 6 dargestellt, hatten von den untersuchten Probanden 39 Personen (48,8 %) Hyperkeratose und 41 Probanden (51,3 %) hatten keine Hyperkeratose. Im Gesamtkollektiv hatten 14 Personen (17,5 %) Krallenzehen und 66 Probanden (82,5 %) hatten keine Krallenzehen.

Tabelle 6: Hyperkeratose und Krallenzehen im Gesamtkollektiv

Anzahl	Gesamt	80	100 %
Hyperkeratose	Ja	39	48,8 %
	Nein	41	51,3 %
Krallenzehen	Ja	14	17,5 %
	Nein	66	82,5 %

4.1.4 Patellasehnenreflex, Beinlängendifferenz

Bei der Untersuchung des Patellasehnenreflexes war bei 43 Probanden (53,8 %) der Reflex rechts und bei 40 Probanden (50 %) der Reflex links normal. 30 Patienten (37,5 %) hatten rechts und 30 Patienten (37,5 %) hatten links einen verminderten Sehnenreflex. Bei sieben Probanden (8,8 %) konnte rechts und bei 10 Probanden (12,5 %) links kein Reflex ausgelöst werden. Die Beinlängendifferenz betrug im Mittel 0,01 cm mit einer Standardabweichung von 0,77 cm, einem Maximum von 1,5 cm und einem Minimum von -3 cm. Die Ergebnisse sind in Tabelle 7 zusammengefasst.

Tabelle 7: Patellasehnenreflex und Beinlängendifferenz im Gesamtkollektiv

Anzahl	Gesamt	80	100 %
Patellasehnenreflex rechts	normal	43	53,8 %
	vermindert	30	37,5 %
	fehlend	7	8,8 %
Patellasehnenreflex links	normal	40	50,0 %
	vermindert	30	37,5 %
	fehlend	10	12,5 %
Beinlängendifferenz in cm	Mittel	0,01	
	σ	0,77	

4.1.5 Fußulkus

Wie in Tabelle 8 dargestellt, wurde bei der Ulkusanamnese herausgefunden, dass zwei Probanden (2,5 %) in der Vergangenheit mehrmals, d.h. zweimal und öfter, ein Fußulkus hatten. Fünf Probanden (6,3 %) hatten ein Ulkus in der Vergangenheit und die übrigen 73 Probanden (91,3 %) hatten noch nie ein Ulkus.

Tabelle 8: Fußulkus im Gesamtkollektiv

Anzahl	Gesamt	80	100 %
Ulkus	≥ 2	2	2,5 %
	1	5	6,3 %
	0	73	91,3 %

4.2 Allgemeine Analyse innerhalb der Gruppen

4.2.1 Gruppe ohne diabetische Polyneuropathie (ØPNP)

Die Definition der Gruppe ohne Polyneuropathie (ØPNP) erfolgte in Kapitel 3.6.

4.2.1a Stammdaten

In die Gruppe ØPNP wurden 48 Personen aufgenommen. Darunter waren 23 Frauen (47,9 %) und 25 Männer (52,1 %). Das durchschnittliche Alter in der Gruppe betrug 53,65 Jahre mit einer Standardabweichung von 15,22 Jahren. Der jüngste Proband war 22 Jahre alt und der älteste Proband war 79 Jahre alt.

Beim BMI ergab sich in dieser Gruppe ein durchschnittlicher Wert von 31,36 kg/m² mit einer Standardabweichung von 6,3 kg/m². 27 Probanden (56,3 %) waren als adipös einzustufen, 14 Probanden (29,2 %) als übergewichtig und 7 Probanden (14,6 %) als normalgewichtig (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Geschlecht, Alter und BMI in der Gruppe ØPNP

Anzahl	Gruppe ØPNP	48	100 %
Geschlecht	♀	23	47,9 %
	♂	25	52,1 %
Alter in Jahren	Mittel	53,65	
	Min.	22	
	Max.	79	
	σ	15,2	
BMI (kg/m²)	Mittel	31,36	
	σ	6,3	

4.2.1b Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie, HbA_{1c}-Wert

In der Gruppe ØPNP befanden sich 16 Typ-1-Diabetiker (33,3 %) und 32 Probanden (66,7 %) waren Typ-2-Diabetiker.

Die durchschnittliche Erkrankungsdauer betrug 13,33 Jahre. Der längste Krankheitsverlauf wurde mit 44 Jahren angegeben und der kürzeste mit einem Jahr. Aus den Angaben der Patienten ergab sich eine Standardabweichung von 10,49 Jahren für die Erkrankungsdauer. Der Mittelwert der Erkrankungsdauer der Typ-1-Diabetiker betrug 23,56 Jahre mit einer Standardabweichung von 9,50 Jahren. Der Mittelwert der Erkrankungsdauer der Typ-2-Diabetiker betrug 8,22 Jahre mit einer Standardabweichung von 6,50 Jahren.

Zum Untersuchungszeitpunkt wurden 38 Patienten (79,2 %) mit Insulin therapiert. Die durchschnittliche Dauer der Insulintherapie bei diesen Patienten betrug 9,56 Jahre mit einer Standardabweichung von 11,25 Jahren, einem Maximum bei 44 Jahren und einem Minimum bei einem Jahr.

Der durchschnittliche HbA_{1c}-Wert betrug 7,97 % mit einer Standardabweichung von 1,52 %. Das Maximum des HbA_{1c}-Wertes lag bei 14,3 % und das Minimum bei 5,6 %. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 10 auf der folgenden Seite zusammengefasst.

Tabelle 10: Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie und HbA_{1c}-Wert in der Gruppe ØPNP

Anzahl	Gruppe ØPNP	48	100 %
Diabetestyp	Typ 1	16	33,3 %
	Typ 2	32	66,7 %
Erkrankungsdauer in Jahren	Gesamt	Mittel	13,33
		σ	10,49
	Typ 1	Mittel	23,56
		σ	9,50
	Typ 2	Mittel	8,22
		σ	6,50
Dauer Insulintherapie in Jahren	Mittel	9,56	
	σ	11,25	
HbA_{1c} in %	Mittel	7,97	
	σ	1,52	

4.2.1c Hyperkeratose, Krallenzehen

In dieser Gruppe hatten von den untersuchten Probanden 20 Personen (41,7 %) Hyperkeratose. Die übrigen 28 Probanden (58,3 %) hatten keine Hyperkeratose. Es wurde zudem festgestellt, dass vier Personen (8,3 %) Krallenzehen hatten und die übrigen 44 Probanden (91,7 %) keine Krallenzehen hatten (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Hyperkeratose und Krallenzehen in der Gruppe ØPNP

Anzahl	Gruppe ØPNP	48	100 %
Hyperkeratose	Ja	20	41,7 %
	Nein	28	58,3 %
Krallenzehen	Ja	4	8,3 %
	Nein	44	91,7 %

4.2.1d Patellasehnenreflex, Beinlängendifferenz

Bei der Untersuchung des Patellasehnenreflexes war bei 34 Patienten (70,8 %) der Reflex rechts und bei 31 Patienten (64,6 %) der Reflex links normal. Jeweils neun Patienten (18,8 %) hatten rechts und links einen verminderten Sehnenreflex. Bei fünf Probanden (10,4 %) konnte rechts und bei acht Probanden (16,7 %) links kein Reflex ausgelöst werden.

Die Beinlängendifferenz (BLD) betrug im Mittel -0,07 cm mit einer Standardabweichung von 0,73 cm, einem Minimum von -3 cm und einem Maximum von 1,5 cm (siehe Tabelle 12).

Tabelle 12: Patellasehnenreflex und Beinlängendifferenz in der Gruppe ÖPNP

Anzahl	Gruppe ÖPNP	48	100 %
Patellasehnenreflex rechts	normal	34	70,8 %
	vermindert	9	18,8 %
	fehlend	5	10,4 %
Patellasehnenreflex links	normal	31	64,6 %
	vermindert	9	18,8 %
	fehlend	8	16,7 %
Beinlängendifferenz in cm	Mittel	-0,07	
	σ	0,73	

4.2.1e Fußulkus

Bei der Ulkusanamnese wurde herausgefunden, dass vier Probanden (8,3 %) in der Vergangenheit ein Ulkus hatten und die übrigen 44 Probanden (91,7 %) noch nie ein Ulkus hatten (siehe Tabelle 13 auf der folgenden Seite).

Tabelle 13: Fußulkus in der Gruppe ØPNP

Anzahl	Gruppe ØPNP	48	100 %
Ulkus	≥ 2	0	0 %
	1	4	8,3 %
	0	44	91,7 %

4.2.2 Gruppe mit diabetischer Polyneuropathie (PNP)

Die Definition der Gruppe PNP erfolgte im Abschnitt 3.6. In diese Gruppe wurden die Patienten aufgenommen, die nach den in dieser Arbeit festgelegten Kriterien (Vibrationsempfinden an zwei oder mehr der untersuchten Stellen unter 4/8 oder Semmes-Weinstein Monofilament an zwei Orten an einem Fuß pathologisch) eine dPNP haben.

4.2.2a Stammdaten

In die Gruppe PNP wurden 32 Personen aufgenommen. Darunter waren zwölf Frauen (37,5 %) und 20 Männer (62,5 %). Das durchschnittliche Alter betrug 70,81 Jahre mit einer Standardabweichung von 9,15 Jahren. Der jüngste Proband in dieser Gruppe war 53 Jahre alt und der älteste Proband war 89 Jahre alt. Beim BMI ergab sich ein durchschnittlicher Wert von 32,36 kg/m² mit einer Standardabweichung von 7 kg/m². Als adipös wurden 18 Probanden (56,3 %) eingestuft, elf Probanden (34,4 %) waren übergewichtig und drei Probanden (9,4 %) normalgewichtig (siehe Tabelle 14 auf der folgenden Seite).

Tabelle 14: Geschlecht, Alter und BMI in der Gruppe PNP

Anzahl	Gruppe PNP	32	100 %
Geschlecht	♀	12	37,5 %
	♂	20	62,5 %
Alter in Jahren	Mittel	70,81	
	Min.	53	
	Max.	89	
	σ	9,2	
BMI (kg/m ²)	Mittel	32,36	
	σ	7,0	

4.2.2b Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie, HbA_{1c}-Wert

Es befanden sich in der Gruppe PNP vier Typ-1-Diabetiker (12,5 %) und 28 Typ-2-Diabetiker (87,5 %). Die durchschnittliche Erkrankungsdauer betrug 16,81 Jahre mit einer Standardabweichung von 11,86 Jahren. Der längste Krankheitsverlauf wurde mit 41 Jahren angegeben und der kürzeste Krankheitsverlauf mit zwei Jahren. Es wurden ebenfalls die Mittelwerte der Erkrankungsdauer zwischen Typ-1- und Typ-2-Diabetikern verglichen. Der Mittelwert der Erkrankungsdauer der Typ-1-Diabetiker betrug 34,50 Jahre mit einer Standardabweichung von 2,38 Jahren. Der Mittelwert der Erkrankungsdauer der Typ-2-Diabetiker betrug 14,29 Jahre (Standardabweichung von 10,38 Jahren) und lag damit deutlich unter dem Mittelwert

der Erkrankungsdauer der Typ-1-Diabetiker. Es wurden 26 Patienten (81,3 %) mit Insulin therapiert. Die durchschnittliche Dauer der Insulintherapie bei diesen Patienten betrug 7,73 Jahre mit einer Standardabweichung von 9,34 Jahren. Das Maximum der Dauer der Insulintherapie lag bei sechs Jahren und das Minimum bei einem Jahr. Der durchschnittliche HbA_{1c}-Wert betrug 7,45 % mit einer Standardabweichung von 1,02 %. Das Maximum des HbA_{1c}-Wertes lag bei 9,9 % und das Minimum bei 6 %. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie und HbA_{1c}-Wert in der Gruppe PNP

Anzahl	Gruppe PNP	32	100 %
Diabetestyp	Typ 1	4	12,5 %
	Typ 2	28	87,5 %
Erkrankungsdauer in Jahren	Gesamt	Mittel	16,81
		σ	11,86
	Typ 1	Mittel	34,50
		σ	2,38
	Typ 2	Mittel	14,29
		σ	10,38
Dauer Insulintherapie in Jahren	Mittel	7,73	
	σ	9,34	
HbA_{1c} in %	Mittel	7,45	
	σ	1,02	

4.2.2c Hyperkeratose, Krallenzehen

In der Gruppe PNP hatten von den untersuchten Probanden 19 Personen (59,4 %) beidseitig Hyperkeratose. Die übrigen 13 Probanden (40,6 %) hatten keine Hyperkeratose. Zehn Personen (31,3 %) hatten Krallenzehen und die übrigen 22 Probanden (68,8 %) hatten keine Krallenzehen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Hyperkeratose und Krallenzehen in der Gruppe PNP

Anzahl	Gruppe PNP	32	100 %
Hyperkeratose	Ja	19	59,4 %
	Nein	13	40,6 %
Krallenzehen	Ja	10	31,3 %
	Nein	22	68,8 %

4.2.2d Patellasehnenreflex, Beinlängendifferenz

Bei der Untersuchung des Patellasehnenreflexes war bei jeweils neun Patienten (28,1 %) der Reflex rechts und links normal. Jeweils 21 Probanden (65,6 %) hatten rechts und links einen verminderten Sehnenreflex. Bei jeweils zwei Probanden (6,3 %) konnte rechts und links kein Reflex ausgelöst werden.

Die Beinlängendifferenz betrug im Mittel 0,13 cm mit einer Standardabweichung von 0,82 cm, einem Minimum von -1,5 cm und einem Maximum von 1,5 cm (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Patellasehnenreflex und Beinlängendifferenz in der Gruppe PNP

Anzahl	Gruppe PNP	32	100 %
Patellasehnenreflex rechts	normal	9	28,1 %
	vermindert	21	65,6 %
	fehlend	2	6,3 %
Patellasehnenreflex links	normal	9	28,1 %
	vermindert	21	65,6 %
	fehlend	2	6,3 %
Beinlängendifferenz in cm	Mittel	0,13	
	σ	0,82	

4.2.2e Fußulkus

Bei der Ulkusanamnese wurde herausgefunden, dass zwei Probanden (6,3 %) in der Vergangenheit mehrmals, d.h. zweimal und öfter, ein Ulkus hatten. Ein Proband (3,1 %) hatte in der Vergangenheit ein einziges Ulkus und die übrigen 29 Probanden (90,6 %) hatten noch nie ein Ulkus (siehe Tabelle 18).

Tabelle 18: Fußulkus in der Gruppe PNP

Anzahl	Gruppe PNP	32	100 %
Ulkus	≥ 2	2	6,3 %
	1	1	3,1 %
	0	29	90,6 %

4.3 Tabellarische Zusammenfassung der allgemeinen Analyse des Gesamtkollektivs und innerhalb der Gruppen

Zur besseren Übersicht sind die Angaben für das gesamte Probandenkollektiv und jeweils für beide Gruppen in den zwei nachfolgenden Tabellen (Tabelle 19 und 20) zusammengefasst.

Patientendaten:Tabelle 19: Zusammenfassung von Geschlecht, Alter, BMI, Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie, HbA_{1c} im Gesamtkollektiv und innerhalb der Gruppen

		Gesamtes Kollektiv		Gruppe ØPNP		Gruppe PNP	
Anzahl	Gesamt	80	100 %	48	100 %	32	100 %
Geschlecht	♀	35	43,8 %	23	47,9 %	12	37,5 %
	♂	45	56,3 %	25	52,1 %	20	62,5 %
Alter in Jahren	Mittel	60,51		53,65		70,81	
	Min.	22		22		53	
	Max.	89		79		89	
	σ	15,6		15,2		9,2	
BMI (kg/m²)	Mittel	31,76		31,36		32,36	
	σ	6,6		6,3		7,0	
Diabetestyp	Typ 1	20	25 %	16	33,3 %	4	12,5 %
	Typ 2	60	75 %	32	66,7 %	28	87,5 %
Erkrankungsdauer in Jahren	Mittel	14,73		13,33		16,81	
	σ	11,12		10,49		11,86	
Dauer Insulintherapie in Jahren	Mittel	8,83		9,56		7,73	
	σ	10,51		11,25		9,34	
HbA_{1c}-Wert in %	Mittel	7,76		7,97		7,45	
	σ	1,36		1,52		1,02	

Ergebnisse:

Tabelle 20: Zusammenfassung von Hyperkeratose, Krallenzehen, Patellasehnenreflex, Beinlängendifferenz und Ulkus im Gesamtkollektiv und innerhalb der Gruppen

		Gesamtes Kollektiv		Gruppe ØPNP		Gruppe PNP	
Anzahl	Gesamt	80	100 %	48	100 %	32	100 %
Hyperkeratose	Ja	39	48,8 %	20	41,7 %	19	59,4 %
	Nein	41	51,3 %	28	58,3 %	13	40,6 %
Krallenzehen	Ja	14	17,5 %	4	8,3 %	10	31,3 %
	Nein	66	82,5 %	44	91,7 %	22	68,8 %
Patellasehnenreflex rechts	normal	43	53,8 %	34	70,8 %	9	28,1 %
	vermindert	30	37,5 %	9	18,8 %	21	65,6 %
	fehlend	7	8,8 %	5	10,4 %	2	6,3 %
Patellasehnenreflex links	normal	40	50,0 %	31	64,6 %	9	28,1 %
	vermindert	30	37,5 %	9	18,8 %	21	65,6 %
	fehlend	10	12,5 %	8	16,7 %	2	6,3 %
Beinlängendifferenz in cm	Mittel	0,01		-0,07		0,13	
	σ	0,77		0,73		0,82	
Ulkus	≥ 2	2	2,5 %	0	0 %	2	6,3 %
	1	5	6,3 %	4	8,3 %	1	3,1 %
	0	73	91,3 %	44	91,7 %	29	90,6 %

4.4 Gruppenunterschiede bzgl. Patientenmerkmalen

Bei der statistischen Auswertung der Daten wurde unter anderem untersucht, ob es einen Unterschied zwischen den Gruppen bzgl. der Patientenmerkmale gibt. Dazu wurden die stetigen Variablen, also die Ergebnisse für Größe, Gewicht, BMI, Diabetes-Dauer, HbA_{1c}, Insulin-Dauer und Beinlängendifferenz, mithilfe des Mann-Whitney-Tests auf Signifikanz in Bezug auf die Zuordnung zu den Gruppen ØPNP und PNP untersucht. Die kategoriellen Variablen, also die Ergebnisse für Geschlecht, Hyperkeratose, Diabetestyp, Krallenzehen und Patellasehnenreflex, wurden mithilfe des Chi-Quadrat-Tests nach Pearson auf Signifikanz in Bezug auf die Zuordnung zu den Gruppen ØPNP und PNP untersucht.

Liegt keine Signifikanz vor ($p\text{-Wert} > 0,05$), so gilt die Nullhypothese. Das bedeutet in diesem Zusammenhang, dass es keinen Unterschied zwischen den Gruppen für die oben aufgezählten Variablen gibt. Liegt Signifikanz vor ($p\text{-Wert} \leq 0,05$), so gilt die Alternativhypothese. Das bedeutet, dass es einen Unterschied zwischen den beiden Gruppen für die oben aufgezählten Variablen gibt.

Die Tests zeigten keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Zuordnung zu den Gruppen bezüglich des Geschlechts, der Größe, des Gewichts, des BMIs, der Diabetes-Dauer, des HbA_{1c}-Wertes, der Dauer der Insulintherapie, der Hyperkeratose, der Beinlängendifferenz und der Ulzera der Probanden.

Im Gegensatz dazu wiesen die Tests auf signifikante Unterschiede in Bezug auf die Zuordnung zu den Gruppen bzgl. des Alters ($p < 0,001$), des Diabetestyps ($p = 0,035$), der Krallenzehen ($p = 0,008$) und der Patellasehnenreflexe bds ($p < 0,001$) hin. Die p-Werte sind in den Tabellen (Tabelle 21 und 22) auf der folgenden Seite angegeben.

Tabelle 21: Nicht signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bzgl. Patientenmerkmalen

Merkmal	p-Wert
Geschlecht	0,356
Größe	0,414
Gewicht	0,922
BMI	0,637
Diabetes-Dauer	0,184
HbA _{1c} -Wert	0,160
Dauer der Insulintherapie	0,836
Hyperkeratose re	0,082
Hyperkeratose li	0,121
Beinlängendifferenz	0,511
Ulkus	0,769

Tabelle 22: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bzgl. Patientenmerkmalen

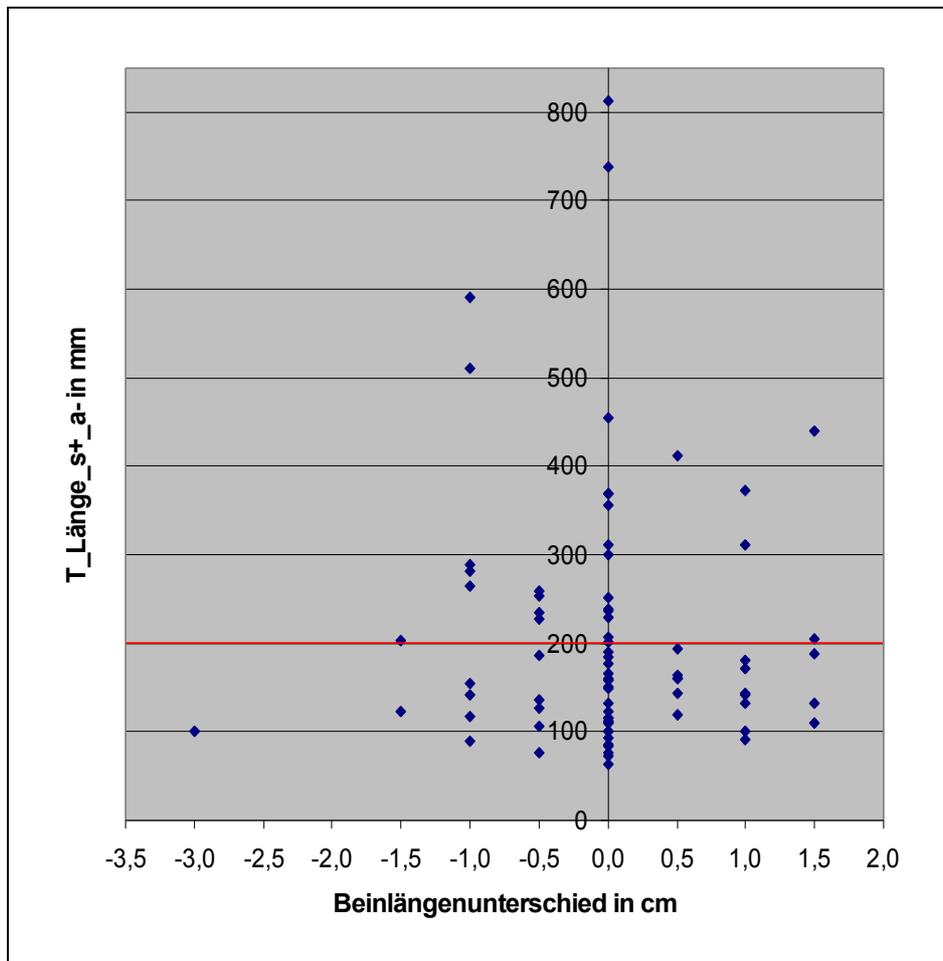
Merkmal	p-Wert
Alter	$\leq 0,001$
Diabetestyp	0,035
Krallenzehen	0,008
Patellasehnenreflex re und li	$\leq 0,001$

4.5 Vergleich der Messergebnisse der Posturographie bzgl. möglicher Einflussfaktoren

Um beurteilen zu können, ob das Vorliegen bestimmter Merkmale einen Einfluss auf die Ergebnisse der posturographischen Messung hat, wurde untersucht, ob es Zusammenhänge zwischen den posturographischen Messergebnissen und möglichen Einflussfaktoren gibt. Dabei wurden zunächst exemplarisch einige Tests mit den Merkmalen durchgeführt, von denen am ehesten ein Einfluss auf die Messergebnisse erwartet wurde.

Zunächst wurde der mögliche Einfluss einer Beinlängendifferenz überprüft. Exemplarisch wurde für die Posturographie das kleinste Messergebnis der Probanden für T_Länge_s+_a- verwendet. Der Zusammenhang ist in Diagramm 1 auf der folgenden Seite graphisch dargestellt.

Diagramm 1: Zusammenhang zwischen der Beinlängendifferenz und den posturographischen Ergebnissen für T_Länge_s+_a-



Die rote Linie in der Abbildung markiert den Mittelwert für T_Länge_s+_a- des gesamten Kollektivs. Er liegt bei 206,37 mm. Durch die Abbildung wird ersichtlich, dass die Messergebnisse von T_Länge_s+_a- unabhängig vom Beinlängenunterschied sind. Untersucht man die Mittelwerte für T_Länge_s+_a- abhängig von der Beinlängendifferenz, so stellt man fest, dass sie sich dem Mittelwert des Gesamtkollektivs annähern. In der folgenden Tabelle (Tabelle 23) sind die Mittelwerte abhängig von der Beinlängendifferenz angegeben.

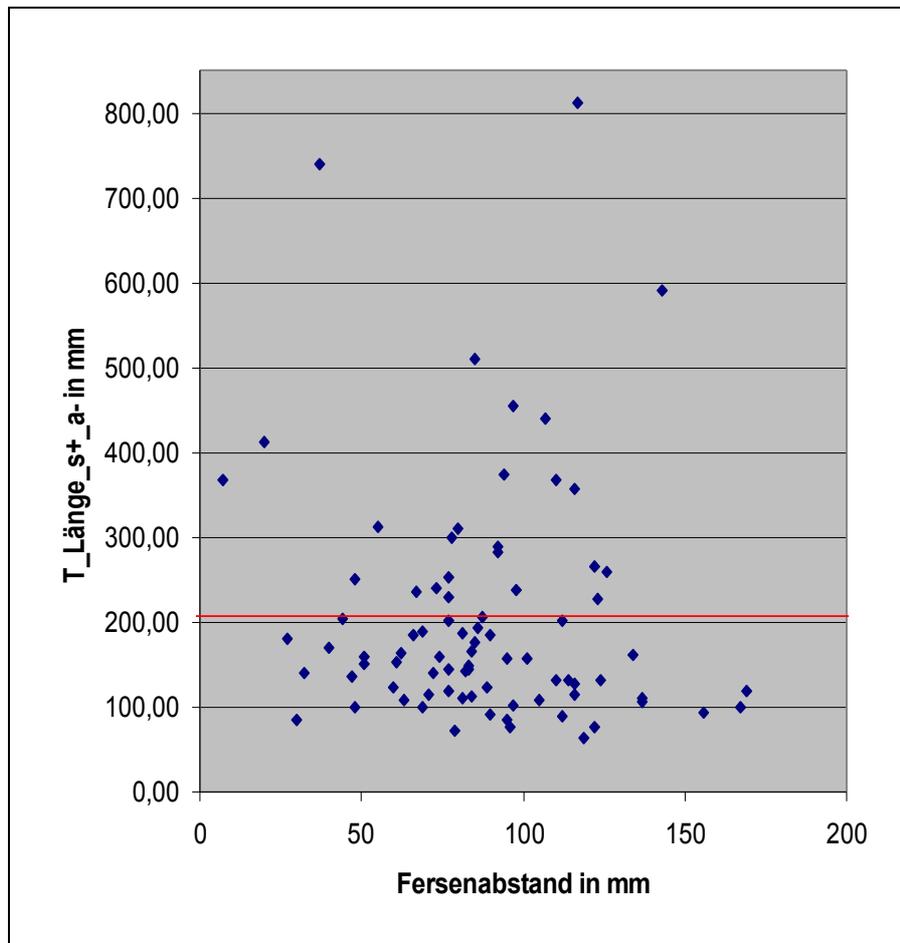
Tabelle 23: Mittelwerte für T_Länge_s+_a- abhängig von der Beinlängendifferenz

Beinlängendifferenz	MW
-3 cm	101,24 mm
-1,5 cm	162,42 mm
-1,0 cm	271,23 mm
-0,5 cm	178,42 mm
0,0 cm	209,62 mm
0,5 cm	193,45 mm
1,0 cm	182,78 mm
1,5 cm	214,46 mm

Bei der statistischen Untersuchung ergab sich keine signifikante Korrelation. Der p-Wert beträgt 0,831. Auch die Überprüfung zwischen der Beinlängendifferenz und den anderen posturographischen Messergebnissen ergab keinen signifikanten Zusammenhang.

Ein weiteres Merkmal, das als möglicher Einflussfaktor überprüft wurde, war der Abstand der Fersen der Probanden auf der Messplatte bei der posturographischen Messung. Dazu wurde exemplarisch für die Posturographie wiederum das kleinste Messergebnis der Probanden für T_Länge_s+_a- verwendet. Im Diagramm 2 auf der folgenden Seite ist der Zusammenhang graphisch dargestellt.

Diagramm 2: Zusammenhang zwischen dem Fersenabstand und den posturographischen Ergebnissen für T_Länge_s+_a-



Wiederum markiert die rote Linie in der Abbildung den Mittelwert für T_Länge_s+_a- des Gesamtkollektivs. Durch die Abbildung wird ersichtlich, dass die Messergebnisse von T_Länge_s+_a- ebenfalls unabhängig vom Fersenabstand sind. Auch bei der statistischen Untersuchung ergab sich keine signifikante Korrelation. Der p-Wert beträgt 0,501.

4.6 Test der Hypothesen

4.6.1 H 1: Vergleich der posturographischen Messung mit den Ergebnissen der Rydel-Seifferschen Stimmgabel und des Semmes-Weinstein Monofilaments

Um Hypothese 1 zu testen, wurde untersucht, ob eine signifikante Korrelation zwischen den Standarduntersuchungen (siehe Kapitel 1.1.4) der dPNP und den Ergebnissen der posturographischen Messung besteht. Bei der Berechnung wurden die Werte des gesamten Kollektivs genutzt, da die Untersuchung zur Erfassung eines grundsätzlichen Zusammenhangs zwischen der Posturographie und den Untersuchungen mit der Rydel-Seifferschen Stimmgabel bzw. dem Semmes-Weinstein Monofilament durchgeführt wurde. Die Untersuchungen wurden an beiden Füßen durchgeführt. Für die Berechnungen wurde jeweils das Ergebnis des Fußes verwendet, der am stärksten von der dPNP betroffen ist.

Zunächst wurden die Ergebnisse der Untersuchung mit der Rydel-Seifferschen Stimmgabel mit den posturographischen Ergebnissen für T_Länge und Rad auf signifikante Korrelationen untersucht. Die p-Werte sind in Tabelle 24 auf der folgenden Seite zusammengefasst.

Tabelle 24: Korrelationen zwischen den Ergebnissen der Posturographie und der Rydel-Seifferschen Stimmgabel

	Vibrationen MTPG1	Vibrationen Malleolus	Vibrationen Tibia
T_Länge_s+_a+	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$
Rad_s+_a+	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$
T_Länge_s+_a-	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$
Rad_s+_a-	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$
T_Länge_s-_a+	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$
Rad_s-_a+	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$
T_Länge_s-_a-	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$
Rad_s-_a-	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$

Die Tabelle zeigt für alle posturographischen Messergebnisse eine signifikante Korrelation mit den Ergebnissen der Rydel-Seifferschen Stimmgabel.

Im nächsten Schritt wurden die posturographischen Ergebnisse für T_Länge und Rad auf signifikante Korrelationen mit den Ergebnissen der Untersuchung mit dem Semmes-Weinstein Monofilament überprüft. Die p-Werte sind in der folgenden Tabelle 25 zusammengefasst.

Tabelle 25: Korrelationen zwischen den Ergebnissen der Posturographie und des Semmes-Weinstein Monofilaments

	Weinstein Großzehe	Weinstein Großzehenballen	Weinstein Kleinzehe
T_Länge_s+_a+	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$
Rad_s+_a+	$p = 0,005$	$p = 0,001$	$p = 0,001$
T_Länge_s+_a-	$p = 0,002$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$
Rad_s+_a-	$p = 0,045$	$p = 0,009$	$p \leq 0,001$
T_Länge_s-_a+	$p = 0,002$	$p \leq 0,001$	$p = 0,001$
Rad_s-_a+	$p = 0,014$	$p = 0,009$	$p \leq 0,001$
T_Länge_s-_a-	$p = 0,006$	$p \leq 0,001$	$p = 0,004$
Rad_s-_a-	$p = 0,056$	$p = 0,003$	$p \leq 0,001$

Auch hier zeigt sich für fast alle Werte eine signifikante Korrelation der posturographischen Ergebnisse mit den Untersuchungsergebnissen des Semmes-Weinstein Monofilaments. Die einzige Ausnahme bildet die Korrelation des Messergebnisses Rad_s-_a- mit den Untersuchungsergebnissen des Semmes-Weinstein Monofilaments an der Großzehe. Diese Korrelation ist nicht signifikant.

4.6.2 H 2: Unterscheidung zwischen Diabetikern mit diabetischer Polyneuropathie und Diabetikern ohne diabetischer Polyneuropathie mit Hilfe der Posturographie

Um Hypothese 2, die Möglichkeit einer Unterscheidung zwischen Diabetikern mit dPNP und Diabetiker ohne dPNP mit Hilfe der Posturographie, zu testen, wurden zwei verschiedenen Verfahren angewandt. Diese werden in den folgenden Abschnitten (Kapitel 4.6.2a und 4.6.2b) präsentiert.

4.6.2a Untersuchung der posturographischen Messergebnisse in Bezug auf die Zuteilung zu den Gruppen

Beim ersten Verfahren wurden zunächst die posturographischen Messdaten in Bezug auf die Zuteilung zu den Gruppen ØPNP und PNP getestet. Bei der Auswertung der Messdaten ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf alle Messergebnisse von T_Länge und Rad. Unabhängig davon, welche Bedingungen bei den posturographischen Messungen gewählt wurden, d.h. ob die Patienten die Augen geöffnet oder geschlossen hatten bzw. ob die Patienten bei den Messungen Schuhe trugen oder nicht, sind die Unterschiede zwischen den Gruppen signifikant. In Tabelle 26 auf der folgenden Seite sind die p-Werte aufgelistet.

Tabelle 26: Signifikanz der Unterschiede zwischen den Gruppen bzgl. der posturographischen Messergebnisse

	Signifikanz
T_Länge_s+_a+	$p \leq 0,001$
Rad_s+_a+	$p \leq 0,001$
T_Länge_s+_a-	$p \leq 0,001$
Rad_s+_a-	$p \leq 0,001$
T_Länge_s-_a+	$p \leq 0,001$
Rad_s-_a+	$p \leq 0,001$
T_Länge_s-_a-	$p \leq 0,001$
Rad_s-_a-	$p \leq 0,001$

Zudem wurden die Mittelwerte und die Standardabweichung der Messungen der Gruppen, sowie die Differenzen der Mittelwerte (Δ MW) zwischen den Gruppen bestimmt. Die Differenzen wurden zum einen in Form von absoluten Zahlen errechnet. Zum anderen wurden sie relativ, also in Form einer Prozentzahl errechnet. Die Prozentwerte beziehen sich auf den Mittelwert der Gruppe ØPNP. Die Prozentangaben ermöglichen es abzuschätzen, bei welchen Messungen die Differenz zwischen den Gruppen relativ am größten ist.

In der folgenden Tabelle (Tabelle 27) sind die Mittelwerte und Standardabweichungen der Messungen bzgl. der Gruppen, sowie die Differenzen der Mittelwerte (Δ MW) in absoluten und relativen Zahlen angegeben.

Tabelle 27: Mittelwerte der posturographischen Ergebnisse in den Gruppen und Differenzen der Mittelwerte

	MW Gruppe ØPNP	MW Gruppe PNP	Δ MW der Gruppen ØPNP und PNP	
			absolut	relativ
T_Länge_s+_a+	108,52 mm \pm 40,11 mm	199,01 mm \pm 91,76 mm	90,48 mm	83,4 %
Rad_s+_a+	3,34 mm \pm 1,29 mm	5,57 mm \pm 2,55 mm	2,23 mm	66,7 %
T_Länge_s+_a-	151,17 mm \pm 72,57 mm	289,18 mm \pm 175,71 mm	138,02 mm	91,3 %
Rad_s+_a-	3,96 mm \pm 1,63 mm	6,72 mm \pm 3,71 mm	2,76 mm	69,5 %
T_Länge_s-_a+	100,61 mm \pm 38,44 mm	149,25 mm \pm 55,36 mm	48,65 mm	48,4 %
Rad_s-_a+	3,01 mm \pm 1,14 mm	4,11 mm \pm 1,15 mm	1,10 mm	36,6 %
T_Länge_s-_a-	132,64 mm \pm 53,60 mm	209,88 mm \pm 108,63 mm	77,24 mm	58,2 %
Rad_s-_a-	3,36 mm \pm 1,13 mm	5,16 mm \pm 2,42 mm	1,80 mm	53,5 %

Es zeigt sich, dass die Mittelwerte für die Werte T_Länge und Rad in der Gruppe ØPNP deutlich kleiner sind als die Mittelwerte in der Gruppe PNP. Zudem werden durch die Prozentangabe der Differenzen (Δ MW der Gruppen in Prozent) die relativen Unterschiede zwischen den beiden Gruppen deutlich. Anhand dieser Werte ist es ebenfalls möglich die beiden posturographischen Messparameter T_Länge und Rad bzgl. der relativen Differenzen zwischen den Gruppen zu vergleichen. In der folgenden Tabelle 28 sind die relativen Differenzen zur besseren Übersicht noch einmal in anderer Form dargestellt.

Tabelle 28: Relative Differenzen der Mittelwerte zwischen den Gruppen bezogen auf die Messparameter T_Länge und Rad

Messbedingungen	Δ MW von T_Länge zwischen den Gruppen	Δ MW von Rad zwischen den Gruppen
s+_a+	83,4 %	66,7 %
s+_a-	91,3 %	69,5 %
s-_a+	48,4 %	36,6 %
s-_a-	58,2 %	53,5 %

In dieser Darstellungsweise lässt sich deutlich erkennen, dass die Messwerte von T_Länge unter den jeweils gleichen Messbedingungen immer deutlichere Differenzen zwischen den Gruppen anzeigen als die Messwerte von Rad. Dies weist daraufhin, dass der Messparameter T_Länge besser als der Messparameter Rad dazu geeignet ist

zwischen den Gruppen, und somit auch zwischen Diabetikern mit dPNP und Diabetikern ohne dPNP, zu unterscheiden.

Um darzustellen, bei welcher Kombination eines Messparameters und den Messbedingungen (siehe Kapitel 3.5) die relative Differenz am größten ist, sind die relativen Differenzen in Tabelle 29 in absteigender Reihenfolge aufgelistet.

Tabelle 29: Relative Differenzen der Mittelwerte zwischen den Gruppen bezogen auf die Messparameter T_Länge und Rad in absteigender Reihenfolge

Messungen	Δ MW zwischen den Gruppen [%]
T_Länge_s+_a-	91,3
T_Länge_s+_a+	83,4
Rad_s+_a-	69,5
Rad_s+_a+	66,7
T_Länge_s-_a-	58,2
Rad_s-_a-	53,5
T_Länge_s-_a+	48,4
Rad_s-_a+	36,6

Die Tabelle zeigt, dass der Unterschied zwischen den Gruppen ØPNP und PNP bei der Kombination des Messparameters T_Länge mit der Messbedingung „mit Schuhen“ (s+) relativ am größten ist.

4.6.2b Vergleich der posturographischen Messungen mit dem Neuropathie Defizit Score

Beim zweiten Verfahren zur Unterscheidung zwischen Diabetikern mit dPNP und Diabetikern ohne dPNP mit Hilfe der Posturographie wurden die Ergebnisse der posturographischen Messung mit den Werten des Neuropathie Defizit Scores (NDS) der Probanden auf signifikante Korrelationen untersucht. Da sich beim ersten Verfahren zur Untersuchungen der zweiten Hypothese (siehe Kapitel 4.6.2a) zeigte, dass der Messparameter T_Länge besser als der Messparameter Rad dazu geeignet ist zwischen Diabetikern mit dPNP und Diabetikern ohne dPNP zu unterscheiden, wurden die Ergebnisse der posturographischen Messungen für T_Länge bzgl. der Ergebnisse des Neuropathie Defizit Scores getestet.

Es wurden die Messergebnisse des Gesamtkollektivs genutzt, da die Untersuchung zur Erfassung eines grundsätzlichen Zusammenhangs zwischen der Posturographie und dem Neuropathie Defizit Score durchgeführt wurde. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in der folgenden Tabelle 30 zusammengefasst.

Tabelle 30: Korrelationen zwischen den Ergebnissen der Posturographie und dem Neuropathie Defizit Score

	T_Länge_ s+_a+	T_Länge_ s+_a-	T_Länge_ s-_a+	T_Länge_ s-_a-
Neuropathie Defizit Score	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$p \leq 0,001$	$p = 0,001$

Es zeigt sich, dass alle posturographischen Messergebnisse für T_Länge signifikant mit dem Neuropathie Defizit Score korrelieren. Aufgrund dieser deutlich signifikanten Korrelationen schien es möglich mit Hilfe der posturographischen Messungen nicht nur eine Unterscheidung zwischen Diabetikern ohne dPNP und Diabetikern mit dPNP vornehmen zu können; sogar eine Einteilung der Schweregrade der Polyneuropathie mit Hilfe der posturographischen Messungen schien möglich zu sein.

Zur Untersuchung dieses Sachverhalts wurden Regressionsanalysen durchgeführt. Mit Hilfe dieser Analysen kann untersucht werden, ob es einen funktionalen Zusammenhang zwischen den Werten der posturographischen Messungen und den Werten des Neuropathie Defizit Scores gibt. Zur besseren Darstellung der Zusammenhänge zwischen dem Neuropathie Defizit Score und den Ergebnissen der posturographischen Messungen wurden Streudiagramme mit der zugehörigen Regressionsgeraden erstellt.

In den Streudiagrammen ist der Neuropathie Defizit Score die abhängige Variable. Er ist in den Diagrammen auf der Ordinatenachse (y-Achse) aufgezeichnet und als ordinalskalierte Daten mit den Werten null bis zehn angegeben. Die unabhängige Variable war jeweils die T_Länge unter den unterschiedlichen Messbedingungen (siehe Kapitel 3.5). Die unabhängige Variable ist jeweils auf der Abszissenachse (x-Achse) aufgezeichnet. Die Maßeinheit beträgt hier Millimeter.

Das Ziel der Regressionsanalyse ist, in Abhängigkeit von T_Länge, den Wert des Neuropathie Defizit Scores für einen Patienten errechnen zu können. Das heißt, die Schwere der dPNP soll mit Hilfe des Messergebnisses von T_Länge bestimmt werden. Dazu setzt man in die Regressionsgleichung für x die T_Länge ein, um so den Wert für y, also den Neuropathie Defizit Score, zu bestimmen.

Zusätzlich wurde das R-Quadrat, auch Bestimmtheitsmaß genannt, dieser Regressionsgeraden bestimmt. Das R-Quadrat kann Werte zwischen 0 und 1 annehmen,

wobei 0 bedeutet, dass kein linearer Zusammenhang zwischen den beiden Variablen besteht und 1 bedeutet, dass ein perfekter linearer Zusammenhang besteht. Je größer also das R-Quadrat ist, desto stärker werden die tatsächlichen y-Werte durch die theoretisch mittels der Regressionsfunktion ermittelten y-Werte determiniert [21]. Auf den folgenden Seiten sind die Zusammenhänge zwischen dem Neuropathie Defizit Score und den jeweiligen Ergebnissen für T_Länge in vier Diagrammen (Diagramm 3-6) dargestellt.

Diagramm 3: Zusammenhang zwischen dem Neuropathie Defizit Score und den Ergebnissen für T_Länge_s+_a+

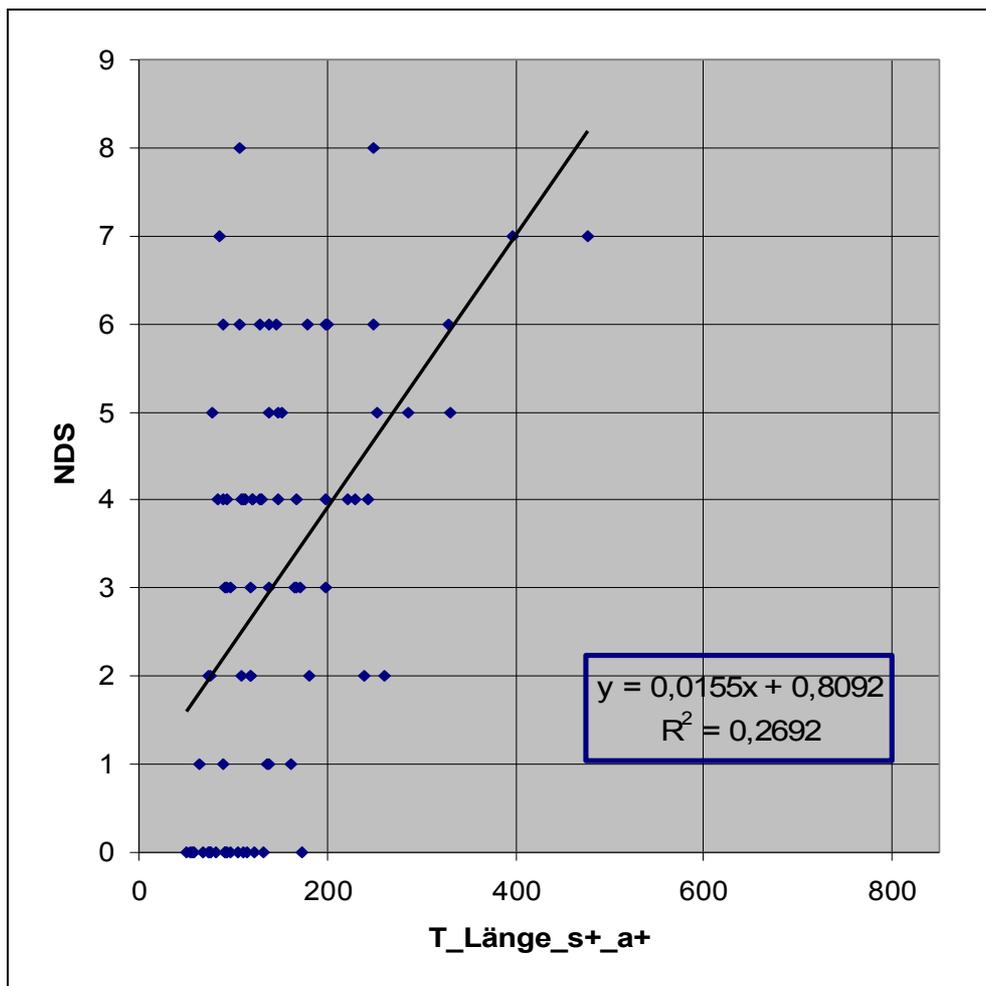
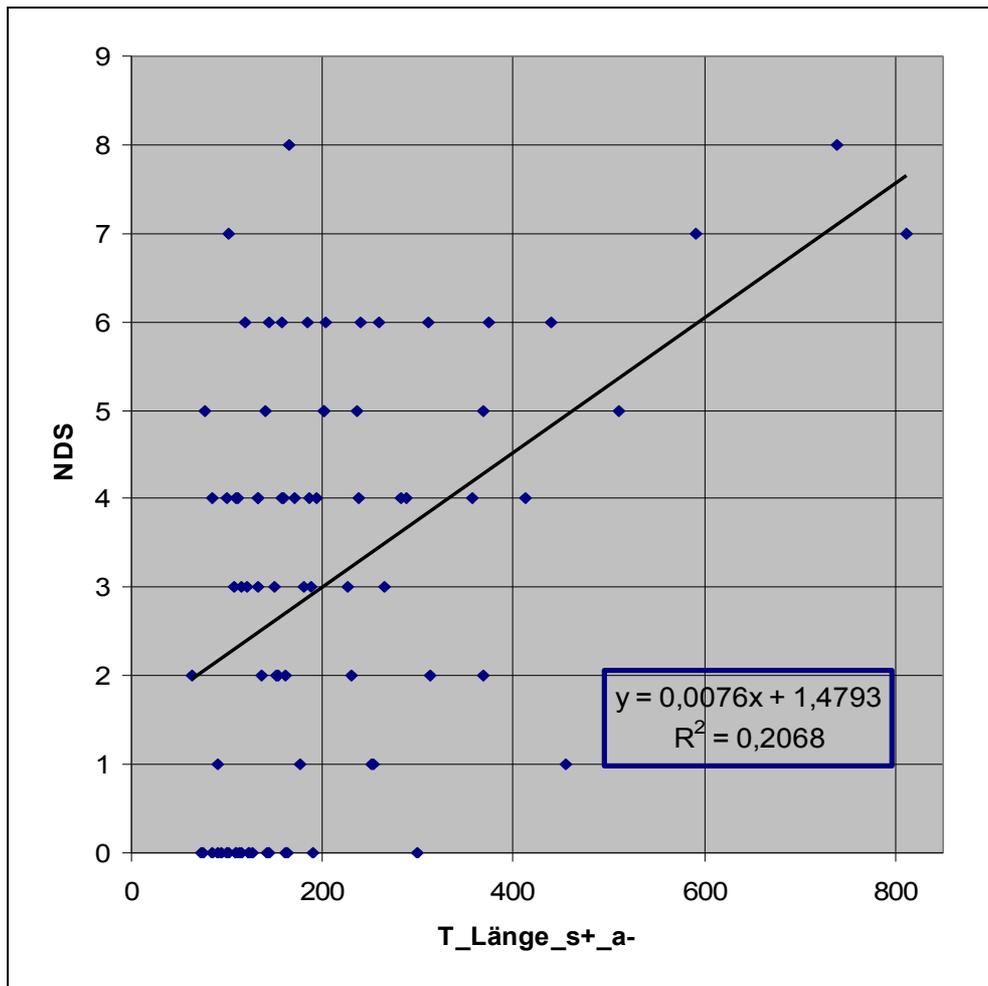
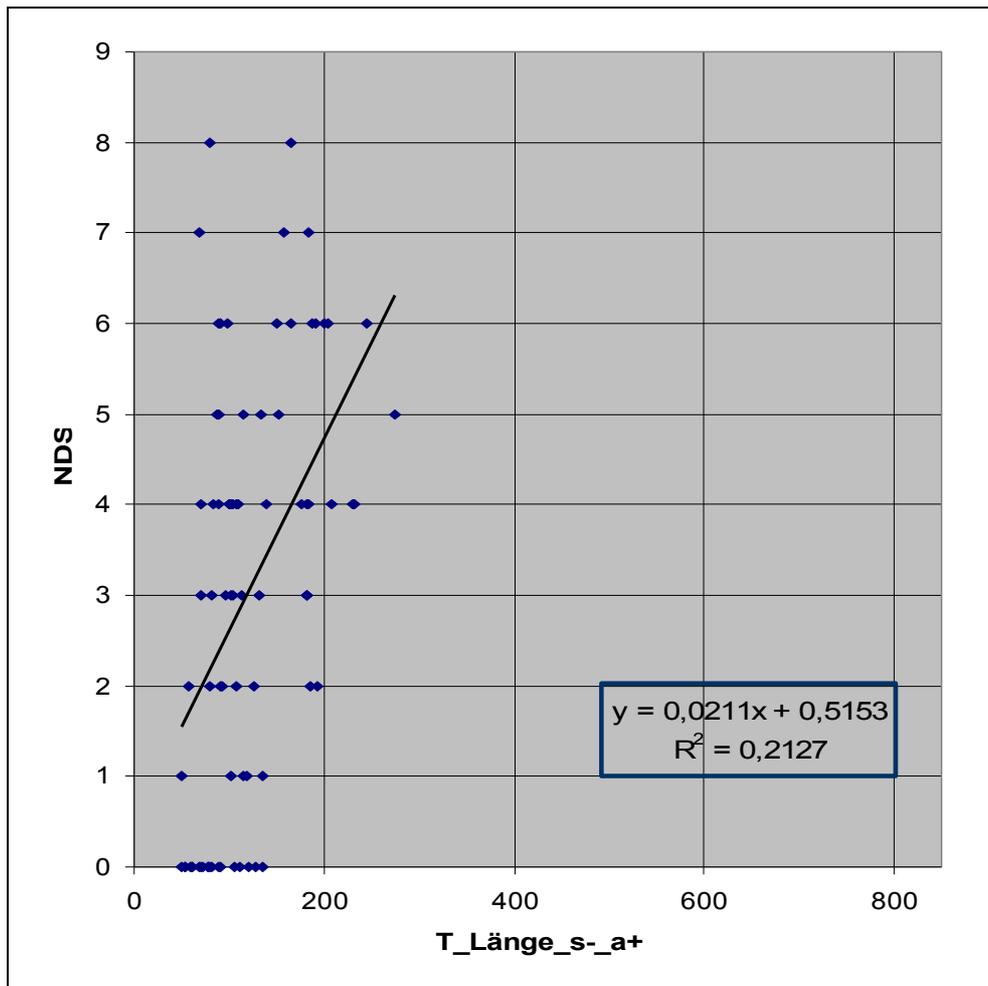


Diagramm 4: Zusammenhang zwischen dem Neuropathie Defizit Score und den Ergebnissen für T_Länge_s+_a-



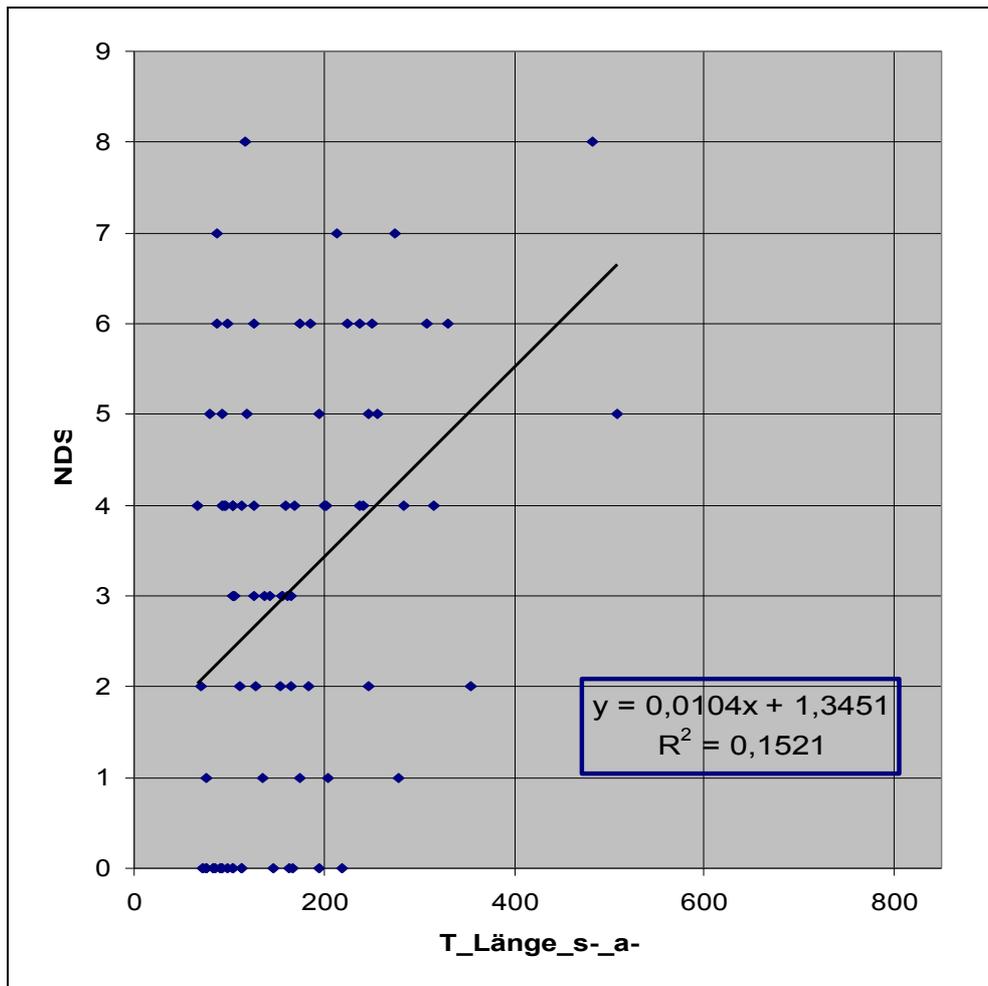
Die Regressionsgleichung für die Messergebnisse von T_Länge_s+_a- und die Ergebnisse des Neuropathie Defizit Scores lautet $y = 0,0076x + 1,4793$, das R-Quadrat beträgt 0,2068.

Diagramm 5: Zusammenhang zwischen dem Neuropathie Defizit Score und den Ergebnissen für T_Länge_s-_a+



Die Regressionsgleichung für die Messergebnisse von T_Länge_s-_a+ und die Ergebnisse des Neuropathie Defizit Scores lautet $y = 0,0211x + 0,5153$, das R-Quadrat beträgt 0,2127.

Diagramm 6: Zusammenhang zwischen dem Neuropathie Defizit Score und den Ergebnissen für T_Länge_s-_a-



Die Regressionsgleichung für die Messergebnisse von T_Länge_s-_a- und die Ergebnisse des Neuropathie Defizit Scores lautet $y = 0,0104x + 1,3451$, das R-Quadrat beträgt 0,1521.

Beim Vergleich der R-Quadrate von allen vier Regressionsanalysen ergibt sich folgende absteigende Reihenfolge (siehe Tabelle 31):

Tabelle 31: R-Quadrate der Regressionsanalysen der Zusammenhänge zwischen dem NDS und den Ergebnissen der posturographischen Messungen

Messwert	R-Quadrat
T_Länge_s+_a+	0,269
T_Länge_s-_a+	0,213
T_Länge_s+_a-	0,207
T_Länge_s-_a-	0,152

Die geringen Werte für R-Quadrat zeigen, dass die Beurteilung der Schwere der diabetischen Polyneuropathie sehr ungenau ist, wenn sie ausschließlich anhand der Messergebnisse der Posturographie bestimmt wird.

4.6.2c Grenzwert zur Entscheidung über das Vorliegen einer dPNP

Folgend aus dem oben dargestellten Resultat wurde untersucht, ob es möglich ist, eine Grenze für die posturographischen Messwerte für T_Länge festzulegen, bei deren Überschreitung die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer dPNP so stark erhöht ist, dass eine weitergehende Untersuchung sinnvoll wäre.

Ausgehend von der Überlegung, dass die posturographischen Messergebnisse der Probanden mit einem Neuropathie Defizit Score kleiner gleich zwei, d.h. der Probanden ohne relevante neuropathische Defizite, als Maß für eine solche Grenze sinnvoll sind, wurden die Mittelwerte der Messergebnisse dieser Probanden gebildet. Die Mittelwerte sind in der folgenden Tabelle 33 aufgelistet.

Tabelle 32: Mittelwerte von T_Länge aller Probanden mit einem Neuropathie Defizit Score ≤ 2

Messbedingungen von T_Länge	MW und σ bei NDS ≤ 2
T_Länge_s+_a+	108,11mm \pm 49,69mm
T_Länge_s+_a-	161,75mm \pm 90,34mm
T_Länge_s-_a+	94,10mm \pm 35,80mm
T_Länge_s-_a-	137,23mm \pm 67,15mm

Anschließend wurden in Anlehnung an diese Mittelwerte unterschiedliche Grenzwerte bzgl. ihrer Sensitivität und Spezifität in Bezug auf das Vorliegen einer dPNP untersucht.

Für den Messwert T_Länge_s+_a+ ergaben sich folgende Ergebnisse (siehe Tabelle 33):

Tabelle 33: Sensitivität und Spezifität von Grenzwerten für T_Länge_s+_a+

Grenzwert	Sensitivität	Spezifität
90 mm	0,89	0,42
95 mm	0,82	0,52
100 mm	0,81	0,55
108,11 mm	0,77	0,58
115 mm	0,70	0,64

Für den Messwert T_Länge_s-_a+ ergaben sich folgende Ergebnisse (siehe Tabelle 34):

Tabelle 34: Sensitivität und Spezifität von Grenzwerten für T_Länge_s-_a+

Grenzwert	Sensitivität	Spezifität
85 mm	0,87	0,48
90 mm	0,77	0,52
94,10 mm	0,74	0,61
100 mm	0,70	0,61

Für den Messwert T_Länge_s+_a- ergaben sich folgende Ergebnisse (siehe Tabelle 35):

Tabelle 35: Sensitivität und Spezifität von Grenzwerten für T_Länge_s+_a-

Grenzwert	Sensitivität	Spezifität
135 mm	0,72	0,48
140 mm	0,72	0,52
150 mm	0,66	0,58
155 mm	0,66	0,63
161,75 mm	0,60	0,69

Für den Messwert T_Länge_s-_a- ergaben sich folgende Ergebnisse (siehe Tabelle 36):

Tabelle 36: Sensitivität und Spezifität von Grenzwerten für T_Länge_s-_a-

Grenzwert	Sensitivität	Spezifität
110 mm	0,72	0,45
115 mm	0,70	0,55
125 mm	0,66	0,55
130 mm	0,60	0,58
137,23 mm	0,60	0,61

Bei der Beurteilung der Grenzwerte wurde einer hohen Sensitivität ein größerer Stellenwert eingeräumt als einer hohen Spezifität, da die Auswirkungen einer durch den Test nicht erkannten dPNP, d.h. eines falsch negativen Tests, wesentlich schwerwiegender wären als die Auswirkungen eines falsch positiven Tests. Die Spezifität kann Werte von 0 bis 1 betragen. Mit Hilfe der Spezifität wird bestimmt, wie wirksam ein Test für negative Individuen ist. Beträgt die Spezifität 1, so wird mit einem Test jeder wahre Negative erkannt. Mit der Abnahme der Spezifität nimmt auch der Anteil der wahren Negativen an der Anzahl der durch den Test als negativ Bestimmten ab. Falls die Spezifität 0,5 beträgt, ist der Test gleichwertig einer zufälligen Ziehung und bei Werten $< 0,5$ ist der Test kontraproduktiv. In Anlehnung an diese Überlegungen wurden für die einzelnen Messbedingungen folgende Grenzwerte festgelegt (dargestellt in Tabelle 37):

Tabelle 37: Festgelegte Grenzwerte für T_Länge unter den verschiedenen Messbedingungen mit dazugehöriger Sensitivität und Spezifität

Messbedingungen von T_Länge	Grenzwert	Sensitivität	Spezifität
T_Länge_s+_a+	100 mm	0,81	0,55
T_Länge_s-_a+	90 mm	0,77	0,52
T_Länge_s+_a-	140 mm	0,72	0,52
T_Länge_s-_a-	115 mm	0,70	0,55

Es zeigt sich, dass das beste Verhältnis von hoher Sensitivität und Spezifität bei einem Grenzwert von 100 mm für T_Länge_s+_a+ besteht.

4.6.3 H 3: Einfluss der Messbedingungen auf die posturographischen Messungen

Bei den Bedingungen, unter denen die posturographischen Messungen durchgeführt wurden, wurde zwischen Messungen mit Schuhen und ohne Schuhe bzw. zwischen Messungen mit offenen und geschlossenen Augen unterschieden (siehe Kapitel 3.5). Um Hinweise darauf zu erlangen, ob die Messbedingungen einen Einfluss auf die posturographischen Messergebnisse haben, wurden die Mittelwerte der Messungen genauer betrachtet. Es wurden, abhängig von den Bedingungen, die Werte für T_Länge und Rad verglichen. Dabei wurden die Vergleiche innerhalb des gesamten Kollektivs und jeweils innerhalb der beiden Gruppen durchgeführt.

4.6.3a Unterschiede der Mittelwerte im Gesamtkollektiv

Messbedingung Augen offen bzw. Augen geschlossen:

Zunächst wurden die posturographischen Messdaten in Bezug auf die Messbedingung Augen offen bzw. Augen geschlossen getestet. Bei der Auswertung der Messdaten ergaben sich signifikante Unterschiede für die posturographischen Messergebnisse in Bezug auf die Messbedingung Augen offen bzw. Augen geschlossen. In der folgenden Tabelle (Tabelle 38) sind die p-Werte für die Unterschiede der Messergebnisse mit offenen bzw. mit geschlossenen Augen jeweils für T_Länge und Rad mit bzw. ohne Schuhe angegeben.

Tabelle 38: Signifikanz der Unterschiede der Ergebnisse der Posturographie bzgl. der Messbedingung Augen offen bzw. geschlossen im Gesamtkollektiv

	p-Wert der Unterschiede zw. a+ und a-
MW T_Länge_s+	$\leq 0,001$
MW T_Länge_s-	$\leq 0,001$
MW Rad_s+	$\leq 0,001$
MW Rad_s-	$\leq 0,001$

Zudem wurden die Mittelwerte der Messungen mit offenen bzw. geschlossenen Augen bestimmt, sowie die Differenzen der Mittelwerte (Δ MW) zwischen den Messbedingungen. Die Differenzen werden in absoluten Zahlen und in relativen Werten angegeben. Die Prozentwerte beziehen sich in der folgenden Tabelle (Tabelle 39) jeweils auf den Mittelwert der Messungen mit geschlossenen Augen.

Tabelle 39: Mittelwerte der Messungen mit offenen bzw. geschlossenen Augen und deren Differenzen im Gesamtkollektiv

	Augen offen	Augen geschlossen	Δ MW von Augen offen/geschlossen	
MW T_Länge_s+	144,72 mm \pm 79,06 mm	206,37 mm \pm 140,99 mm	61,55 mm \pm 82,06 mm	29,8 %
MW T_Länge_s-	120,07 mm \pm 51,55 mm	163,53 mm \pm 88,26 mm	43,47 mm \pm 57,19 mm	26,6 %
MW Rad_s+	4,23 mm \pm 2,18 mm	5,07 mm \pm 2,97 mm	0,84 mm \pm 1,82 mm	16,6 %
MW Rad_s-	3,45 mm \pm 1,26 mm	4,08 mm \pm 1,96 mm	0,63 mm \pm 1,52 mm	15,4 %

Es zeigt sich, dass die Mittelwerte für die Werte T_Länge und Rad bei den Messungen mit offenen Augen deutlich kleiner sind als die Mittelwerte der Messungen mit geschlossenen Augen. Zudem werden durch die Prozentangabe der Differenzen (Δ MW) auch die relativen Unterschiede zwischen den Messparametern deutlich. Es lässt sich erkennen, dass die Messwerte von T_Länge deutlichere Differenzen anzeigen als die Messwerte von Rad.

Messbedingung mit Schuhen bzw ohne Schuhe:

Im folgenden Schritt wurden die Daten in Bezug auf die Messungen mit Schuhen bzw. ohne Schuhe getestet. Dabei ergaben sich ebenfalls signifikante Unterschiede. In der folgenden Tabelle (Tabelle 40) sind die p-Werte der statistischen Untersuchung der Messergebnisse mit Schuhen bzw. ohne Schuhe angegeben.

Tabelle 40: Signifikanz der Unterschiede der Ergebnisse der Posturographie bzgl. der Messbedingung mit Schuhen bzw. ohne Schuhe im Gesamtkollektiv

	p-Wert der Unterschiede von s+ und s-
MW T_Länge_a+	$\leq 0,001$
MW T_Länge_a-	$\leq 0,001$
MW Rad_a+	$\leq 0,001$
MW Rad_a-	$\leq 0,001$

Auch für die Messungen mit Schuhen bzw. ohne Schuhe wurden die Mittelwerte bestimmt, sowie die Differenzen der Mittelwerte (Δ MW) zwischen den Messbedingungen. Die Differenzen werden, wie bereits in Kapitel 4.6.2a, in absoluten Zahlen und in relativen Werten angegeben. Die Prozentwerte beziehen sich in der folgenden Tabelle (Tabelle 41) jeweils auf den Mittelwert der Messungen mit Schuhen.

Tabelle 41: Mittelwerte der Messungen mit Schuhen bzw. ohne Schuhe und deren Differenzen im Gesamtkollektiv

	Mit Schuhen	Ohne Schuhe	Δ MW von mit/ohne Schuhe	
MW T_Länge_a+	144,72 mm \pm 79,06 mm	120,07 mm \pm 51,55 mm	24,65 mm \pm 54,20 mm	17,0 %
MW T_Länge_a-	206,37 mm \pm 140,99 mm	163,53 mm \pm 88,26 mm	42,84 mm \pm 87,23 mm	20,8 %
MW Rad_a+	4,23 mm \pm 2,18 mm	3,45 mm \pm 1,26 mm	0,78 mm \pm 1,61 mm	18,4 %
MW Rad_a-	5,07 mm \pm 2,97 mm	4,08 mm \pm 1,96 mm	0,98 mm \pm 2,02 mm	19,3 %

Es zeigt sich, dass die Mittelwerte für die Werte T_Länge und Rad bei den Messungen ohne Schuhen deutlich kleiner sind als die Mittelwerte der Messungen mit Schuhen. Anhand der Prozentangabe der Differenzen (Δ MW) lässt sich erkennen, dass die Messwerte von T_Länge und Rad ähnliche relative Differenzen zwischen den Messungen haben.

4.6.3b Unterschiede der Mittelwerte in der Gruppe ØPNP

Für die Gruppe ØPNP wurden die gleichen Untersuchungen wie für das Gesamtkollektiv (siehe Kapitel 4.6.3a) durchgeführt.

Messbedingung Augen offen bzw. Augen geschlossen:

Bei der Auswertung ergaben sich ausschließlich signifikante Unterschiede für die posturographischen Messergebnisse in Bezug auf die Messbedingung Augen offen bzw. Augen geschlossen. In der folgenden Tabelle (Tabelle 42) sind die p-Werte der statistischen Untersuchung der Messergebnisse mit offenen bzw. mit geschlossenen Augen angegeben.

Tabelle 42: Signifikanz der Unterschiede der Ergebnisse der Posturographie bzgl. der Messbedingung Augen offen bzw. geschlossen in der Gruppe ØPNP

	p-Wert der Unterschiede von a+ und a-
MW T_Länge_s+	$\leq 0,001$
MW T_Länge_s-	$\leq 0,001$
MW Rad_s+	0,002
MW Rad_s-	0,019

In der folgenden Tabelle (Tabelle 43) sind die Mittelwerte der Messungen mit offenen bzw. geschlossenen Augen bestimmt, sowie die Differenzen der Mittelwerte (Δ MW)

zwischen den Messbedingungen in absoluten Zahlen und in relativen Werten. Die Prozentwerte beziehen sich jeweils auf den Mittelwert der Messungen mit geschlossenen Augen.

Tabelle 43: Mittelwerte der Messungen mit offenen bzw. geschlossenen Augen und deren Differenzen in der Gruppe ÖPNP

	Augen offen	Augen geschlossen	Δ MW von Augen offen/geschlossen	
MW T_Länge_s+	108,52 mm \pm 40,11 mm	151,12 mm \pm 72,57 mm	42,64 mm \pm 52,42 mm	28,2 %
MW T_Länge_s-	100,61 mm \pm 38,44 mm	132,64 mm \pm 53,60 mm	32,03 mm \pm 37,17 mm	24,1 %
MW Rad_s+	3,34 mm \pm 1,29 mm	3,96 mm \pm 1,63 mm	0,62 mm \pm 1,26 mm	15,7 %
MW Rad_s-	3,01 mm \pm 1,14 mm	3,36 mm \pm 1,13 mm	0,35 mm \pm 1,16 mm	10,4 %

Auch in der Gruppe ÖPNP zeigt sich, dass die Mittelwerte für die Werte T_Länge und Rad bei den Messungen mit offenen Augen deutlich kleiner sind als die Mittelwerte der Messungen mit geschlossenen Augen. Anhand der Prozentangabe der Differenzen (Δ MW) lässt sich erkennen, dass die Messwerte von T_Länge deutlichere Differenzen anzeigen als die Messwerte von Rad.

Messbedingung mit Schuhen bzw ohne Schuhe:

Im folgenden Schritt wurden auch für die Gruppe ØPNP die Daten in Bezug auf die Messbedingung mit Schuhen bzw. ohne Schuhe getestet. Dabei zeigt sich, dass in der Gruppe ØPNP die Unterschiede der Messergebnisse mit Schuhen und ohne Schuhe bei allen Werten der posturographischen Messung signifikant sind, außer beim Mittelwert von Rad mit geöffneten Augen. In der folgenden Tabelle (Tabelle 44) sind die p-Werte der statistischen Untersuchung der Messergebnisse in Bezug auf die Messbedingung mit Schuhen bzw. ohne Schuhe angegeben.

Tabelle 44: Signifikanz der Unterschiede der Ergebnisse der Posturographie bzgl. der Messbedingung mit Schuhen bzw. ohne Schuhe in der Gruppe ØPNP

	p-Wert der Unterschiede von s+ und s-
MW T_Länge_a+	0,006
MW T_Länge_a-	0,001
MW Rad_a+	0,070
MW Rad_a-	$\leq 0,001$

In der folgenden Tabelle (Tabelle 45) sind die Mittelwerte der Messungen mit Schuhen bzw. ohne Schuhe bestimmt, sowie die Differenzen der Mittelwerte (Δ MW) zwischen den Messbedingungen in absoluten Zahlen und in relativen Werten. Die Prozentwerte beziehen sich jeweils auf den Mittelwert der Messungen mit Schuhen.

Tabelle 45: Mittelwerte der Messungen mit Schuhen bzw. ohne Schuhe und deren Differenzen in der Gruppe ØPNP

	Mit Schuhen	Ohne Schuhe	Δ MW von mit/ohne Schuhe	
MW T_Länge_a+	108,52 mm ± 40,11 mm	100,61 mm ± 38,44 mm	7,92 mm ± 20,62 mm	7,3 %
MW T_Länge_a-	151,17 mm ± 72,57 mm	132,64 mm ± 53,60 mm	18,53 mm ± 40,31 mm	12,3 %
MW Rad_a+	3,34 mm ± 1,29 mm	3,01 mm ± 1,14 mm	0,33 mm ± 1,07 mm	9,9 %
MW Rad_a-	3,96 mm ± 1,63 mm	3,36 mm ± 1,13 mm	0,60 mm ± 0,90 mm	15,2 %

Es zeigt sich, dass die Mittelwerte für die Werte T_Länge und Rad bei den Messungen ohne Schuhe deutlich kleiner sind als die Mittelwerte der Messungen mit Schuhen. Anhand der Prozentangabe der Differenzen (Δ MW) lässt sich erkennen, dass die Messwerte von T_Länge und Rad ähnliche relative Differenzen zwischen den Messungen haben.

4.6.3c Unterschiede der Mittelwerte in der Gruppe PNP

Für die Gruppe PNP wurden die gleichen Untersuchungen wie für das Gesamtkollektiv (siehe Kapitel 4.6.3a) und die Gruppe ØPNP (siehe Kapitel 4.6.3b) durchgeführt.

Messbedingung Augen offen bzw. Augen geschlossen:

Bei der Auswertung ergaben sich ausschließlich signifikante Unterschiede für die posturographischen Messergebnisse in Bezug auf die Messbedingung Augen offen bzw. Augen geschlossen. In der folgenden Tabelle (Tabelle 46) sind die p-Werte der statistischen Untersuchung der Messergebnisse mit offenen bzw. mit geschlossenen Augen angegeben.

Tabelle 46: Signifikanz der Unterschiede der Ergebnisse der Posturographie bzgl. der Messbedingung Augen offen bzw. geschlossen in der Gruppe PNP

	p-Wert der Unterschiede von a+ und a-
MW T_Länge_s+	$\leq 0,001$
MW T_Länge_s-	$\leq 0,001$
MW Rad_s+	0,013
MW Rad_s-	0,001

In der folgenden Tabelle (Tabelle 47) sind die Mittelwerte der Messungen mit offenen bzw. geschlossenen Augen bestimmt, sowie die Differenzen der Mittelwerte (Δ MW) zwischen den Messbedingungen in absoluten Zahlen und in relativen Werten. Die Prozentwerte beziehen sich jeweils auf den Mittelwert der Messungen mit geschlossenen Augen.

Tabelle 47: Mittelwerte der Messungen mit offenen bzw. geschlossenen Augen und deren Differenzen in der Gruppe PNP

	Augen offen	Augen geschlossen	Δ MW von Augen offen/geschlossen	
MW T_Länge_s+	199,01 mm \pm 91,76 mm	289,18 mm \pm 175,71 mm	90,18 mm \pm 107,67 mm	31,2 %
MW T_Länge_s-	149,25 mm \pm 55,36 mm	209,88 mm \pm 108,63 mm	60,63 mm \pm 75,72 mm	28,9 %
MW Rad_s+	5,57 mm \pm 2,55 mm	6,72 mm \pm 3,71 mm	1,15 mm \pm 2,43 mm	17,1 %
MW Rad_s-	4,11 mm \pm 1,15 mm	5,16 mm \pm 2,42 mm	1,05 mm \pm 1,88 mm	20,3 %

Auch in der Gruppe PNP zeigt sich, dass die Mittelwerte für die Werte T_Länge und Rad bei den Messungen mit offenen Augen deutlich kleiner sind als die Mittelwerte der Messungen mit geschlossenen Augen. Anhand der Prozentangabe der Differenzen (Δ MW) lässt sich erkennen, dass die Messwerte von T_Länge deutlichere Differenzen anzeigen als die Messwerte von Rad.

Messbedingung mit Schuhen bzw ohne Schuhe:

Im folgenden Schritt wurden auch für die Gruppe PNP die Daten in Bezug auf die Messbedingung mit Schuhen bzw. ohne Schuhe getestet. Dabei zeigt sich, dass in der Gruppe PNP die Unterschiede der Messergebnisse mit Schuhen und ohne Schuhe bei allen Werten der posturographischen Messung signifikant sind. In der folgenden Tabelle (Tabelle 48) sind die p-Werte der statistischen Untersuchung der Messergebnisse in Bezug auf die Messbedingung mit Schuhen bzw. ohne Schuhe angegeben.

Tabelle 48: Signifikanz der Unterschiede der Ergebnisse der Posturographie bzgl. der Messbedingung mit Schuhen bzw. ohne Schuhe in der Gruppe PNP

	p-Wert der Unterschiede von s+ und s-
MW T_Länge_a+	$\leq 0,001$
MW T_Länge_a-	$\leq 0,001$
MW Rad_a+	$\leq 0,001$
MW Rad_a-	0,001

In der folgenden Tabelle (Tabelle 49) sind die Mittelwerte der Messungen mit Schuhen bzw. ohne Schuhe bestimmt, sowie die Differenzen der Mittelwerte (Δ MW) zwischen den Messbedingungen in absoluten Zahlen und in relativen Werten. Die Prozentwerte beziehen sich jeweils auf den Mittelwert der Messungen mit Schuhen.

Tabelle 49: Mittelwerte der Messungen mit Schuhen bzw. ohne Schuhe und deren Differenzen in der Gruppe PNP

	Mit Schuhen	Ohne Schuhe	Δ MW von mit/ohne Schuhe	
MW T_Länge_a+	199,01 mm \pm 91,76 mm	149,25 mm \pm 55,36 mm	49,75 mm \pm 75,88 mm	25,0 %
MW T_Länge_a-	289,18 mm \pm 175,71 mm	209,88 mm \pm 108,63 mm	79,30 mm \pm 120,99 mm	27,4 %
MW Rad_a+	5,57 mm \pm 2,55 mm	4,11 mm \pm 1,15 mm	1,45 mm \pm 2,02 mm	26,0 %
MW Rad_a-	6,72 mm \pm 3,71 mm	5,16 mm \pm 2,42 mm	1,56 mm \pm 2,93 mm	23,2 %

Es zeigt sich, dass die Mittelwerte für die Werte T_Länge und Rad bei den Messungen ohne Schuhen deutlich kleiner sind als die Mittelwerte der Messungen mit Schuhen. Anhand der Prozentangabe der Differenzen (Δ MW) lässt sich erkennen, dass die Messwerte von T_Länge und Rad ähnliche relative Differenzen zwischen den Messungen haben.

4.6.3d Vergleich der relativen Mittelwertdifferenzen (Δ MW) der beiden Gruppen

Messbedingung Augen offen bzw. Augen geschlossen:

In der folgenden Tabelle (Tabelle 50) sind die relativen Mittelwertdifferenzen (Δ MW) der Gruppe ØPNP und der Gruppe PNP dargestellt. Es zeigt sich, dass in der Gruppe PNP die relativen Δ MW größer sind als in der Gruppe ØPNP.

Tabelle 50: Vergleich der Differenzen der Mittelwerte der beiden Gruppen bzgl. der Messbedingung Augen offen bzw. geschlossen

	Gruppe ØPNP Δ MW von Augen offen/geschlossen	Gruppe PNP Δ MW von Augen offen/geschlossen
MW T_Länge_s+	28,2 %	31,2 %
MW T_Länge_s-	24,1 %	28,9 %
MW Rad_s+	15,7 %	17,1 %
MW Rad_s-	10,4 %	20,3 %

Messbedingung mit Schuhen bzw ohne Schuhe:

In der folgenden Tabelle (Tabelle 51) sind die relativen Δ MW der Gruppe ØPNP und der Gruppe PNP dargestellt. Es zeigt sich, dass in der Gruppe PNP die relativen Δ MW wesentlich größer sind als in der Gruppe ØPNP.

Tabelle 51: Vergleich der Differenzen der Mittelwerte der beiden Gruppen bzgl. der Messbedingung mit Schuhen bzw. ohne Schuhe

	Gruppe ØPNP Δ MW von mit/ohne Schuhe	Gruppe PNP Δ MW von mit/ohne Schuhe
MW T_Länge_a+	7,3 %	25,0 %
MW T_Länge_a-	12,3 %	27,4 %
MW Rad_a+	9,9 %	26,0 %
MW Rad_a-	15,2 %	23,2 %

5. Diskussion

Die Idee, die posturale Stabilität bei Diabetikern zu überprüfen, während sie ruhig stehen, ist nicht neu. Zur Überprüfung wurden dazu bereits viele verschiedene Studien durchgeführt. Tabelle 52 gibt anhand einiger Beispiele [5, 17, 18, 68, 79, 84, 85, 88] eine Übersicht darüber, welche verschiedenen Aspekte in den Studien verglichen wurden.

Folgende Abkürzungen werden in der Tabelle verwendet:

DN: Diabetiker mit dPNP

D: Diabetiker ohne dPNP

G: Gesunde Kontrollpersonen

k. A.: Keine Angaben

Tabelle 52: Studien zur Untersuchung der posturalen Stabilität bei Diabetikern

Autoren, Erscheinungsjahr	Teilnehmerzahl			Messzeit (s)	Gemessene Parameter	Messbedingungen
	DN	D	G			
Boucher P, Teasdale N, et al. (1995)	12	-	7	30	Bereichsgröße und Schnelligkeit des Schwankens	Augen offen/geschlossen
Centomo H, Termoz N, Savoie S (2007)	-	15	15	30	Schnelligkeit des Schwankens, Schwanken in anterior-posterior Achse	rechter Arm gestreckt sagittal gehoben bis Schulterhöhe
Corriveau H, Prince F, Hebert R (2000)	15	-	15	120	Schwanken in anterior-posterior & medio-lateral Achse	Augen offen/geschlossen

Autoren, Erscheinungsjahr	Teilnehmerzahl			Messzeit (s)	Gemessene Parameter	Messbedingungen
	DN	D	G			
Petrofsky JS, Cuneo M, Lee S et al. (2006)	-	12	15	30	k. A.	Tageslicht, Dämmerlicht, im Dunkeln
Simoneau GG, Ulbrecht JS, Derr JA et al. (1994)	17	17	17	30	Streckenlänge, die der Kraftschwerpunkt zurücklegt	Kopfstellung gerade/ nach hinten gestreckt
Uccioli L, Giacomini P, Monticone G et al. (1995)	10	23	21	90	Bereichsgröße und Schnelligkeit des Schwankens	k. A.
Uccioli L, Giacomini P, Pasqualetti P et al. (1997)	7	18	31	90	Bereichsgröße und Schnelligkeit des Schwankens	k. A.
Yamamoto R, Kinoshita T, Momoki T	32	123	55	60	Schnelligkeit des Schwankens, Schwanken in anterior-posterior und medio-lateral Achse	Augen offen/ geschlossen

Die Übersicht zeigt, dass die Posturographie ein vielfach etabliertes Verfahren ist, um die posturale Stabilität bei Diabetikern zu beurteilen. Ein gemeinsames Ergebnis all dieser Studien ist, dass die dPNP mit erhöhtem posturalen Schwanken assoziiert ist [4]. Auch Studien, die die posturale Stabilität unabhängig vom Vorliegen einer dPNP untersuchten, zeigten ein erhöhtes posturales Schwanken bei Diabetikern im Vergleich zu nicht-diabetischen Kontrollgruppen [60].

Der neue Ansatz dieser Arbeit ist zu untersuchen, ob die Posturographie ein valides Verfahren zur Beurteilung einer dPNP darstellt und ob sie als Untersuchungsmethode zur Unterscheidung zwischen Diabetikern mit dPNP und Diabetikern ohne dPNP geeignet ist. Zudem wird in dieser Arbeit besonderen Wert darauf gelegt, die posturographischen Messungen möglichst einfach (siehe Kapitel.3.5.2) zu gestalten, so dass die Anwendung der Posturographie auch im klinischen Alltag möglichst einfach und schnell durchführbar wäre.

Zur Überprüfung der Posturographie als valides Verfahren zur Beurteilung einer dPNP wurden zunächst die Ergebnisse der posturographischen Messungen mit den Untersuchungsergebnissen der Rydel-Seifferschen Stimmgabel und des Semmes-Weinstein Monofilaments auf signifikante Korrelationen überprüft (siehe Kapitel 4.6.1). Mit Ausnahme der Korrelation zwischen dem Messergebnis Rad_s_a mit dem Untersuchungsergebnis des Semmes-Weinstein Monofilaments an der Großzehe, korrelieren alle Ergebnisse der posturographischen Messungen mit den Untersuchungsergebnissen der Rydel-Seifferschen Stimmgabel und des Semmes-Weinstein Monofilaments signifikant (siehe Tabelle 24 und 25; S. 67, 68). Dieses Ergebnis weist daraufhin, dass die Posturographie ein valides Verfahren zur Feststellung einer dPNP ist. Es lässt vermuten, dass die bei der posturographischen Messung erzeugten Daten die gleiche zu messende Größe repräsentieren wie die Rydel-Seiffersche Stimmgabel und das Semmes-Weinstein Monofilament.

Um zu untersuchen, ob mit Hilfe der posturographischen Messungen eine Unterscheidung zwischen Diabetikern ohne dPNP und Diabetikern mit dPNP möglich ist, wurden zwei Ansätze verfolgt. Zum einen wurde überprüft, ob die Unterschiede der Ergebnisse der posturographischen Messungen zwischen den Gruppen ØPNP und PNP

signifikant sind (siehe Kapitel 4.6.2a). Des Weiteren wurde kontrolliert, ob die Ergebnisse der posturographischen Messungen mit dem Neuropathie Defizit Score der Probanden signifikant korrelieren (siehe Kapitel 4.6.2b).

Zunächst wird auf die Untersuchung der Unterschiede der Ergebnisse der posturographischen Messungen zwischen den Gruppen eingegangen. Bei der Untersuchung stellte sich heraus, dass alle Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf alle Messergebnisse von T_Länge und Rad signifikant sind (siehe Tabelle 26; S. 70). Dies läßt vermuten, dass mit Hilfe der Posturographie eine Unterscheidung zwischen Diabetikern mit dPNP und ohne dPNP möglich ist.

Zudem wurde in diesem Abschnitt überprüft, bei welchen Messparametern (T_Länge oder Rad) bzw. bei welchen Messbedingungen (Augen offen/geschlossen und mit/ohne Schuhe) die Unterschiede zwischen den Gruppen relativ am größten sind. Dazu wurden die Mittelwerte der Messungen der Gruppen sowie die Differenzen der Mittelwerte (ΔMW) zwischen den Gruppen bestimmt (siehe Tabelle 27-29; S. 71-73). Die Ergebnisse zeigen, dass die Unterschiede zwischen den Gruppen \emptyset PNP und PNP beim Messparameter T_Länge wesentlich größer sind als beim Messparameter Rad (siehe Tabelle 28; S. 72). Daraus lässt sich ableiten, dass zur Untersuchung auf dPNP mit Hilfe der Posturographie der Messparameter T_Länge wesentlich geeigneter ist als der Messparameter Rad.

Bei den Messbedingungen wurde lediglich bei der Bedingung „mit Schuhen/ohne Schuhe“ ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen deutlich. Die Messbedingung „mit Schuhen“ lieferte größere Unterschiede zwischen Diabetikern mit und ohne dPNP (siehe Tabelle 29; S. 73). Es kann daher zusammengefasst werden, dass bei der Kombination des Messparameters T_Länge mit der Messbedingung „mit Schuhen“ die Unterschiede zwischen Diabetikern mit und ohne dPNP am

deutlichsten sind. Es ist folglich zu empfehlen, bei klinischer Anwendung des Verfahrens, diese Kombination zu nutzen.

Als zweiter Ansatz zur Unterscheidung zwischen Diabetikern mit dPNP und ohne dPNP mit Hilfe der Posturographie wird nun auf die Untersuchung der Korrelationen zwischen den Ergebnissen der posturographischen Messungen und des Neuropathie Defizit Scores der Probanden eingegangen. Da sich, wie oben beschrieben, herausgestellt hatte, dass der Messparameter T_Länge besser als der Messparameter Rad dazu geeignet ist zwischen Diabetikern mit dPNP und Diabetikern ohne dPNP zu unterscheiden, wurden die Ergebnisse der posturographischen Messungen für T_Länge bzgl. der Ergebnisse des Neuropathie Defizit Scores getestet. Es wurden die Messergebnisse des Gesamtkollektivs genutzt, da die Untersuchung zur Erfassung eines grundsätzlichen Zusammenhangs zwischen der Posturographie und dem Neuropathie Defizit Score durchgeführt wurde. Es zeigte sich, dass alle posturographischen Messergebnisse für T_Länge signifikant mit dem Neuropathie Defizit Score korrelieren (siehe Tabelle 30; S. 74).

Als Nächstes wurde untersucht, ob es möglich ist, mit Hilfe der posturographischen Messungen eine Berechnung des Neuropathie Defizit Scores vorzunehmen. Hierzu wurden Regressionsanalysen durchgeführt (siehe Diagramm 3-6; S. 77-80), die den Zusammenhang zwischen den Werten der posturographischen Messungen und den Werten des Neuropathie Defizit Scores deutlich machen. Aus den Analysen ergaben sich lediglich kleine Werte für R-Quadrat (siehe Tabelle 31; S. 81), so dass – trotz der signifikanten Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Posturographie und des Neuropathie Defizit Scores – die Berechnung des Neuropathie Defizit Scores ausschließlich anhand der Messergebnisse der Posturographie sehr ungenau wäre. Diese Ungenauigkeit kann mehrere Ursachen haben, die im Folgenden beschrieben werden.

Zum einen wurde in anderen Arbeiten festgestellt, dass es möglich ist, mit speziellem Training die posturale Stabilität zu verbessern [78, 87], so dass einige Probanden bei den Tests evtl. aufgrund eines Trainingseffektes (z. B. Herzsportgruppe) weniger geschwankt haben, als sie es ohne Training getan hätten. Zum anderen wird die posturale Stabilität auch durch vestibuläre und visuelle Reize beeinflusst, so dass die Reizsysteme in der Lage sind, Schwächen eines Systems durch die Konzentrierung auf andere Reize zu kompensieren [36, 65]. Manche Autoren gehen diesbezüglich sogar von einem hierarchischen System von Einflüssen aus, in dem vestibuläre Reize den größten Einfluss haben sollen [56]. Auch wurde in Tierversuchen festgestellt, dass durch eine diabetische Stoffwechsellage die vestibuläre Funktion beeinträchtigt [67] bzw. die Interaktion zwischen visuellen und vestibulären Reizen verändert wird [19]. All diese Informationen machen deutlich, dass es viele weitere Faktoren gibt, die neben der dPNP die posturale Stabilität beeinflussen. Durch den Messaufbau (ruhiger Raum, weiße Wand) wurde in dieser Arbeit versucht, die Einflussfaktoren möglichst auszuschalten. Allerdings lässt sich eine Beeinträchtigung durch andere Faktoren dennoch nicht gänzlich ausschließen.

Die Erkenntnis, dass es möglich ist, die Posturographie als Verfahren zur Unterscheidung zwischen Diabetikern ohne dPNP und mit dPNP anzuwenden, bleibt allerdings weiter bestehen. Die signifikanten Unterschiede zwischen der Gruppe ØPNP und der Gruppe PNP in Bezug auf die posturographischen Messergebnisse (siehe Kapitel 4.6.2a) sowie die signifikanten Korrelationen zwischen den posturographischen Messergebnissen und dem Neuropathie Defizit Score (siehe Kapitel 4.6.2b) weisen deutlich daraufhin.

Um diese Erkenntnis in die Praxis umsetzen zu können, wurde in dieser Arbeit nach absoluten Werten für die Posturographie in Form von Grenzwerten gesucht (siehe

Kapitel 4.6.2c), anhand derer die Entscheidung über das Vorliegen einer dPNP getroffen werden kann. Mit dem Ziel, einen Grenzwert mit einer möglichst hohen Sensitivität und Spezifität festzulegen, wurden für T_Länge unter den verschiedenen Messbedingungen (Augen offen/geschlossen bzw. mit/ohne Schuhe) verschiedene Grenzwerte getestet (siehe Tabelle 33-36, S. 83-84).

Als Grenzwert mit dem besten Verhältnis von hoher Sensitivität und Spezifität stellte sich dabei für eine Messzeit von 10 Sekunden ein Grenzwert von 100 mm für den Messparameter T_Länge mit geöffneten Augen und mit Schuhen (siehe Kapitel 4.6.2c, Tabelle 37; S. 85) heraus. Der Grenzwert hat eine Sensitivität von 0,81 und eine Spezifität von 0,55. Hat also nach drei posturographischen Messungen à 10 Sekunden der kleinste Messwert für T_Länge eines Probanden mit Schuhen und mit offenen Augen einen Wert von mehr als 100 mm, so liegt ein dringender Verdacht für das Vorliegen einer dPNP vor, der in jedem Fall durch weitere Untersuchungen abgeklärt werden sollte. Die Aussagekraft dieses Grenzwertes wird dadurch unterstrichen, dass ein ähnlicher Grenzwert für einen Messzeitraum von zehn Sekunden für T_Länge (116,62 mm) in der Arbeit „Einsatz der Posturographie zur Erfassung der diabetischen Polyneuropathie“ vom Februar 2012 (siehe Kapitel 2) in Anlehnung an den Mittelwert von T_Länge einer gesunden Kontrollgruppe festgestellt wurde.

In der Zielsetzung dieser Arbeit wurden auch wünschenswerte Eigenschaften für die Posturographie als klinisches Messverfahren zusammengestellt (siehe Kapitel 2). Diese sind: Geringer Zeitaufwand, einfache Handhabung, geringe Kosten und hohe Zuverlässigkeit. Daher wurden in dieser Arbeit die posturographischen Messungen möglichst kurz gehalten (drei Messungen à zehn Sekunden) und unter möglichst einfachen Bedingungen (normale Standhaltung, siehe Kapitel 3.5.2) durchgeführt. Durch den Beweis, dass die Resultate der Posturographie auch bei kurzen Messzeiten

und unter einfachen Bedingungen aussagekräftig sind, können so zwei wünschenswerte Eigenschaften für das Messverfahren, nämlich geringer Zeitaufwand und Einfachheit, erfüllt werden. Zudem erfüllt die Posturographie das Gütekriterium der Objektivität, da die Ergebnisse unabhängig vom Messenden sind.

Ob die Posturographie ein kostengünstiges Messverfahren ist, lässt sich nicht einfach beantworten. Der finanzielle Rahmen der posturographischen Untersuchung muss von zwei Seiten betrachtet werden.

Auf der einen Seite steht der Praxisinhaber oder Klinikdirektor, der die Entscheidung darüber trifft, ob ein Untersuchungsgerät, in diesem Fall das posturographische Messgerät, angeschafft wird oder nicht. In diesem Zusammenhang sind folgende Aspekte zu bedenken: Ein wesentliches Argument ist, dass mit Hilfe der Posturographie statt eines Arztes auch medizinisches Hilfspersonal Patienten auf Hinweise für dPNP überprüfen könnte. Dadurch ergäbe sich ein enormes Einsparpotential bei den Gehaltskosten. Zudem ist auch der Anschaffungspreis eines posturographischen Messgerätes zu beachten. In dieser Studie wurden die Messungen mit dem Gerät L.A.S.A.R. Posture der Firma Otto Bock durchgeführt. Wie im Kapitel 3.5.1 beschrieben, ist der von der Herstellerfirma Otto Bock angegebene Verwendungszweck für das L.A.S.A.R. Posture die Optimierung des Aufbaus einer Beinprothese am Patienten mit Hilfe eines Laserstrahls. Für die Messungen im Rahmen dieser Arbeit wurde dieser Laserstrahl allerdings nicht benötigt. Zur Messung der Auslenkung des Kraftschwerpunktes einer Person, d.h. zur Messung des Schwankens des Körpers einer Person, wurde in dieser Arbeit lediglich die Kraftmessplatte mit den vier integrierten Kraftmesszellen verwendet. Zum Zwecke eines Screenings auf dPNP wäre daher eine vereinfachte Version des L.A.S.A.R. Posture ohne Laserstrahl ausreichend. Es ist

anzunehmen, dass eine derartige Version wesentlich kostengünstiger wäre, als das L.A.S.A.R Posture mit Laserstrahl.

Die zweite Seite, aus der der finanzielle Rahmen der posturographischen Messung zum Screening auf dPNP betrachtet werden muss, ist die der Krankenkassen. Dabei ist die zentrale Frage, ob es für die Krankenkassen finanziell rentabel ist, Diabetiker mit Hilfe der Posturographie auf dPNP untersuchen zu lassen. In Anlehnung an die Ergebnisse dieser Arbeit muss diese Frage bejaht werden. Die Untersuchung zeigt eine Sensitivität des vorgeschlagenen Grenzwertes von 0,81 (siehe Tabelle 37; S. 85). Es ist daher möglich mit der posturographischen Untersuchung den Großteil der von dPNP Betroffenen zu erkennen und so durch gezielte Prävention die schwerwiegenden und kostenintensiven Folgeerkrankungen wie das diabetische Fußsyndrom oder die diabetisch-neuropathische Osteoarthropathie zu verhindern. Die relativ geringe Spezifität des vorgeschlagenen Grenzwertes von 0,55 soll an dieser Stelle nicht ignoriert werden. Sie bedeutet, dass einige Patienten, die keine dPNP haben, dennoch als positiv für dPNP getestet würden. Die Folge dieser falsch positiven Bewertung im klinischen Alltag wäre, dass die Patienten z. B. mit der Rydel-Seifferschen Stimmgabel und dem Semmes-Weinstein Monofilament nachuntersucht würden. Da diese Folge aus der falsch-positiven Bewertung für den Patienten keinerlei negative Konsequenzen hat, kann daher die niedrige Spezifität durchaus akzeptiert werden.

Bedenkt man die Kostenintensität der dPNP und der Folgeerkrankungen (siehe Kapitel 1.5), so ist aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit festzustellen, dass Praxen in die Anschaffung einer posturographischen Messplatte investieren sollten, damit medizinisches Hilfspersonal einfach, schnell und zuverlässig Patienten auf Hinweise für dPNP untersuchen kann.

Im Jahr 2000 entwickelten Meijer et al. ein neues Punktesystem als Erweiterung des Neuropathie Defizit Scores zur besseren klinischen Untersuchung auf diabetische Neuropathie [51]. In diesen Score flossen nun die Ergebnisse nicht aus vier, sondern aus acht Untersuchungen ein. Der Gedanke, weitere Tests zur sicheren Diagnose einer dPNP zu entwickeln, ist sehr gut, doch die Praktikabilität im klinischen Alltag scheint dabei immer mehr verloren zu gehen. Insbesondere in allgemeinmedizinischen Praxen, die nicht auf die Behandlung von Diabetes mellitus spezialisiert sind, in denen daher eine Untersuchung der Füße der Patienten nicht regelmäßig stattfindet und in denen insbesondere schlicht die Zeit fehlt, ausreichende Untersuchungen auf dPNP durchzuführen, scheint der Einsatz der Posturographie als Untersuchungsmethode besonders sinnvoll, wenn nicht sogar dringend notwendig. Endgültig ist die praktische Relevanz mit dieser Arbeit nicht zu beweisen. Es ist daher empfehlenswert, dass in weiteren Studien die Anwendung der Posturographie in der Praxis untersucht wird.

Unabhängig vom Einsatz der Posturographie als Screeningmethode für dPNP wurde in dieser Arbeit außerdem der Einfluss der Messbedingungen (Augen offen/geschlossen, mit Schuhen/ohne Schuhe) auf die posturographischen Ergebnisse untersucht (siehe Kapitel 4.6.3). Bei der Auswertung der Messdaten für das gesamte Kollektiv und jeweils für die Gruppen ergaben sich für alle posturographischen Messergebnisse (einzige Ausnahme ist Rad_a+ in der Gruppe ØPNP bzgl. der Messbedingung mit Schuhen/ohne Schuhe) in Bezug auf die Messbedingung Augen offen/Augen geschlossen bzw. in Bezug auf die Messbedingung mit Schuhen/ohne Schuhe, signifikante Unterschiede (siehe Tabelle 38, 40, 42, 44, 46, 48). Dies weist daraufhin, dass sowohl das visuelle System als auch Fußbekleidung einen Einfluss auf die posturale Stabilität von Diabetikern haben. Dieses Ergebnis deckt sich mit anderen Studien, bei denen festgestellt wurde, dass das visuelle System Einfluss auf die posturale Stabilität hat [45, 61, 65]. Mit geschlossenen Augen schwanken Diabetiker

signifikant mehr als mit geöffneten Augen (siehe Tabelle 39, 43, 47). Außerdem schwanken Diabetiker mit Schuhen mehr als ohne Schuhe (siehe Tabelle 41, 45, 49). Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang das Ergebnis, wenn die beiden Gruppen bzgl. der relativen Differenzen bei unterschiedlichen Messbedingungen verglichen werden (siehe Kapitel 4.6.3d.).

In der Gruppe PNP sind bei beiden Messbedingungen die relativen Differenzen größer als in der Gruppe ØPNP (siehe Tabelle 50, 51; S. 97-98). Es wird also deutlich, dass das visuelle System und die Schuhversorgung mehr Einfluss auf die posturale Stabilität bei Diabetikern mit PNP haben als auf die posturale Stabilität bei Diabetiker ohne PNP. Die Ursache dafür kann mit Hilfe dieser Arbeit nicht geklärt werden. Weitere Studien zu diesem Zusammenhang sind nötig.

Beim Vergleich der Gruppen PNP und ØPNP fällt auf, dass die Gruppen ungleich groß sind (siehe Tabelle 19; S. 58). Begründet ist dies darin, dass die Zuteilung der Probanden randomisiert stattgefunden hat, um bekannte und unbekannte Störgrößen möglichst gleichmäßig auf die Gruppen zu verteilen.

Zudem wurden die Unterschiede zwischen den Gruppen bzgl. der Patientenmerkmale auf Signifikanz untersucht (siehe Kapitel 4.4). Dabei wurde festgestellt, dass die Gruppen sich in den Merkmalen Geschlecht, Größe, Gewicht, BMI, Diabetesdauer, HbA_{1c}-Wert, Dauer der Insulintherapie, Hyperkeratose, Beinlängendifferenz und Ulkusanamnese nicht signifikant unterschieden (siehe Tabelle 21; S. 61). Dieses Resultat lässt darauf schließen, dass die Ergebnisse der posturographischen Messungen unabhängig von den oben genannten Patientenmerkmalen sind. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ergaben sich für die Patientenmerkmale Alter, Diabetestyp, Krallenzehen und Patellasehnenreflex (siehe Tabelle 22; S. 61). Für die

Merkmale „Krallenzehen“ und „Patellasehnenreflex“ ist diese Signifikanz zu erwarten, da das Vorliegen von Krallenzehen und ein verminderter Patellasehnenreflex häufig mit dem Vorliegen einer dPNP einhergehen. Der signifikante Unterschied zwischen den Gruppen für das Merkmal „Alter“ ist mit Hilfe dieser Arbeit nicht gänzlich zu klären. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass auch bei Menschen ohne Diabetes das Vibrationsempfinden und die Berührungssensibilität und damit auch die posturale Stabilität im Alter nachlässt [3, 11, 27, 49, 64, 71]. Daher ist ein erhöhter Altersdurchschnitt von 70,81 Jahren in der Gruppe PNP im Gegensatz zum Altersdurchschnitt von 53,65 Jahren in der Gruppe ØPNP (siehe Tabelle 19; S. 58) durchaus plausibel. Gleichwohl bedeutet dieser Zusammenhang, dass bei den Probanden dieser Arbeit nicht nur die Erkrankung Diabetes zur posturographischen Instabilität führen könnte, sondern auch andere Faktoren daran beteiligt sein könnten. Da in dieser Arbeit allerdings ausschließlich Diabetiker untersucht wurden, ist es an dieser Stelle nicht möglich, diesen Verdacht zu untersuchen. Dazu müssten weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

6. Schlussfolgerung

Die Posturographie ist ein valides Verfahren zur Beurteilung der Wahrscheinlichkeit des Vorliegens einer diabetischen Polyneuropathie (dPNP). Zudem wurde mit dieser Arbeit belegt, dass die Anwendung der Posturographie als Untersuchung zur Unterscheidung zwischen Diabetikern ohne dPNP und mit dPNP genutzt werden kann.

Um die Posturographie zur Unterscheidung zwischen Diabetikern mit und ohne dPNP in der Praxis nutzen zu können, ist die Angabe eines Grenzwertes für das posturographische Messergebnis notwendig. Dieser gibt die Schwelle an, ab der die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer dPNP stark erhöht ist. Der Grenzwert wurde auf 100 mm für einen Messzeitraum von zehn Sekunden für den Messparameter T_Länge bei Untersuchungen mit geöffneten Augen und mit Schuhen festgelegt. Die Sensitivität dieses Grenzwertes beträgt 0,81 (siehe Kapitel 4.6.2c). Dies beweist, dass es möglich ist, mit der posturographischen Untersuchung den Großteil der von dPNP betroffenen Diabetiker zu erkennen und so durch gezielte Prävention die schwerwiegenden und kostenintensiven Folgeerkrankungen wie das diabetische Fußsyndrom oder die diabetisch-neuropathische Osteoarthropathie zu verhindern.

Die Posturographie hat als Screeningmethode für die dPNP viele Vorteile. Sie ist schnell und einfach durchzuführen und kann auch durch medizinisches Hilfspersonal eingesetzt werden.

Weiterhin wurde festgestellt, dass die Messbedingungen (Augen offen/geschlossen, mit Schuhen/ohne Schuhe) einen Einfluss auf die posturographischen Messergebnisse (Kapitel 4.6.3) haben. Alle Probanden schwankten mit geschlossenen Augen bzw. mit Schuhen mehr. Bei Diabetikern mit dPNP war dieser Unterschied stärker ausgeprägt als bei Diabetikern ohne dPNP.

Zur besseren Prävention der dPNP und deren Folgeerkrankungen sollten in jeder Praxis oder Klinik posturographische Messungen zum Screening auf das Vorliegen einer dPNP bei Diabetikern durchgeführt werden.

7. Literaturverzeichnis

1. **Allman RM**, Brower AC, Kotlyarov EB (1988) Neuropathic bone and joint disease. *Radiol Clin North Am* 26: 1373–1381
2. **Armstrong DG**, Lavery LA, Vela SA et al. (1998) Choosing a Practical Screening Instrument to Identify Patients at Risk for Diabetic Foot Ulceration. *Arch Intern Med.* 1998;158:289-292
3. **Armstrong FM**, Bradbury JE, Ellis SH et al. (1991) A Study of Peripheral Diabetic Neuropathy. The Application of Age-Related Reference Values. *Diabetic Medicine*, 8: S94–S99.
4. **Bonnet C**, Carello C, Turvey MT (2009) Diabetes and Postural Stability: Review and Hypotheses; *Journal of Motor Behavior.* Vol41, No.2, S172-190
5. **Boucher P**, Teasdale N, Courtemanche R et al. (1995) Postural stability in diabetic polyneuropathy. *Diabetes Care* 18: 638–645
6. **Boulton AJ** (1991) Clinical presentation and management of diabetic neuropathy and foot ulceration. *Diabet Med* 8: 52–57
7. **Boulton AJ** Gries FA, Jervell JA (1998) Guidelines for the Diagnosis and Outpatient Management of Diabetic Peripheral Neuropathy, *Diabetic Medicine* 15, 508- 514
8. **Boulton AJ** (2004) The diabetic foot: from art to science. *Diabetologia*; 47: 1343– 1353
9. **Boulton AJ** (2008) The diabetic foot: grand overview, epidemiology and pathogenesis, *Diabetes Metab Res Rev* 2008; 24(Suppl 1): S3–6
10. **Boyko EJ**, Ahroni JH, Smith DG, Davignon D (1996) Increased mortality associated with diabetic foot ulcer. *Diabet Med* 13:967–972
11. **Bronstein AM**, Guerraz M (1999) Visual-vestibular control of posture and gait: physiological mechanisms and disorders. *Current Opinion in Neurology*, Issue: Volume 12(1), pp 5-11
12. **Brower AC**, Allman RM (1981) Pathogenesis of the neurotrophic joint: neurotraumatic vs. neurovascular. *Radiology* 139: 349

13. **Brower AC**, Allman RM (1981) The neurotrophic joint: a neurovascular bone-disorder. *Radiol Clin North Am* 19: 571
14. **Caputo GM**, Cavanagh PR, Ulbrecht JS et al. (1994) Assessment and management of foot disease in patients with diabetes. *N Engl J Med* 331:854–860
15. **Cavanagh PR**, Derr JA, Ulbrecht JS et al. (1992) Problems with Gait and Posture in Neuropathic Patients with Insulin-Dependent Diabetes Mellitus. *Diabetic Medicine*, 9: 469–474
16. **Cavanagh PR**, Simoneau GG, Ulbrecht JS (1993) Ulceration, unsteadiness, and uncertainty: the biomechanical consequences of diabetes mellitus. *J. Biomechanics*, 26: 23-40
17. **Centomo H**, Termoz N, Savoie S et al. (2007) Postural control following a self-initiated reaching task in type 2 diabetic patients and age-matched controls. *Gait & Posture* 25: 509–514
18. **Corriveau H**, Prince F, Hebert R et al. (2000) Evaluation of postural Stability in elderly with diabetic neuropathy. *Diabetes Care* 23: 1187-1191
19. **Darlington CL**, Erasmus J, Nicholson M et al. (2000) Comparison of visual-vestibular interaction in insulin-dependent and non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Neuroreport* 11: 487–90
20. **DCCT Research Group** (1993) The effect of intensive treatment of Diabetes on the development and progression of long-term complications in Insulin-dependent Diabetes mellitus. *N Engl J Med* 329: 977–86
21. **Degen H**, Lorscheid P (2002) *Statistiklehrbuch mit Wirtschafts- und Bevölkerungsstatistik*, 2.Auflage, Oldenbourg
22. **Drerup B**, Kolling CH, Koller A et al. (2004) Verringerung des plantaren Spitzendrucks beim Diabetiker durch Verkürzung der Schrittlänge. *Orthopäde* 33:1013–1019
23. **Eckhardt A**, Kraus S, Küstner E et al. (2003) Die interdisziplinäre Therapie des diabetischen Fußsyndroms. *Orthopäde* 32:190–198

24. **Edelmann SV**, Kosofsky EM, Paul RA (1987) Neuroosteoarthropathy (Charcot's joint) in diabetes mellitus following revascularisation surgery – three case reports and a review of the literature. *Arch Intern Med* 147: 1504–1508
25. **Frykberg RG**, Mendezoon E (2000) management of the diabetic Charcot foot. *Diabetes Metab Res Rev* 16: 59–61
26. **Frykberg RG** (2002) Diabetic Foot Ulcers: Pathogenesis and Management. *Am Fam Physician* 66: 1655-62
27. **Fujita T**, Nakamura S, Ohue M et al. (2005) Effect of age on body sway assessed by computerized posturography. *J Bone Miner Metab.* 23:152-6
28. **Geerts M**, Bours GJJW, de Wit R et al. (2009) Prevalence and impact of pain in diabetic neuropathy. *European Diabetes Nursing* 6: 58-64
29. **Gordois A**, Scuffham P, Shearer A, Oglesby A, Tobian JA (2003) The Health Care Costs of Diabetic Peripheral Neuropathy in the U.S., *Diabetes Care* 26:1790– 1795
30. **Green DA**, Sima AAF, Pleiffer MA, Albers JW (1990) Diabetic neuropathy. *Ann Rev Med* 41: 303–317
31. **Haslbeck M**, Luft D, Neundörfer B et al. (2004) Diagnostik, Therapie und Verlaufskontrolle der Neuropathie bei Diabetes mellitus Typ 1 und Typ 2. Evidenzbasierte Leitlinie DDG
32. **Hauner H**, Köster J, von Ferber L (2003) Prävalenz des Diabetes mellitus in Deutschland 1998–2001, Sekundärdatenanalyse der Versichertenstichprobe der AOK Hessen/KV Hessen. *Dtsch Med Wochenschr* 128: 2632–2637
33. **Heller G**, Günster C, Swart E (2005) Über die Häufigkeit von Amputationen unterer Extremitäten in Deutschland. *Dtsch Med Wochenschr* 130: 1689–1690
34. **Hochlenert D**, Engels G, Hinzmann S (2005) Todesursachen bei Patienten mit diabetischem Fußsyndrom. *Diabetes und Stoffwechsel* 14: 136

35. **Hochlenert D**, Engels G, Altenhofen L (2006) Integrierte Versorgung: Ergebnisse des Netzwerks Diabetischer Fuß Köln und Umgebung, Dtsch Arztebl 103: 1680–3
36. **Horak FB**, Hlavacka F (2001) Somatosensory loss increases vestibulospinal sensitivity. J Neurophysiol 86: 575–585
37. **Illgner U**, Podella M, Rümmler M, Wühr J, Büsch HG, Wetz HH (2009) Rekonstruktive Chirurgie beim Charcot-Fuß, 5-Jahres-Langzeitoutcome. Orthopäde 38: 1180–1186
38. **Internationale Arbeitsgruppe** über den Diabetischen Fuß (1999) Internationaler Konsensus über den Diabetischen Fuß. Kirchheim, Mainz
39. **International Diabetes Federation** (2003) The Diabetes Atlas. Second edition
40. **Jeffcoate W**, Bakker K (2005) World Diabetes Day: footing the bill. Lancet 365: 1527
41. **Jeffcoate WJ**, Harding KG (2003) Diabetic foot ulcers. Lancet 361: 1545-51
42. **Kirsten A**, Petzold M, Wolf T et al. (2008) Das diabetische Fußsyndrom: Angiopathie, Neuropathie und/oder Stoffwechselerkrankung? Clin Res Cardiol Suppl 3: 24–28
43. **Koller A**, Fühner J, Wetz HH (2004) Radiologische und klinische Aspekte der diabetisch-neuropathischen Osteoarthropathie. Der Orthopäde 33:972-982
44. **Kumar S**, Fernando DJS, Veves A, Knowles EA, Young MJ, Boulton AJM (1991) Semmes-Weinstein monofilaments: a simple, effective and inexpensive screening device for identifying diabetic patients at risk of foot ulceration. Diabetes Research and Clinical Practice 13: 63-68
45. **Lacour M**, Barthelemy J, Borel L, Magnan J, Xerri C, Chays A, Ouaknine M (1997) Sensory strategies in human postural control before and after unilateral vestibular neurectomy. Exp Brain Res 115:300–310
46. **Larsen K**, Holstein P, Deckert T (1989) Limb salvage in diabetics with foot ulcers. Prosthet Orthot Int 13: 100–3

47. **Lavery LA**, Armstrong DG, Vela SA, Quebedeaux TL, Fleischli JG (1998) Practical criteria for screening patients at high risk for diabetic foot ulceration. *Arch Intern Med* 158:157–162
48. **Lechleitner M**, Francesconi M, Abrahamian H (2004) Diabetischer Fuß. *Acta Medica Austriaca* 31/5: 173–174
49. **Liaw MY**, Chen CL, Pei YC, Leong CP, Lau YC (2009) Comparison of the Static and Dynamic Balance Performance in Young, Middle-aged, and Elderly Healthy People. *Chang Gung Med J* 32: 297-304
50. **Lorenzen HP**, Schunkert H (2004) The diabetic foot syndrome—diagnosis. *Dtsch Med Wochenschr* 129(14): 748-50
51. **Meijer JWG**, Van Sonderen E, Blaauwweikel EE et al. (2000) Diabetic Neuropathy Examination A hierarchical scoring system to diagnose distal polyneuropathy in diabetes. *Diabetes Care* 23:750–753
52. **Morbach S**, Müller E, Reike H et al. (2004) Diagnostik, Therapie, Verlaufskontrolle und Prävention des diabetischen Fußsyndroms. *Evidenzbasierte Leitlinien, Diabetes und Stoffwechsel* 13: 9-30
53. **Most RS**, Sinnock P (1983) The epidemiology of lower extremity amputations in diabetic individuals. *Diabetes Care* 6:87-91
54. **Moulik PK**, Mtonga R, Gill GV (2003) Amputation and mortality in new-onset diabetic foot ulcers stratified by etiology. *Diabetes Care* 26: 491–494
55. **Mueller MJ** (1996) Identifying Patients With Diabetes Mellitus Who Are at Risk for Lower-Extremity Complications: Use of Semmes-Weinstein Monofilaments. *Phys Ther.* 76: 68-71
56. **Nashner LM**, Black FO, Wall C (1982) Adaptation to altered support and visual conditions during stance: patients with vestibular deficits. *Journal of Neuroscience* 2: 536-544
57. **Nationale VersorgungsLeitlinie** (2010) Typ-2-Diabetes Präventions- und Behandlungsstrategien für Fußkomplikationen

58. **Neundörfer B**, Claus D, Luft D (1996) Klinik und Therapie der sensomotorischen diabetischen Polyneuropathie. Dt Ärztebl 93: 1529–1532
59. **Neundörfer B**, Haslbeck M (2008) Die diagnostischen Grundlagen der diabetischen sensomotorischen Neuropathien. Diabetologie 4: 602–608
60. **Nicholson M**, King J, Smith PF, Darlington CL (2002) Vestibulo-ocular, optokinetic and postural function in diabetes mellitus. Neuroreport Issue 13: 153-157
61. **Nougier V**, Bard C, Fleury M, Teasdale N (1998) Contribution of central and peripheral vision to the regulation of stance. Journal of Experimental Child Psychology 68: 202–215
62. **Oyer DS**, Saxon D, Shah A (2007) Quantitative assessment of diabetic peripheral neuropathy with use of the clanging tuning fork test. Endocr Pract 13: 5-10
63. **Palumbo PJ**, Melton LJ (1985) Peripheral vascular disease and diabetes. Diabetes in America. Second edition. Chapter 17: 401-408
64. **Pataky Z**, Herrmann F, Regat D, Vuagnat H (2008) The At-Risk Foot Concerns Not Only Patients with Diabetes Mellitus. Gerontology 54: 349-353
65. **Paulus WM**, Straube A, Brandt T (1984) Visual Stabilization Of Posture. Brain 107: 1143-1163
66. **Pecoraro R**, Reiber G, Burgess E (1990) Pathways to diabetic limb amputation: a basis for prevention. Diabetes Care 13: 513–521
67. **Perez R**, Ziv E, Freeman S et al. (2001) Vestibular end-organ impairment in an animal model of type 2 diabetes mellitus. Laryngoscope 111: 110–113
68. **Petrofsky JS**, Cuneo M, Lee S, Johnson E, Lohmann E (2006) Correlation between gait and balance in people with and without Type 2 diabetes in normal and subdued light. Med Sci Monit 12: 273-281
69. **Pham H**, Armstrong DG, Harvey C, Harkless LB, Giurini JM, Veves A (2000) Screening Techniques to Identify People at High Risk for Diabetic Foot Ulceration. Diabetes Care 23: 606–611

70. **Poll LW**, Chantelau E (2010) Charcot-Fuss: Auf die frühe Diagnose kommt es an. *Dtsch Arztebl* 107: 272-273
71. **Pyykkö I**, Jäntti P, Aalto H (1990) Postural Control in Elderly Subjects. *Age and Ageing* 19: 215-221
72. **Ramsey SD**, Newton K, Blough D, McCulloch DK, Sandhu N, Reiber GE, Wagner EH (1999) Incidence, outcomes and cost of foot ulcers in patients with diabetes. *Diabetes Care* 22: 382-7
73. **Reichel G**, Neundörfer B (1996) Pathogenese und Therapie der peripheren diabetischen Polyneuropathien. *Dt Arztebl* 93: 963–968
74. **Reiners K**, Haslbeck M (2006) Sensomotorische diabetische Neuropathien. *Der Diabetologe* 2: 92-103
75. **Resnick HE**, Stansberry KB, Harris TB et al. (2002) Diabetes, peripheral neuropathy and old age disability. *Muscle Nerve* 25: 43–50
76. **Rümenapf G**, Lang W (2003) Diabetic neuropathic osteoarthropathy (Charcot foot). *Zentralbl Chir* 128: 734-739
77. **Sanders LJ**, Frykberg RG (1993) Diabetic neuropathic osteoarthropathy: The Charcot foot. In: Frykberg RG: *The high risk foot in diabetes mellitus*. Livingstone, New York
78. **Seidler RD**, Martin PE (1997) The effects of short term balance training on the postural control of older adults. *Gait & Posture* 6: 224-236
79. **Simoneau GG**, Ulbrecht JS, Derr JA, Becker MB, Cavanagh PR (1994) Postural instability in patients with diabetic sensory neuropathy, *Diabetes Care* 17: 1411-1421
80. **Singh N**, Armstrong DG, Lipsky BA (2005) Preventing foot ulcers in patients with diabetes. *JAMA* 293: 217–228
81. **Stiegler H** (2004) Das diabetische Fußsyndrom. *Herz* 29: 104-15

82. **Tesfaye S**, Stevens LK, Stephenson JM et al. (1996) Prevalence of diabetic peripheral neuropathy and its relation to glycaemic control and potential risk factors: the EURODIAB IDDM Complications Study. *Diabetologia* 39: 1377-84
83. **Trautner C**, Haastert B, Giani G, Berger M (1996) Incidence of lower limb amputations and diabetes. *Diabetes Care* 19: 1006–1009
84. **Uccioli L**, Giacomini P, Monticone G, Magrini A, Durols A, Bruno E, Parisi L, Di Girolamo S, Menzinger G (1995) Body sway in diabetic neuropathy. *Diabetes Care* 18: 339–344
85. **Uccioli L**, Giacomini P, Pasqualetti P, Di Girolamo S et al. (1997) Contribution of central neuropathy to postural instability in IDDM patients with peripheral neuropathy. *Diabetes Care* 20: 929–934
86. **Wetz HH** (1998) Diabetisch-neuropathische Osteoarthropathie, *Dt Ärztebl* 95: 2701– 2705
87. **Wolf SL**, Barnhart HX, Ellison GL (1997) The Effect of Tai Chi Quan and Computerized Balance Training on Postural Stability in Older Subjects. *Physical Therapy* 77: 371-381
88. **Yamamoto R**, Kinshasa T, Momoki T (2001) Postural sway and diabetic peripheral neuropathy. *Diabetes Research and Clinical Practice* 52: 213–221
89. **Young MJ**, Boulton AJ, MacLeod AF, Williams DRR, Sonksen PH (1993) A multicentre study of the prevalence of diabetic peripheral neuropathy in the United Kingdom hospital clinic population. *Diabetologia* 36: 150–154
90. **Young MJ**, Marshall A, Adams JE (1995) Osteopenia, neurological dysfunction and the development of Charcot neuroarthropathy. *Diabetes care* 18: 34-8
91. **Ziegler D**, Gries FA (1996) Diabetische Neuropathie: Klassifikation, Epidemiologie, Prognose und sozialmedizinische Bedeutung. *Dt Ärztebl* 93:680–684

92. **Ziegler D**, Rathmann W, Dickhaus T et al. (2008) KORA Study Group. Prevalence of polyneuropathy in pre-diabetes and diabetes is associated with abdominal obesity and macroangiopathy: the MONICA/KORA Augsburg Surveys S2 and S3. *Diabetes Care* 31: 464-9
93. **Zimmermann A**, Reeps C, Härtl F, Ockert S, Eckstein HH (2009) Der Diabetische Fuß. *Chirurg* 80: 430–436

8. Tabellenverzeichnis

1. Symptome der autonomen dPNP.....	4
2. Symptome der sensomotorischen dPNP.....	5
3. Verordnungskriterien zur Schuhversorgung beim diabetischen Fußsyndrom und analogen Neuro-Angio-Arthropathien	12
4. Geschlecht, Alter und BMI im Gesamtkollektiv.....	42
5. Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie und HbA _{1c} -Wert im Gesamtkollektiv.....	43
6. Hyperkeratose und Krallenzehen im Gesamtkollektiv.....	44
7. Patellasehnenreflex und Beinlängendifferenz im Gesamtkollektiv.....	45
8. Fußulkus im Gesamtkollektiv.....	46
9. Geschlecht, Alter und BMI in der Gruppe ØPNP.....	47
10. Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie und HbA _{1c} -Wert in der Gruppe ØPNP.....	49
11. Hyperkeratose und Krallenzehen in der Gruppe ØPNP.....	50
12. Patellasehnenreflex und Beinlängendifferenz in der Gruppe ØPNP.....	51
13. Fußulkus in der Gruppe ØPNP.....	52
14. Geschlecht, Alter und BMI in der Gruppe PNP.....	53

15. Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie und HbA _{1c} -Wert in der Gruppe PNP.....	54
16. Hyperkeratose und Krallenzehen in der Gruppe PNP.....	55
17. Patellasehnenreflex und Beinlängendifferenz in der Gruppe PNP.....	56
18. Fußulkus in der Gruppe PNP.....	57
19. Zusammenfassung von Geschlecht, Alter, BMI, Diabetestyp, Erkrankungsdauer, Dauer der Insulintherapie, HbA _{1c} im Gesamtkollektiv und innerhalb der Gruppen.....	58
20. Zusammenfassung von Hyperkeratose, Krallenzehen, Patellasehnenreflex, Beinlängendifferenz und Ulkus im Gesamtkollektiv und innerhalb der Gruppen	59
21. Nicht signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bzgl. Patientenmerkmalen.....	61
22. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen bzgl. Patientenmerkmalen...61	
23. Mittelwerte für T_Länge_s+_a- abhängig von der Beinlängendifferenz.....	64
24. Korrelationen zwischen den Ergebnissen der Posturographie und der Rydel-Seifferschen Stimmgabel.....	67
25. Korrelationen zwischen den Ergebnissen der Posturographie und des Semmes-Weinstein Monofilaments.....	68
26. Signifikanz der Unterschiede zwischen den Gruppen bzgl. der posturographischen Messergebnisse.....	70
27. Mittelwerte der posturographischen Ergebnisse in den Gruppen und Differenzen der Mittelwerte.....	71
28. Relative Differenzen der Mittelwerte zwischen den Gruppen bezogen auf die Messparameter T_Länge und Rad.....	72
29. Relative Differenzen der Mittelwerte zwischen den Gruppen bezogen auf die Messparameter T_Länge und Rad in absteigender Reihenfolge.....	73
30. Korrelationen zwischen den Ergebnissen der Posturographie und dem Neuropathie Defizit Score.....	74

31. R-Quadrate der Regressionsanalysen der Zusammenhänge zwischen dem NDS und den Ergebnissen der posturographischen Messungen.....	81
32. Mittelwerte von T_Länge aller Probanden mit einem Neuropathie Defizit Score ≤ 2	82
33. Sensitivität und Spezifität von Grenzwerten für T_Länge_s+_a+.....	83
34. Sensitivität und Spezifität von Grenzwerten für T_Länge_s-_a+.....	83
35. Sensitivität und Spezifität von Grenzwerten für T_Länge_s+_a-.....	84
36. Sensitivität und Spezifität von Grenzwerten für T_Länge_s-_a-.....	84
37. Festgelegte Grenzwerte für T_Länge unter den verschiedenen Messbedingungen mit dazugehöriger Sensitivität und Spezifität.....	85
38. Signifikanz der Unterschiede der Ergebnisse der Posturographie bzgl. der Messbedingung Augen offen bzw. geschlossen im Gesamtkollektiv.....	87
39. Mittelwerte der Messungen mit offenen bzw. geschlossenen Augen und deren Differenzen im Gesamtkollektiv.....	87
40. Signifikanz der Unterschiede der Ergebnisse der Posturographie bzgl. der Messbedingung mit Schuhen bzw. ohne Schuhe im Gesamtkollektiv.....	88
41. Mittelwerte der Messungen mit Schuhen bzw. ohne Schuhe und deren Differenzen im Gesamtkollektiv.....	89
42. Signifikanz der Unterschiede der Ergebnisse der Posturographie bzgl. der Messbedingung Augen offen bzw. geschlossen in der Gruppe ØPNP.....	90
43. Mittelwerte der Messungen mit offenen bzw. geschlossenen Augen und deren Differenzen in der Gruppe ØPNP.....	91
44. Signifikanz der Unterschiede der Ergebnisse der Posturographie bzgl. der Messbedingung mit Schuhen bzw. ohne Schuhe in der Gruppe ØPNP.....	92
45. Mittelwerte der Messungen mit Schuhen bzw. ohne Schuhe und deren Differenzen in der Gruppe ØPNP.....	93
46. Signifikanz der Unterschiede der Ergebnisse der Posturographie bzgl. der Messbedingung Augen offen bzw. geschlossen in der Gruppe PNP.....	94

47. Mittelwerte der Messungen mit offenen bzw. geschlossenen Augen und deren Differenzen in der Gruppe PNP.....	95
48. Signifikanz der Unterschiede der Ergebnisse der Posturographie bzgl. der Messbedingung mit Schuhen bzw. ohne Schuhe in der Gruppe PNP.....	96
49. Mittelwerte der Messungen mit Schuhen bzw. ohne Schuhe und deren Differenzen in der Gruppe PNP.....	96
50. Vergleich der Differenzen der Mittelwerte der beiden Gruppen bzgl. der Messbedingung Augen offen bzw. geschlossen.....	97
51. Vergleich der Differenzen der Mittelwerte der beiden Gruppen bzgl. der Messbedingung mit Schuhen bzw. ohne Schuhe.....	98
52. Studien zur Untersuchung der posturalen Stabilität bei Diabetikern.....	99

9. Abbildungsverzeichnis

1. Untersuchung mit der Rydel-Seifferschen Stimmgabel.....	7
2. Untersuchung mit dem Tip Therm.....	8
3. Untersuchung mit dem Semmes-Weinstein Monofilament.....	9
4. Untersuchung des Schmerzempfindens.....	10
5. Die multifaktorielle Genese des diabetischen Fußsyndroms (DFS).....	15
6. Relative Prävalenzen (%) der Einflussfaktoren, die zur Ausbildung eines diabetischen Fußsyndroms beitragen.....	16
7. Datenerhebungsbogen.....	25
8. Bestimmung der Beinlängendifferenz.....	30
9. Finger-Nase-Versuch.....	31
10. Berechnung des Neuropathie Defizit Scores.....	32
11. L.A.S.A.R Posture.....	33
12. Messung mit dem L.A.S.A.R Posture.....	34
13. Verlauf des Kraftschwerpunktes während einer posturographischen Messung. .	35
14. Displayausgabe eines posturographischen Messergebnisses.....	36
15. Bestimmung des Fersenabstands.....	38
16. Ablauf einer posturographischen Messung.....	39

10. Diagrammverzeichnis

1. Zusammenhang zwischen der Beinlängendifferenz und den posturographischen Ergebnissen für T_Länge_s+_a-.....	63
2. Zusammenhang zwischen dem Fersenabstand und den posturographischen Ergebnissen für T_Länge_s+_a-.....	65
3. Zusammenhang zwischen dem Neuropathie Defizit Score und den Ergebnissen für T_Länge_s+_a+.....	77
4. Zusammenhang zwischen dem Neuropathie Defizit Score und den Ergebnissen für T_Länge_s+_a-.....	78
5. Zusammenhang zwischen dem Neuropathie Defizit Score und den Ergebnissen für T_Länge_s-_a+.....	79
6. Zusammenhang zwischen dem Neuropathie Defizit Score und den Ergebnissen für T_Länge_s-_a-.....	80

11. Danksagung

Ein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. Hans Henning Wetz für die Bereitstellung des Themas.

Prof. Dr. Burkhard Drerup und Dr. Armin Koller danke ich sehr für ihre Unterstützung und ihr Engagement. Viele produktive Gespräche und Anregungen haben wesentlich zur Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen.

Bei den ärztlichen Kollegen Rose, Pohlmeier und Lammers aus der Diabetologischen Gemeinschaftspraxis im Zentrum für Diabetes und Gefäßerkrankungen im Franziskus Carré, Münster, möchte ich mich ebenfalls besonders bedanken. Sie ermöglichten mir den Kontakt zu den Patienten ihrer Praxis und somit zu den Probanden dieser Studie.

Außerdem möchte ich mich herzlich bei Dr. Nani Osada vom Institut für Medizinische Informatik und Biomathematik der Uni Münster bedanken. Sie unterstützte mich mit viel Engagement bei der statistischen Auswertung der Daten.

Bedanken möchte ich mich ebenfalls bei Dr. Hans Ulrich Illgner, der mich bei der Fertigstellung der Arbeit begleitet hat.

Mein Dank geht zudem an Christina Dües und an Rebekka Korthues für die Durchsicht dieser Arbeit.

Meiner Schwester Kristina Söbbe danke ich vielmals für ihre verlässliche und unkomplizierte Unterstützung in jeder Form.

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Eltern, die mir das Studium ermöglichten und mich jederzeit unterstützen. Ich danke ihnen, dass sie für meine Geschwister und mich immer da sind.

12. Lebenslauf