

**Aus dem Universitätsklinikum Münster**

**Institut für Sportmedizin**

**Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Klaus Völker**

---

**Einfluss eines spezifischen Trainings  
auf sensomotorische Fähigkeiten  
bei Typ 2-Diabetikern**

**INAUGURAL – DISSERTATION**

**zur**

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

**Vorgelegt von**

**Eichler, Armin Joachim Ulrich**

**aus Wustrow**

**2007**



Dekan: **Univ.-Prof. Dr. V. Arolt**

1. Berichterstatter: **Univ.-Prof. Dr. K. Völker**

2. Berichterstatter: **Priv.-Doz. Dr. M. Gaubitz**

Tag der mündlichen Prüfung: 24.01.2007

## **Aus dem Universitätsklinikum Münster**

### **Institut für Sportmedizin**

- Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Klaus Völker

- Referent: Univ.-Prof. Dr. K. Völker

- Korreferent: Priv.-Doz. Dr. M. Gaubitz

---

### **Zusammenfassung**

#### **Einfluss eines spezifischen Trainings auf sensomotorische Fähigkeiten bei Typ 2-Diabetikern**

**Armin Eichler**

Ziel dieser Studie war den Einfluss eines achtmonatigen, spezifischen Trainings auf ausgewählte biokinetische Parameter der Sensomotorik von Typ 2 Diabetikern zu untersuchen.

Das Untersuchungskollektiv bestand aus 15 Diabetikern Typ 2 (7 Frauen, 8 Männer; Alter Ø 64 +/-10 Jahre), deren Erkrankung seit Ø 9,5 Jahren bekannt war und 14 Gesunden (7 Frauen, 7 Männer; Alter Ø 56 +/-7 Jahre). Gemessen wurde jeweils in einer Vor- und Nachuntersuchung. Mithilfe des Semmes -Weinstein - Monofilament 5,07 log<sub>10</sub>(g) erfolgte bei einem Sensibilitätsmittelwert oberhalb dieser Grenze und der Messung an 5 plantaren Messpunkten die Trennung der Diabetiker in zwei Gruppen (Diabetiker ohne Neuropathie: Diabetiker non NP, Diabetiker mit Neuropathie: Diabetiker NP). Es resultierten 9 Diabetiker non NP (6 Frauen, 3 Männer; Alter Ø 63 +/-11 Jahre) und 6 Diabetiker NP (1 Frau, 5 Männer; Alter Ø 66 +/-7 Jahre).

5 Testverfahren kamen zur Anwendung: - Sensibilitätstest (Semmes- Weinstein-Monofilament), - Stabilitätstest (Kistler-Kraftmessplatte), - Winkelreproduktionstest im oberen Sprunggelenk, - Druckverteilungstest (emed ST Druckverteilungsplatte), - Stabilitätstest (Biodex-Stability-System).

Ergebnisse:

Beim Vergleich der Gesamt-Sensibilitätsmittelwerte über alle 5 plantaren Messpunkte vorher zu nachher ergaben sich tendenzielle (p0.075) Verbesserungen der Sensibilitätswerte bei den Diabetikern NP.

Signifikante Anhebungen der Hautdrucksensibilität konnten im Messpunkt Mittelfuß (MW: vorher 5,1442, nachher 4,5608; STABW: 0,8676/0,4211; p0.046), Vorfuß lateral (MW: 5,5208/4,9992; STABW: 0,9037/0,6580; p0.028) und Hallux (MW: 6,0225/5,4200; STABW: 0,4496/0,6656; p0.028) in dieser Gruppe gemessen werden.

Im Winkelreproduktionstest des oberen Sprunggelenkes hatten Gesunde im Vergleich mit Diabetikern non NP (p0.039) und Diabetikern NP (p0.020) signifikant niedrigere Winkelabweichungen. Nach dem spezifischen Training konnte eine signifikante (p0.041) Reduktion der mittleren absoluten Winkelabweichung aufseiten der Diabetiker verifiziert werden (MW: vorher 2,16, nachher 1,68; STABW: 0,80693/0,37834).

Das spezifische Training führte zu einer Reihe von positiven Veränderungen der sensomotorischen Leistungsparameter bei den Typ 2 Diabetikern. Im Bereich der Hautdrucksensibilität an der Fußsohle und des Gelenkstellungsempfinden im oberen Sprunggelenk waren diese signifikant.

Tag der mündlichen Prüfung: 24.01.2007

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1	<b>Einführung in die Thematik.....</b>	<b>1</b>
1.2	<b>Der Typ 2-Diabetes.....</b>	<b>5</b>
1.2.1	<i>Insulinresistenz.....</i>	<i>5</i>
1.2.2	<i>Genetische Disposition.....</i>	<i>6</i>
1.2.3	<i>Risiko der Lebensweise.....</i>	<i>7</i>
1.2.4	<i>Spätkomplikationen und finanzielle Belastungen.....</i>	<i>8</i>
1.3	<b>Die diabetische Neuropathie.....</b>	<b>9</b>
1.3.1	<i>Definition.....</i>	<i>9</i>
1.3.2	<i>Epidemiologie.....</i>	<i>9</i>
1.3.3	<i>Ätiopathogenese.....</i>	<i>11</i>
1.3.4	<i>Therapie.....</i>	<i>12</i>
1.4	<b>Das körperliche Training.....</b>	<b>13</b>
1.5	<b>Fragestellung.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>16</b>
2.1	<b>Das Untersuchungskollektiv.....</b>	<b>16</b>
2.1.1	<i>Ein-bzw.Ausschlusskriterien.....</i>	<i>17</i>
2.2	<b>Untersuchungsort und-zeit.....</b>	<b>18</b>
2.3	<b>Training in der Diabetes-Sportgruppe.....</b>	<b>18</b>
2.3.1	<i>Zeitlicher Ablauf einer Trainingseinheit.....</i>	<i>19</i>
2.3.2	<i>Spezifische Fußgymnastik für Diabetiker.....</i>	<i>20</i>
2.4	<b>Untersuchungsablauf.....</b>	<b>22</b>
2.4.1	<b>Sensibilitätstest.....</b>	<b>23</b>
2.4.1.1	<i>Versuchsaufbau.....</i>	<i>23</i>
2.4.1.2	<i>Versuchsablauf.....</i>	<i>25</i>
2.4.2	<b>Stabilitätstest (Kraftmessplatte).....</b>	<b>25</b>
2.4.2.1	<i>Versuchsaufbau.....</i>	<i>25</i>
2.4.2.2	<i>Versuchsablauf.....</i>	<i>27</i>
2.4.3	<b>Winkelreproduktionstest.....</b>	<b>28</b>
2.4.3.1	<i>Versuchsaufbau.....</i>	<i>28</i>
2.4.3.2	<i>Versuchsablauf.....</i>	<i>30</i>
2.4.4	<b>Druckverteilungstest.....</b>	<b>32</b>
2.4.4.1	<i>Versuchsaufbau.....</i>	<i>32</i>
2.4.4.2	<i>Versuchsablauf.....</i>	<i>34</i>
2.4.5	<b>Stabilitätstest (Biodex-Stability-Test).....</b>	<b>35</b>
2.4.5.1	<i>Versuchsaufbau.....</i>	<i>35</i>
2.4.5.2	<i>Versuchsablauf.....</i>	<i>36</i>

<b>2.5</b>	<b>Statistik.....</b>	<b>38</b>
2.5.1	<i>Deskriptive Statistik.....</i>	38
2.5.2	<i>Analytische Statistik.....</i>	38
2.5.3	<i>Bedeutung der Boxplot-Diagramme.....</i>	39
<b>3</b>	<b>Ergebnisse.....</b>	<b>40</b>
<b>3.1</b>	<b>Sensibilitätstest.....</b>	<b>40</b>
3.1.2	<b>Subgruppen: Diabetiker ohne Neuropathie/Diabetiker mit Neuropathie (non NP/NP).....</b>	<b>40</b>
3.1.3	<i>Vergleich der Gesamt-Sensibilitätsmittelwerte der Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....</i>	<i>41</i>
3.1.4	<i>Vergleich der Gesamt-Sensibilitätsmittelwerte der Gruppen vorher/nachher.....</i>	<i>42</i>
3.1.5	<i>Vergleich der Sensibilität der Gruppen Gesunde, Diabetiker (non NP) und Diabetiker (NP) an allen spezifischen Messpunkten zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....</i>	<i>43</i>
3.1.6	<i>Vergleich der Sensibilität der Gruppen Gesunde, Diabetiker (non NP) und Diabetiker (NP) an allen spezifischen Messpunkten zum Zeitpunkt vorher/ nachher.....</i>	<i>44</i>
3.1.6.1	<i>Messpunkt Ferse.....</i>	<i>44</i>
3.1.6.2	<i>Messpunkt Mittelfuß.....</i>	<i>45</i>
3.1.6.3	<i>Messpunkt Vorfuß lateral.....</i>	<i>46</i>
3.1.6.4	<i>Messpunkt Vorfuß medial.....</i>	<i>47</i>
3.1.6.5	<i>Messpunkt Hallux.....</i>	<i>48</i>

<b>3.2</b>	<b>Stabilitätstest (Kraftmessplatte).....</b>	<b>49</b>
3.2.1	<i>Streuung der Werte in medio-lat. und anterior-post. Richtung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung (SDy/SDx)....</i>	<i>49</i>
3.2.2	<i>Streuung der Werte in medio-lat. und anterior-post. Richtung vorher/nachher (SDy/SDx).....</i>	<i>50</i>
3.2.3	<i>Maximale Schwankungsweite in medio-lat. und anterior-post. Richtung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung (dy/dx).....</i>	<i>52</i>
3.2.4	<i>Maximale Schwankungsweite in medio-lat. und anterior-post. Richtung vorher/nachher (dy/dx).....</i>	<i>53</i>
3.2.5	<i>Gesamter Schwankungsweg zum Zeitpunkt der Voruntersuchung (Sxy).....</i>	<i>54</i>
3.2.6	<i>Gesamter Schwankungsweg vorher/nachher (Sxy).....</i>	<i>55</i>
<b>3.3</b>	<b>Winkelreproduktionstest.....</b>	<b>56</b>
3.3.1	<i>Mittlere Winkelabweichung pro vorgegebenen Winkel, mittlere absolute Winkelabweichung-10° Dorsalextension &amp; 15° Plantarflexion-zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....</i>	<i>56</i>
3.3.2	<i>Mittlere Winkelabweichung pro vorgegebenen Winkel bei Diabetikern und Gesunden vorher/nachher.....</i>	<i>57</i>
3.3.3	<i>Mittlere Winkelabweichung pro vorgegebenen Winkel bei Diabetikern non NP, Diabetikern NP und Gesunden Vorher/nachher.....</i>	<i>58</i>
3.3.4	<i>Mittlere Winkelabweichung pro vorgegebenen Winkel bei 10° Dorsalextension für die drei Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....</i>	<i>59</i>
3.3.5	<i>Mittlere Winkelabweichung pro vorgegebenen Winkel bei 15° Plantarflexion für die drei Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....</i>	<i>60</i>
<b>3.4</b>	<b>Druckverteilungstest.....</b>	<b>61</b>
3.4.1	<i>Ganggeschwindigkeit auf einer Distanz von 2 Metern zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....</i>	<i>62</i>
3.4.2	<i>Ganggeschwindigkeit auf einer Distanz von 2 Metern vorher/nachher.....</i>	<i>63</i>
3.4.3	<i>Berechnung des Fußformindex nach Cavanagh.....</i>	<i>64</i>
3.4.4	<i>Durchschnittlich aufgesetzte Kontaktfläche zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....</i>	<i>65</i>
3.4.5	<i>Durchschnittlich aufgesetzte Kontaktfläche vorher/ nachher.....</i>	<i>66</i>
3.4.6	<i>Durchschnittlich aufgesetzte Kontaktfläche einzelner Fußareale zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....</i>	<i>67</i>
	<i>- Ferse medial und Ferse lateral.....</i>	<i>67</i>
	<i>- Mittelfuß medial und Mittelfuß lateral.....</i>	<i>67</i>
	<i>- Vorfuß medial, Vorfuß zentral, Vorfuß lateral.....</i>	<i>68</i>
	<i>- Hallux, zweite Zehe und dritte bis fünfte Zehe.....</i>	<i>68</i>

3.4.7	<i>Durchschnittlich aufgesetzte Kontaktfläche einzelner Fußareale vorher/ nachher</i> .....	69
	- Ferse medial.....	69
	- Ferse lateral.....	70
	- Mittelfuß medial.....	70
	- Mittelfuß lateral.....	71
	- Vorfuß medial.....	71
	- Vorfuß zentral.....	72
	- Vorfuß lateral.....	72
	- Hallux.....	73
	- zweite Zehe.....	73
	- dritte bis fünfte Zehe.....	74
3.4.8	<i>Kontaktzeit zum Zeitpunkt der Voruntersuchung</i> .....	75
3.4.9	<i>Kontaktzeit vorher/nachher</i> .....	75
3.4.10	<i>Kontaktzeit einzelner Fußareale zum Zeitpunkt der Voruntersuchung</i> .....	76
	- Ferse medial und Ferse lateral.....	76
	- Mittelfuß medial und Mittelfuß lateral.....	77
	- Vorfuß medial, Vorfuß zentral, Vorfuß lateral.....	77
	- Hallux, zweite Zehe und dritte bis fünfte Zehe.....	78
3.4.11	<i>Kontaktzeit einzelner Fußareale vorher/nachher</i> .....	78
	- Ferse medial.....	78
	- Ferse lateral.....	79
	- Mittelfuß medial.....	79
	- Mittelfuß lateral.....	80
	- Vorfuß medial.....	80
	- Vorfuß zentral.....	81
	- Vorfuß lateral.....	81
	- Hallux.....	82
	- zweite Zehe.....	82
	- dritte bis fünfte Zehe.....	83
3.4.12	<i>Maximal wirkende Kraft zum Zeitpunkt der Voruntersuchung</i> .....	83
3.4.13	<i>Maximal wirkende Kraft vorher/nachher</i> .....	84
3.4.14	<i>Maximal wirkende Kraft in einzelnen Fußarealen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung</i> .....	85
	- Ferse medial und Ferse lateral.....	85
	- Mittelfuß medial und Mittelfuß lateral.....	85
	- Vorfuß medial, Vorfuß zentral, Vorfuß lateral.....	86
	- Hallux, zweite Zehe und dritte bis fünfte Zehe.....	86

3.4.15	<i>Maximal wirkende Kraft in einzelnen Fußarealen</i>	
	<i>vorher/nachher</i> .....	87
	- <i>Ferse medial</i> .....	87
	- <i>Ferse lateral</i> .....	87
	- <i>Mittelfuß medial</i> .....	88
	- <i>Mittelfuß lateral</i> .....	88
	- <i>Vorfuß medial</i> .....	89
	- <i>Vorfuß zentral</i> .....	89
	- <i>Vorfuß lateral</i> .....	90
	- <i>Hallux</i> .....	90
	- <i>zweite Zehe</i> .....	91
	- <i>dritte bis fünfte Zehe</i> .....	91
3.4.16	<i>Spitzendruck zum Zeitpunkt der Voruntersuchung</i> .....	92
3.4.17	<i>Spitzendruck vorher/nachher</i> .....	92
3.4.18	<i>Spitzendruck in einzelnen Fußarealen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung</i> .....	93
	- <i>Ferse medial und Ferse lateral</i> .....	93
	- <i>Mittelfuß medial und Mittelfuß lateral</i> .....	94
	- <i>Vorfuß medial, Vorfuß zentral, Vorfuß lateral</i> .....	94
	- <i>Hallux, zweite Zehe und dritte bis fünfte Zehe</i> .....	95
3.4.19	<i>Spitzendruck in einzelnen Fußarealen vorher/nachher</i> .....	95
	- <i>Ferse medial</i> .....	95
	- <i>Ferse lateral</i> .....	96
	- <i>Mittelfuß medial</i> .....	96
	- <i>Mittelfuß lateral</i> .....	97
	- <i>Vorfuß medial</i> .....	97
	- <i>Vorfuß zentral</i> .....	98
	- <i>Vorfuß lateral</i> .....	98
	- <i>Hallux</i> .....	99
	- <i>zweite Zehe</i> .....	99
	- <i>dritte bis fünfte Zehe</i> .....	100
3.4.20	<i>Kraft-Zeit-Integral in einzelnen Fußarealen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung</i> .....	100
	- <i>Ferse medial und Ferse lateral</i> .....	100
	- <i>Mittelfuß medial und Mittelfuß lateral</i> .....	101
	- <i>Vorfuß medial, Vorfuß zentral, Vorfuß lateral</i> .....	101
	- <i>Hallux, zweite Zehe und dritte bis fünfte Zehe</i> .....	102
3.4.21	<i>Kraft-Zeit-Integral in einzelnen Fußarealen vorher/nachher</i> .....	103
	- <i>Ferse medial</i> .....	103
	- <i>Ferse lateral</i> .....	103
	- <i>Mittelfuß medial</i> .....	104
	- <i>Mittelfuß lateral</i> .....	104
	- <i>Vorfuß medial</i> .....	105
	- <i>Vorfuß zentral</i> .....	105
	- <i>Vorfuß lateral</i> .....	106
	- <i>Hallux</i> .....	106

- zweite Zehe.....	107
- dritte bis fünfte Zehe.....	107
<b>3.5 Stabilitätstest (Biodex-Stability-Test).....</b>	<b>108</b>
3.5.1 Vergleich der Stabilitätsindices von Gesunden, Diabetikern non NP und Diabetikern NP zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	108
3.5.2 Overall Stability Index (SI) für die Gruppe der Gesunden vorher/nachher.....	110
3.5.3 Anteriorer/posteriorer (AP) Stability Index für die Gruppe der Gesunden vorher/nachher.....	111
3.5.4 Medialer/lateraler (ML) Stability Index für die Gruppe der Gesunden vorher/nachher.....	111
3.5.5 Overall Stability Index (SI) für die Gruppe der Diabetiker non NP vorher/nachher.....	112
3.5.6 Anteriorer/posteriorer (AP) Stability Index für die Gruppe der Diabetiker non NP vorher/nachher.....	112
3.5.7 Medialer/lateraler (ML) Stability Index für die Gruppe der Diabetiker non NP vorher/nachher.....	113
3.5.8 Overall Stability Index (SI) für die Gruppe der Diabetiker NP vorher/nachher.....	114
3.5.9 Anteriorer/posteriorer (AP) Stability Index für die Gruppe der Diabetiker NP vorher/nachher.....	114
3.5.10 Medialer/lateraler (ML) Stability Index für die Gruppe der Diabetiker NP vorher/nachher.....	115
<b>3.6 Gesamtsicht der wichtigsten Testparameter.....</b>	<b>116</b>
3.6.1 Sensibilitätstest.....	116
3.6.2 Stabilitätstest (Kraftmessplatte).....	118
3.6.3 Winkelreproduktionstest.....	120
3.6.4 Druckverteilungstest.....	121
3.6.5 Stabilitätstest (Biodex- Stability- Test).....	127
<b>3.7 Retest-Reliabilität in der Gruppe der Gesunden.....</b>	<b>130</b>
3.7.1 Sensibilitätstest.....	130
3.7.2 Stabilitätstest (Kraftmessplatte).....	130

3.7.3	<i>Winkelreproduktionstest</i> .....	130
3.7.4	<i>Druckverteilungstest</i> .....	131
3.7.5	<i>Stabilitätstest (Biodex-Stability-System)</i> .....	133
<b>4</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>134</b>
<b>4.1</b>	<b>Training in der Diabetes-Sportgruppe</b> .....	<b>134</b>
4.1.1	<i>Das spezifische Trainingsprogramm</i> .....	136
<b>4.2</b>	<b>Methodenkritik</b> .....	<b>137</b>
4.2.1	<i>Sensibilitätstest</i> .....	137
4.2.2	<i>Stabilitätstest (Kraftmessplatte)</i> .....	139
4.2.3	<i>Winkelreproduktionstest</i> .....	140
4.2.4	<i>Druckverteilungstest</i> .....	141
4.2.5	<i>Stabilitätstest (Biodex-Stability-Test)</i> .....	142
4.2.6	<i>Retest-Reliabilität</i> .....	144
<b>4.3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>144</b>
4.3.1	<i>Sensibilitätstest</i> .....	144
4.3.2	<i>Stabilitätstest (Kraftmessplatte) und Biodex-Stability-System</i> .....	146
4.3.3	<i>Winkelreproduktionstest</i> .....	147
4.3.4	<i>Druckverteilungstest</i> .....	148
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>154</b>
<b>6</b>	<b>Ausblick</b> .....	<b>156</b>
<b>7</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>159</b>
<b>8</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>162</b>
<b>9</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>172</b>
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>173</b>

## 1 Einleitung

### 1.1 Einführung in die Thematik

Die weltweit zu beobachtende Zunahme des Diabetes mellitus stellt eine große Herausforderung für die modernen Gesellschaften dar. Insbesondere der Typ 2 Diabetes, ca. 90% der Diabetiker in Deutschland leiden an ihm (89) breitet sich in epidemischem Maße aus. Ende der 80er Jahre betrug die Gesamtprävalenz des Diabetes mellitus in Deutschland zwischen 4 und 5%, das entsprach 3,5 bis 4,0 Millionen Personen (51).

Eine 18,5% Zufallsstichprobe aller AOK- Versicherten im Bundesland Hessen für den Zeitraum 1998-2001 ergab folgende Daten. Dort wurden 6,9% aller Versicherten wegen eines Diabetes mellitus behandelt. Der jährliche Prävalenzzuwachs lag in diesem Zeitraum bei knapp 5% (47).

Die Studie von Palitzsch (78) deutet auf eine erhebliche Steigerung der Prävalenz, eine Zahl zwischen 7 und 8% der Erwachsenenbevölkerung.

Vergleichbare Entwicklungen sind auch in anderen europäischen Ländern zu beobachten (Abb.1).

	Finland 1997	Deutschland 1999	Niederlande 1995	Italien 1993
<b>Altersgruppe 45 - 54 Jahre</b>				
Männer	4,3%	4,2%	3,2%	6,3%
Frauen	2,4%	2,5%	2,0%	3,8%
<b>Altersgruppe 55 - 64 Jahre</b>				
Männer	6,9%	8,8%	8,2%	11,9%
Frauen	7,1%	7,5%	7,1%	8,4%

Abb.: 1 Prävalenz des Typ 1- und Typ 2- Diabetes mellitus in Nord-, Mittel- und Südeuropa für mittlere Altersgruppen (51; S.27)

Die australische Diabetes-, Adipositas- und Lebensstil- Studie (26) ergab folgende Prävalenzwerte in Australien: 8% bei Männern, 6,8% bei Frauen. Außerdem wiesen 17,4% der Männer und 15,4% der Frauen eine IGT (gestörte Glukosetoleranz) oder IFG (gestörte Nüchtern glukose) auf. Seit 1981 hat sich damit das Auftreten des Diabetes mehr als verdoppelt.

Besorgniserregend ist nicht nur der Prävalenzanstieg des Diabetes in Australien, die Werte zur gestörten Glukosetoleranz gehören zu den höchsten, die je in einem entwickelten Land mit mehrheitlich europäischem Hintergrund beobachtet wurden.

2003 gab es weltweit 189 Millionen Diabetiker. Für das Jahr 2025 wird mit 324 Millionen Diabetikern gerechnet, dies entspricht einer Zunahme von 72%. Etwa 1/3 der Betroffenen verteilt sich auf die Industrienationen, 2/3 von ihnen leben in sich entwickelnden Ländern. D.h. die größeren Krankheitslasten betreffen Länder, die weniger als 10% der Ressourcen für Prävention, Diagnostik und Therapie besitzen (30).

Parallel ist seit Jahrzehnten eine Zunahme der Adipositas (BMI  $\geq$  30)- Prävalenz in Deutschland zu beobachten. 1998 hat nur etwa ein Drittel der erwachsenen Bevölkerung Normalgewicht.

Zwischen 18,3 und 24,5% der Bundesbürger im Alter zwischen 18 und 79 Jahren hatten einen BMI  $\geq$  30. Leicht übergewichtig (BMI 25,0 bis 29,9) waren in diesem Jahr zwischen 31,1 und 48,7% der Bevölkerung (46).

Amerikanische Studien unter Erwachsenen (33), Kindern und Jugendlichen (77) zeigen eine Zunahme von Übergewicht, Adipositas und extremer Adipositas (BMI  $\geq$  40).

Bei den Erwachsenen stieg die Adipositasprävalenz von 22,9% (1988-1994) auf 30,5% (1999- 2000), das Übergewicht erhöhte sich während dieses Zeitraumes von 55,9% auf 64,5%.

Auch die extreme Adipositas nahm in der Bevölkerung signifikant von 2,9% auf 4,7% zu.

Für Kinder und Jugendliche wurden folgende Übergewichts-Prävalenzen im vorgenannten Zeitraum ermittelt: 12- bis 19- jährige 15,5% (zuvor 10,5%), 6-bis 11- jährige 15,3% (11,3%) und 2- bis 5- jährige 10,4% (7,2%).

Indien hat die größte Diabetikerbevölkerung in der Welt. Auch dort gilt es, die Möglichkeiten der Prävention zu nutzen. Veränderte Eßgewohnheiten, wachsendes Körpergewicht und die verminderte physische Aktivität sind die Hauptfaktoren des vermehrten Auftretens von Diabetes Typ 2. Fettleibigkeit ist der wichtigste modifizierbare Risikofaktor (86).

Die WHO spricht von einer „globalen Epidemie der Fettleibigkeit“. Adipositas und Diabetes Typ 2 besitzen einen kombiniert genetisch- umweltbedingten Hintergrund, die Epidemie jedoch muss durch größere Veränderungen der Umgebungsfaktoren verursacht sein (99).

Dem Einfluss von Bewegungsverhalten und Ernährungsgewohnheiten auf die Entwicklung eines Diabetes widmen sich folgende Studien in besonderer Weise:

Ziel der Da Qing IGT und Diabetesstudie (79) war zu überprüfen, ob Diät- und Bewegungsprogramme bei Menschen mit IGT die Entwicklung eines Diabetes verzögern. Untersucht wurde die Frage, ob seine Prävalenz, das Auftreten von Spätkomplikationen und die erhöhte Mortalität zu beeinflussen sein würde. In einer 6-jährigen Periode kam es zu einer bedeutsamen Verminderung der Inzidenz von NIDDM.

Für die Diabetes Prevention Study (DPS) aus Finnland (31) wurden 522 Personen mit einem hohen Diabetesrisiko (IGT) zufällig in zwei Gruppen verteilt. Die Kontrollgruppenmitglieder bekamen lediglich generelle Empfehlungen für körperliche Aktivität und gesunde Ernährung zu Beginn der Studie und in jährlichem Abstand. Intensiv betreut wurde die andere Gruppe (mit dem Ziel: *Gewichtsabnahme* von mindestens 5% durch fettarme, ballaststoffreiche Kost; Motivationshilfe durch Gespräche und Broschüren, um eine tägliche, mindestens 30 minütige *mittelstarke, körperliche Belastung* zu erreichen).

Da in der intensiv betreuten Gruppe signifikant weniger Personen eine Diabeteserkrankung entwickelten als in der Kontrollgruppe, wurde die Studie aus ethischen Gründen abgebrochen. Das Diabetesrisiko sank um 58% ( $p < 0,001$ ).

Die DPS unterstreicht Wirksamkeit und Machbarkeit eines Programms, das allein über Veränderungen im Lebensstil zu signifikanten Verbesserungen bei Körpergewicht und Plasmaglukosekonzentration gelangt. Positive Änderungen betrafen auch Blutdruck, Serumlipide und anthropometrische Indizes.

Interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Frage, ob ein pharmakologischer Therapieansatz vergleichbare Ergebnisse zeigt. Eine amerikanische Untersuchung (58), bei der Lebensstilveränderungen gegen die Medikation mit Metformin verglichen wurde, reduzierte durch Verhaltensmodifikation das Auftreten von Diabetes um 58% (95%CI 48-66%). Der Lebensstileingriff war wirksamer als die Gabe von Metformin (31%, 95%CI 17-43%) allein. In dieser Studie wurde das Ziel einer Gewichtsreduktion von mindestens 7% und einer körperlichen Aktivität von mindestens 150 Minuten pro Woche zugrunde gelegt.

In der Diabetesprävention gibt es derzeit kein wirksameres Prinzip als eine sinnvolle kalorienadaptierte Ernährung sowie ein regelmäßiges Trainings-/Bewegungsprogramm. Beim manifesten Diabetes Typ 2 existieren kaum gesicherte Daten darüber, ob Diät- Bewegungs / Sport- Programme einen messbaren Einfluss auf die Progression der Erkrankung und die Entwicklung bzw. Beeinflussung von Spätschäden haben. Es ist jedoch anzunehmen, dass über eine Reduzierung der Insulinresistenz und die damit verbundene Normalisierung der Blutzuckerwerte positive Effekte auftreten.

Sportliche Aktivität mit Ausdauercharakter reduziert das Körpergewicht und eliminiert die abdominelle Adipositas. Im Fettstoffwechsel sinkt der Triglyzeridspiegel und das Gesamtcholesterin. Es kommt zur Senkung des LDL-

Spiegels und zu einer Erhöhung der HDL- Fraktion. Körperliche Aktivität erhöht den peripheren Glukosetransport in die Zelle und wirkt hierdurch einer Insulinresistenz entgegen. In der Folge sinkt der Insulinspiegel.

Positive Veränderungen sind insbesondere in den für Diabetiker relevanten Bereichen möglich. Normalisierung bzw. Besserung des Bewegungsverhaltens, Blutdruck, Immunsystem, Stütz- und Bewegungsapparat, Blutgerinnung, Rauchverhalten und Psyche (9).

Da wir in der Gruppe der Typ 2 Diabetiker vorwiegend und zunehmend mit älteren Menschen konfrontiert werden (unser Kollektiv: Alter 64 +/-10 Jahre, DPS: 55 Jahre, Knowler: 51 Jahre) ist es erforderlich auf die besonderen Voraussetzungen beim älteren Menschen einzugehen. Notwendig sind spezifische Schulungs- und Bewegungsprogramme, die Einschränkungen der körperlichen Beweglichkeit und Kraft sowie eine eventuell vorliegende reduzierte kognitive Leistungsfähigkeit berücksichtigen.

Eine Untersuchung von Asimakopoulou geht dieser Problematik nach und kommt zu dem Ergebnis, dass bis auf kleine kognitive Defizite im wörtlichen Gedächtnis und bei der geistigen Flexibilität im Hinblick auf die kognitiven Fähigkeiten keine Unterschiede zwischen relativ unkomplizierten Typ 2 Diabetikern und Gesunden bestehen (5).

Spezifische Einschränkungen und damit möglicherweise verbundene Wahrnehmungsstörungen durch die Entwicklung von diabetischen Spätschäden wie Makroangiopathie (KHK,PAVK,ZVI), Diabetisches Fußsyndrom, Mikroangiopathie, Nephropathie, Erblindung und Neuropathie erfordern bei der Ausgestaltung von Bewegungsprogrammen besondere Berücksichtigung.

Bisher wurden die beschriebenen Möglichkeiten in Prävention und Behandlung nicht in ausreichendem Maße genutzt (111).

Lifestyle-Modifikation sowie gezielte präventiv-therapeutische Maßnahmen sind möglich und effektiv.

Zu fordern wären Aufklärungs- und Motivationsprogramme, die schon im Kindergarten beginnen und die zu gesunder Ernährungsweise und „spaßbetonter“ körperlicher Bewegung führen.

## 1.2 Der Typ 2 Diabetes

### 1.2.1 Insulinresistenz

Pathophysiologisch liegt dem Diabetes Typ 2 sowohl eine Insulinresistenz an seinen Zielgeweben (Muskel, Leber, Fettgewebe), als auch eine progrediente Dysfunktion der Beta-Zellen des endokrinen Pankreas zugrunde.

Mit einer Prävalenz der Insulinresistenz zwischen 60 und 90% beim Diabetes Typ 2- Patienten muss gerechnet werden (100).

Das Mehrstufenmodell der Diabetesentstehung geht von einer zugrunde liegenden genetischen Prädisposition zur Entwicklung einer Insulinresistenz aus.

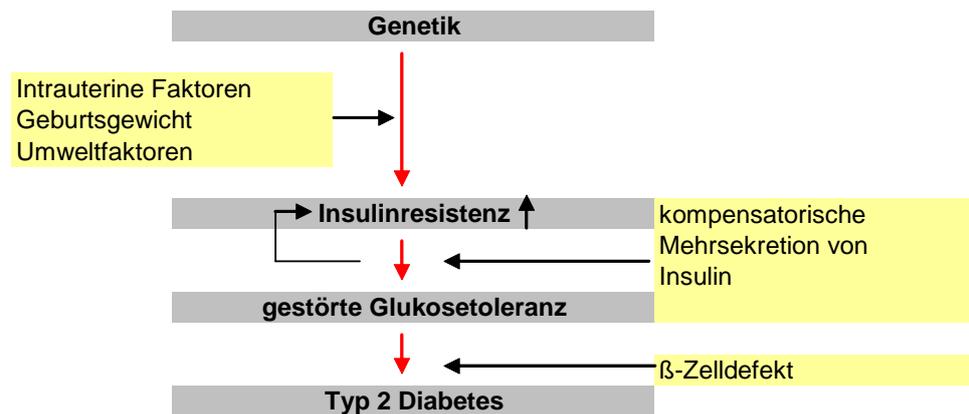


Abb.2 Mehrstufenmodell der Pathogenese des Diabetes mellitus Typ 2 (92)

Auch an der Entwicklung von Dyslipidämie, Bluthochdruck und Atherosklerose ist die Insulinresistenz maßgeblich beteiligt. Adipositas ist stark mit ihr assoziiert, etwa 85% der Diabetes Typ 2- Patienten sind übergewichtig. Ein hoher Körperfettanteil determiniert die Entwicklung einer Insulinresistenz.

Neben den freien Fettsäuren, den seit längerem bekannten Mediatoren der Insulinresistenz, deuten aktuelle Untersuchungen auf weitere beteiligte Faktoren hin [Tumor- Nekrose-Faktor (TNF- $\alpha$ ), Resistin, Adiponectin] (101).

Bei der Manifestation des Diabetes Typ 2 hat die Insulinproduktion ihr Maximum erreicht. Eine weitere Sekretionssteigerung ist nicht mehr möglich. Neben erhöhten Insulinspiegeln existiert ein Insulinsekretionsdefizit. Außerdem beeinflusst die individuelle Insulinsensitivität den Zuckerstoffwechsel. Diese wird durch den Ernährungszustand, die Ernährungsgewohnheiten und den Aktivitätsgrad bzw. Trainingszustand des Menschen beeinflusst. Ist es beispielsweise zu einer Gewichtszunahme von 30- 40% über dem Idealgewicht gekommen, sinkt die Insulinsensitivität um 30- 40% (21).

### 1.2.2 *Genetische Disposition*

Der Typ 2 Diabetes oder nicht- insulinabhängige Diabetes mellitus (NIDDM) ist ein heterogenes multifaktorielles Syndrom. Er schließt Subtypen ein, die stark mit Umweltbedingungen und genetischen Faktoren assoziiert sind.

Zwei Genkategorien sind zu unterscheiden: verursachende und prädisponierende Gene.

Auf die ausgeprägte genetische Heterogenität deutet die lange und konstant wachsende Liste von bekannten Genen einerseits und von sehr selten mit Diabetes assoziierten Genen andererseits.

Theoretisch sind alle an der Blutglukoseregulation beteiligten Stoffwechselprozesse (Enzyme, Hormone, u.a.) potentielle Kandidatengene.

Derzeit können alle anerkannten Mutationen weniger als 1% der Ätiologie des Diabetes mellitus erklären.

Es sind mehr als 250 Kandidatengene untersucht worden. Die Ergebnisse zeigen eine ausgesprochen hohe Variabilität in der genetischen Assoziation mit dem Diabetes.

In verschiedenen Bevölkerungen existieren unterschiedliche Kandidatengene für die Entwicklung des Diabetes neben einer Genvariabilität innerhalb derselben Bevölkerung (105).

In einer aktuellen Studie untersuchte Laukkanen die Teilnehmer der finnischen Diabetes Prevention Study, um zu klären, ob einzelne nukleotide Polymorphismen (SNPs) in den Genen, die die Insulinsekretion regulieren, mit der Entwicklung einer IGT verbunden sind.

Alle 4 SNPs von SLC2A2 sagten die Umwandlung in Diabetes und rs5393 (AA Genotypus) das dreifache Risiko (odds ratio 3.04, 95% CI 1.23-6.88, p=0.008) einer Diabeteserkrankung voraus.

Das Risiko einer Erkrankung unter den AA Genotypträgern hatte in der Kontrollgruppe zugenommen (5.56,  $p=0.003$ ), jedoch nicht in der Interventionsgruppe (61). Diese Ergebnisse deuten daraufhin, dass es in Zukunft möglich sein könnte, sowohl Umwelt- als auch genetische Faktoren in der Entwicklung des Diabetes Typ2 weiter aufzuklären. Menschen, die aufgrund ihrer genetischen Merkmale einen größeren Nutzen durch Präventionsmaßnahmen erzielen, könnten identifiziert und von einer individuellen Förderung noch mehr profitieren.

### 1.2.3 *Risiko der Lebensweise*

Prädisponierende Faktoren zur Ausbildung eines Diabetes Typ 2 sind eine positive Familienanamnese, die Adipositas ( $BMI > 27\text{kg/m}^2$ ) und eine nur gering ausgeprägte körperliche Aktivität bei entsprechend energiereicher Ernährung.

Zahlreiche Studien (31,58,79,106) belegen, dass Lebensstiländerungen- insbesondere die Gewichtsabnahme durch körperliche Aktivität- eine Prävention oder zumindest die Verzögerung einer Manifestation besonders erfolgreich beeinflussen.

Andere Untersuchungen zur Entwicklung des Körpergewichts in den Bevölkerungen (26,33,46,77,86,99) legen den Zusammenhang beider Entwicklungen nahe.

Die Lebensweise in den „Wohlstandsgesellschaften“ geht mit einer drastischen Reduzierung der körperlichen Aktivität einher. Computer- und Fernsehgewohnheiten, mangelndes oder mangelhaftes Sport- und Bewegungsangebot in Kindergärten und Schulen führt zu einem Rückgang der körperlichen Fitness.

In einer Metaanalyse von 55 Studien aus 11 Ländern über die Ergebnisse des 20m-Shuttle Run Test konnte Tomkinson eine Verschlechterung des Fitnesszustandes innerhalb der letzten 20 Jahre- insbesondere bei Kindern und Heranwachsenden- feststellen (104).

Der 20m-Shuttle Run Test wird zur Abschätzung der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $VO_2\text{max}$ ) und somit zur Beurteilung der kardiopulmonalen Ausdauer herangezogen.

Auf die wesentliche Rolle einer ausgewogenen, kalorienadaptierten Ernährung sei hier hingewiesen. Eine Kontrolle des Körpergewichtes ist im Sinne primärer Diabetesprophylaxe unverzichtbar. Gewichtsreduktion und körperliche Aktivität senken die Insulinresistenz. Die zu Beginn der Diabetesentwicklung kompensatorisch erhöhten Insulinspiegel sinken wieder und ein Diabetes kann sich nicht manifestieren.

#### 1.2.4 Spätkomplikationen und finanzielle Belastungen

Neben einer verminderten Lebenserwartung (40,43) kommt es im Verlauf des Diabetes mellitus zu einer Reihe von Komplikationen, die zumeist mit einer erheblichen Einschränkung der Lebensqualität verbunden sind.

Komplikation	Relatives Risiko	95%iges Konfidenzintervall
Myokardinfarkt	Männer: 3,7* Frauen : 5,9*	Männer: 3,5-5,9 Frauen : 5,5-6,4
Herz-Kreislauf-Tod	Diagnose vor dem 30. Lebensjahr: 9,1*	Diagnose vor dem 30. Lebensjahr: 6,6-12,2
	Diagnose nach dem 30. Lebensjahr: 2,3*	Diagnose nach dem 30. Lebensjahr: 2,1-2,5
Apoplex	2-4*	nicht bekannt
Erblindung	5,2**	3,8-7,1
Niereninsuffizienz bei Männern	12,7*	10,5-15,4
Amputation der unteren Extremitäten	22,2*	13,6-36,2
Fußulzera	vielfach 45*	nicht bekannt

\* Bezugspopulation: Nicht-Diabetiker

\*\* Bezugspopulation: Allgemeinbevölkerung

Abb.: 3 Relative Risiken für Komplikationen von Patienten mit Diabetes mellitus im Vergleich zu Nicht-Diabetikern bzw. zur Normalbevölkerung (51; S.30)

In der CODE- 2 (Costs of Diabetes in Europa-Type 2)- Studie für Deutschland wurden Krankheitsverläufe und daraus resultierende Kosten von 809 Patienten mit Typ 2 Diabetes analysiert. Der Einfluss von mikro- und makrovaskulären Komplikationen insbesondere von Fußulzera, Amputation und Apoplex wurde bestimmt. Etwa die Hälfte der Typ 2 Diabetiker litt unter schwerwiegenden diabetesassoziierten

Komplikationen, 56,2% zeigten mehr als eine Komplikation. Im Vergleich mit den durchschnittlichen Gesundheits- Aufwendungen für einen Patienten lagen diese um 2,5 bis 4,1 mal höher (62).

Eine Untersuchung aus den USA (28) schätzt direkt resultierende medizinische und indirekte Ausgaben im Zusammenhang mit Diabetes im Jahr 2002 auf 132 Milliarden \$, davon allein 24,6 Milliarden \$ für chronische Komplikationen. Die Kostenschätzung schließt unerkannte Fälle aus. Diabetes erhöht die Gesundheitskosten pro Patient um den Faktor 2,4.

In einer weiteren Studie wurden die jährlichen medizinischen Kosten von diabetischer peripherer Neuropathie und seinen Komplikationen (Fußulzera, Amputationen) quantifiziert (37). So beliefen sich im Jahre 2001 die Kosten auf insgesamt 10,9 Milliarden \$ in den USA (0,8 Milliarden \$ Diab. Typ 1; 10,1 Milliarden \$ Diab. Typ 2). Nach Berücksichtigung der Ungenauigkeit durch die Entwicklungsgeschwindigkeit der Komplikationen lagen die Schätzwerte zwischen 4,6 und 13,7 Milliarden \$.

## **1.3 Die diabetische Neuropathie**

### *1.3.1 Definition*

Die diabetische Neuropathie ist eine Erkrankung der peripheren Nerven. Subklinisch oder klinisch manifest entwickelt sie sich ohne andere Ursachen sowohl im somatischen als auch im autonomen Nervensystem (4).

### *1.3.2 Epidemiologie*

Je nachdem, welche Diagnosekriterien zur Anwendung kommen, schwanken die Prävalenzangaben der diabetischen Polyneuropathie (DPNP) ganz erheblich (15).

Querschnittsuntersuchungen ergaben, dass ca. 30 % der Typ 1- und Typ 2-Diabetiker an einer DPNP leiden. In der Bevölkerung ist mit 300 DPNP- Fällen unter 100.000 Einwohnern zu rechnen (116).

Die wichtigste Manifestation der diabetischen Neuropathien ist die distal-symmetrische sensible oder sensomotorische Polyneuropathie.

<b>Symmetrische Polyneuropathien</b>
Sensible oder sensomotorische Polyneuropathie
Autonome Neuropathie
Symmetrische proximale Neuropathie der unteren Extremitäten
<b>Fokale und multifokale Neuropathien</b>
Kraniale Neuropathie
Mononeuropathie des Stammes und der Extremitäten
Asymmetrische proximale Neuropathie der unteren Extremitäten
<b>Mischformen</b>

Abb.: 4 Klassifikation der diabetischen Neuropathien [nach Thomas und Tomlinson, 1993] (45,103)

Sie ist mit über 90% die häufigste Manifestationsform. Als Frühsymptome machen sich Sensibilitätsstörungen an den unteren Extremitäten distal mit Reflexabschwächungen, leichten Lähmungen und Muskelkrämpfen bemerkbar. Unter typischen neuropathischen Symptomen wie Schmerzen, Parästhesien, Dysästhesien und Taubheitsgefühl leiden ca. 15% der Diabetiker. Diabetische Polyneuropathien gehören zu den häufigsten und kostenintensivsten Spätschäden des Diabetes mellitus. Aufgrund des schleichenden Verlaufs und der späten Diagnosestellung muss von einer großen Dunkelziffer ausgegangen werden (84).

Wegbereiter für die Entstehung von Fußulzera und Amputationen der unteren Extremitäten sind Sensibilitätsstörungen (Reduktion bzw. Verlust von Schmerz-, Berührungs-, Temperatur-, Druck- oder Vibrationsempfindung) und mangelnde Muskeleigenreflexe.

Bei 85-90% der Patienten ist die Neuropathie an der Entwicklung des diabetischen Fußsyndroms beteiligt (84).

50 % aller Fuß - bzw. Beinamputationen resultieren aus dem diabetischen Fußsyndrom. Die Fünf- Jahres- Überlebensrate dieser Patientengruppe nach Amputation beträgt 39 bis 68 % (90).

### 1.3.3 Ätiopathogenese

Die im Folgenden aufgeführten pathogenetischen Vorgänge werden als multifaktorielles Geschehen zur Entwicklung der diabetischen Neuropathie diskutiert.

Erhöhter Umsatz im Polyolstoffwechsel mit Akkumulation von Sorbitol und Fructose, Depletion von Myo-Inositol, Reduktion der Aktivität der Na <sup>+</sup> -K <sup>+</sup> -ATPase und Veränderungen der Expression verschiedener Isoenzyme der Proteinkinase C (PKC)
Störungen im Metabolismus der n- 6 essentiellen Fettsäuren und Prostaglandine, die zur Änderung der Struktur der Nervenmembran sowie zu mikrovaskulären und hämorrheologischen Veränderungen führen
Vaskuläre Ursachen mit konsekutiver Ischämie bzw. Hypoxie und Bildung freier Sauerstoffradikale (oxidativer Stress) und sog. „hyperglykämische Pseudohypoxie“
Störungen des Neurotrophismus mit reduzierter Expression und Mangel an neurotrophen Faktoren [z.B.Nerve Growth Factor (NGF), Neurotrophin-3 (NT-3) und Insulin-like Growth Factor (IGF)] und Störungen des axonalen Transportes
Nicht- enzymatische Glykierung mit erhöhten glykierten Blutproteinen und Akkumulation von Glykierungsendprodukten (AGEs: advanced glycation end products) an Nerven-und/ oder Gefäßwandproteinen
Immunprozesse mit Autoantikörpern gegen N. vagus, sympathische Ganglien und Nebennierenmark sowie inflammatorische Veränderungen

Abb.: 5 Aktuell diskutierte pathogenetische Mechanismen der diabetischen Neuropathie [nach Neundörfer, 1996 und Ziegler, 1998] (45)

Der genaue Mechanismus der neuronalen Schädigung konnte allerdings noch nicht abschließend geklärt werden. Oxidativer Stress und eine nachfolgende Entzündungsreaktion (38) spielen neben genetischen, metabolischen, vaskulären und autoimmunen Prozessen eine ursächliche und unterhaltende Rolle. Diese Mechanismen werden prinzipiell auch für die Pathogenese der autonomen diabetischen Neuropathie diskutiert. Die ADN ist neben der sensomotorischen diabetischen Neuropathie die häufigste Form von Störung des peripheren Nervensystems.

Etwa 30 % der Diabetiker leiden an einer ADN (115).

Ihre Symptome führen zu einer deutlich reduzierten Lebensqualität und bedeuten eine schlechte Prognose. Die Organmanifestationen betreffen in erster Linie das

#### **Kardiovaskuläre System**

(Ruhetachykardie, reduzierte Herzfrequenzvariabilität und circadian Rhythmus von Herztempo und Blutdruck, schmerzlose myokardiale Ischämie/Infarkt, orthostatische Hypotonie, Belastungsintoleranz, perioperative Instabilität, plötzlicher Herztod)

**Respiratorische System**

( reduzierter Atemantrieb gegenüber Hyperkapnie/Hypoxämie, Schlafapnoe)

**Gastrointestinaltrakt**

( Gastroösophageale Refluxkrankheit, diabetische Gastropathie, diabetische Cholezystopathie, diabetische Diarrhoe, Hypomobilität des Kolons, anorektale Dysfunktion)

**Urogenitaltrakt**

(diabetische Zystopathie, erektile Dysfunktion ) (117).

Daneben können Störungen im neuroendokrinen System, der Trophik und der Sudo-, Vaso- und Pupillomotorik auftreten (45).

### 1.3.4 Therapie

Primärer Ansatz der Therapie ist, über eine normnahe Blutzuckereinstellung die Entwicklung und Progredienz der DPNP bzw. ADN zu verhindern.

Zwei aktuelle Studien belegen die Wirksamkeit einer auf intensive Blutzuckerkontrolle basierenden Therapie:

Die Kumamoto - Studie (93) zeigt, dass intensive Blutzuckerkontrollen sowohl bei Diabetes Typ 1 als auch bei Typ 2, den Beginn und die Progression der frühen Stadien von Diabetikerretinopathie, - nephropathie und neuropathie verschieben können. Inzwischen wird jedoch diskutiert, ob die Ergebnisse dieser japanischen Studie auf die europäischen Verhältnisse übertragbar sind (mittlere BMI 20 kg/m<sup>2</sup>, Ø Alter ca.50 Jahre).

In der Steno-2 Studie (34) wurde ein intensiver multifaktorieller (Verhaltensänderung, pharmakologische Therapie gegen Hyperglykämie, Hypertonie, Dyslipidämie, Mikroalbuminurie und sekundäre Verhütung von KHK mit Aspirin) Behandlungsansatz, der nationalen Richtlinien entsprach, miteinander verglichen.

Die Gruppe der intensiv multifaktoriell behandelten Typ 2 Diabetiker hatte ein um etwa 50% reduziertes Risiko für kardiovaskuläre Krankheit, Nephropathie, Retinopathie und ADN.

Selbst mit den modernsten Formen der Diabetestherapie ist jedoch keine vollständige Normoglykämie zu erreichen. Aus diesem Grund ist es überaus schwierig, das Ziel der Prävention einer Neuropathie zu erreichen.

Nach Ziegler (119) steht zurzeit kein Medikament mit pathogenetisch begründbarem therapeutischen Ansatz- mit Ausnahme der Therapie durch  $\alpha$ -Liponsäure- in der Praxis zur Verfügung.

Aus einer Vielzahl medikamentöser Therapieansätze hat sich bisher noch kein ursächlich wirksames Medikament herauskristallisiert, das das Auftreten und Fortschreiten einer DPNP langfristig verhindert (63).

Eine unzureichende Stoffwechseleinstellung, nervenschädliche Einflüsse durch Alkohol, Medikamente und Vitaminmangel, Risikofaktoren wie Hypercholesterinämie, Hypertonie und das Rauchen fördern Entwicklung und Progression der DPNP.

Es gilt Komplikationen vorzubeugen. Hierzu gehören Maßnahmen wie Fußpflege, Hygiene, orthopädische Versorgung, das Tragen idealer Schuhe und Strümpfe und eine evtl. notwendige Gewichtsreduktion. Die Behandlung von Schmerzen und/oder schmerzhaften Parästhesien erfolgt nach einem symptomatischen pharmakologischen Stufenschema (71).

#### **1.4 Das körperliche Training**

In den USA wird bereits eine effektive Diabetes Typ 2 -Vorsorge durch Sport betrieben (Diabetes Prevention Program).

Zahlreiche Studien belegen die Wirksamkeit eines auf Lebensstiländerung und körperliche Ausdauerbelastung basierenden Therapieschemas. Bei Menschen mit einer gestörten Glukosetoleranz kann die Entwicklung eines Diabetes Typ 2 auf diese Weise verhindert werden.

Eine Bewegungs- und Ernährungstherapie ist somit die Basis in der Behandlung des Diabetes Typ 2- Patienten.

Auch in der Sekundärprävention von kardiovaskulären Erkrankungen konnten durch den Einsatz von regelmäßigem körperlichem Training und Änderungen des Lebensstils sehr eindrucksvolle Erfolge erzielt werden (34).

In einer amerikanischen Studie wurde der Zusammenhang zwischen Übungskapazität ( $VO_2^{\max}$ ) und der Vorhersage von kardiovaskulären Ereignissen bei NIDDM Patienten untersucht.

Es wurde eine signifikante unabhängige Beziehung zwischen Diabetiker-Spätschäden und Übungskapazität aufgezeigt. Die Daten wiesen auf eine potentiell pathogene Beziehung zwischen mikrovaskulärer Krankheit und Übungskapazität bei Typ 2 Diabetikern hin (32).

D.h. aufgrund sekundärer Komplikationen versäumt ein Großteil der Betroffenen, an Trainingsangeboten zur Steigerung ihrer physischen Aktivität teilzunehmen.

Diese Inaktivität kann wiederum zur Verschlechterung der funktionellen Kapazität beitragen.

Aus sportmedizinischer Sicht können und sollten im Alter vor allem Ausdauer, Flexibilität, Koordination und nach neueren Erkenntnissen auch die Kraft trainiert werden. Der diabetische Patient würde besonders von einer Verbesserung dieser sportmotorischen Grundfähigkeiten profitieren.

Übungsprogramme sollten sich an den besonderen Bedürfnissen und Risikoprofilen der Diabetiker orientieren. Dem gesteigerten Verletzungs- und Komplikationsrisiko muss Rechnung getragen werden. Empfohlen wird ein langsamer Start sowie mindestens dreimal in der Woche abgestufte und allmählich aufbauende moderat intensive Belastungen (42).

Die Patienten sollten mindestens dreimal in der Woche für jeweils 30 bis 60 Minuten im Bereich zwischen 50 und 75% ihres  $VO_2$ max trainieren (91). Positive Effekte sind außerdem über eine Kombination aerober und leichter Widerstandsübungen nachgewiesen.

Eine Untersuchung in Australien prüfte die Auswirkungen eines 8-wöchigen Kreislauftrainings mit einer Kombination aus aeroben Trainingseinheiten und Widerstandsübungen. Unter dieser Belastung verbesserten sich funktionelle Kapazität, Körperfett, Taille/Hüftverhältnis, Muskelkraft und die Blutzuckerwerte bei den Typ 2 Diabetikern (36).

Da einmal erreichte positive Änderungen in Glucosetoleranz und Insulinempfindlichkeit sich innerhalb von 72 Stunden nach der letzten Übungssitzung verschlechtern, sollte, um die Vorteile zu erhalten, regelmäßiges Training durchgeführt werden (2).

Neben diesen Verbesserungen von Stoffwechsellistung, funktioneller Kapazität, Körperfett, Taille/Hüftverhältnis, Muskelkraft, Ausdauer, kardiovaskulärem Risiko, u.a. interessiert im Rahmen dieser Studie der mögliche Einfluss eines körperlichen Trainings auf ausgewählte biokinetische Parameter der Sensomotorik.

Um Schäden bei den trainierenden Diabetikern zu vermeiden, gibt die American Diabetes Association Hinweise zur Durchführung eines Trainings.

Über die periphere Neuropathie einer DPNP kann es zum Verlust von Schutzempfindungen in den Füßen kommen.

Eine signifikante Empfindungsstörung begrenzt die Durchführung von Gewicht- Halte- Übungen. Der Entwicklung von Geschwüren und Frakturen durch Übungen hoher Frequenz und Intensität muss begegnet werden.

Die American Diabetes Association gibt Indikationen/ Kontraindikationen für Übungen bei Diabetikern mit dem Verlust von Schutzempfindungen an (24).

Kontraindiziert sind:

- *Tretmühle*
- *ausgiebiges Wandern*
- *Dauerlauf*
- *Stepp- Übungen*

Empfohlen sind:

- *Schwimmen*
- *Radfahren*
- *Rudern*
- *Stuhl- Übungen*
- *Arm- Übungen*
- *Andere Nicht- Gewicht- Halte- Übungen*

## 1.5 Fragestellung

Welchen Einfluss hat ein spezifisches Trainingsprogramm auf die sensomotorischen Fähigkeiten von Typ 2 Diabetikern mit und ohne Neuropathie?

Welche Methoden eignen sich hier in besonderer Weise, um mögliche Veränderungen messtechnisch zu verifizieren?

Ist es mittels Sensibilitätstest (Semmes- Weinstein- Monofilament), Stabilitätstest (Kistler- Kraftmessplatte), Winkelreproduktionstest, Druckverteilungstest (Messsystem EMED ST novel) und Gleichgewichtstest (Biodex Stability System) möglich, diese Fragestellung hinreichend zu beantworten?

Folgende Nullhypothesen gilt es zu prüfen:

- 1) Diabetiker Typ 2 und Gesunde zeigen in Bezug auf ihre propriozeptiven und sensomotorischen Leistungen:
  - Hautdrucksensibilität an der Fußsohle
  - Haltungsstabilität (gemessen auf der Kraftmessplatte)
  - Winkelstellungsempfinden im oberen Sprunggelenk
  - Druckverteilungsmuster an der Fußsohle
  - Haltungsstabilität (gemessen auf dem Biodex Stability System)keine Unterschiede.
- 2) Ein spezifisches Training zeigt keine Wirkung bei Diabetikern Typ 2 auf o. g. Qualitäten.

## 2 Material und Methoden

Im Rahmen einer kontrollierten, klinischen Längsschnittstudie mit einer ausgewählten Stichprobe von Typ 2- Diabetikern wurden die biokinetischen Parameter zur Sensomotorik erhoben.

Die Gruppe der Diabetiker rekrutierte sich aus den Patienten einer Schwerpunktpraxis für Diabetologie in Münster. Sie nahm regelmäßig einmal in der Woche an einem speziell konzipierten Sportkurs unter Anleitung einer Fachübungsleiterin teil.

Alle Probanden absolvierten eine Vor- und Nachuntersuchung. Jeweils 5 Testverfahren kamen pro Untersuchungstermin zur Anwendung, die Reihenfolge wurde zufällig bestimmt. Zwischen Vor- und Nachuntersuchungstermin lagen 8 Monate. Ein Trainings- bzw. Übungseffekt kann deshalb vernachlässigt werden.

Die Untersuchungen fanden im Rahmen eines Kooperationsprojektes zwischen dem Institut für Sportmedizin und dem Funktionsbereich Bewegungsanalytik (Klinik und Poliklinik für Allgemeine Orthopädie) des Uniklinikums Münster statt. Die Messdaten zur Voruntersuchung entstammen der Examensarbeit von Christoph Sperlbaum (Die Auswirkungen von Typ-II-Diabetes auf ausgewählte biokinetische Parameter, Münster 2001).

Auf die verwendeten Materialien wird im Folgenden detailliert eingegangen.

### 2.1 Das Untersuchungskollektiv

Für die Studie standen insgesamt 29 Probanden zur Verfügung. Neben 15 Typ 2- Diabetikern (64 +/-10 Jahre) in der Testgruppe gab es 14 gesunde Kontrollgruppenmitglieder (56 +/-7 Jahre).

Die anthropometrischen Daten des Untersuchungskollektivs sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Probanden		Anzahl	-Durchschnitt -		
			Alter(Jahre)	Gewicht(kg)	Größe(cm)
Diabetiker	Männer	8	65 +/-6	90 +/-11	178 +/-9
	Frauen	7	62 +/-13	84 +/-25	165 +/-4
gesamt		15	64 +/-10	88 +/-18	172 +/-10
Gesunde	Männer	7	58 +/-8	93 +/-20	180 +/-6
	Frauen	7	55 +/-7	72 +/-8	169 +/-6
gesamt		14	56 +/-7	83 +/-18	175 +/-8

Tab.: 1 Anthropometrische Daten des Kollektivs

Alle anthropometrischen Daten wurden vor der Erstuntersuchung mittels Fragebogen erhoben.

Im Durchschnitt war die Diabeteserkrankung der Testgruppenteilnehmer seit 9 ½ Jahren bekannt.

Einer regelmäßigen sportlichen Betätigung gingen 7 Teilnehmer nach, darunter 4 Frauen und 3 Männer. 8 Diabetiker trieben keinen Sport (5 Männer und 3 Frauen). Lediglich 2 Diabetiker mit Neuropathie (1 Frau und 1 Mann) waren unter den sportlich Aktiven.

Die Gruppe der Diabetiker wurde in 2 Untergruppen aufgeteilt. Diabetiker ohne Neuropathie wurden der Subgruppe „Diabetiker non NP“, Diabetiker mit Neuropathie der Subgruppe „Diabetiker NP“ zugeordnet. Bei einem Sensibilitätsmittelwert oberhalb des Semmes-Weinstein-Schwellenfilamentes 5,07 log<sub>10</sub>(g) und der Messung an 5 plantaren Messpunkten erfolgte die Trennung. 6 Diabetiker konnten so der Subgruppe *Diabetiker NP* zugeordnet werden.

Die restlichen 9 Diabetiker hatten keine klinisch relevante DPNP und wurden unter *Diabetiker non NP* subsumiert.

Nach Definition der WHO (113) lag der Body Mass Index (BMI) jeder Gruppe im Bereich von Pre-obese (BMI: 25.0-29.9) bis Obese (BMI: 30.0-39.9).

Diabetiker hatten insgesamt einen BMI von 29.75 (Männer 28.41, Frauen 30.85). Darunter Diabetiker non NP mit einem BMI von 30.47 und Diabetiker NP mit BMI 29.05.

Auch die Gruppe der Gesunden war übergewichtig und zeigte einen BMI von 27.1 (Männer 28.7, Frauen 25.21).

Tabelle 2 zeigt die anthropometrischen Daten der Diabetiker-Subgruppen.

Probanden		Anzahl	-Durchschnitt -		
			Alter(Jahre)	Gewicht(kg)	Größe(cm)
Diabetiker	Männer	3	65 +/-1	81 +/-9	176 +/-13
non NP	Frauen	6	62 +/-14	88 +/-25	165 +/-5
gesamt		9	63 +/-11	86 +/-21	168 +/-9
Diabetiker	Männer	5	66 +/-7	96 +/-7	179 +/-6
NP	Frauen	1	64	63	163
gesamt		6	66 +/-7	91 +/-15	177 +/-9

Tab.: 2 Anthropometrische Daten der Diabetiker-Subgruppen

### 2.1.1 Ein-bzw. Ausschlusskriterien

Sämtliche Testgruppenmitglieder litten unter Diabetes Typ 2. Keines wies diabetische Ulzera oder anderweitige Verletzungen an den Füßen auf. Alle waren frei von akuten Infektionen bzw. Erkrankungen. Es lagen keine Hinweise für fortgeschrittene Angiopathien vor. Die Stoffwechsellage der Diabetiker

war stabil und zeigte auch unter den spezifischen körperlichen Belastungen keine Entgleisung. Alle nahmen regelmäßig am Training einer neugegründeten Diabetessportgruppe teil. Sie waren über die Vorsichtsmaßnahmen zur Vermeidung von Hypoglykämien beim Sport informiert und in genauem Blutzucker-Monitoring geübt. Die Kontrollgruppenmitglieder ließen keinerlei gesundheitliche Beeinträchtigungen erkennen.

## **2.2 Untersuchungsort und- zeit**

Ort der Untersuchungen waren Räumlichkeiten des Funktionsbereiches Bewegungsanalytik (Klinik und Poliklinik für Allgemeine Orthopädie) der Universitätsklinik Münster. Die 5 Tests mussten aus organisatorischen Gründen in 3 verschiedenen Räumen stattfinden.

In der Zeit von August bis Oktober 2000 erfolgten die Voruntersuchungen, von April bis Juni 2001 wurden die Nachuntersuchungen der Testgruppe vorgenommen.

Voruntersuchungen der Kontrollgruppe datieren zwischen September und November 2000, die Nachuntersuchungsperiode von Juni bis August 2001.

## **2.3 Training in der Diabetes-Sportgruppe**

In Zusammenarbeit mit dem Verein für Gesundheitssport und Sporttherapie wurde ein Kurs initiiert, der regelmäßig einmal in der Woche unter Anleitung einer speziell geschulten Übungsleiterin in Münster stattfand.

Die Übungsauswahl erfolgte in Anlehnung an Empfehlungen aus dem Buch „Gesunde Füße und Beine“ (85).

Neben der graphischen Darstellung des zeitlichen Ablaufes einer Trainingseinheit erfolgt im Weiteren auch die detaillierte Beschreibung der spezifischen Übungen.

Die Trainingseinheit umfasste einen Zeitraum von insgesamt 90 Minuten. Nach einer 20 minütigen Aufwärmphase folgten Übungen, die die Koordination und das Gleichgewichtsempfinden ansprachen. Im Zentrum der Trainingseinheit lag die 15 bzw. 10 minütige spezifische Fußgymnastik im Sitzen bzw. Stehen. Anschließend gab es eine 15 minütige Ausdauerphase, der ein spaßbetontes Mannschaftsspiel von 20 Minuten folgte.

2.3.1 Zeitlicher Ablauf einer Trainingseinheit

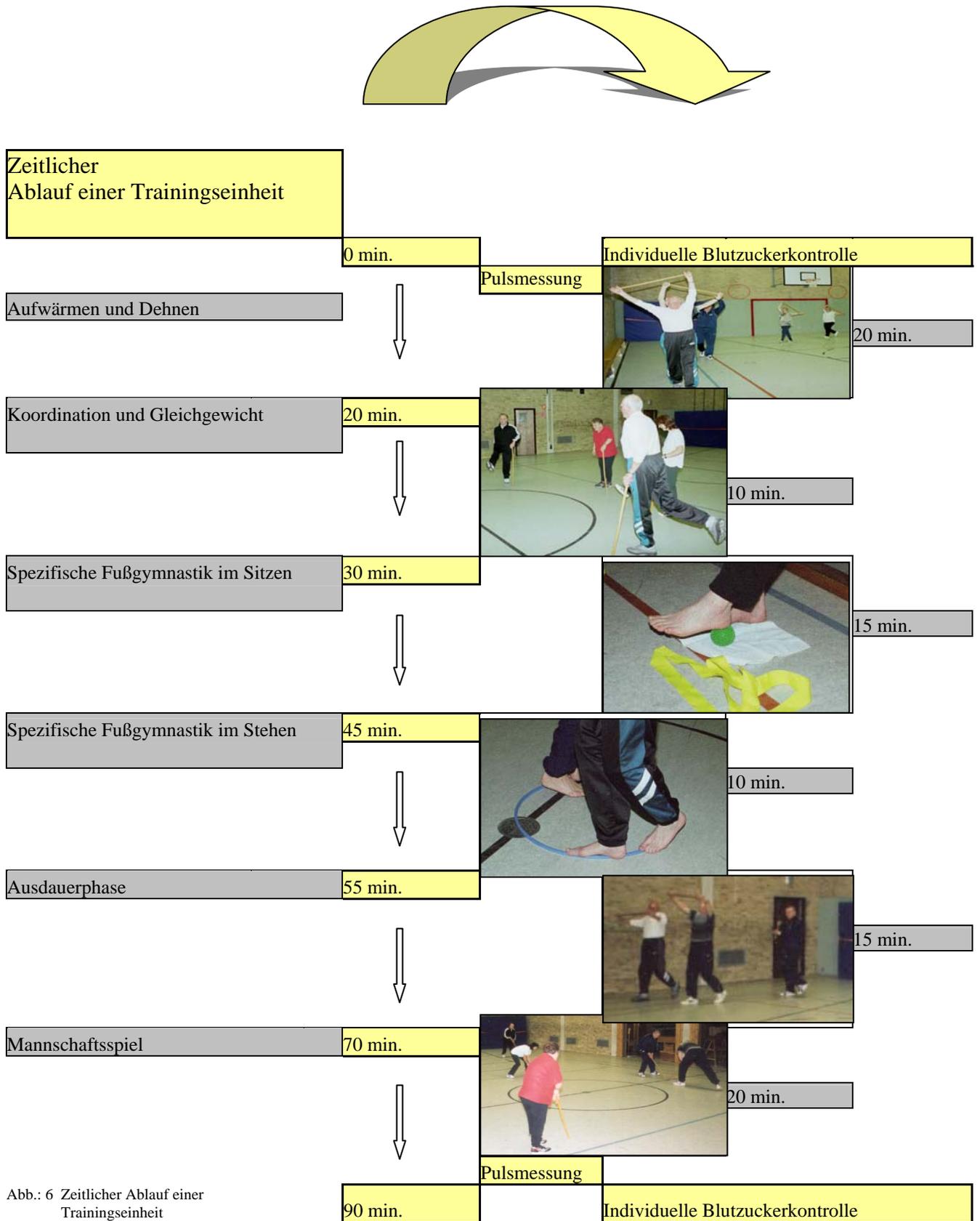


Abb.: 6 Zeitlicher Ablauf einer Trainingseinheit

## 2.3.2 Spezifische Fußgymnastik für Diabetiker

**Spezifische Fußgymnastik für Diabetiker****Übung****Fersen-und Ballenstand****Übungsbeschreibung**

Das rechte Bein anheben und den Fuß auf die äußere Zehenspitze stellen.

Bein wieder anheben und den Fuß, leicht nach innen gerichtet, auf die Ferse stellen.

Die Ferse bleibt immer fest am Boden. Sie wird gezogen bei der Vorwärtsbewegung und geschoben bei der Rückwärtsbewegung.

**Hinweise zur Durchführung**

Im Wechsel mehrmals hintereinander und im Tempo steigernd jeden Fuß einzeln üben.

**Variation:**

Beide Füße gleichzeitig. Rechts und links einzeln üben, dann beide Füße zusammen.

**Raupengang**

Die Zehen greifen vorwärts und ziehen die Ferse nach-dann wird der Fuß gestreckt und wieder greifen die Zehen und heben die Mitte des Fußes.

Beim Rückwärtsgang werden die Zehen zurückgezogen, die Ferse wird dabei rückwärtig zurückgeschoben, bis der Fuß wieder gestreckt ist.

**Stab rollen**

Den Stab unter der Fußsohle kräftig rollen. Dabei bleiben Zehen und Fersen immer auf dem Boden.

Abb.: 7 Spezifische Fußgymnastik für Diabetiker I

## Spezifische Fußgymnastik für Diabetiker

### Übung

#### Stab-Reifentasten



### Übungsbeschreibung

Reifen unter die Füße legen. Von einer Seite des Reifens in kleinen Nachstellschritten zur anderen Seite gehen. Dabei soll der Reifen mit dem Fuß ertastet werden.

#### Zehenstand



Auf dem Rand der Turnmatte stehen, Hand am festen Halt oder Partner. Nur die Zehen stehen auf dem Rand der Matte in einer Linie. Fersen federnd nach unten dehnen, dann die Füße zum hohen Ballenstand erheben.

#### Stift greifen



Mit den Zehen einen am Boden liegenden Bleistift ergreifen und aufheben.

#### Variante:

Der andere Fuß übernimmt in der Luft den Bleistift und gibt ihn wieder zurück.

Abb.: 8 Spezifische Fußgymnastik für Diabetiker II

## 2.4 Untersuchungsablauf

Die folgende graphische Darstellung stellt beispielhaft einen Untersuchungszyklus dar.

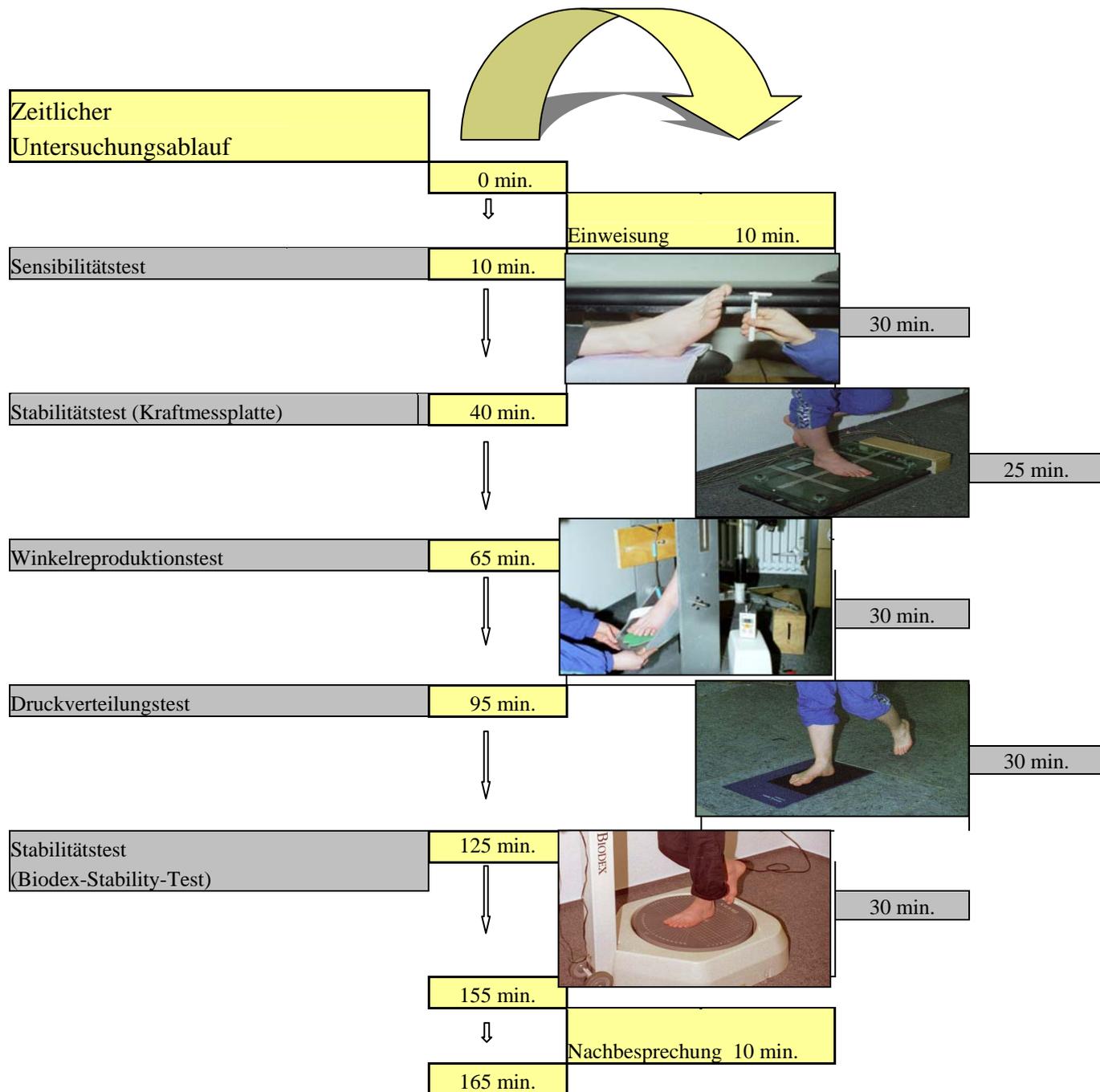


Abb.: 9 Zeitlicher Untersuchungsablauf

## 2.4.1 Sensibilitätstest

### 2.4.1.1 Versuchsaufbau

Für die Messung der plantaren Drucksensibilität kam ein Semmes-Weinstein-Monofilament-Satz der Firma NORTH COAST™ zum Einsatz.



Abb.: 10 Semmes-Weinstein Monofilament-Satz

Die Fadennummern von 1,65 bis 6,65 entsprechen dem log 10 der erzeugten Druckkraft in Gramm. Tabelle 3 stellt Fadennummern und Druckkraft gegenüber.

Fadennummer	[ log10(g) ]	Kraft [g]
1,65		0,008
2,36		0,015
2,44		0,036
2,83		0,08
3,22		0,172
3,61		0,217
3,84		0,445
4,08		0,745
4,17		0,975
4,31		2,35
4,56		4,19
4,74		4,64
4,93		5,16
5,07		7,37
5,18		12,5
5,46		20,9
5,88		46,54
6,1		84,96
6,45		164,32
6,65		279,4

Tab.: 3 Zuordnung von Fadennummer und Druckkraft bei Semmes-Weinstein Monofilamenten (73)

Um die angegebenen Druckwerte zu erreichen, muss der Nylon- Filamentfaden im Winkel von  $90^\circ$  zur Hautoberfläche geführt und zwei Sekunden aufgesetzt bleiben.

In der Abbildung 11 sind die 5 plantaren Messpunkte dieser Untersuchung dargestellt.

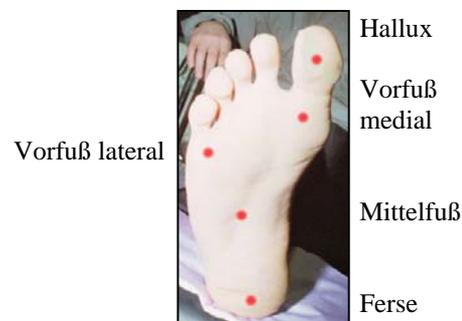


Abb.: 11 Die fünf plantaren Messpunkte



Abb.: 12 Monofilament am Messpunkt Hallux

Abbildung 12 demonstriert die korrekte Handhabung des Semmes- Weinstein Monofilamentes. Beim Erreichen der angegebenen Kraft kommt es zum Verbiegen des Filamentes. Die Ergebnisse sind insbesondere bei der Verwendung von Semmes- Weinstein Monofilamenten kontrollier- und reproduzierbar (6,7,8).

### 2.4.1.2 *Versuchsablauf*

Der Proband saß während der Messungen bequem auf einem Stuhl. Das jeweilige Messbein wurde auf einem höhenverstellbaren, gepolsterten Hocker positioniert.

Um eine optische Beeinflussung der Messergebnisse auszuschließen, wurde mit geschlossenen Augen gemessen. Die Reihenfolge der Messpunkte erfolgte willkürlich.

Über in der Reihenfolge ansteigende Filamentstärken wurde der jeweilige Sensibilitätswert an den Messpunkten festgestellt.

Der Proband musste Ort und Zeitpunkt der Filamentberührung verbalisieren.

Zur Messung gehörten beide Füße in willkürlicher Abfolge.

Der Wert  $6,65 \log_{10}(g)$  kam bei Nichtwahrnehmen des stärksten Monofilamentes zum Eintrag.

## 2.4.2 **Stabilitätstest (Kraftmessplatte)**

### 2.4.2.1 *Versuchsaufbau*

Mittels Mehrkomponenten- Kraftmessplatte der Firma KISTLER, Winterthur (Typ 9261 A) wurde die Gleichgewichtsfähigkeit ermittelt.

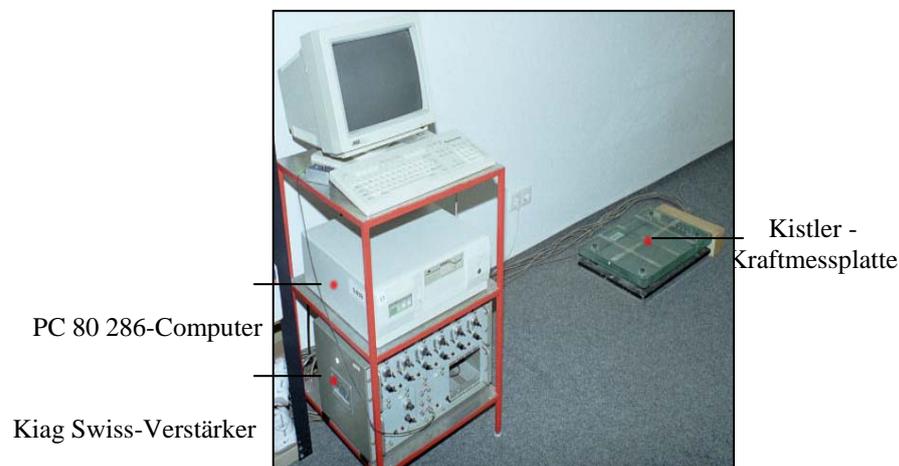
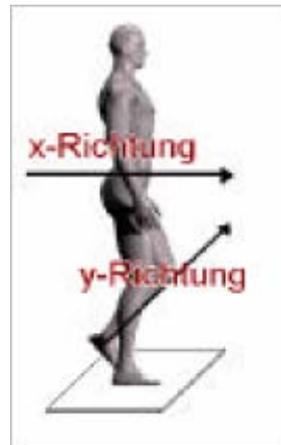


Abb.: 13 Messanordnung des Stabilitätstest (KMP)

Die 4 Quarzkristall 3- Komponenten Kraftaufnehmer der Kistler- Messplatte (Abb.13 u.15) zeichneten die Bewegungen des Körperschwerpunktes als elektrische Ladungen auf. Unter Zuhilfenahme eines Ladungsverstärkers (KIAG SWISS- Verstärker) und eines Computers vom Typ 80- 286 (Betriebssystem MS DOS) wurden diese in analoge Gleichspannungen umgewandelt und verarbeitet (Propriozeptionstest V5.0, Dipl.-Ing.Dieter Klein).

Auf diese Weise konnten die für diese Studie relevanten Bewegungsrichtungen  $x$  und  $y$  gemessen werden.



In den 15 Sekunden einer Messung wurden 600 Daten aufgezeichnet. Dies entspricht einer Messwertaufnahmefrequenz von 40 Hz. Folgende Parameter wurden bestimmt:

- **S<sub>xy</sub>** *gesamter Schwankungsweg (Beispiel:Abb.14)*
- **dx bzw. dy** *maximaler Schwankungsweg auf der x- bzw. y-Achse*
- **SD<sub>x</sub> bzw. SD<sub>y</sub>** *Streuung der Messwerte um den Mittelwert (auf der x-bzw. y-Achse)*

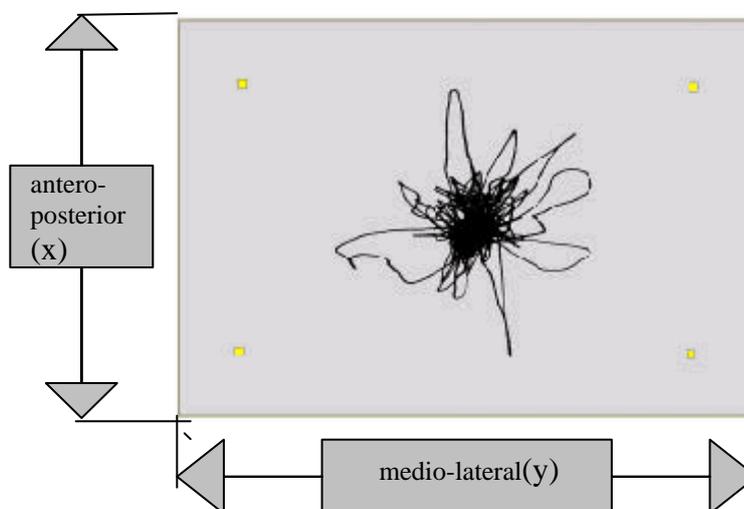


Abb.: 14  
Beispiel für den gesamten Schwankungsweg ( $S_{xy}$ ) auf der Kraftmessplatte bei einem 15 sek. Einbeinstand

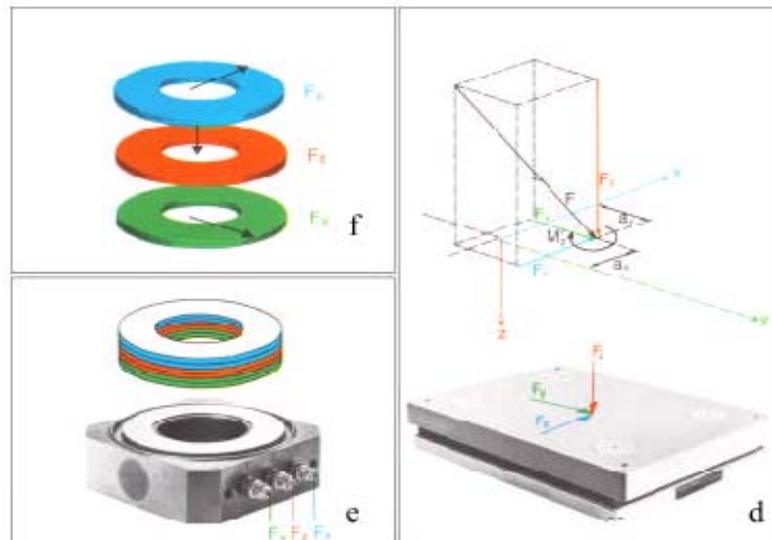


Abb.: 15 Kistler Kraftmessplatte

- d) Piezoelektrischer Quarzkristallaufnehmer,  
 e) Mehrkomponenten-Druckaufnehmer,  
 f) Kraftmessrichtungen eines Druckaufnehmers.

### 2.4.2.2 Versuchsablauf

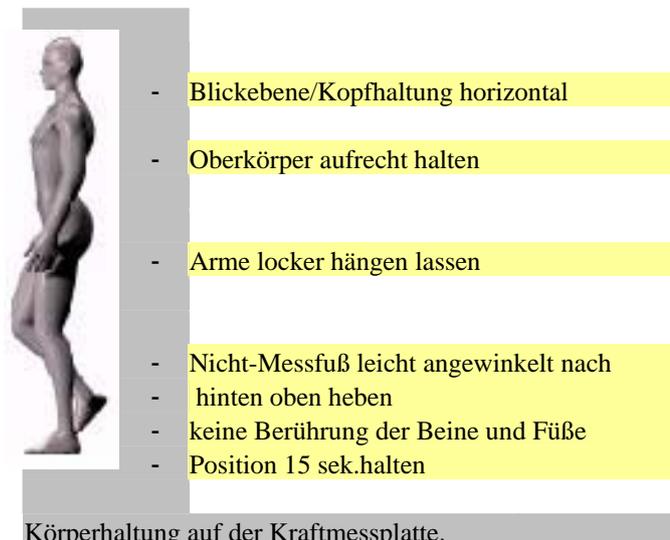


Abb.: 16 Körperhaltung auf der Kraftmessplatte.

Die Messungen wurden barfuß in Form des oben bzw. unten dargestellten Einbeinstandes durchgeführt, wobei der Standfuß exakt mittels einer Markierungshilfe positioniert wurde.

Ein Fixpunkt, an der gegenüberliegenden Wand in Augenhöhe angebracht, legte die Blickebene fest und verhinderte gleichzeitig eine direkte optische Kontrolle des Standes.

Ein Messzyklus umfasste je Seite insgesamt 7 Messungen von je 15sec. Nach zwei Gewöhnungsmessungen folgten 5 reale Messungen. In den durch den Seitenwechsel entstehenden Pausen stieg der Proband von der Messplatte und wurde zu Muskelentspannungsübungen angehalten.



Abb.: 17 Probandin auf der Kraftmessplatte  
im Einbeinstand (mit Angabe der Messrichtungen).

## 2.4.3 Winkelreproduktionstest

### 2.4.3.1 Versuchsaufbau

Der passive Winkelreproduktionstest des oberen Sprunggelenkes wurde mit einer speziell für diese Aufgabenstellung konstruierten Vorrichtung durchgeführt.

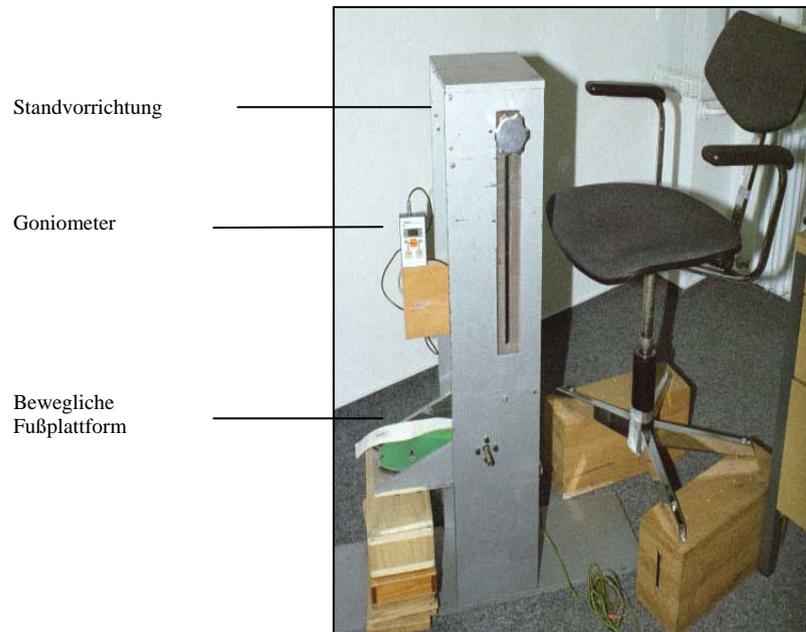


Abb.: 18

Sitz- und Messvorrichtung für den passiven Winkelreproduktionstest

Dabei war die Achse der höhenverstellbaren Fußplattform so ausgerichtet, dass sie bei aufgesetztem Fuß derjenigen des oberen Sprunggelenkes entsprach. Mittels Elektrogoniometer (PENNY & GILES Modell ADU 301®) konnten die Winkelstellungen ermittelt werden.

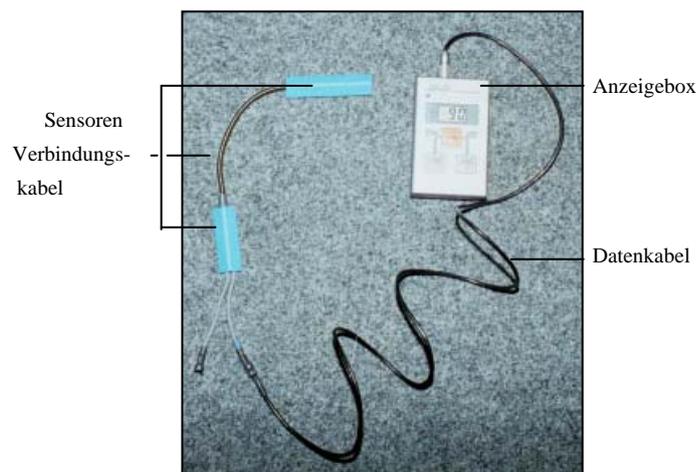


Abb.: 19 Penny and Giles Elektrogoniometer Modell ADU 301®

### 2.4.3.2 *Versuchsablauf*

Zu Beginn des Versuchs wurde die Größenanpassung der Messvorrichtung an die individuellen Bedürfnisse, unter besonderer Berücksichtigung der vorgegebenen Körperhaltung, vorgenommen.

Körperhaltung beim Winkelreproduktionstest:

Oberkörper aufrecht halten, er bildet mit dem Oberschenkel einen Winkel von 90 Grad.

Der Winkel zwischen Ober- und Unterschenkel beträgt 90 Grad.

Schultern locker lassen und Arme ablegen.

Augen geschlossen halten.



Abb.: 20 Proband in der Messvorrichtung beim passiven Winkelreproduktionstest

In diesem Test ging es um die Wiedererkennung einer passiv vorgegebenen Winkelstellung im oberen Sprunggelenk.

Zwei Winkelstellungen wurden angeboten:

10 Grad Dorsalextension



15 Grad Plantarflexion



Abb.: 21 Winkelpositionen beim Winkelreproduktionstest

Im oberen Sprunggelenk sind beim Gesunden Plantar- und Dorsalflexionsbewegungen mit dem Bewegungsausmaß von etwa 30-0-50 möglich (55)(Abb. 22).

Um alle Probanden sicher im Bewegungsamplitudenbereich zu messen, wurden die Winkelpositionen 10 Grad Dorsalextension und 15 Grad Plantarflexion festgelegt.

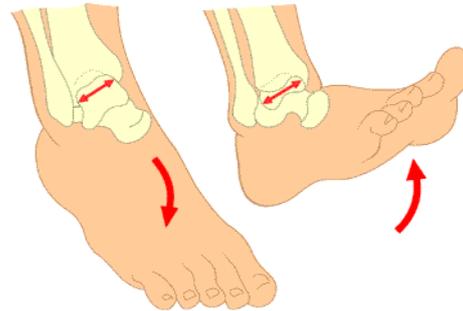


Abb.: 22 Bewegungsausmaß im oberen Sprunggelenk (55)

Ablauf einer Messung:

- Der Testleiter positionierte den Fuß, bzw. das obere Sprunggelenk in der 0°-Ausgangsstellung.
- Er führte die Fußplattform in die vorgegebene Winkelstellung (10°Extension oder 15°Flexion). Der Proband bekam ca. 3 sek. Zeit, um sich diese Fußstellung einzuprägen.
- Rückführung der Fußplattform in die 0°- Ausgangsstellung.
- Der Testleiter bewegte die Plattform langsam in Richtung der zuvor gezeigten Winkelstellung. Die Aufgabe des Probanden bestand nun darin, aus seinem Gelenkstellungsempfinden die zuvor gezeigte Position mit einem „stop“ zu markieren.
- Eintragung des bei „stop“ ermittelten Winkels ins Messprotokoll.

Um ein Abschätzen der Winkelstellung über den Faktor Zeit zu verhindern, wurde die Bewegungsgeschwindigkeit von der 0°- Ausgangsstellung bis zum Erreichen der vorgegebenen Winkelstellung variiert. Es wurden jeweils 10 Winkelstellungen (5 Extension und 5 Flexion) in der Reihenfolge randomisiert und an beiden Füßen gemessen.

## 2.4.4 Druckverteilungstest

### 2.4.4.1 Versuchsaufbau

Für die Messung des plantaren Druckverteilungsmusters kam das System **emed-ST** der Firma **novel GmbH** zum Einsatz (Abb. 23).

Toshiba-Libretto    emed-ST Verstärker    Sony-Vaio Pentium II



emed-ST Druckverteilungsplatte

Abb.: 23 Druckverteilungsmesssystem

Die Sensorplatte arbeitete nach dem kapazitiven Messprinzip mit einer Abtastfrequenz von 40 Hz. Sie war bei einer Größe von 40 x 24cm mit ca.2000 Drucksensoren (4/cm<sup>2</sup>) ausgestattet (74).

Beim Überschreiten der Platte konnten so die auftretenden Druckverhältnisse gemessen werden.

Über das Computerprogramm **Win Emed** erfolgte die Verarbeitung der aufgenommenen Daten.

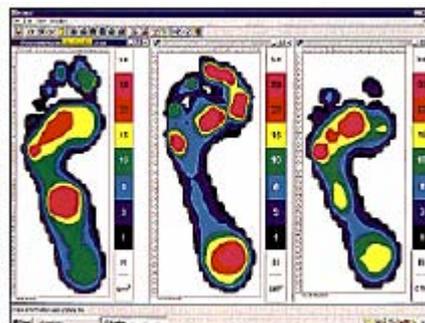


Abb.: 24 Optische Sichtbarmachung der individuellen Druckverhältnisse beim Abrollvorgang durch den Emed- Messcomputer

Zur weiteren Auswertung der Daten wurde das Computerprogramm **Novel database pro M 10.2** zu Hilfe genommen.

Nach Unterteilung der Fußsohle in 10 anatomische Regionen erfolgte eine Zuordnung in die *Peter R. Cavanagh- Maske* (prc- mask).

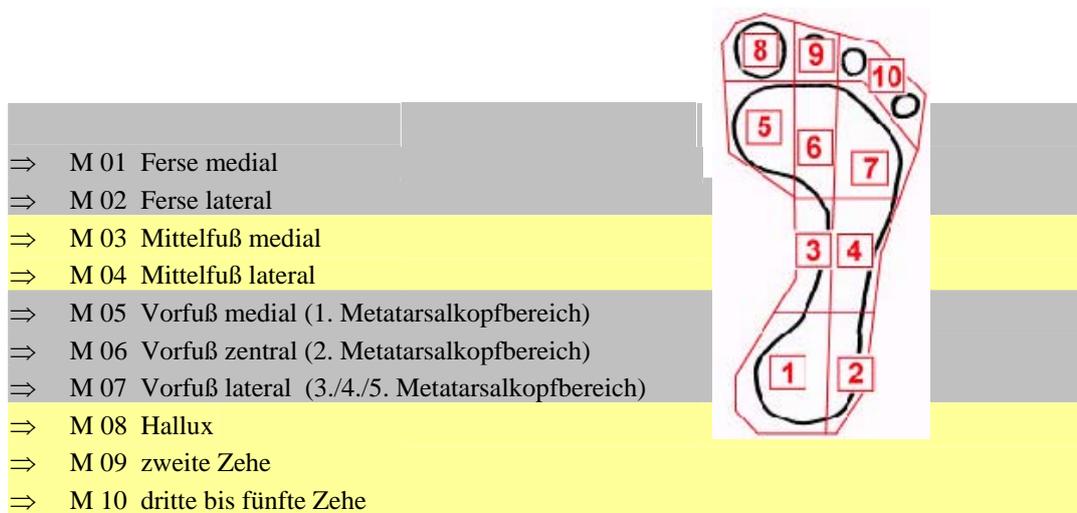


Abb.: 25 Peter R. Cavanagh - Maske

Parallel zur Druckverteilungsmessung wurde die Ganggeschwindigkeit der Probanden mittels zweier Lichtschranken gemessen (Abb.26). Diese waren im Abstand von zwei Metern zueinander positioniert.

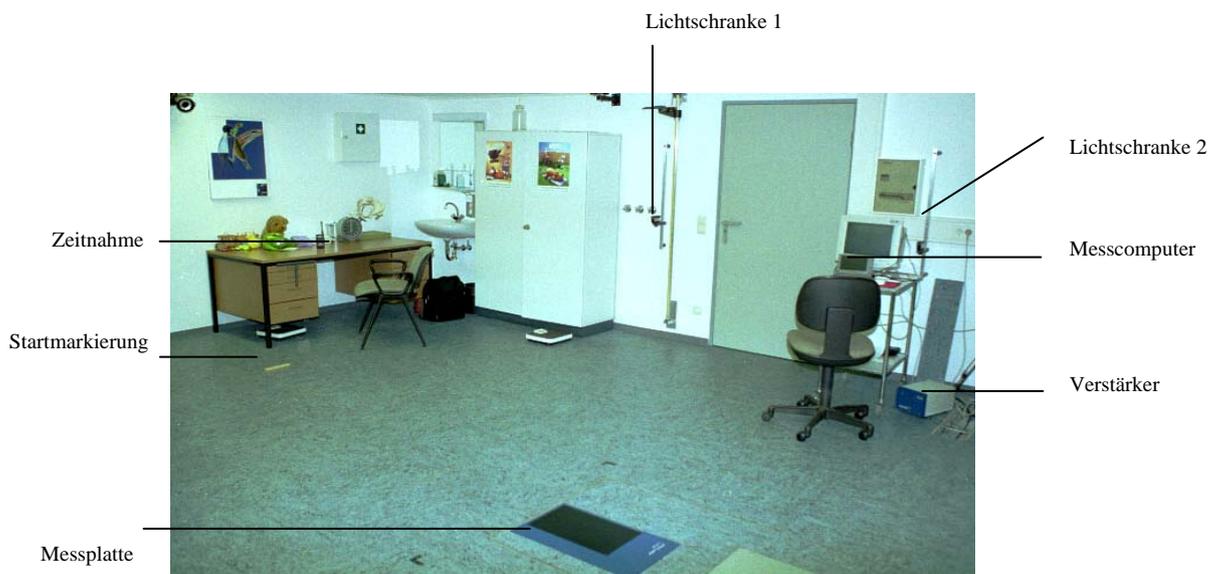


Abb.: 26 Untersuchungsraum für die Druckverteilungsmessung

#### 2.4.4.2 *Versuchsablauf*

Ein Zyklus umfasste insgesamt 10 Messungen, jeweils 5 mit dem rechten und linken Fuß. Gestartet wurde von einer Startmarkierung (Abb.26/27).



Abb.: 27 Probandin in Startposition an der Startmarkierung

Um einer unnatürlichen Schrittabfolge entgegenzuwirken, musste der Proband seinen Blick auf einen optischen Fixpunkt an der gegenüberliegenden Wand richten. Die Messungen wurden bei normaler Schrittgeschwindigkeit durchgeführt. Der Weg führte in geradlinigem Verlauf 4 bis 5 Schritte vor und 3 bis 4 Schritte über die Messplatte hinaus.

Ob ein Versuch als gültig (vollständiger Fußabdruck im Messfeld) oder ungültig zu werten war, konnte direkt am Kontrollbildschirm entschieden werden. Ungültige Versuche wurden wiederholt.



Abb.: 28 Probandin auf dem Weg zwischen Startposition und Druckmessplatte

Die Messung der Ganggeschwindigkeit wurde von einem zusätzlichen Mitarbeiter gesteuert und überwacht.

## 2.4.5 Stabilitätstest ( Biodex – Stability - Test )

### 2.4.5.1 Versuchsaufbau

Bei dem *Biodex- Stability- System* (Abb.29) handelt es sich um ein Test- und Trainingssystem zur Beurteilung und Beeinflussung des Gleichgewichtsvermögens. Das System quantifiziert Daten über die statische und dynamische Gleichgewichtsfähigkeit.

Hierbei wurde insbesondere die dynamische Gelenkstabilität und die unilaterale Haltungsstabilität angesprochen. Der Schwierigkeitsgrad ließ sich über die Variation der Fußplattenstabilität verändern.

Der Proband bzw. Patient stand einbeinig auf einer Fußplatte, deren Gleichgewicht er über seinen propriozeptiven neuromuskulären Mechanismus einstellen musste (Abb.30).

Gemessen wurde die Differenz aus stabilem Zustand der Platte und Abweichungen in anterior- posteriorer sowie medio- lateraler Bewegungsrichtung.

Eine hohe Abweichung sprach für eine unzureichende propriozeptive Reaktion (11).

Nach Verletzungen z.B. des Sprunggelenkes kann dieses System zur aktiven Rehabilitation eingesetzt werden.

Hier interessierte jedoch ausschließlich seine Qualität als Messinstrument.

Abb.: 30 Proband im Einbeinstand



Abb.: 29 Biodex – Stability- System



Definitionen der Messparameter:

- **Stabilitätsstufe:** Entspricht der „Kippsicherheit“ der Plattform. Ein Wert von 8 stellt den höchsten Grad von Stabilität dar, der Wert 1 steht dagegen für die größte Instabilität.  
Im Messzyklus ließ sich die Plattform bis zu einem Neigungswinkel von 20° in jede Richtung kippen.
- **Overall Stability Index (SI):** Standardabweichung der Plattformneigung in Grad, abhängig vom eingestellten Level. Ein hoher Indexwert indizierte einen hohen Bewegungsaufwand im Test und umgekehrt.
- **Anterior/posterior Stability Index (AP):** Standardabweichung auf der Y-Achse (sagittal plane).
- **Medial/lateral Stability Index (ML):** Standardabweichung auf der X-Achse.

#### 2.4.5.2

##### *Versuchsablauf*

Vorbereitung des Messvorganges:

- Ausführliche Informationen über den Testablauf für den Probanden.
- Individuelles Anpassen von Haltegriffen, Displayhöhe und- Neigung.
- Eingabe der Testparameter „Körpergewicht“, „Körpergröße“ und „Stabilitätsstufe“ (nach Austestung des individuell praktikablen Stabilitätslevels).
- Programmieren von Testdauer (Festlegung auf 15sek) und Standposition (rechter oder linker Fuß, Positionskordinaten auf der Plattform).
- Die Höhe der Stabilitätsstufe wurde als während der Messung konstanter Wert festgelegt.

Um eine optische Beeinflussung des Ergebnisses weitgehend auszuschließen, wurde der Proband angewiesen, seinen Blick auf eine Markierung an der gegenüberliegenden Wand zu richten. Das Display wurde aus diesem Grund dem Blickfeld entzogen.

Die Haltegriffe waren nur für den „Notfall“ gedacht. Zusätzliche Hilfestellung gab der Testleiter über den gesamten Messzeitraum. Die Körperhaltung entsprach derer beim Stand auf der Kraftmessplatte (Abb.16).

2 Gewöhnungsmessungen folgten 5 reale Messungen auf jeder Seite.

Ungültige Versuche (z.B. Berührung der Handgriffe) wurden wiederholt.

Beim Seitenwechsel konnte der Proband die Messeinrichtung verlassen und unter Anleitung Muskelentspannungsübungen durchführen.

Nach Abschluss einer jeden Messung wurde ein Testprotokoll vom Biodex System erstellt und ausgedruckt (Abb.31).



Abb.: 31 Protokoll mit Darstellung der Abweichungen aus dem Gleichgewicht über 15sek Testdauer

Angaben zum AP- und ML-Stability Index konnten dem ausführlichen Bericht entnommen werden. Der in diesem Beispiel erreichte Stability Index von 4,4 bei einer Stabilitätsstufe 3 entspricht dem oben beschriebenen Overall Stability Index (SI).

In der Testgruppe lagen die Stabilitätsstufen zwischen 3 und 7. Kontrollgruppenmitglieder wurden zwischen Stufe 2 und 4 getestet.

## 2.5 Statistik

### 2.5.1 *Deskriptive Statistik*

Folgende Software-Programme waren bei der Auswertung sowie Darstellung der Messdaten behilflich:

- Microsoft Office 2000
- SPSS 10.0/11.0/11.5 *Windows*
- Novel database pro M 10.2 der Firma **novel GmbH**

### 2.5.2 *Analytische Statistik*

Die induktive statistische Aufbereitung wurde mit dem Programm SPSS *Windows* durchgeführt (17).

Es konnte wegen des relativ geringen Stichprobenumfanges nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden, sodass der Wilcoxon - Test (Test zum nichtparametrischen Vergleich zweier abhängiger Stichproben- er basiert auf einer Rangreihe der absoluten Wertpaardifferenzen) und Mann – Whitney -U-Test (Test zum nichtparametrischen Vergleich zweier unabhängiger Stichproben- er basiert auf einer gemeinsamen Rangreihe der Werte beider Stichproben) zur Anwendung kam.

Beim Vorliegen von mehr als zwei unabhängigen Stichproben wurde die Ausweitung des U-Tests von Mann und Whitney, der Test nach Kruskal und Wallis herangezogen.

Die Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  entsprach nachfolgenden Signifikanzen.

signifikant	$p < 0,05$	( * )
sehr signifikant	$p < 0,01$	( ** )
höchst signifikant	$p < 0,001$	( *** )

Tab.: 4 Irrtumswahrscheinlichkeit und Signifikanzniveaus (13)

keine Korrelation	$  r   < 0,5$
ausreichende Korrelation	$0,5 <   r   < 0,7$
zufriedenstellende Korrelation	$0,7 <   r   < 0,9$
hohe Korrelation	$0,9 <   r   < 1,0$

Tab.: 5 Einteilung der Korrelationsniveaus (13)

### 2.5.3 Bedeutung der Boxplot- Diagramme

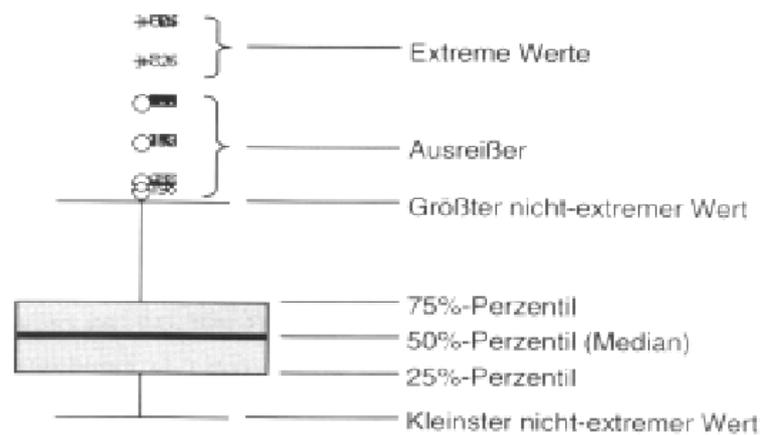


Abb.: 32 Bedeutung der Boxplot- Diagramme

### **Erklärung der Box:**

Der Boxplot besteht aus einer Box, die vom ersten und dritten Quartil (25. bzw. 75. Perzentil) begrenzt wird und deren Linie den Median repräsentiert.

Der Median ist derjenige Punkt der Messwertskala, unterhalb und oberhalb dessen jeweils die Hälfte der Messwerte liegen.

### **Erklärung Ausreißer und Extremwerte:**

#### **Ausreißer:**

Als Ausreißer (gekennzeichnet mit °) gelten Werte, die 1,5 bis 3 Boxlängen vom oberen bzw. unteren Rand der Box entfernt waren.

#### **Extremwerte:**

Als Extremwerte (gekennzeichnet mit \*) gelten Werte, die mehr als 3 Boxlängen vom oberen bzw. unteren Rand der Box entfernt waren.

#### **Anmerkung:**

In den nachfolgenden Diagrammen sind die Ausreißer und Extremwerte ausgeschaltet und somit nicht sichtbar.

## **3 Ergebnisse**

Alle im Folgenden dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die Mittelwerte der jeweiligen Untersuchungsgruppe. Signifikante Unterschiede sind graphisch kenntlich gemacht. Geschlechtsspezifische Unterschiede konnten nicht verifiziert werden. Mit dem Begriff *vorher* bzw. *nachher* sind die Messzeitpunkte zur Voruntersuchung und Nachuntersuchung gemeint.

### **3.1 Sensibilitätstest**

Die vorhandene Sensibilität ist umso besser ausgeprägt, je geringer die gerade noch wahrgenommene Filament-Fadenummer [ $\log_{10}(g)$ ] der Semmes- Weinstein Monofilamente ist.

#### **3.1.2 Subgruppen: Diabetiker ohne Neuropathie/Diabetiker mit Neuropathie (non NP/NP)**

Bei Nichtwahrnehmung des Schwellenfilamentes 5,07  $\log_{10}(g)$  muss von einem 98%igen Sensibilitätsverlust ausgegangen werden.

9 der insgesamt 15 Diabetiker konnten so der Subgruppe *Diabetiker ohne Neuropathie (non NP)* zugeordnet werden. Die restlichen 6 Diabetiker hatten eine klinisch relevante DPNP und wurden unter *Diabetiker mit Neuropathie (NP)* subsumiert.

### 3.1.3 Vergleich der Gesamt-Sensibilitätsmittelwerte der Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

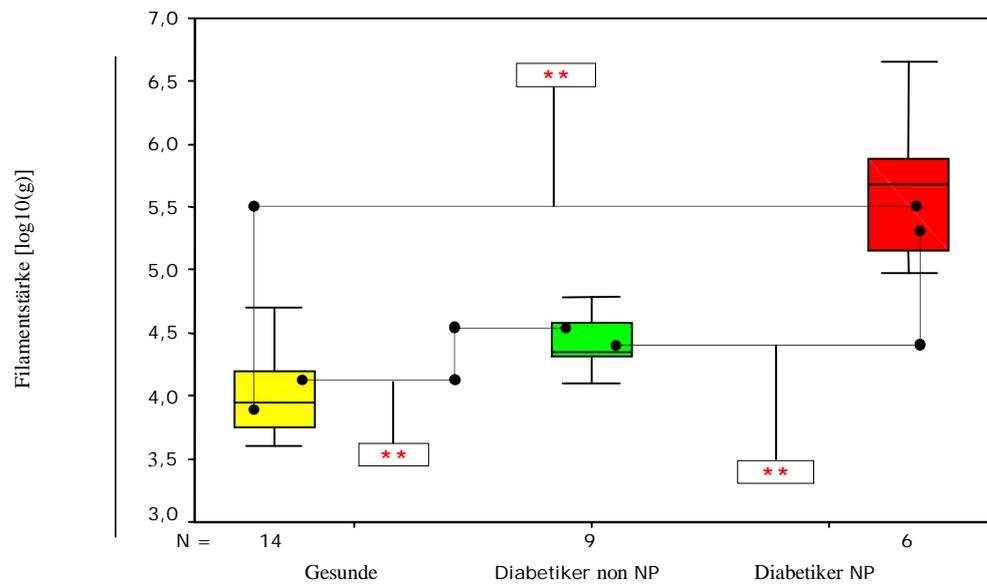


Abb.: 33 Mittelwerte der Sensibilität aller fünf Messpunkte zum Zeitpunkt vorher.  $p < 0,01$  sehr signifikant (\*\*),  $p < 0,05$  signifikant (\*),  $p \geq 0,05$  nicht signifikant.

Abbildung 33 stellt die Filamentstärkenmittelwerte aller 3 Gruppen dar. Neben dem signifikant höheren Wert zwischen Gesunden und Diabetikern non NP ( $p=0.004$ ) fanden sich in den Beziehungen Diabetiker non NP/Diabetiker NP ( $p=0.001$ ) und Gesunde/Diabetiker NP ( $p=0.001$ ) ebenfalls signifikante Unterschiede.

## 3.1.4 Vergleich der Gesamt-Sensibilitätsmittelwerte der Gruppen vorher/nachher

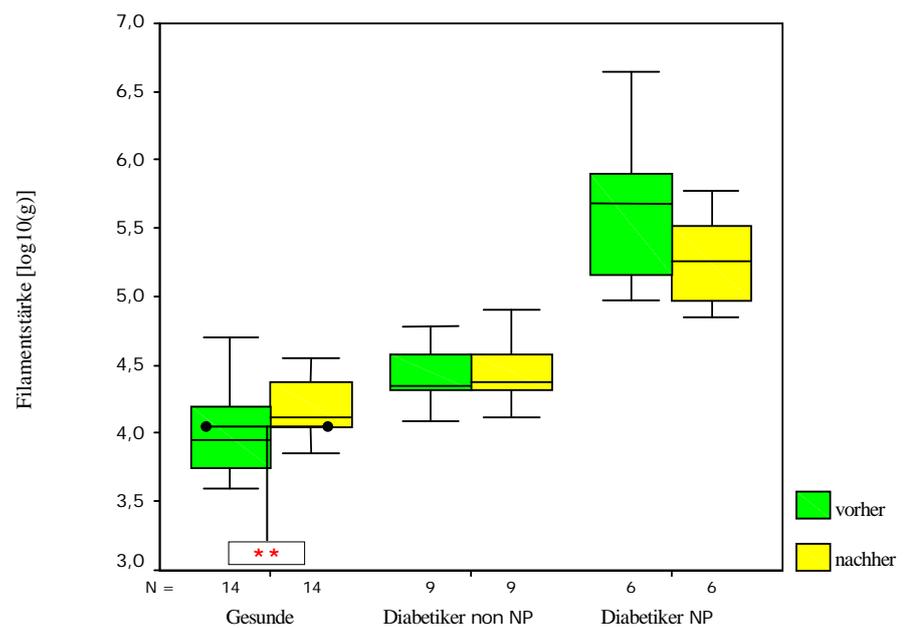


Abb.: 34 Mittelwerte der Sensibilität aller fünf Messpunkte zum Zeitpunkt vorher und nachher.  $p < 0,01$  sehr signifikant (\*\*),  $p < 0,05$  signifikant (\*),  $p \geq 0,05$  nichtsignifikant.

Beim Vergleich der Gesamt-Sensibilitätsmittelwerte über alle 5 Messpunkte vorher zu nachher ergaben sich lediglich in der Gruppe der Gesunden signifikante Veränderungen ( $p=0.008$ ). Weder die Gruppe Diabetiker non NP, noch Diabetiker NP wiesen hier signifikante Unterschiede auf. Tendenziell ( $p=0.075$ ) verbesserten sich die Sensibilitätswerte bei den Diabetikern mit Neuropathie.

3.1.5 *Vergleich der Sensibilität der Gruppen Gesunde, Diabetiker (non NP) und Diabetiker (NP) an allen 5 spezifischen Messpunkten zum Zeitpunkt der Voruntersuchung*

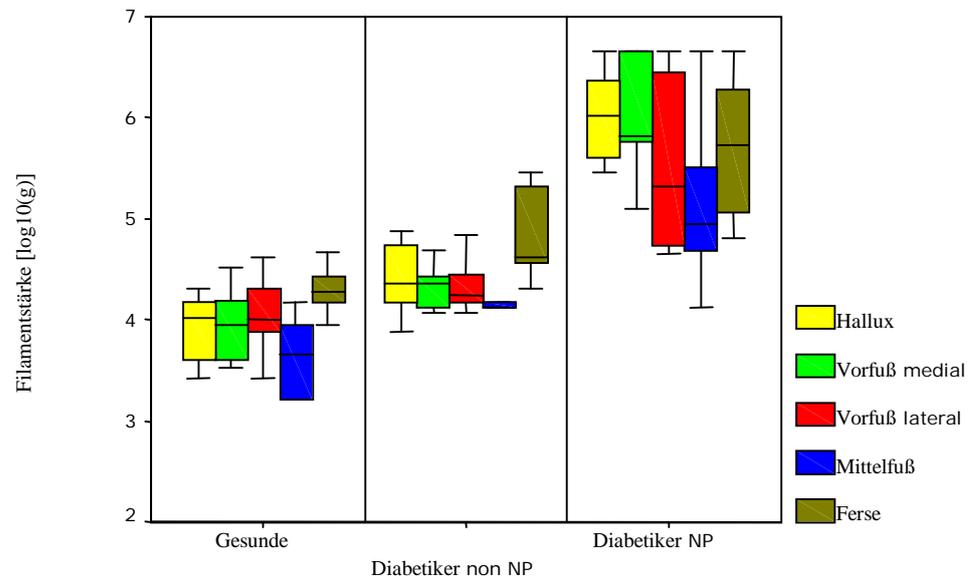


Abb.: 35 Mittelwerte der Sensibilität aller fünf Messpunkte zum Zeitpunkt vorher.  $p < 0,01$  sehr signifikant (\*\*),  $p < 0,05$  signifikant (\*),  $p \geq 0,05$  nicht signifikant.

Betrachtet man die Messpunkte im Einzelnen, so fallen für jeden von ihnen signifikante Unterschiede im Gruppenvergleich auf.

- Hallux** – Gesunde/Diabetiker non NP ( $p0.009$ ), Gesunde/Diabetiker NP ( $p0.001$ ), Diabetiker non NP/Diabetiker NP ( $p0.001$ )
- Vorfuß medial** – Gesunde/Diabetiker non NP (nicht signifikant), Gesunde/Diabetiker NP ( $p0.001$ ), Diabetiker non NP/Diabetiker NP ( $p0.001$ )
- Vorfuß lateral** – Gesunde/Diabetiker non NP(nicht signifikant), Gesunde/Diabetiker NP ( $p0.001$ ), Diabetiker non NP/Diabetiker NP ( $p0.005$ )
- Mittelfuß** – Gesunde/Diabetiker non NP ( $p0.000$ ), Gesunde/Diabetiker NP ( $p0.001$ ), Diabetiker non NP/Diabetiker NP ( $p0.011$ )
- Ferse** - Gesunde/Diabetiker non NP ( $p0.014$ ), Gesunde/Diabetiker NP ( $p0.002$ ), Diabetiker non NP/Diabetiker NP ( $p0.033$ )

Die gemessenen Unterschiede zwischen Gesunden und Diabetikern non NP waren

im Vorfußbereich nicht signifikant. Hier zeigte sich eine tendenzielle Differenz im Bereich Vorfuß med.(p0.054) und über dem Vorfuß lat.(p0.072).

### 3.1.6 Vergleich der Sensibilität der Gruppen Gesunde, Diabetiker(non NP) und Diabetiker(NP) an allen spezifischen Messpunkten vorher/nachher

#### 3.1.6.1 Messpunkt Ferse

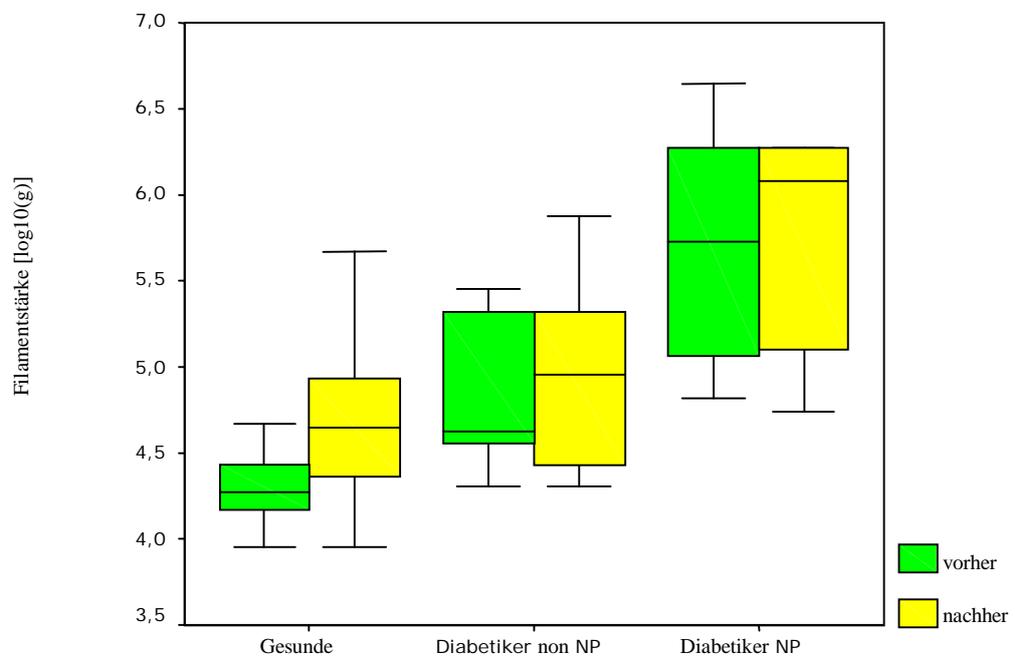


Abb.: 36 Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Ferse zum Zeitpunkt vorher und nachher.  
p < 0,01 sehr signifikant (\*\*), p < 0,05 signifikant (\*), p ≥ 0,05 nicht signifikant.

Für den Messpunkt Ferse ergaben sich keine signifikanten Verschiebungen der Sensibilität im Vorher- Nachher- Vergleich der Gruppen.

## 3.1.6.2 Messpunkt Mittelfuß

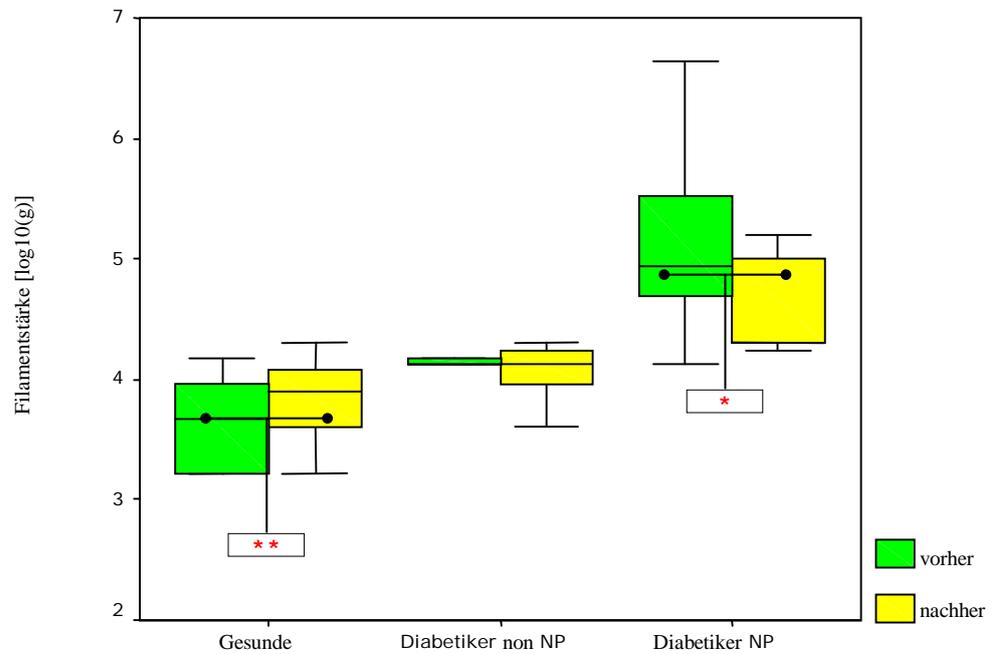


Abb.: 37 Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Mittelfuß zum Zeitpunkt vorher und nachher.  $p < 0,01$  sehr signifikant (\*\*),  $p < 0,05$  signifikant (\*),  $p \geq 0,05$  nicht signifikant.

Im Messpunkt Mittelfuß fielen signifikante Verschlechterungen in der Gruppe der Gesunden ( $p=0.003$ ) neben signifikanten Verbesserungen der Sensibilität bei den Diabetikern NP ( $p=0.046$ ) auf.

## 3.1.6.3 Messpunkt Vorfuß lateral

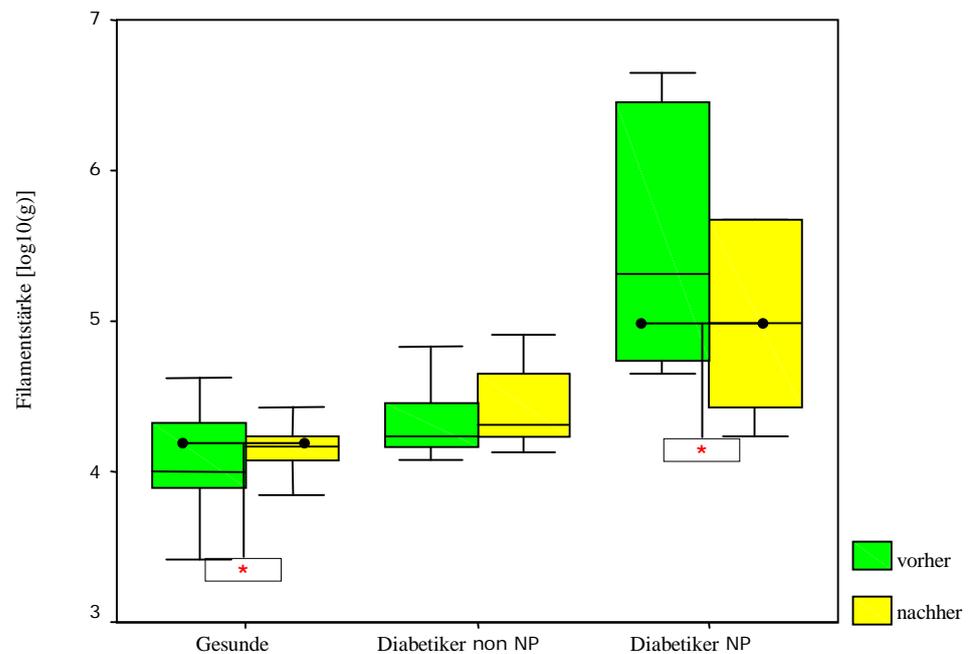


Abb.: 38 Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Vorfuß lateral zum Zeitpunkt vorher und nachher.  $p < 0,01$  sehr signifikant (\*\*),  $p < 0,05$  signifikant (\*),  $p \geq 0,05$  nicht signifikant.

Auch im Messpunkt Vorfuß lateral war eine signifikante Verbesserung der Sensibilität in der Gruppe der Diabetiker NP ( $p=0.028$ ) messbar. Bei den Gesunden lag eine Verschlechterung ( $p=0.041$ ) im Signifikanzniveau vor.

## 3.1.6.4 Messpunkt Vorfuß medial

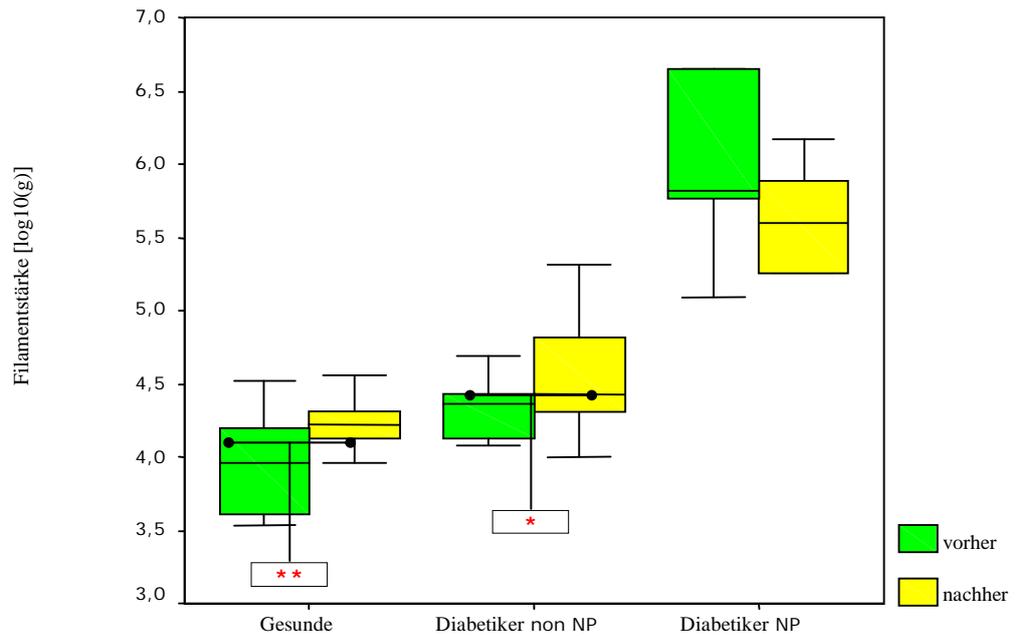


Abb.: 39 Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Vorfuß medial zum Zeitpunkt vorher und nachher.  
p < 0,01 sehr signifikant (\*\*), p < 0,05 signifikant (\*), p ≥ 0,05 nicht signifikant.

Signifikante Verschlechterungen der Sensibilität waren in 2 Gruppen [Gesunde (p0.003) und Diabetiker non NP (p0.028)] am Messpunkt Vorfuß medial realisierbar.

## 3.1.6.5 Messpunkt Hallux

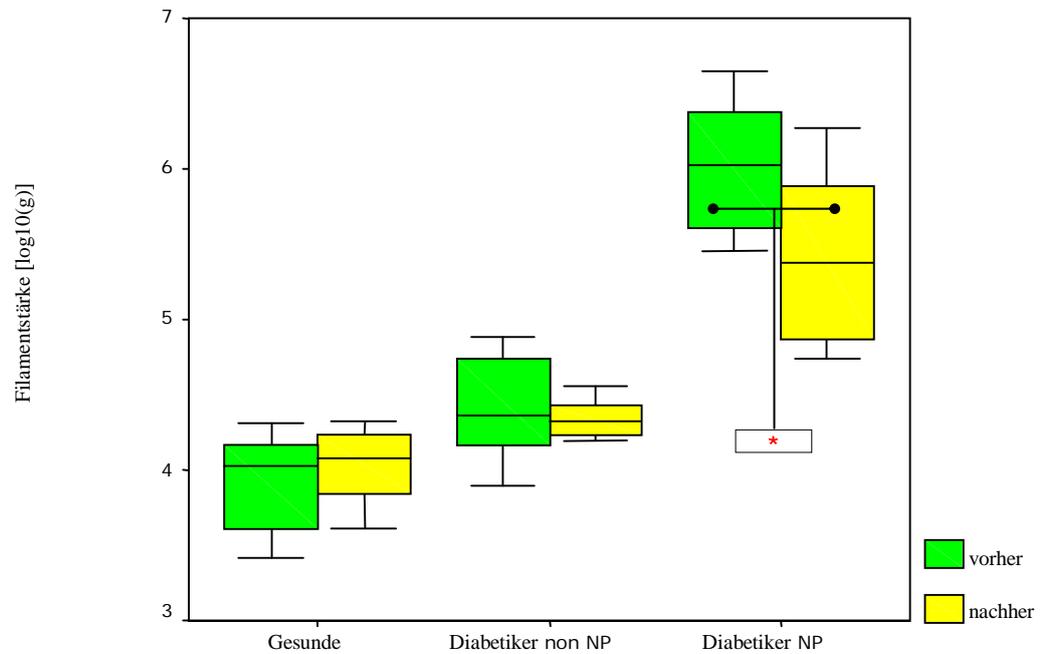


Abb.: 40 Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Hallux zum Zeitpunkt vorher und nachher.  $p < 0,01$  sehr signifikant (\*\*),  $p < 0,05$  signifikant (\*),  $p \geq 0,05$  nicht signifikant.

Am Messpunkt Hallux war eine signifikante Verbesserung der Sensibilität ( $p=0.028$ ) für die Gruppe der Diabetiker NP feststellbar. Keine Veränderungen hingegen waren bei den Diabetiker non NP sowie in der Gruppe der Gesunden verifizierbar.

### 3.2 Stabilitätstest (Kraftmessplatte)

Gemessen werden 3 Parameter, die die Schwankung des Körperschwerpunktes in x- und y-Richtung näher beschreiben.

- **Sxy** *gesamter Schwankungsweg*
- **dx bzw. dy** *maximaler Schwankungsweg auf der x- bzw. y-Achse*
- **SDx bzw. SDy** *Streuung der Messwerte um den Mittelwert (auf der x- bzw. y-Achse)*

#### 3.2.1 Streuung der Werte in medio- lateraler und anterior- posteriorer Richtung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung (SDy/SDx)

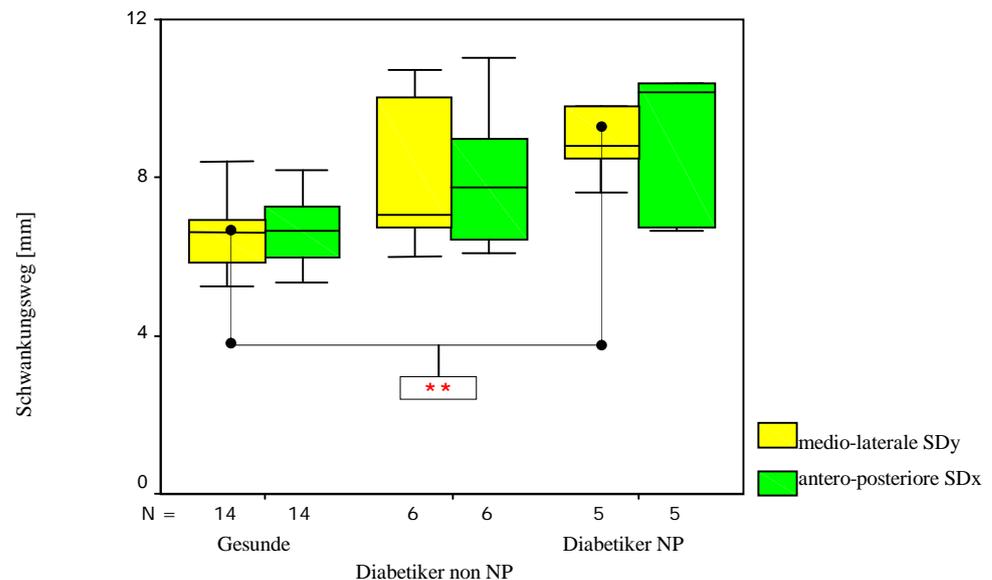


Abb.: 41 Streuung der Werte in medio-lat. und anterior-post. Richtung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

Die Streuung der Schwankungswerte um den Mittelwert in x-Richtung (antero-post.) sowie in y-Richtung (medio-lateral) werden als SD-Wert in mm angegeben. Gesunde erreichten hierbei in beiden Bewegungsrichtungen den kleinsten SD-Wert, gefolgt von den Diabetiker ohne Neuropathie und schließlich den Diabetikern NP mit dem höchsten SD-Wert. Signifikant war der Vergleich zwischen dem SDy-Wert

der Gesunden mit dem der Diabetiker NP ( $p < 0.005$ ). Tendenzielle Unterschiede ( $p < 0.071$ ) bestanden auch beim SDx-Wert dieser Gruppen.

### 3.2.2 Streuung der Werte in medio-lateraler und anterior-posteriorer Richtung vorher/nachher (SDy/SDx)

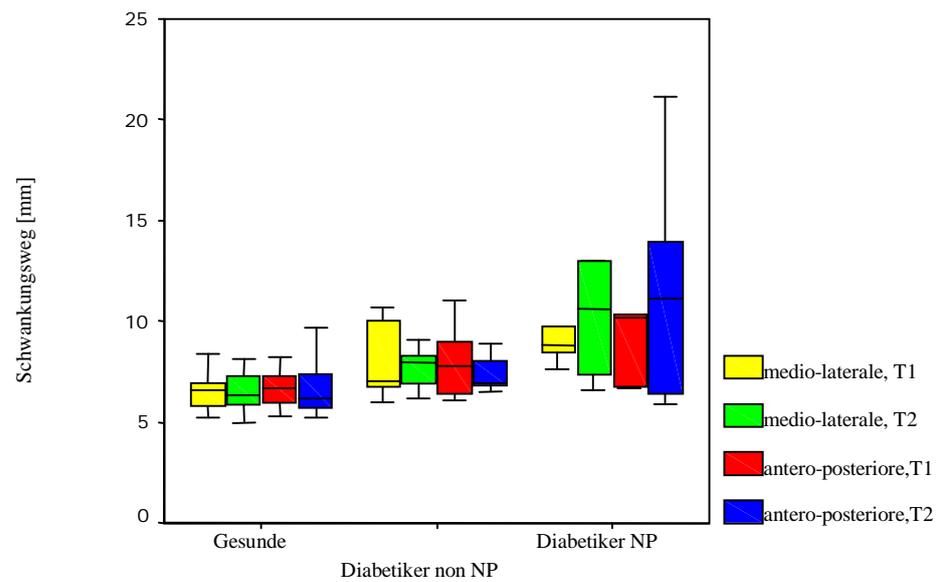


Abb.: 42 Streuung der Werte in medio-lat. und anterior-post. Richtung vorher(T1)/nachher(T2).

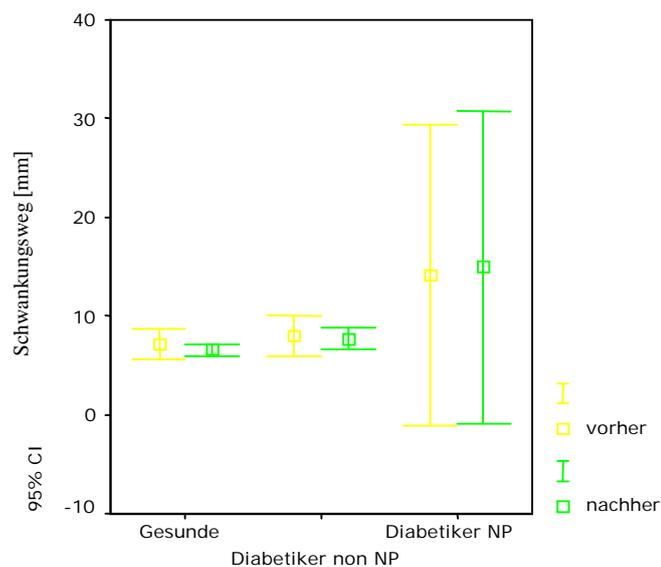


Abb.: 43 95%-Konfidenzintervall der Werte in y-Richtung vorher/nachher.

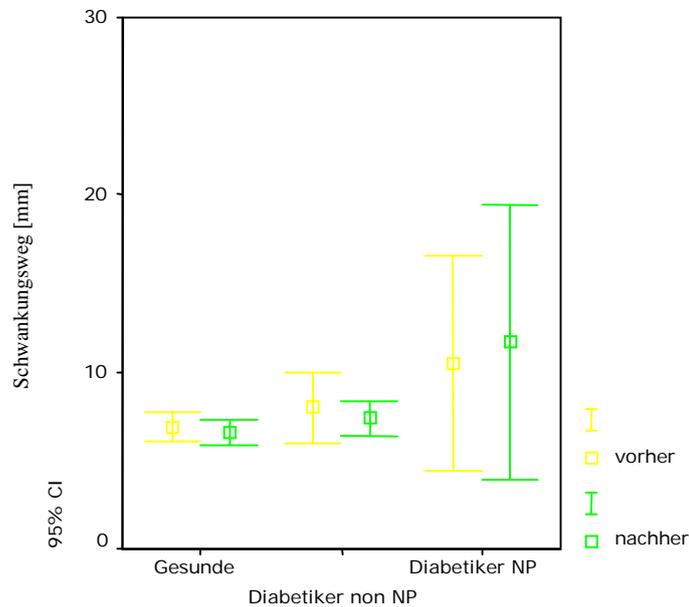
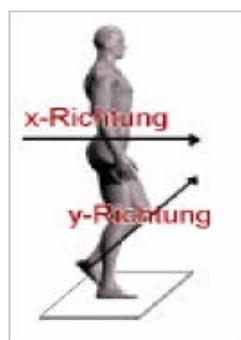


Abb.: 44 95%-Konfidenzintervall der Werte in x-Richtung vorher/nachher.

Bei Betrachtung der SD-Werte beider Bewegungsrichtungen im Vorher- Nachher-Vergleich fanden sich keine signifikanten Veränderungen in den Gruppen. Mittels Darstellung der Ergebnisse im 95%- Konfidenzintervall (Abb.43/44) wurde die Nähe der Testwerte deutlicher sichtbar als in Abb.42.



3.2.3 *Maximale Schwankungswerte in medio- lateraler und anterior- posteriorer Richtung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung (dy/dx)*

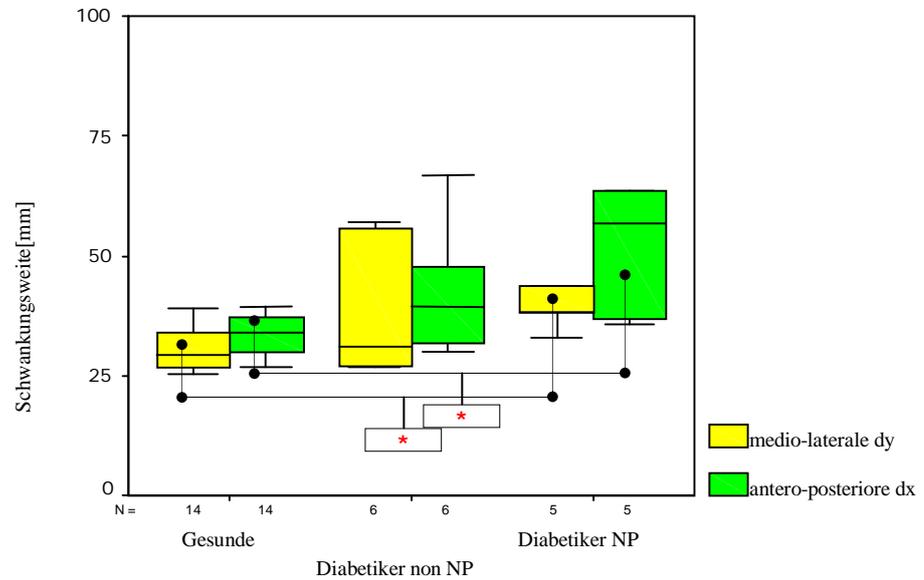


Abb.: 45 Maximale Schwankungswerte in medio-lat. und anterior-post.Richtung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

Die Maximalwerte der Schwankungsamplitude in beiden Richtungen [d(x), d(y)] werden in mm Schwankungswerte als d-Wert angegeben. Diabetiker wiesen eine größere Schwankungsamplitude als Gesunde auf. Signifikant war der d(y) und d(x)- Vergleich zwischen den Gruppen Gesunde/Diabetiker NP mit (p0.021) bzw.(p0.042).

3.2.4 *Maximale Schwankungswerte in medio- lateraler und anterior- posteriorer Richtung vorher/nachher (dy/dx)*

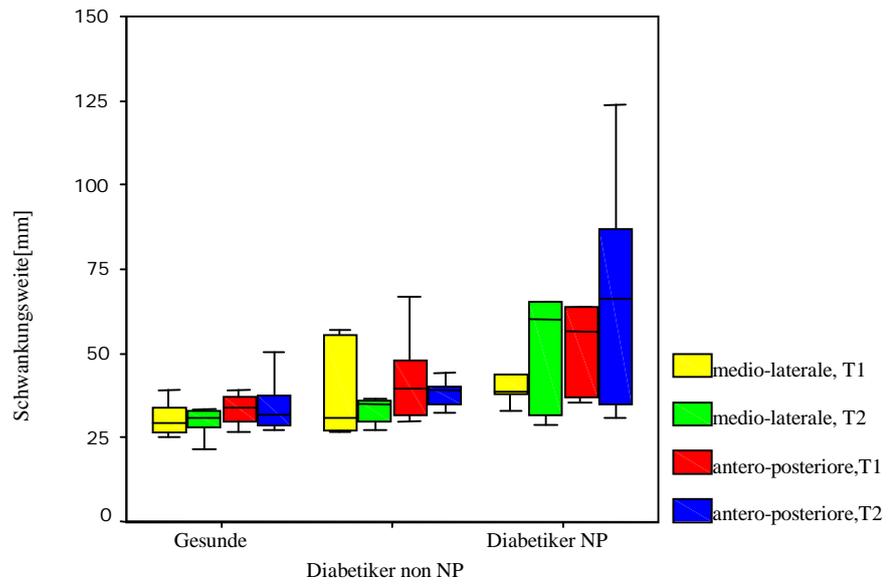


Abb.: 46 Maximale Schwankungswerte in medio-lat. und anterior-post. Richtung vorher (T1)/nachher(T2).

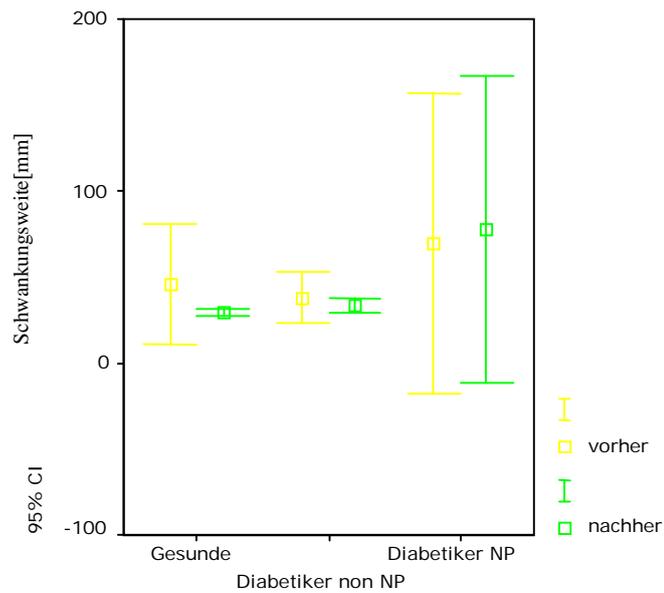


Abb.: 47 95%-Konfidenzintervall der Werte medio-lat. vorher/nachher.

Die Ergebnisse des Vorher- Nachher- Vergleichs bezüglich der maximalen Schwankungswerte in beiden Richtungen zeigten keine signifikanten Veränderungen. Hohe Standardabweichungen in allen Gruppen (Abb.47/48) waren erkennbar.

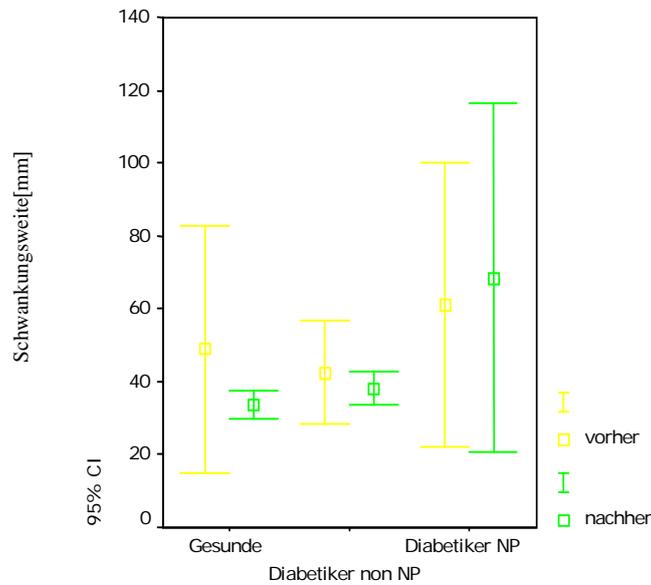


Abb.: 48 95%-Konfidenzintervall der Werte anterior-post. vorher/nachher.

### 3.2.5 Gesamter Schwankungsweg zum Zeitpunkt der Voruntersuchung ( $S_{xy}$ )

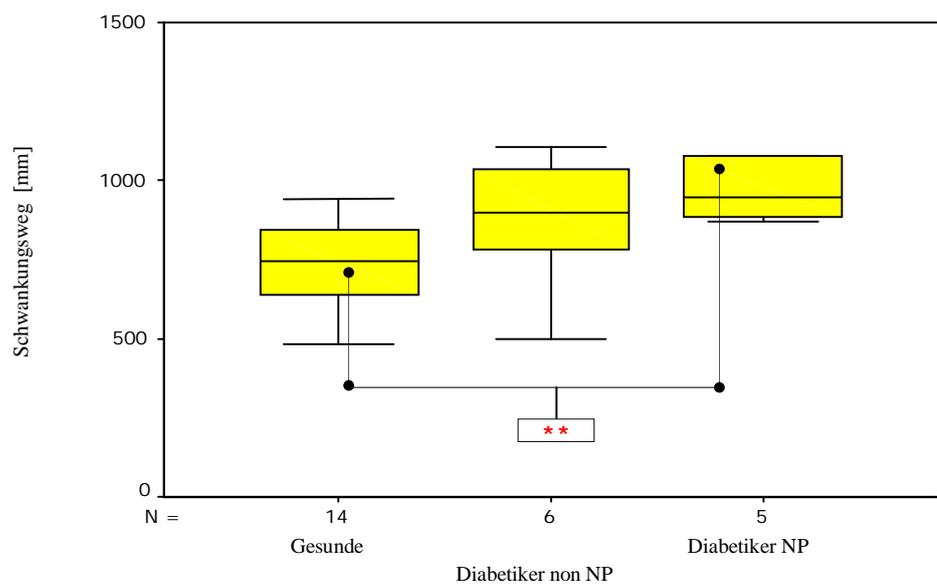


Abb.: 49 Gesamtschwankungsweg  $S_{xy}$  des Körperschwerpunktes bei Voruntersuchung.

Als Schwankungsweg ( $S_{xy}$ ) bezeichnet man die Bewegung des Körperschwerpunktes projiziert auf die Kraftmessplatte angegeben in mm. In unserem Versuch wurde der  $S_{xy}$ - Wert über einen Zeitraum von 15 Sek. bei einem Einbeinstand ermittelt.

Diabetiker NP hatten im Vergleich zu den Gesunden einen signifikant längeren Gesamtschwankungsweg ( $p < 0.010$ ). Die Beziehungen Gesunde/Diabetiker non NP sowie Diabetiker non NP/Diabetiker NP waren nicht signifikant (Abb.49).

### 3.2.6 Gesamter Schwankungsweg vorher/nachher ( $S_{xy}$ )

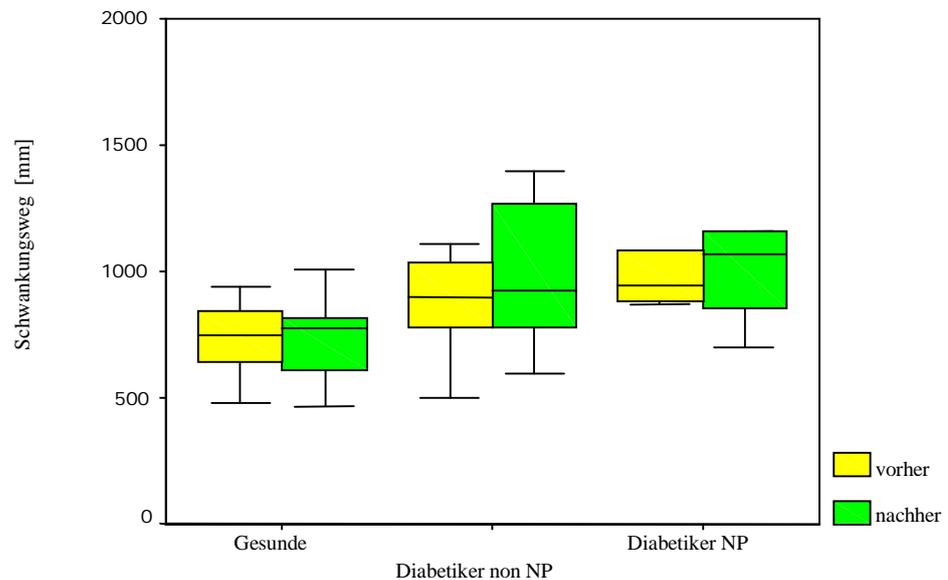


Abb.: 50 Gesamtschwankungsweg  $S_{xy}$  des Körperschwerpunktes vorher/nachher.

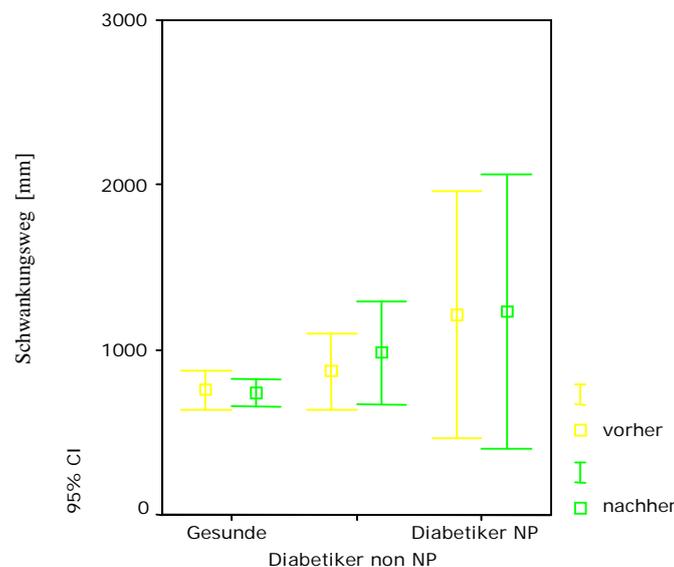


Abb.: 51 95%-Konfidenzintervall der Werte Gesamtschwankungsweg vorher/nachher

Der Vorher- Nachher- Vergleich offenbarte keine signifikanten Veränderungen innerhalb der 3 Probandengruppen für den Gesamtschwankungsweg. Das 95%- Konfidenzintervall verdeutlicht in Abb.51 diese Tatsache anschaulich. Auch bei diesem Test waren hohe Standardabweichungen zu verzeichnen.

### 3.3 Winkelreproduktionstest

#### 3.3.1 Mittlere Winkelabweichung pro vorgegebenen Winkel, mittlere absolute Winkelabweichung – 10° Dorsalextension & 15° Plantarflexion – zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

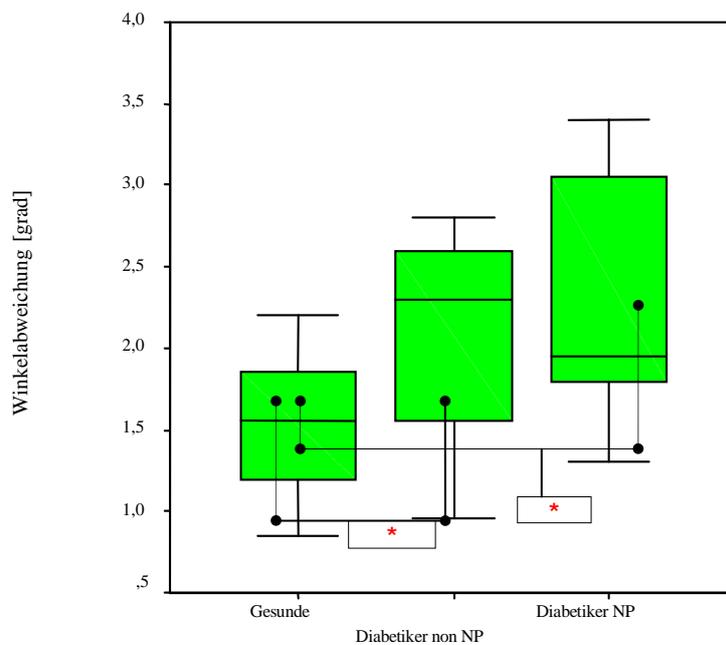


Abb.: 52 Mittlere absolute Winkelabweichung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

Bei den Messdaten bezüglich der Winkelabweichung in [grad] vom vorgegebenen Winkel handelt es sich um die mittlere Abweichung pro Winkel.

Dabei wird nicht in die Bewegungsrichtungen (Dorsalextension/Plantarflexion) differenziert.

Diabetiker zeigten gegenüber den Gesunden eine signifikant schlechtere Winkelschätzung. Darunter bildete die Gruppe der Diabetiker mit Neuropathie das Schlusslicht.

Gesunde hatten im Vergleich mit Diabetikern non NP ( $p=0.039$ ) und Diabetikern NP ( $p=0.020$ ) signifikant niedrigere Winkelabweichungen.

Innerhalb der Diabetikergruppe war aufgrund hoher Standardabweichungen kein signifikanter Unterschied messbar.

### 3.3.2 Mittlere Winkelabweichung pro vorgegebenen Winkel bei Diabetikern und Gesunden vorher/nachher

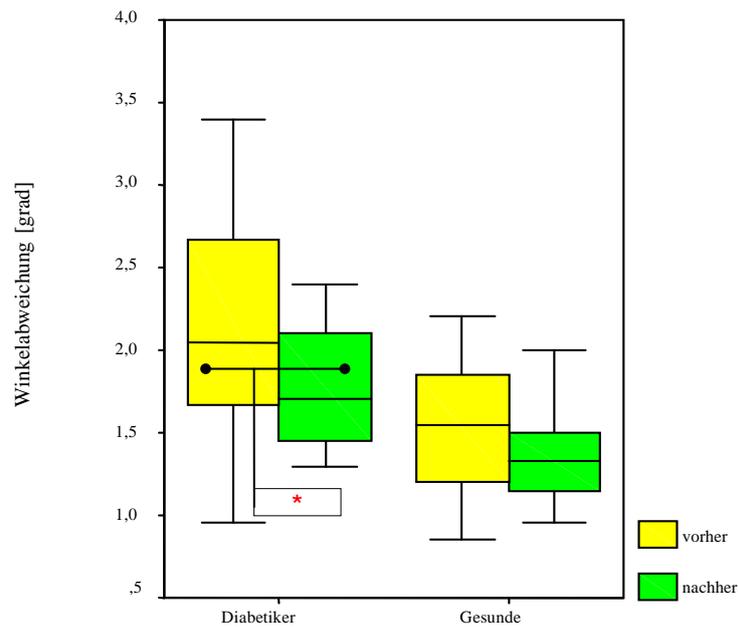


Abb.: 53 Mittlere absolute Winkelabweichung bei Diabetikern und Gesunden vorher/nachher.

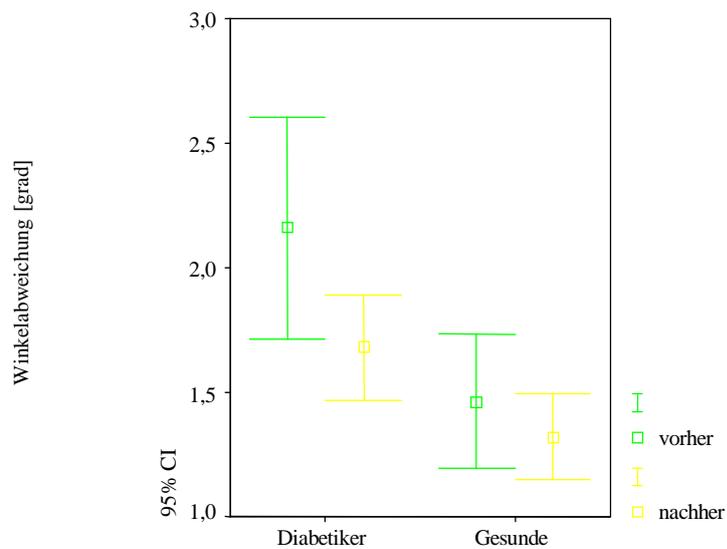


Abb.: 54 95% - Konfidenzintervall mittlere absolute Winkelabweichung bei Diabetikern und Gesunden vorher/nachher.

Im Vorher- Nachher- Vergleich der mittleren absoluten Winkelabweichung zwischen Diabetikern und Gesunden war eine signifikante Verbesserung ( $p < 0.041$ ) auf Seiten der Diabetiker nachweisbar.

### 3.3.3 Mittlere Winkelabweichung pro vorgegebenen Winkel bei Diabetikern non NP, Diabetikern NP und Gesunden vorher/nachher

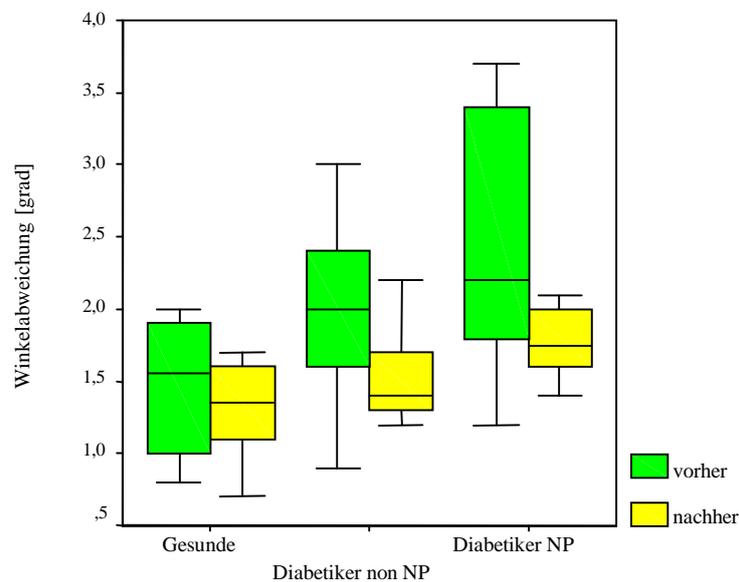


Abb.: 55 Mittlere absolute Winkelabweichung bei Diabetikern non NP, Diabetikern NP und Gesunden vorher/nachher.

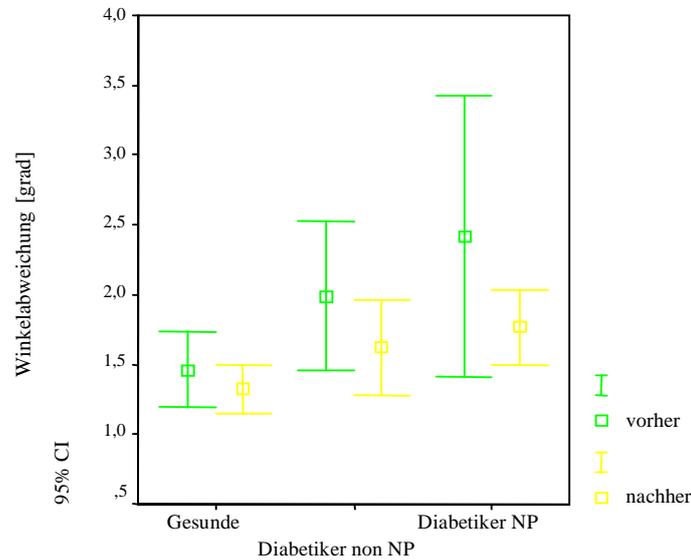


Abb.: 56 95% - Konfidenzintervall mittlere absolute Winkelabweichung bei Diabetikern non NP, Diabetikern NP und Gesunden vorher/nachher.

Nach Differenzierung der Diabetikergruppe (non NP/NP) war im Vorher- Nachher-Vergleich der mittleren absoluten Winkelabweichung aller 3 Gruppen zwar eine Verbesserungstendenz zu erkennen, diese war allerdings wegen der hohen Standardabweichungen nicht signifikant.

### 3.3.4 Mittlere Winkelabweichung pro vorgegebenen Winkel bei 10° Dorsalextension für die drei Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

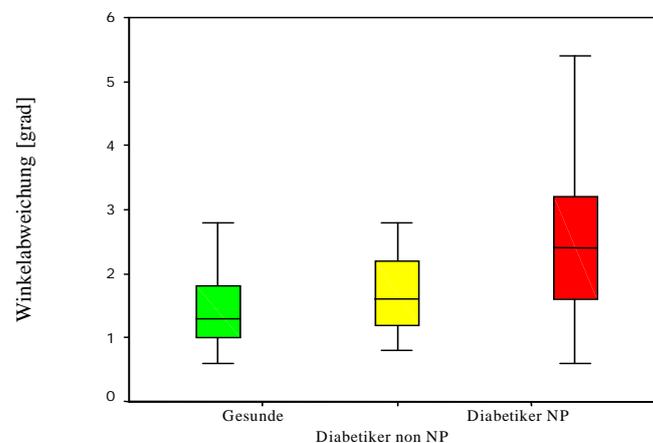


Abb.: 57 Mittlere absolute Winkelabweichung bei 10° Dorsalextension zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

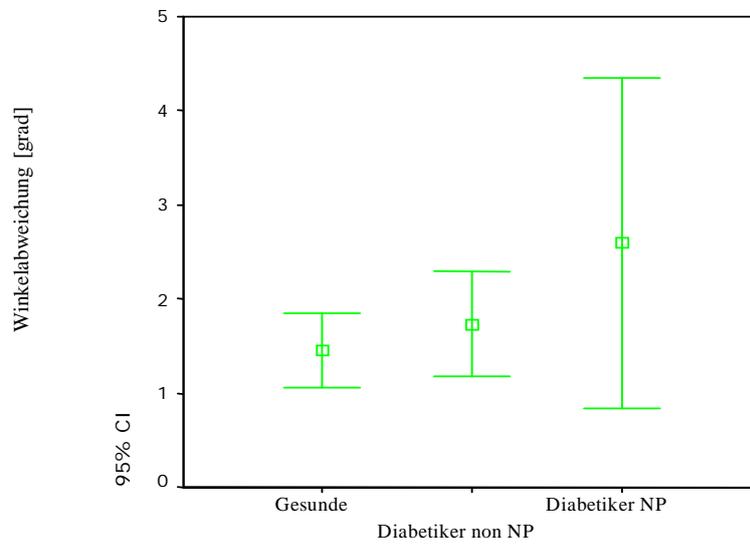


Abb.: 58 95% - Konfidenzintervall mittlere absolute Winkelabweichung bei 10°Dorsalextension zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

### 3.3.5 Mittlere Winkelabweichung pro vorgegebenen Winkel bei 15° Plantarflexion für die drei Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

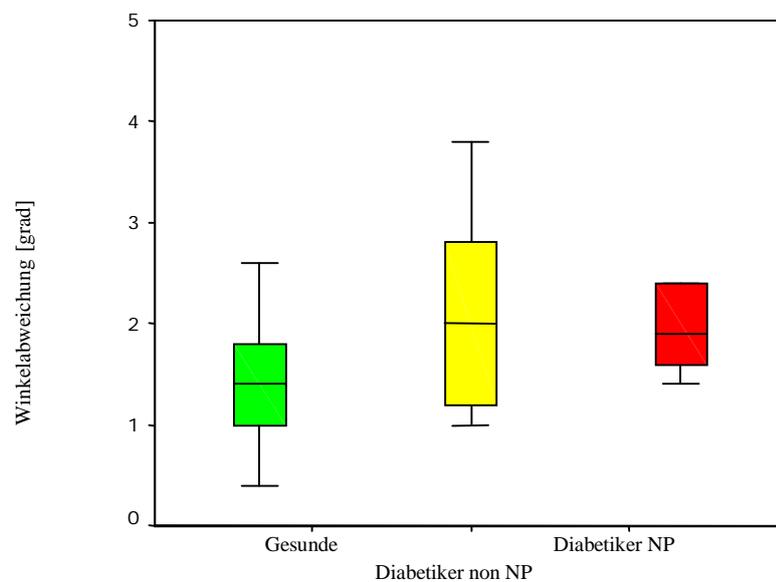


Abb.: 59 Mittlere absolute Winkelabweichung bei 15°Plantarflexion zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

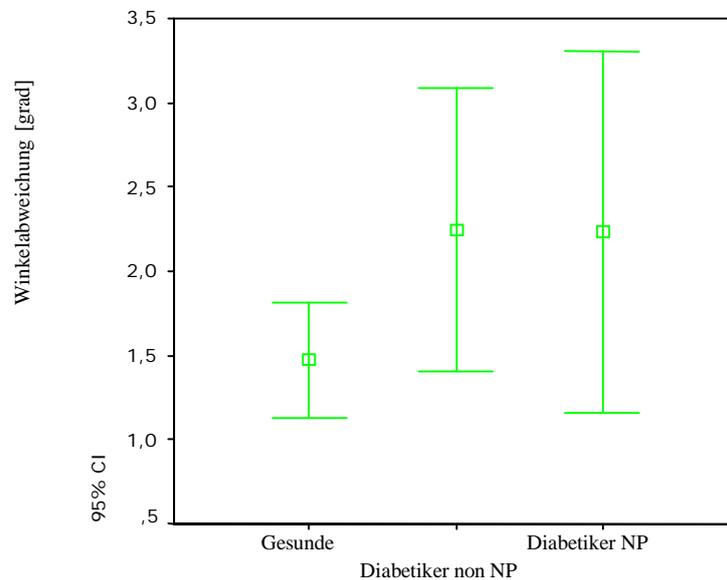


Abb.: 60 95% - Konfidenzintervall mittlere absolute Winkelabweichung bei 15°Plantarflexion zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

Bei Betrachtung der Messwerte bezüglich der mittleren absoluten Winkelabweichung getrennt für beide Bewegungsrichtungen (Dorsalextension, Plantarflexion), fielen tendenziell höhere Winkelabweichungen bei den Diabetikern auf. Gerade in dieser Gruppe waren die Standardabweichungen besonders hoch. Im statistischen Vergleich ergaben sich jedoch keine signifikanten Unterschiede. Die Winkelabweichungen bei den Gesunden und Diabetikern non NP waren tendenziell in Plantarflexion größer als in Dorsalextension. Diabetiker mit Neuropathie zeigten hier ein umgekehrtes Verhalten.

### 3.4 Druckverteilungstest

Folgende Parameter kamen zur Auswertung:

- **Kontaktfläche** (*contact area*)
- **Kontaktzeit** (*contact time*)
- **Maximal wirkende Kraft** (*maximal force*)
- **Spitzendruck** (*peak pressure*)

Während der Durchführung des Druckverteilungstests wurde zunächst auf einer Distanz von 2 Metern die „Gang- Zeit“ mittels Lichtschranke ermittelt.

### 3.4.1 Ganggeschwindigkeit auf einer Distanz von 2 Metern zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

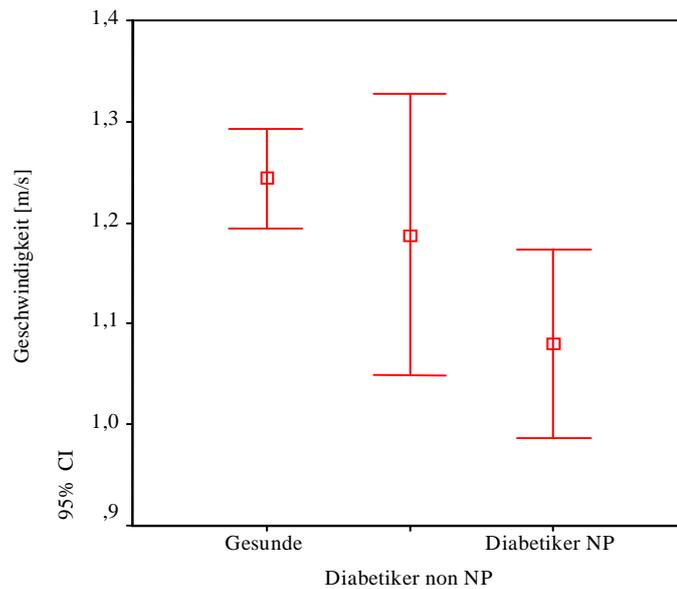


Abb.: 61 95% - Konfidenzintervall mittlere Ganggeschwindigkeit zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

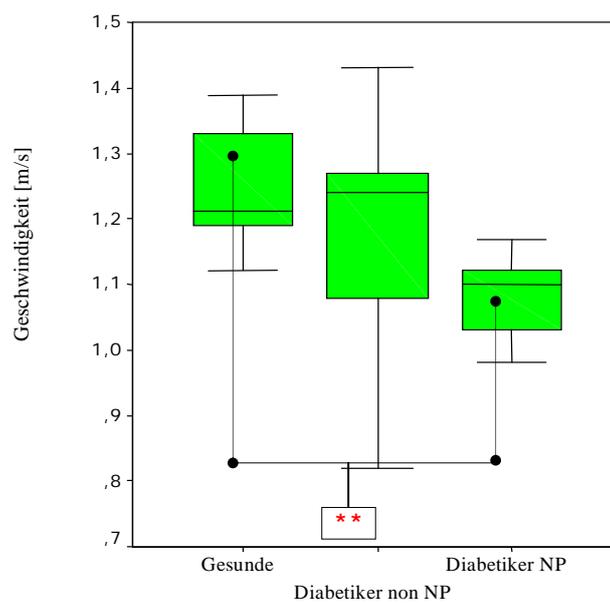


Abb.: 62 Mittlere Ganggeschwindigkeit zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

Später wurde dann aus diesen Daten die Ganggeschwindigkeit berechnet (Abb.61,62).

Gesunde (1,24m/s) bewegten sich signifikant ( $p=0.024$ ) schneller als Diabetiker in Richtung Druckmessplatte. Im direkten Vergleich „Gesunde vs. Diabetiker NP“ wird dieses Verhältnis noch deutlicher ( $p=0.003$ ).

Alle weiteren Beziehungen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung zeigten keine Signifikanz.

Diabetiker non NP waren mit einer Geschwindigkeit von 1,19m/s unterwegs, diejenigen mit Neuropathie bildeten das Schlußlicht mit 1,08m/s.

### 3.4.2 Ganggeschwindigkeit auf einer Distanz von 2 Metern vorher/nachher

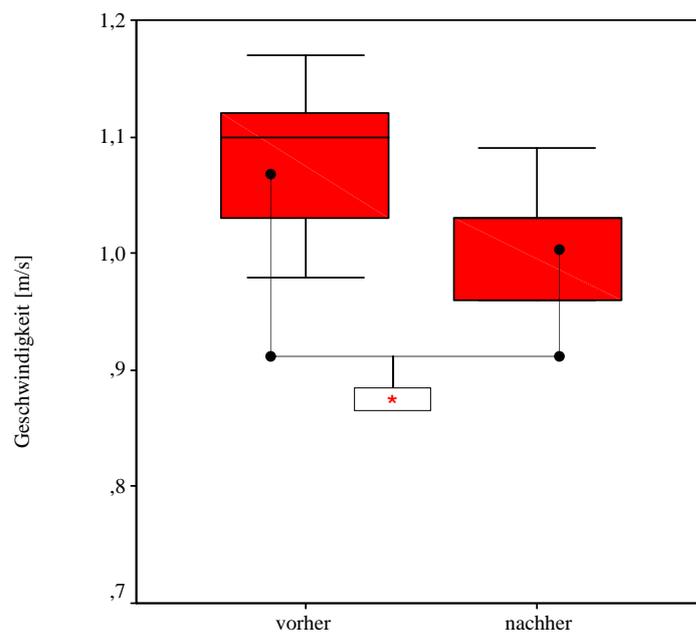


Abb.: 63 Mittlere Ganggeschwindigkeit der Diabetiker NP vorher/nachher.

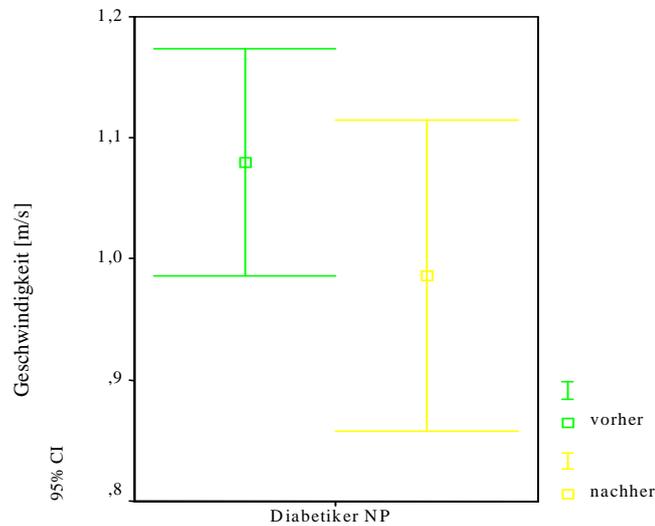
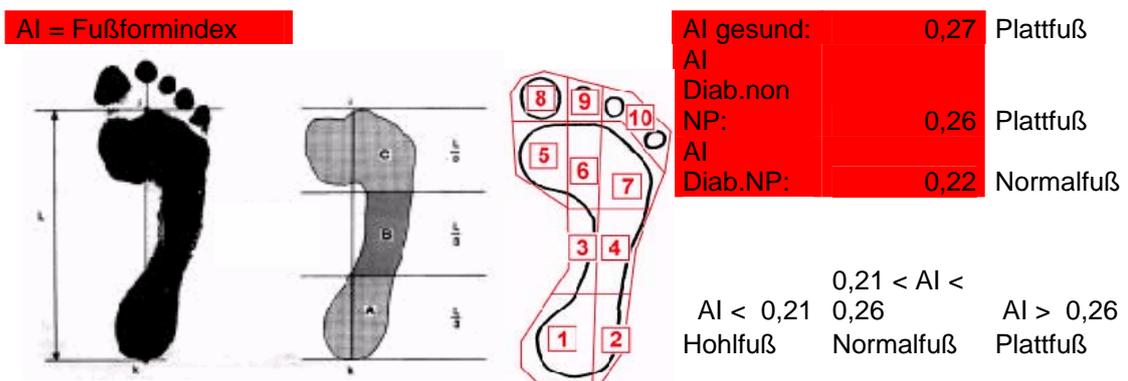


Abb.: 64 95% - Konfidenzintervall mittlere Ganggeschwindigkeit der Diabetiker NP vorher/nachher.

Der Vorher- Nachher- Vergleich für die Ganggeschwindigkeit zeigte eine signifikante Reduzierung des Tempos in der Gruppe der Diabetiker NP (p0.042) (Abb.63,64).

Im Vergleich Gesunde vs. Diabetiker nachher war die Veränderung ebenso signifikant (p0.038) wie in der Beziehung Diabetiker vorher zu nachher (p0.017).

### 3.4.3 Berechnung des Fußformindex nach Cavanagh



$$AI = \frac{B}{A + B + C} = \frac{M03 + M04}{M01 + M02 + M03 + M04 + M06 + M07}$$

Abb.: 65 Berechnung des Fußformindex nach Cavanagh

Nach Berechnung des Fußformindex AI liegt in der Gruppe der Gesunden ein Plattfuß vor (AI 0,27). Mit einem AI von 0,26 werden auch die Diabetiker non NP dieser Fußform zugeordnet. Normalfußkonfiguration zeigen nach Cavanagh die Diabetiker NP (0,22).

#### 3.4.4 Durchschnittlich aufgesetzte Kontaktfläche zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

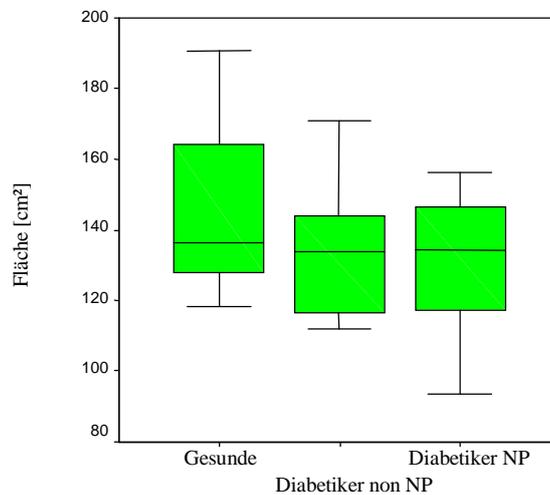


Abb.: 66 Kontaktfläche des gesamten Fußes zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

Die durchschnittlich aufgesetzte Kontaktfläche des gesamten Fußes (contact area) auf der Druckmessplatte war in den 3 Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung ohne signifikante Unterschiede.

Allerdings zeigten die Mittelwerte der contact area die größte Fläche bei den Gesunden ( $144,91\text{cm}^2$ ), gefolgt von den Diabetikern non NP ( $134,56\text{cm}^2$ ) und schließlich den Diabetikern NP mit der kleinsten Kontaktfläche ( $130,44\text{cm}^2$ ).

### 3.4.5 Durchschnittlich aufgesetzte Kontaktfläche vorher/nachher

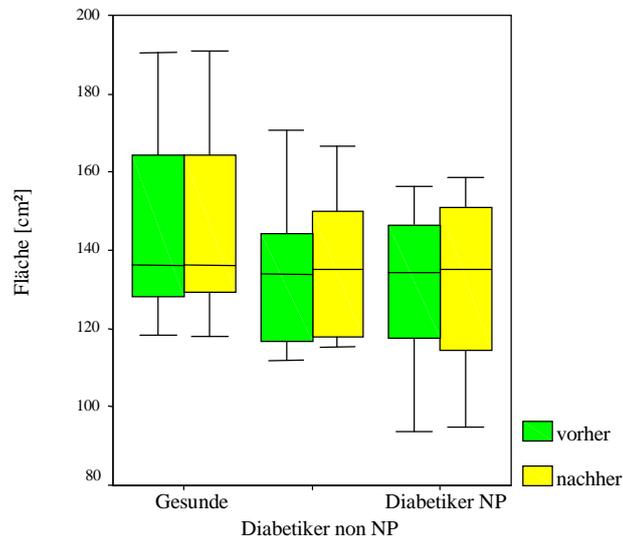


Abb.: 67 Kontaktfläche des gesamten Fußes vorher/nachher.

Auch im Vorher- Nachher- Vergleich der Kontaktflächen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Betrachteten wir jedoch die Mittelwerte, so fiel in der Gruppe der Diabetiker eine Vergrößerung der contact area auf: Bei den Diabetikern non NP von vorher  $134,56\text{cm}^2$  auf  $136,38\text{cm}^2$ . Die Kontaktfläche der Diabetiker NP stieg von  $130,44\text{cm}^2$  auf  $131,56\text{cm}^2$ . Aufgrund der hohen Standardabweichungen waren diese Unterschiede jedoch nicht signifikant.

3.4.6 Durchschnittlich aufgesetzte Kontaktfläche einzelner Fußareale zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

Ferse medial und Ferse lateral:

Zeitpunkt Voruntersuchung (T1)

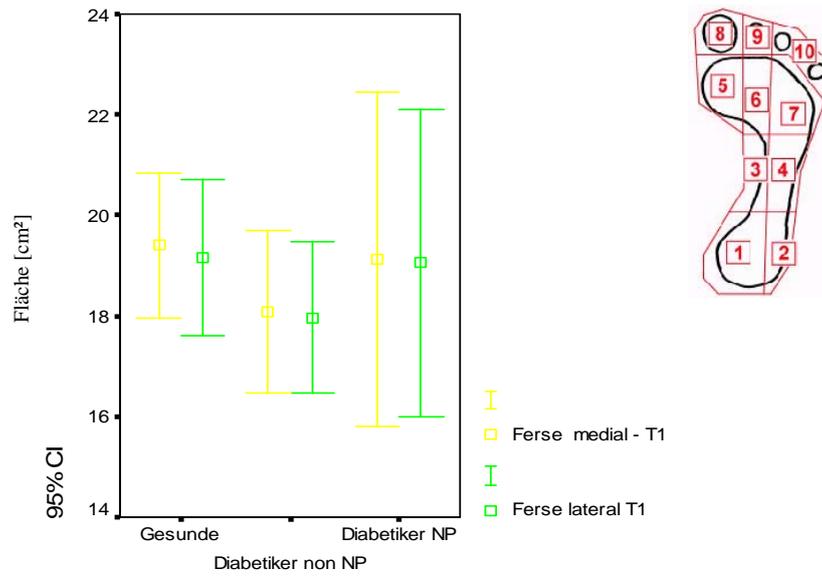


Abb.: 68 95%- Konfidenzintervall Kontaktfläche Ferse medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

Mittelfuß medial und Mittelfuß lateral:

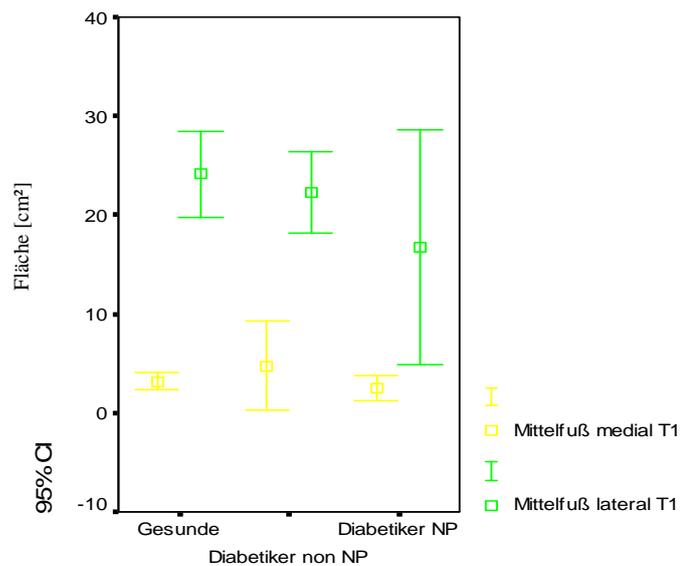


Abb.: 69 95%-Konfidenzintervall Kontaktfläche Mittelfuß medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Vorfuß medial, Vorfuß zentral, Vorfuß lateral:*

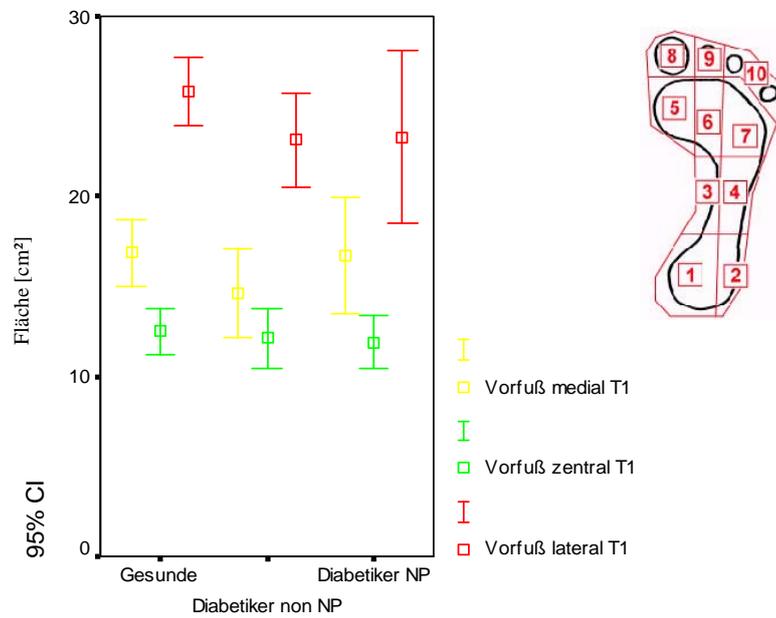


Abb.: 70 95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Vorfuß medial/zentral/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Hallux, zweite Zehe und dritte bis fünfte Zehe:*

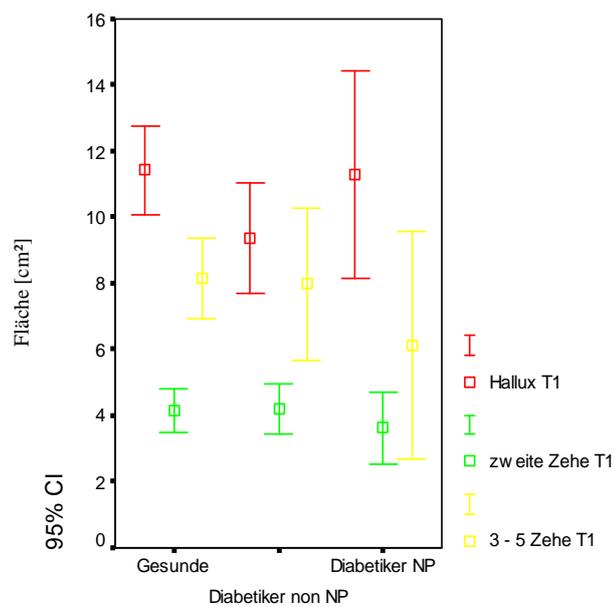


Abb.: 71 95%-Konfidenzintervall Kontaktfläche Hallux/zweite Zehe/dritte bis fünfte Zehe zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

Alle vorher dargestellten Kontaktflächendifferenzen der einzelnen Fußareale waren im Gruppenvergleich ohne Signifikanz.

Der Mittelwertvergleich zeigte bei den Diabetikern im Vergleich zu den Gesunden generell kleinere Kontaktflächen. Am deutlichsten waren diese Unterschiede über Mittelfuß lateral, Vorfuß medial und lateral sowie Hallux.

### 3.4.7 Durchschnittlich aufgesetzte Kontaktfläche einzelner Fußareale vorher/nachher

*Ferse medial:* Zeitpunkt Voruntersuchung (T1) zu Nachuntersuchung (T2)

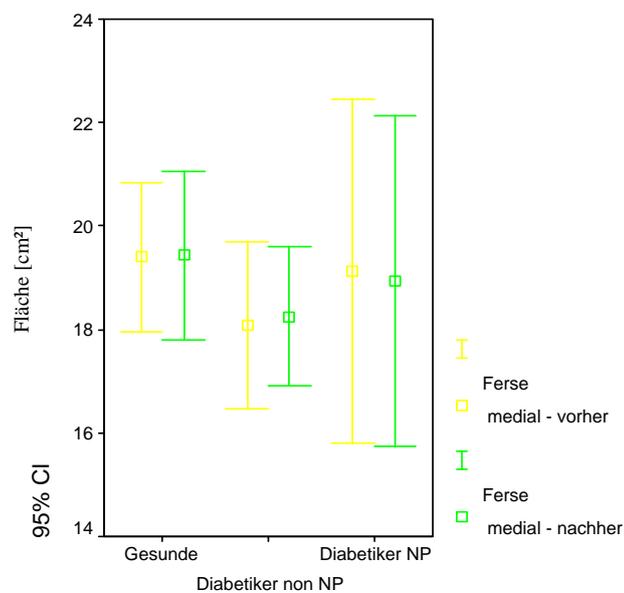


Abb.: 72 95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Ferse medial vorher/nachher.

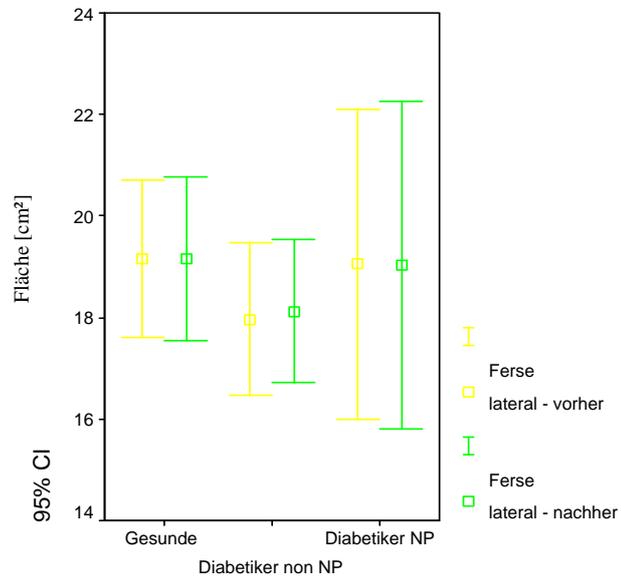
*Ferse lateral:*

Abb.: 73 95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Ferse lateral vorher/nachher.

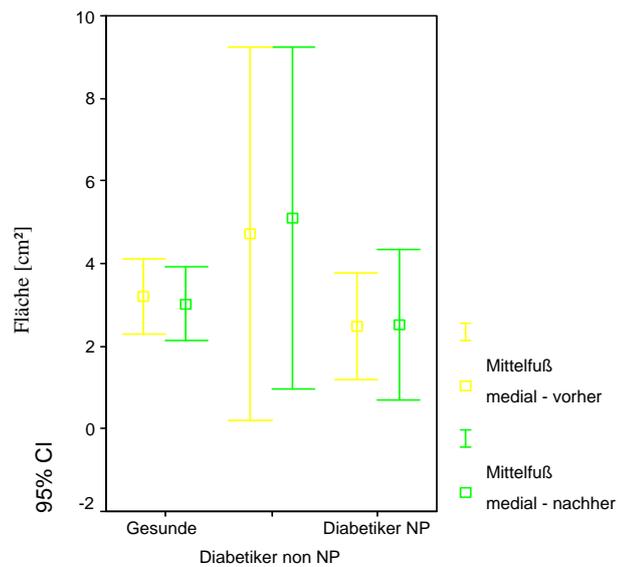
*Mittelfuß medial:*

Abb.: 74 95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Mittelfuß medial vorher/nachher.

*Mittelfuß lateral:*

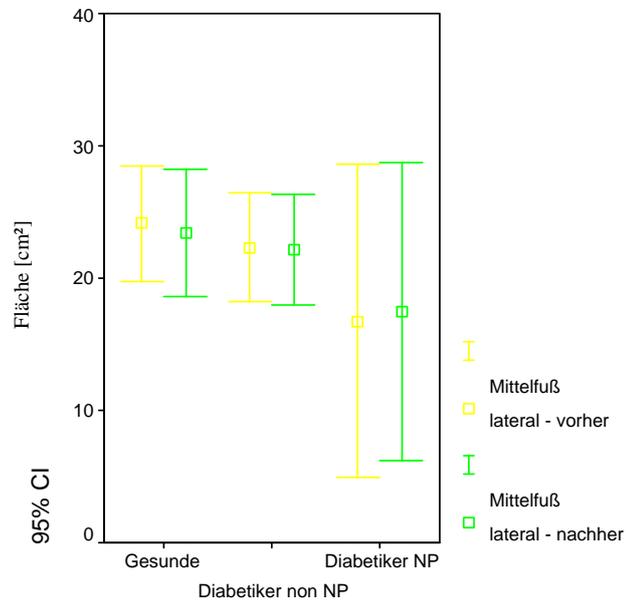


Abb.: 75 95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Mittelfuß lateral vorher/nachher.

*Vorfuß medial:*

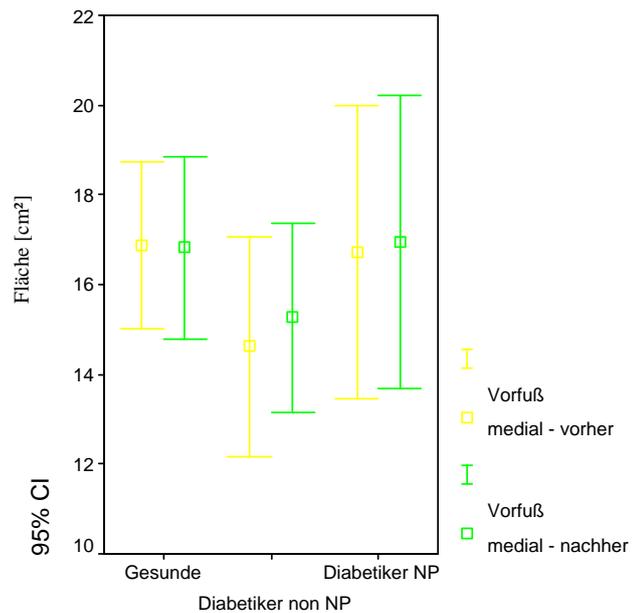


Abb.: 76 95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Vorfuß medial vorher/nachher.

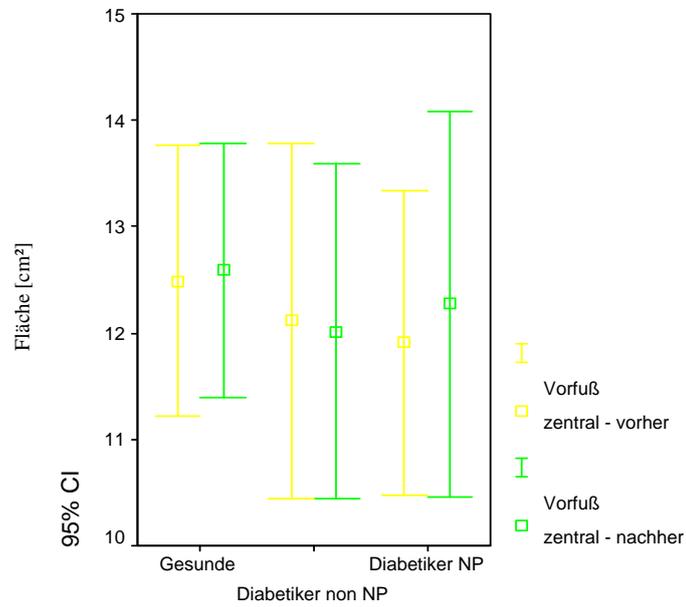
*Vorfuß zentral:*

Abb.: 77 95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Vorfuß zentral vorher/nachher.

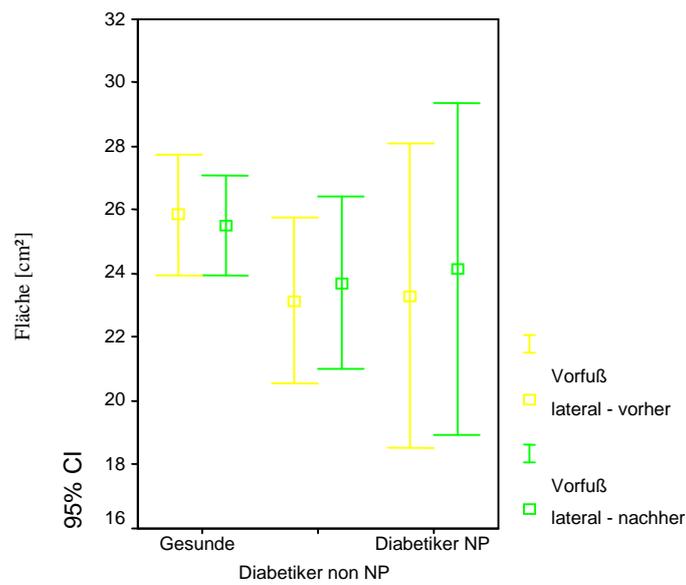
*Vorfuß lateral:*

Abb.: 78 95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Vorfuß lateral vorher/nachher.

*Hallux:*

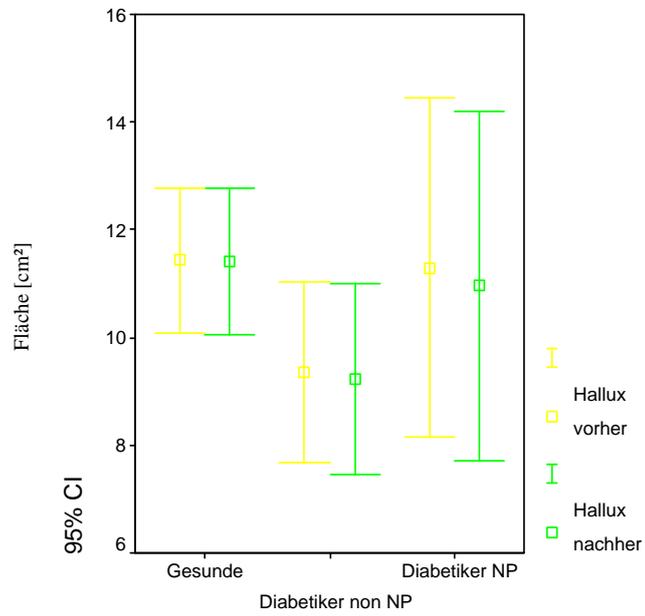


Abb.: 79 95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Hallux vorher/nachher.

*zweite Zehe:*

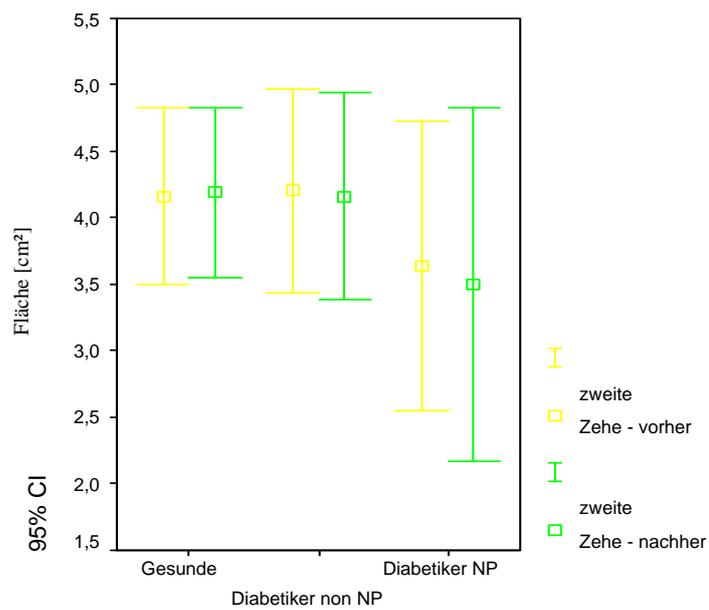


Abb.: 80 95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche zweite Zehe vorher/nachher.

*dritte bis fünfte Zehe:*

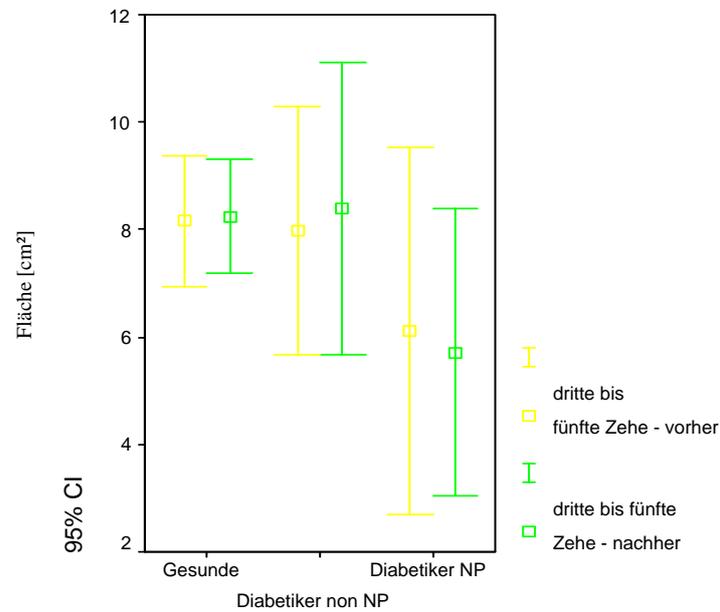


Abb.: 81 95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche dritte bis fünfte Zehe vorher/nachher.

Bei Betrachtung der einzelnen Fußareale im Vorher- Nachher- Vergleich (Abb.72-81) fiel lediglich eine signifikante Vergrößerung im Bereich des Vorfußes lateralis der Diabetiker non NP ( $p=0.044$ ) auf. Die weiteren Differenzen waren weder signifikant noch tendenziell.

### 3.4.8 Kontaktzeit zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

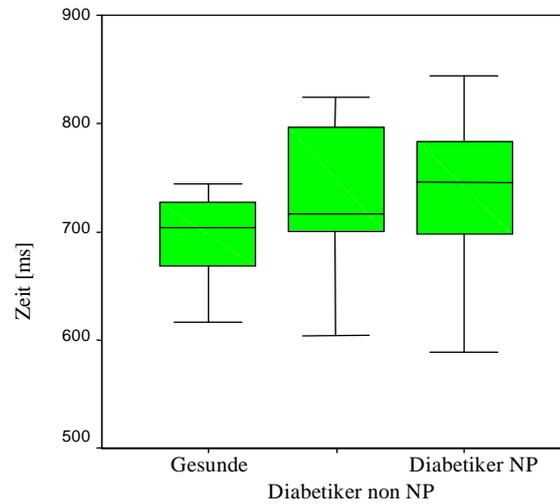


Abb.: 82 Kontaktzeit des gesamten Fußes zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

### 3.4.9 Kontaktzeit vorher/nachher

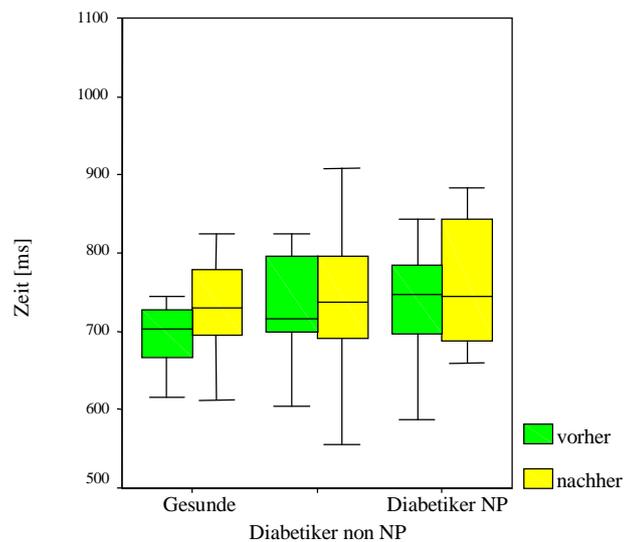


Abb.: 83 Kontaktzeit des gesamten Fußes vorher/nachher.

Als Kontaktzeit (contact time) wird die Dauer der Fußberührung auf der Druckmessplatte verstanden.

Im Mittelwertvergleich zeigten die Gesunden den kürzesten Kontakt mit 705,71ms, gefolgt von den Diabetikern non NP (728,44ms) und den Diabetikern NP mit 734,30ms.

Bei Auswertung des Vorher- Ergebnisses (Abb.82) wie auch im Vorher- Nachher- Vergleich (Abb.83), waren aufgrund der hohen Standartabweichungen keine signifikanten Unterschiede bzw. Veränderungen verifizierbar.

Die einzelnen Fußareale wiesen keine signifikanten Differenzen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung (Abb.84-87) sowie im Vorher- Nachher- Vergleich (Abb. 88-97) auf.

#### 3.4.10 Kontaktzeit einzelner Fußareale zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

*Ferse medial und Ferse lateral:*

*Zeitpunkt Voruntersuchung (T1)*

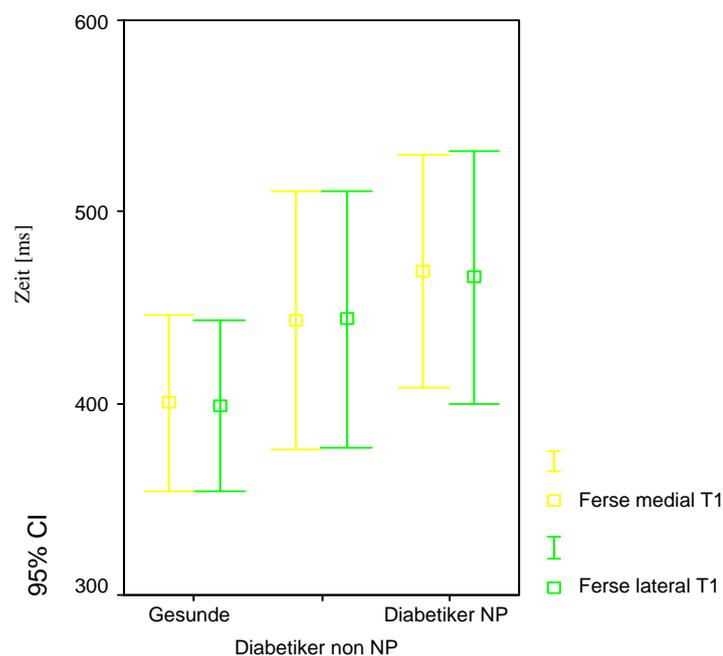


Abb.: 84 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Ferse medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Mittelfuß medial und Mittelfuß lateral:*

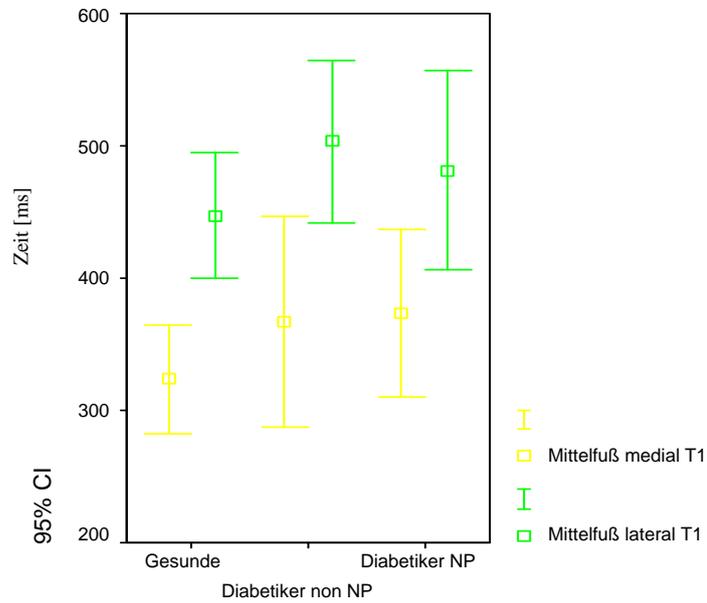


Abb.: 85 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Mittelfuß medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Vorfuß medial, Vorfuß zentral, Vorfuß lateral:*

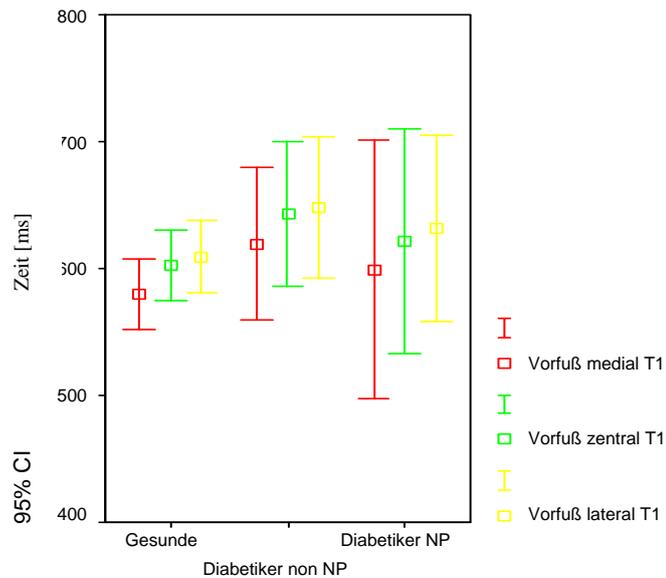
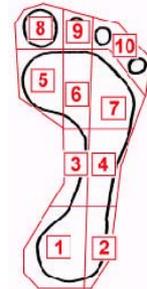


Abb.: 86 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Vorfuß medial/zentral/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Hallux, zweite Zehe und dritte bis fünfte Zehe:*

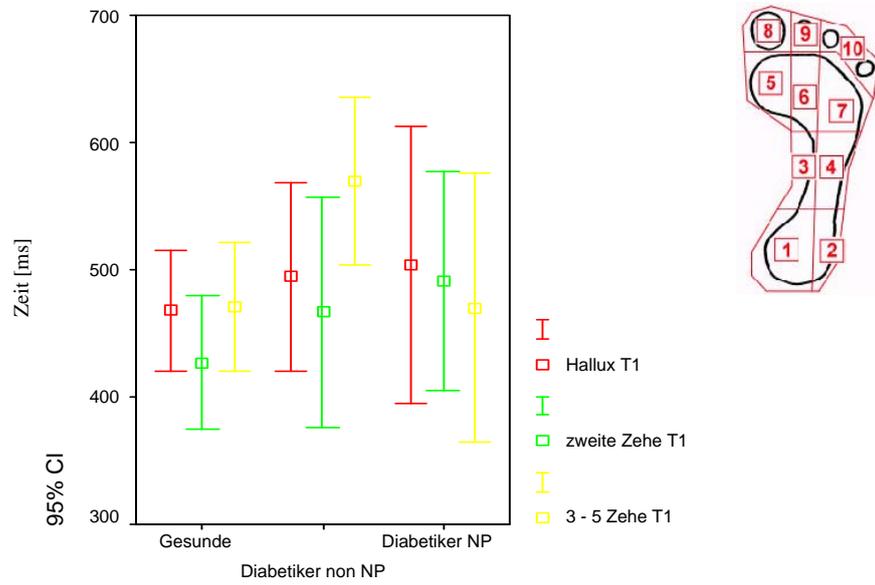


Abb.: 87 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Hallux/zweite Zehe/dritte bis fünfte Zehe zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

3.4.11 Kontaktzeit einzelner Fußareale vorher/nachher

Zeitpunkt Voruntersuchung (T1) zu Nachuntersuchung (T2)

*Ferse medial:*

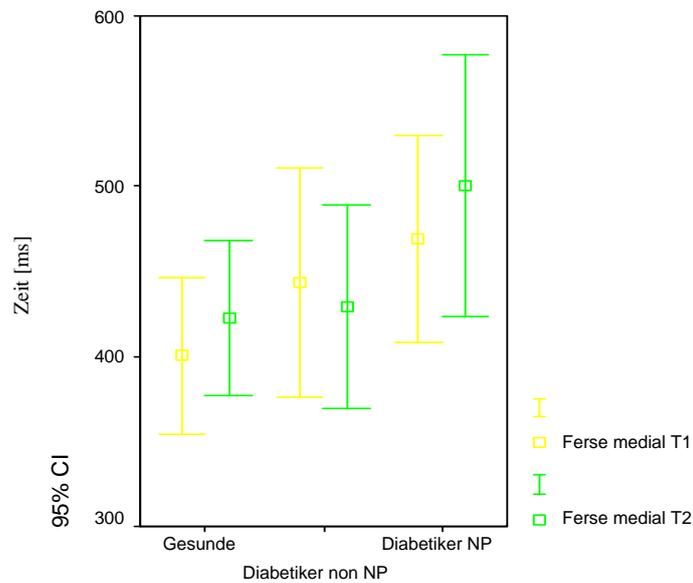


Abb.: 88 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Ferse medial vorher/nachher.

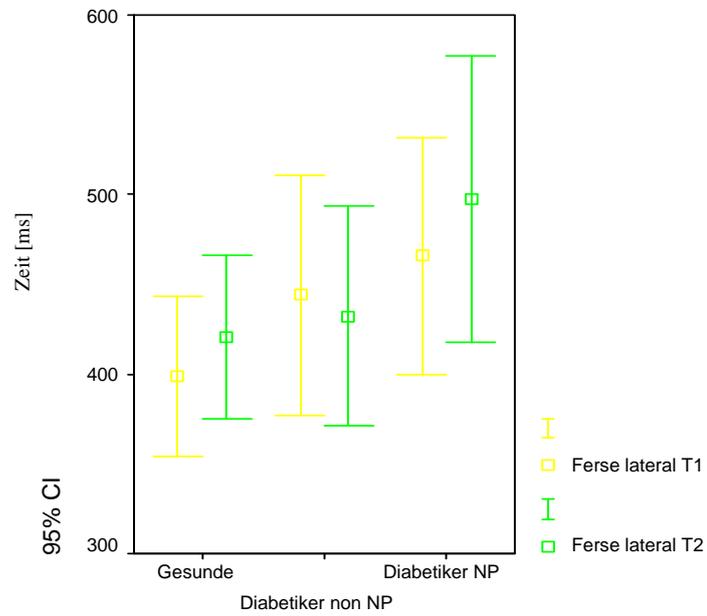
*Ferse lateral:*

Abb.: 89 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Ferse lateral vorher/nachher.

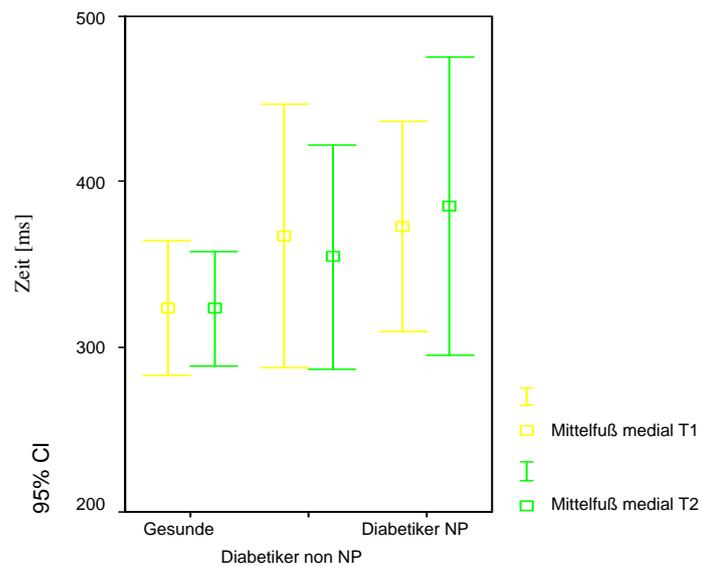
*Mittelfuß medial:*

Abb.: 90 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Mittelfuß medial vorher/nachher.

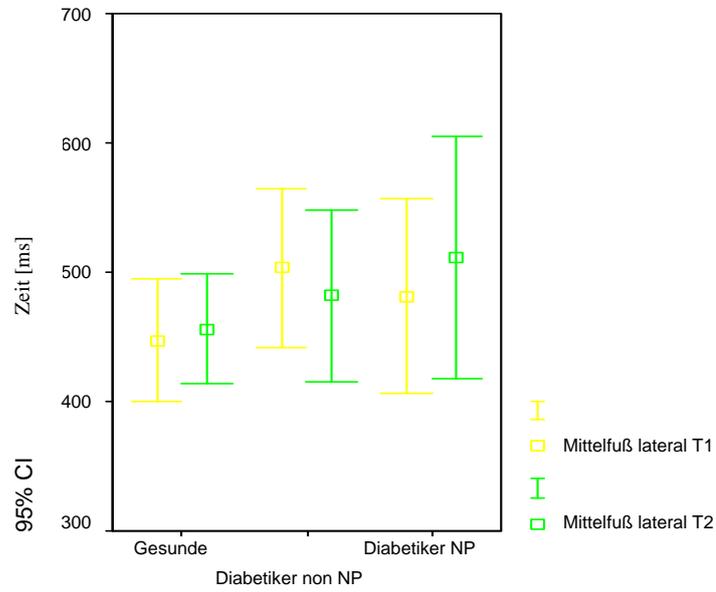
*Mittelfuß lateral:*

Abb.: 91 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Mittelfuß lateral vorher/nachher.

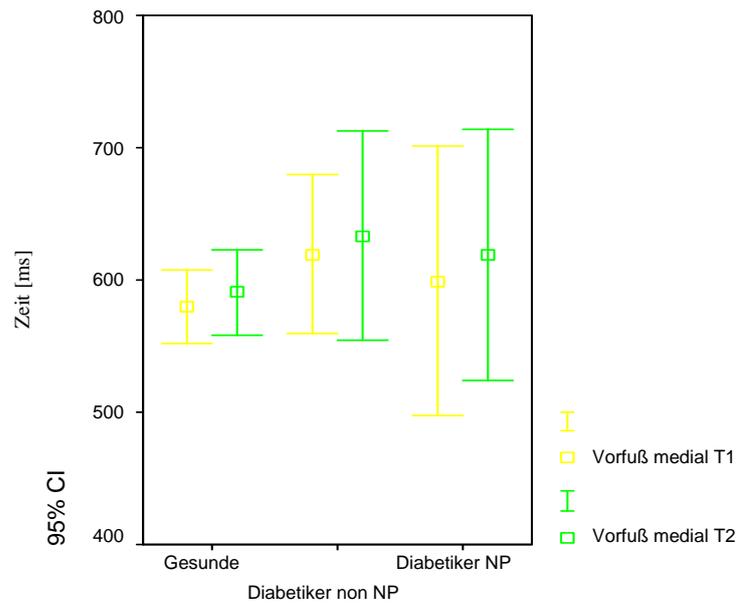
*Vorfuß medial:*

Abb.: 92 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Vorfuß medial vorher/nachher.

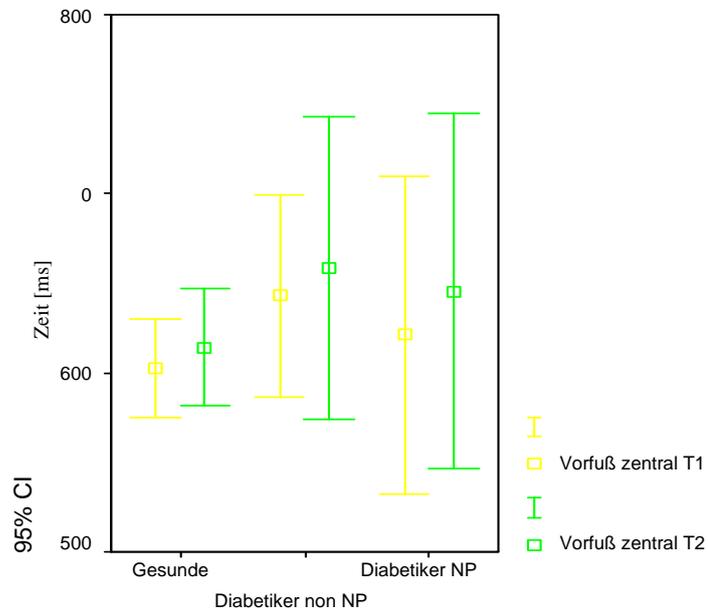
*Vorfuß zentral:*

Abb.: 93 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Vorfuß zentral vorher/nachher.

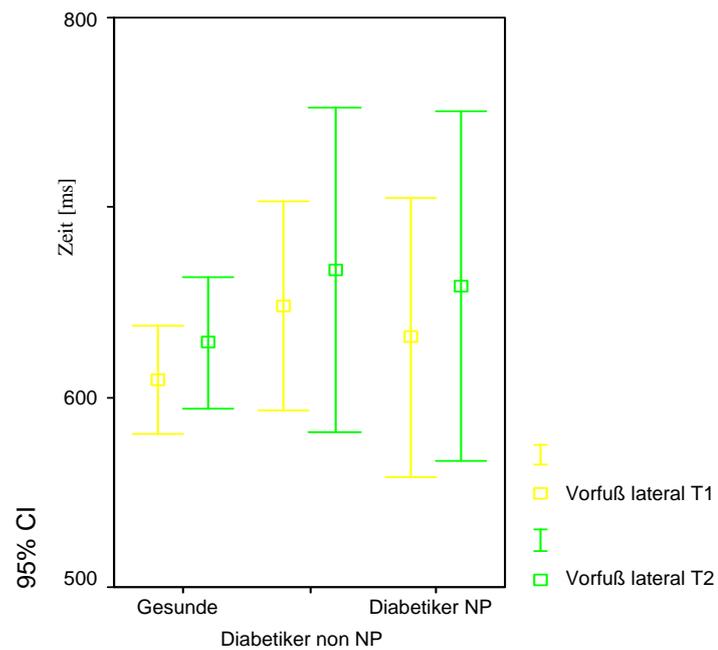
*Vorfuß lateral:*

Abb.: 94 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Vorfuß lateral vorher/nachher.

*Hallux:*

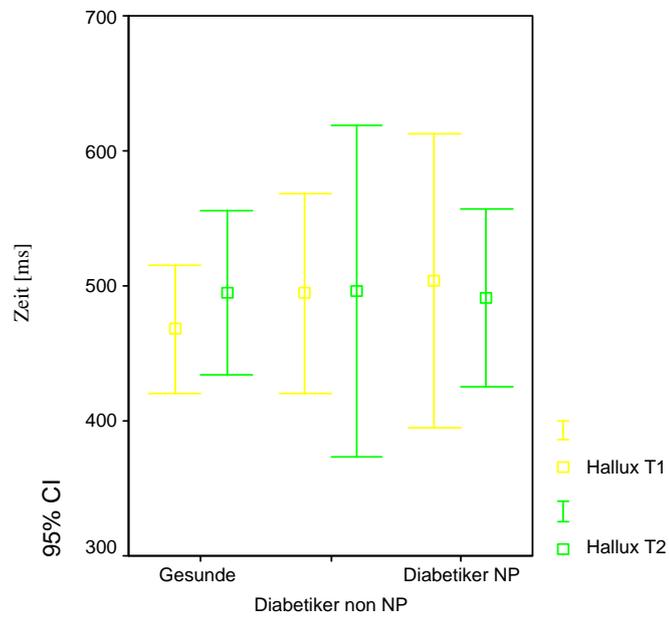


Abb.: 95 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Hallux vorher/nachher.

*zweite Zehe:*

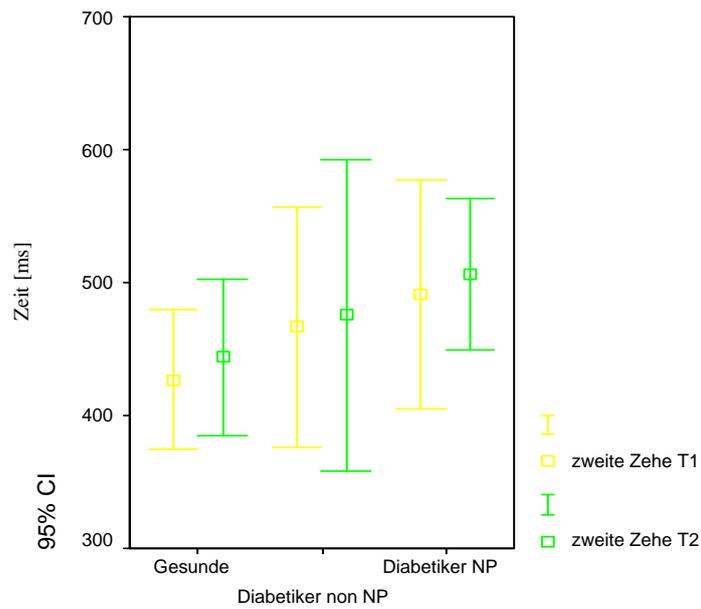


Abb.: 96 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit zweite Zehe vorher/nachher.

*dritte bis fünfte Zehe:*

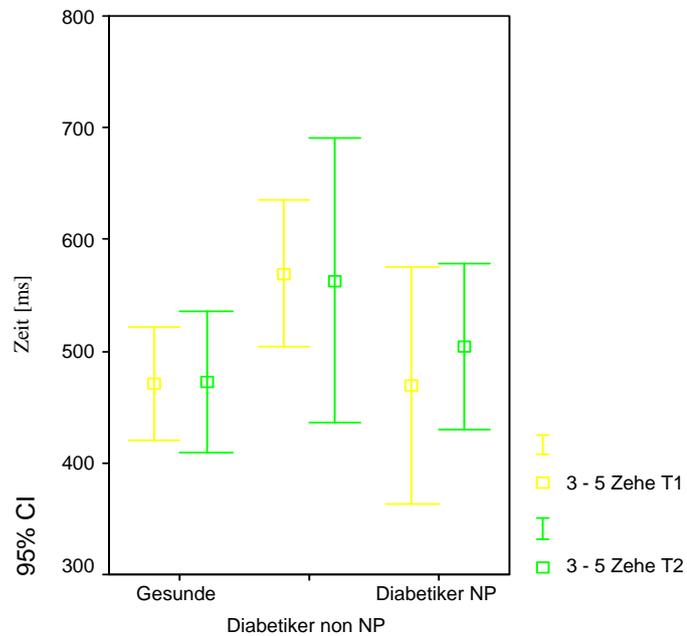


Abb.: 97 95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit dritte bis fünfte Zehe vorher/nachher.

### 3.4.12 Maximal wirkende Kraft zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

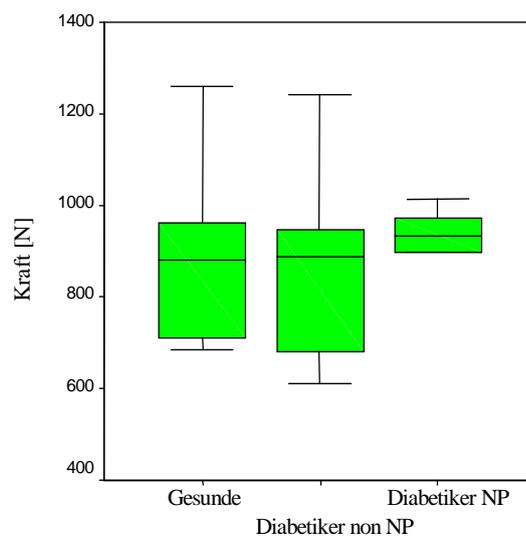


Abb.: 98 Maximal wirkende Kraft des gesamten Fußes zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

### 3.4.13 Maximal wirkende Kraft vorher/nachher

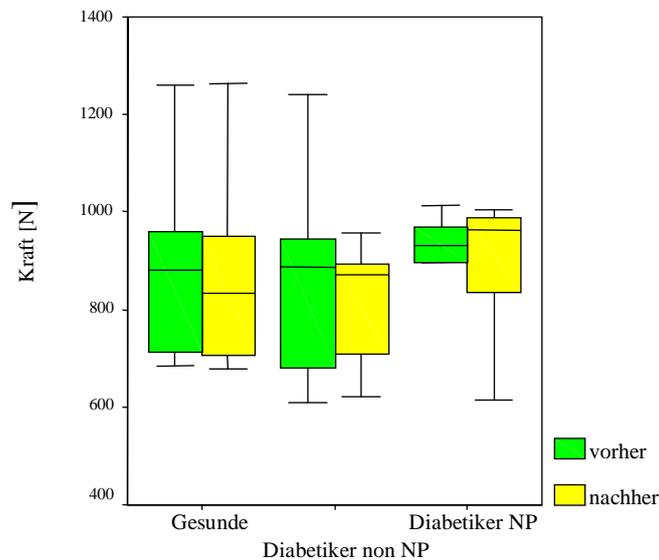


Abb.: 99 Maximal wirkende Kraft des gesamten Fußes vorher/nachher.

Die beim Abrollvorgang des Fußes auftretende maximale Kraft (maximal force) resultiert aus der Gewichtskraft und der Bodenreaktionskraft.

Zum Zeitpunkt der Voruntersuchung (Abb.98) unterschied sich die gemessene maximale Kraft in den 3 Gruppen nur geringfügig, jedoch nicht signifikant.

Ihr Mittelwert über alle Gruppen war 880,26N.

Abbildung 99 stellt die Vorher- Nachher- Ergebnisse in einer Grafik zusammen.

Alle dokumentierten Unterschiede waren nicht signifikant.

Auch bei Betrachtung des Ergebnisses der einzelnen Fußareale in den Gruppen ergaben sich keine signifikanten Differenzen, weder in der Voruntersuchung (Abb. 100-103) noch im Vorher- Nachher- Vergleich (Abb.104-113).

Eine tendenzielle Reduzierung der maximalen Kraft war in der Gruppe der Diabetiker non NP ( $p < 0.051$ ) im Mittelfußbereich lat. (Abb.107) und bei den Diabetikern NP ( $p < 0.075$ ) im Bereich der 3.-5.Zehe (Abb.113) messbar.

3.4.14 Maximal wirkende Kraft in einzelnen Fußarealen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

Ferse medial und Ferse lateral: Zeitpunkt Voruntersuchung (T1)

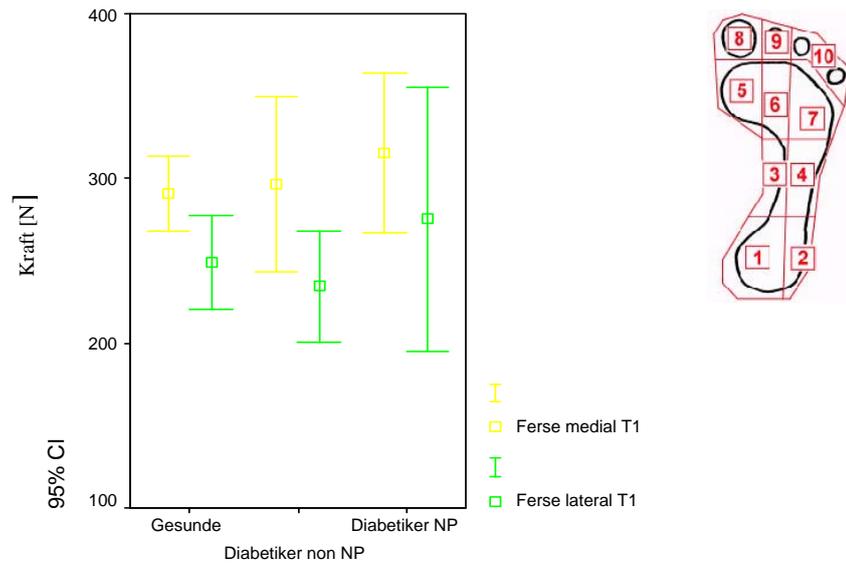


Abb.: 100 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Ferse medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

Mittelfuß medial und Mittelfuß lateral:

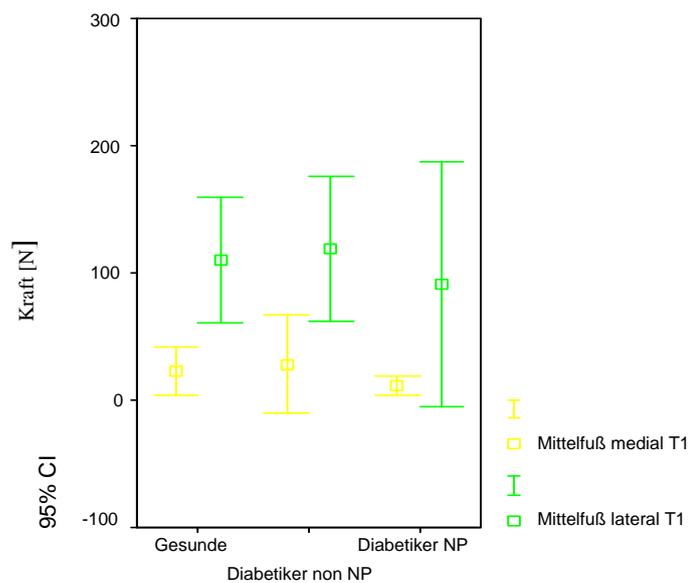


Abb.: 101 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Mittelfuß medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Vorfuß medial, Vorfuß zentral, Vorfuß lateral:*

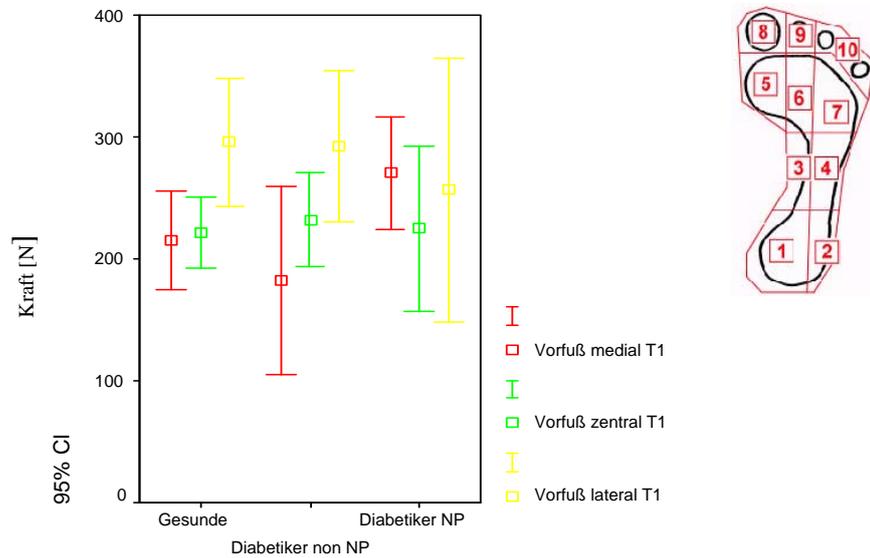


Abb.: 102 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Vorfuß medial/zentral/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Hallux, zweite Zehe und dritte bis fünfte Zehe:*

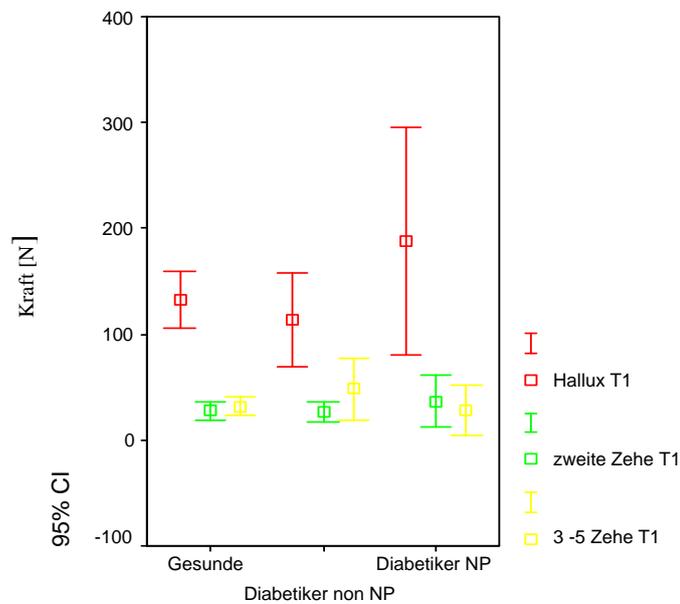


Abb.: 103 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Hallux/zweite Zehe/dritte bis fünfte Zehe zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

## 3.4.15 Maximal wirkende Kraft in einzelnen Fußarealen vorher/nachher

*Ferse medial:*                      Zeitpunkt Voruntersuchung (T1) zu Nachuntersuchung (T2)

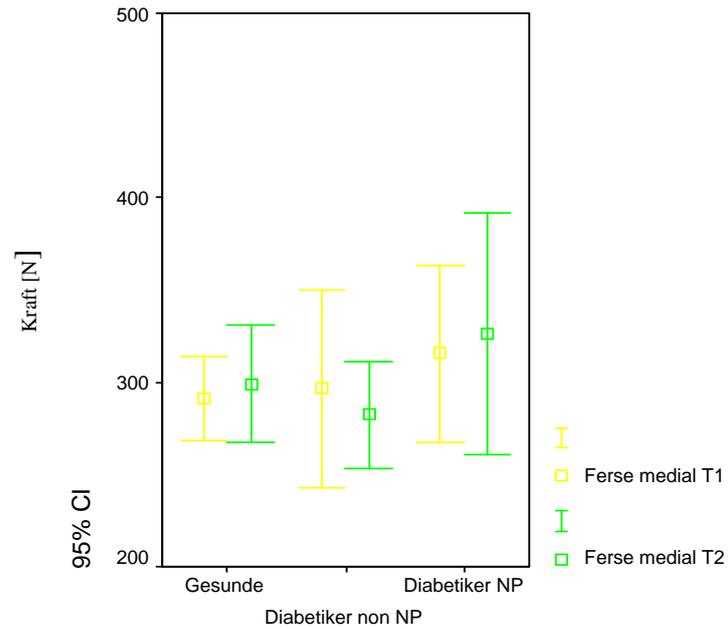


Abb.: 104 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Ferse medial vorher/nachher.

*Ferse lateral:*

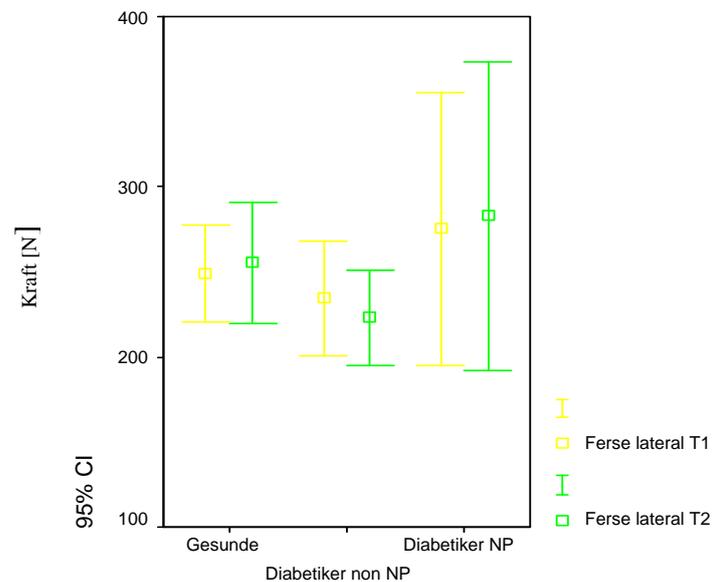


Abb.: 105 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Ferse lateral vorher/nachher.

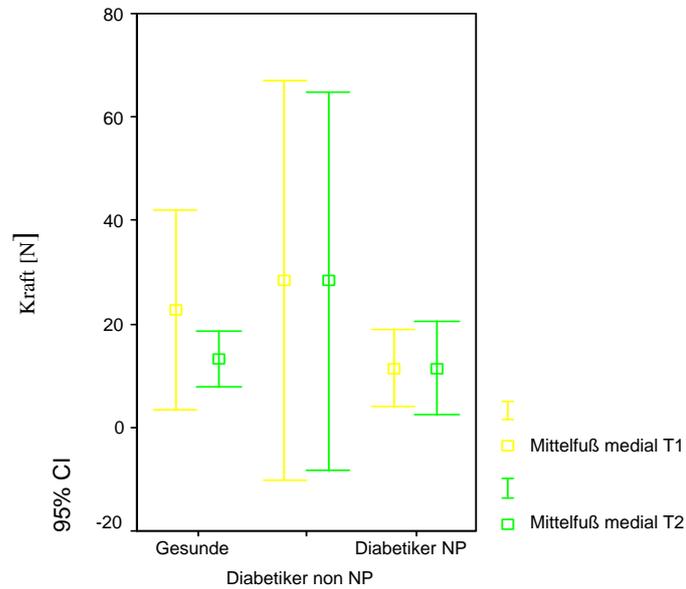
*Mittelfuß medial:*

Abb.: 106 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Mittelfuß medial vorher/nachher.

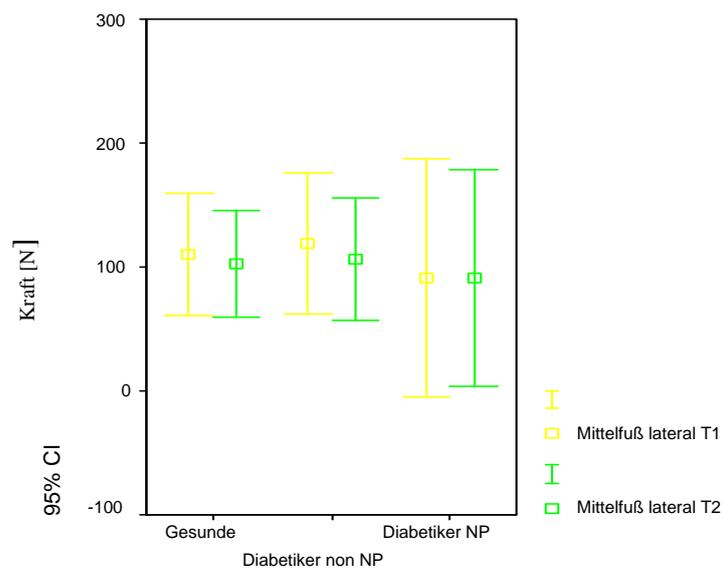
*Mittelfuß lateral:*

Abb.: 107 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Mittelfuß lateral vorher/nachher.

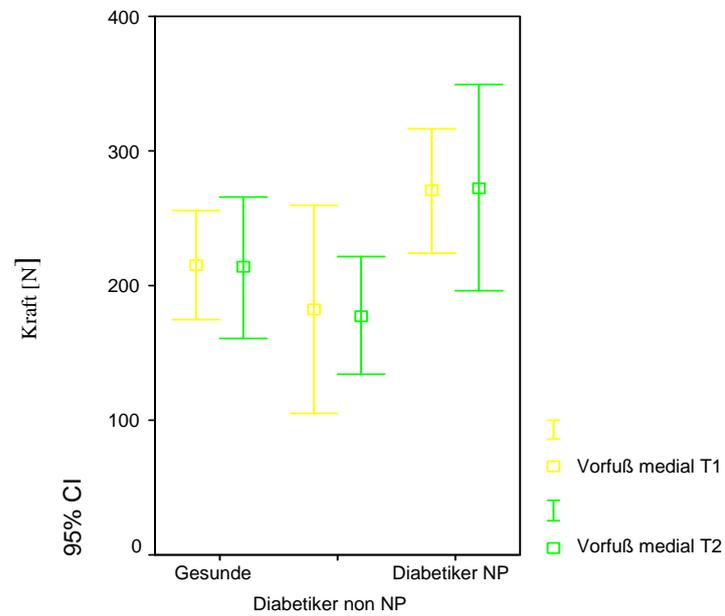
*Vorfuß medial:*

Abb.: 108 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Vorfuß medial vorher/nachher.

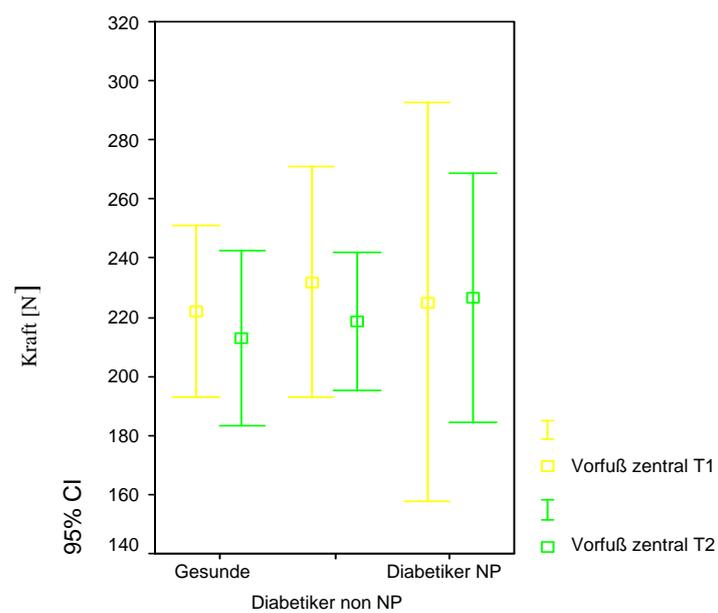
*Vorfuß zentral:*

Abb.: 109 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Vorfuß zentral vorher/nachher.

*Vorfuß lateral:*

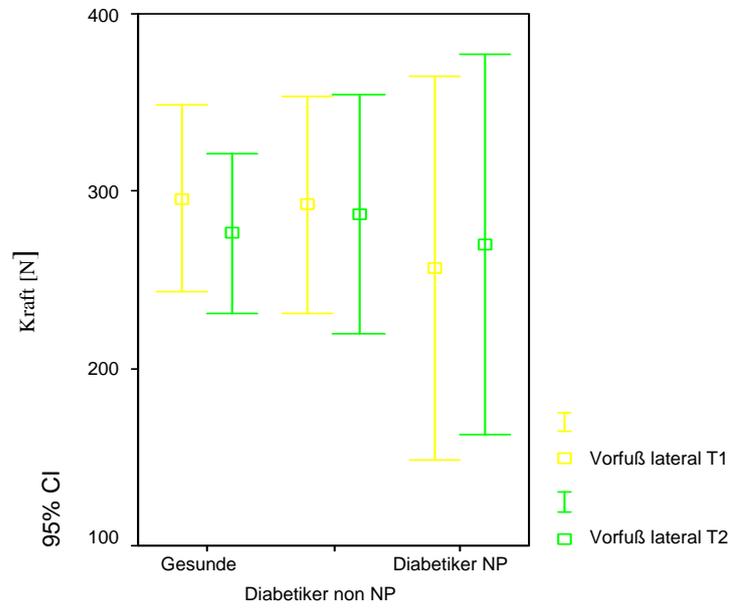


Abb.: 110 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Vorfuß lateral vorher/nachher.

*Hallux:*

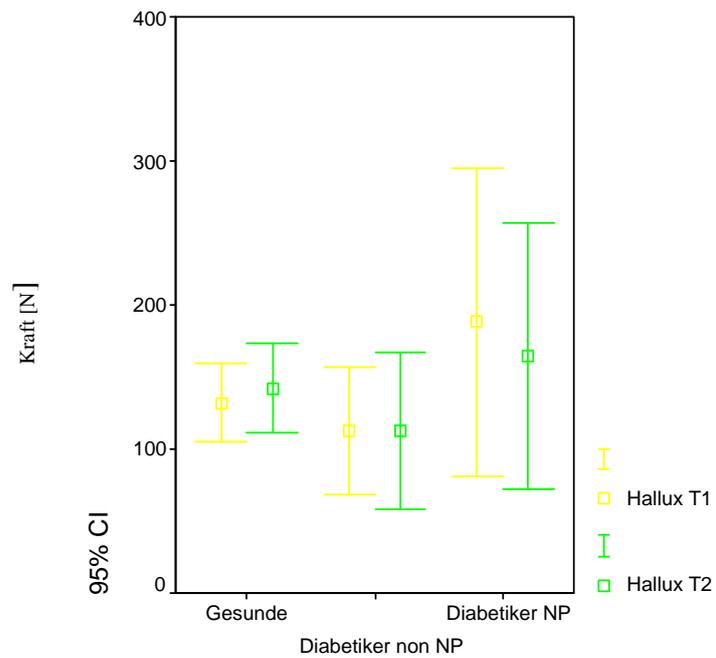


Abb.: 111 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Hallux vorher/nachher.

*zweite Zehe:*

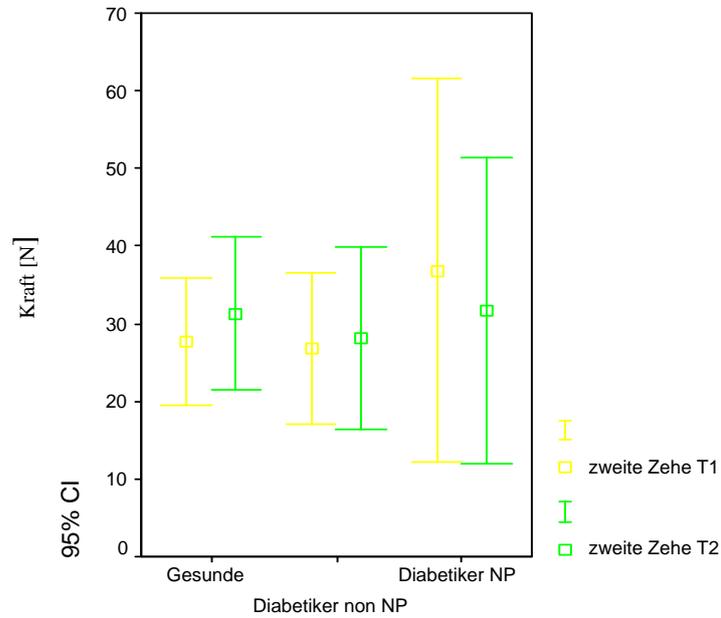


Abb.: 112 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft zweite Zehe vorher/nachher.

*dritte bis fünfte Zehe:*

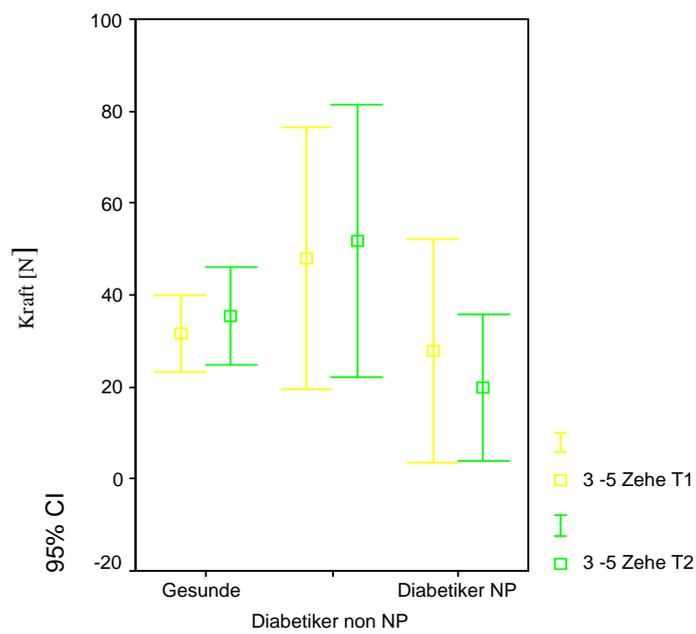


Abb.: 113 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft dritte bis fünfte Zehe vorher/nachher.

### 3.4.16 Spitzendruck zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

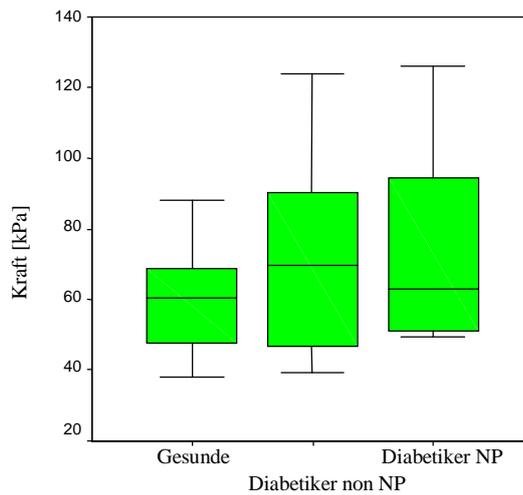


Abb.: 114 Spitzendruck des gesamten Fußes zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

### 3.4.17 Spitzendruck vorher/nachher

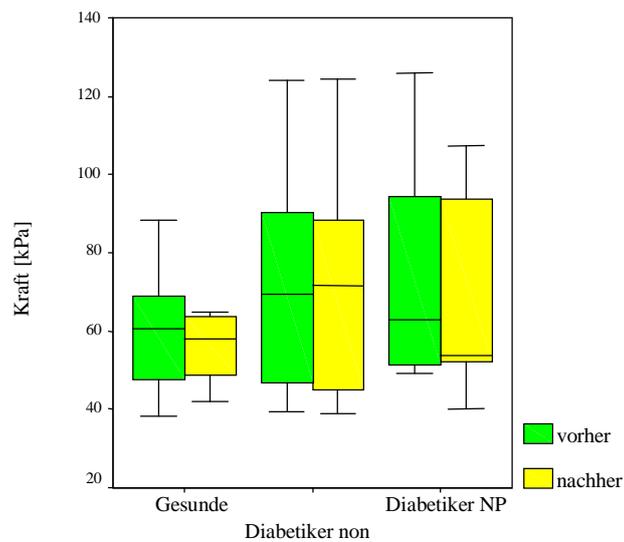


Abb.: 115 Spitzendruck des gesamten Fußes vorher/nachher.

Der maximal erreichbare Druck beim Abrollvorgang des Fußes wird als Spitzendruck (peak pressure) bezeichnet. An Diabetikerfüßen waren höhere

Spitzendrucke messbar als an denjenigen von Gesunden. Im Mittelwertvergleich zeigten Gesunde einen Wert von 62,95kPa. Diabetiker non NP lagen mit 72,94kPa noch unterhalb des höchsten Spitzendrucks, den die Diabetiker mit Neuropathie (74,57kPa) aufwiesen.

Im Vorher- Nachher- Vergleich reduzierte sich der Spitzendruck in der Diabetiker-Gruppe NP von 74,57kPa auf 66,81kPa. Sowohl die Unterschiede des Vorher-Vergleichs (Abb.114), als auch die des Vorher- Nachher- Vergleichs (Abb.115) erreichten nicht Signifikanzniveau.

Bei Betrachtung der einzelnen Fußareale (Abb.120-129) fiel eine signifikante Verringerung des Spitzendrucks im Bereich Mittelfuß lat. der Gesunden ( $p0.018$ ) auf. Über Mittelfuß med. ( $p0.069$ ) war eine tendenzielle Reduzierung sowie im Areal der 3.-5.Zehne ( $p0.075$ ) eine tendenzielle Zunahme des Druckes in dieser Gruppe nachweisbar.

### 3.4.18 Spitzendruck in einzelnen Fußarealen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

*Ferse medial und Ferse lateral:*

*Zeitpunkt Voruntersuchung (T1)*

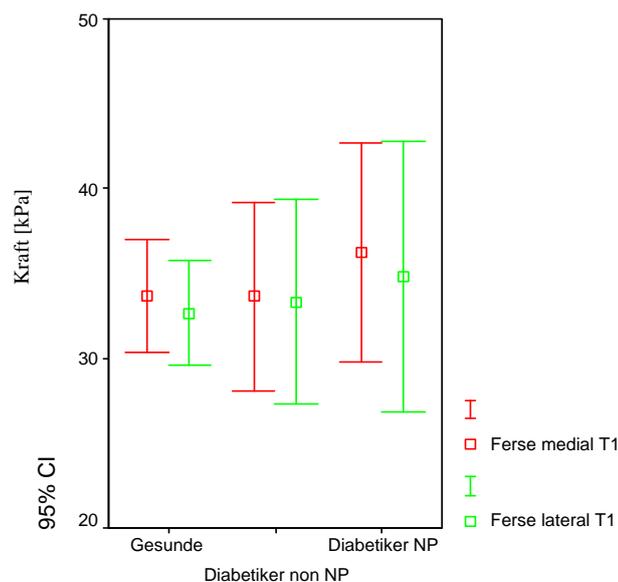


Abb.: 116 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Ferse medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Mittelfuß medial und Mittelfuß lateral:*

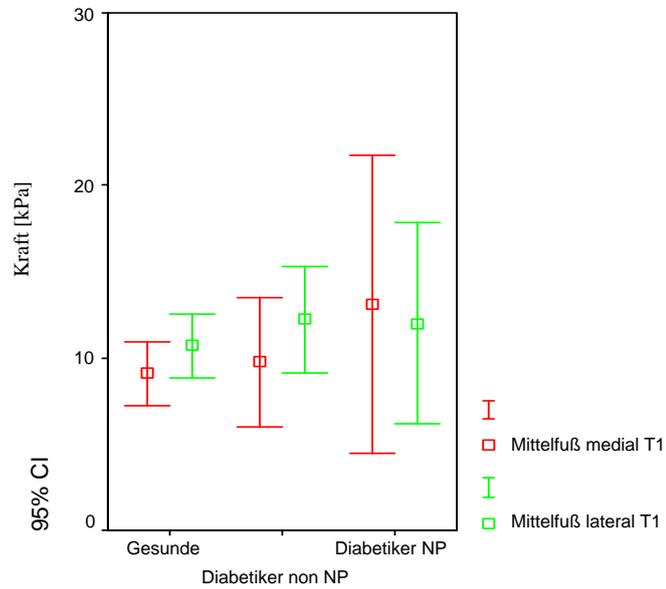


Abb.: 117 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Mittelfuß medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Vorfuß medial, Vorfuß zentral, Vorfuß lateral:*

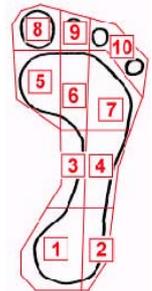
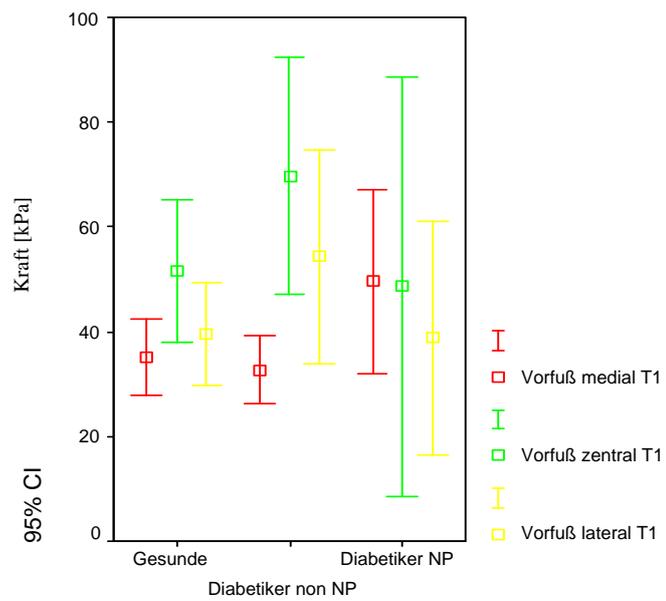


Abb.: 118 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Vorfuß medial/zentral/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Hallux, zweite Zehe und dritte bis fünfte Zehe:*

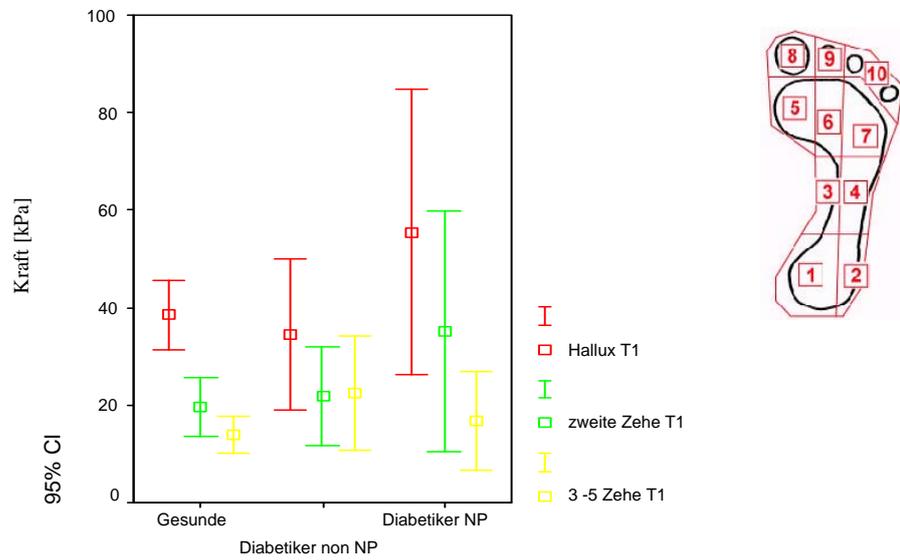


Abb.: 119 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Hallux/zweite Zehe/dritte bis fünfte Zehe zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

3.4.19 Spitzendruck in einzelnen Fußarealen vorher/nachher

*Ferse medial: Zeitpunkt Voruntersuchung (T1) zu Nachuntersuchung (T2)*

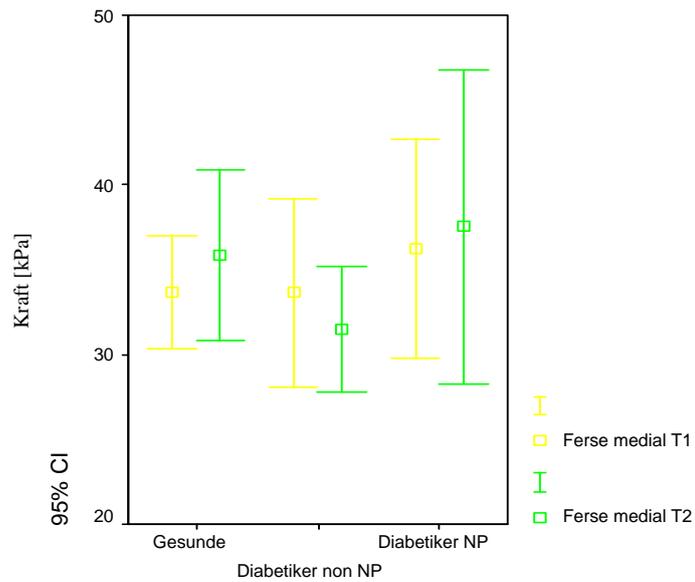


Abb.: 120 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Ferse medial vorher/nachher.

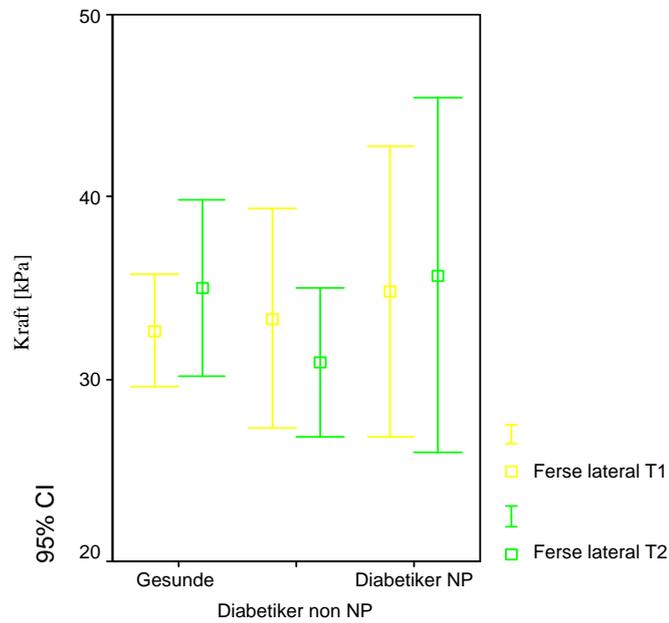
*Ferse lateral:*

Abb.: 121 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Ferse lateral vorher/nachher.

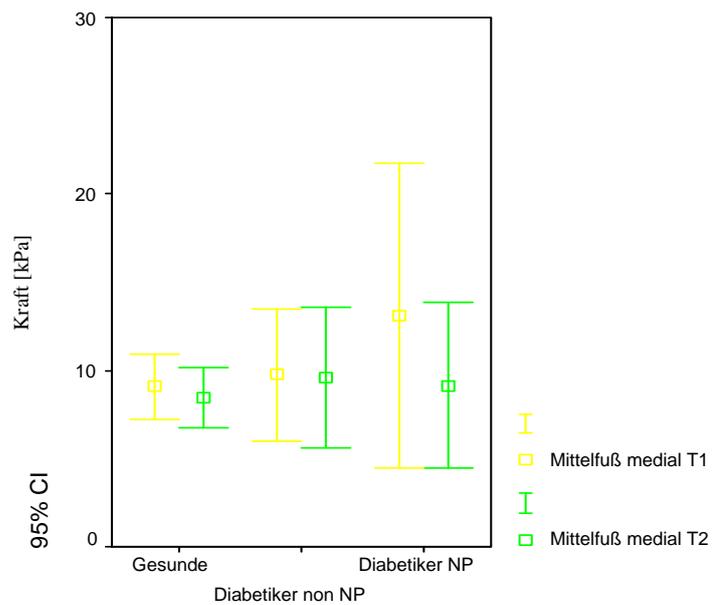
*Mittelfuß medial:*

Abb.: 122 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Mittelfuß medial vorher/nachher.

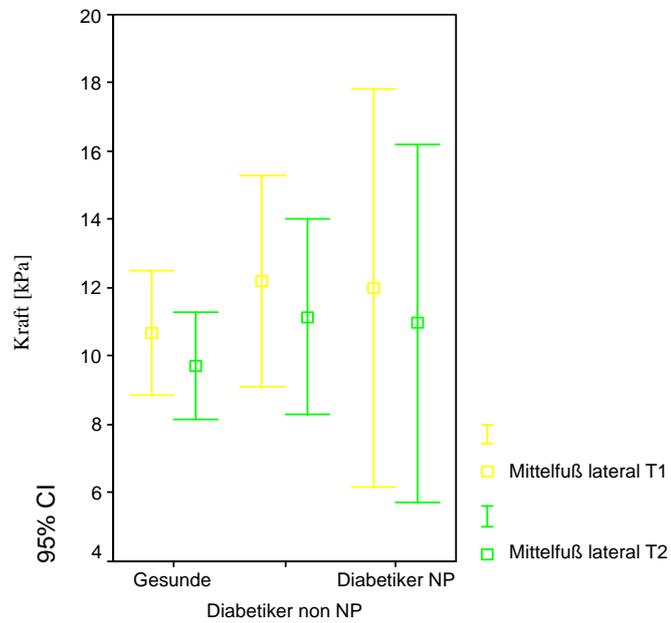
*Mittelfuß lateral:*

Abb.: 123 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Mittelfuß lateral vorher/nachher.

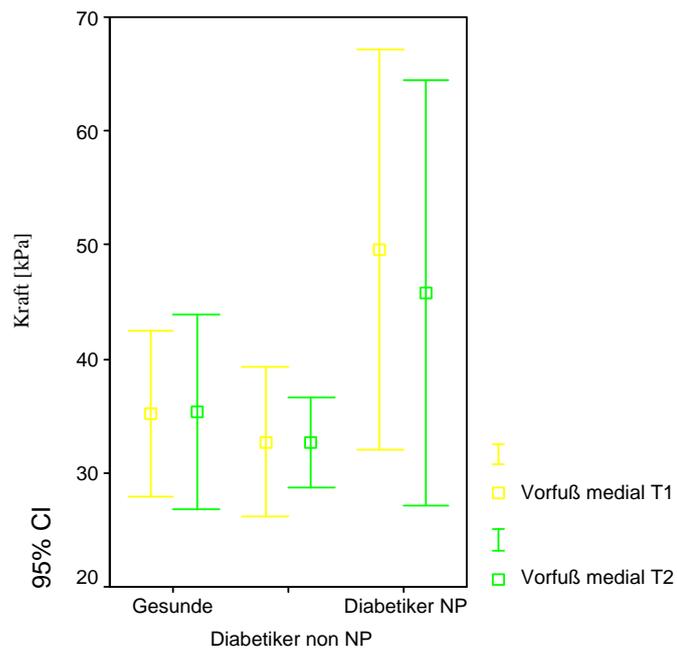
*Vorfuß medial:*

Abb.: 124 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Vorfuß medial vorher/nachher.

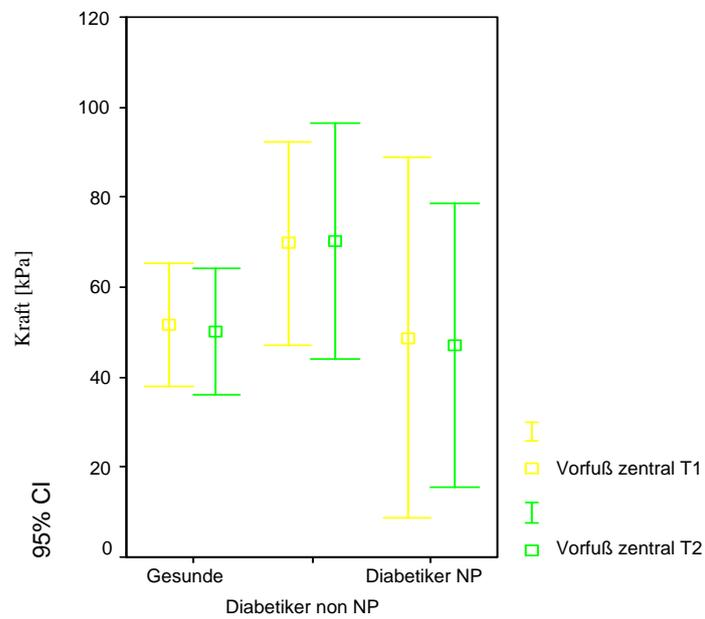
*Vorfuß zentral:*

Abb.: 125 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Vorfuß zentral vorher/nachher.

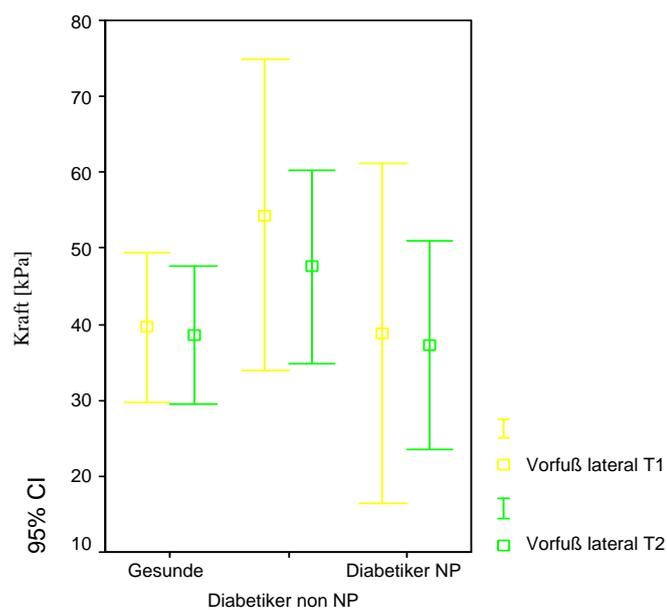
*Vorfuß lateral:*

Abb.: 126 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Vorfuß lateral vorher/nachher.

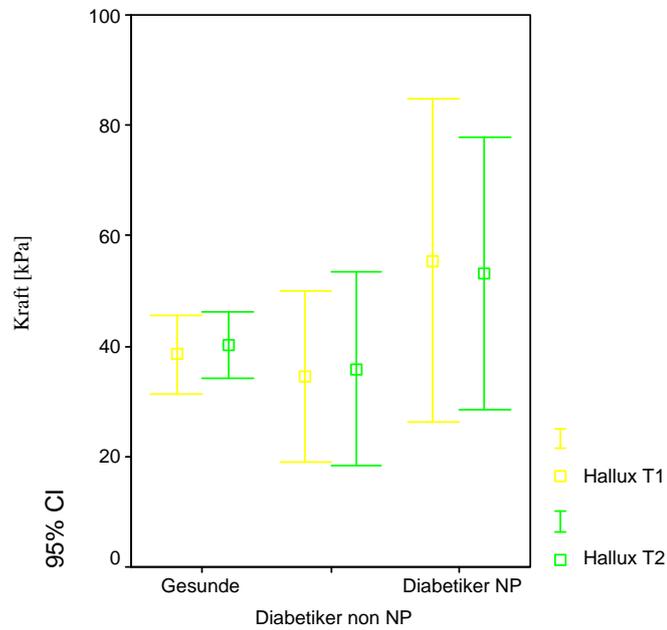
*Hallux:*

Abb.: 127 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Hallux vorher/nachher.

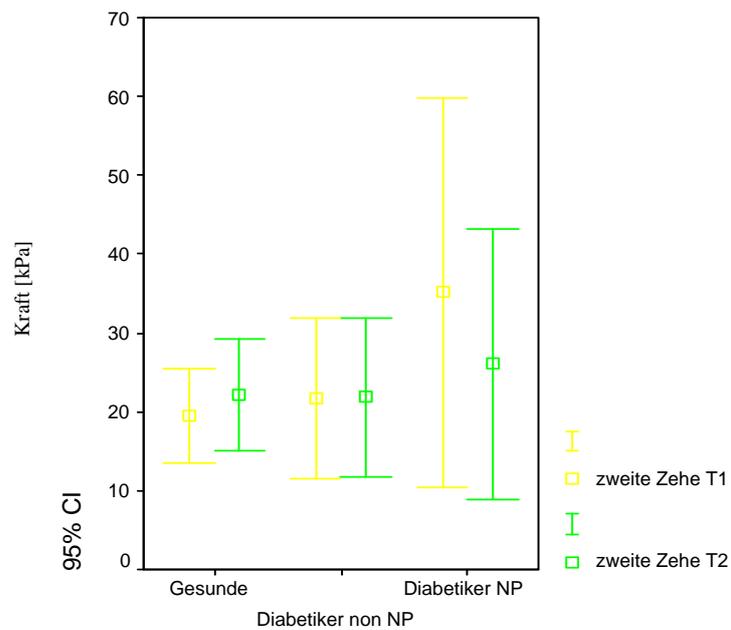
*zweite Zehe:*

Abb.: 128 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck zweite Zehe vorher/nachher.

*dritte bis fünfte Zehe:*

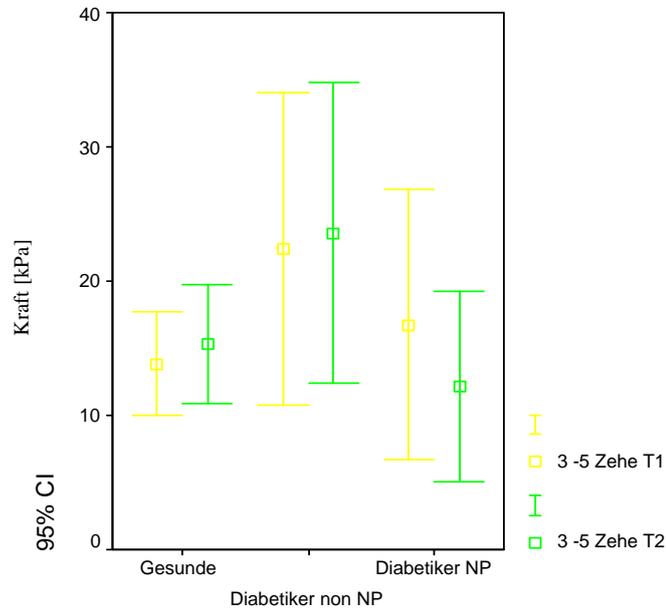


Abb.: 129 95% - Konfidenzintervall Spitzendruck dritte bis fünfte Zehe vorher/nachher.

3.4.20 Kraft-Zeit-Integral (Relativer Impuls) in einzelnen Fußarealen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

*Ferse medial und Ferse lateral:*

*Zeitpunkt Voruntersuchung (T1)*

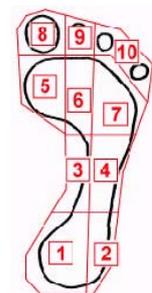
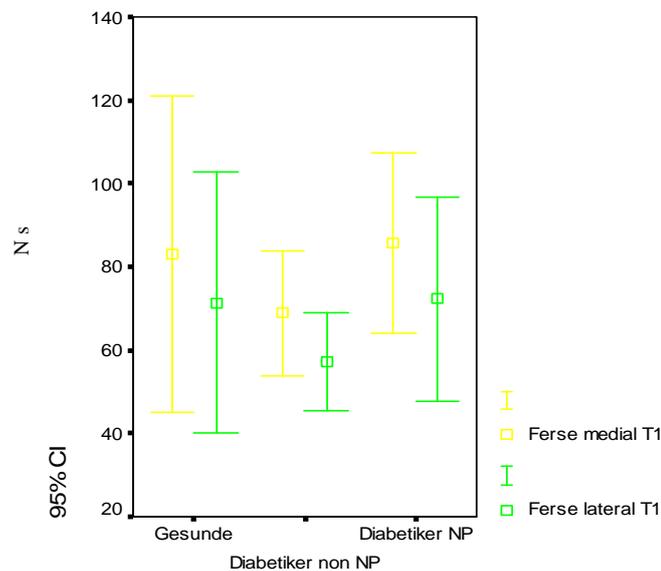


Abb.: 130 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Ferse medial/ lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Mittelfuß medial und Mittelfuß lateral:*

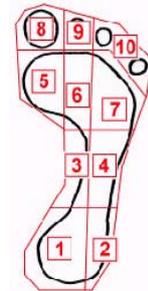
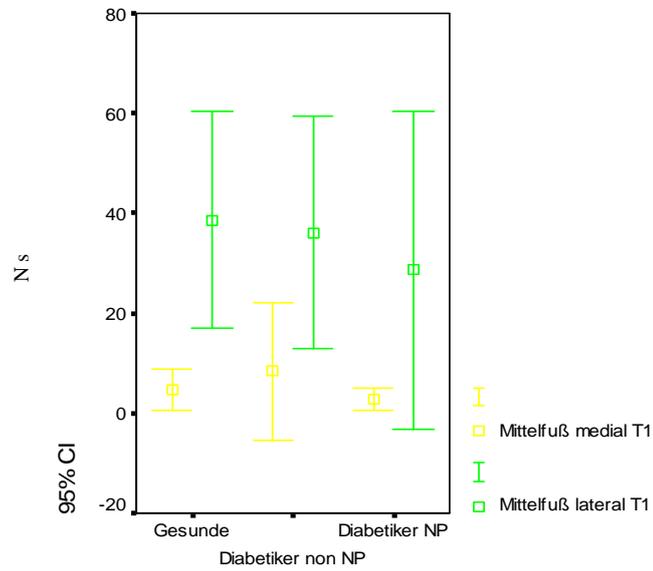


Abb.: 131 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Mittelfuß medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Vorfuß medial, Vorfuß zentral, Vorfuß lateral:*

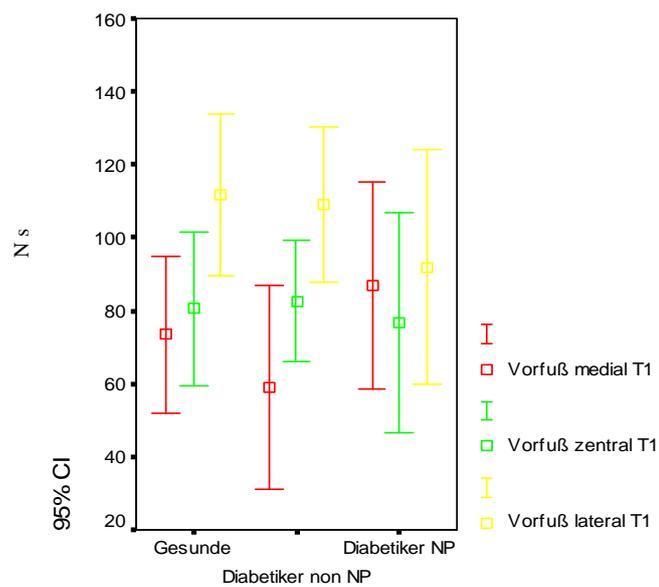


Abb.: 132 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Vorfuß medial/ zentral/ lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*Hallux, zweite Zehe und dritte bis fünfte Zehe:*

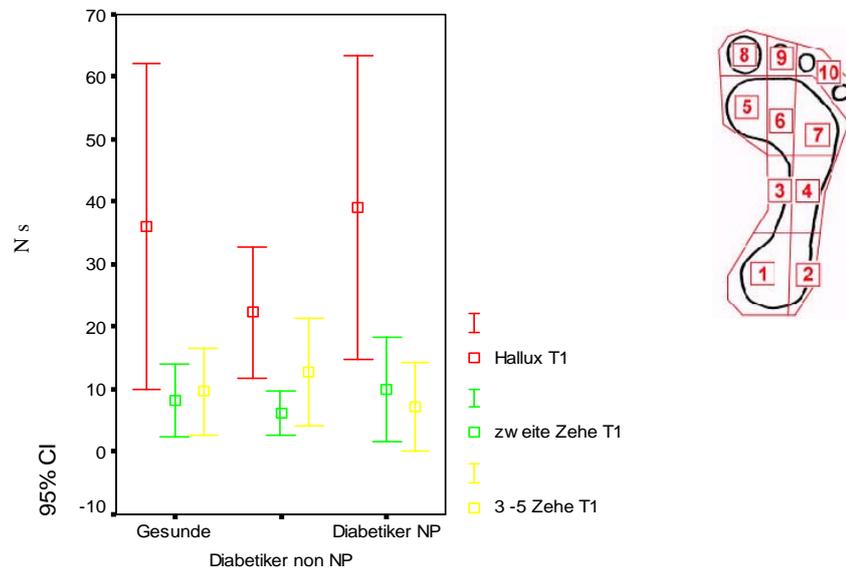


Abb.: 133 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Hallux/zweite Zehe/dritte bis fünfte Zehe zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

Das Kraft- Zeit- Integral beschreibt das kurzfristige Ereignis der Interaktion zwischen Fußsohlen- und Druckmessplattenberührung als Impuls (Fläche unter der Kraft-Zeit Kurve (Integral  $dF/dt$ )). Die Einheit wird gemessen in Ns. Eine signifikante Reduktion des Impulses war bei den Diabetikern non NP im Mittelfuß lat. Bereich ( $p < 0.038$ ) im Vorher- Nachher- Vergleich messbar (Abb.137). Auch in der Gruppe der Gesunden waren signifikante Unterschiede auszumachen: Impulserhöhung über Ferse med. ( $p < 0.035$ )(Abb.134) und Ferse lat. ( $p < 0.030$ ) (Abb.135) sowie eine Reduktion über Mittelfuß lat. ( $p < 0.048$ )(Abb.137). Eine tendenzielle Erhöhung war bei den Diabetiker NP im Vorfußbereich lat. ( $p < 0.075$ ) festzustellen.

## 3.4.21 Kraft-Zeit-Integral in einzelnen Fußarealen vorher/nachher

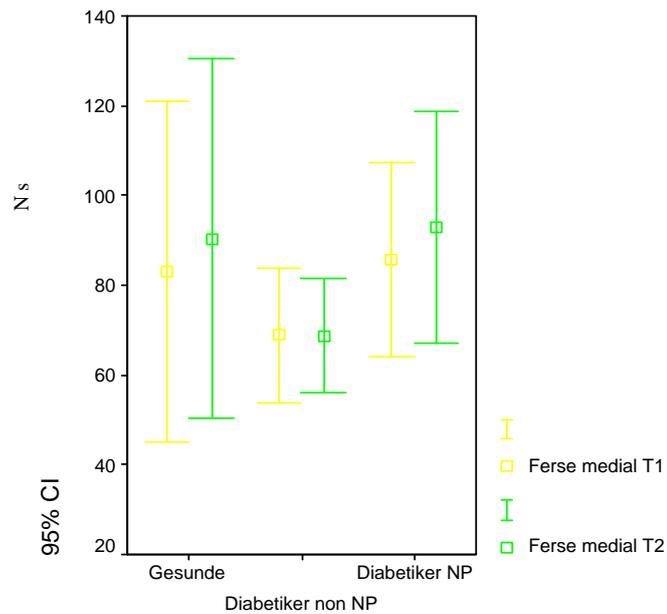
*Ferse medial:*

Abb.: 134 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Ferse medial vorher/nachher.

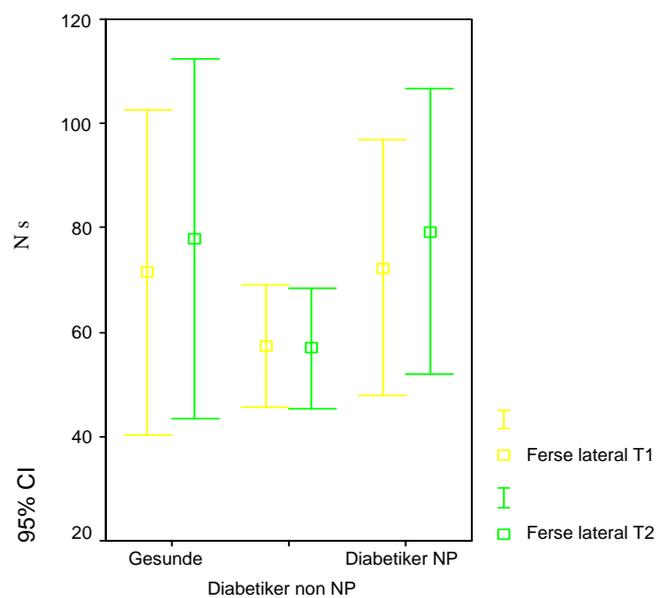
*Ferse lateral:*

Abb.: 135 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Ferse lateral vorher/nachher.

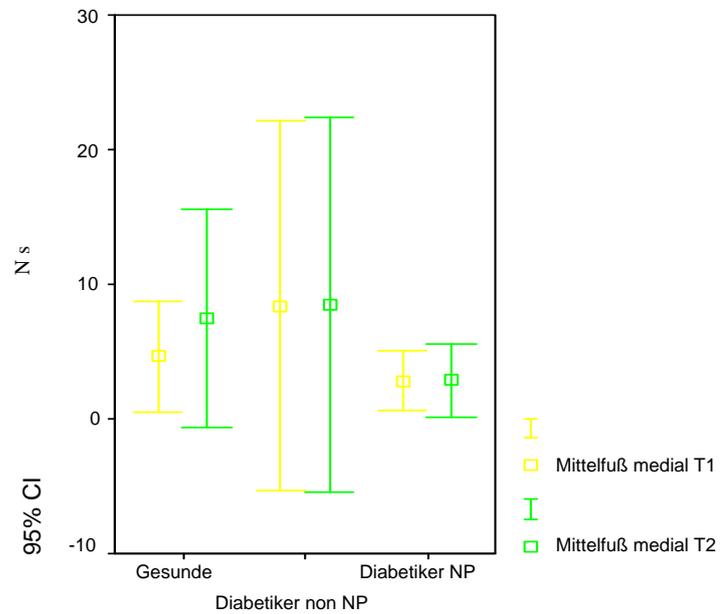
*Mittelfuß medial:*

Abb.: 136 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Mittelfuß medial vorher/nachher.

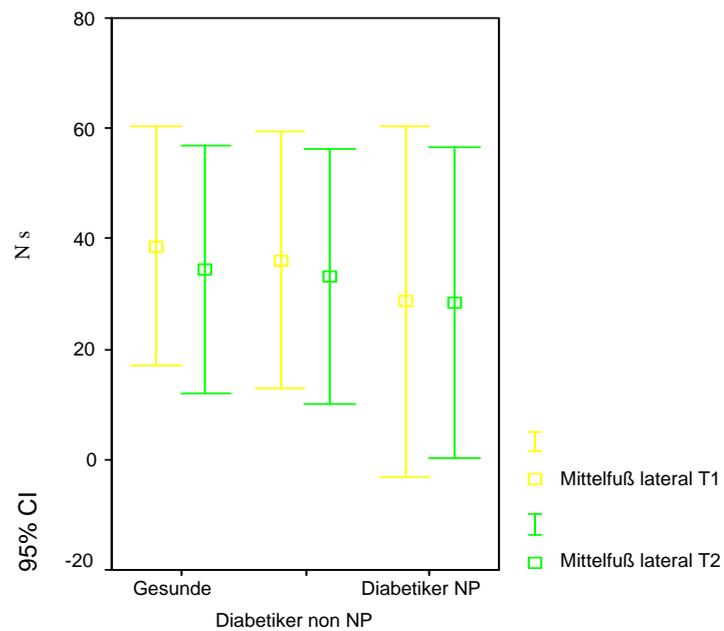
*Mittelfuß lateral:*

Abb.: 137 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Mittelfuß lateral vorher/nachher.

*Vorfuß medial:*

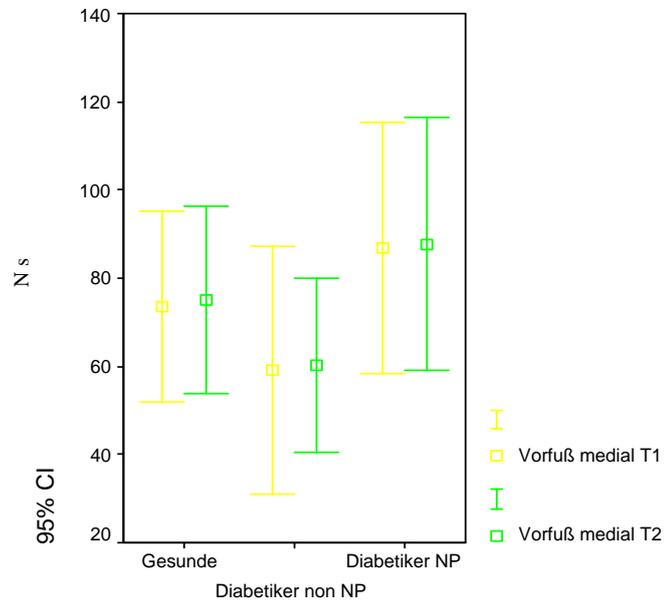


Abb.: 138 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Vorfuß medial vorher/nachher.

*Vorfuß zentral:*

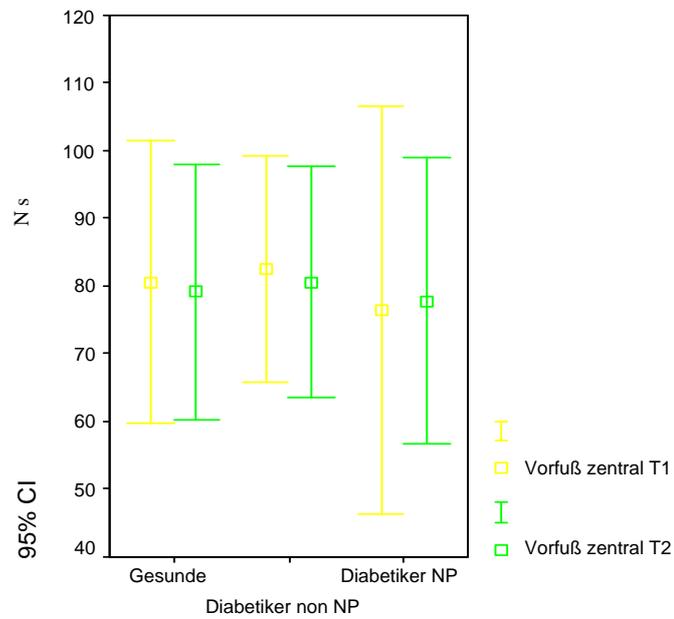


Abb.: 139 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Vorfuß zentral vorher/nachher.

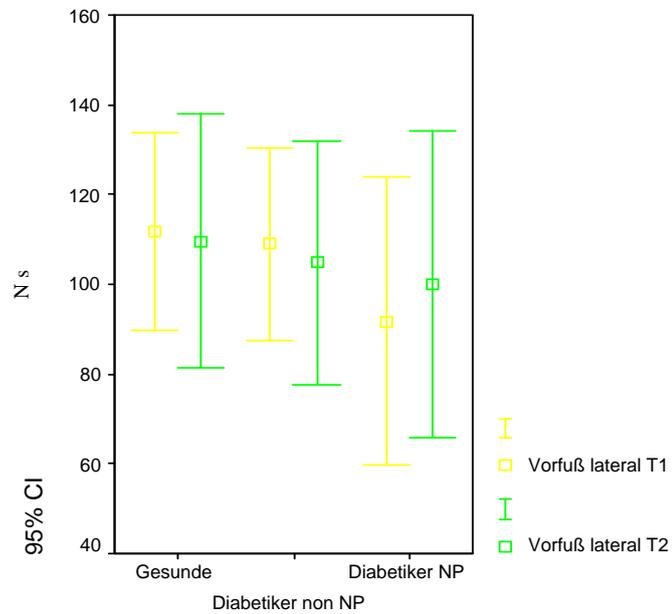
*Vorfuß lateral:*

Abb.: 140 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Vorfuß lateral vorher/nachher.

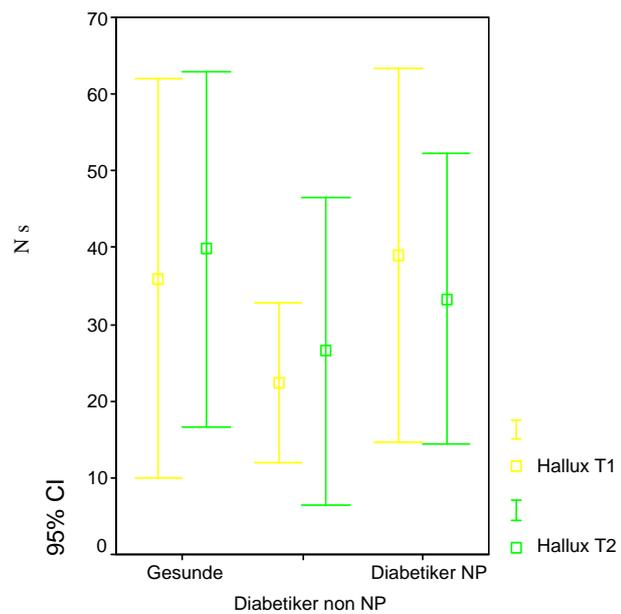
*Hallux:*

Abb.: 141 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Hallux vorher/nachher.

*zweite Zehe:*

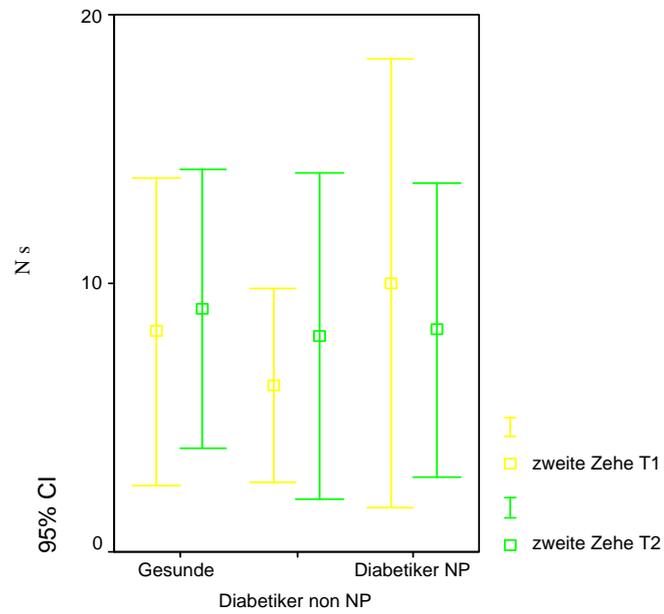


Abb.: 142 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral zweite Zehe vorher/nachher.

*dritte bis fünfte Zehe:*

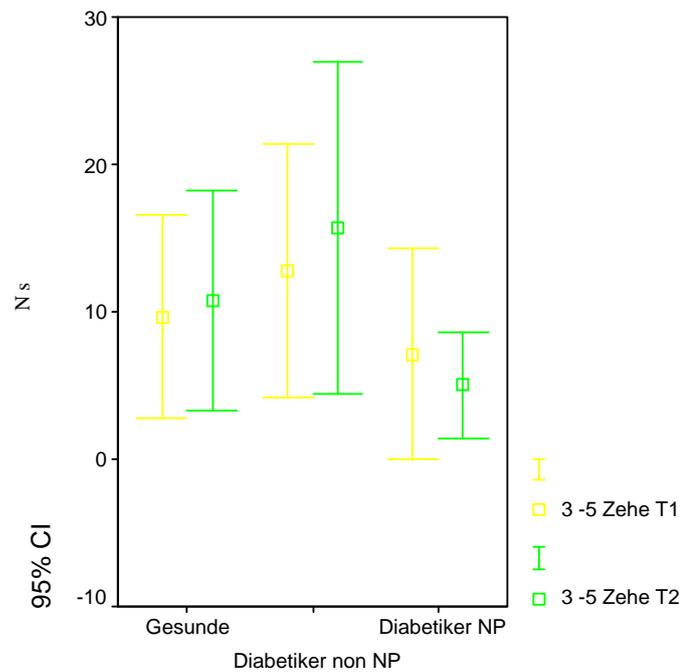


Abb.: 143 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral dritte bis fünfte Zehe vorher/nachher.

### 3.5 Stabilitätstest (Biodex- Stability- Test)

Die Ergebnisse des Stabilitätstests (Biodex- Stability- Test) werden als Mittelwerte der Stabilitätsindices angegeben. Definiert sind die Indexangaben als Standardabweichung der Plattformneigung in Grad für die jeweilige Bewegungsrichtung bzw. deren Umfang.

Anterior/ posterior Stability Index steht für die Standardabweichung auf der y-Achse (sagittal plane).

Medial/lateral Stability Index entspricht der Standardabweichung auf der x-Achse.

Der Gesamtwert der Standardabweichung über den gemessenen Zeitraum von 15 sek. wird im Overall Stability Index (SI) ausgedrückt.

Je höher ein Indexwert, desto höher ist der Bewegungsaufwand im Test, um das individuelle Gleichgewicht wiederherzustellen.

Niedrigere Indexwerte deuten auf bessere propriozeptive Fähigkeiten der Probanden, ihr Bewegungsaufwand ist geringer.

Anders als beim Stabilitätstest auf der Kraftmessplatte werden hier die Bewegungsachsen umgekehrt bezeichnet. Die x-Achse steht für die Bewegungsrichtung medio- lateral und die y-Achse ist anterior- posterior ausgerichtet.

#### 3.5.1 Vergleich der Stabilitätsindices von Gesunden, Diabetikern non NP und Diabetikern NP zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

Overall Stability-Index

A/P Stability-Index

M/L Stability-Index

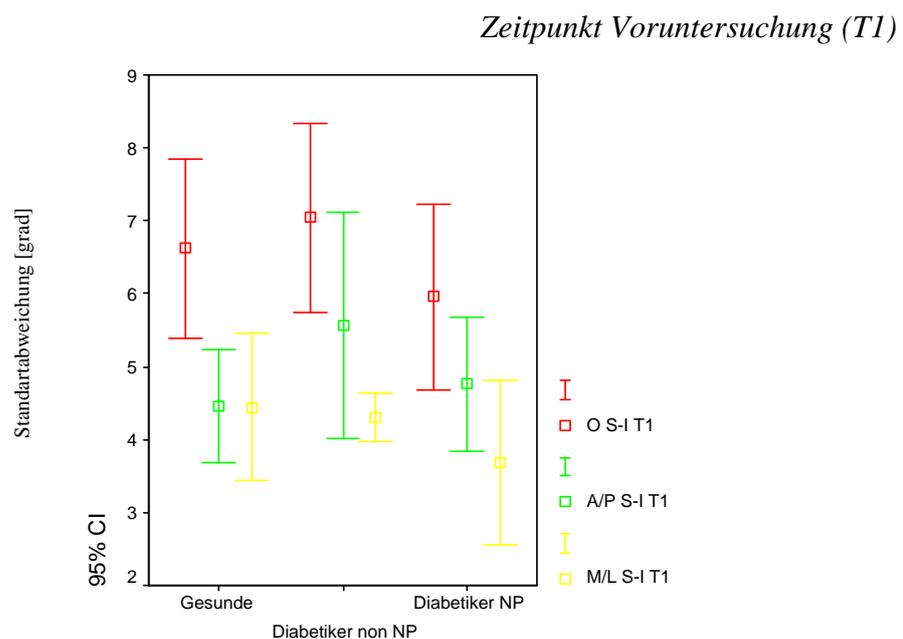


Abb.: 144 95% - Konfidenzintervall Stabilitätsindices der Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

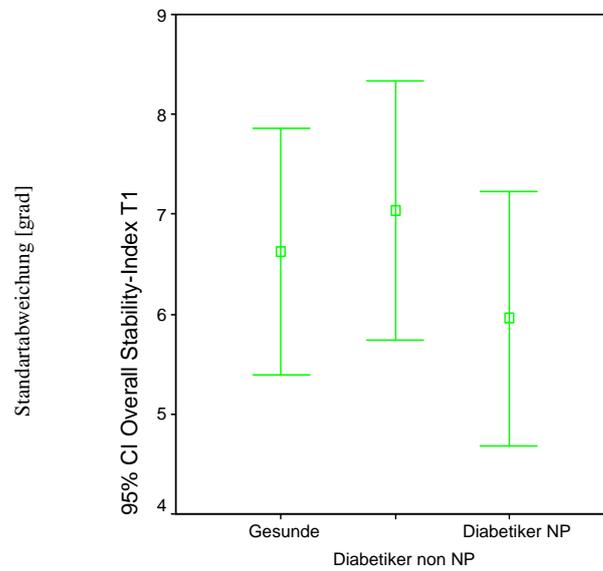
*Overall Stability-Index:*

Abb.: 145 95% - Konfidenzintervall des SI der Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

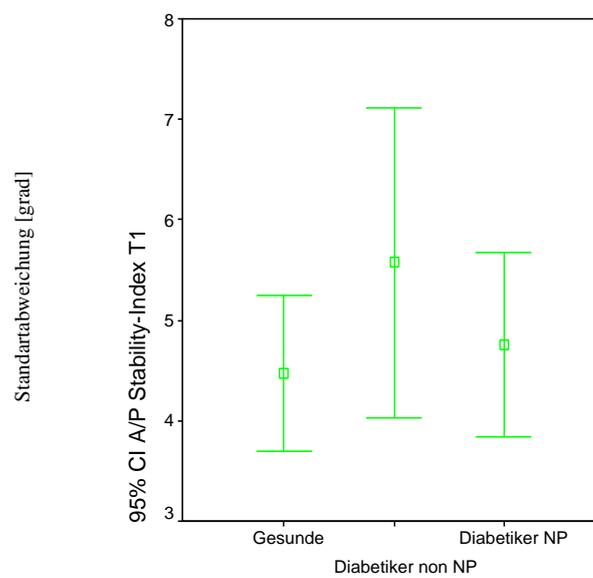
*A/P Stability-Index:*

Abb.: 146 95% - Konfidenzintervall des A/P SI der Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*M/L Stability-Index:*

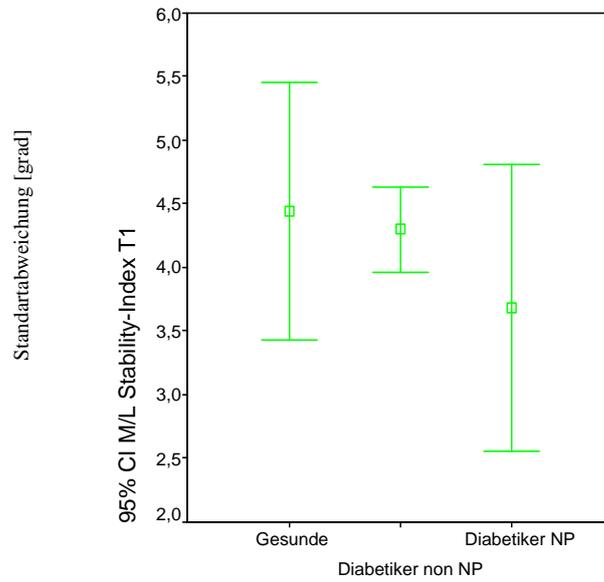


Abb.: 147 95% - Konfidenzintervall des M/L SI der Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

*3.5.2 Overall Stability Index (SI) für die Gruppe der Gesunden vorher/nachher*

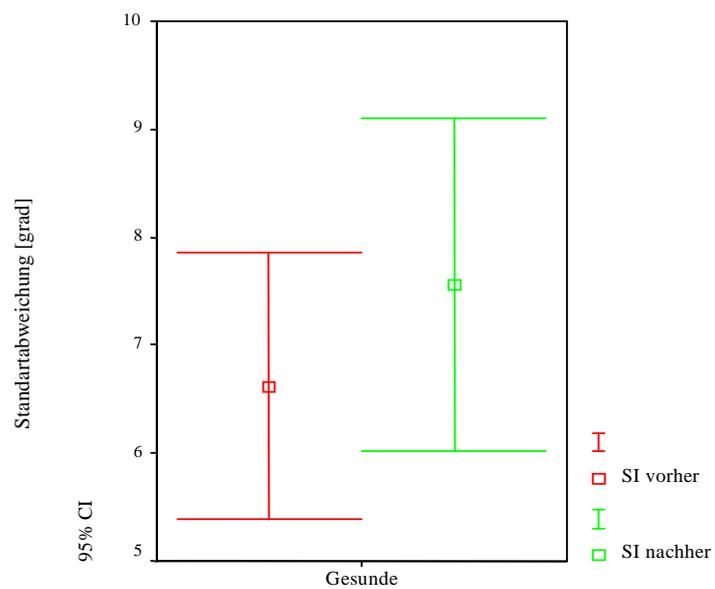


Abb.: 148 95%-Konfidenzintervall des SI der Gesunden vorher/nachher.

### 3.5.3 Anteriorer/posteriorer (AP) Stability Index für die Gruppe der Gesunden vorher/nachher

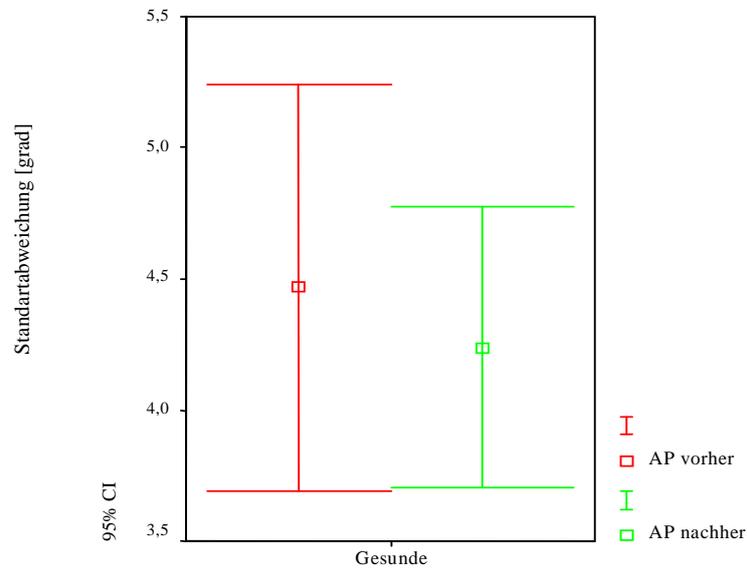


Abb.: 149 95%-Konfidenzintervall des AP der Gesunden vorher/nachher.

### 3.5.4 Medialer/lateraler (ML) Stability Index für die Gruppe der Gesunden vorher/nachher

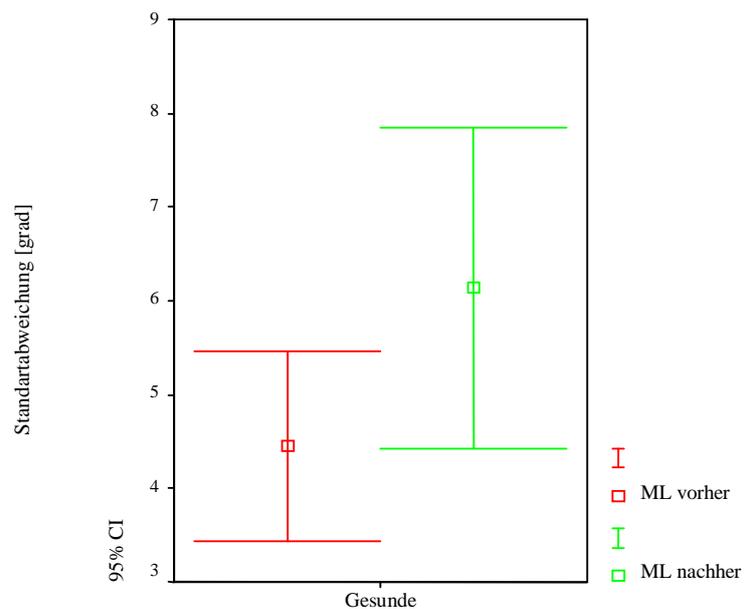


Abb.: 150 95%-Konfidenzintervall des ML der Gesunden vorher/nachher.

Im Vorher- Nachher- Vergleich in der Gruppe der Gesunden waren Veränderungen aller 3 Indices (Abb.148,149,150) in keinem Fall signifikant. Hohe Standardabweichungen kennzeichneten die Ergebnisse dieser Messungen.

### 3.5.5 Overall Stability Index (SI) für die Gruppe der Diabetiker non NP vorher/nachher

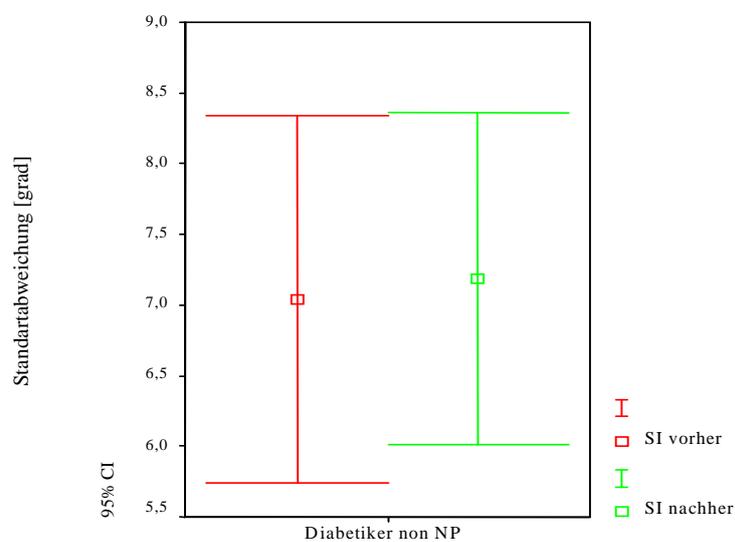


Abb.: 151 95%-Konfidenzintervall des SI der Diabetiker non NP vorher/nachher.

### 3.5.6 Anteriorer/posteriorer (AP) Stability Index für die Gruppe der Diabetiker non NP vorher/nachher

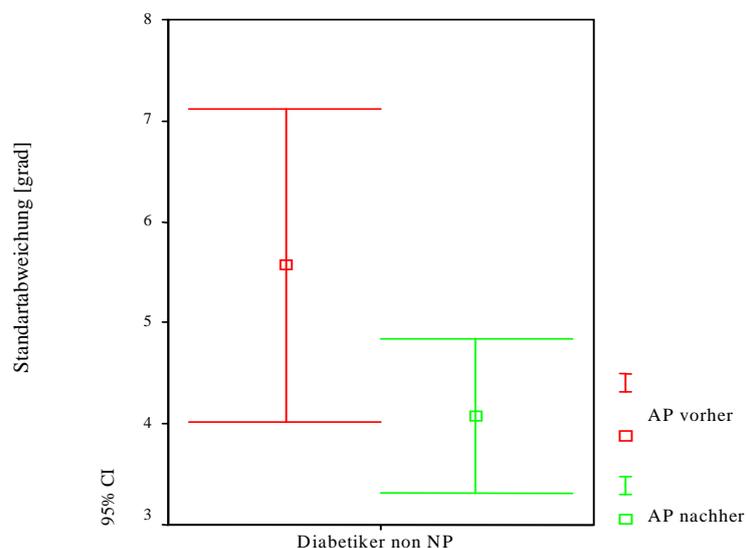


Abb.: 152 95%-Konfidenzintervall des AP der Diabetiker non NP vorher/nachher.

### 3.5.7 Medialer/lateraler (ML) Stability Index für die Gruppe der Diabetiker non NP vorher/nachher

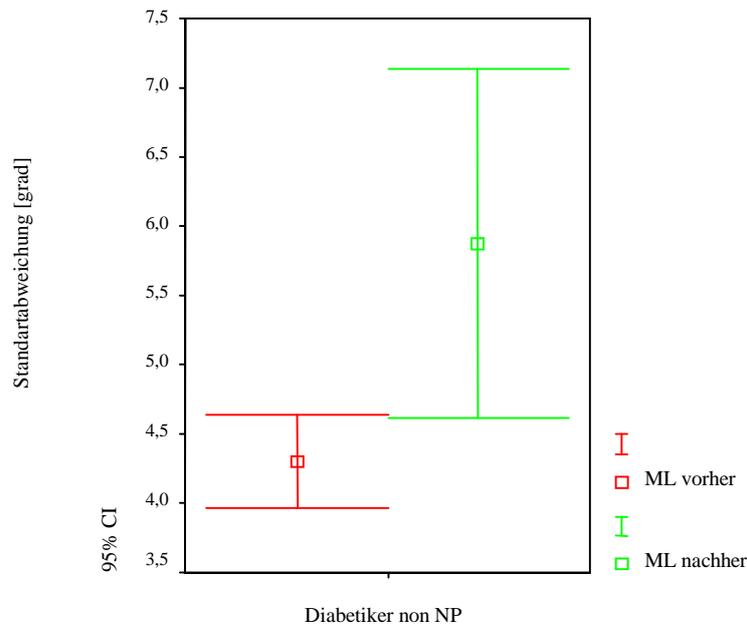


Abb.: 153 95%-Konfidenzintervall des ML der Diabetiker non NP vorher/nachher.

Der SI-Index für die Gruppe der Diabetiker non NP ließ im Vorher- Nachher-Vergleich keine signifikanten Veränderungen erkennen (Abb.151).

Eine Verbesserung des AP-Indexes (Abb.152) von vorher 5,571 zu nachher 4,071 war signifikant ( $p=0.028$ ).

Demgegenüber verschlechterte sich der ML-Index (Abb.153) von vorher 4,300 auf nachher 5,871 ( $p=0.046$ ).

### 3.5.8 Overall Stability Index (SI) für die Gruppe der Diabetiker NP vorher/nachher

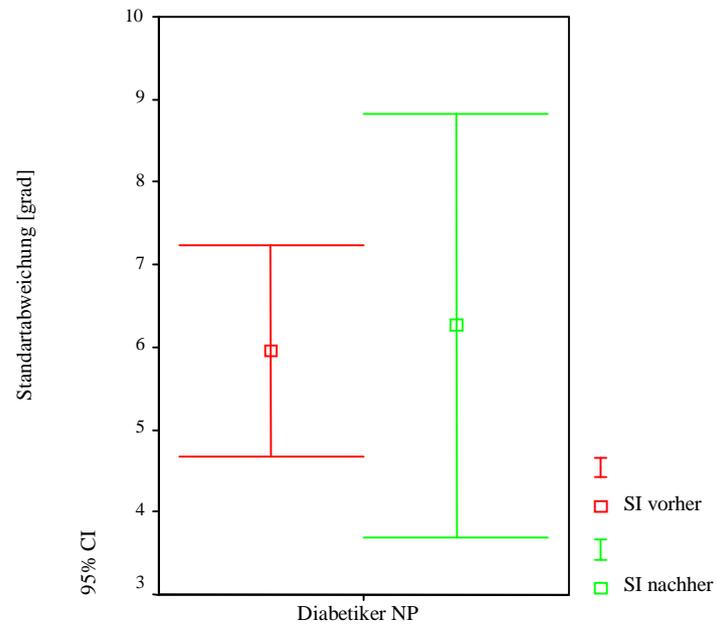


Abb.: 154 95%-Konfidenzintervall des SI der Diabetiker NP vorher/nachher.

### 3.5.9 Anteriorer/posteriorer (AP) Stability Index für die Gruppe der Diabetiker NP vorher/nachher

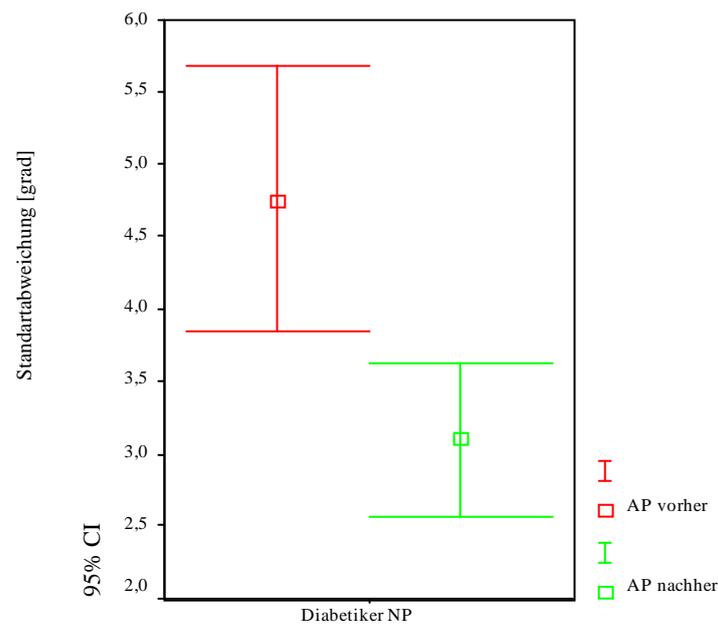


Abb.: 155 95%-Konfidenzintervall des AP der Diabetiker NP vorher/nachher.

### 3.5.10 Medialer/lateraler (ML) Stability Index für die Gruppe der Diabetiker NP vorher/nachher

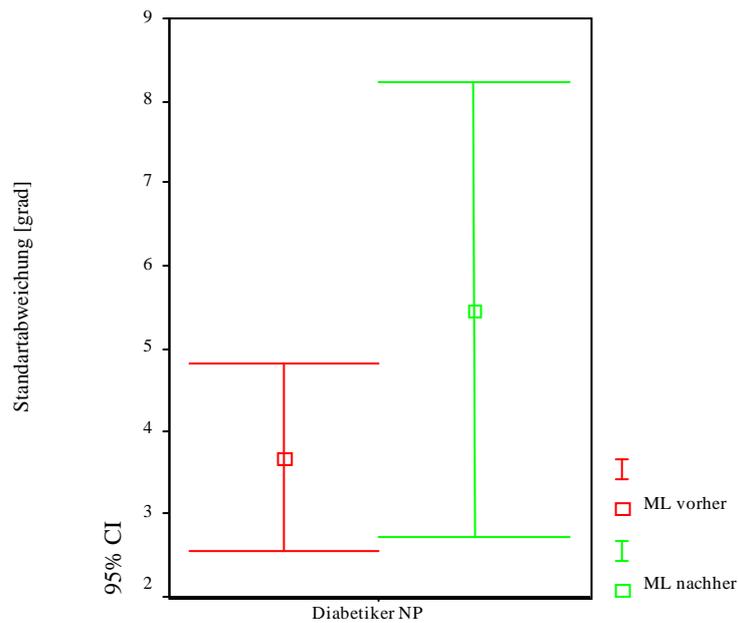


Abb.: 156 95%-Konfidenzintervall des ML der Diabetiker NP vorher/nachher.

In vergleichbarer Weise vollzogen sich die Veränderungen in der Gruppe der Diabetiker NP. Bei unverändertem SI-Index (Abb.154) verbesserte sich der AP-Index (Abb.155) von 4,760 auf 3,100 signifikant ( $p=0.039$ ). Gleichzeitig stieg jedoch der ML- Index (Abb.156) von 3,680 auf 5,460 ( $p=0.043$ ).

### 3.6 Gesamtsicht der wichtigsten Testparameter

#### 3.6.1 Sensibilitätstest

##### 3.6.1.1 Zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

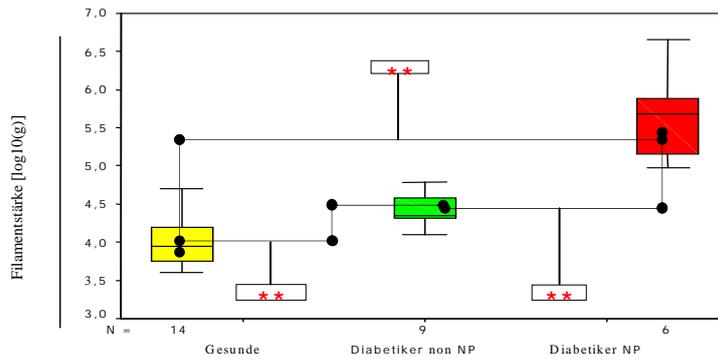


Abb.: 33 Mittelwerte der Sensibilität aller fünf Messpunkte zum Zeitpunkt vorher.

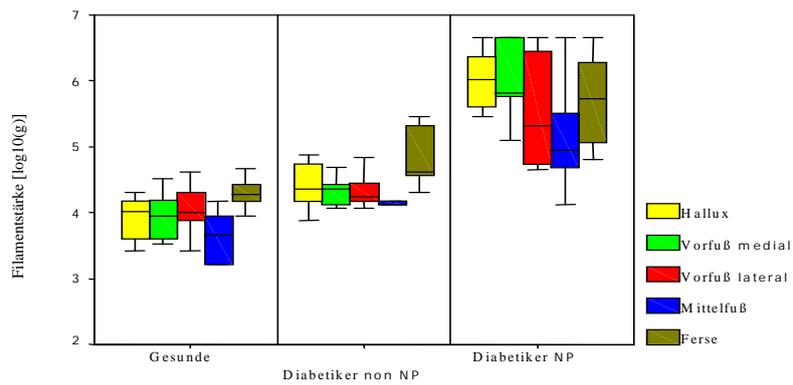


Abb.: 35 Mittelwerte der Sensibilität aller fünf Messpunkte zum Zeitpunkt vorher.

##### 3.6.1.2 Vorher- Nachher- Vergleich

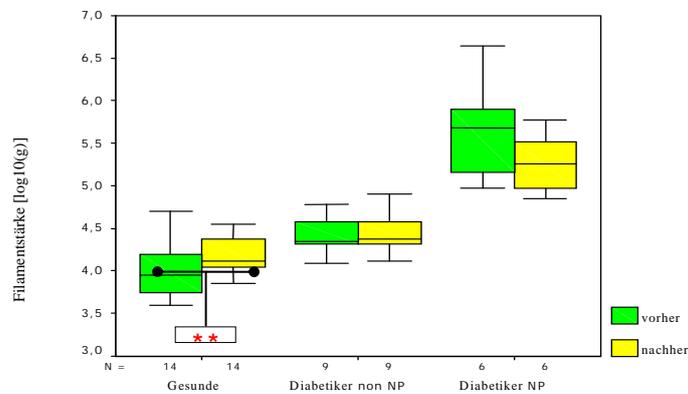


Abb.: 34 Mittelwerte der Sensibilität aller fünf Messpunkte zum Zeitpunkt vorher und nachher.

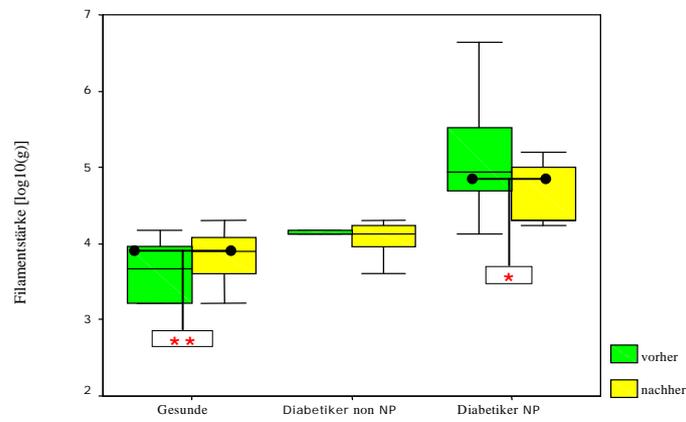


Abb.: 37 Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Mittelfuß zum Zeitpunkt vorher und nachher.

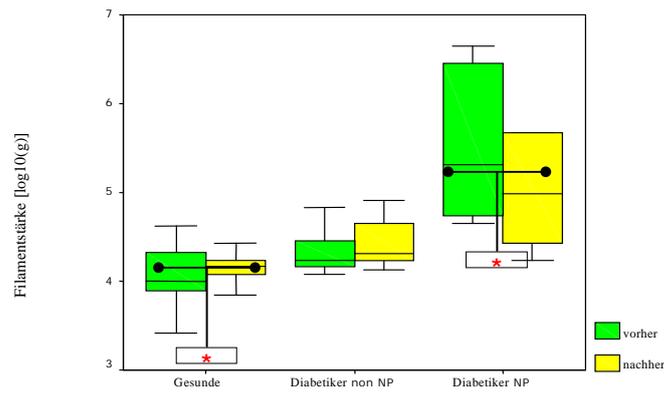


Abb.: 38 Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Vorfuß lateral zum Zeitpunkt vorher und nachher.

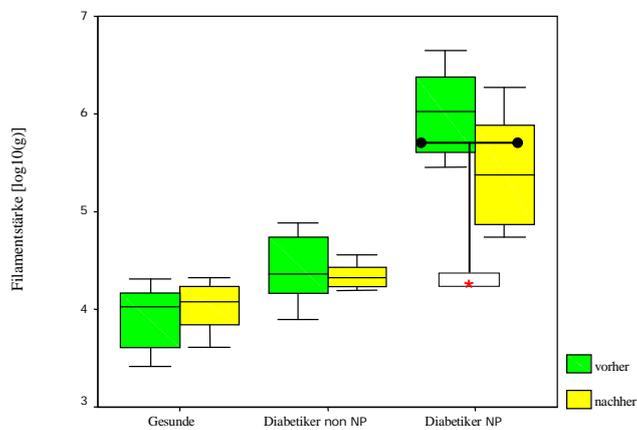


Abb.: 40 Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Hallux zum Zeitpunkt vorher und nachher.

3.6.2 Stabilitätstest (Kraftmessplatte)

3.6.2.1 Zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

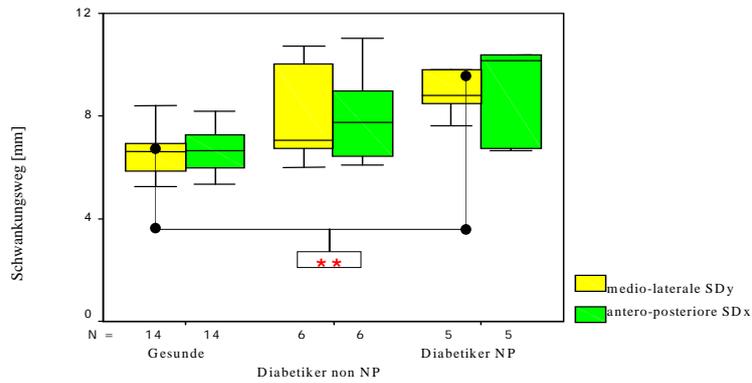


Abb.: 41 Streuung der Werte in medio-lat. und anterior-post. Richtung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

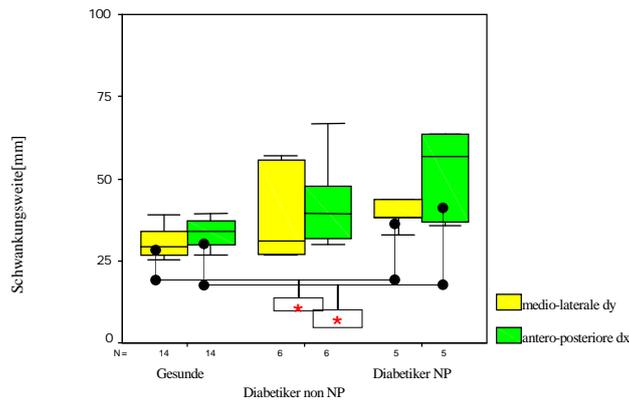


Abb.: 45 Maximale Schwankungswerte in medio-lat. und anterior-post. Richtung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

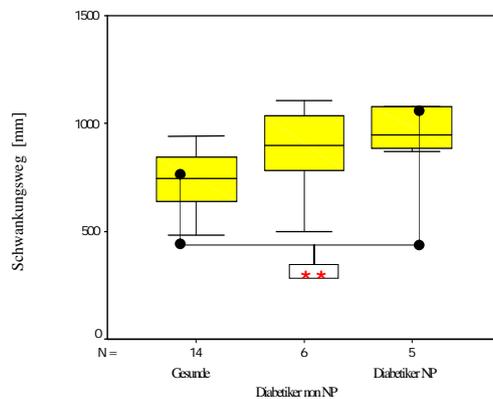


Abb.: 49 Gesamtschwankungsweg Sxy des Körperschwerpunktes bei Voruntersuchung.

3.6.2.2 Vorher- Nachher- Vergleich

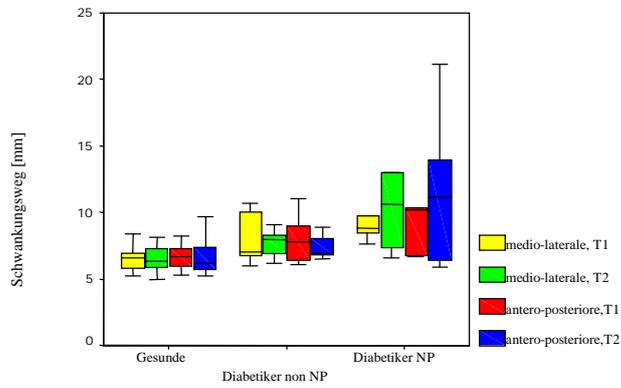


Abb.: 42 Streuung der Werte in medio-lat. und anterior-post. Richtung vorher(T1)/nachher(T2).

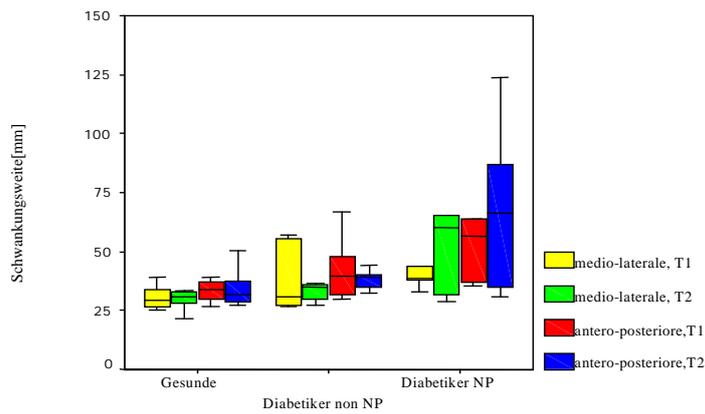


Abb.: 46 Maximale Schwankungswerte in medio-lat. und anterior-post. Richtung vorher(T1)/nachher(T2).

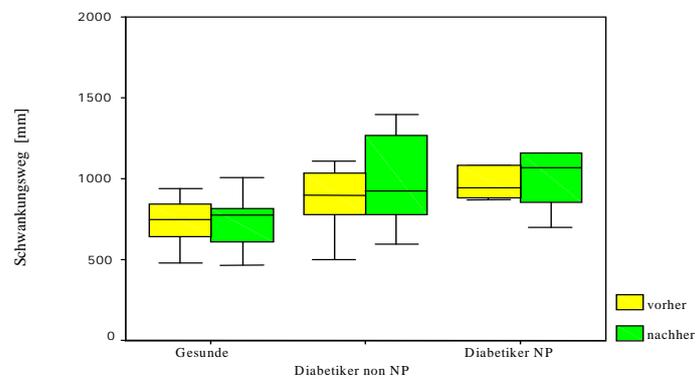


Abb.: 50 Gesamtschwankungsweg Sxy des Körperschwerpunktes vorher/nachher.

### 3.6.3 Winkelreproduktionstest

#### 3.6.3.1 Zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

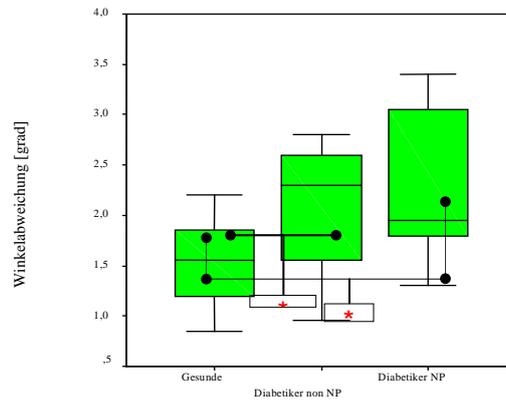


Abb.: 52 Mittlere absolute Winkelabweichung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

#### 3.6.3.2 Vorher- Nachher- Vergleich

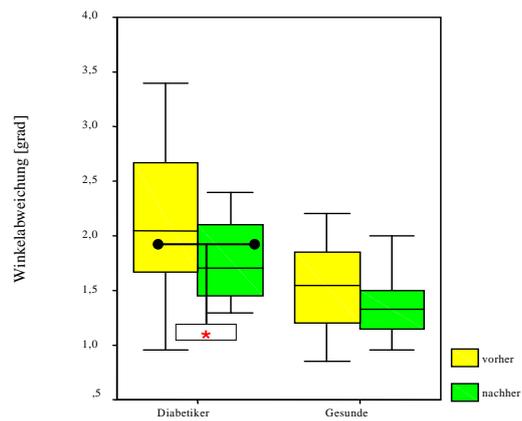


Abb.: 53 Mittlere absolute Winkelabweichung bei Diabetikern und Gesunden vorher/nachher.

### 3.6.4 Druckverteilungstest

#### 3.6.4.1 Ganggeschwindigkeit auf einer Distanz von 2 Metern zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

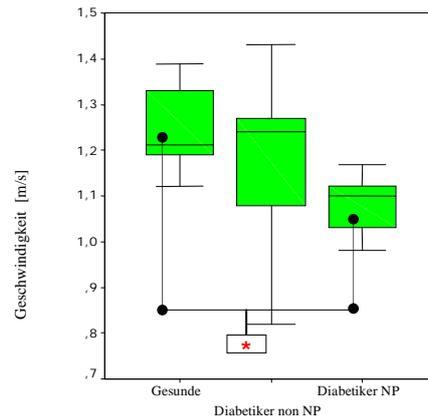


Abb.: 62 Mittlere Ganggeschwindigkeit zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

#### 3.6.4.2 Ganggeschwindigkeit auf einer Distanz von 2 Metern vorher/nachher

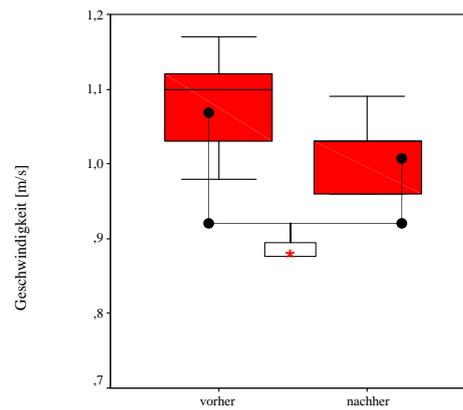


Abb.: 63 Mittlere Ganggeschwindigkeit der Diabetiker NP vorher/nachher.

3.6.4.3 *Durchschnittlich aufgesetzte Kontaktfläche zum Zeitpunkt der Voruntersuchung*

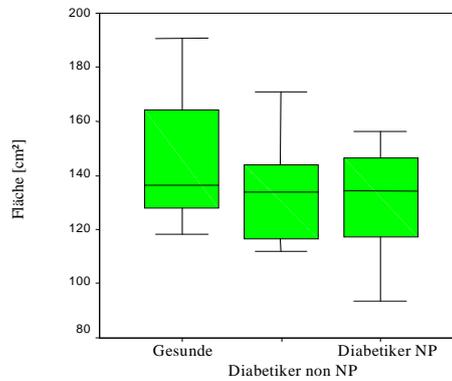


Abb.: 66 Kontaktfläche des gesamten Fußes zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

3.6.4.4 *Durchschnittlich aufgesetzte Kontaktfläche vorher/nachher*

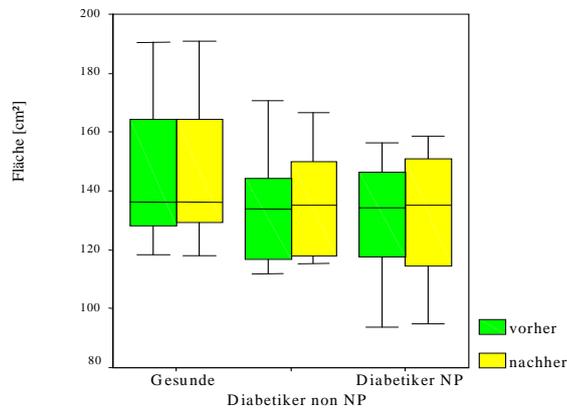


Abb.: 67 Kontaktfläche des gesamten Fußes vorher/nachher.

*Vorfuß lateral:*

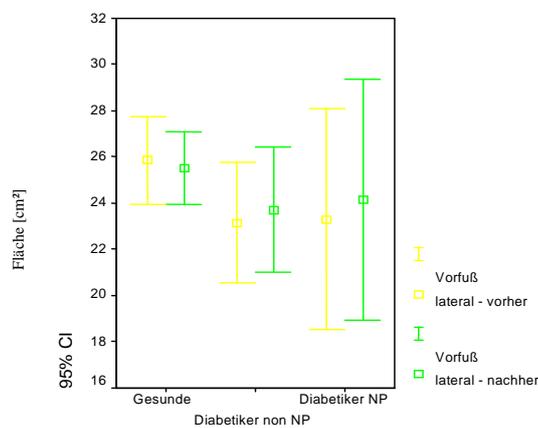


Abb.: 78 95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Vorfuß lateral vorher/nachher.

### 3.6.4.5 Kontaktzeit zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

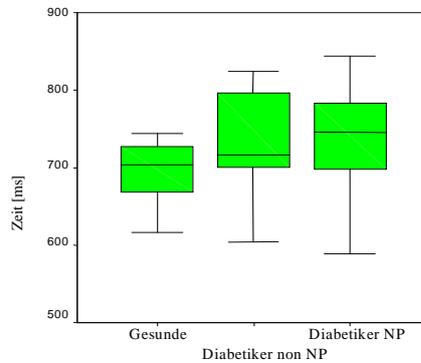


Abb.: 82 Kontaktzeit des gesamten Fußes zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

### 3.6.4.6 Kontaktzeit vorher/nachher

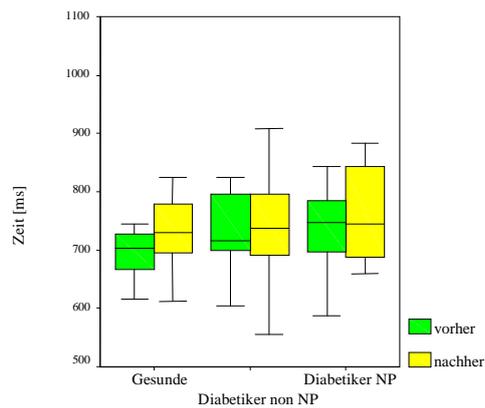


Abb.: 83 Kontaktzeit des gesamten Fußes vorher/nachher.

### 3.6.4.7 Maximal wirkende Kraft zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

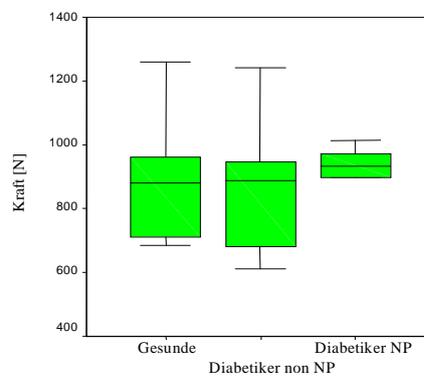


Abb.: 98 Maximal wirkende Kraft des gesamten Fußes zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

3.6.4.8 *Maximal wirkende Kraft vorher/nachher*

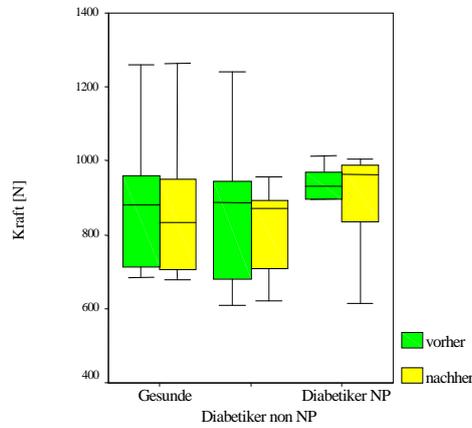


Abb.: 99 Maximal wirkende Kraft des gesamten Fußes vorher/nachher

*Mittelfuß lateral:*

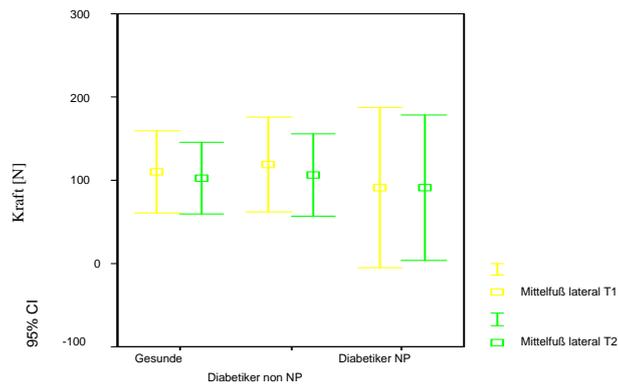


Abb.: 107 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Mittelfuß lateral vorher/nachher.

*dritte bis fünfte Zehe:*

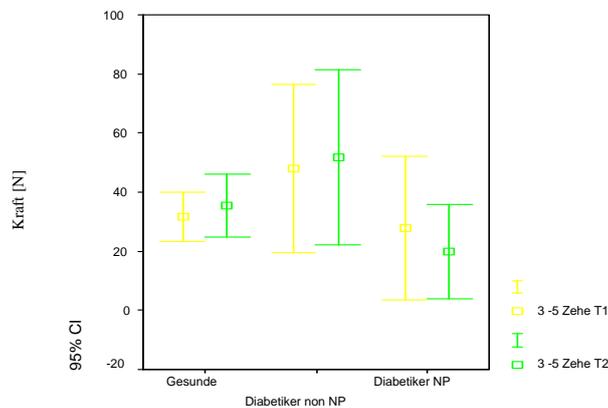


Abb.: 113 95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft dritte bis fünfte Zehe vorher/nachher.

### 3.6.4.9 Spitzendruck zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

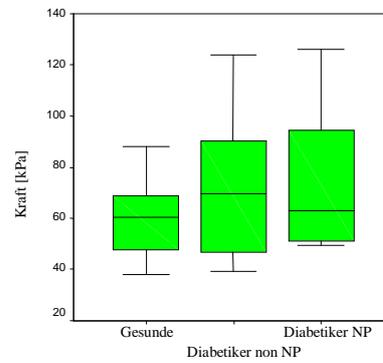


Abb.: 114 Spitzendruck des gesamten Fußes zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

### 3.6.4.10 Spitzendruck vorher/nachher

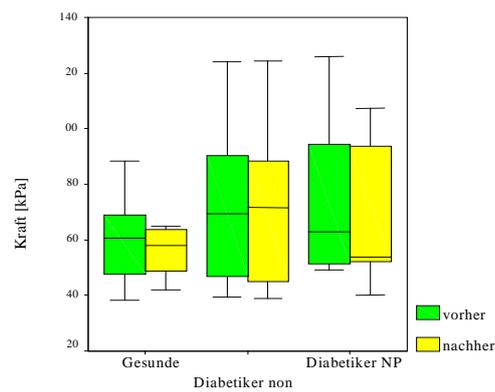


Abb.: 115 Spitzendruck des gesamten Fußes vorher/nachher.

3.6.4.11 Kraft- Zeit- Integral in einzelnen Fußarealen vorher/nachher

Mittelfuß lateral:

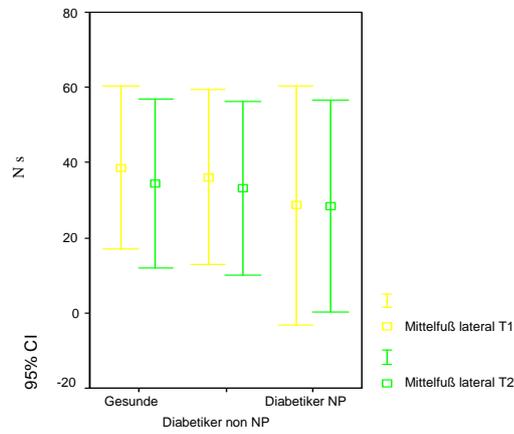


Abb.: 137 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Mittelfuß lateral vorher/nachher.

Ferse medial:

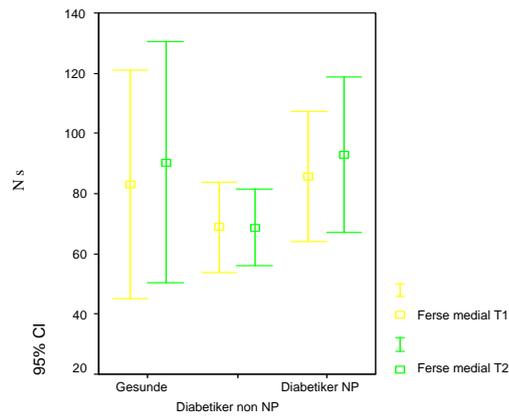


Abb.: 134 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Ferse medial vorher/nachher.

Ferse lateral:

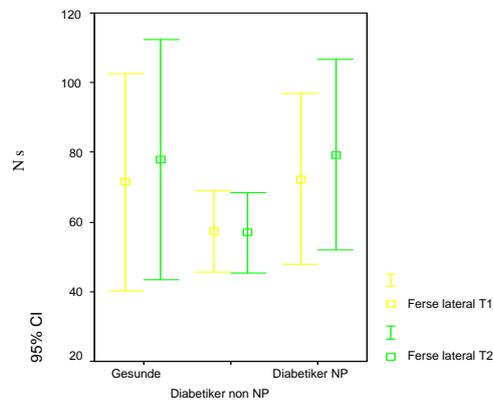


Abb.: 135 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Ferse lateral vorher/nachher.

*Mittelfuß lateral:*

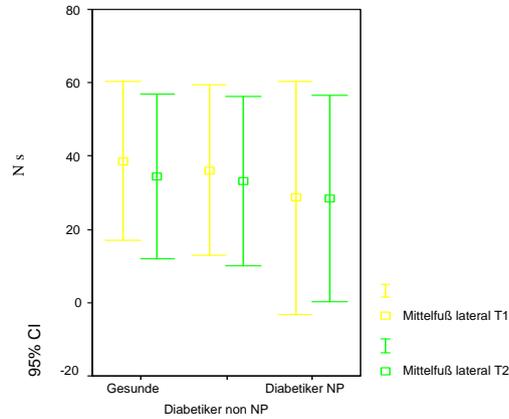


Abb.: 137 95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Mittelfuß lateral vorher/nachher.

3.6.5 Stabilitätstest (Biodex- Stability- Test)

3.6.5.1 Vergleich der Stabilitätsindices von Gesunden, Diabetikern non NP und Diabetikern NP zum Zeitpunkt der Voruntersuchung

Overall Stability-Index    A/P Stability-Index    M/L Stability-Index

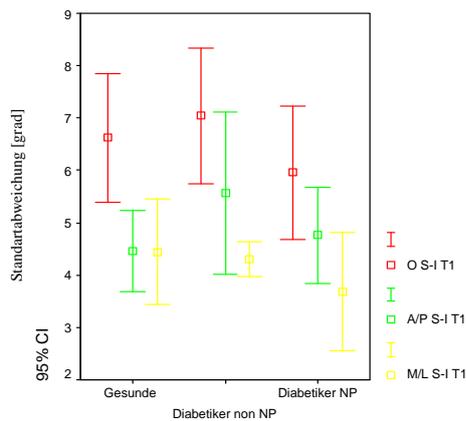


Abb.: 144 95% - Konfidenzintervall Stabilitätsindices der Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.

### 3.6.5.2 Overall Stability Index (SI) für die Gruppe der Diabetiker non NP vorher/nachher

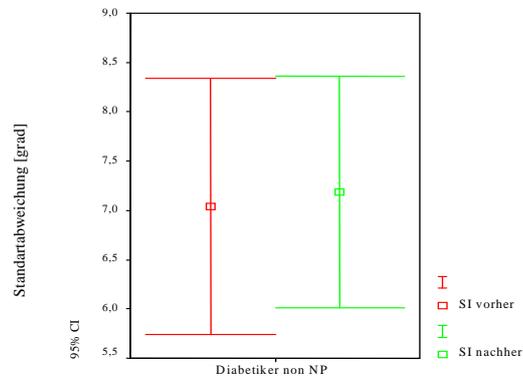


Abb.: 151 95%-Konfidenzintervall des SI der Diabetiker non NP vorher/nachher.

### Anteriorer/posteriorer (AP) Stability Index für die Gruppe der Diabetiker non NP vorher/nachher

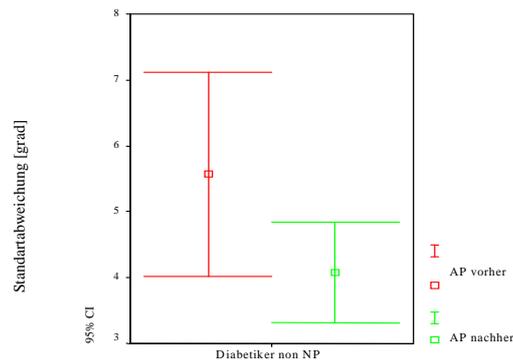


Abb.: 152 95%-Konfidenzintervall des AP der Diabetiker non NP vorher/nachher.

### Medialer/lateraler (ML) Stability Index für die Gruppe der Diabetiker non NP vorher/nachher

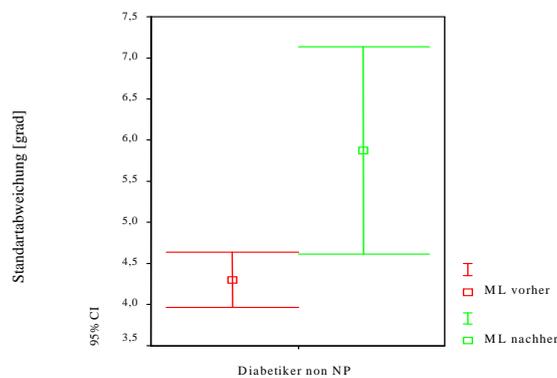


Abb.: 153 95%-Konfidenzintervall des ML der Diabetiker non NP vorher/nachher.

*Overall Stability Index (SI) für die Gruppe der Diabetiker NP vorher/nachher*

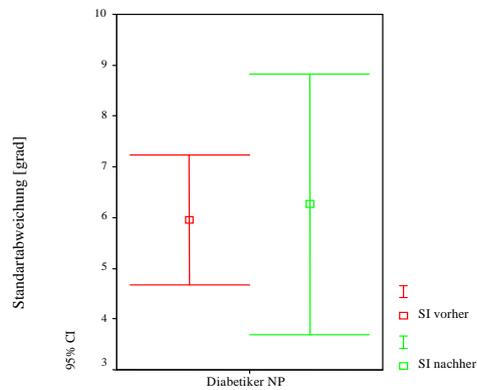


Abb.: 154 95%-Konfidenzintervall des SI der Diabetiker NP vorher/nachher.

*Anteriorer/posteriorer (AP) Stability Index für die Gruppe der Diabetiker NP vorher/nachher*

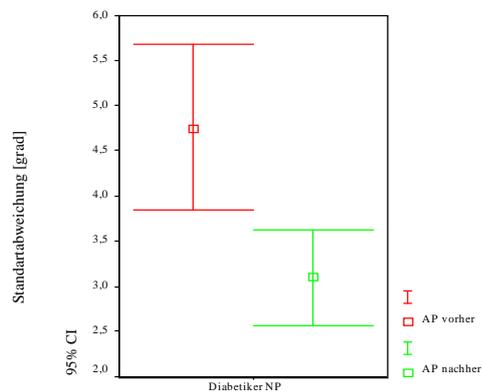


Abb.: 155 95%-Konfidenzintervall des AP der Diabetiker NP vorher/nachher.

*Medialer/lateraler (ML) Stability Index für die Gruppe der Diabetiker NP vorher/nachher*

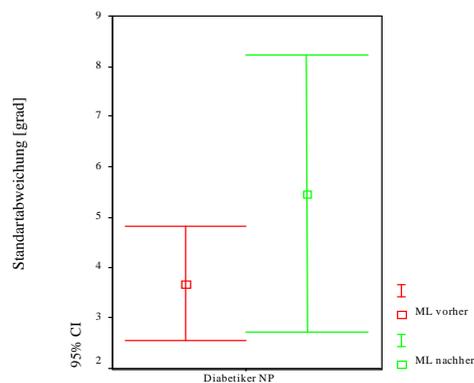


Abb.: 156 95%-Konfidenzintervall des ML der Diabetiker NP vorher/nachher.

### 3.7 Retest-Reliabilität in der Gruppe der Gesunden (zeitliches Intervall: 8 Monate)

#### 3.7.1 Sensibilitätstest:

N=14	1. Messung		2. Messung		r-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
Hallux	3,9086	,31968	4,0214	,24092	,757
Vorfuß med.	3,9596	,34429	4,2146	,18799	,754
Vorfuß lat.	4,0550	,32582	4,1893	,20089	,728
Mittelfuß	3,6200	,35719	3,8207	,32432	,904
Ferse	4,4311	,48446	4,7071	,46978	,374

Tab.: 6 Retest-Reliabilität Sensibilitätstest

#### 3.7.2 Kraftmessplatte:

N=14	1. Messung		2. Messung		r-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
SDx	6,8836	1,48169	6,5900	1,24408	,865
SDy	7,1393	2,59418	6,5457	,99396	,577
Dx	48,9857	58,85081	33,63	6,367	,774
Dy	46,007	60,2688	29,700	3,5377	,340
Sxy	755,7000	196,71496	742,3857	146,24181	,907

Tab.: 7 Retest-Reliabilität Kraftmessplatte

#### 3.7.3 Winkelreproduktionstest:

N=14	1. Messung		2. Messung		r-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
mittlere Winkelabweichung absolut	1,5143	,42446	1,346	,3060	,285
mittlere Winkelabweichung bei Dorsalextension	1,457	,6768	1,429	,4358	,182
mittlere Winkelabweichung bei Plantarflexion	1,471	,6005	1,214	,5628	,133

Tab.: 8 Retest-Reliabilität Winkelreproduktionstest

3.7.4 *Druckverteilungstest:*

<i>contact area</i>	N=14		1. Messung		2. Messung		r-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	
cat	144,91	22,063	143,8471	22,15919			,992
ca01	19,411	2,4930	19,4286	2,83730			,987
ca02	19,168	2,6871	19,160	2,8068			,994
ca03	3,2036	1,60928	3,0314	1,55111			,932
ca04	24,13	7,528	23,424	8,2341			,973
ca05	16,875	3,1981	16,819	3,5009			,971
ca06	12,49	2,208	12,591	2,0720			,933
ca07	25,85	3,261	25,529	2,6946			,920
ca08	11,429	2,3153	11,4064	2,36897			,939
ca09	4,161	1,1550	4,19	1,109			,954
ca10	8,1571	2,08667	8,240	1,8449			,931

Tab.: 9 Retest-Reliabilität Druckverteilungstest –contact area-

<i>contact time</i>	N=14		1. Messung		2. Messung		r-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	MW	STABW	
ctt	705,71	55,796	731,76	65,131			,751
ct01	400,57	79,798	422,17	78,850			,846
ct02	399,14	77,327	420,17	78,952			,853
ct03	323,43	70,495	323,08	60,400			,761
ct04	447,43	82,333	456,25	73,900			,901
ct05	579,43	47,688	590,59	55,707			,815
ct06	602,57	47,604	614,32	57,262			,836
ct07	609,43	49,604	628,85	59,566			,774
ct08	468,00	82,797	494,91	105,371			,662
ct09	426,86	90,679	443,97	102,295			,697
ct10	470,86	87,276	472,46	108,493			,788

Tab.: 10 Retest-Reliabilität Druckverteilungstest –contact time-

N=14	1. Messung		2. Messung		r-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
<i>maximal force</i>					
mft	882,2657	182,53042	860,6721	179,88703	,982
mf01	291,2143	39,55470	298,8664	55,10218	,835
mf02	249,2057	49,80306	255,60071	61,658621	,926
mf03	22,773	33,5938	13,3100	9,40834	,595
mf04	110,4600	85,03221	103,0707	74,69231	,897
mf05	214,981	69,6578	213,409	90,7235	,892
mf06	221,8700	50,34435	212,759	51,3591	,927
mf07	295,6229	91,25507	276,144	78,0328	,857
mf08	132,2671	46,72584	141,8921	53,59121	,789
mf09	27,7243	14,32062	31,3393	17,16252	,940
mf10	31,6229	14,73892	35,491	18,1770	,855

Tab.: 11 Retest-Reliabilität Druckverteilungstest –maximal force-

N=14	1. Messung		2. Messung		r-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
<i>peak pressure</i>					
ppt	62,950	21,2505	62,075	19,1702	,889
pp01	33,686	5,7871	35,864	8,7055	,804
pp02	32,671	5,3971	34,993	8,3716	,773
pp03	9,071	3,2243	8,478	2,9560	,948
pp04	10,686	3,1819	9,722	2,7358	,929
pp05	35,207	12,6517	35,347	14,6690	,717
pp06	51,607	23,6675	50,13	24,124	,961
pp07	39,60	17,037	38,570	15,8366	,808
pp08	38,49	12,383	40,107	10,3002	,533
pp09	19,536	10,3343	22,071	12,2934	,893
pp10	13,857	6,6099	15,303	7,6226	,794

Tab.: 12 Retest-Reliabilität Druckverteilungstest –peak pressure-

N=14	1. Messung		2. Messung		r-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
<i>force-time-integral</i>					
ftit	517,21	316,635	533,79	323,893	,998
fti01	83,0671	65,98400	90,396	69,4356	,988
fti02	71,4357	54,11407	78,05	59,762	,991
fti03	4,646	7,1263	7,4600	14,07514	,393
fti04	38,587	37,6017	34,3629	38,93844	,986
fti05	73,4057	37,52701	75,1593	36,91197	,952
fti06	80,5143	36,18020	79,1243	32,57568	,958
fti07	111,6943	38,14357	109,6236	48,81552	,901
fti08	35,9871	45,13490	39,7829	40,16730	,973
fti09	8,2071	9,94985	9,0357	9,01663	,981
fti10	9,6657	11,92529	10,7907	12,93787	,975

Tab.: 13 Retest-Reliabilität Druckverteilungstest –force-time-integral-

## 3.7.5 Stabilitätstest (Biodex-Stability-System):

N=13	1. Messung		2. Messung		r-Wert
	MW	STABW	MW	STABW	
Overall Stability-Index	6,623	2,0438	7,562	2,5497	,292
A/P Stability-Index	4,469	1,2828	4,238	,8893	,786
M/L Stability-Index	4,446	1,6731	6,138	2,8359	,223

Tab.: 14 Retest-Reliabilität Stabilitätstest –Biodex-Stability-System-

## 4 Diskussion

### 4.1 Training in der Diabetes- Sportgruppe

Wie bereits in der Einführung dargestellt, existiert eine Reihe von Primärpräventionsstudien, die einen deutlich positiven Einfluss körperlichen Trainings auf die Diabetesentwicklung nachgewiesen haben. Außerdem verbessern sich in der Regel neben der diabetischen Stoffwechsellage die aerobe Leistungsfähigkeit und Ausdauer.

Leider wurde in diesen Studien auf eine kontrollierte bzw. objektivierbare Durchführung des Trainings verzichtet.

Empfehlungen zur allgemeinen Aktivitätssteigerung und Beratungen zur Durchführung von Übungen haben vermutlich nicht die Effizienz sportmedizinisch bzw.-therapeutisch betreuter Gruppen.

Sollen Aussagen über die Wirksamkeit spezieller Trainingsformen bzw. umfassender Sporttherapiekonzepte gemacht werden, so ist dieses nur im Rahmen kontrollierter und kompetent betreuter Sportangebote möglich.

Körperliches Training spielt bereits in der Sekundärprävention von Patienten mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen eine bedeutende Rolle.

Insbesondere Typ 2 Diabetiker haben ein deutlich erhöhtes Risiko, gefäßbedingte Komplikationen zu entwickeln (S.8, Abb.3).

Niebauer weist nach, dass bei bereits vorliegender KHK Verbesserungen des kardiovaskulären Risikoprofils durch körperliches Training möglich sind. Vier Stunden aerobes Training pro Woche führte zu einer signifikanten Reduzierung ( $p < .0001$ ) der Entwicklungsgeschwindigkeit von Koronarstenosen (72).

Die STENO-2-Studie zeigt, dass eine intensiviertere Therapie, die neben der intensiven medikamentösen Behandlung von Hyperglykämie, Hypertonie, Dyslipidämie, Mikroalbuminurie und der Gabe von Aspirin Verhaltensänderungen (Gewichtsreduktion, körperliche Aktivität) einbezieht, der konventionellen Therapieform überlegen ist.

Die kardio- und mikrovaskulären Ereignisse konnten durch diese Therapie um die Hälfte reduziert werden (34).

Für die in der Regel älteren Typ 2 Diabetiker mit einem hohen Komplikationsrisiko und im allgemeinen gering ausgeprägter Motivation ist die Einrichtung von Diabetes-Sportgruppen ähnlich dem Konzept der Herzsportgruppen aus vorgenannten Gründen zu empfehlen.

Zweifelloos ist die Bewegungstherapie neben der Ernährungstherapie das Fundament in der Behandlung des Diabetes Typ 2.

Ebenso herrscht Einigkeit darüber, dass Übungsprogramme neben den Bedürfnissen der Diabetiker auch ihre Risikoprofile berücksichtigen müssen (4,24,42).

Auch über die Häufigkeit und Dauer eines Trainings gibt es wenig Differenzen. Ein dreimal wöchentliches Training von 30-60 min Dauer bei fehlenden Kontraindikationen wird als optimal angesehen (42,49,91).

Da sich die Glucosetoleranz und die Insulinempfindlichkeit innerhalb von 72 Stunden nach der letzten Trainingseinheit wieder verschlechtern, ist allein vor diesem Stoffwechselhintergrund ein regelmäßiges, dreimal wöchentliches Training anzustreben (2).

Die Belastungsintensität sollte 50 bis maximal 70% der individuellen Leistungsfähigkeit nicht überschreiten. Dies entspricht Pulsfrequenzen von 120-140/min. bei 50 jährigen sonst gesunden Personen (49).

Die American Diabetes Association spricht von 50-80%  $VO_2^{\max}$  bei 3 bis 4 Trainingseinheiten pro Woche und 30-60min.Dauer (24).

Unsere Diabetikergruppe trainierte im empfohlenen Bereich unter aeroben Bedingungen („Laufen ohne zu Schnaufen“) bei einer Gesamtdauer von 90min. Angesprochen wurde dadurch insbesondere die allgemeine aerobe Ausdauer.

Der spezifische Fußgymnastikteil wurde im mittleren Trainingsdrittel platziert, um im ersten Drittel eine gute Vorbereitung zu gewährleisten.

Nach dem Position Statement der American Diabetes Association sollte ein 5 bis 10min. „Aufwärmen“ unter aeroben Bedingungen und auf niedriger Intensitätsstufe erfolgen. Hierbei sollten Skelettmuskeln, Herz und Lunge auf die Steigerung der Übungsintensität vorbereitet werden. Ein gleichlanges sanftes Dehnprogramm, das die zuvor aktivierten Muskeln berücksichtigt, sollte die Vorbereitungsphase abschließen.

Unsere Sportgruppe wurde in gleicher Weise „aufgewärmt“.

Die schwierigste und zugleich wichtigste Aufgabe ist in der langfristigen Reduktion des Übergewichtes zu sehen. Ein „ideales Training“, d.h. Teilnahme an mindestens 3 Trainingseinheiten in der Woche, war in unserer Studie aus organisatorischen Gründen nicht durchführbar. Um dem empfohlenen minimalkumulativen Gesamtaufwand an physischer Aktivität von 1000 kcal/ Woche (2) zu entsprechen, sollte diesem Ideal gefolgt werden.

Eine Reduktion des Körpergewichtes gehört zu den erreichbaren Trainingseffekten.

Diätetische Unterstützung in Form von Beratungen und praktischen Kursen wären hilfreich.

Das Körpergewicht der Probanden dieser Studie wurde nach Befragung zu den Testzeitpunkten „Vor- und Nachuntersuchung“ eruiert. Hierbei resultierten keine signifikanten Veränderungen, was jedoch vor dem Hintergrund der Trainingshäufigkeit nicht verwundert.

Übergewicht und weitere diabetesassoziierte Folgeerkrankungen- insbesondere

die Auswirkungen der DPNP- begrenzen real, neben der individuellen Motivation, die Gestaltung des Trainings. Trainingswirkungen sind jedoch „dosisabhängig“, d.h. je intensiver und frequenter ein Training, desto deutlicher machen sich Trainingseffekte bemerkbar. Daneben machte es die Heterogenität der Gruppe erforderlich, aus einer breiten methodischen Palette die geeigneten Übungsfolgen und Belastungsformen auszuwählen.

Eine Auswahl der Übungen ist im 2.Kapitel dargestellt (S.18).

Wesentlich um Verletzungsgefahren der Diabetiker zu minimieren ist eine kompetente Betreuung durch speziell aus- und fortgebildete Übungsleiterinnen und Übungsleiter.

Zur Grundausstattung jeder Gruppe sollten neben zwei Reflektometern für Blutglucoseteststreifen zwei Glukagonspritzen- Sets gehören.

Als „Not - BE“ muss eine ausreichende Menge Traubenzucker, Fruchtsäfte und Knäckebrot bereitgehalten werden.

Die Blutzuckerselbstkontrolle sollte ebenso wie die Pulsmessung Bestandteil der Trainingseinheit sein (10).

#### *4.1.1 Das spezifische Trainingsprogramm*

Im Bestreben, Leistungen stetig zu verbessern, werden im Leistungssport zunehmend neuartige Trainingsmittel und Methoden eingesetzt. Übertragen auf den Gesundheitssport bedeutet dies, dass auch hier mit spezifischen Trainingsformen Verbesserungen für die Patienten möglich sein sollten.

Die Trainingsmittel werden im Bereich des Sports in spezifische und unspezifische Formen unterteilt.

Neben der unspezifischen „Grundlagenausbildung“ in Koordination und Kondition mit den Unterbausteinen „Ausdauer“, „Schnelligkeit“, „Beweglichkeit“ und „Kraft“ wurde ein spezifischer Fußgymnastik-Trainingsbaustein entwickelt und eingesetzt.

Ob einzelne dieser Bausteine, wie z.B. Koordination, Beweglichkeit und Kraft nicht auch spezifische Aufgaben bei Diabeteskranken erfüllen, sei dahingestellt.

Nach Hollmann führen spezifische Reize stets zu spezifischen Anpassungserscheinungen beim Trainierenden (49, S.115).

Die Übungsauswahl zum Fußgymnastik-Baustein erfolgte in Anlehnung an Empfehlungen aus dem Buch: „Gesunde Füße und Beine“ (85).

Dem ersten Block „Spezifische Fußgymnastik im Sitzen“, Dauer 15 Minuten, folgte ein zweiter mit dem Titel „Spezifische Fußgymnastik im Stehen“ über 10 Minuten.

Eine Auswahl der Übungsformen und Varianten sind den Abbildungen 7/8 der Seiten 19/20 zu entnehmen.

Inwieweit ein Trainingskonzept den besonderen Zielvorstellungen gerecht wird, also spezifisch ausgerichtet ist, muss sich letztlich an den Verbesserungen der Leistungsfähigkeiten messen.

## 4.2 Methodenkritik

Nach Abschluss aller Untersuchungen und genauerer Betrachtung der jeweiligen Messergebnisse sollen im Folgenden mögliche Schwächen und Fehler bei Durchführung und Methodik kritisch hinterfragt werden.

Laut WHO sind etwa 58% der Bevölkerung in Industrienationen nicht ausreichend körperlich aktiv (112). In Deutschland gehen bis zu 80% der älteren Bevölkerungsgruppen keiner sportlichen Aktivität nach (68).

Von unseren 15 (64 +/-10 Jahre) ausgewählten Diabetikern waren 7 bereits vor Bekanntwerden der Diabeteserkrankung sportlich aktiv (4 Frauen, 3 Männer). Erst nach der Diagnosestellung begannen 2 Probanden (Diabetes NP) Sport zu treiben. 2 Diabetiker non NP beendeten ihre sportliche Aktivität mit Bekanntwerden der Erkrankung.

Unser Kollektiv ist somit sportlich aktiver als der Durchschnitt der Normalbevölkerung.

Alle Diabetiker werden in einer diabetischen Schwerpunktpraxis betreut und unterliegen damit den neuesten Behandlungsstandards. Auch in diesem Punkt sind unsere Diabetiker überdurchschnittlich.

### 4.2.1 *Sensibilitätstest*

Obwohl verschiedenartigste quantitative Testverfahren zur Diagnose einer DPNP existieren, hat sich der Überprüfungstest mit dem Semmes- Weinstein 10g Monofilament in der Praxis als einfacher und zuverlässiger Test (79) bewährt. Eine Ergebnisanalyse von 6 prospektiven Studien, die mittels SWM sowie 4 Studien, welche über die Vibrationswahrnehmung zur Schwellenwertbestimmung einer klinisch bedeutsamen DPNP führten, favorisiert eindeutig das Semmes-Weinstein Monofilament (65).

Neben den zahlreichen Empfehlungen (6,7,8,65,82), Semmes-Weinstein Monofilamente als Messinstrument zur Diagnostik einer DPNP einzusetzen, finden sich in der Literatur auch Zweifel an ihrer Verlässlichkeit.

Zum Beispiel können bei der Anwendung von Filamenten unterschiedlicher Hersteller differierende Druckkräfte auftreten (66). Aus diesem Grund wird die Verwendung von Filamenten nur **eines** Herstellers empfohlen.

Booth J. und Young M.J. untersuchten die Messgenauigkeit der 10g- Monofilamente von 4 Herstellerfirmen. Die Genauigkeit variierte unter den Herstellern. Am besten schnitten hier die Filamente der Firmen Bailey Instruments und Owen Mumford ab. Semmes-Weinstein-Monofilamente der Firma North Coast Medical verbogen sich in nur 70% im Bereich  $\pm 1.0g$  von 10g. Des weiteren ist zu beachten, dass sich die angegebene Druckkraft erst nach dem dritten Durchbiegen des Filamentes einstellt. Außerdem sollte den Testfilamenten nach 10 Anwendungen eine Erholungszeit von 24 Stunden zugebilligt werden, um eine vollständige Regeneration der Kraft zu gewährleisten (12).

Der amerikanische Diabetesverband empfiehlt für die frühe Identifikation von Diabetikern mit dem Risiko Fußulzera zu entwickeln, das 10g Semmes-Weinstein-Monofilament. Auf diese Weise werden jedoch nur fortgeschrittene DPNP diagnostiziert. Frühformen bleiben so unentdeckt. Vor diesem Hintergrund wird die Frage diskutiert, ob nicht ein 4g Monofilament klinisch nützlichere Ergebnisse liefern könnte (114).

Saltzman C.L. et al. stellten sich die Frage, ob das Testen an 10 Fußarealen mit dem 10g Monofilament notwendig sei, um den Ausfall von Schutzempfindungen nachzuweisen. Oder kann die Messung an einer geringeren Zahl von Fußarealen mit anderen Filamentstärken zu vergleichbaren Ergebnissen führen? Sie kommen zu dem Ergebnis, dass der Testablauf vereinfacht werden könnte. Die Messung unter den beiden ersten Metatarsalköpfchen mit dem 4,5g Monofilament ergab die sensorische Schwelle und sagte das Risiko für eine Ulcusbildung mit einer Empfindlichkeit von 100% voraus (88).

Neben den physikalischen Besonderheiten des Messinstrumentes spielen auch subjektive Einflüsse des Testenden eine große Rolle. Mögliche Differenzen in der Messgenauigkeit liegen in der manuellen Handhabung der Monofilamente (27). Eine Untersuchung von Jeng C. macht auf die besondere Bedeutung der Testanordnung aufmerksam. Es gibt signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Seiten (rechter bzw. linker Fuß), zwischen den Testpersonen und zwischen ansteigender oder absteigender Monofilament- Stärken- Abfolge. Das absteigende Testregime ergab generell bessere Sensibilitätswerte bei den Probanden.

Im Hinblick darauf verweist die Studie auf die Notwendigkeit eines kontinuierlichen Testprotokolls (52).

Es ist anzunehmen, dass über den häufigeren Hautkontakt bei der absteigenden Testung neben einer vermehrten Hautdurchblutung auch eine Voraktivierung von sensiblen Strukturen stattfindet. Um diesen Effekt auszuschließen, wurde in unserer Untersuchung die „aufsteigende“ Vorgehensweise (vom kleinsten Durchmesser zum größeren) praktiziert.

Die Anordnung und Lage der Messpunkte orientierte sich an der Bedienungsanleitung des Monofilamentsatzes der Firma NORTH COAST™ 1997 (73). Sämtliche Messpunkte sind plantar lokalisiert. Überlegungen, Punkte dorsal

auf dem Fußrücken einzubeziehen, sind vor dem Hintergrund einer möglichen Messwertverfälschung durch ausgeprägte Hornhautschichten sinnvoll (52).

Eine Aufteilung der Diabetiker in die Subgruppen „Diabetiker non NP“ und „Diabetiker NP“ mit dem Schwellenwert 5.07 (Verlust von 98% Sensibilität) ist in mehreren Studien bestätigt worden (52,65).

Der Monofilamenttest ist nur bedingt als objektives Messverfahren einzustufen. Die Objektivität wird von physikalischen Eigenheiten des Instrumentes, dem Testregime und subjektiven Einflüssen des Untersuchers begrenzt. In der Retest-Reliabilität sind zufriedenstellende Korrelationen über Hallux (r 0,757), Vorfuß med. (r 0,754) und Vorfuß lat. (r 0,728), hohe über Mittelfuß (r 0,904) und keine an der Ferse feststellbar. Die Validität des Untersuchungsverfahrens ist hoch. Seit Jahren haben sich Semmes-Weinstein-Monofilamente zur Bestimmung der Hautsensibilität in der klinischen Praxis bewährt (6,7,8,65,66,108).

#### 4.2.2 Stabilitätstest (Kraftmessplatte)

Unterschiedliche Wahrnehmungssysteme beeinflussen und ermöglichen den stabilen Stand des Menschen. Neben dem visuellen ist auch das vestibuläre und somatosensorische System von ausschlaggebender Bedeutung für das Balancegefühl. Letzteres erweist sich im Vergleich mit den vorgenannten Systemen als das wichtigste Informationssystem für den stabilen Stand in Ruhe (97).

Eine Untersuchung von Simoneau et al. belegt, dass insbesondere die Auswirkungen der Polyneuropathie für die größere Standunsicherheit verantwortlich sind. Hierzu vergleicht er Diabetiker non NP, Diabetiker NP mit einer Kontrollgruppe (95).

Des Weiteren kann die geringere Haltungsstabilität der Patienten mit diabetischer Neuropathie nicht ausschließlich auf den Verlust der plantaren Fußsensibilität zurückgeführt werden.

Vielmehr scheint dies auf einen generellen Verlust der peripheren Sensibilitäts- Rezeptor- Funktionen einschließlich der Muskelspindeln hinzuweisen (110).

Größere Instabilitäten treten auch nach dem Ausschalten des visuellen Systems z.B. durch das Schließen der Augen auf (60,110).

Während der Untersuchung auf der Kraftmessplatte ist absolute Ruhe indiziert. Akustische Reize führten zu einer messbaren negativen Beeinflussung des Ergebnisses.

Die Durchführung von 2 Gewöhnungsmessungen vor den eigentlichen 5

Normalmessungen erwies sich als sinnvoll.

Es konnte ein deutlicher Gewöhnungseffekt mit messbarer Verbesserung der Balancefähigkeit registriert werden.

Nicht alle Probanden waren in der Lage, einen Einbeinstand von 15sek. Dauer zu absolvieren. Einige hatten Schwierigkeiten, die Gesamtzahl von 7 Messungen je Seite durchzustehen.

Insbesondere Diabetiker zeigten sich von dieser Messanordnung an ihre Grenzen geführt. Die aus diesem Grunde zum Einsatz gekommenen beidbeinigen Messungen wurden statistisch nicht in die Auswertung übernommen, zeigten sie doch wesentlich stabilere Standverhältnisse als beim Einbeinstand. Einen Einbeinstand ohne visuelle Kontrolle (mit geschlossenen Augen) hätten deutlich weniger Probanden ausführen können.

Um in nachfolgenden Studien auch Patienten mit ausgeprägteren Gleichgewichtsdefiziten messtechnisch zu erfassen, sollte an die Möglichkeit einer generellen beidbeinigen Messung, evtl. in Kombination mit geschlossenen Augen gedacht werden. Bei dieser Form wäre auch das visuelle Kontrollsystem ausgeschaltet.

Die Objektivität des Messverfahrens ist als hoch einzustufen. Die computergestützte Erfassung und Auswertung der Daten sind relativ unabhängig von der Person des Testleiters.

Kraftmessplatten sind seit Jahren in der klinischen Praxis als Messinstrument eingeführt und ermöglichen reliable Ergebnisse (16,41,83).

In unserer Studie zeigen die Retest- Reliabilitäten ausreichende bis hohe Korrelationen ( $SDx/r$  0,865,  $SDy/r$  0,577,  $Dx/r$  0,774,  $Sxy/r$  0,907). Nur der  $Dy$ -Wert hat keine Korrelation.

Ihre Validität wird durch die Vielzahl der Studien zur Gleichgewichtsermittlung unterstrichen (14,16,60,107,110).

#### 4.2.3 Winkelreproduktionstest

Winkelreproduktionstests gelten in der Medizin als gängiges Messverfahren zur Erfassung des Gelenkstellungssinnes (54,109).

In unserem Fall kam eine speziell angefertigte Messkonstruktion zur Anwendung, die in puncto Reliabilität keinen direkten Vergleich mit anderen Aufbauten zulässt. Literatur bezüglich der Validität dieses Testaufbaues konnte nicht gefunden werden.

Allerdings spricht die häufige Anwendung von Winkelreproduktionstests in klinischen Studien für seine Validität.

Durchgeführt wurde der Winkelreproduktionstest in seiner passiven Variante, d.h. der Testleiter bewegt den Fuß des Probanden. Bei der aktiven Form (Proband bewegt seinen Fuß) kann die zusätzliche Information aus den Muskelrezeptoren das Gelenkstellungsempfinden positiv beeinflussen (54).

Zusätzliche taktile Reize beim Halten der Fußplattform wurden vermieden.

Die Sitzhöhe konnte durch eine fehlende Verstellmöglichkeit nicht in jedem Fall individuell angepasst werden und entsprach somit der genormten Sitzhaltung nur bedingt.

Um eine Einflussnahme durch visuelle Wahrnehmungen zu verhindern, wurde wie bei Jerosch mit geschlossenen Augen gemessen.

Jerosch untersuchte die propriozeptiven Fähigkeiten bei Probanden mit stabilen und instabilen Sprunggelenken unter anderem mit Zuhilfenahme eines Winkelreproduktionstest. Dieser Test wurde allerdings mit einer anderen Versuchsanordnung durchgeführt (Cybex 6000 Testing & Rehabilitation-System). Außerdem mussten die Probanden liegend 3 verschiedene Inversionsgrade ( $5^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $20^\circ$ ) mit einer definierten Bewegungsgeschwindigkeit aktiv reproduzieren.

Der Test ergab hoch signifikante ( $p < 0.01$ ) Unterschiede der Messwerte zwischen den stabilen und instabilen Gelenken (53).

Im Gegensatz zu Jerosch wurde die Bewegungsgeschwindigkeit zum Erreichen der Winkelstellung variiert. Auf diese Weise konnte eine Einschätzung der Winkelposition über den Faktor Zeit vermieden werden.

Die Objektivität des Tests sollte durch die Konstanz der Untersuchungsbedingungen gewährleistet sein. Keine Korrelation zeigen die Messwerte für die Retest-Reliabilität in unserer Studie.

#### 4.2.4 *Druckverteilungstest*

Eine Druckverteilungsmessung kann in unterschiedlicher Form durchgeführt werden. Neben der hier praktizierten dynamischen Messung gibt es noch die statische Messform. Eine dynamische Aufzeichnung entspricht jedoch in höherem Maße dem natürlichen Gangbild und somit den tatsächlich vorliegenden Druckverhältnissen.

Die sog. „first- step- Methode“ ist zwar in der praktischen Umsetzung leichter, führt aber zu anderen Druckverteilungsmustern als bei Messungen aus dem Gang (23,69).

Eine Studie von Hayes und Seitz untersucht die klinische Relevanz der first-step- Methode im Hinblick auf die Differenzierungsfähigkeit von Diabetikern mit und ohne Neuropathie (48). Ihre Ergebnisse führen zu dem Schluss, dass Maximaldruck- Verteilungsbilder allein keine ausreichende Information zur Unterscheidung liefern. Sie empfehlen, die Analyse der dynamischen Prozesse (Druckzeitintegral, Ganggeschwindigkeit) einzubeziehen.

In unserem Testaufbau wurde eine Gehstrecke von 5 Schritten (midgait method) bis zur Messplattform festgelegt.

Aufgrund der häufigen Fehlversuche, die Platte ordnungsgemäß zu treffen und der damit verbundenen Belastungssituation für den einzelnen Probanden, sollte bei weiteren Untersuchungen eine Reduzierung der Schrittzahl auf 2 bzw. 3 erfolgen. Die Fehlerquote der Messungen könnte damit- bei

gleichbleibender Qualität des Abdruckes- vermutlich reduziert werden. Da die Umgebungsvariablen für alle Probanden gleich waren und ein Computerprogramm durch den Test führte, muss von einer hohen Objektivität ausgegangen werden. Druckverteilungsmessungen sind in der klinischen Forschung als reliable und valide Verfahren einzustufen (20,23,70,75,76). Die Retest- Reliabilitäten unserer Studie ergeben für contact area (r 0,992), force-time- integral (r 0,998) und maximal force (r 0,982) eine hohe Korrelation. Die übrigen Parameter zeigen zufriedenstellende r-Werte (ctt/r 0,751, ppt/r 0,889).

#### 4.2.5 Stabilitätstest (*Biodex- Stability- Test*)

Das *Biodex- Stability- System* ist ein Test- und Trainingssystem zur Beurteilung und Beeinflussung des Gleichgewichtsvermögens. Es quantifiziert Daten über die statische und dynamische Gleichgewichtsfähigkeit. Neben der dynamischen Gelenkstabilität wird auch die unilaterale Haltungsstabilität angesprochen. Um dieses System insbesondere als Trainingsgerät nutzen zu können, lässt sich über die Variation der Fußplattenstabilität der Schwierigkeitsgrad individuell verändern. D.h. der Bewegungsaufwand des Probanden zur Einstellung seines Gleichgewichtes kann durch Wahl der Stabilitätsstufe vom Wert 8 (größte Kippsicherheit) bis zum Wert 1 (größte Instabilität) beeinflusst werden.

Einbeinige Messungen konnten bei insgesamt 4 Probanden nicht durchgeführt werden. Hierunter waren eine Person der Kontrollgruppe, 2 Diabetiker non NP und 1 Diabetiker NP.

Die Stabilitätsstufe in der Gruppe der Gesunden lag im Durchschnitt bei 2,5. Diabetiker non NP erreichten Stufe 4,0 und die Diabetiker NP konnten lediglich mit dem Durchschnittswert 5,6 gemessen werden. Da die Belastungsstufen individuell angepasst werden mussten, kann ein direkter Gruppenvergleich nur vor diesem Hintergrund erfolgen.

Eine vorläufige Studie von Testerman und Vander Griend, bei der es um die Auswertung von Knöchelinstabilitäten mit Hilfe des *Biodex- Stability- Systems* ging (102), bezeichnet das Messsystem als ein nützliches Werkzeug bei dem Versuch, objektiv propriozeptive Funktionen zu messen.

Mattacola setzt das Messsystem zur Feststellung der Standsicherheit nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes ein (64).

Folgende Autoren verwendeten in letzter Zeit das *Biodex- Stability- System* für ihre Untersuchungen: Pendergrass et al.(81), Sieri, Beretta (94), Paterno et al. (80).

Sieri T. untersucht die Risikofaktoren des Fallens bei alten Pflegeheimbewohnern.

In seiner Studie misst er die Probanden auf Stabilitätsstufe 8 jeweils 5 Sekunden. Die Untersuchung von Pendergrass T.L. bestimmt den Overall Stability Index vor und nach einem Zwei- Meilenlauf im Vergleich zu einem klinischen Gleichgewichtstest. Beide erreichten eine Signifikanz von  $p < 0.05$ .

Insbesondere dieses System fordert von den Probanden neben einer hohen Konzentrationsfähigkeit auch ein Mindestmaß an koordinativen Fähigkeiten. D.h. Gleichgewichtsfähigkeit, Reaktionsfähigkeit, Orientierungsfähigkeit und Differenzierungsfähigkeit müssen ebenso wie ausreichende konditionelle Fähigkeiten (Kraft, Schnelligkeit, Ausdauer und Beweglichkeit) vorhanden sein.

Schwierigkeiten, den dynamischen Anforderungen dieses Tests gerecht zu werden, traten insbesondere bei den untrainierten, älteren Probanden auf. Auf Seiten der Diabetiker muss das Risiko einer Verletzung an den Füßen, die möglicherweise bei einem Abrutschen von der Fußplatte entsteht, berücksichtigt werden.

Die relativ hohen Belastungen des Biodex- Stability- Systems konnten weiterhin durch eine fehlende visuelle Kontrolle gesteigert werden. In der Testgestaltung wurde der Blick auf ein Kontrollbild im Display durch Wegklappen des Bildschirms verhindert. Der Proband wurde angewiesen, wie zuvor bei der Durchführung des Stabilitätstest auf der Kraftmessplatte, seinen Blick auf eine Markierung an der gegenüberliegenden Wand zu richten.

Es zeigte sich- vergleichbar mit den Ergebnissen auf der Kraftmessplatte- ein deutlicher Gewöhnungseffekt. Die Gesamtbelastung dieses Messsystems (Durchführung von 2 Gewöhnungsmessungen und 5 „Normalmessungen“ auf jedem Bein) ist höher einzustufen als diejenige auf der Kraftmessplatte.

Wie schon im Fall der Kraftmessplatte sollte an die Möglichkeit einer generellen beidbeinigen Messung gedacht werden.

Außerdem ist die Wahl einer einheitlichen Stabilitätsstufe, die sich an den Gleichgewichtsfähigkeiten der Gesamtgruppe „Diabetiker im beidbeinigen Stand“ orientieren sollte, zu favorisieren.

Dies wäre sowohl dem Sicherheitsaspekt als auch einem dann möglichen statistischen Vergleich zwischen den Testpersonen und zwischen verschiedenen Gruppen dienlich.

Die Objektivität des Tests ist im Hinblick auf gleiche Umgebungsbedingungen, computergeführte Durchführung und Auswertung gegeben. In der Durchführungsobjektivität reduzieren störanfällige Testbedingungen (z.B. Abrutschen des Probanden von der Messplatte oder die Angst davor) und damit verbundene Unterbrechungen des Testablaufes den Wert.

Der A/P Stability-Index im Retest ergibt eine zufriedenstellende Korrelation ( $r = 0,786$ ). OSI und M/L SI zeigen keine Korrelation.

#### 4.2.6 Retest-Reliabilität

Die Retest-Reliabilität der 5 Untersuchungsverfahren wurde in der Gruppe der Gesunden bestimmt. Das Zeitintervall von 8 Monaten wurde gewählt, um die Wahrscheinlichkeit von Erinnerungseffekten zu reduzieren. Bei den gemessenen Fähigkeiten handelt es sich um relativ stabile Merkmale. Es ergaben sich keine Hinweise für das Vorliegen beeinflussender Ereignisse (z.B. Verletzungen der unteren Extremitäten, Erkrankungen des Innenohres, etc.) in diesem Zeitraum.

### 4.3 Ergebnisse

#### 4.3.1 Sensibilitätstest (siehe auch 4.2.1)

Vergleiche mit den Ergebnissen anderer Studien sind nur bedingt möglich, da häufig nur 1 bzw. 2 Messpunkte mittels unterschiedlicher Messinstrumente in die Untersuchungen einbezogen werden (25,56).

Differierende Diagnosekriterien der DPN führen weiterhin zu divergierenden Gruppenzuordnungen.

Bei Betrachtung der Gesamtsensibilitäts- Mittelwerte an allen 5 spezifischen Messpunkten der Fußsohle (Abb.33) fallen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung die signifikanten Unterschiede zwischen den 3 Gruppen auf.

Diabetiker, ob mit oder ohne Neuropathie, zeigen signifikant niedrigere Drucksensibilitätswerte gegenüber den Gesunden (Diabetiker NP/Gesunde:  $p < 0.001$ ; Diabetiker non NP/Gesunde:  $p < 0.004$ ).

Auch die Werte der Diabetiker NP liegen signifikant unter denen der Diabetiker non NP (Diabetiker NP/Diabetiker non NP:  $p < 0.001$ ).

Diese deutliche Verminderung der Fußsensibilität konnte auch in anderen Studien bestätigt werden (109).

Im folgenden Vorher- Nachher- Vergleich der Gesamtsensibilitäts- Mittelwerte (Abb.34) können keine signifikanten Verbesserungen in den beiden Diabetikergruppen (Diabetiker non NP /Diabetiker NP) verifiziert werden.

Unerwarteterweise verschlechtert sich bei den Gesunden der Gesamtsensibilitätswert signifikant (MW: vorher 3.9949, nachher 4.1906;  $p < 0.008$ ).

Betrachtet man die Messpunkte im Einzelnen (Abb.35), so fallen bei der Voruntersuchung für jeden von ihnen signifikante Unterschiede im Gruppenvergleich auf.

Nur die gemessenen Unterschiede zwischen Gesunden und Diabetikern non NP im Vorfußbereich sind nicht signifikant.

D.h. die Drucksensibilität der Diabetiker non NP ist gegenüber den Gesunden

im Bereich Hallux, Mittelfuß und Ferse schon deutlich reduziert.

Der Vorfuß des Diabetikers mit Neuropathie zeigt neben der signifikanten Reduzierung seiner Sensibilität insbesondere eine Umkehrung der Verhältnisse zwischen Hallux und Ferse. Während bei Gesunden und Diabetikern non NP der Hallux eine größere Sensibilität als die Ferse besitzt, führt die fortgeschrittene Neuropathie beim Diabetiker NP zu einer Reduzierung dieser Fähigkeiten im Hallux noch unter das Niveau der Fersenregion. Diese Umkehrung der physiologischen Verhältnisse trifft auch für den medialen Vorfuß zu (Abb.35).

Insgesamt fällt beim neuropathischen Fuß eine den medialen Fußsohlenbereich bevorzugende Sensibilitätsstörung auf.

Es kommt dadurch zu einer relativen Verschiebung der sensibleren Fähigkeiten nach Vorfuß lateral und Ferse.

Der Mittelfuß bleibt in den 3 Gruppen die sensibelste aller Regionen.

Die in dieser Studie beobachtete Bevorzugung einer medialen Vorfuß-Sensibilitätsverminderung kann aus vorgenannten Gründen nicht anhand anderer Studien bestätigt werden.

Bei Betrachtung der einzelnen Messpunkte im Vorher- Nachher- Vergleich sind im Fersenpunkt keine signifikanten Verschiebungen nachzuweisen.

Auffällig und signifikant dagegen verbessern sich die sensiblen Parameter der Diabetiker NP an Hallux ( $p < 0.028$ ), Mittelfuß ( $p < 0.046$ ) sowie Vorfuß lateralis ( $p < 0.028$ ). Tendenzielle Sensibilitätssteigerungen sind außerdem im Messpunkt „Vorfuß medialis“ feststellbar.

Diese Ergebnisse sind insbesondere vor dem Hintergrund der spezifischen Druckkraftverteilung von Semmes- Weinstein- Monofilamenten im höheren Filamentstärkenbereich beachtenswert (Tab.4),

denn der logarithmische Aufbau des Druckanstieges von Monofilamenten führt zu einer feineren Skalierung im sensibleren Messbereich.

D.h. aufgrund der gröberen Einteilung im unsensibleren Messbereich können Unterschiede im Vorher- Nachher- Vergleich ungleich schwerer dargestellt werden als im Messbereich von Gesunden und Diabetikern non NP.

Diese messtechnische Besonderheit mag auch für die Veränderungen in der Gruppe der Gesunden mitverantwortlich sein.

Die zu Screeningzwecken empfohlene Filamentstärke  $5.07 \log_{10}(g)$  erscheint vor dem Hintergrund der signifikant reduzierten Sensibilität in der Diabetikergruppe non NP und einem möglichst therapeutischen Ansatz als zu hoch gewählt.

Yukihiro Nagai favorisiert in diesem Zusammenhang die Verwendung eines 4 g Monofilamentes (114), Saltzman die Filamentstärke 4,5g (88).

Ein Vergleich mit anderen Studien ist aufgrund des speziellen Studiendesigns mit dem spezifischen Trainingprogramm im Vorher- Nachher- Vergleich nicht möglich.

4.3.2 *Stabilitätstest (Kraftmessplatte) (siehe auch 4.2.2) und (Biodex- Stability- Test) (siehe auch 4.2.5)*

Auf der Kraftmessplatte sind bei allen 3 Parametern, die die Schwankung des Körperschwerpunktes beschreiben, signifikante Unterschiede zwischen den Gesunden und den Diabetikern mit Neuropathie festzustellen.

Der Gesamtschwankungsweg **S<sub>xy</sub>** des Diabetikers NP ist signifikant (p0.010) länger als derjenige des Gesunden, wobei der Diabetiker non NP hier eine Mittelstellung einnimmt (Abb.49).

Die Maximalwerte der Schwankungsamplitude in beiden Richtungen (**dx** bzw. **dy**) zeigen für den Diabetiker ebenfalls höhere Werte. Signifikant ist der Vergleich zwischen Gesunden und Diabetikern NP sowohl für **dx** (p0.042) als auch **dy** (p0.021) (Abb.45).

Auch der dritte Testparameter, die Streuung der Messwerte um den Mittelwert auf beiden Bewegungsachsen (**SD<sub>x</sub>** bzw. **SD<sub>y</sub>**), macht die reduzierte Balancefähigkeit des Diabetikers sichtbar. Signifikant ist hier der Vergleich zwischen dem **SD<sub>y</sub>**-Wert der Gesunden mit dem der Diabetiker NP (p0.005) (Abb.41).

Eine Verlängerung des Gesamtschwankungsweges, die Vergrößerung der maximalen Schwankungsamplitude und die Zunahme der Streuung sind Indizien einer vorliegenden Standunsicherheit.

Boucher bestätigt diesen Zusammenhang in seiner Studie zur Haltungsstabilität von Diabetikern mit Neuropathie. Neuropathische Patienten zeigten selbst mit visueller Kontrolle ihres Standes ähnliche oder schlechtere Parameter als Kontrollpersonen ohne Sicht (14).

Auffällig ist, dass sowohl die Werte des maximalen Schwankungsweges, als auch die der Streuung um den Mittelwert in Richtung x-Achse (anterior-posterior) höher als in Richtung der y-Achse sind.

Diese Besonderheit der Instabilität wird auch in anderen Untersuchungen bestätigt (41,95,97).

Allum liefert eine mögliche Erklärung für dieses Phänomen. Er vermutet, dass für die Bewältigung der Standsicherheit insbesondere die stärker einbezogene Hüft- und Rumpfmuskulatur verantwortlich ist. Beiden Muskelgruppen kämen beim Auslösen von Gleichgewichtskorrekturen eine besondere Aufgabe zu.

Propriozeptive Inputs aus den unteren Beinregionen würden hauptsächlich die Abschlussprüfung sowie die intermuskuläre Koordination des Standes und der Gangbewegung unterstützen (3).

Die Hüftmuskulatur ist für die Aufrechterhaltung der Standsicherheit effektiver in medio-lateraler als in anterior-posteriorer Richtung einsetzbar.

In allen 3 Gruppen ist diese Auffälligkeit zu beobachten (Abb.41/45).

Dabei nehmen die Differenzen beider Richtungen über die Diabetiker non NP und Diabetiker NP zu.

Im Vorher- Nachher- Vergleich der Ergebnisse können keine signifikanten Veränderungen verifiziert werden. Die Messungen der 3 Parameter offenbaren insbesondere in der Gruppe der Diabetiker NP hohe Standardabweichungen, die anschaulich im jeweiligen 95% Konfidenzintervall (Abb.43,44,47,48,51) demonstriert werden.

Im Unterschied zur Kraftmessplatte ist die Stabilität der Biodex- Messeinrichtung über verschiedene Stufen variierbar.

Die Stabilitätsstufen des Biodex- Stability- Testsystems wurden den individuellen Fähigkeiten zur Gleichgewichtseinstellung der Testpersonen angepasst. In der Gruppe der Gesunden lag die Stabilitätsstufe im Durchschnitt bei 2,5. Diabetiker non NP erreichten Stufe 4,0 und die Diabetiker NP konnte lediglich mit dem Durchschnittswert 5,6 gemessen werden. Ein Wert von 8 stellt den höchsten Grad von Stabilität dar, der Wert 1 steht dagegen für die größte Instabilität.

Der benötigte Bewegungsaufwand zur Gleichgewichtseinstellung war in der Gruppe der Diabetiker somit bedeutend geringer als bei den Gesunden.

Ein direkter Gruppenvergleich ist deshalb nur eingeschränkt möglich.

Auffällig sind die differierenden Leistungen in der Diabetikergruppe für den Bewegungsumfang auf der y-Achse (Anterior / posterior Stability Index) und x-Achse (Medial/lateral Stability Index).

Beide Diabetikergruppen zeigen in der Voruntersuchung mehr Stabilität in medio-lateraler als anterior- posteriorer Richtung (Abb.144).

Vergleichbare Beobachtungen konnten bereits auf der Kraftmessplatte gemacht werden.

Auf der Biodex - Messeinrichtung sind diesbezüglich keine Unterschiede in der Gruppe der Gesunden zu erkennen (Abb.144).

Im Vorher- Nachher- Vergleich des Overall Stability Index (SI)

( Standardabweichung der Plattformneigung in Grad ) über alle drei Gruppen ergeben sich keine bedeutsamen Unterschiede (Abb.148,151,154).

In der Gruppe der Diabetiker non NP steht einer signifikanten Verbesserung des AP-Index ( $p=0.028$ ) eine signifikante Verschlechterung des ML-Index ( $p=0.046$ ) gegenüber (Abb.152,153).

Die Veränderungen in der Gruppe der Diabetiker NP zeigen einen vergleichbaren Trend. Bei signifikanter Verbesserung des AP-Index-Wertes ( $p=0.039$ ) kommt es zu einer bedeutsamen Reduzierung der Stabilität auf der x-Achse ( $p=0.043$ ) (Abb.155,156).

Diese zu beobachtende Umkehrung des Verhältnisses von AP-/ ML-Index bei Gesunden und Diabetikern in der Nachuntersuchung ist nicht nachvollziehbar.

#### 4.3.3 Winkelreproduktionstest (siehe auch 4.2.3)

Diabetiker zeigen gegenüber gesunden Probanden eine signifikant schlechtere Winkeleinschätzung im oberen Sprunggelenk (Gesunde/ Diabetikern non NP:

p0.039; Gesunde/ Diabetikern NP: p0.020) (Abb.52).

Die Gruppe der Diabetiker NP bildet hierbei das Schlusslicht.

Andere Autoren bestätigen diese Ergebnisse in ihren Studien (96,109,110).

Da jede Untersuchungsgruppe ein eigenes Messverfahren samt Messvorrichtung zur Anwendung bringt, ist ein direkter Wertevergleich nicht möglich.

Im Vorher- Nachher- Vergleich der mittleren absoluten Winkelabweichung zwischen Diabetikern und Gesunden ist eine signifikante Verbesserung auf Seiten der Diabetiker nachweisbar (p0.041).

Nach Differenzierung der Diabetikergruppe in non NP und NP bleibt eine Verbesserungstendenz zu erkennen, die allerdings nicht signifikant ist.

Die häufigste Form der diabetischen Polyneuropathien ist die distalsymmetrische sensible oder sensomotorische Polyneuropathie (DSP). Bei schleichendem Beginn nimmt sie einen chronisch progredienten Verlauf. Abgeschwächte oder fehlende Muskeleigenreflexe, Sensibilitätsstörungen, sensible Ataxie mit Gang- und Standunsicherheit sowie eine reduzierte Nervenleitgeschwindigkeit kennzeichnen das klinische Bild (18).

Diese Entwicklung ist vermutlich in der Gruppe der Diabetiker für den messbaren Verlust an propriozeptiver Leistungsfähigkeit für alle genannten Qualitäten verantwortlich zu machen.

Van Deursen formuliert es so: „*The reduced postural stability in persons with diabetic neuropathy cannot be attributed exclusively to loss of plantar cutaneous sensation; it appears to be the result of a general loss of peripheral sensory receptor function in the lower legs, including that of the muscle spindles.*”

(110)

#### 4.3.4 Druckverteilungstest (siehe auch 4.2.4)

Bei Betrachtung der Ganggeschwindigkeiten zur Messplattform fällt der signifikante Unterschied zwischen den Gesunden und den Diabetikern auf.

Gesunde (1,24m/s) bewegten sich signifikant (p0.024) schneller als Diabetiker in Richtung Druckmessplatte. Im direkten Vergleich „Gesunde vs. Diabetiker NP“ wird dieses Verhältnis noch deutlicher (p0.003).

Die Ganggeschwindigkeit betrug bei den Diabetikern non NP 1,19m/s und bei den Diabetikern NP 1,08m/s.

Diabetiker mit DPN weisen vielfältige Veränderungen der Gangparameter auf (57,59,87), die sich unter anderem in einer verringerten Ganggeschwindigkeit, geringerer Knöchelbeweglichkeit, längeren Standphasen und veränderten muskulären Aktivierungsabläufen bemerkbar machen. Dieses trägt vermutlich zu einer abnormalen Druckverteilung mit Überbetonung des Vorfußes bei.

Veränderungen der Gangparameter können zu Verletzungen der Füße führen, die ihrerseits die Entstehung von diabetischen Ulzera begünstigen.

Eine Untersuchung von Cavanagh setzte die statische Fußstruktur in Beziehung zur dynamischen Fußfunktion. Er kam zu dem Ergebnis, dass unter gesunden Individuen in nur 35% plantare Druckverhältnisse durch Röntgenbilder der Fußstruktur erklärbar seien. Den bedeutenderen Einfluss auf plantare Druckverhältnisse habe die Dynamik des Ganges (19).

Auch der Einfluss des Körpergewichtes auf die gemessenen Druckparameter muss erwähnt werden. Die Diabetikergruppe hatte ein Durchschnittsgewicht von 87,5kg. Wobei die Diabetiker NP mit 90,5kg noch vor den Diabetikern ohne Neuropathie (85,6kg) lagen. Das Durchschnittsgewicht innerhalb der Kontrollgruppe lag bei 82,5kg.

Sokol G. untersuchte den Zusammenhang zwischen zusätzlichem Gewicht (0, 10, 20 und 30kg) und Druckverteilungsmustern bei Diabetikern NP im Vergleich zu Gesunden.

Er fand keine signifikanten Unterschiede des maximalen Druckes unter der Ferse bei Veränderungen desselben im Vorfußbereich. Diabetiker zeigten schon einen höheren Maximaldruck ohne zusätzliche Gewichtsbelastung. Sie erreichten ein Plateau auf der 10kg Ebene, welches in den weiteren Stufen nicht weiter anstieg (98). Der Zusammenhang zwischen Körpergewicht und dem plantaren Spitzendruck ist noch nicht ausreichend geklärt. Die Ergebnisse der Studien resultieren aus einer künstlich herbeigeführten Gewichtsbelastung und entsprechen somit nicht den physiologischen Adaptationsprozessen der Gewichtszunahme über die Zeit.

Obwohl die durchschnittlich aufgesetzte Kontaktfläche des gesamten Fußes (contact area) auf der Druckmessplatte in den 3 Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung ohne signifikante Unterschiede ist, zeigen die Mittelwerte der contact area die größte Fläche bei den Gesunden (144,91cm<sup>2</sup>), gefolgt von den Diabetikern non NP (134,56cm<sup>2</sup>) und schließlich den Diabetikern NP mit der kleinsten Kontaktfläche (130,44cm<sup>2</sup>).

Diabetiker verteilen höhere Gewichtskräfte auf kleinere Kontaktflächen. Eine Entwicklung höherer Druckkräfte ist unausweichlich.

Auch im Vorher- Nachher- Vergleich der Kontaktflächen zeigen sich keine signifikanten Unterschiede. Betrachten wir jedoch die Mittelwerte, so fällt in der Gruppe der Diabetiker eine Vergrößerung der contact area auf: bei den Diabetikern non NP von vorher 134,56cm<sup>2</sup> auf 136,38cm<sup>2</sup> und bei den Diabetikern NP von 130,44cm<sup>2</sup> auf 131,56cm<sup>2</sup>.

Aufgrund der hohen Standardabweichungen sind diese Unterschiede jedoch nicht signifikant.

Bei den Kontaktflächendifferenzen der einzelnen Fußareale sind im Gruppenvergleich keine signifikanten Unterschiede messbar.

Der Mittelwertvergleich zeigt bei den Diabetikern im Vergleich zu den Gesunden generell kleinere Kontaktflächen. Am deutlichsten sind diese Unterschiede über Mittelfuß lateral, Vorfuß medial und lateral sowie Hallux.

Bei Betrachtung der einzelnen Fußareale im Vorher- Nachher- Vergleich (Abb.72-81) fällt lediglich eine signifikante Vergrößerung im Bereich des Vorfußes lateralis der Diabetiker non NP ( $p=0.044$ ) auf. Die weiteren Differenzen sind weder tendenziell noch signifikant.

Diabetiker haben einen länger andauernden Abrollvorgang des Fußes (Gesamtkontaktzeit) als Gesunde.

Im Mittelwertvergleich zeigen die Gesunden den kürzesten Kontakt mit 705,71ms, gefolgt von den Diabetikern non NP (728,44ms) und den Diabetikern NP mit 734,30ms.

Bei Auswertung des Vorher- Ergebnisses (Abb.82), wie auch im Vorher- Nachher- Vergleich (Abb.83) sind aufgrund der hohen Standardabweichungen keine signifikanten Unterschiede bzw. Veränderungen verifizierbar.

Die einzelnen Fußareale weisen keine signifikanten Differenzen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung (Abb.84-87) sowie im Vorher- Nachher- Vergleich (Abb. 88-97) auf.

Vergleicht man die Einzelkontaktzeiten der Fußareale, so ist eine Verschiebung in Richtung der weniger sensibleren Sohlenabschnitte zu beobachten.

D.h. der Verlust an Sensibilität beim Diabetiker NP führt zu einer längeren Kontaktzeit im jeweiligen Fußabschnitt.

Nurse beschreibt in einer Untersuchung den Zusammenhang zwischen Berührungs- und Vibrationsempfindlichkeit und den plantaren Druckverteilungsmustern beim Gehen (75).

Er kommt zu dem Ergebnis, dass eine hohe Sensibilität im Bereich der Fußsohle mit höheren Spitzendrücken unter dem Hallux verbunden ist. Dieser Trend sei auch an Ferse, seitlichem Bogen und dem ersten Mittelfußkopf zu erkennen.

Nurse vermutet, dass der Körper auf externe Reize über Wahrnehmung und Anpassungsvorgänge im Gangmuster defensiv reagieren kann.

In einer weiteren Studie von Nurse wird die Auswirkung von Änderungen der Fußempfindungen auf die plantaren Druckverhältnisse und Muskelaktivitäten untersucht. Eine Reduzierung der sensorischen Rückmeldung der Hautrezeptoren mittels Eis Anwendung erhöhte die Vibrationsschwellen. Spitzendruck und Druckzeitintegral waren in den Bereichen normaler Sensibilität bedeutend höher, hingegen in den unsensibleren Abschnitten niedriger.

Das Zentrum des Druckes verschob sich an der Fußsohle von den Bereichen verminderter Sensibilität weg, wenn die sensorische Zufuhr an einem Teil des Fußes reduziert wurde. Auch die Muskelaktivität reagierte signifikant auf die reduzierte Sensorik (76).

Eine Untersuchung von Eils E., die ebenfalls den Einfluss reduzierter plantarer Empfindung auf das Druckverteilungsmuster beim Gehen untersuchte, kam zu folgendem Ergebnis:

Unter Eisbedingungen konnten beträchtliche Veränderungen des Druckverteilungsmusters während des Abrollvorganges des Fußes festgestellt werden. Der Spitzendruck reduzierte sich unter den Zehen und der Ferse signifikant. Kontaktzeit und relativer Impuls des ganzen Fußes veränderten sich

nicht. Bei Betrachtung der einzelnen Fußareale fiel eine Lastumverteilung von der Ferse und den Zehen in Richtung zentraler und lateraler Vorfuß sowie lateraler Mittelfuß auf (29).

Ob allerdings die Auswirkungen dieses Kühlvorganges, in beiden Untersuchungen zur Sensibilitätsminderung, den tatsächlichen Bedingungen bei einer DPN entsprechen, sollte kritisch betrachtet werden.

Die beim Abrollvorgang des Fußes auftretende maximale Kraft (maximal force) liegt im Mittelwert über alle Gruppen bei 880,26N. Alle dokumentierten Unterschiede sind nicht signifikant. Bei genauerer Betrachtung im Vorher-Nachher- Vergleich ist jedoch eine tendenzielle Reduzierung der maximalen Kraft in der Gruppe der Diabetiker non NP ( $p < 0.051$ ) im Mittelfußbereich lat. (Abb.107) und bei den Diabetikern NP ( $p < 0.075$ ) im Bereich der 3.-5.Zehe (Abb.113) messbar.

An Diabetikerfüßen sind höhere Spitzendrucke messbar als an denjenigen von Gesunden.

Im Mittelwertvergleich zeigen Gesunde einen Wert von 62,95kPa. Diabetiker non NP liegen mit 72,94kPa noch unterhalb des höchsten Spitzendrucks, den die Diabetiker mit Neuropathie (74,57kPa) aufweisen.

Im Vorher- Nachher- Vergleich reduziert sich der Spitzendruck in der Diabetiker- Gruppe NP von 74,57kPa auf 66,81kPa und damit noch unter den Wert der Diabetiker non NP.

Sowohl die Unterschiede des Vorher- Vergleichs (Abb.114), als auch die des Vorher- Nachher- Vergleichs (Abb.115) erreichen nicht Signifikanzniveau.

Die Hauptlast des gesunden Fußes liegt medial auf dem Calcaneus und dem Caput des 1. Metatarsalknochens.

Diabetiker weisen im Vorfußbereich erhöhte Spitzendrucke auf (Abb.118).

In unserer Studie zeigen die Diabetiker non NP auffällige Werte über Vorfuß zentral und lateral. Die Diabetiker NP lassen im Bereich des Vorfußes medial erhöhte Werte neben einer Spitzendrucksteigerung über Mittelfuß medial erkennen (Abb.117). Auch Hallux und der Bereich der 2.Zehe stehen bei ihnen unter höherem Druck (Abb.119).

Betrachten wir die Fortentwicklung und Verteilung des plantaren Druckes beim Typ 2 Diabetiker, so ergibt sich eine Erhöhung des Spitzendrucks über die Zeit und eine Zentralisierung in Richtung der Mittelfußköpfe 2-5, die im Allgemeinen für die Geschwürsbildung prädestiniert sind (39).

Eine Abnahme des Spitzendrucks unter den Zehen wie in anderen Untersuchungen beobachtet (20,23) kann in dieser Studie nicht bestätigt werden.

Vermutlich sind die Veränderungen einer vorangeschrittenen diabetischen Fußsyndromentwicklung (Ausbildung eines Hohlfußes, Krallenzehebildung) neben den spezifischen Gangänderungen für die Spitzendruckabnahme in obigen Studien verantwortlich.

Unsere Diabetikergruppe NP hat einen AI von 0,22 (Fußformindex nach

Cavanagh) und damit Normalfußkonfiguration ( $0,21 < AI < 0,26$ ).

Kwon O.Y. beschreibt in seiner Arbeit die Komplexität der Kompensationsmechanismen bei vermindertem sensorischen Informationsfluss von Knöchel und Fuß. Der Diabetiker NP versucht über spezifische Gangänderungen ein sicheres und stabileres Gangmuster zu entwickeln. Kwon nimmt an, dass die vorzeitige Aktivierung von M. soleus sowie Caput mediale des M. gastrocnemius zur anormalen Druckverteilung des Vorfußes beiträgt (59).

Der Fuß wird durch Gastrocnemius und Soleus adduziert. Wenn er dabei zugleich auf den Boden gedrückt wird, stößt der Muskel den Körper beim Gehen nach vorne, bzw. beim Springen nach oben. Letztlich führen sie zu einer Plantarflexion.

Abboud R.J. stellt eine Kontraktionsverzögerung des M.tibialis anterior von 180ms bei Diabetikern gegenüber Gesunden fest. Dieser Muskel ist für die Dorsalflexion, Adduktion und Supination des Fußes verantwortlich.

Der verspätete Einsatz des M. tibialis anterior stört die natürliche Absenkbewegung des Fußes nach dem Aufsetzen der Ferse (1).

Beide Mechanismen könnten in ergänzender Weise für die Druckverteilungsänderungen des Vorfußes mitverantwortlich sein.

Die höchsten relativen Impulswerte sind in den 3 Gruppen jeweils unter dem Vorfuß und der Ferse messbar.

Bei Betrachtung des Vorfußes ergibt sich die Impulswertabfolge:

Vorfuß lateral- Vorfuß medial.

Eine Umverteilung deutet sich in der Gruppe der Diabetiker NP an.

Hier ist die Abfolge:

Vorfuß medial- Vorfuß lateral

Neben dem Impulsanstieg medial und der Impulsreduzierung lateral ist eine Angleichung und zugleich Anhebung der Kräfte über dem Vorfußbereich zu beobachten.

In vergleichbarer Weise verschiebt sich die Rangfolge der maximal wirkenden Kraft und des Spitzendruckes über dem Vorfuß.

Impuls, Spitzendruck und max.wirkende Kraft sind auch über den Messpunkten „Hallux“ und „2.Zehe“ höher als in den Vergleichsgruppen.

Diese Ergebnisse entsprechen einer eher medialen Verlagerung der Kräfte, wie sie auch bei Cterceko beobachtet wurde (22).

An der Ferse befindet sich der größere Impuls in allen Gruppen medial (Abb.132). Unterschiede zwischen Gesunden und Diabetiker NP sind in diesem Bereich nicht auszumachen.

Es ist anzunehmen, dass die diabetesspezifischen Veränderungen in erster Linie Auswirkungen auf den Vorfußbereich zeigen.

Nach Auswertung der Ergebnisse zum relativen Impuls fällt eine signifikante

Reduktion bei den Diabetikern non NP im Mittelfuß lat. Bereich (p0.038) des Vorher- Nachher- Vergleiches auf (Abb.137).

Im Gegensatz dazu erhöht sich bei den Diabetikern NP im Vorfußbereich lat. (p0.075) der Impuls tendenziell.

Auch die limited joint mobility trägt zur Entwicklung des diabetischen Fußsyndroms bei.

Eine Studie von Zimny S. untersucht die Rolle der eingeschränkten Gelenkbeweglichkeit der Füße bei der Entwicklung abnormer Spitzendrucke im Vorfuß bei Diabetikern mit einem Risikofuß. Es zeigte sich eine signifikante Reduzierung in der Beweglichkeit des Knöchel- und ersten Metatarsalgelenkes gegenüber der Gruppe der Diabetiker non NP und den Gesunden.

Die Druck- Zeit- Integral- Werte im Vorfußbereich waren bei den Diabetikern NP signifikant höher (120).

Bus S.A. vergleicht die inneren Fußmuskeln von Diabetikern NP mit denen einer nichtdiabetischen Kontrollgruppe und untersucht den Zusammenhang zwischen Muskelatrophie und Krallen- Hammerzehen- Konfiguration bei neuropathischen Füßen. Er kommt zu dem Schluss, dass neben der sensorischen Neuropathie insbesondere die Folgen der motorischen Neuropathie tiefgreifende Auswirkungen auf den Diabetiker haben. Neben der Bedeutung für die Funktion des Fußes könnte sie eine wichtige Rolle beim Gleichgewicht spielen.

Die Atrophie der inneren Fußmuskeln scheint Zehendeformitäten nicht zu implizieren (18).

In der Landephase des Fußes erfolgt physiologischerweise über die Strukturen des Quergewölbes eine Dämpfung. Ist dieser Mechanismus gestört, kommt es zu einer Dorsalexension im Sprunggelenk und den Zehen. Mit der Abflachung des Quergewölbes geht die Dämpfungsfunktion verloren.

Dies hat neben einer reduzierten Funktionalität die unphysiologische Belastung der mittleren Metatarsalköpfchen zu Folge.

In diesem Zusammenhang spielt auch die Fußform eine nicht unerhebliche Rolle für die gemessenen Parameter.

Wie die Berechnung des Fußformindex nach Cavanagh ergibt, zeigen sowohl die „Gesunden“ als auch die Diabetiker non NP einen Plattfuß. Lediglich die Gruppe der Diabetiker NP ist indexgemäß dem Normalfuß zuzuordnen.

Der Plattfuß hat generell schlechte Dämpfungseigenschaften, er klatscht förmlich auf den Untergrund. Ihm fehlt die Spannkraft für die Bogenspannung. Durch die Überdehnung der Muskeln ist seine Stabilität und Kraftentfaltung beim Abstoßen reduziert.

Für nachfolgende Untersuchungen wäre eine Kontrollgruppe der Gesunden mit Normalfußkonfiguration anzustreben, um die Differenzen noch deutlicher werden zu lassen.

Nach McPoil T.G. und Cornwall M.W. tendieren insbesondere der Normal- und Plattfuß zur Medialverlagerung der Spitzendrucke, wogegen der Hohlfuß eher zu einer Lateralverlagerung neigt (67).

## 5 Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war den Einfluss eines achtmonatigen, spezifischen Trainings auf ausgewählte biokinetische Parameter der Sensomotorik von Typ 2 Diabetikern zu untersuchen.

Das Untersuchungskollektiv bestand aus 15 Diabetikern Typ 2 (7 Frauen, 8 Männer; Alter  $\bar{O}$  64  $\pm$  10 Jahre), deren Erkrankung seit  $\bar{O}$  9,5 Jahren bekannt war und 14 Gesunden (7 Frauen, 7 Männer; Alter  $\bar{O}$  56  $\pm$  7 Jahre). Gemessen wurde jeweils in einer Vor- und Nachuntersuchung. Mithilfe des Semmes-Weinstein-Monofilament 5,07 log<sub>10</sub>(g) erfolgte bei einem Sensibilitätsmittelwert oberhalb dieser Grenze und der Messung an 5 plantaren Messpunkten die Trennung der Diabetiker in zwei Gruppen (Diabetiker ohne Neuropathie: Diabetiker non NP, Diabetiker mit Neuropathie: Diabetiker NP). Es resultierten 9 Diabetiker non NP (6 Frauen, 3 Männer; Alter  $\bar{O}$  63  $\pm$  11 Jahre) und 6 Diabetiker NP (1 Frau, 5 Männer; Alter  $\bar{O}$  66  $\pm$  7 Jahre).

5 Testverfahren kamen zur Anwendung: - Sensibilitätstest (Semmes-Weinstein-Monofilament), - Stabilitätstest (Kistler-Kraftmessplatte), - Winkelreproduktionstest im oberen Sprunggelenk, - Druckverteilungstest (emed ST Druckverteilungsplatte), - Stabilitätstest (Biodex-Stability-System).

Ergebnisse:

Beim Vergleich der Gesamt-Sensibilitätsmittelwerte über alle 5 plantaren Messpunkte vorher zu nachher ergaben sich tendenzielle ( $p < 0,075$ ) Verbesserungen der Sensibilitätswerte bei den Diabetikern NP. Signifikante Anhebungen der Hautdrucksensibilität konnten im Messpunkt Mittelfuß (MW: vorher 5,1442, nachher 4,5608; STABW: 0,8676/0,4211;  $p < 0,046$ ), Vorfuß lateral (MW: 5,5208/4,9992; STABW: 0,9037/0,6580;  $p < 0,028$ ) und Hallux (MW: 6,0225/5,4200; STABW: 0,4496/0,6656;  $p < 0,028$ ) in dieser Gruppe gemessen werden.

Im Winkelreproduktionstest des oberen Sprunggelenkes hatten Gesunde im Vergleich mit Diabetikern non NP ( $p < 0,039$ ) und Diabetikern NP ( $p < 0,020$ ) signifikant niedrigere Winkelabweichungen.

Nach dem spezifischen Training konnte eine signifikante ( $p < 0,041$ ) Reduktion der mittleren absoluten Winkelabweichung aufseiten der Diabetiker verifiziert werden (MW: vorher 2,16, nachher 1,68; STABW: 0,80693/0,37834).

Mittels Stabilitätstest auf der Kraftmessplatte konnten zwar signifikante Unterschiede der Standsicherheit zwischen Gesunden und Diabetikern NP nachgewiesen werden, aufgrund hoher Standardabweichungen speziell in der Gruppe der Diabetiker NP gelang dies jedoch nicht im Vorher- Nachher-Vergleich.

Bei der Druckverteilungsmessung deuten in der Hauptsache Mittelwertdifferenzen die nicht signifikant in Erscheinung getretenen Unterschiede in den Gruppenvergleichen an.

Die contact area des gesamten Fußes z.B. ist bei den Gesunden (144,91cm<sup>2</sup>) am größten und verringert sich über Diabetiker non NP (134,56cm<sup>2</sup>) zu Diabetiker NP (130,44cm<sup>2</sup>).

Bei der Nachuntersuchung fällt eine Zunahme der Gesamt- Kontaktflächengröße in beiden Diabetikergruppen auf (Diabetiker non NP 136,38cm<sup>2</sup>; Diabetiker NP 131,56cm<sup>2</sup>).

In vergleichbarer Weise verhält es sich mit der Messgröße „contact time“. Die Gesunden (705,71ms) zeigen den kürzesten, währenddessen die Diabetiker NP (734,30ms) den längsten Kontakt haben.

Der Diabetiker non NP (728,44ms) nimmt hierbei einen mittleren Platz ein.

Auch bei diesen Messwerten sind hohe Standardabweichungen zu verzeichnen, sodass signifikante Differenzen nicht verifizierbar sind.

Die maximal force liegt im Mittelwert über alle Gruppen bei 880,26N.

Bei genauerer Betrachtung im Vorher- Nachher- Vergleich ist eine tendenzielle Reduzierung der maximalen Kraft in der Gruppe der Diabetiker non NP (p0.051) im Mittelfußbereich lat.und bei den Diabetikern NP (p0.075) im Bereich der 3.-5.Zehe messbar.

Im Mittelwertvergleich des peak pressure zeigen Gesunde einen Wert von 62,95kPa. Diabetiker non NP liegen mit 72,94kPa noch unterhalb des Wertes, den die Diabetiker mit Neuropathie (74,57kPa) aufweisen.

Der Spitzendruck in der Diabetiker- Gruppe NP reduziert sich im Vorher- Nachher- Vergleich von 74,57kPa auf 66,81kPa und fällt damit noch unter den Wert der Diabetiker non NP.

Sowohl die Unterschiede des Vorher- Vergleichs, als auch die des Vorher- Nachher- Vergleichs sind nicht signifikant.

Das spezifische Training führte zu einer Reihe von positiven Veränderungen der sensomotorischen Leistungsparameter bei den Typ 2 Diabetikern. Im Bereich der Hautdrucksensibilität an der Fußsohle und des Gelenkstellungsempfinden im oberen Sprunggelenk waren diese signifikant.

## 6      **Ausblick**

Die Ergebnisse dieser Studie legen nahe, sich auch in weiteren Untersuchungen dem Thema des Einflusses eines spezifischen Trainings auf sensomotorische Fähigkeiten bei Typ 2 Diabetikern zu widmen.

Meiner Kenntnis nach existieren bisher keine vergleichbaren Studien, die den langfristigen Einfluss eines solchen Trainings auf das sensomotorische Leistungsniveau von Diabetikern beschreiben.

Lediglich die Studie von Goldsmith untersuchte den Einfluss eines nicht überwachten häuslichen Bewegungsprogrammes auf die joint mobility und den plantaren Spitzendruck (peak pressure) von Diabetikern (35).

Nach einem Monat Durchführung dieses Programmes kam es zu einer signifikanten Reduktion des peak pressure von 4,2% in der Trainingsgruppe.

Die Probanden der Kontrollgruppe zeigten eine Zunahme des Spitzendruckes um 4,4%.

In unserer Studie reduzierte sich der peak pressure in der Gruppe der Diabetiker NP im MW um 10,41% (von 74,57kPa auf 66,81kPa) allerdings nicht signifikant.

Um die relativ kleinen Messwertdifferenzen zwischen den Gruppen und im Vergleich vor und nach dem Training deutlicher werden zu lassen, müssten zukünftige Studien folgendes berücksichtigen:

Sie sollten sich an den Erkenntnissen der Trainingslehre orientieren und möglichst „ideale Trainingsbedingungen“ anstreben, um ein Optimum an Trainingseffekten zu erzielen.

Sinnvoll wäre auch eine Verknüpfung mit den Zielen der Gewichtsreduktion, um eventuell vorhandene synergistische Effekte mitzunehmen.

Ob und inwiefern motivierende Zusatzangebote in ein solches Konzept miteinfließen sollten, muss diskutiert werden.

Um statistisch relevante Ergebnisse zu erzielen, wäre es wünschenswert, über einen optimalen Stichprobenumfang zu verfügen. In unserem Fall sollte der Stichprobenumfang erhöht werden.

Im Hinblick auf die Gruppe der „Gesunden“ wäre zu diskutieren, ob die individuelle Fußform der Probanden ein Ausschlusskriterium in einer solchen Studie darstellt. Die Gesunden zeigten nach Cavanagh's Fußformindex im Durchschnitt einen Plattfuß.

Wie oben beschrieben, ergeben sich allein durch diese Besonderheit Veränderungen im Belastungsmuster des Fußes (Medialverlagerung der Spitzendrucke) und bei den Leistungsfähigkeiten (reduzierte Kraftentfaltung bei der Abstoßung, eingeschränkte Stabilität).

Um Studienergebnisse miteinander vergleichen zu können, ist die Verwendung einer einheitlichen Nomenklatur erforderlich. Außerdem ist die gleiche Messtechnik einzusetzen und in der gleichen Art und Weise anzuwenden. Angefangen bei dem Sensibilitätsschwellenwert des Diabetikers mit

Neuropathie, über die in ihrer Qualität und Handhabung unterschiedlichsten Monofilamente, bis hin zu den differierenden spezifischen Messpunkten ergeben sich allein für diese Messtechnik erhebliche Unterschiede, die eine Vergleichbarkeit erschweren.

Der Biodex- Stability- Test eignet sich in der hier durchgeführten Form nur bedingt, um unserer Fragestellung gerecht zu werden.

Ein Vergleich zwischen den Balancefähigkeiten von Gesunden mit denjenigen von Diabetiker NP ist aufgrund der stark eingeschränkten Möglichkeiten seitens der Diabetiker auf diesem anspruchsvollen System kaum möglich.

Eine gemeinsame Stabilitätsstufe ließe sich schwerlich finden.

Ob die Messung im Vorher- Nachher- Vergleich innerhalb einer Gruppe mit dem Biodex- System reliable Ergebnisse zeitigt, muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben (siehe 4.2.5/4.3.2).

Sensibilitätsmessung mittels Semmes- Weinstein- Monofilament , Winkelreproduktionstest am oberen Sprunggelenk, Kraftmessplatte sowie Druckverteilungsmessung und (mit Einschränkung) auch das Biodex- System sind in der Lage, Teilaspekte des komplexen sensomotorischen Regulationssystems zu messen.

Um konkrete Anhaltspunkte für den Aufbau eines präventiven bzw. rehabilitativen Trainings für Diabetiker zu gewinnen, ist weitere Forschung notwendig.

Allein die Auswirkungen der Kompensationsmechanismen des Diabetikers bei reduziertem sensorischen Informationsfluss auf den Gang sind noch nicht ausreichend untersucht.

Hierfür sind weitere elektromyographische Untersuchungen der Aktivierungsmuster von Fuß-, Bein-, Gesäß- und Hüftmuskulatur erforderlich. Mithilfe kinesiologicaler Elektromyographie lässt sich erkennen, welche Muskeln wann und mit welcher Intensität an einer Bewegung beteiligt sind. Ihre intermuskuläre Koordination , das Innervationsmuster und Störungen derselben bei bestimmten Erkrankungen werden sichtbar.

Diese veränderten Muskelaktivierungsmuster könnten im Zusammenhang mit den diabetesspezifischen Druckverteilungsmustern Hinweise auf den individuellen Krankheitsverlauf und seine optimale Beeinflussung über ein spezifisches Training darstellen.

Außerdem würden sie in der Therapie- bzw. Trainingskontrolle wertvolle Hilfe leisten.

Die Trainierbarkeit der Funktionseinschränkungen von Diabetikern hängt entscheidend davon ab, inwieweit der chronische Prozess einer diabetogenen Neuropathieentwicklung Strukturen des sensomotorischen Systems irreversibel oder nur reversibel schädigt und ob Kompensationsmechanismen existieren.

Um die Chancen hinsichtlich einer Wiederherstellung der normalen Nervenfunktion zu erhalten, sollte so früh wie möglich mit einer umfassenden Therapie begonnen werden. Das bedeutet, je früher die PNP diagnostiziert wird desto größer sind die Aussichten für eine Restitutio ad integrum.

Neue Untersuchungstechniken der funktionellen Bildgebung wie PET

(Positronen- Emissions- Tomographie) und die fMRT (funktionelle Kernspintomographie) geben Einblicke in zerebrale Aktivierungsabläufe bei körperlichen Bewegungen. Sie erlauben Aussagen über spezifische Veränderungen bei funktionellen Störungen der Motorik zu treffen. Diese Erkenntnisse können wiederum zu neuen bewegungstherapeutischen bzw. sportmedizinischen Behandlungsverfahren führen, die mittels besprochener Untersuchungsverfahren in den unterschiedlichen Ebenen zu kontrollieren wären.

Nach Hollmann und Strüder haben spezifische körperliche Aktivitäten eine strukturelle sowie funktionelle Bedeutung für das Gehirn- vergleichbar den Auswirkungen eines spezifischen Trainings auf das kardio- pulmonalmetabolische System.

Über aerobe dynamische und koordinative Arbeit käme es zu einer regional gesteigerten Hirndurchblutung. Dies bewirke eine Stoffwechselanregung, die mit einer Produktionssteigerung neurotropher Faktoren verbunden sei.

D.h. körperliches Training stimuliert die Hirnplastizität über Synapsen- , Spines- und Neuronenneubildung (50).

PET und fMRT könnten in langfristigen Studien Veränderungen der zerebralen Aktivierungsabläufe nach spezifischen Trainingsbelastungen sichtbar machen und so den Erfolg dokumentieren.

Darüber hinaus ist körperliches Training in der Prävention und Behandlung des Diabetes Typ 2 schon heute unverzichtbarer Bestandteil der Therapie und sollte umfassend gefördert werden.

Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Frage, ob Diabetesprävention auch seine Komplikationen verhindert bzw.verzögert und ob manifeste Spätschäden mittels spezifischer Bewegungsprogramme positiv beeinflussbar sind.

Die Ergebnisse dieser Studie machen Hoffnung, dass es in Zukunft möglich sein könnte, mittels spezifischem Training auch auf die Problematik der propriozeptiven Defizite des Diabetikers therapeutisch eingehen und damit die Spätfolgen in positivem Sinne beeinflussen zu können.

---

<	kleiner
>	größer
$\leq$	kleiner gleich
$\geq$	größer gleich
%	Prozent
♂	männlich
♀	weiblich
&	und
3D	dreidimensional
Abb.	Abbildung
ADN	autonome diabetische Neuropathie
APSI	A/P stability index (anterior-posteriorer Stabilitäts-Index)
BMI	Body Mass Index (Körpermassenindex)
BST	Biodex-Stability-Test
CA	contact area
CT	contact time
Diabetiker non NP	Diabetiker ohne Neuropathie
Diabetiker NP	Diabetiker mit Neuropathie
DPN	diabetic peripheral neuropathy
DPS	diabetes prevention study
DVP	Druckverteilungsplatte
dx	maximale Schwankung auf der x-Achse
dy	maximale Schwankung auf der y-Achse
et al.	et alii (und andere)
FTI	force time integral

---

HDL	high density lipoproteins
IDDM	insulin-dependent diabetes mellitus
IFG	impaired fasting glucose
IGT	impaired glucose tolerance
KG	Kontrollgruppe
KHK	koronare Herzkrankheit
KMP	Kraftmessplatte
KSP	Körperschwerpunkt
LDL	low density lipoproteins
LMFTI-Index	lateral-medial-force-time-integral-index
m /s	Meter pro Sekunde
MA	mean area
MF	maximum force
MLSI	M/L stability index (medio/lateraler Stabilitäts-Index)
MW	Mittelwert
n	Stichprobenumfang
NIDDM	non-insulin-dependent diabetes mellitus
n.s.	nicht signifikant
OSI	overall stability index
p	Signifikanzniveau
PAVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
PP	peak pressure
SD	Streuung der Werte um den Mittelwert
Sign.	signifikant
Sig.Niveau	Signifikanzniveau

---

SL	stability level (Stabilitätsstufe)
STABW	Standardabweichung
SWM	Semmes-Weinstein Monofilament
Sxy	Schwankungsweg
Tab.	Tabelle
Tend.	Tendenz
TG	Testgruppe
TNF	Tumor- Nekrose- Faktor
VO <sup>2</sup> max	maximale Sauerstoffaufnahme
WHO	World Health Organization
ZVI	zerebrovaskuläre Insuffizienz

---

<b>Abb.: 1</b>	Prävalenz des Typ 1-und Typ 2-Diabetes in Nord -, Mittel -und Südeuropa für mittlere Altersgruppen .....	<b>1</b>
<b>Abb.: 2</b>	Mehrstufenmodell der Pathogenese des Diabetes mellitus Typ 2.....	<b>5</b>
<b>Abb.: 3</b>	Relative Risiken für Komplikationen von Patienten mit Diabetes mellitus im Vergleich zu Nicht-Diabetikern bzw. zur Normalbevölkerung .....	<b>8</b>
<b>Abb.: 4</b>	Klassifikation der diabetischen Neuropathien .....	<b>10</b>
<b>Abb.: 5</b>	Aktuell diskutierte pathogenetische Mechanismen der diabetischen Neuropathie .....	<b>11</b>
<b>Abb.: 6</b>	Zeitlicher Ablauf einer Trainingseinheit.....	<b>19</b>
<b>Abb.: 7</b>	Spezifische Fußgymnastik für Diabetiker I.....	<b>20</b>
<b>Abb.: 8</b>	Spezifische Fußgymnastik für Diabetiker II.....	<b>21</b>
<b>Abb.: 9</b>	Zeitlicher Untersuchungsablauf.....	<b>22</b>
<b>Abb.: 10</b>	Semmes – Weinstein – Monofilament - Satz .....	<b>23</b>
<b>Abb.: 11</b>	Die fünf plantaren Messpunkte .....	<b>24</b>
<b>Abb.: 12</b>	Monofilament am Messpunkt Hallux .....	<b>24</b>
<b>Abb.: 13</b>	Messanordnung des Stabilitätstest (KMP) .....	<b>25</b>
<b>Abb.: 14</b>	Beispiel für den gesamten Schwankungsweg (Sxy) auf der Kraftmessplatte bei einem 15 sek. Einbeinstand .....	<b>26</b>
<b>Abb.: 15</b>	Kistler Kraftmessplatte .....	<b>27</b>
<b>Abb.: 16</b>	Körperhaltung auf der Kraftmessplatte .....	<b>27</b>
<b>Abb.: 17</b>	Probandin auf der Kraftmessplatte im Einbeinstand (mit Angabe der Messrichtungen).....	<b>28</b>
<b>Abb.: 18</b>	Sitz - und Messvorrichtung für den passiven Winkelreproduktionstest.....	<b>29</b>
<b>Abb.: 19</b>	Penny and Giles Elektrogoniometer Modell ADU 301®.....	<b>29</b>
<b>Abb.: 20</b>	Proband in der Messvorrichtung beim passiven Winkelreproduktionstest.....	<b>30</b>

---

<b>Abb.: 21</b>	Winkelpositionen beim Winkelreproduktionstest.....	<b>30</b>
<b>Abb.: 22</b>	Bewegungsausmaß im oberen Sprunggelenk.....	<b>31</b>
<b>Abb.: 23</b>	Druckverteilungsmesssystem.....	<b>32</b>
<b>Abb.: 24</b>	Optische Sichtbarmachung der individuellen Druckverhältnisse beim Abrollvorgang durch den Emed - Messcomputer.....	<b>32</b>
<b>Abb.: 25</b>	Peter R. Cavanagh – Maske.....	<b>33</b>
<b>Abb.: 26</b>	Untersuchungsraum für die Druckverteilungsmessung.....	<b>33</b>
<b>Abb.: 27</b>	Probandin in Startposition an der Startmarkierung.....	<b>34</b>
<b>Abb.: 28</b>	Probandin auf dem Weg zwischen Startposition und Druckmessplatte.....	<b>34</b>
<b>Abb.: 29</b>	<i>Biodex – Stability – System</i> .....	<b>35</b>
<b>Abb.: 30</b>	Proband im Einbeinstand.....	<b>35</b>
<b>Abb.: 31</b>	Protokoll mit Darstellung der Abweichungen aus dem Gleichgewicht über 15sek Testdauer.....	<b>37</b>
<b>Abb.: 32</b>	Bedeutung der Boxplot-Diagramme.....	<b>39</b>
<b>Abb.: 33</b>	Mittelwerte der Sensibilität aller fünf Messpunkte zum Zeitpunkt vorher.....	<b>41</b>
<b>Abb.: 34</b>	Mittelwerte der Sensibilität aller fünf Messpunkte zum Zeitpunkt vorher und nachher.....	<b>42</b>
<b>Abb.: 35</b>	Mittelwerte der Sensibilität aller fünf Messpunkte in den Gruppen zum Zeitpunkt vorher.....	<b>43</b>
<b>Abb.: 36</b>	Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Ferse zum Zeitpunkt vorher und nachher.....	<b>44</b>
<b>Abb.: 37</b>	Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Mittelfuß zum Zeitpunkt vorher und nachher.....	<b>45</b>
<b>Abb.: 38</b>	Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Vorfuß lateral zum Zeitpunkt vorher und nachher.....	<b>46</b>
<b>Abb.: 39</b>	Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Vorfuß medial zum Zeitpunkt vorher und nachher.....	<b>47</b>

---

<b>Abb.: 40</b>	Mittelwerte der Sensibilität am Messpunkt Hallux zum Zeitpunkt vorher und nachher.....	<b>48</b>
<b>Abb.: 41</b>	Streuung der Werte in medio-lat. und anterior-post. Richtung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>49</b>
<b>Abb.: 42</b>	Streuung der Werte in medio-lat. und anterior-post. Richtung vorher(T1)/nachher(T2).....	<b>50</b>
<b>Abb.: 43</b>	95 %-Konfidenzintervall der Werte in y-Richtung vorher/nachher.....	<b>50</b>
<b>Abb.: 44</b>	95%-Konfidenzintervall der Werte in x-Richtung vorher/nachher.....	<b>51</b>
<b>Abb.: 45</b>	Maximale Schwankungsweite in medio-lat. und antero-post.Richtung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>52</b>
<b>Abb.: 46</b>	Maximale Schwankungsweite in medio-lat. und antero-post.Richtung vorher(T1)/nachher(T2).....	<b>53</b>
<b>Abb.: 47</b>	95%-Konfidenzintervall der Werte medio-lat. vorher/nachher.....	<b>53</b>
<b>Abb.: 48</b>	95%-Konfidenzintervall der Werte anterior-post. vorher/nachher.....	<b>54</b>
<b>Abb.: 49</b>	Gesamtschwankungsweg Sxy des Körperschwerpunktes bei Voruntersuchung.....	<b>54</b>
<b>Abb.: 50</b>	Gesamtschwankungsweg Sxy des Körperschwerpunktes vorher/nachher.....	<b>55</b>
<b>Abb.: 51</b>	95%-Konfidenzintervall der Werte Gesamtschwankungsweg vorher/nachher.....	<b>55</b>
<b>Abb.: 52</b>	Mittlere absolute Winkelabweichung zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>56</b>
<b>Abb.: 53</b>	Mittlere absolute Winkelabweichung bei Diabetikern und Gesunden vorher/nachher.....	<b>57</b>
<b>Abb.: 54</b>	95% - Konfidenzintervall mittlere absolute Winkelabweichung bei Diabetikern und Gesunden vorher/nachher.....	<b>57</b>

---

<b>Abb.: 55</b>	Mittlere absolute Winkelabweichung bei Diabetikern non NP, Diabetikern NP und Gesunden vorher/nachher.....	<b>58</b>
<b>Abb.: 56</b>	95% - Konfidenzintervall mittlere absolute Winkelabweichung bei Diabetikern non NP, Diabetikern NP und Gesunden vorher/nachher.....	<b>59</b>
<b>Abb.: 57</b>	Mittlere absolute Winkelabweichung bei 10° Dorsalextension zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>59</b>
<b>Abb.: 58</b>	95% - Konfidenzintervall mittlere absolute Winkelabweichung bei 10°Dorsalextension zum Zeitpunkt der Voruntersuchung....	<b>60</b>
<b>Abb.: 59</b>	Mittlere absolute Winkelabweichung bei 15°Plantarflexion zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>60</b>
<b>Abb.: 60</b>	95% - Konfidenzintervall mittlere absolute Winkelabweichung bei 15°Plantarflexion zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>61</b>
<b>Abb.: 61</b>	95% - Konfidenzintervall mittlere Ganggeschwindigkeit zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>62</b>
<b>Abb.: 62</b>	Mittlere Ganggeschwindigkeit zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>62</b>
<b>Abb.: 63</b>	Mittlere Ganggeschwindigkeit der Diabetiker NP vorher/nachher.....	<b>63</b>
<b>Abb.: 64</b>	95% - Konfidenzintervall mittlere Ganggeschwindigkeit der Diabetiker NP vorher/nachher.....	<b>64</b>
<b>Abb.: 65</b>	Berechnung des Fußformindex nach Cavanagh.....	<b>64</b>
<b>Abb.: 66</b>	Kontaktfläche des gesamten Fußes zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>65</b>
<b>Abb.: 67</b>	Kontaktfläche des gesamten Fußes vorher/nachher.....	<b>66</b>
<b>Abb.: 68</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Ferse medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>67</b>
<b>Abb.: 69</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Mittelfuß medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>67</b>
<b>Abb.: 70</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Vorfuß medial/zentral/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>68</b>

---

<b>Abb.: 71</b>	95%-Konfidenzintervall Kontaktfläche Hallux/ zweite Zehe/dritte bis fünfte Zehe zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>68</b>
<b>Abb.: 72</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Ferse medial vorher/nachher.....	<b>69</b>
<b>Abb.: 73</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Ferse lateral vorher/nachher.....	<b>70</b>
<b>Abb.: 74</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Mittelfuß medial vorher/nachher.....	<b>70</b>
<b>Abb.: 75</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Mittelfuß lateral vorher/nachher.....	<b>71</b>
<b>Abb.: 76</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Vorfuß medial vorher/nachher.....	<b>71</b>
<b>Abb.: 77</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Vorfuß zentral vorher/nachher.....	<b>72</b>
<b>Abb.: 78</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Vorfuß lateral vorher/nachher.....	<b>72</b>
<b>Abb.: 79</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche Hallux vorher/nachher.....	<b>73</b>
<b>Abb.: 80</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche zweite Zehe vorher/nachher.....	<b>73</b>
<b>Abb.: 81</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktfläche dritte bis fünfte Zehe vorher/nachher.....	<b>74</b>
<b>Abb.: 82</b>	Kontaktzeit des gesamten Fußes zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>75</b>
<b>Abb.: 83</b>	Kontaktzeit des gesamten Fußes vorher/nachher.....	<b>75</b>
<b>Abb.: 84</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Ferse medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>76</b>
<b>Abb.: 85</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Mittelfuß medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>77</b>
<b>Abb.: 86</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Vorfuß medial/zentral/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung....	<b>77</b>

<b>Abb.: 87</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Hallux/zweite Zehe/ dritte bis fünfte Zehe zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>78</b>
<b>Abb.: 88</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Ferse medial vorher/nachher.....	<b>78</b>
<b>Abb.: 89</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Ferse lateral vorher/nachher.....	<b>79</b>
<b>Abb.: 90</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Mittelfuß medial vorher/nachher.....	<b>79</b>
<b>Abb.: 91</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Mittelfuß lateral vorher/nachher.....	<b>80</b>
<b>Abb.: 92</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Vorfuß medial vorher/nachher.....	<b>80</b>
<b>Abb.: 93</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Vorfuß zentral vorher/nachher.....	<b>81</b>
<b>Abb.: 94</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Vorfuß lateral vorher/nachher.....	<b>81</b>
<b>Abb.: 95</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit Hallux vorher/nachher.....	<b>82</b>
<b>Abb.: 96</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit zweite Zehe vorher/nachher.....	<b>82</b>
<b>Abb.: 97</b>	95% - Konfidenzintervall Kontaktzeit dritte bis fünfte Zehe vorher/nachher.....	<b>83</b>
<b>Abb.: 98</b>	Maximal wirkende Kraft des gesamten Fußes zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>83</b>
<b>Abb.: 99</b>	Maximal wirkende Kraft des gesamten Fußes vorher/nachher.....	<b>84</b>
<b>Abb.: 100</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Ferse medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>85</b>
<b>Abb.: 101</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Mittelfuß medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>85</b>
<b>Abb.: 102</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Vorfuß medial/zentral/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung....	<b>86</b>

<b>Abb.: 103</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Hallux/zweite Zehe/dritte bis fünfte Zehe zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>86</b>
<b>Abb.: 104</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Ferse medial vorher/nachher.....	<b>87</b>
<b>Abb.: 105</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Ferse lateral vorher/nachher.....	<b>87</b>
<b>Abb.: 106</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Mittelfuß medial vorher/nachher.....	<b>88</b>
<b>Abb.: 107</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Mittelfuß lateral vorher/nachher.....	<b>88</b>
<b>Abb.: 108</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Vorfuß medial vorher/nachher.....	<b>89</b>
<b>Abb.: 109</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Vorfuß zentral vorher/nachher.....	<b>89</b>
<b>Abb.: 110</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Vorfuß lateral vorher/nachher.....	<b>90</b>
<b>Abb.: 111</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft Hallux vorher/nachher.....	<b>90</b>
<b>Abb.: 112</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft zweite Zehe vorher/nachher.....	<b>91</b>
<b>Abb.: 113</b>	95% - Konfidenzintervall maximal wirkende Kraft dritte bis fünfte Zehe vorher/nachher.....	<b>91</b>
<b>Abb.: 114</b>	Spitzendruck des gesamten Fußes zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>92</b>
<b>Abb.: 115</b>	Spitzendruck des gesamten Fußes vorher/nachher.....	<b>92</b>
<b>Abb.: 116</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Ferse medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>93</b>
<b>Abb.: 117</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Mittelfuß medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>94</b>
<b>Abb.: 118</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Vorfuß medial/zentral/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung....	<b>94</b>

---

<b>Abb.: 119</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Hallux/ zweite Zehe/dritte bis fünfte Zehe zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>95</b>
<b>Abb.: 120</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Ferse medial vorher/nachher.....	<b>95</b>
<b>Abb.: 121</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Ferse lateral vorher/nachher.....	<b>96</b>
<b>Abb.: 122</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Mittelfuß medial vorher/nachher.....	<b>96</b>
<b>Abb.: 123</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Mittelfuß lateral vorher/nachher.....	<b>97</b>
<b>Abb.: 124</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Vorfuß medial vorher/nachher.....	<b>97</b>
<b>Abb.: 125</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Vorfuß zentral vorher/nachher.....	<b>98</b>
<b>Abb.: 126</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Vorfuß lateral vorher/nachher.....	<b>98</b>
<b>Abb.: 127</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck Hallux vorher/nachher.....	<b>99</b>
<b>Abb.: 128</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck zweite Zehe vorher/nachher.....	<b>99</b>
<b>Abb.: 129</b>	95% - Konfidenzintervall Spitzendruck dritte bis fünfte Zehe vorher/nachher.....	<b>100</b>
<b>Abb.: 130</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Ferse medial/ lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>100</b>
<b>Abb.: 131</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Mittelfuß medial/lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>101</b>
<b>Abb.: 132</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Vorfuß medial/ zentral/ lateral zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>101</b>
<b>Abb.: 133</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Hallux/zweite Zehe/dritte bis fünfte Zehe zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>102</b>

---

<b>Abb.: 134</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Ferse medial vorher/nachher.....	<b>103</b>
<b>Abb.: 135</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Ferse lateral vorher/nachher.....	<b>103</b>
<b>Abb.: 136</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Mittelfuß Medial vorher/nachher.....	<b>104</b>
<b>Abb.: 137</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Mittelfuß lateral vorher/nachher.....	<b>104</b>
<b>Abb.: 138</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Vorfuß medial vorher/nachher.....	<b>105</b>
<b>Abb.: 139</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Vorfuß zentral vorher/nachher.....	<b>105</b>
<b>Abb.: 140</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Vorfuß lateral vorher/nachher.....	<b>106</b>
<b>Abb.: 141</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral Hallux vorher/nachher.....	<b>106</b>
<b>Abb.: 142</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral zweite Zehe vorher/nachher.....	<b>107</b>
<b>Abb.: 143</b>	95% - Konfidenzintervall Kraft-Zeit-Integral dritte bis fünfte Zehe vorher/nachher.....	<b>107</b>
<b>Abb.: 144</b>	95% - Konfidenzintervall Stabilitätsindices der Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>108</b>
<b>Abb.: 145</b>	95% - Konfidenzintervall des SI der Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>109</b>
<b>Abb.: 146</b>	95% - Konfidenzintervall des A/P SI der Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>109</b>
<b>Abb.: 147</b>	95% - Konfidenzintervall des M/L SI der Gruppen zum Zeitpunkt der Voruntersuchung.....	<b>110</b>
<b>Abb.: 148</b>	95% - Konfidenzintervall des SI der Gesunden vorher/nachher.....	<b>110</b>

---

<b>Abb.: 149</b>	95%-Konfidenzintervall des AP der Gesunden vorher/nachher.....	<b>111</b>
<b>Abb.: 150</b>	95%-Konfidenzintervall des ML der Gesunden vorher/nachher.....	<b>111</b>
<b>Abb.: 151</b>	95%-Konfidenzintervall des SI der Diabetiker non NP vorher/nachher.....	<b>112</b>
<b>Abb.: 152</b>	95%-Konfidenzintervall des AP der Diabetiker non NP vorher/nachher.....	<b>112</b>
<b>Abb.: 153</b>	95%-Konfidenzintervall des ML der Diabetiker non NP vorher/nachher.....	<b>113</b>
<b>Abb.: 154</b>	95%-Konfidenzintervall des SI der Diabetiker NP vorher/nachher.....	<b>114</b>
<b>Abb.: 155</b>	95%-Konfidenzintervall des AP der Diabetiker NP vorher/nachher.....	<b>114</b>
<b>Abb.: 156</b>	95%-Konfidenzintervall des ML der Diabetiker NP vorher/nachher.....	<b>115</b>

---

<b>Tab.: 1</b>	Anthropometrische Daten des Kollektivs.....	<b>16</b>
<b>Tab.: 2</b>	Anthropometrische Daten der Diabetiker-Subgruppen.....	<b>17</b>
<b>Tab.: 3</b>	Zuordnung von Fadennummern und Druckkraft bei Semmes- Weinstein- Monofilamenten.....	<b>23</b>
<b>Tab.: 4</b>	Irrtumswahrscheinlichkeit und Signifikanzniveaus.....	<b>39</b>
<b>Tab.: 5</b>	Einteilung der Korrelationsniveaus.....	<b>39</b>
<b>Tab.: 6</b>	Retest-Reliabilität Sensibilitätstest.....	<b>130</b>
<b>Tab.: 7</b>	Retest-Reliabilität Kraftmessplatte.....	<b>130</b>
<b>Tab.: 8</b>	Retest-Reliabilität Winkelreproduktionstest.....	<b>130</b>
<b>Tab.: 9</b>	Retest-Reliabilität Druckverteilungstest –contact area-.....	<b>131</b>
<b>Tab.: 10</b>	Retest-Reliabilität Druckverteilungstest –contact time-.....	<b>131</b>
<b>Tab.: 11</b>	Retest-Reliabilität Druckverteilungstest –maximal force-.....	<b>132</b>
<b>Tab.: 12</b>	Retest-Reliabilität Druckverteilungstest –peak pressure-.....	<b>132</b>
<b>Tab.: 13</b>	Retest-Reliabilität Druckverteilungstest –force-time-integral-	<b>133</b>
<b>Tab.: 14</b>	Retest-Reliabilität Stabilitätstest –Biodex-Stability-System-..	<b>133</b>

- 1 Abboud R.J., Rowley D.I., Newton R.W.: Lower limb muscle dysfunction may contribute to foot ulceration in diabetic patients. *Clin Biomech* (2000) 15: 37-45
- 2 Albright A., Franz M., Hornsby G., Kriska A., Marrero D., Ullrich I., Verity L.S.: American College of Sports Medicine position stand. Exercise and type 2 diabetes. *Med Sci Sports Exerc* 2000 Jul; 32(7): 1345-60
- 3 Allum J.H., Bloem B.R., Carpenter M.G., Hulliger M., Hadders-Algra M.: Proprioceptive control of posture: a review of new concepts. *Gait Posture* 1998 Dec 1; 8(3): 214-42
- 4 American Diabetes Association, American Academy of Neurology. Consensus statement: Report and recommendations of the San Antonio conference on diabetic neuropathy. *Diabetes Care* 1988 Jul-Aug; 11(7):592-7
- 5 Asimakopoulou K.G., Hampson S.E., Morrish N.J.: Neuropsychological functioning in older people with type 2 diabetes: the effect of controlling for confounding factors. *Diabet Med* 2002; 19(4): 311-6
- 6 Bell-Krotoski J., Tomancik E.: The repeatability of testing with Semmes-Weinstein monofilaments. *Journal of Hand surgery* (1987) 12: 155-61
- 7 Bell-Krotoski J.A., Fess E.E., Figarola J.H., Hiltz D.: Threshold detection and Semmes-Weinstein monofilaments. *Journal of Hand Therapie* (1995) 8: 155-62
- 8 Bell-Krotoski J.A., Buford W.L.: The force/time relationship of clinically used sensory testing instruments. *Journal of Hand Therapie* (1997) 10: 297-309
- 9 Berbalk A., Boldt F., Funken O., Halle M., Hoffmann G., Schmidt-Trucksäß A., Urhausen A., Völker K., Zurstegge M. : 11:0 für die Gesundheit – Sportärztliche Empfehlungen zur Beeinflussung von Risikofaktoren – Förderung von Schutzfaktoren durch körperliche Aktivität und Sport : *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* ; Jg.53 (7+8) 2002: VI-VII
- 10 *Bewegung und Sport bei Diabetes, Informationen zum Aufbau von Diabetessportgruppen* (1998). Hrsg.: Landessportbund Nordrhein-Westfalen e.V. , Friedrich-Alfred-Straße 25, 47055 Duisburg
- 11 *Biodex Stability-System: Bedienungshandbuch. Proxomed Medizintechnik GmbH, Karlstein, Stand 1.9.2000*

- 12 Booth J., Young M.J.: Differences in the performance of commercially available 10-g monofilaments.  
Diabetes Care 2000 Jul; 23(7): 984-8
- 13 Bortz J.: Forschungsmethoden und Evaluation für Sozialwissenschaftler.  
Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag 1998
- 14 Boucher P., Teasdale N., Courtemanche R., Bard C., Fleury M.:  
Postural stability in diabetic polyneuropathy.  
Diabetes Care 1995 May; 18(5): 638-45
- 15 Boulton A.J., Gries F.A., Jervell J.A.: Guidelines for the diagnosis and outpatient management of diabetic peripheral neuropathy. Diabet Med 1998; 15(6): 508-14
- 16 Brauer S., Burns Y., Galley P.: Lateral reach: a clinical measure of medio-lateral postural stability.  
Physiother Res Int 1999; 4(2): 81-8
- 17 Bühl A., Zöfel P.: SPSS Version 9; Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. Addison-Wesley, Scientific Computing 1999
- 18 Bus S.A., Yang Q.X., Wang J.H., Smith M.B., Wunderlich R., Cavanagh P.R.: Intrinsic muscle atrophy and toe deformity in the diabetic neuropathic foot: a magnetic resonance imaging study.  
Diabetes Care 2002 Aug; 25(8): 1444-50
- 19 Cavanagh P.R., Morag E., Boulton A.J., Young M.J., Deffner K.T., Pammer S.E.: The Relationship of static foot structure to dynamic foot function.  
J.Biomech 1997 Mar; 30(3): 243-50
- 20 Cavanagh P.R., Perry J.E., Ulbrecht J.S., Derr J.A., Pammer S.E.: Neuropathic diabetic patients do not have reduced variability of plantar loading during gait. Gait Posture 1998 May 1; 7(3): 191-99
- 21 Colagiuri S., Brand Miller J.C.: The metabolic syndrome: from inherited survival trait to a health care problem.  
Exp Clin Endocrinol Diabetes 1997; 105 Suppl 2: 54-60
- 22 Ctercteko G.C., Dhanendran M., Hutton W.C., Le Quesne L.P. : Vertical forces acting on the feet of diabetic patients with neuropathic ulceration.  
Br J Surg 1981 Sep; 68(9) : 608-14

- 23 Davis B.L., Cothren R.M., Quesada P., Hanson S.B., Perry J.E.:  
Frequency content of normal and diabetic plantar pressure profiles:  
implications for the selection of transducer sizes.  
J Biomech 1996 Jul; 29(7): 979-83
- 24 Diabetes Mellitus and Exercise (American Diabetes Association):  
Position Statement.  
Diabetes Care 25 (2002) Supplement 1:64
- 25 Ducic I., Short K.W., Dellon A.L.: Relationship between loss of pedal  
sensibility, balance, and falls in patients with peripheral neuropathy.  
Ann Plast Surg 2004 Jun; 52(6): 535-40
- 26 Dunstan D.W., Zimmet P.Z., Welborn T.A., De Courten M.P., Cameron  
A.J., Sicree R.A., Dwyer T., Colagui S., Jolley D., Knuihan M.,  
Atkins R., Shaw J.E. : The rising prevalence of diabetes and impaired  
glucose tolerance - the australian diabetes, obesity and lifestyle study.  
Diabetes Care 25 (2002) 829-34
- 27 Dyck P.J.: Quantitative sensory testing: a consensus report from the  
peripheral neuropathy association.  
Neurology 1993; 43: 1050-52
- 28 Economic Costs of Diabetes in the U.S. in 2002. Diabetes Care 2003  
Mar; 26(3): 917-32
- 29 Eils E., Nolte S., Tewes M., Thorwesten L., Völker K., Rosenbaum D.:  
Modified pressure distribution patterns in walking following reduction  
of plantar sensation.  
J Biomech 2002 Oct; 35(10): 1307-13
- 30 Einecke D.: Diabeteswelle überschwemmt die ganze Welt.  
MMW- Fortschr.Med. Nr. 14 (148.Jg.) 2006: 4-6
- 31 Eriksson J., Lindstrom J., Valle T., Aunola S., Hamalainen H., Ilanne-  
Parikka P., Keinanen-Kiukaanniemi S., Laakso M., Lauhkonen M.,  
Lehto P., Lehtonen A., Louheranta A., Mannelin M., Martikkala V.,  
Rastas M., Sundvall J., Turpeinen A., Viljanen T., Uusitupa M.,  
Tuomilehto J.: Prevention of Type II diabetes in subjects with impaired  
glucose tolerance:  
The Diabetes Prevention Study (DPS) in Finland. Study design and 1-  
year Interim report on the feasibility of the lifestyle intervention  
programme.  
Diabetologia 1999 ; 42(7): 793-80

- 32 Estacio R.O., Regensteiner J.G., Wolfel E.E., Jeffers B., Dickenson M., Schrier R.W.: The association between diabetic complications and exercise capacity in NIDDM patients. *Diabetes Care* 1998 Feb; 21(2): 291-5
- 33 Flegal K.M., Carroll M.D., Ogden C.L., Johnson C.L.: Prevalence and trends in obesity among US adults, 1999-2000. *JAMA* 2002 Oct 9; 288(14): 1723-7
- 34 Gaede P., Vedel P., Larsen N., Jensen G.V., Parving H.H., Pedersen O.: Multifactorial intervention and cardiovascular disease in patients with type 2 diabetes. *N Engl J Med* 2003 Jan 30; 348(5): 383-93
- 35 Goldsmith J.R., Lidtke R.H., Shott S.: The effects of range-of-motion therapy on the plantar pressure of patients with diabetes mellitus. *J Am Podiatr Med Assoc* Oct 2002; 92(9): 483-90
- 36 Goodman C., Taylor R., Green D., Maiorana A., O'Driscoll G.: Combined aerobic and resistance exercise improves glycemic control and fitness in type 2 diabetes. *Diabetes Res Clin Pract* 2002 May; 56(2): 115-23
- 37 Gordois A., Scuffham P., Shearer A., Oglesby A., Tobian J.A.: The health care costs of diabetic peripheral neuropathy in the u.s.. *Diabetes Care* 2003 Jun; 26(6): 1790-5
- 38 Greene D.A., Stevens M.J., Obrosova I., Feldman E.L.: Glucose-induced oxidative stress and programmed cell death in diabetic neuropathy. *Eur J Pharmacol* 1999, 375: 217-23
- 39 Grimm A., Kastenbauer T., Sauseng S., Sokol G., Irsigler K.: Progression and distribution of plantar pressure in Type 2 diabetic patients. *Diabetes Nutr Metab* 2004 Apr; 17(2): 108-13
- 40 Gu K., Cowie C.C., Harris M.I.: Mortality in adults with and without diabetes in a national cohort of the U.S. population, 1971-1993. *Diabetes Care* 1998 Jul; 21(7): 1138-45
- 41 Hämäläinen H., Kekoni J., Rautio J., Matikainen E., Juntunen J.: Effect of unilateral sensory impairment of the sole of the foot on postural control in man: Implications for the role of mechanoreception in postural control. *Human Movement Science* 1992; 11: 549-61

- 42 Hamdy O., Goodyear L.J., Horton E.S.: Diet and exercise in type 2 diabetes mellitus.  
Endocrinol Metab Clin North Am 2001 Dec; 30(4): 883-907
- 43 Hanefeld M., Fischer S., Julius U., Schulze J., Schwanebeck U., Schmechel H., Ziegler H.J., Lindner J.: Risk factors for myocardial infarction and death in newly detected NIDDM: the Diabetes Intervention Study, 11-year follow-up. Diabetologia 1996 Dec; 39(12): 1577-83
- 44 Haslbeck M., Redaelli M., Parandeh-Shab F., Luft D., Neundörfer B., Stracke H., Ziegler D.: Diagnostik, Therapie und Verlaufskontrolle der sensomotorischen diabetischen Neuropathien. In: Scherbaum W.A., Lauterbach K.W., Renner R.(Hrsg.). 1 Auflage. Evidenzbasierte Diabetes-Leitlinien DDG 2000:13-34
- 45 Haslbeck M., Luft D., Neundörfer B., Stracke H., Ziegler D., Wienbeck M., Corvin S., Redaelli M.: Diagnose und Therapie der autonomen diabetischen Neuropathie. 1. Auflage. (2002) Deutsche Evidenzbasierte Diabetes-Leitlinie (DDG)
- 46 Hauner H., Hamann A., Husemann B., Liebermeister H., Wabitsch M., Westenhöfer J., Wiegand-Globinski W., Wirth A.: Prävention und Therapie der Adipositas. Hrsg. Deutsche Adipositas-Gesellschaft, Deutsche Diabetes-Gesellschaft, Deutsche Gesellschaft für Ernährungsmedizin. Entwurf/Version-9/2002. Evidenzbasierte Leitlinie-Adipositas
- 47 Hauner H., Köster I., von Ferber L.: Prävalenz des Diabetes mellitus in Deutschland 1998 - 2001, Sekundärdatenanalyse einer Versichertenstichprobe der AOK Hessen/KV Hessen, Dtsch med Wochenschr 2003; 128: 2632-37
- 48 Hayes A., Seitz P.: The average pressure distribution of the diabetic foot: can it be used as a clinical diagnostic aid?  
Clin Biomech (Bristol, Avon) 1997 Apr; 12(3): 3-4
- 49 Hollmann W.(2000): Sportmedizin: Grundlagen für Arbeit, Training und Präventivmedizin. Schattauer, Stuttgart; New York, 588-91
- 50 Hollmann W., Strüder H.: Gehirngesundheit,-leistungs-fähigkeit und körperliche Aktivität.  
Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin 2003 Nr.9: 265-66

- 51 Janka H.U., Redaelli M., Gandjour A., Giani G., Hauner H., Michaelis D., Standl E.: Epidemiologie und Verlauf des Diabetes mellitus in Deutschland. In: Scherbaum W.A., Lauterbach K.W., Renner R.(Hrsg.), 1. Auflage. Evidenzbasierte Diabetes-Leitlinie DDG (2000): 3-32
- 52 Jeng C., Michelson J., Mizel M.: Sensory thresholds of normal human feet. *Foot Ankle Int* 2000 Jun; 21(6): 501-4
- 53 Jerosch J., Castro W.H.M., Hoffstetter I., Bischof M.: Proprioception of the ankle in healthy volunteers and in athletes with unstable ankle joints. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 1994; 45 (10): 380-89
- 54 Jerosch J., Bischof M.: The effect of proprioception on functional stability of the upper ankle joint with special reference to stabilizing aids. *Sportverletz Sportschaden* 1994 Sep; 8(3): 111-21
- 55 Jerosch J.(1999): Oberes Sprunggelenk, OSG Anatomie und Biomechanik.(Zugriff: 17.01.2004,18:31 MESZ)  
< [http://www.gvle.de/kompendium/ob\\_sprung/0005.html](http://www.gvle.de/kompendium/ob_sprung/0005.html) >
- 56 Kamei N., Yamane K., Nakanishi S., Yamashita Y., Tamura T., Ohshita K., Watanabe H., Fujikawa R., Okubo M., Kohno N.: Effectiveness of Semmes- Weinstein monofilament examination for diabetic peripheral neuropathy screening. *J Diabetes Complications* 2005 Jan-Feb; 19(1): 47-53
- 57 Katoulis E.C., Ebdon-Parry M., Lanshammar H., Vileikyte L., Kulkarni J., Boulton A.J.: Gait abnormalities in diabetic neuropathy. *Diabetes Care* 1997 Dec; 20(12): 1904-7
- 58 Knowler W.C., Barrett-Connor E., Fowler S.E., Hamman R.F., Lachin J.M., Walker E.A., Nathan D.M.: Diabetes Prevention Program Research Group. Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *N Engl J Med* 2002; 346(6): 393-403
- 59 Kwon O.Y., Minor S.D., Maluf K.S., Mueller M.J.: Comparison of muscle activity during walking in subjects with and without diabetic neuropathy. *Gait Posture* 2003 Aug; 18(1): 105-13
- 60 Lafond D., Corriveau H., Prince F.: Postural control mechanisms during quiet standing in patients with diabetic sensory neuropathy. *Diabetes Care* 2004 Jan; 27(1): 173-8

- 61 Laukkanen O., Lindström J., Eriksson J., Valle T.T., Hämäläinen H., Ilanne-Parikka P., Keinänen-Kiukaanniemi S., Tuomilehto J., Uusitupa M., Laakso M.: Polymorphisms in the SLC2A2 (GLUT2) gene are associated with the conversion from impaired glucose tolerance to type 2 diabetes: the Finnish Diabetes Prevention Study. *Diabetes* Jul 2005; 54(7): 2256-60
- 62 Liebl A., Spannheimer A., Reitberger U., Gortz A.: Costs of Long-Term Complications in Typ 2 Diabetes Patients in Germany. Results of the CODE-2(R) Study. *Med Klin* 2002 Dec 15; 97(12): 713-9
- 63 Luft D., Forst T., Pfützner A., Sabatowski R.: Therapie der diabetischen Polyneuropathie. *Diabetologie* 2006; 2: 114-24
- 64 Mattacola C.G., Perrin D.H., Gansneder B.M., Gieck J.H., Saliba E.N., McCue F.C.: Strength, Functional Outcome, and Postural Stability After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Athl Train* 2002 Sep; 37(3): 262-68
- 65 Mayfield J.A., Sugarman J.R.: The use of the Semmes-Weinstein monofilament and other threshold tests for preventing foot ulceration and amputation in persons with diabetes. *J Fam Pract* 2000 Nov; 49(11 Suppl): 17-29
- 66 McGill M., Molyneaux L., Yue D.K.: Use of the Semmes-Weinstein 5.07/10 gram monofilament: the long and the short of it. *Diabet Med* 1998 Jul; 15(7): 615-7
- 67 McPoil T.G., Cornwall M.W.: Relationship between realfootmotion and plantar surface motion and plantar surface loading. *European Journal of Physical Medicine and Rehabilitation* (1992) 2: 22-6
- 68 Mensink G.: Körperliche Aktivität. *Das Gesundheitswesen* 61 (1999): 126-31
- 69 Meyers-Rice B., Sugars L., McPoil T., Cornwall M.W.: Comparison of three methods for obtaining plantar pressures in nonpathologic subjects. *J Am Podiatr Med Assoc* 1994 Oct; 84(10): 499-504
- 70 Mueller M.J., Hastings M., Commean P.K., Smith K.E., Pilgram T.K., Robertson D., Johnson J.: Forefoot structural predictors of plantar pressures during walking in people with diabetes and peripheral neuropathy. *J Biomech* 2003 Jul; 36(7): 1009-17

- 71 Neundörfer B.: Die diabetische Polyneuropathie. *Nervenheilkunde* 2003; 22: 4-10
- 72 Niebauer J., Hambrecht R., Velich T., Hauer K., Marburger C., Kälberer B., Weiss C., von Hodenberg E., Schlierf G., Schuler G., Zimmermann R., Kübler W.: Attenuated progression of coronary artery disease after 6 years of multifactorial risk intervention: role of physical exercise. *Circulation* Oct 1997; 96(8): 2534-41
- 73 North Coast™ Medical Inc.: Semmes-Weinstein monofilament instruction. San Jose. 1997
- 74 Novel GmbH: Bedienungshandbuch zum e-med-ST System. München. 1999
- 75 Nurse M.A., Nigg B.M.: Quantifying a relationship between tactile and vibration sensitivity of the human foot with plantar pressure distributions during gait. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1999 Nov; 14(9): 667-72
- 76 Nurse M.A., Nigg B.M.: The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2001 Nov; 16(9): 719-27
- 77 Ogden C.L., Flegal K.M., Carroll M.D., Johnson C.L.: Prevalence and trends in overweight among US children and adolescents, 1999-2000. *JAMA* 2002 Oct 9; 288(14): 1728-32
- 78 Palitzsch K.-D., Nusser J., Arndt H., Enger I., Zietz B., et al.: Die Prävalenz des Diabetes mellitus wird in Deutschland deutlich unterschätzt- eine bundesweite epidemiologische Studie auf der Basis einer HbA<sub>1c</sub> -Analyse. *Diabetes und Stoffwechsel* 1999; 8: 189-200
- 79 Pan X.R., Li G.W., Hu Y.H., Wang J.X., Yang W.Y., An Z.X., Hu Z.X., Lin J., Xiao J.Z., Cao H.B., Liu P.A., Jiang X.G., Jiang Y.Y., Wang J.P., Zheng H., Zhang H., Bennett P.H., Howard B.V.: Effects of diet and exercise in preventing NIDDM in people with impaired glucose tolerance. *The Da Qing IGT and Diabetes Study. Diabetes Care* 1997; 20(4): 537-44
- 80 Paterno M.V., Myer G.D., Ford K.R., Hewett T.E.: Neuromuscular training improves single-limb stability in young female athletes. *J Orthop Sports Phys Ther* 2004 Jun; 34(6): 305-16

- 
- 81 Pendergrass T.L., Moore J.H., Gerber J.P.: Postural control after a 2-mile run. *Mil Med* 2003 Nov; 168(11): 896-903
- 82 Perkins B.A., Bril V.: Diagnosis and management of diabetic neuropathy. *Curr Diab Rep* 2002 Dec; 2(6): 495-500
- 83 Raymakers J.A., Samson M.M., Verhaar H.J.: The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). *Gait Posture* 2005 Jan; 21(1): 48-58
- 84 Reiners K., Haslbeck M.: Sensomotorische diabetische Neuropathien. Epidemiologie, Klinik und Diagnostik. *Diabetologie* 2006; 2: 92-103
- 85 Ritsch E. (1988) : *Gesunde Füße und Beine*. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 2. Auflage
- 86 Sahay B.K., Sahay R.K.: Lifestyle modification in management of diabetes mellitus. *J Indian Med Assoc* 2002 Mar; 100(3): 178-80
- 87 Salsich G.B., Mueller M.J.: Effect of plantar flexor muscle stiffness on selected gait characteristics. *Gait Posture* 2000 Jun; 11(3): 207-16
- 88 Saltzman C.L., Rashid R., Hayes A., Fellner C., Fitzpatrick D., Klapach A., Frantz R., Hillis S.L.: 4.5-gram monofilament sensation beneath both first metatarsal heads indicates protective foot sensation in diabetic patients. *J Bone Joint Surg Am* 2004 Apr; 86-A(4): 717-23
- 89 Scherbaum W.A.: Verbreitung des Diabetes mellitus weltweit. (Zugriff: 31.01.2006, 19:46 MESZ)  
<<http://www.diabetes.uni-duesseldorf.de/fachthemen/entstehungausbreitungverbreitung/index.html?text ID=1025>>
- 90 Schmid J.: Wirksamkeit von Benfotiamin bei diabetischer Neuropathie. *Der Kassenarzt* April 2002; 14/15: 40-3
- 91 Schneider S.H., Elouzi E.B.: The role of exercise in type II diabetes mellitus. *Prev Cardiol* 2000 Spring; 3(2): 77-82
- 92 Seufert J.: Neue orale Antidiabetika für die Behandlung des Diabetes mellitus Typ 2 - Gegenwart und Zukunftsperspektiven. *Med Welt* 2002; 53: 273-9

- 93 Shichiri M., Kishikawa H., Ohkubo Y., Wake N.: Long-term results of the Kumamoto Study on optimal diabetes control in type 2 diabetic patients. *Diabetes Care* 2000 Apr; 23 Suppl 2: B21-9
- 94 Sieri T., Beretta G.: Fall risk assessment in very old males and females living in nursing homes. *Disabil Rehabil* 2004 Jun17; 26(12): 718-23
- 95 Simoneau G.G., Becker M.B., Ulbrecht J.S., Derr J.A., Cavanagh P.R.: Postural instability in patients with diabetic sensory neuropathy. *Diabetes Care* 1994; 17: 1411-21
- 96 Simoneau G.G., Derr J.A., Ulbrecht J.S., Becker M.B., Cavanagh P.R.: Diabetic sensory neuropathy effect on ankle joint movement perception. *Arch Phys Med Rehabil* 1996 May; 77(5): 453-60
- 97 Simoneau G.G., Ulbrecht J.S., Derr J.A., Cavanagh P.R.: Role of somatosensory input in the control of human posture. *Gait and Posture* 1995; 3: 115-22
- 98 Sokol G., Weidinger S., Hornlein B., Maierhofer B., Irsigler K.: Dynamic measurement of pressure distribution on the foot sole of diabetic patients and a comparison group. *Wien Klin Wochenschr* 1991; 103(12): 367-70
- 99 Sorensen TI.: The changing lifestyle in the world. Body weight and what else? *Diabetes Care* 2000 Apr; 23 Suppl 2: B 1-4
- 100 Stumvoll M., Häring H.: Insulin resistance and insulin sensitizers. *Horm Res* 2001; 55 Suppl 2: 3-13
- 101 Stumvoll M., Fritsche A., Tschritter O., Häring H.: Adipositas und Insulinresistenz – Neues über die Mechanismen. *Med Welt* 2002; 53: 135-9
- 102 Testerman C., Vander Griend R.: Evaluation of ankle instability using the Biodex Stability System. *Foot Ankle Int* 1999 May; 20(5): 317-21
- 103 Thomas P.K., Tomlinson D.R.: Diabetic and Hypoglycemic Neuropathy. In: Dyck P.J., [et al.], *Peripheral neuropathy*. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1993:1219-50
- 104 Tomkinson G.R., Léger L.A., Olds T.S., Cazorla G.: Secular trends in the performance of children and adolescents (1980-2000): An analysis of 55 studies of the 20m Shuttle Run Test in 11 countries. *Sports Med* 33 (2003): 285-300

- 
- 105 Topic E.: Genetic Aspects of Diabetes Mellitus. In eJIFCC vol 13 no 5:  
(Zugriff: 17.02.2002, 20:24 MESZ)  
<[http://www.ifcc.org/ejifcc/vol\\_13no5/1305200205.htm](http://www.ifcc.org/ejifcc/vol_13no5/1305200205.htm)>
- 106 Tuomilehto J., Lindstrom J., Eriksson J.G., Valle T.T., Keinanen-Kiukaanniemi S., Laakso M., Louheranta A., Hamalainen H., Ilanne-Parikka P., Rastas M., Salminen V., Uusitupa M.: Prevention of type 2 diabetes mellitus by changes in lifestyle among subjects with impaired glucose tolerance. *N Engl J Med* 2001 May 3; 344(18): 1343-50
- 107 Uccioli L., Giacomini P.G., Monticone G., Magrini A., Durola L., Bruno E., Parisi L., Di Girolamo S., Menzinger G.: Body sway in diabetic neuropathy. *Diabetes Care* 1995 Mar; 18(3): 339-44
- 108 Ulbrecht J.S., Cavanagh P.R., Caputo G.M.: Foot problems in diabetes: an overview. *Clin Infect Dis* 2004 Aug 1; 39 Suppl 2: 73-82
- 109 Van Deursen R.W., Sanchez M.M., Ulbrecht J.S., Cavanagh P.R.: The role of muscle spindles in ankle movement perception in human subjects with diabetic neuropathy. *Exp Brain Res* 1998 May; 120(1): 1-8
- 110 Van Deursen R.W., Simoneau G.G.: Foot and ankle sensory neuropathy, proprioception, and postural stability. *J Orthop Sports Phys Ther* 1999 Dec; 29: 718-26
- 111 Williams R., Airey M.: Epidemiology and public health consequences of diabetes. *Curr Med Res Opin* 2002; 18 Suppl 1: 1-12
- 112 World Health Organisation: The World Health Report 2002. Reducing Risk, Promoting Healthy Life. Genf, 2002
- 113 WHO (2006): Regional Office for Europe: Body Mass Index (BMI) (rev.: 03.01.2006, Zugriff: 10.02.2006, 20:48 MESZ)  
<[http://www.euro.who.int/nutrition/20030507\\_1](http://www.euro.who.int/nutrition/20030507_1)>
- 114 Yukihiro Nagai, MD, PHD, Yu Sugiyama, MD, PHD, Toshio Abe, MD, PHD and Gakuji Nomura, MD, PHD:  
4-g Monofilament Is Clinically Useful for Detecting Diabetic Peripheral Neuropathy. *Diabetes Care* 2001(24): 183-84, 2001

- 
- 115 Ziegler D., Gries F.A., Muhlen H., Rathmann W., Spuler M., Lessmann F.: Prevalence and clinical correlates of cardiovascular autonomic and peripheral diabetic neuropathy in patients attending diabetes centers. The Diacan Multicenter Study Group. *Diabet Metab* 1993; 19: 143-51
- 116 Ziegler D.: Diagnosis, staging and epidemiology of diabetic peripheral neuropathy. *Diabetes Nutrition and Metabolism* 1994; 7: 342-8
- 117 Ziegler D.: Diagnosis and treatment of diabetic autonomic neuropathy. *Curr Diab Rep* 2001 Dec; 1(3): 216-27
- 118 Ziegler D.: Bei diabetischer Polyneuropathie hat sich die Stufentherapie bewährt. *Forschung und Praxis - Ärzte Zeitung*: Jg.20, Juni 2001: 16-20
- 119 Ziegler D.: Periphere diabetische Neuropathie - jeder fünfte Diabetiker ist betroffen. *Forschung und Praxis – Ärzte Zeitung*: Jg.21, Nov.2002: 14-16
- 120 Zimny S., Schatz H., Pfohl M.: The role of limited joint mobility in diabetic patients with an at-risk foot. *Diabetes Care* 2004 Apr; 27(4): 942-6

## Lebenslauf

- Name** : Armin Eichler
- Geburtsdatum** : 19.10.1955
- Geburtsort** : Wustrow / Lüchow - Dannenberg
- Familienstand** : verheiratet seit dem 9.12.1983 mit Andrea Bick-Eichler,  
Tochter \*22.05.1984 und Sohn \*29.08.1987
- Schul-/Berufsausbildung** : 1962-1971 Volksschule/Hauptschule Birkenstraße, Hannover  
1971-1974 Berufsausbildung zum Bauzeichner, Garbsen  
1974-1975 Berufsaufbauschule – Technik -, Hannover  
1975-1978 IGS - Roderbruch, Hannover  
1978 Abitur
- Studium** : 1979-1985 Medizinstudium an der Georg – August - Universität  
Göttingen
- Approbation** : 13. November 1985
- Beruf** : 1985-1987 Assistenzarzt im Krankenhaus Neu - Bethlehem,  
Geburtshilfe und Gynäkologie, Göttingen  
1987-1989 Assistenzarzt im Fachkrankenhaus Klinik Schildautal  
(Akademisches Krankenhaus der Universität Göttingen),  
Thorax -, Herz - und Gefäßchirurgie, Seesen  
1990 Praxisassistent bei Dr.Wachsmuth, Bissendorf  
1990 Zusatzbezeichnung *Homöopathie*  
1991 Zusatzbezeichnung *Naturheilverfahren*  
seit 1992 Praxistätigkeit als homöopathischer Arzt in Georgsmarienhütte  
2002 Zusatzbezeichnung *Sportmedizin*

## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt

Herrn ***Prof. Dr.med. K. Völker*** für die Überlassung des interessanten Themas und die freundliche Betreuung bei der Erstellung der Arbeit,

Herrn ***Dr.L.Thorwesten*** für die intensiven Gespräche und die wichtigen Hinweise in den Phasen der Erarbeitung und

Herrn ***Prof. Dr.D. Rosenbaum*** und seinen **Mitarbeitern** für die Hilfestellung bei der Durchführung der bewegungsanalytischen Untersuchungen und deren Auswertung.

In meinem privaten Umfeld danke ich ganz besonders meiner Ehefrau **Andrea** für ihre Toleranz und meinen Kindern **Lina** und **Jonas** für ihre darstellerischen Talente.

Nicht zuletzt herzlichen Dank für das Verständnis und die Mitarbeit meiner **Probanden**.