

**Aus der Orthopädischen Universitätsklinik Tübingen  
Abteilung Allgemeine Orthopädie mit Poliklinik  
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. N. Wülker**

**Bestimmung des Hüftrotationszentrums  
über die Landmarken des Beckens**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von  
Sebastian Motzny  
aus  
Groß-Strehlitz**

**2006**

**Dekan: Professor Dr. C. D. Claussen**

**1. Berichterstatter: Professor Dr. N. Wülker**

**2. Berichterstatter: Professor Dr. K. Weise**

## Abkürzungen

d	: Abstand
HE	: Hounsfield-Einheiten
HRZ	: Hüftrotationszentrum
li	: links
m	: männlich
MW	: Mittelwert
r	: Korrelationskoeffizient
re	: rechts
SD	: Standardabweichung
SIAS	: Spina iliaca anterior superior
SIAI	: Spina iliaca anterior inferior
SIPS	: Spina iliaca posterior superior
SP	: Symphysis pubica
TM	: Trochanter major
Var	: Variationskoeffizient
w	: weiblich

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
1.1	Präoperative Planung bei der Implantation einer Hüftprothese .....	5
1.2	Historischer Rückblick .....	6
1.3	Vorstellung der Studie .....	7
<b>2</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>10</b>
2.1	Patienten .....	10
2.2	Computertomographie .....	10
2.3	Definition der Messpunkte.....	11
2.4	Auswertung .....	18
2.5	Besonderheiten und Probleme bei der Bestimmung einiger Parameter.....	22
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>23</b>
3.1	Ergebnisse der computertomographischen Messungen für Distanzen und Winkel .....	23
3.2	Interindividuelle Unterschiede bei den Messungen .....	24
3.3	Das 95%-Konfidenzintervall .....	26
3.4	Normierte Abstände .....	28
3.5	Vergleich zwischen Männer und Frauen .....	29
3.6	Untersuchung von linearen Korrelationen zwischen den transversalen Distanzen .....	32
3.7	Untersuchung von linearen Korrelationen zwischen den longitudinalen Distanzen im Seitenvergleich.....	32
3.8	Untersuchung von linearen Korrelationen zwischen den diagonalen Distanzen .....	33
3.9	Untersuchung von linearen Korrelationen zwischen den transversalen und longitudinalen Distanzen .....	34
3.10	Untersuchung der linearen Korrelationen zwischen den Distanzen und der Körpergröße.....	35
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>37</b>
4.1	Die direkte Bestimmung des HRZ über die Landmarken des Beckens 37	
4.2	Das APP-Concept .....	41
4.3	Landmarkensymmetrie.....	42
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>46</b>
6.1	Korrelationen zwischen den transversalen Distanzen .....	46
6.2	Korrelationen zwischen den longitudinalen Distanzen im Seitenvergleich.....	49
6.3	Korrelationen zwischen den diagonalen Distanzen.....	51
6.4	Korrelationen zwischen den transversalen und longitudinalen Distanzen.....	53
6.5	Korrelationen zwischen den Distanzen und der Körpergröße .....	57
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>60</b>

## **1 Einleitung**

### ***1.1 Präoperative Planung bei der Implantation einer Hüftprothese***

Um ein optimales Operationsergebnis bei der Implantation einer Hüftprothese zu erzielen, müssen viele Faktoren berücksichtigt werden. Heutzutage ist man in der Lage mittels Navigationssysteme einige Teilschritte des operativen Eingriffs kontrollieren zu können und mit der Hilfe eines Operationsroboters eine genaue Bearbeitung des Knochenlagers durchführen zu können. Trotz dieser Hilfsmittel ist die Erfahrung des Operateurs die Grundvoraussetzung für den operativen Erfolg. Die Prothesengröße und die Prothesenposition werden mit speziellen Röntgeschablonen an standardisierten Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen bestimmt. Die Aufnahmen in zwei Ebenen sind wichtig, um Projektionsfehler zu vermeiden. Durch die Hüftimplantation ist der Operateur in der Lage, bestehende Beinlängendifferenzen auszugleichen und die Gelenkgeometrie zu verändern. Bei Beinlängenveränderungen ist die Verschiebung des Muskelansatzes der Abduktoren zu beachten. Die Gelenkgeometrie ist bei bereits bestehenden Gelenkdeformitäten (Hüftdysplasie) verändert. Dies führt zu einer Verlagerung des Hüftrotationszentrums und zu einer Veränderung der räumlichen Anordnung zwischen Femur und Becken.

In dieser Studie wurde nur ein Problem der Hüftimplantation untersucht und zwar das Hüftrotationszentrum (HRZ). Das HRZ ist ein Punkt im Raum, um das sich der Hüftkopf dreht. Das HRZ ist der Mittelpunkt einer Kugel, die ausgehend von der Hüftpfanne gebildet wird (Bell et al., 1989). Seidels Gruppe bestimmte ebenfalls das HRZ über die Hüftpfanne. Sie führten eine Vermessung der Hüftpfanne durch und stellten fest, dass die Hüftpfanne als eine Halbkugel angesehen werden kann und das HRZ der Mittelpunkt dieser Halbkugel ist (Seidel et al., 1995). Eine Verlagerung dieses Zentrums führt zu einer Fehlbelastung im Hüftgelenk und somit zu einem schnelleren Verschleiß der Hüftprothese. Bei einer gesunden kontralateralen Hüfte kann sich der Operateur während des Eingriffs orientieren und so die optimale Lage der

Hüftprothese finden. Wenn eine doppelseitige Hüftdeformität besteht, entfällt diese Option.

Um dieses Problem zu lösen, wurde untersucht, ob es möglich ist, das HRZ der deformierten Hüfte direkt über externe Landmarken des Beckens bestimmen zu können. Zusätzlich wurde untersucht, ob es möglich ist, das HRZ der kranken Hüfte über das kontralaterale HRZ der gesunden Hüfte zu bestimmen, um Sitz der Hüftprothese optimieren zu können.

## **1.2 Historischer Rückblick**

1984 veröffentlichte Laskin seine Studie und zeigte die Notwendigkeit einer Konstruktionshilfe für die Bestimmung des HRZ. Laskin berichtete, dass nur 12% der Chirurgen in der Lage waren, nach Augenmaß von außen das HRZ auf 2cm genau in der Frontalebene zu bestimmen und 20% sich über 4cm verschätzten.

Schon in anderen Studien wurde das HRZ über die (palpablen) Landmarken des Beckens bestimmt. Es wurden konventionelle Röntgenaufnahmen angefertigt und zwar a. p. Beckenübersichtsaufnahmen und seitliche Hüftaufnahmen. Die Längen der Distanzen zwischen den einzelnen Messpunkten wurden gemessen und über den Satz des Pythagoras die Lage des Hüftrotationszentrums bestimmt.

In der Studie von Andriacchi wurde die Lage des HRZ im Raum ermittelt: Es lag 1.5-2 cm distal vom Mittelpunkt einer Linie zwischen den Messpunkten Spina iliaca anterior superior (SIAS) und Symphysis pubica (SP) in der Frontalebene und medial vom Trochanter major in der Saggitalebene (Andriacchi et al., 1980, 1982 und 1983).

Die Gruppe von Tylkowski stellte fest, dass das Hüftrotationszentrum 11% von der Distanz zwischen den beiden SIAS medial lag, 12% distal und 21% posterior von den SIAS (Tylkowski et al., 1983).

Die Bells Gruppe untersuchte die Methoden von Andriacchi und Tylkowski zur Bestimmung des HRZ (Bell et al., 1989 und 1990). Sie erhielten andere Ergebnisse als Tylkowski. Das Hüftrotationszentrum lag 14% von der Distanz

zwischen den beiden SIAS medial, 30% distal und 22% posterior von den SIAS. Die Standardabweichungen waren signifikant. Die Methode von Andriacchi zur Bestimmung des HRZ war in der Frontalebene genauer. Aber auch bei diesem Vergleich hatte die Gruppe von Bell andere Ergebnisse. Das HRZ lag distaler und lateraler vom Mittelpunkt der Gerade zwischen SIAS und SP (2.2 cm distal und 0.78 cm lateral bei Frauen und 4.6 cm distal und 1.7 cm lateral bei Männern).

Die Gruppe von Maruyama untersuchte 2001 den Anteversionswinkel und die Positionierung einer Hüftprothese (Marayuma et al., 2001). Zusätzlich wurde das Becken unter Anwendung von t-Tests auf signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern untersucht. Das Signifikantsniveau betrug  $p=0.05$ . Die Distanz zwischen den beiden Acetabulum-Ebenen (Beckenbreite) war signifikant größer bei den Frauen als bei den Männern ( $p=1 \cdot 10^{-29}$ ). Aber die Beckenhöhe ( $p=0.0002$ ), die Beckentiefe ( $p=0.0058$ ) und die mediolaterale Breite ( $p=1 \cdot 10^{-9}$ ) sind signifikant kleiner bei den Frauen.

### **1.3 Vorstellung der Studie**

Zwischen Januar und März 2003 wurden 50 CT-Aufnahmen des Beckens von 25 Frauen und 25 Männern ausgewertet. Das Durchschnittsalter betrug bei den Frauen 54 Jahre und bei den Männern 55 Jahre. Der Vorteil von CT-Aufnahmen gegenüber konventionellen Röntgenaufnahmen ist, dass der Röntgenvergrößerungsfaktor keine Rolle spielt. Bei konventionellen Röntgen-Aufnahmen muss für den Röntgenvergrößerungsfaktor der Film-Focus-Abstand beachtet werden. Auch die Knochenmorphologie kann bei einer Computertomographie besser dargestellt werden. Somit sinkt die Ungenauigkeit bei der Bestimmung von Messpunkten. Ein weiterer Vorteil von CT-Aufnahmen ist, dass man in der Lage ist, das HRZ direkt bestimmen zu können.

Für die Messungen am Becken und am Femur wurden folgende Messpunkte gewählt: Hüftrotationszentrum (HRZ), Spina iliaca anterior superior (SIAS), Spina iliaca anterior inferior (SIAI), Spina iliaca posterior superior (SIPS), Symphysis pubica (SP) und Trochanter major (TM).

Die Messungen am Becken und am Femur erfolgten immer beidseits. Die Distanzen der Messpunkte errechneten sich aus den Koordinatendifferenzen der Messpunkte über den Satz des Pythagoras. Die Berechnung der Distanzen erfolgte immer ausgehend von den HRZ. Zusätzlich wurden transversale Distanzen zwischen den Landmarken des Beckens berechnet.

Die Beckeneingangsebene wurde nach dem APP-Concept gebildet (Jamarez et al., 1998). Sie zeigt die Verkippung des Beckens gegenüber der Frontalebene (Winkel= (APP) vs. (Frontalebene)). Bei der Implantation einer Hüftprothese unter Zuhilfenahme eines Navigationssystems ist es wichtig, die Lage des Beckens auf dem OP-Tisch zu kennen. Mit dem APP-Concept kann nur eine Aussage getroffen werden, ob das Becken inkliniert oder rekliniert ist.

Die Voraussetzung für die Bestimmung des HRZ bei einer bestehenden Hüftdeformität ist, dass die Distanzen zwischen den HRZ und den Landmarken des Beckens bei den Patienten eine gewisse Konstanz aufweisen. Um dies feststellen zu können, wurde der Mittelwert, die Standardabweichung, der Variationskoeffizient und das 95%-Konfidenzintervall dieser Distanzen ermittelt. Zusätzlich wurden normierte Abstände berechnet um die Ergebnisse dieser Studie mit den Arbeiten von Bell und Tytkowski vergleichen zu können.

Ebenfalls wurden t-Tests durchgeführt um signifikante Unterschiede in den Distanzen zwischen Männern und Frauen zu erkennen.

Es stellte sich auch die Frage, ob eine lineare Abhängigkeit zwischen den Distanzen und der Körpergröße besteht. Für diese Untersuchung wurden die Korrelationskoeffizienten der Distanzen und der Körpergröße errechnet. Es wurden zusätzlich Diagramme mit einer Regressionsgeraden erstellt. Dies ermöglicht die Streuung der Daten zu beurteilen. Falls eine lineare Abhängigkeit nachgewiesen werden könnte, wäre man in der Lage, jede Distanz mit einem Faktor multiplizieren zu können und sie ohne eine zuvor durchgeführte CT-Aufnahme für jeden Patienten individuell bestimmen zu können. Die Erstellung einer Standardtabelle „Distanz • Faktor für eine bestimmte Körpergröße“ wäre möglich.

Für die transversalen Distanzen und die Distanz zwischen den beiden HRZ wurden die Korrelationskoeffizienten berechnet und Diagramme mit einer

Regressionsgeraden erstellt. Ein bestimmtes Verhältnis (lineare Abhängigkeit) der transversalen Distanzen zueinander würde die Konstruktion des HRZ erheblich erleichtern. Auf dieselbe Weise wurde die lineare Abhängigkeit zwischen den transversalen und longitudinalen Distanzen untersucht. Wenn kein Zusammenhang zwischen diesen Distanzen besteht, würde dies für die Individualität des Beckens sprechen.

Die Bestimmung des HRZ bei einer vorliegenden Hüftdeformität über das kontralaterale HRZ einer gesunden Hüfte ist die Symmetrie der Landmarken des Beckens eine Voraussetzung. Die Untersuchung der Symmetrie der Landmarken erfolgte mit der Berechnung der Korrelationskoeffizienten für die longitudinalen Distanzen im Seitenvergleich und für die diagonalen Distanzen. Die Korrelationskoeffizienten für transversalen und longitudinalen Distanzen im Seitenvergleich wurden ebenfalls ermittelt. Für die Untersuchung der Landmarkensymmetrie wurden die Winkel zwischen der Geraden SIAS-HRZ und der Beckeneingangsebene auf beiden Seiten des Beckens berechnet ((SIAS<sub>li</sub>-HRZ<sub>li</sub>) vs. (APP) und (SIAS<sub>re</sub>-HRZ<sub>re</sub>) vs. (APP)).

Zum Schluss wurde der Winkel zwischen den Geraden HRZ<sub>re</sub>-HRZ<sub>li</sub> und SIAS<sub>re</sub>-SIAS<sub>li</sub> ermittelt. Wenn diese Geraden zueinander parallel liegen, könnte die Distanz SIAS<sub>re</sub>-SIAS<sub>li</sub> als eine Konstruktionshilfe bzw. als eine Konstruktionskontrolle verwendet werden bei der Bestimmung des HRZ bei einer vorliegenden Hüftdeformität über die kontralaterale gesunde Hüfte. Durch die parallele Verschiebung der Geraden SIAS<sub>re</sub>-SIAS<sub>li</sub> durch das HRZ der gesunden Hüfte wären zwei Werte des kartesischen Koordinatensystems für das HRZ der deformierten Hüfte bereits festgelegt. Letztendlich muss nur noch ein Wert des HRZ bestimmt werden.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Patienten

Bei den zwischen Januar 2003 und März 2003 angefertigten CT-Aufnahmen des Abdomens von 50 Patienten, darunter je 25 Frauen und Männer, wurden die Koordinaten von anatomischen Landmarken des Beckens bestimmt.

Die Auswertung der CT-Bilder erfolgte immer beidseits.

Bei 5 Patienten (3 Frauen und 2 Männer) wurden die Messungen von 2 Untersuchern durchgeführt, um interindividuelle Unterschiede bei den Messungen feststellen zu können. Aufgrund der ambulanten und stationären Akten konnte nur bei 31 Patienten (15 Frauen und 16 Männer) die Körpergröße ermittelt werden.

Das Durchschnittsalter betrug bei den Frauen 54 Jahre (19-76 Jahre) und bei den Männern 55 Jahre (26-71 Jahre).

Bei der Wahl der Patienten gab es keine Auswahlkriterien.

### 2.2 Computertomographie

Bei der Durchführung der CT-Aufnahmen des Abdomens wurden die Patienten angewiesen, möglichst gestreckt, mittig, nicht verdreht und bewegungslos auf der Liege zu liegen. Sie bekamen ein Keilkissen unter die Knie (s. Abb. 1).



Abb.1

Nachgestellte Szene mit einer Studentin

Die Röntgenröhre und die Detektoren standen bei den Aufnahmen senkrecht zur Körperachse. Für eine Kreisbahn um den unbewegten Patienten benötigte die Röntgenröhre 0,5 s. Die Schichtdicke der Aufnahmen war 3 mm mit einer Kollimation von 2,5 mm. Der Vorschub des Tisches bei einer Kreisbahn betrug 13 mm. Nach den CT-Aufnahmen wurden die Bilder vom Becken mit der so genannten Fenstertechnik bearbeitet, um das Knochenfenster besser darstellen zu können. Die Fensterbreite betrug 1500 HE und die Fensterlage 500 HE.

### **2.3 Definition der Messpunkte**

Das für die Messungen am Becken erforderliche CT-Koordinatensystem war ein dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem. Die X-Achse entsprach der Transversalachse, die Y-Achse der Sagittalachse und die Z-Achse der Vorschubachse des CT-Tisches. Zu Beginn der Auswertung wurde der Nullpunkt des Koordinatensystems in das rechte Hüftrotationszentrum gesetzt. Dieser Nullpunkt gilt für alle Schichten.

Die Beckeneingangsebene wurde über die linke und rechte SIAS und über die SP gebildet (APP-Concept). Sie zeigt die Verkippung des Beckens gegenüber der Frontalebene. Bei einem liegenden Patienten entspricht die Frontalebene der Horizontalebene.

Es wurde ein zweites dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem nach dem APP-Concept konstruiert für die Berechnung des Konfidenzintervalls von 95 % der Distanzen, die vom Hüftrotationszentrum ausgehen. Die X-Achse entsprach der Transversalachse, die Y-Achse der Longitudinalachse und die Z-Achse der Sagittalachse des Patienten.

Die prozentuale Längenangabe in den verschiedenen anatomischen Richtungen verlangt ein anatomisches Koordinatensystem. Die Definition des anatomischen Koordinatensystems, welches durch APP-Concept definiert ist, lautet: die x-Achse verläuft von SIAS<sub>re</sub> nach SIAS<sub>li</sub>, die z-Achse ist senkrecht zur APP-Ebene und die y-Achse ist das Kreuzprodukt von x- und z-Achse. Der Koordinatenursprung  $x_0$  ist der Mittelpunkt zwischen SIAS<sub>re</sub> und SIAS<sub>li</sub>. Die Referenzlänge  $x_{ref}$  in x-Richtung ist der Abstand SIAS<sub>li</sub>- $x_0$ , die Referenzlänge

$y_{ref}$  in  $y$ -Richtung ist der Abstand  $SP-x_0$  und die Referenzlänge  $z_{ref}$  in  $z$ -Richtung ist die  $z$ -Koordinate von  $SP-z_0$ , mit  $z_0 =$  Mittelpunkt zwischen  $SIPs_{re}$  und  $SIPs_{li}$ .  $X = HRZ_{re-x_0} = (x,y,z)$ .

Die Bestimmung des Hüftrotationszentrums (HRZ) über die Hüftpfanne erfolgte in 2 Teilschritten. Zuerst wurde der Mittelpunkt in Richtung der  $Z$ -Achse bestimmt (s. Abb. 2).



oberer Rand der rechten Hüfte



unterer Rand der rechten Hüfte

Abb. 2

Dies erfolgte über die Ermittlung des  $Z$ -Koordinatenwertes des oberen Randes der Hüftpfanne (s. Abb. 2 linkes Bild rechte Hüfte) und des  $Z$ -Koordinatenwertes des unteren Randes der Hüftpfanne (s. Abb. 2 rechtes Bild rechte Hüfte). Aus diesen beiden Werten wurde die Differenz gebildet und aus der Differenz der Mittelpunkt bestimmt. Anhand dieser  $Z$ -Koordinate wurde die entsprechende Transversalschicht ( $XY$ -Ebene) ermittelt. Danach konnte über eine Kreisschablone der Mittelpunkt in der  $XY$ -Ebene ermittelt werden (S. Abb. 3).

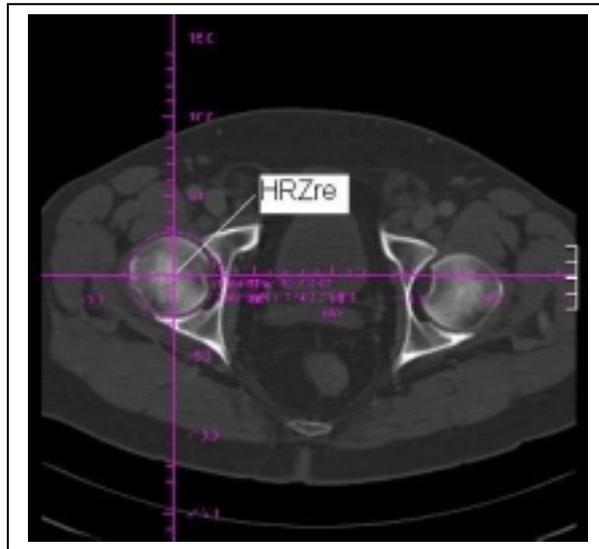
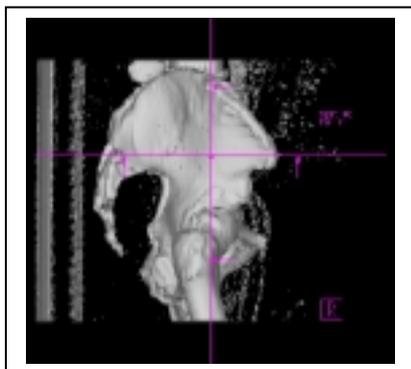


Abb.3

Transversalschicht des Hüftkopf-Mittelpunktes rechts

Die Bestimmung der Transversalschicht der Spina iliaca anterior superior (SIAS) in Richtung der Z-Achse erfolgte über eine 3D-Darstellung des Beckens (s. Abb. 4).



3D-Bild der SIAS rechts

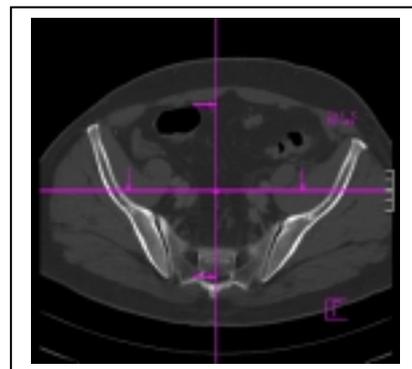


Abb. 4

Transversalschicht der SIAS rechts

Als Messpunkt für die Spina iliaca anterior superior wurde der vorderste Punkt in Richtung der Y-Achse gewählt (s. Abb. 5).

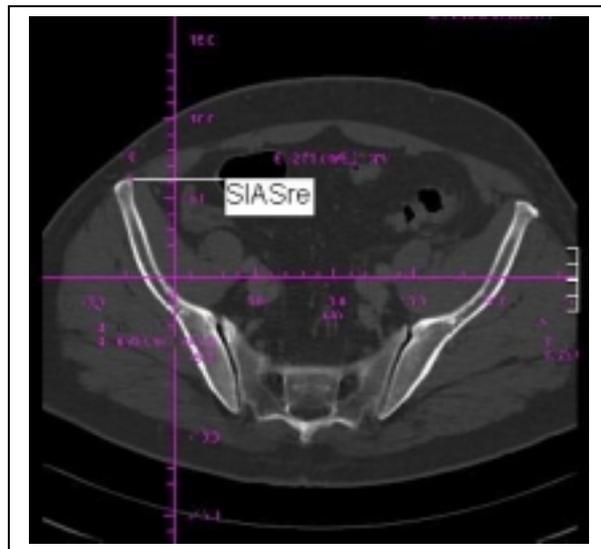
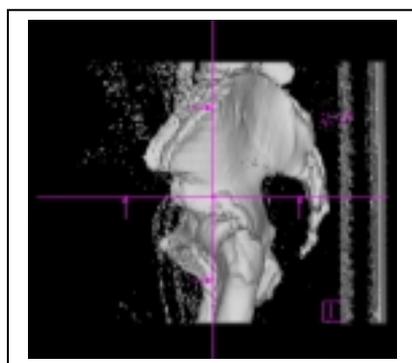


Abb.5

Messpunkt der SIAS rechts

Ebenfalls über eine 3D-Darstellung des Beckens wurde die Schicht der Spina iliaca anterior inferior (SIAI) in Richtung der Z-Achse bestimmt (s. Abb. 6).



3D-Bild der SIAI links

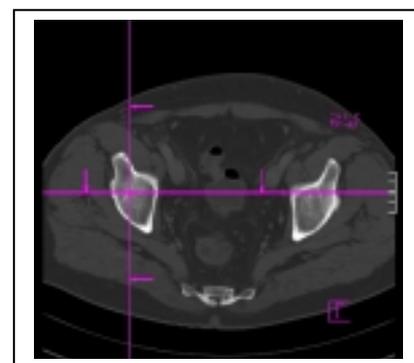


Abb. 6

Über das 3D-Bild ermittelte Transversalschicht der SIAI links

Für die Spina iliaca anterior inferior wurde der vorderste Punkt als Messpunkt in Richtung der Y-Achse gewählt (s. Abb. 7).

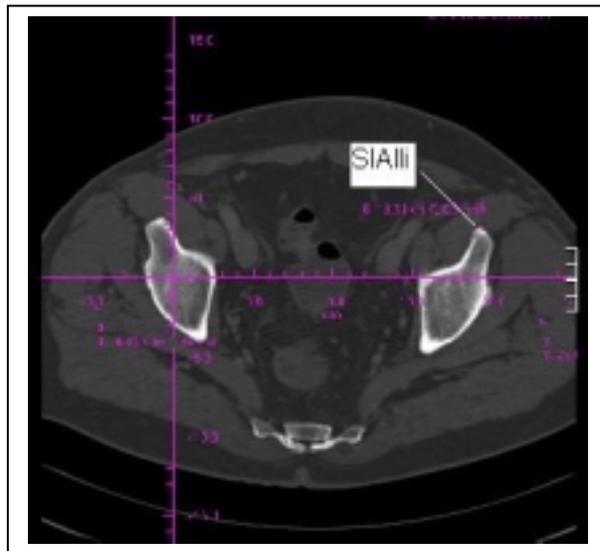
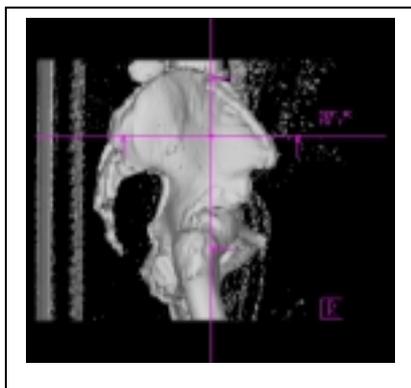


Abb. 7

Messpunkt der SIAI links

Die Schicht der Spina iliaca posterior superior (SIPS) in Richtung der Z-Achse wurde auch über die 3D-Darstellung des Beckens ermittelt (s. Abb. 8).



3D-Bild der SIPS rechts

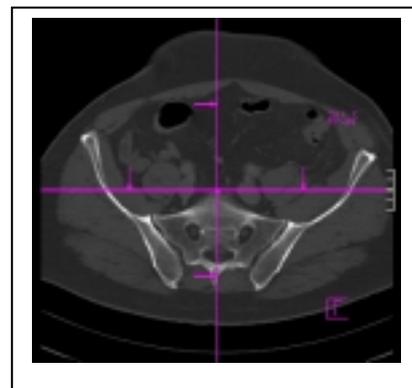


Abb.8

Über das 3D-Bild ermittelte Transversalschicht der SIPS rechts

Als Messpunkt für die Spina iliaca posterior superior wurde der hinterste Punkt in Richtung der Y-Achse gewählt (s. Abb. 9).

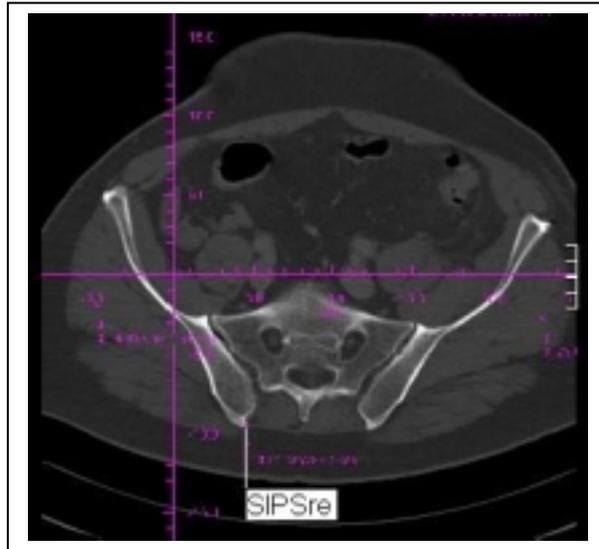
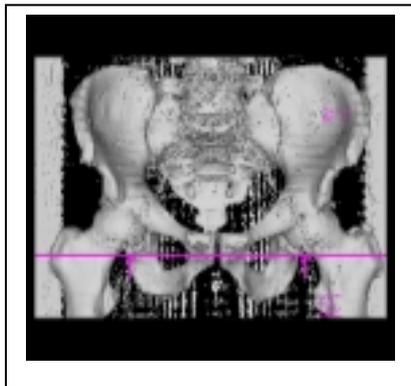


Abb. 9

Messpunkt der SIPS rechts

Die Bestimmung der Schicht der Symphysis pubica (SP) in Richtung der Z-Achse erfolgte ebenfalls über eine 3D-Darstellung des Beckens (s. Abb. 10).



3D-Bild der SP

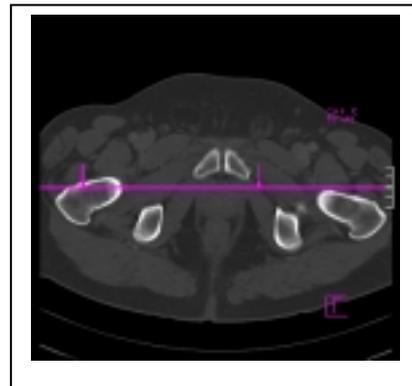


Abb. 10

Über das 3D-Bild ermittelte Transversalschicht der SP

Der Messpunkt der Symphysis pubica ist der Mittelpunkt der beiden Tubercula incunati (s. Abb. 11).

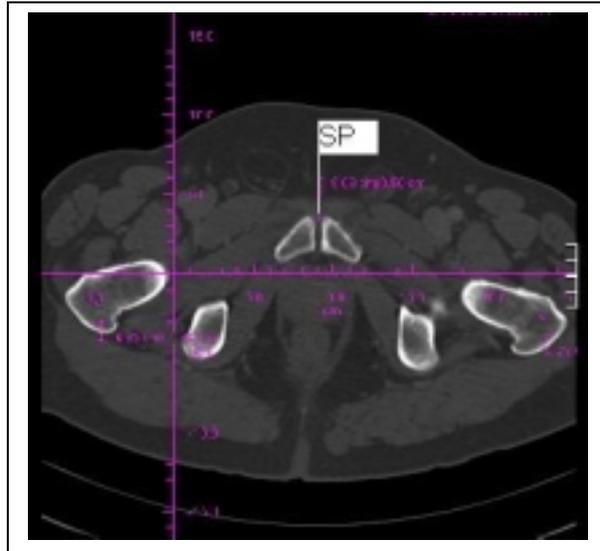


Abb.11  
Messpunkt der SP

Bei der Konstruktion des Messpunktes des Trochanter major wurde keine 3D-Darstellung des Beckens verwendet, sondern der Datensatz wurde „durchgeblättert“. Als Messpunkt für den Trochanter major (TM) wurde der höchste Punkt in Richtung der Z-Achse gewählt (s. Abb. 12).

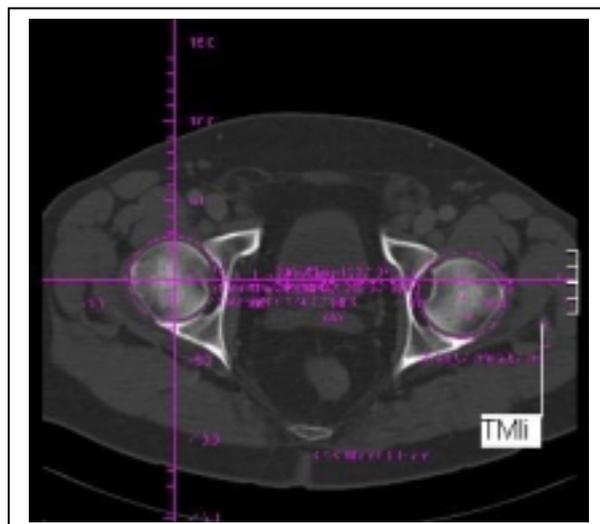


Abb. 12  
Messpunkt des TM links

## 2.4 Auswertung

Die Distanzen der Messpunkte errechneten sich aus den Koordinaten-Differenzen der Messpunkte über den Satz des Pythagoras

$$\Delta_d = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2} .$$

Die Berechnung der Distanzen erfolgte immer ausgehend von den HRZ.

Folgende Distanzen wurden vom rechten HRZ zu den Landmarken des Beckens und dem Femur berechnet:

HRZre-HRZli, SIASre-HRZre, SIASli-HRZre, SP-HRZre, SIAIre-HRZre, SIAIli-HRZre, SIPSre-HRZre, SIPSli-HRZre und TMre-HRZre.

Folgende Distanzen wurden ausgehend vom linken HRZ berechnet:

SIASre-HRZli, SIASli-HRZli, SP-HRZli, SIAIre-HRZli, SIAIli-HRZli, SIPSre-HRZli, SIPSli-HRZli und TMli-HRZli.

Zusätzlich wurden transversale Distanzen zwischen den Landmarken des Beckens berechnet: SIASre-SIASli, SIAIre-SIAIli, SIPSre-SIPSli.

Für die Beckenvermessung wurden die Distanzen in longitudinale, transversale und diagonale Distanzen eingeteilt.

Die longitudinalen Distanzen SIASre-HRZre, SIAIre-HRZre, SIPSre-HRZre, SIASli-HRZli, SIAIli-HRZli und SIPSli-HRZli charakterisieren die Beckenhöhe (s. Abb. 13):

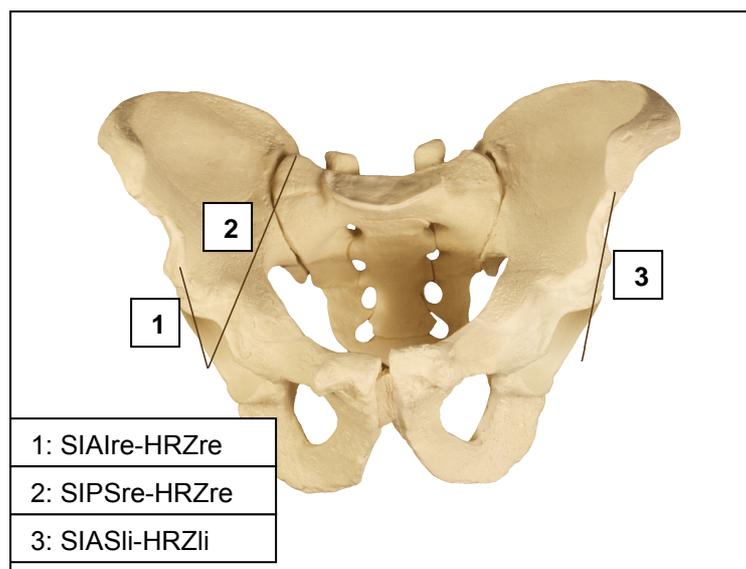


Abb. 13

Die transversalen Distanzen HRZre-HRZli, SIASre-SIASli, SIAIre-SIAIli und SIPSre-SIPSlI charakterisieren die Beckenbreite (s. Abb.14):

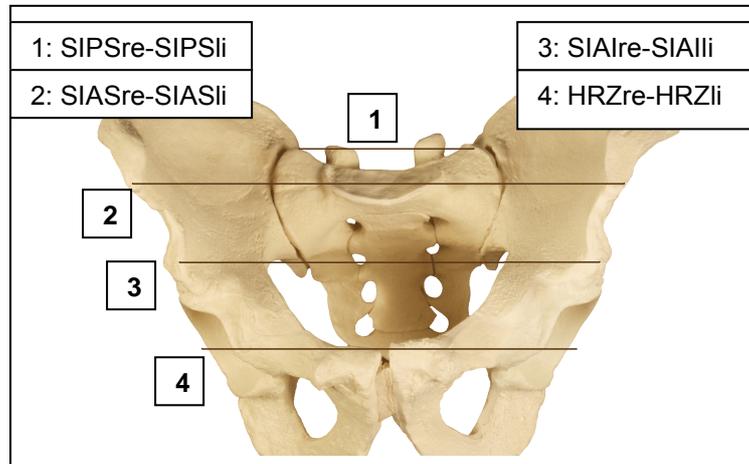


Abb. 14

Ebenfalls für die Charakterisierung der Beckenbreite und der Beckenhöhe sind die diagonalen Distanzen SIASli-HRZre, SIAIli-HRZre, SIPSli-HRZre, SIASre-HRZli, SIAIre-HRZli und SIPSre-HRZli notwendig (s. Abb.15):

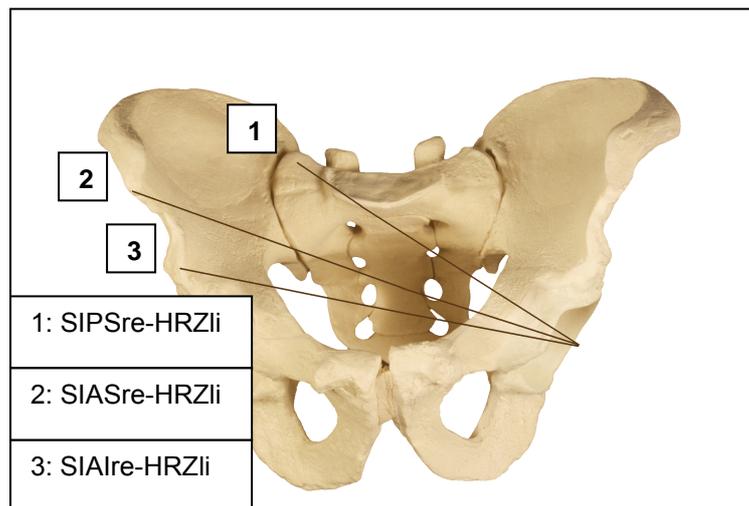


Abb.15

Berechnung der Winkel zwischen den Verbindungsgeraden:

$$\alpha = \arccos \frac{\vec{a} \cdot \vec{b}}{|\vec{a}| \cdot |\vec{b}|}$$

Folgende Winkel wurden berechnet :

(APP) vs. (Frontalebene), (HRZre-HRZli) vs. (SIASre-SIASli), (SIASli-HRZli) vs. (APP) und (SIASre-HRZre) vs. (APP).

Von den Strecken und Winkeln wurden das arithmetische Mittel  $\bar{x}$ , die Standardabweichung SD und der Variationskoeffizient Var ermittelt. Der Variationskoeffizient gibt an, wie viel Prozent vom arithmetischen Mittelwert die Standardabweichung beträgt. Dies geschah einmal für alle 50 Patienten und dann nur für Männer und Frauen. Bei den interindividuellen Messungen wurde der Mittelwert der absoluten Differenzen berechnet. Der Absolutwert einer Zahl ist die Zahl ohne ihr Vorzeichen.

Zusätzlich wurden gepaarte t-Tests durchgeführt (Test, ob 2 Stichproben aus 2 Grundgesamtheiten mit demselben Mittelwert stammen). Die linearen Zusammenhänge bzw. Unterschiede der Distanzen wurden in einem Diagramm ermittelt. Zusätzlich wurden für jedes Diagramm eine Funktionsgerade und der Korrelationskoeffizient r errechnet.

Der Korrelationskoeffizient r ist ein dimensionsloser Index mit dem Wertebereich  $-1,0 \leq r \leq 1,0$  und ein Maß dafür, inwieweit zwischen zwei Datensätzen eine lineare Abhängigkeit besteht.

Das 95%-Konfidenzintervall ist derjenige Bereich in dem der wahre Messwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% liegt. Der wahre Wert ist eigentlich unbekannt und würde sich nur durch „unendlich“ viele Messungen bestimmen lassen. Der wahre Messwert wird aber approximiert durch den sog. „Point estimate“ (= aktueller Messwert), der im Zentrum des Konfidenzintervalls liegt. Je größer die eingeschlossene Anzahl der Probanden in einer Studie und je geringer die Standardabweichung, desto enger wird das Konfidenzintervall. Der Vorteil, die Genauigkeit von Messresultaten mit Hilfe von Konfidenzintervallen anzugeben, liegt darin, dass die Verlässlichkeit der Resultate quantifiziert

werden kann. Der p-Wert, besagt lediglich, ob ein Resultat statistisch signifikant ist oder nicht, lässt aber keine Aussage über die quantitativen Unterschiede zu. Der FTEST dient zur Überprüfung der Hypothese, dass zwei Verteilungen gleiche Streuungen aufweisen. Dazu wird ein gewisses Signifikanzniveau vorgegeben, welches verkürzt gesagt angibt, mit welcher Sicherheit die Hypothese abgelehnt werden kann. Ist etwa Niveau=0.5, dann heißt das, dass mit einer Sicherheit von 95% davon ausgegangen werden kann, dass die Hypothese nicht zutrifft.

Alle Diagramme, Funktionsgeraden und Rechnungen wurden mit dem Programm MS-Excel und Matlab erstellt.

Zuerst wurden die transversalen Abstände miteinander verglichen:

(HRZre-HRZli) vs. (SIASre-SIASli),(HRZre-HRZli) vs. (SIALre-SIALli),(HRZre-HRZli) vs. (SIPSre-SIPSli),(SIASre-SIASli) vs. (SIALre-SIASli),(SIASre-SIASli) vs.(SIPSre-SIPSli), und (SIALre-SIALli) vs. (SIPSre-SIPSli).

Danach wurde die rechte Beckenseite mit der linken Beckenseite verglichen:

(SIASre-HRZre) vs. (SIASli-HRZli), (SIALre-HRZre) vs. (SIALli-HRZli), (SIPSre-HRZre) vs. (SIPSli-HRZli), (SP-HRZre) vs. (SP-HRZli) und (TMreHRZre) vs. (TMliHRZli).

Zusätzlich wurden die Diagonalen des Beckens miteinander verglichen:

(SIASli-HRZre) vs. (SIASre-HRZli), (SIALli-HRZre) vs. (SIALre-HRZli) und (SIPSli-HRZre) vs. (SIPSre-HRZli).

Die transversalen und longitudinalen Distanzen wurden verglichen:

(HRZre-HRZli) vs. (SIASre-HRZre), (HRZre-HRZli) vs. (SIASli-HRZli), (HRZre-HRZli) vs. (SIALre-HRZre), (HRZre-HRZli) vs. (SIALli-HRZli), (SIASre-HRZre) vs. (SIASre-SIASli), (SIASli-HRZli) vs. (SIASre-SIASli), (SIALre-HRZre) vs. (SIASre-SIASli) und (SIALli-HRZli) vs. (SIASre-SIASli).

Zum Schluss wurde untersucht, ob ein linearer Zusammenhang zwischen den Distanzen und der Körpergröße besteht.

## ***2.5 Besonderheiten und Probleme bei der Bestimmung einiger Parameter***

Die CT-Aufnahmen des Abdomens wurden mit einem Weichteilfenster gefahren. Trotz Bildbearbeitung (Reduzierung des Weichteilfensters) kam es manchmal zu einer Weichteilüberstrahlung der Messpunkte. Durch degenerative Veränderungen des Beckens (Osteolysen und Osteophyten) kam es zur Verlagerung der Messpunkte. Der Abstand zwischen den einzelnen Transversalschichten bei den CT-Aufnahmen betrug 3 mm. Der optimale Messpunkt kann zwischen den Schichten liegen, d.h. es lag eine Messungenauigkeit bei den Messungen von  $\pm 3$  mm in Richtung der Z-Achse vor.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse der computertomographischen Messungen für Distanzen und Winkel

Mittelwerte, Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der ermittelten Distanzen sind in der Tabelle 1 zusammengefasst:

Tabelle 1 Mittelwerte, Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Distanzen  
Die Werte in dieser Tabelle sind nach dem Variationskoeffizienten geordnet, beginnend mit dem kleinsten Wert

Distanzen	Mittelwert (cm)	Standard- abweichung	Variations- koeffizient (%)
SIPSLi-HRZre	18,6	0,8	4,3
SIPSre-HRZli	18,6	0,8	4,6
SIASre-HRZli	22,5	0,7	4,8
SIASli-HRZre	22,5	0,7	4,8
SIPSLi-HRZli	13,8	0,7	5,0
SIPSre-HRZre	13,8	0,7	5,1
SIAlli-HRZre	19,5	1,1	5,5
HRZre-HRZli	17,8	1,0	5,5
SP-HRZli	10,5	0,6	5,5
SIAlre-HRZli	19,5	1,1	5,7
SP-HRZre	10,4	0,6	6,1
SIASre-SIASli	23,4	1,6	6,6
SIAlre-SIAlli	19,8	1,3	6,7
SIASre-HRZre	9,5	0,7	7,1
SIASli-HRZli	9,5	0,7	7,2
SIAlli-HRZli	5,3	0,5	10,1
TMre-HRZre	5,1	0,5	10,5
SIAlre-HRZre	5,3	0,6	10,6
SIPSre-SIPSLi	8,7	1,0	11,2
TMli-HRZli	5,1	0,6	12,2
Körpergrösse	169,5	8,5	5,0

Die langen Distanzen haben eine große Standardabweichung und einen kleinen Variationskoeffizienten und die kurzen Distanzen haben eine kleine Standardabweichung und einen großen Variationskoeffizienten (SD 0,5-1,5 und Var 4,3-12,2).

Paarweise zusammengehörige Distanzen, wie zum Beispiel die Diagonalen SIASre-HRZli und SIASli-HRZre oder die longitudinalen Distanzen SIASre-HRZre und SIASli-HRZli im Seitenvergleich, haben fast immer den gleichen Mittelwert, die gleiche Standardabweichung und den gleichen Variationskoeffizienten. Dies ist der erste Hinweis für die Landmarkensymmetrie.

In der Tabelle 2 sind die Mittelwerte, die Standardabweichungen und die Variationskoeffizienten der Winkel zusammengefasst:

Tabelle 2 Mittelwerte, Standardabweichungen und Variationskoeffizienten der Winkel

Winkel	Mittelwert	Standard- abweichung	Variations- koeffizient (%)
APP vs. Frontalebene	5,7	4,7	82,4
HRZre-HRZli vs. SIASre-SIASli	1,1	0,6	53,7
SIASli-HRZli vs. APP	29,0	2,7	9,2
SIASre-HRZre vs. APP	28,7	3,0	10,5

Die ersten beiden Winkel haben einen hohen Variationskoeffizienten bei einem kleinen Mittelwert. Die Beckeneingangsebene ist gegenüber der Frontalebene um  $5.6^\circ$  inkliniert. Die Distanzen HRZre-HRZli und SIASre-SIASli sind fast parallel zueinander ( $\alpha \sim 1^\circ$ ). Die letzten beiden Winkel haben fast den gleichen Mittelwert, die gleiche Standardabweichung und den gleichen Variationskoeffizienten. Für die Landmarkensymmetrie ist dies ein weiterer Hinweis.

### **3.2 Interindividuelle Unterschiede bei den Messungen**

In Tabelle 3 sind die Mittelwerte der Distanzen und die Mittelwerte der absoluten Differenzen dargestellt:

Tabelle 3 Mittelwerte der Distanzen und die Mittelwerte der betraglichen Differenzen

Die Werte sind nach den Mittelwerten der betraglichen Differenzen sortiert, beginnend mit dem kleinsten Wert

Distanzen	Mittelwert (Distanzen)	Mittelwert (betragliche Differenzen)
SP-HRZre	10,3	0,1
TMLi-HRZli	4,3	0,1
SIASli-HRZre	22,5	0,1
SIPSre-HRZli	18,7	0,1
TMre-HRZre	4,6	0,2
SIAlli-HRZre	19,5	0,2
SIPSre-HRZre	13,2	0,2
SIASre-HRZre	9,1	0,2
SIAIre-HRZre	5,2	0,2
SP-HRZli	10,6	0,2
SIASre-HRZli	22,9	0,2
SIAlli-HRZli	5,2	0,2
SIASre-SIASli	24,1	0,2
SIPSre-SIPSli	8,9	0,2
SIAIre-HRZli	19,8	0,2
SIPSli-HRZre	18,0	0,2
SIASli-HRZli	9,2	0,3
HRZre-HRZli	17,9	0,3
SIPSli-HRZli	13,4	0,3
SIAIre-SIAlli	20,0	0,4

Die Mittelwerte der betraglichen Differenzen sind im Verhältnis zu den Mittelwerten der Distanzen gering. Dies zeigt, dass die hier vorgestellte Messmethode relativ genau reproduzierbar ist.

Die Mittelwerte der Winkel und die Mittelwerte der betraglichen Differenzen sind in der Tabelle 4 aufgeführt:

Tabelle 4 Mittelwerte der Winkel und die Mittelwerte der betraglichen Differenzen

Winkel	Mittelwert (Winkel)	Mittelwert (betragliche Differenzen)
APP vs. Frontalebene	5,5	1,2
HRZre-HRZli vs. SIASre-SIASli	1,1	0,5
SIASli-HRZli vs. APP	29,0	1,5
SIASre-HRZre vs. APP	29,7	0,6

Die Mittelwerte der betraglichen Differenzen von den ersten beiden Winkeln sind im Verhältnis zu den Mittelwerten der Winkeln groß und die Mittelwerte der betraglichen Differenzen von den letzten beiden Winkeln sind im Verhältnis zu den Mittelwerten der Winkeln klein. Dies ist ein weiterer Beweis für die genaue Wiederholbarkeit der hier vorgestellten Messmethode.

### **3.3 Das 95%-Konfidenzintervall**

Die Mittelwerte, die 95%-Konfidenzintervalle und die Standardabweichungen sind in der folgenden Tabelle 5 aufgeführt. Die Längen der Distanzen wurden in X-, Y- und Z-Koordinaten aufgeteilt.

Tabelle 5 Mittelwerte, 95%-Konfidenzintervalle und Standardabweichungen

Distanzen	Mittelwert	Konfidenzintervall (95%)	Standardabweichung
HRZre-HRZli (x-Wert)	17,8	0,3	1,0
HRZre-HRZli (y-Wert)	0,0	0,1	0,2
HRZre-HRZli (z-Wert)	-0,1	0,1	0,3
HRZre-HRZli d	17,8	0,3	1,0
SIASre-HRZre (x-Wert)	-2,8	0,2	0,8
SIASre-HRZre (y-Wert)	7,8	0,2	0,7
SIASre-HRZre (z-Wert)	4,5	0,2	0,6
SIASre-HRZre d	9,5	0,2	0,7
SIASli-HRZli (x-Wert)	2,8	0,2	0,8
SIASli-HRZli (y-Wert)	7,8	0,2	0,7
SIASli-HRZli (z-Wert)	4,6	0,1	0,5
SIASli-HRZli d	9,5	0,2	0,7
SIASli-HRZre (x-Wert)	20,6	0,3	1,1
SIASli-HRZre (y-Wert)	7,8	0,2	0,7
SIASli-HRZre (z-Wert)	4,5	0,2	0,6
SIASli-HRZre d	22,5	0,3	1,1
SIASre-HRZli (x-Wert)	-20,6	0,3	1,1
SIASre-HRZli (y-Wert)	7,8	0,2	0,7
SIASre-HRZli (z-Wert)	4,6	0,1	0,5
SIASre-HRZli d	22,5	0,3	1,1
SP-HRZre (x-Wert)	8,9	0,1	0,5
SP-HRZre (y-Wert)	-2,9	0,2	0,6
SP-HRZre (z-Wert)	4,5	0,2	0,6
SP-HRZre d	10,4	0,2	0,6
SP-HRZli (x-Wert)	-8,9	0,1	0,5
SP-HRZli (y-Wert)	-2,9	0,2	0,6
SP-HRZli (z-Wert)	4,6	0,1	0,5
SP-HRZli d	10,5	0,2	0,6

Das 95%-Konfidenzintervall fällt für die ermittelten Distanzen sehr eng aus ( $\pm 0,1\text{cm}$  bis  $\pm 0,3\text{ cm}$ ). Aus diesen Ergebnissen ist zu ersehen, dass die Resultate zuverlässig sind, aber über die quantitativen Unterschiede kann keine Aussage getroffen werden. Die quantitativen Unterschiede werden über die Standardabweichungen erfasst. Die Standardabweichungen sind in Gegensatz zu dem 95%-Konfidenzintervall relativ groß.

### 3.4 Normierte Abstände

In der Tabelle 6 sind die normierten Abstände und die Umrechnung dieser Werte zum Vergleich der Ergebnisse mit den Arbeiten von Tylkowski und Bell aufgelistet.

Tabelle 6 Normierte Abstände

	x/xref li	y/yref li	z/zref li	x/xref re	y/yref re	z/zref re
Mittelwert	76,4	72,9	31,2	-76,2	72,9	30,8
Standard- abweichung	5,8	4,6	2,7	5,9	4,8	2,9
Spannweite	29,3	22,4	15,1	24,8	22,0	12,9
Normierung auf die jeweilige Referenzlänge (links) bzw. nur auf eine Referenzlänge (rechts)						
	x/xref re	y/yref re	z/zref re		y/xref re	z/xref re
Mittelwert	-76,2	72,9	30,8		-66,6	39,0
Standard- abweichung	5,9	4,8	2,9		7,8	5,3
FTEST					0,0008	5,59E-05
Umrechnung der normierten Abstände zum Vergleichen mit Bell und Tylkowski						
	x/xref*	y/xref*	z/xref*			
Mittelwert	11,9	33,4	19,5			
Standard- abweichung	2,9	3,9	2,7			
xref*= d(SIASre-SIASli) Alle Angaben in %						

Im Seitenvergleich ist zu erkennen, dass die Mittelwerte und die Standardabweichungen der normierten Abstände fast die gleichen Werte

aufweisen. Dies erhärtet den Verdacht, dass die Landmarken des Beckens symmetrisch zu einander sind. Die Standardabweichungen fallen klein aus, aber die Spannweite (Maximalwert minus Minimalwert) ist groß. Die Länge der Distanzen am Becken unterliegt einer großen Streuung. Bei der Normierung auf nur eine Referenzlänge sind die Standardabweichungen größer als bei der Normierung auf die jeweilige Referenzlänge. Der durchgeführte FTEST zeigt, dass der Größenunterschied zwischen den Standardabweichungen signifikant ist, d.h. nicht zufällig ist.

### **3.5 Vergleich zwischen Männer und Frauen**

Die signifikanten Unterschiede zwischen Männer und Frauen wurden mit dem t-Test bestimmt. Die p-Werte sind in der Tabelle 7 aufgeführt.

Tabelle 7 p-Werte der t-Tests

Distanzen	p-Wert
SIAlre-HRZre	0,000020
SIAlli-HRZli	0,000024
TMli-HRZli	0,000057
TMre-HRZre	0,000715
SIASre-HRZre	0,002137
SIPSre-SIPSli	0,020960
SIASli-HRZli	0,031498
SIAlre-HRZli	0,186883
SIPSre-HRZli	0,299427
SIAlre-SIAlli	0,314824
SIPSre-HRZre	0,324916
SIPSli-HRZre	0,328649
SIASre-HRZli	0,328755
SIAlli-HRZre	0,360309
SP-HRZli	0,496045
SIASli-HRZre	0,554357
SIPSli-HRZli	0,800960
SP-HRZre	0,855502
HRZre-HRZli	0,860101
SIASre-SIASli	0,896732
Körpergrösse	0,009724

Die Beckenhöhe ist zwischen den Geschlechtern unterschiedlich. Die longitudinalen Distanzen SIASre-HRZre, SIASli-HRZli, SIAIre-HRZre und SIAIli-HRZli haben einen signifikanten p-Wert. In der Beckenbreite ist zwischen den Männern und den Frauen kein Unterschied zu finden bis auf den Abstand zwischen den beiden SIPS. Die Abstände zwischen dem Trochanter major und dem Hüftrotationszentrum weisen auch einen signifikanten Unterschied auf.

Die p-Werte wurden auch für die X-, Y- und Z-Werte der Distanzen berechnet (s. Tabelle 8).

Tabelle 8 p-Werte der X-,Y- und Z-Werte der Distanzen

Distanzen	p-Wert
HRZre-HRZli (x-Wert)	0,852850
HRZre-HRZli (y-Wert)	0,040083
HRZre-HRZli (z-Wert)	0,558624
HRZre-HRZli d	0,827740
SIASre-HRZre (x-Wert)	0,638186
SIASre-HRZre (y-Wert)	0,003069
SIASre-HRZre (z-Wert)	0,318423
SIASre-HRZre d	0,001746
SIASli-HRZli (x-Wert)	0,668384
SIASli-HRZli (y-Wert)	0,028659
SIASli-HRZli (z-Wert)	0,146604
SIASli-HRZli d	0,030748
SIASli-HRZre (x-Wert)	0,882717
SIASli-HRZre (y-Wert)	0,003069
SIASli-HRZre (z-Wert)	0,318423
SIASli-HRZre d	0,561555
SIASre-HRZli (x-Wert)	0,598533
SIASre-HRZli (y-Wert)	0,028659
SIASre-HRZli (z-Wert)	0,146604
SIASre-HRZli d	0,286067
SP-HRZre (x-Wert)	0,940242
SP-HRZre (y-Wert)	0,282650
SP-HRZre (z-Wert)	0,318423
SPre-HRZre d	0,854453
SP-HRZli (x-Wert)	0,773077
SP-HRZli (y-Wert)	0,785959
SP-HRZli (z-Wert)	0,146604
SP-HRZli d	0,473701

Alle Y-Werte der hier aufgeführten Distanzen bis auf SP-HRZre und SP-HRZli haben einen signifikanten p-Wert (Y-Achse entsprach der Longitudinalachse), d.h. die Beckenhöhe bei den Geschlechtern unterschiedlich ist.

### **3.6 Untersuchung von linearen Korrelationen zwischen den transversalen Distanzen**

Die Korrelationskoeffizienten  $r$  der transversalen Distanzen sind in der Tabelle 9 zusammengefasst. Die dazugehörigen Diagramme 1-6 sind im Anhang aufgeführt.

Tabelle 9 Korrelationskoeffizienten  $r$  der transversalen Distanzen

Distanzen	Korrelationskoeffizient $r$	Diagramm-Nr.
HRZre-HRZli vs. SIASre-SIASli	0,33	1
HRZre-HRZli vs. SIAIre-SIAIli	0,61	2
HRZre-HRZli vs. SIPSre-SIPSli	0,01	3
SIASre-SIASli vs. SIAIre-SIAIli	0,48	4
SIASre-SIASli vs. SIPSre-SIPSli	0,06	5
SIAIre-SIAIli vs. SIPSre-SIPSli	0,08	6

Die transversalen Distanzen zeigen einen niedrigen Korrelationskoeffizienten außer (HRZre-HRZli) vs. (SIAIre-SIAIli). In den dazugehörigen Diagrammen ist eine große Streuung der Werte um die Regressionsgeraden zu erkennen. Hier ist kein linearer Zusammenhang zu finden.

### **3.7 Untersuchung von linearen Korrelationen zwischen den longitudinalen Distanzen im Seitenvergleich**

In der Tabelle 10 sind die Korrelationskoeffizienten  $r$  der longitudinalen Distanzen dargestellt. Die Diagramme 7-11 s. Anhang.

Tabelle 10 Korrelationskoeffizienten  $r$  der longitudinalen Distanzen

Distanzen	Korrelationskoeffizient $r$	Diagramm-Nr.
SIASre-HRZre vs. SIASli-HRZli	0,94	7
SIAIre-HRZre vs. SIAIli-HRZli	0,89	8
SIPsre-HRZre vs. SIPsli-HRZli	0,93	9
SP-HRZre vs. SP-HRZli	0,96	10
TMre-HRZre vs. TMli-HRZli	0,82	11

Die Korrelationskoeffizienten der longitudinalen Distanzen sind groß. In den Diagrammen 7-11 zeigt sich nur eine geringe Streuung der Werte um die Regressionsgerade. Es besteht ein linearer Zusammenhang zwischen den longitudinalen Distanzen im Seitenvergleich.

### **3.8 Untersuchung von linearen Korrelationen zwischen den diagonalen Distanzen**

Die Korrelationskoeffizienten  $r$  der diagonalen Distanzen s. Tabelle 11. Die Diagramme 12-14 sind im Anhang dargestellt.

Tabelle 11 Korrelationskoeffizienten  $r$  der diagonalen Distanzen

Distanzen	Korrelationskoeffizient $r$	Diagramm-Nr.
SIASli-HRZre vs. SIASre-HRZli	0,92	12
SIAIli-HRZre vs. SIAIre-HRZli	0,96	13
SIPsli-HRZre vs. SIPsre-HRZli	0,84	14

Die diagonalen Distanzen haben ebenfalls hohe Korrelationskoeffizienten. Die Streuung der Werte in den Diagrammen ist gering. Hier besteht ebenfalls ein linearer Zusammenhang.

### 3.9 Untersuchung von linearen Korrelationen zwischen den transversalen und longitudinalen Distanzen

Die Korrelationskoeffizienten  $r$  der transversalen und longitudinalen Distanzen sind in der Tabelle 12 aufgeführt. Im Anhang sind die Diagramme 15-22 zusammengefasst.

Tabelle 12 Korrelationskoeffizienten  $r$  der transversalen und longitudinalen Distanzen

Distanzen	Korrelationskoeffizient $r$	Diagramm-Nr.
HRZre-HRZli vs. SIASre-HRZre	0,42	15
HRZre-HRZli vs. SIASli-HRZli	0,40	16
HRZre-HRZli vs. SIAIre-HRZre	0,40	17
HRZre-HRZli vs. SIAIli-HRZli	0,35	18
SIASre-HRZre vs. SIASre-SIASli	0,26	19
SIASli-HRZli vs. SIASre-SIASli	0,27	20
SIAIre-HRZre vs. SIASre-SIASli	0,25	21
SIAIli-HRZli vs. SIASre-SIASli	0,29	22

In dieser Tabelle sind nur relativ niedrige Korrelationskoeffizienten zu sehen. Die Streuung der Werte in den dazugehörigen Diagrammen ist groß. Im Seitenvergleich sieht man, dass die transversalen und longitudinalen Distanzen fast den gleichen Korrelationskoeffizienten haben. Diese gleichen Werte geben einen weiteren Hinweis für die Landmarkensymmetrie.

### 3.10 Untersuchung der linearen Korrelationen zwischen den Distanzen und der Körpergröße

In der Tabelle 13 sind die Korrelationskoeffizienten  $r$  der Distanzen und der Körpergröße dargestellt. Die Diagramme 22-28 s. Anhang.

Tabelle 13 Korrelationskoeffizienten  $r$  der Distanzen und der Körpergröße (KG)

Distanzen	Korrelationskoeffizient $r$	Diagramm-Nr.
SIPSre-SIPSLi	0,09	
SIAIre-SIAIli	0,12	
SIPSLi-HRZre	0,17	
SIASre-SIASli	0,21	23
HRZre-HRZli	0,22	24
SIAIli-HRZre	0,25	
SIPSre-HRZli	0,28	
SIAIre-HRZli	0,29	
SIPSLi-HRZli	0,32	
SIPSre-HRZre	0,34	
SIASli-HRZre	0,36	25
SP-HRZre	0,38	
SIASre-HRZli	0,39	26
SP-HRZli	0,42	
TMre-HRZre	0,53	
TMli-HRZli	0,55	
SIASli-HRZli	0,59	27
SIAIre-HRZre	0,65	
SIASre-HRZre	0,66	28
SIAIli-HRZli	0,67	

Bei linearen Korrelationen zwischen den Distanzen und der Körpergröße zeigen nur die longitudinalen Distanzen relativ hohe Korrelationskoeffizienten auf. In den Diagrammen 23-28 erkennt man eine große Streuung der Werte um die

Regressionsgeraden. Es konnte kein linearer Zusammenhang zwischen den Distanzen an Becken und der Körpergröße nachgewiesen werden.

## 4 Diskussion

### 4.1 Die direkte Bestimmung des HRZ über die Landmarken des Beckens

Die berechneten Distanzen zwischen den Hüftrotationszentren (HRZ) und den Landmarken des Beckens sowie die zusätzlichen berechneten transversalen Distanzen am Becken traten folgende Ergebnisse für die Standardabweichungen (SD) und für die Variationskoeffizienten (Var) auf (s. Tabelle 1): Die langen Distanzen hatten eine große Standardabweichung und einen kleinen Variationskoeffizienten. Die kurzen Distanzen hatten eine kleine Standardabweichung und einen großen Variationskoeffizienten (SD: 0.5-1.5cm, Var: 4.3%- 12.2% und die Mittelwerte (MW) 5.1cm-23.4cm für alle Distanzen). Daraus lässt sich schließen, dass die Länge der großen Distanzen bei den Messungen starken Schwankungen unterlag, aber im Verhältnis zu ihrer Gesamtlänge die Schwankungen gering ausfielen. Bei den kurzen Distanzen war es umgekehrt. Die Länge der kurzen Distanzen unterlag bei den Messungen geringen Schwankungen, aber im Verhältnis zu ihrer Gesamtlänge fielen sie groß aus.

Um interindividuelle Unterschiede bei den Messungen feststellen zu können, wurden bei 5 Patienten (3 Frauen und 2 Männer) interindividuelle Messungen durchgeführt. Die Mittelwerte der betraglichen Differenzen bei den Distanzen waren 0.1cm- 0.4cm (s. Tabelle 3). Diese Werte sind im Verhältnis zu den Mittelwerten der Distanzen gering und ihr Wert war bei langen und kurzen Distanzen gleich groß.

Die Mittelwerte der betraglichen Differenzen von den Winkeln (APP vs. Frontalebene) und (HRZre-HRZli vs. SIASre-SIASli) sind im Verhältnis zu den Mittelwerten der Winkel groß und die Mittelwerte der betraglichen Differenzen von den Winkeln (SIASli-HRZli vs. APP) und (SIASre-HRZre vs. APP) sind im Verhältnis zu den Mittelwerten der Winkel klein (s. Tabelle 4). Trotzdem sind Mittelwerte der betraglichen Differenzen bei den ersten beiden Winkeln gute Messergebnisse für den Intraobserververgleich, da bei den kleinen Winkeln die

relativ großen Mittelwerte der betraglichen Differenzen kaum einen Einfluss haben ( $0.5^{\circ}$ - $1.2^{\circ}$ ).

Im Allgemeinen zeigen diese Ergebnisse, dass die hier vorgestellte Methode für die Messungen am Becken relativ genau reproduzierbar ist.

Das 95%-Konfidenzintervall für die HRZ reicht von  $\pm 0,1$  cm bis  $\pm 0,3$  cm (s. Tabelle 5). Die 95%-Konfidenzintervalle dieser Studie sind erheblich kleiner als die von der Gruppe von Bell. Bei der dreidimensionalen Ermittlung des HRZ nach der Methode von Tylkowski erhielten sie einen Wert von 3.3 cm für das 95%-Konfidenzintervall. Der Wert verringerte sich auf 2.6 cm durch die Kombination der Art der Bestimmung von Tylkowski und Andriacchi.

Ein kleines Konfidenzintervall bedeutet leider nicht, dass der Ort des Hüftzentrums sehr genau angegeben werden kann. Ein kleines Konfidenzintervall bedeutet lediglich, wie genau der ermittelte Mittelwert mit dem tatsächlichen Mittelwert übereinstimmt. Dieses Konfidenzintervall wird beispielsweise bei gleich bleibender Streuung der Datenwerte mit zunehmendem Stichprobenumfang immer kleiner. Das liegt daran, dass man bei zunehmendem Stichprobenumfang bei der Schätzung des Mittelwertes immer weniger falsch liegt.

Wie gut der Mittelwert die Werte repräsentiert, kann man anhand der mittleren Abweichung (Standardabweichung) ermessen (s. oben).

Die Gruppe von Tylkowski stellte fest, dass das Hüftrotationszentrum 11% von der Distanz zwischen den beiden SIAS medial lag, 12% distal und 21% posterior von den SIAS. Er untersuchte für seine Studie über 200 Kinder. Bell ermittelte andere Ergebnisse als Tylkowski. Das HRZ lag 14% von der Distanz zwischen den beiden SIAS medial, 30% distal und 22% posterior von den SIAS. Die Standardabweichungen waren 1989 für medial 2.3 %, distal 3.5 % und posterior 3.0 %. Insgesamt wurden 31 Erwachsene (16 Frauen und 15 Männer) untersucht. In der Studie von 1990 betrugen die Standardabweichungen für medial 3.1 %, distal 2.4 % und posterior 3.1 %. Für diese Studie standen nur 7 Männer zur Verfügung.

Die Ergebnisse dieser Studie sind fast dieselben wie die von Bell. Die normierten Abstände waren 12 % für medial (SD: 2.9%), 33 % für distal (SD:

3.9%) und 19% für posterior (SD:2.7%). Bei der Normierung der Abstände auf die jeweilige Referenzlänge fallen die Standardabweichungen kleiner aus als bei der Normierung auf nur eine Referenzlänge wie bei Bell (s. Tabelle 6). Der FTEST zeigte, dass die Unterschiede signifikant waren, d. h. das sie nicht zufällig waren (FTEST: 0,0008 und 5,59E-05). Dies zeigt, dass es sinnvoll ist, die Normierung auf die jeweilige Referenzlänge durchzuführen. Die entstandenen größeren Standardabweichungen bei der Normierung auf nur eine Referenzlänge können zu einer Fehlinterpretation führen. Aus diesen Ergebnissen ist nicht zu ersehen, welche Methode zur Bestimmung des HRZ, diese Studie oder die Bells Studie, genauer war. Leider wurden von Bell keine Daten zu einem Intraobserververgleich veröffentlicht. Dies würde eventuell die Frage beantworten. Der Vorteil von CT-Aufnahmen gegenüber konventionellen Röntgenaufnahmen ist, dass man den Röntgenvergrößerungsfaktor des Film-Focus-Abstand nicht beachten muss. Auch die Knochenmorphologie kann bei einer Computertomographie besser dargestellt werden. Somit sinkt die Ungenauigkeit bei der Bestimmung von Messpunkten. Ein weiterer Vorteil von CT-Aufnahmen ist, dass man in der Lage ist, das HRZ direkt bestimmen zu können.

Es konnte nicht ganz nachvollzogen werden, warum Tytkowski andere Werte für die normierten Abstände hatte. Die Methoden wurden in der Publikation nicht detailliert dargestellt. Ein Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse könnte sein, dass Tytkowski die Messungen an Kindern und nicht wie in dieser Studie an Erwachsenen durchgeführt hat. Ein weiterer Grund sollte in Erwägung gezogen werden, dass einige Kinder Knochenanomalien hatten (z. Bsp.: Hüft dysplasie) und somit konnte es zu einer Verschiebung der Messpunkte kommen.

Ein Vergleich mit Andriacchi wurde nicht durchgeführt. Aus seinen Publikationen war nicht zu ersehen, wie er das HRZ berechnet hat. Außerdem wurde in dieser Studie ein anderer Messpunkt am Trochanter major angewandt. Die Gruppe von Maruyama untersuchte 2001 das Becken unter Anwendung von t-Tests auf signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern. Das Signifikanzniveau betrug  $p = 0.05$ . Die Distanz zwischen den beiden

Acetabulumebenen (Beckenbreite) war signifikant größer bei den Frauen als bei den Männern ( $p = 1 \cdot 10^{-29}$ ). Aber die Beckenhöhe ( $p = 0.0002$ ), die Beckentiefe ( $p = 0.0058$ ) und die mediolaterale Breite ( $p = 1 \cdot 10^{-9}$ ) sind signifikant kleiner bei den Frauen.

In dieser Studie wurden andere Unterschiede zwischen den Geschlechtern in den Beckenmaßen gefunden (s. Tabelle 7). Das Signifikanzniveau war  $p = 0.05$ . Bei der Beckenbreite hatte nur die Distanz SIPSre-SIPSLi (Spina iliaca posterior superior = SIPS) einen signifikanten Wert von  $p = 0,020960$ . Die Beckenhöhe war ebenfalls unterschiedlich zwischen den Geschlechtern (SIAIre-HRZre  $p = 0,000020$ , SIAIli-HRZli  $p = 0,000024$ , SIASre-HRZre  $p = 0,002137$ , SIASli-HRZli  $p = 0,031498$  Spina iliaca anterior inferior = SIAI). Auch der Abstand zwischen HRZ und dem Trochanter major (TM) hatte einen signifikanten Wert (TMli-HRZli  $p = 0,000057$  und TMre-HRZre  $p = 0,000715$ ). Die Beckentiefe wurde nicht ermittelt. Die diagonalen Distanzen zeigten keine signifikanten Werte auf.

Die Distanzen wurden zusätzlich in x-, y- und z-Werte aufgeteilt und auch diese Werte wurden einem t-Test unterzogen (s. Tabelle 8). Alle Y-Werte (Beckenhöhe) bis auf SP-HRZre und SP-HRZli hatten einen signifikanten p-Wert.

Ein Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse ist, dass die Studie von Maruyama doppelt so viele Probanden hatte. Es wurden insgesamt 100 Becken vermessen (50 männliche und 50 weibliche Becken). Je höher die Anzahl der Probanden, desto eher treten signifikante Werte auf.

Es bestanden keine linearen Zusammenhänge zwischen den transversalen untereinander und zwischen den transversalen und longitudinalen Distanzen aufgrund der niedrigen Korrelationskoeffizienten  $r$  und der relativ großen Streuung der Werte um die Regressionsgeraden in den dazugehörigen Diagrammen. Der Wertebereich für die Korrelationskoeffizienten  $r$  der transversalen Distanzen war 0.01-0.61 (s. Tabelle 9). Bei den Korrelationskoeffizienten  $r$  für die transversalen und longitudinalen Distanzen waren die Ergebnisse 0.25-0.42 (s. Tabelle 12).

Der nicht lineare Zusammenhang dieser Distanzen lässt den Schluss zu, dass das Becken individuell ist.

Der lineare Zusammenhang zwischen den Distanzen und der Körpergröße wurde mit dem Korrelationskoeffizienten  $r$  untersucht. Die Streuung der Werte wurde in Diagrammen dargestellt.

Es konnte kein linearer Zusammenhang festgestellt werden. Die Korrelationskoeffizienten  $r$  lagen in einem Wertebereich 0,09-0,67 (. Tabelle 13). Auch bei einem relativen hohen Korrelationskoeffizienten zeigten die Werte in den Diagrammen eine große Streuung auf.

Da eine lineare Abhängigkeit nicht vorliegt, ist man nicht in der Lage, jede Distanz mit einem Faktor zu multiplizieren und sie nicht ohne eine zuvor durchgeführte CT-Aufnahme für jeden Patienten individuell bestimmen zu können.

#### **4.2 Das APP-Concept**

Jamarez zeigte in seiner Studie, dass die Beckeneingangsebene gegenüber der Frontalebene gekippt ist (APP-Concept). Das APP-Concept zeigt aber nur die Verkippung des Beckens in Richtung der Saggitalachse (Inklination und Reklination). Die Beckeneingangsebene wird über die rechte und linke SIAS und über die Symphysis pubica (SP) gebildet. Das APP-Concept ist wichtig für die räumliche Orientierung bei operativen Eingriffen an der Hüfte. Da die Beckeneingangsebene gegenüber der Frontalebene verkippert ist, wird das kartesische Koordinatensystem für die räumliche Orientierung in die Beckeneingangsebene gelegt.

Diese Studie zeigt ebenfalls, dass die Beckeneingangsebene gegenüber der Frontalebene gekippt ist (s. Tabelle 2). Bei einem liegenden Patienten ist das Becken inkliniert (MW  $5.7^\circ$ , SD 4.7 und Var 82.3 %). Jamarez berechnete nicht den Winkel zwischen der Beckeneingangsebene und der Frontalebene. Er stellte fest, dass das Becken bei Bewegungen nicht starr in einer Position bleibt, sondern je nach Bewegungsablauf inkliniert oder rekliniert ist. In anderen Studien, die das APP-Concept verwendet hatten, wurde der hier verwendete Winkel nicht berechnet (DiGioia et al., 1998 und Wentzenson et al., 2003).

Bei den Messungen wurde ein anderer Messpunkt auf der SP als das Tuberculum pubicum gewählt und zwar ein kleines Tuberculum, das distal vom Tuberculum pubicum liegt. Es ist kleiner und verringert so die Messungsgenauigkeit. Da dieses Tuberculum tiefer auf der SP liegt, wird die Beckeneingangsebene steiler gegenüber der Frontalebene. Wie groß die Veränderung des APP-Winkels jedoch durch das andere Tuberculum gegenüber dem Tuberculum pubicum ist, kann keine Aussage getroffen werden, da das Tuberculum pubicum nicht in die Messungen einbezogen wurde.

### **4.3 Landmarkensymmetrie**

Interessanterweise zeigen die MW, die SD und die Var aus der Tabelle 1 fast dieselben Werte bei paarweise zusammengehörigen Distanzen bzw. bei gleichen Distanzen im Seitenvergleich an (Bsp.: SIASre-HRZli: MW 22,5 cm SD 0,7 Var 4,8% SIASli-HRZre: MW 22,5 cm SD 0,7 Var 4,8%). Diese Ergebnisse geben den ersten Hinweis darauf, dass die Landmarken des Beckens als symmetrisch angesehen werden können.

Bei der Aufteilung der Distanzen in x-, y- und z-Werte (s. Tabelle 5) des dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystems ist bei genauer Betrachtung der Werte zu erkennen, dass die Ergebnisse für die Mittelwerte und für die Standardabweichungen im Seitenvergleich fast gleich sind.

Ein weiterer Hinweis für die Landmarkensymmetrie ist, dass die Winkel zwischen den Geraden SIAS-HRZ und der APP-Ebene auf beiden Seiten des Beckens fast denselben MW, fast dieselbe SD und fast denselben Var haben (SIASli-HRZli vs. APP: MW 29.0° SD 2.7 Var 9.2% und SIASre-HRZre vs. APP: MW 28.7° SD 3.0 Var 10.4%).

Die Korrelationskoeffizienten  $r$  waren bei diagonalen Distanzen 0.84-0.96 (s. Tabelle 11) und bei den longitudinalen Distanzen im Seitenvergleich 0.82-0.96 (s. Tabelle 10). In den dazugehörigen Diagrammen war nur eine geringe Streuung der Werte um die Regressionsgerade zu sehen. Im Seitenvergleich der transversalen und longitudinalen Distanzen sieht man, dass sie fast den

gleichen Korrelationskoeffizienten haben (Bsp.: HRZre-HRZli vs. SIASre-HRZre  $r = 0.42$  und HRZre-HRZli vs. SIASli-HRZli  $r = 0.40$ ; s. Tabelle 12).

Diese weiteren Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die Landmarken des Beckens fast symmetrisch sind.

Natürlich sind die Landmarken des Beckens nicht hundertprozentig symmetrisch zueinander. Die Standardabweichungen für die Symmetrie fallen aber im Seitenvergleich geringer aus als die Standardabweichungen der Distanzen für die direkte Bestimmung des HRZ. Dies zeigt, dass die Bestimmung des HRZ über die kontralaterale Hüfte genauer wäre.

Die Winkel zwischen den Distanzen SIASre-SIASli und HRZre-HRZli hatten einen MW von  $1,1^\circ$ , eine SD von 0.6 und einen Var von 53.7%. Bei so einem kleinen Winkel können die große SD und der große Var vernachlässigt werden.

Die Distanz zwischen den beiden SIAS kann als parallel zu der Distanz zwischen den beiden HRZ angenommen werden und somit als eine Kontrolle bzw. als eine Konstruktionshilfe bei der Bestimmung des HRZ bei einer vorliegenden Hüftdeformität über das HRZ einer kontralaterale gesunde Hüfte verwendet werden. Die Voraussetzung dafür ist, dass das Becken symmetrisch ist. Dies wurde in den vorigen Abschnitten gezeigt. Die Distanz SIASre-SIASli kann durch das parallele Verschieben durch das Hüftrotationszentrum der gesunden Hüfte als eine Kontrolle bzw. eine Konstruktionshilfe bei der Bestimmung des Hüftrotationszentrums der deformierten Hüfte. Mit dieser Methode hat man schon zwei Werte des dreidimensionalen kartesischen Koordinatensystems festgelegt und es müsste nur noch ein Wert des Hüftrotationszentrums der deformierten Hüfte bestimmt werden.

## 5 Zusammenfassung

Die direkte und genaue Bestimmung des HRZ über die Landmarken des Beckens mit Mittelwerten für die Distanzen zwischen den einzelnen Messpunkten ist möglich, aber nicht verwertbar, da sie Standardabweichungen für diese Distanzen zu groß ausfielen. Die Spannweite der Distanzen (Wertebereich zwischen dem Maximalwert und dem Minimalwert) war ebenfalls groß. Dies zeigt, dass bei jedem Patienten für die exakte Bestimmung der Messpunkte Beckenübersichtsaufnahmen bzw. ein CT des Beckens durchgeführt werden müssen.

Unter der Anwendung von t-Tests stellte man fest, dass es signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern vor allem in der Beckenhöhe gibt. Das Becken ist bei den Männern höher als bei den Frauen. Bei den Distanzen zwischen den beiden SIPS (Beckenbreite) sowie bei den Distanzen zwischen dem HRZ und dem TM traten ebenfalls signifikante Unterschiede auf. Die Beckentiefe wurde nicht ermittelt. Die diagonalen Distanzen zeigten keine signifikanten Werte auf.

Es konnte kein linearer Zusammenhang zwischen den transversalen sowie zwischen den transversalen und longitudinalen Distanzen festgestellt werden. Dies spricht für die Individualität des Beckens.

Ein linearer Zusammenhang zwischen der Körpergröße und den Distanzen am Becken konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Bestimmung des Hüftrotationszentrums bei einer vorliegenden Hüftdeformität über die kontralaterale gesunde Hüfte ist aufgrund der Landmarkensymmetrie möglich. Es traten relativ hohe Korrelationskoeffizienten  $r$  zwischen den diagonalen und zwischen den longitudinalen Distanzen im Seitenvergleich auf. Im Seitenvergleich der transversalen und longitudinalen Distanzen waren fast die gleichen Korrelationskoeffizienten  $r$  auf beiden Seiten des Beckens zu finden. Die Mittelwerte, die Standardabweichungen und die Variationskoeffizienten hatten fast dieselben Werte bei paarweise zusammengehörigen Distanzen bzw. bei gleichen Distanzen im Seitenvergleich. Ein

weiterer Beweis für die Beckensymmetrie ist, dass die Winkel zwischen der Geraden SIAS-HRZ und der Beckeneingangsebene (APP-Concept) auf beiden Seiten des Beckens fast denselben Mittelwert, fast dieselbe Standardabweichung und fast denselben Variationskoeffizienten hatten. Ob die Beckensymmetrie ausreichend exakt für die Bestimmung des Hüftrotationszentrums ist, muss in einer anderen Studie ermittelt werden.

Die Beckeneingangsebene ist gegenüber der Frontalebene (APP-Concept) inkliniert (MW  $5.69^\circ$ ).

Die Mittelwerte der betraglichen Differenzen für die Distanzen und die Winkel am Becken waren bei den interindividuellen Messungen im Allgemeinen relativ klein. Dies zeigt, dass die hier vorgestellte Messmethode relativ genau und wiederholbar ist.

## 6 Anhang

### 6.1 Korrelationen zwischen den transversalen Distanzen

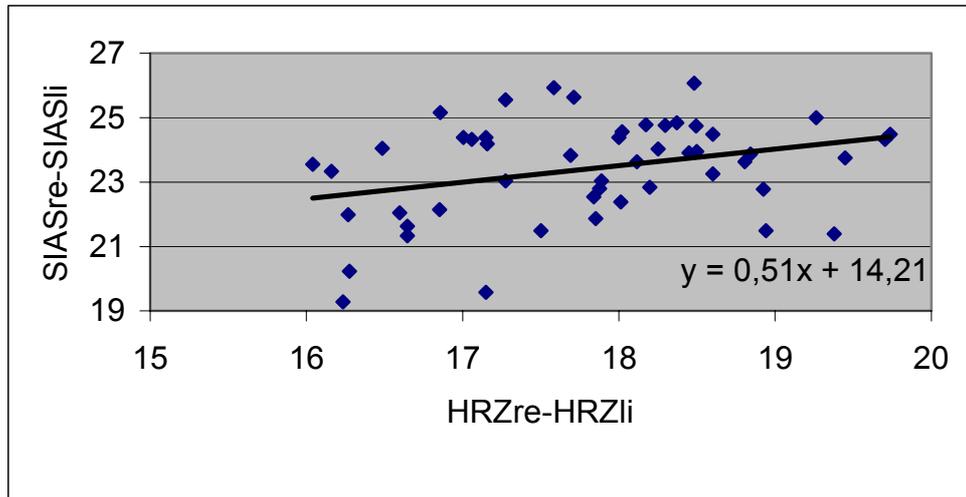


Diagramm 1  
Korrelation zwischen (HRZre-HRZli) vs. (SIASre-SIASli)  
mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,33$

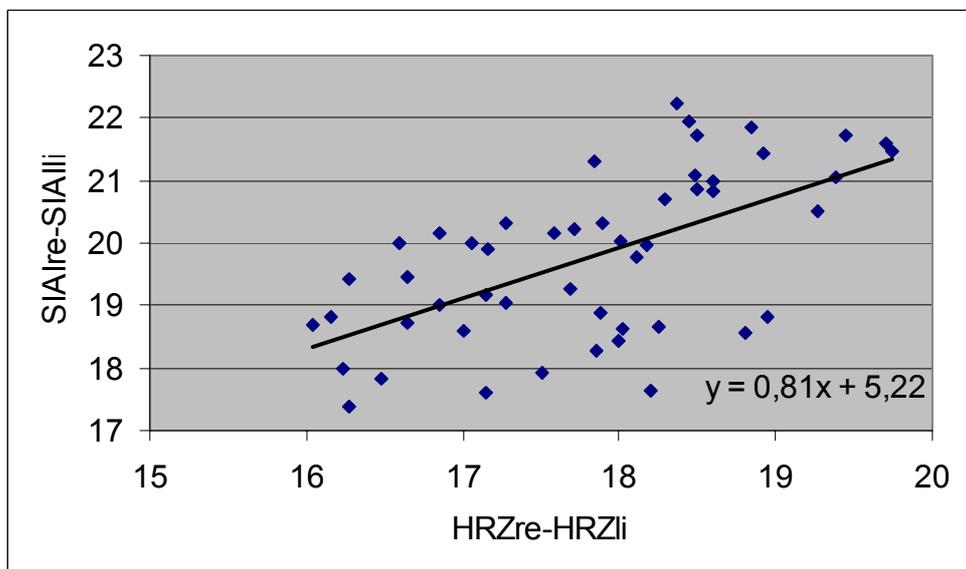


Diagramm 2  
Korrelation zwischen (HRZre-HRZli) vs. (SIAIre-SIAIli)  
mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,61$

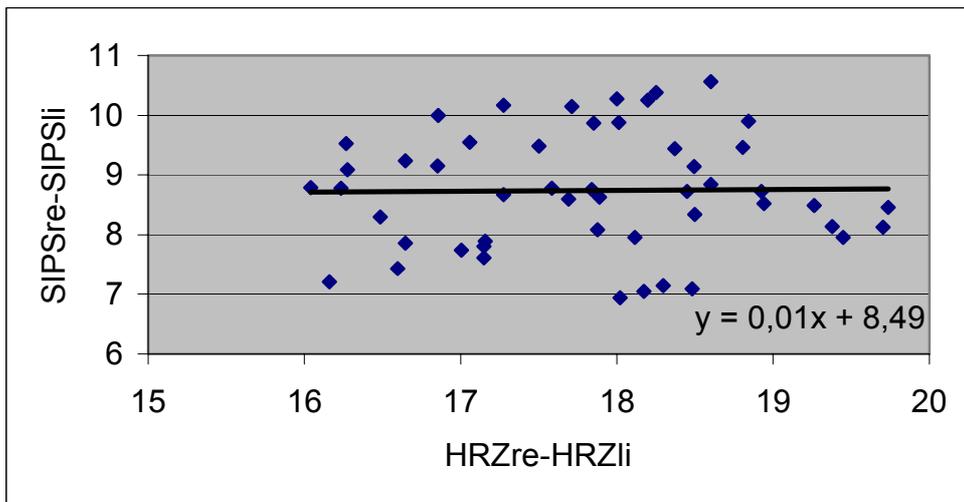


Diagramm 3  
 Korrelation zwischen (HRZre-HRZli) vs. (SIPSre-SIPSli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,01$

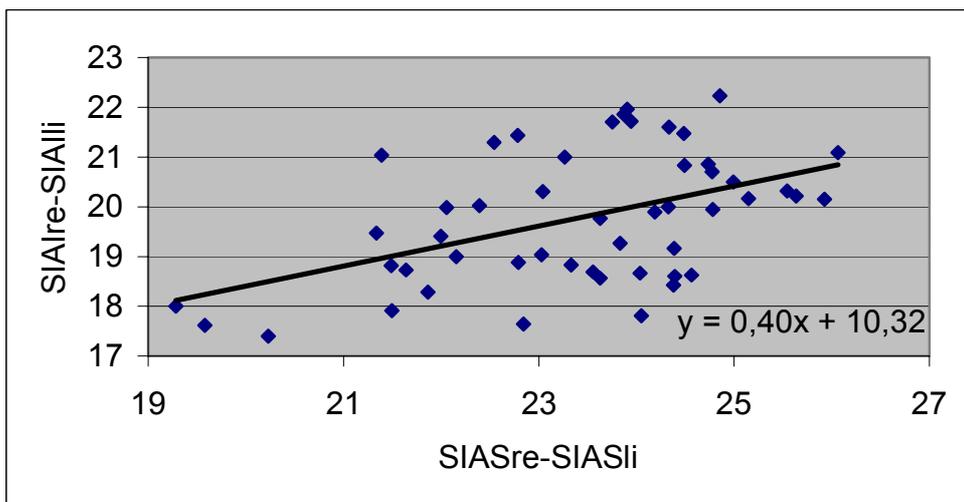


Diagramm 4  
 Korrelation zwischen (SIASre-SIASli) vs. (SIAIre-SIAIli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,48$

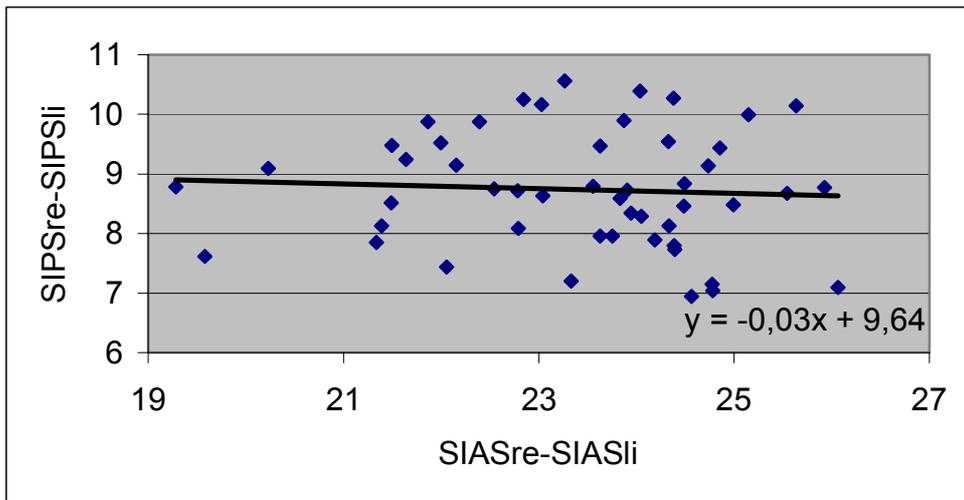


Diagramm 5  
 Korrelation zwischen (SIASre-SIASli) vs. (SIPsre-SIPsli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,06$

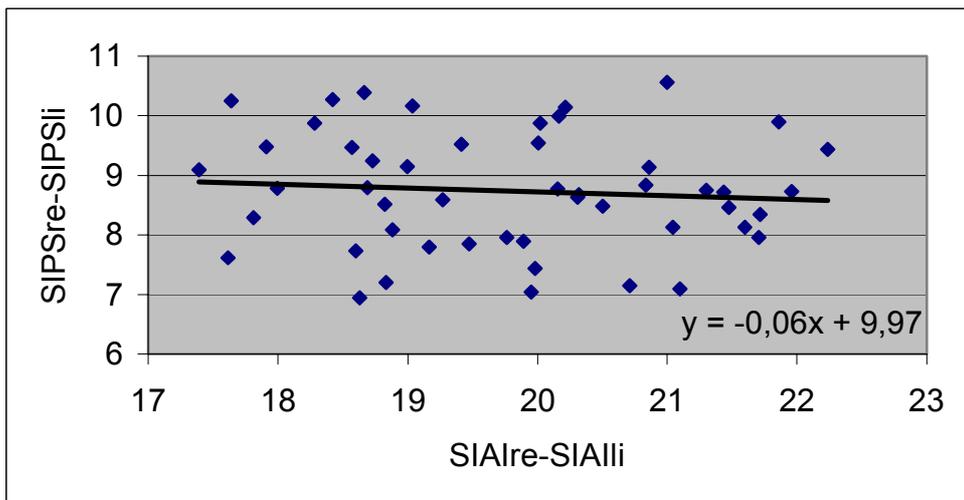


Diagramm 6  
 Korrelation zwischen (SIAIre-SIAIli) vs. (SIPsre-SIPsli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,08$

## 6.2 Korrelationen zwischen den longitudinalen Distanzen im Seitenvergleich

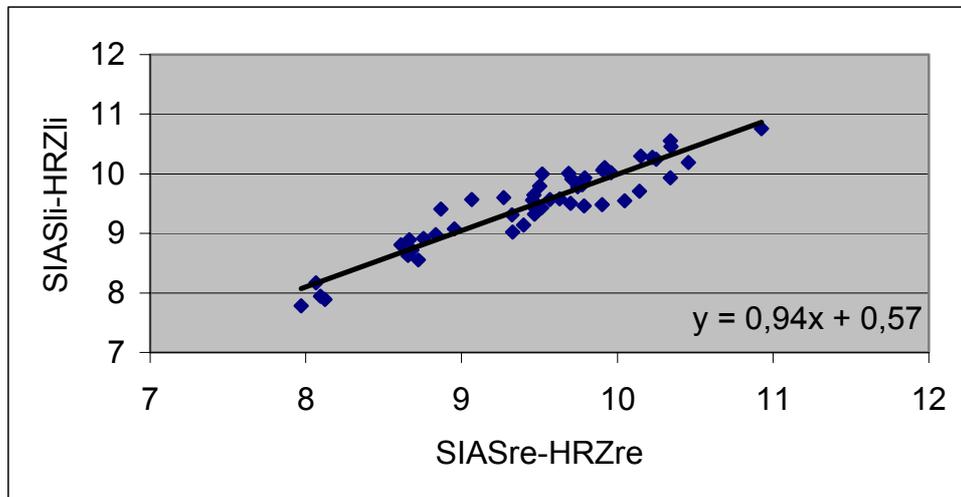


Diagramm 7  
Korrelation zwischen (SIARe-HRZre) vs. (SIAIi-HRZli)  
mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,94$

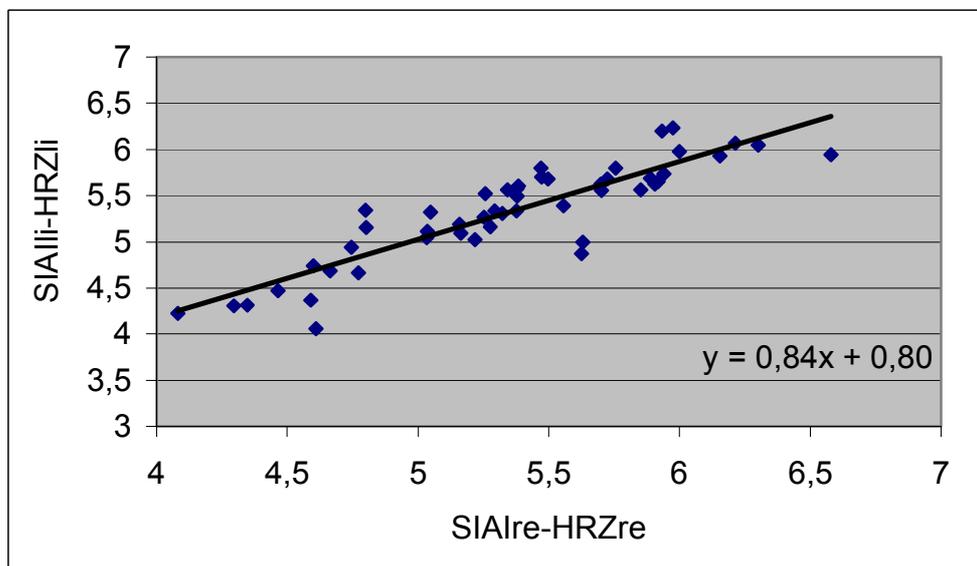


Diagramm 8  
Korrelation zwischen (SIARe-HRZre) vs. (SIAIi-HRZli)  
mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,89$

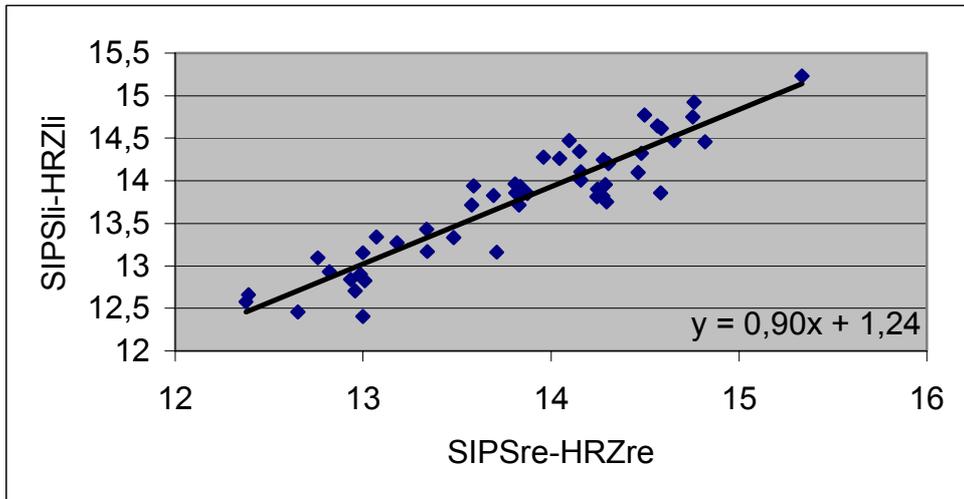


Diagramm 9  
 Korrelation zwischen (SIPSre-HRZre) vs. (SIPSli-HRZli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,93$

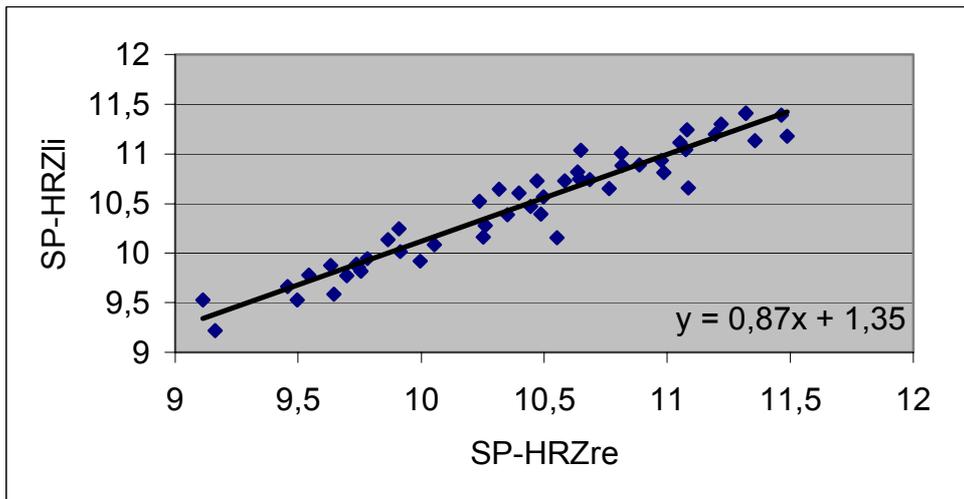


Diagramm 10  
 Korrelation zwischen (SP-HRZre) vs. (SP-HRZli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,96$

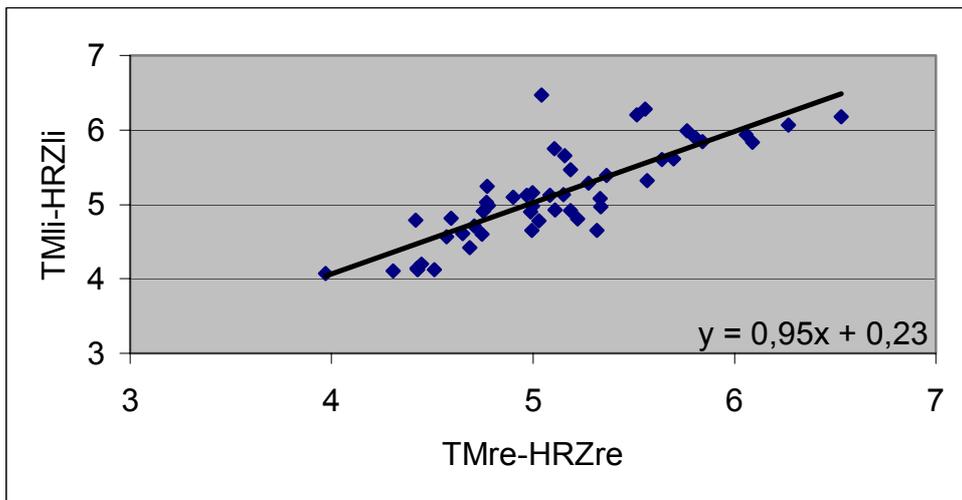


Diagramm 11  
 Korrelation zwischen (TMre-HRZre) vs. (TMli-HRZli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,82$

### 6.3 Korrelationen zwischen den diagonalen Distanzen

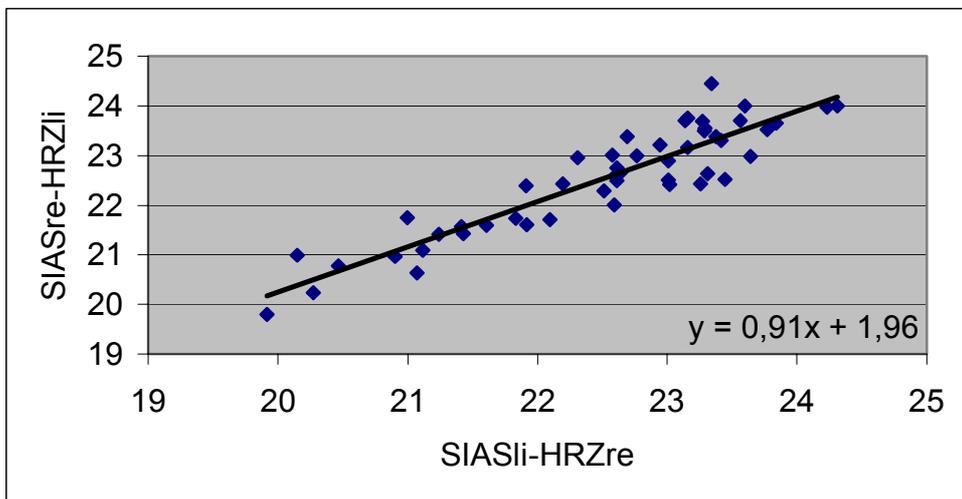


Diagramm 12  
 Korrelation zwischen (SIASli-HRZre) vs. (SIASre-HRZli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,92$

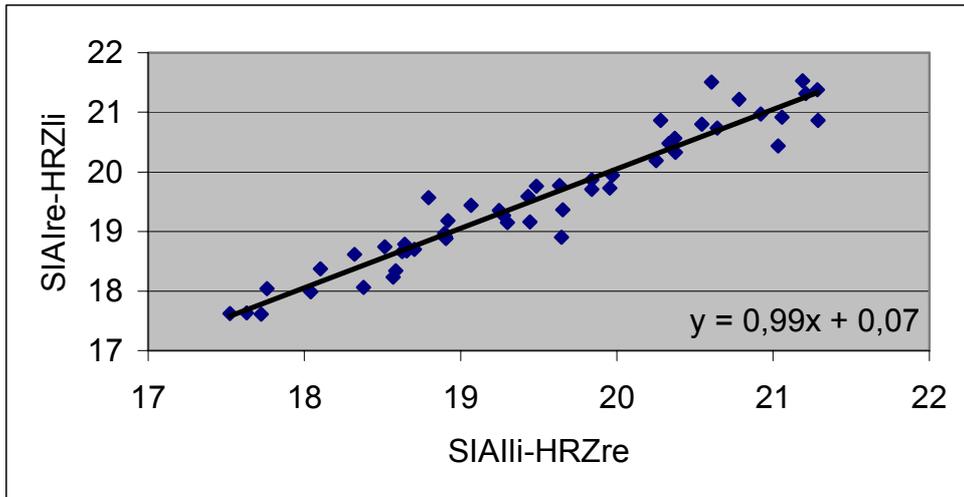


Diagramm 13  
 Korrelation zwischen (SIAIli-HRZre) vs. (SIAIre-HRZli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,96$

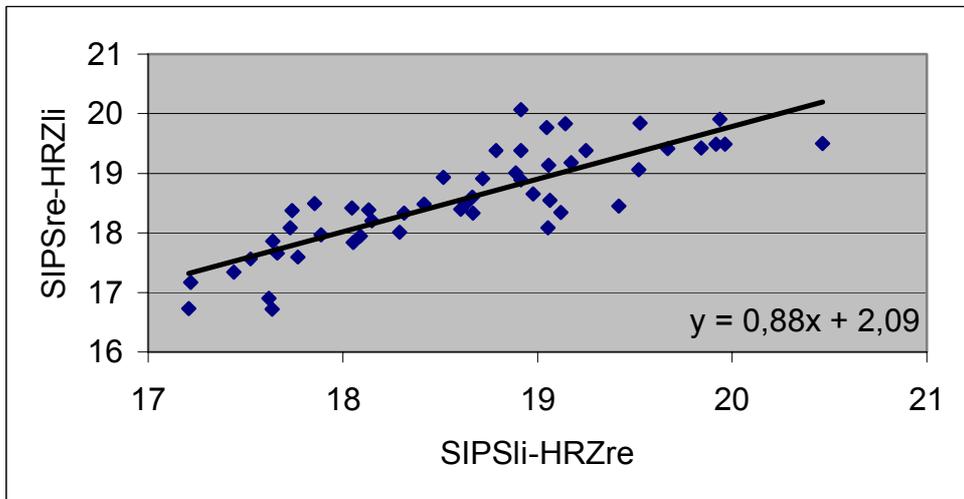


Diagramm 14  
 Korrelation zwischen (SIPSli-HRZre) vs. (SIPSre-HRZli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,84$

#### 6.4 Korrelationen zwischen den transversalen und longitudinalen Distanzen

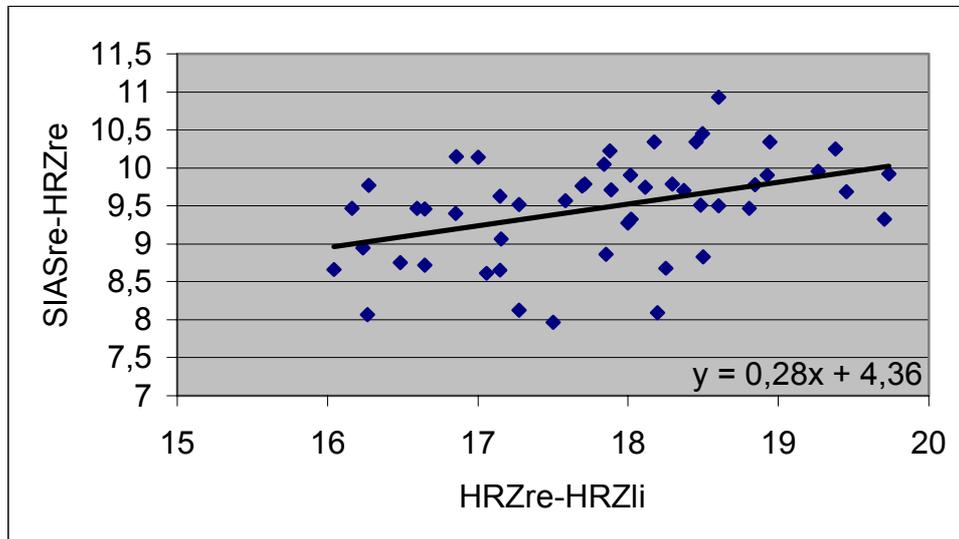


Diagramm 15  
Korrelation zwischen (HRZre-HRZli) vs. (SIASre-HRZre)  
mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,42$

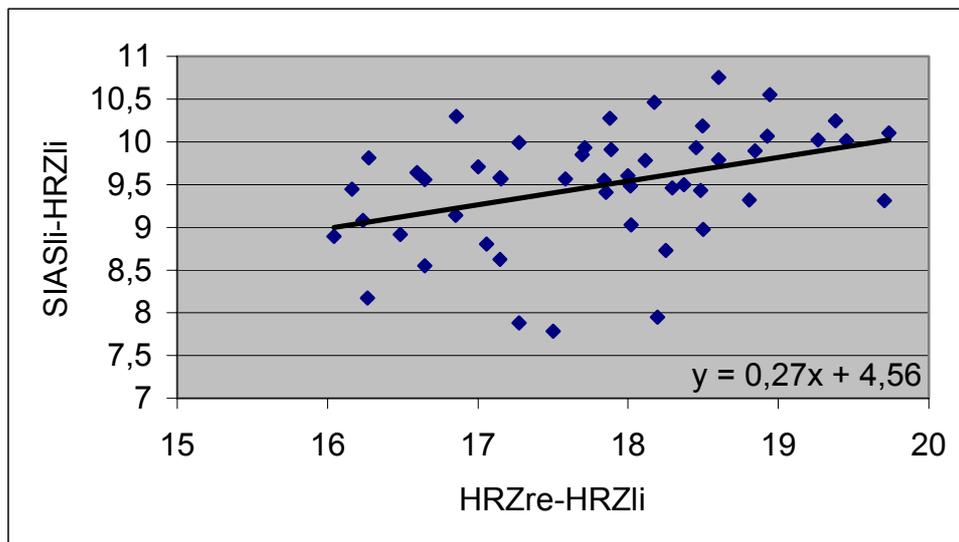


Diagramm 16  
Korrelation zwischen (HRZre-HRZli) vs. (SIASli-HRZli)  
mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,40$

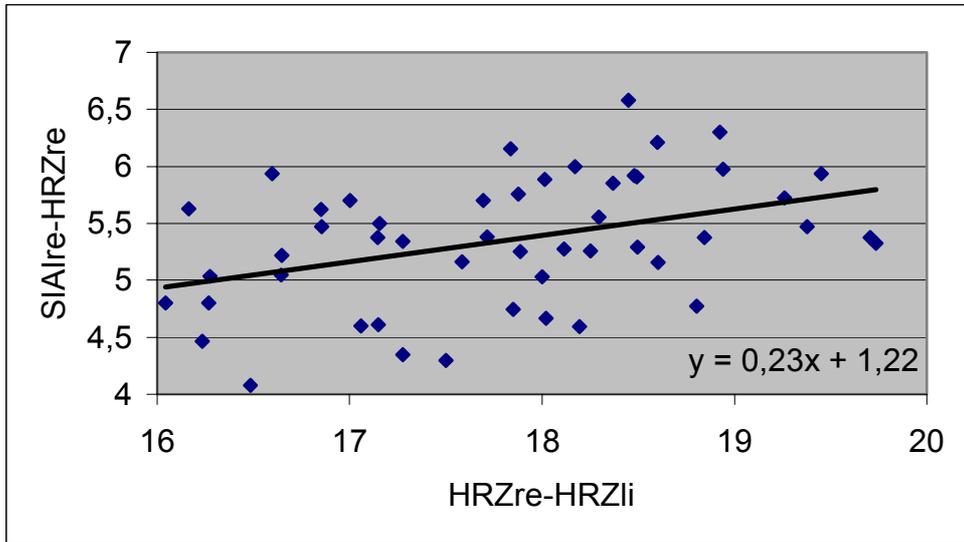


Diagramm 17  
 Korrelation zwischen (HRZre-HRZli) vs. (SIAIre-HRZre)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,40$

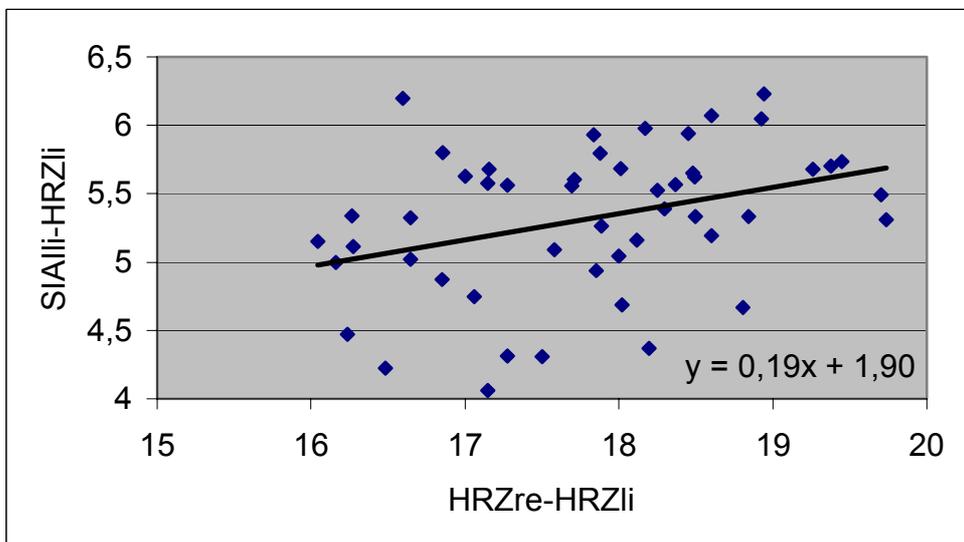


Diagramm 18  
 Korrelation zwischen (HRZre-HRZli) vs. (SIAIli-HRZli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,35$

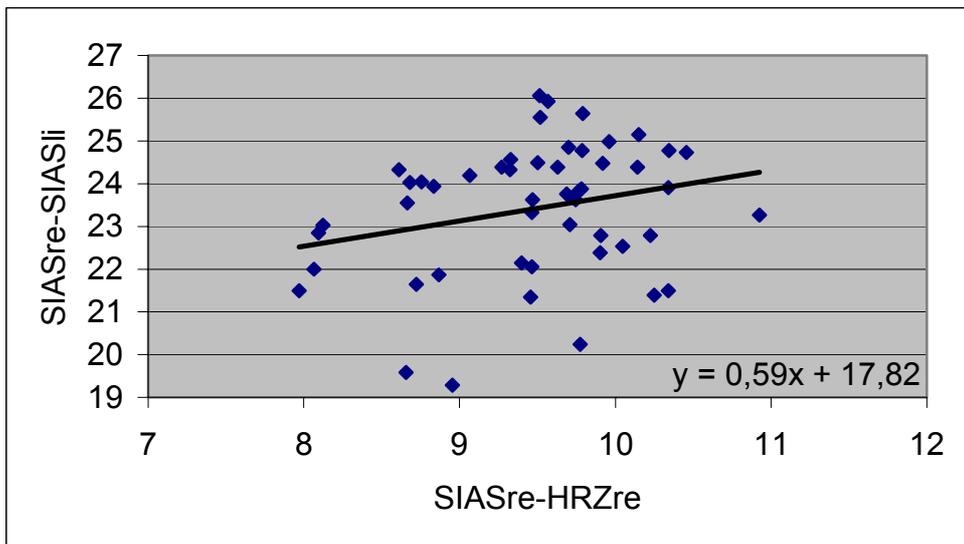


Diagramm 19  
 Korrelation zwischen (SIASre-HRZre) vs. (SIASre-SIASli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,26$

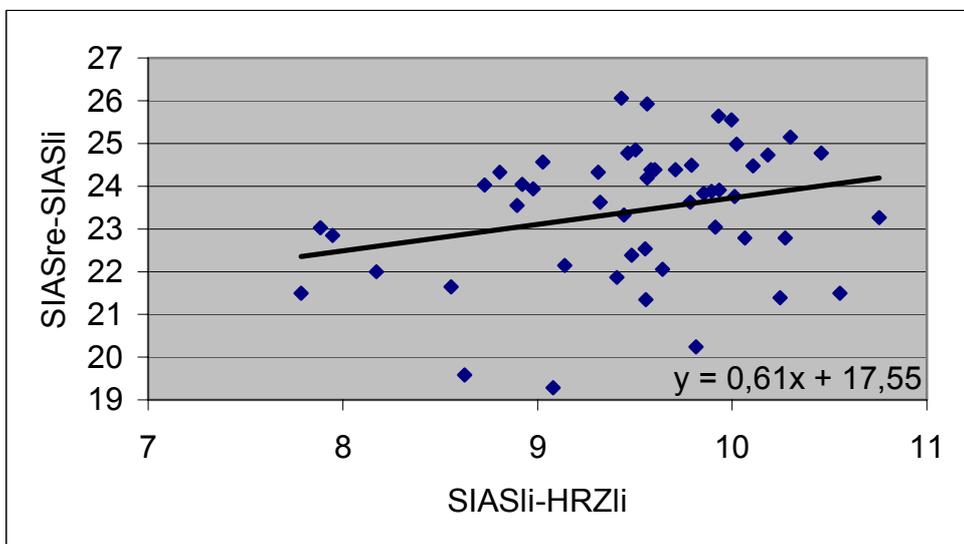


Diagramm 20  
 Korrelation zwischen (SIASli-HRZli) vs. (SIASre-SIASli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,27$

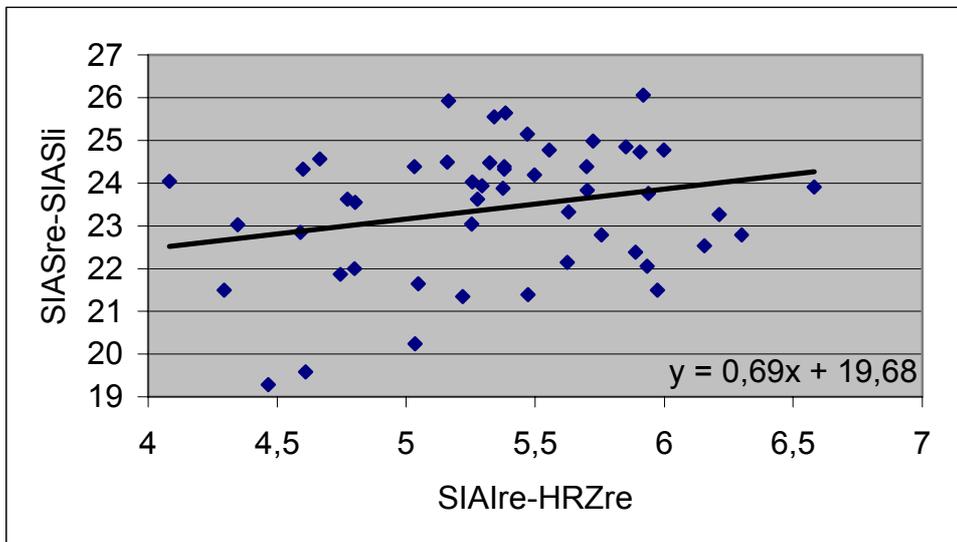


Diagramm 21  
 Korrelation zwischen (SIAre-HRZre) vs. (SIASre-SIASli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,25$

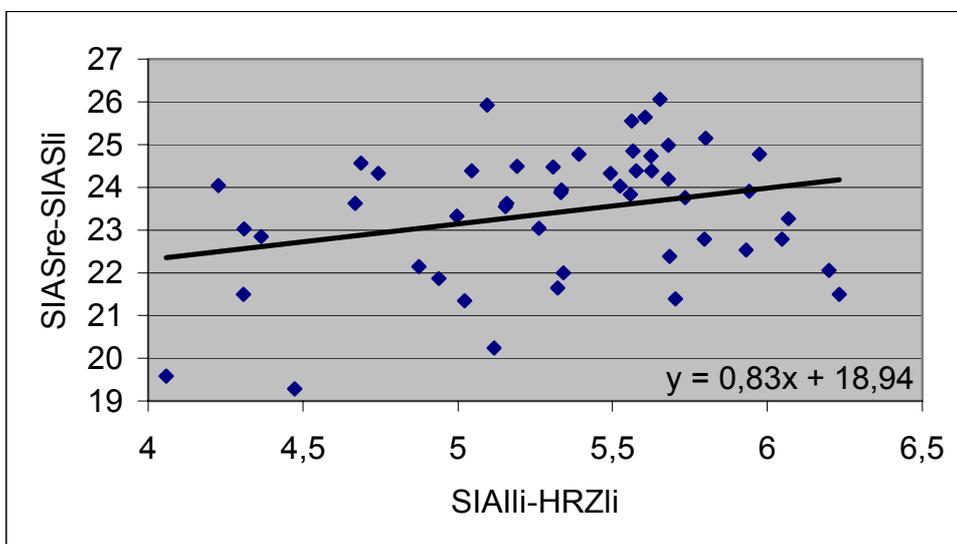


Diagramm 22  
 Korrelation zwischen (SIAIli-HRZli) vs. (SIASre-SIASli)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,29$

## 6.5 Korrelationen zwischen den Distanzen und der Körpergröße

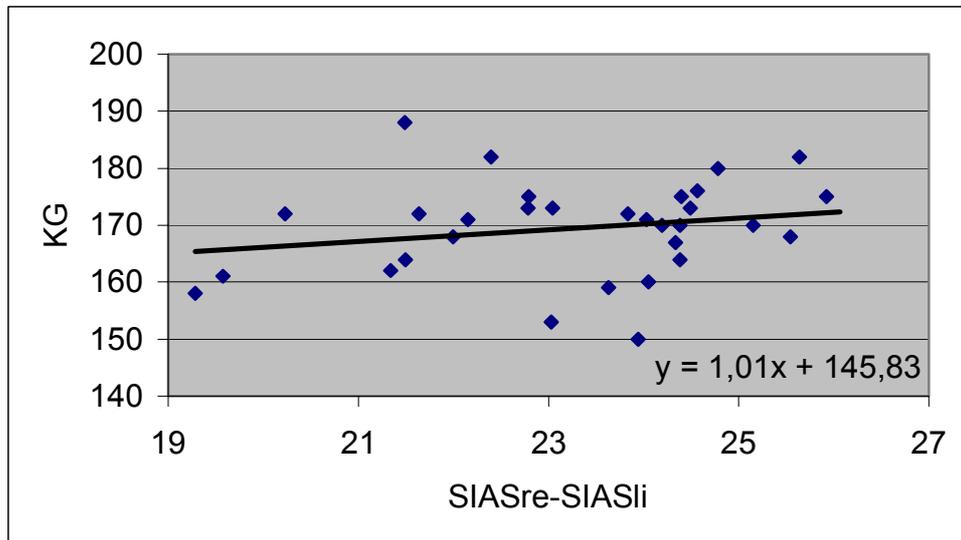


Diagramm 23  
Korrelation zwischen (SIASre-SIASli) vs. (KG)  
mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,21$

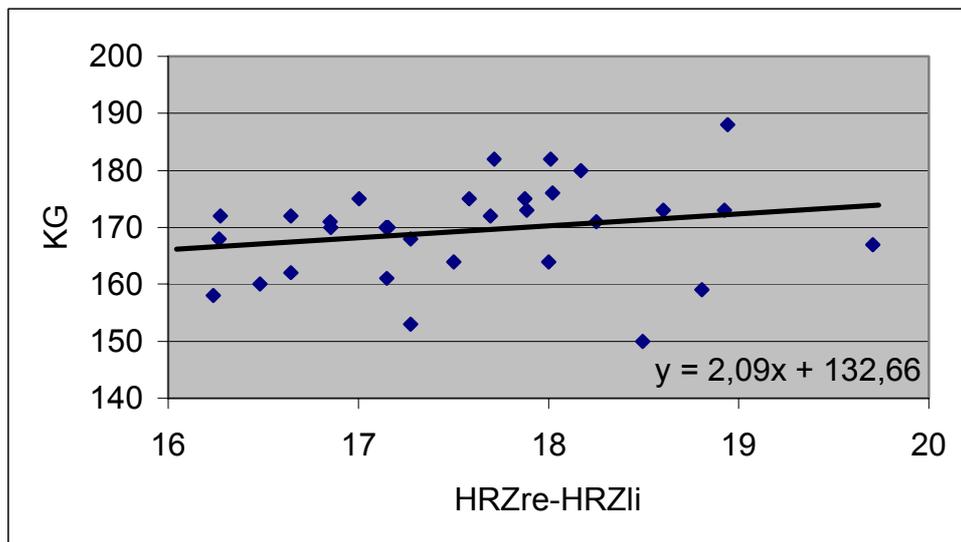


Diagramm 24  
Korrelation zwischen (HRZre-HRZli) vs. (KG)  
mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,22$

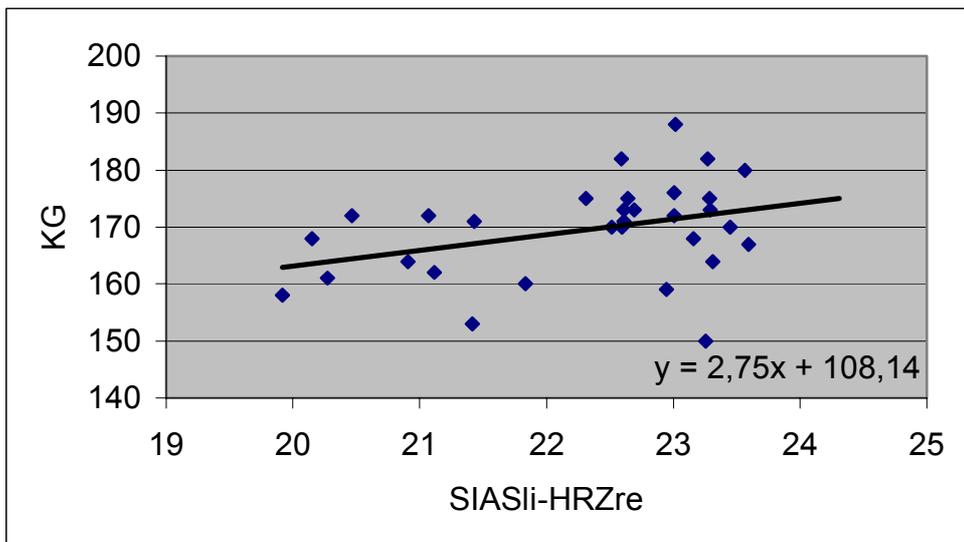


Diagramm 25  
 Korrelation zwischen (SIASli-HRZre) vs. (KG)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,36$

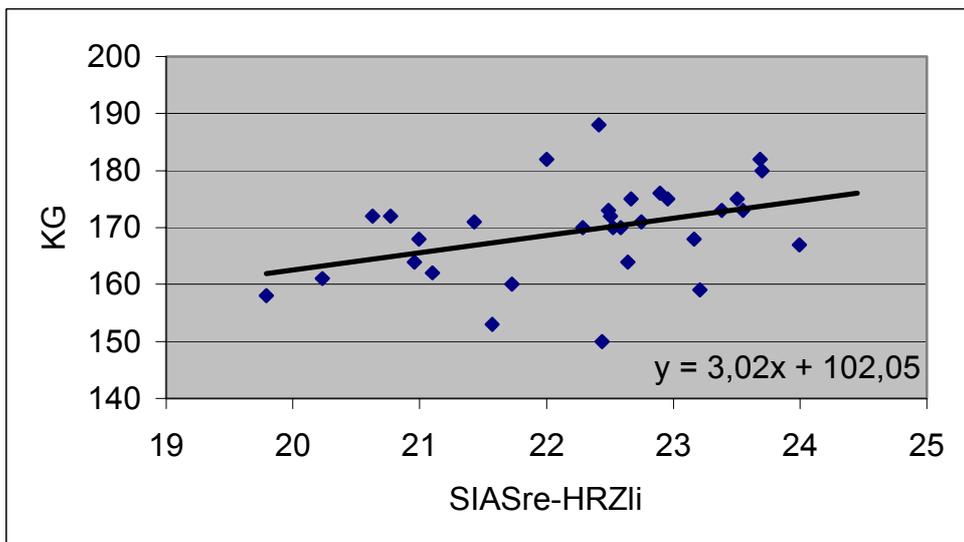


Diagramm 26  
 Korrelation zwischen (SIASre-HRZli) vs. (KG)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,39$

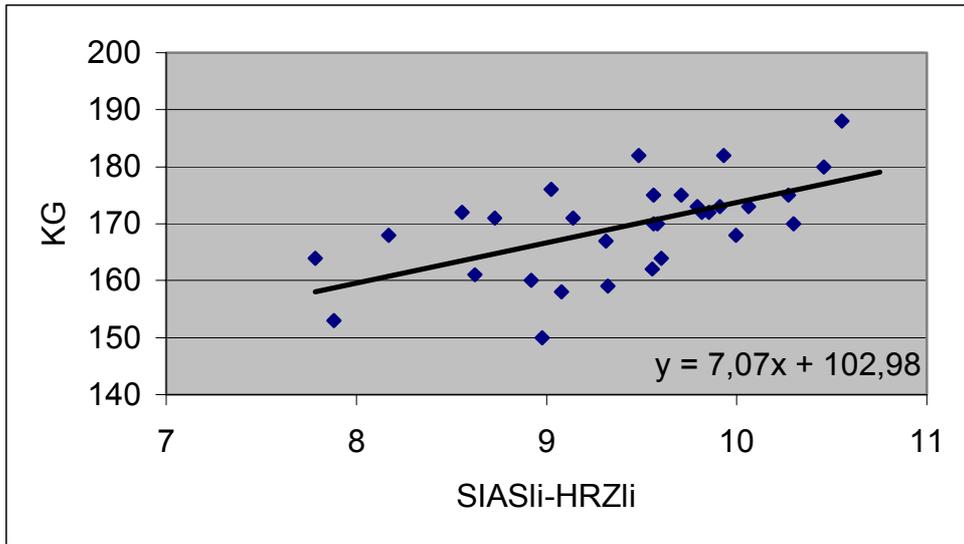


Diagramm 27  
 Korrelation zwischen (SIASli-HRZli) vs. (KG)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,59$

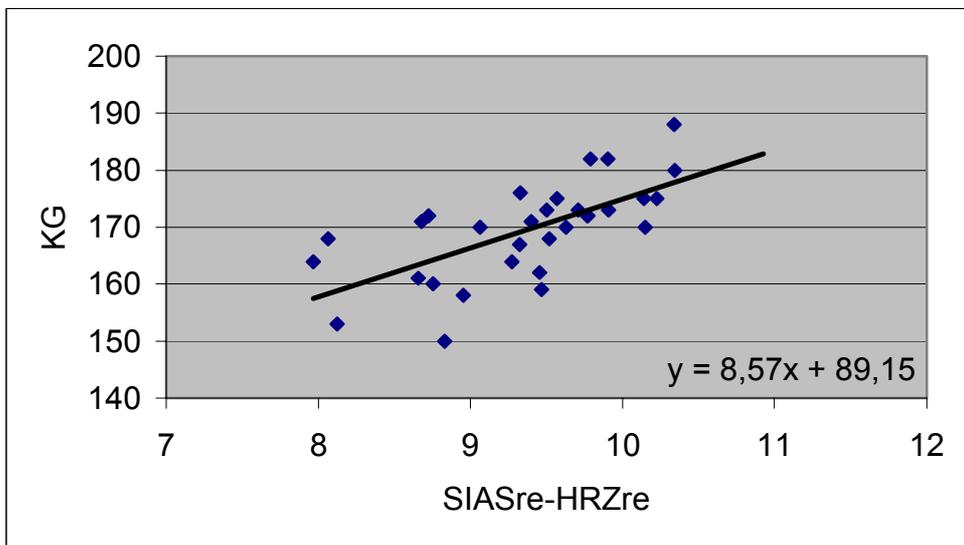


Diagramm 28  
 Korrelation zwischen (SIASre-HRZli) vs. (KG)  
 mit Darstellung der Regressionsgeraden  
 $r = 0,66$

## 7 Literaturverzeichnis

- [1] Andriacchi, T. P., Andersson, G. B. J., Fermier, R. W., Stern D. and Galante, J. O. (1980)  
A study of lower-limb mechanics during stair stair-climbing  
J. Bone Jt Surg. 62-A, 749-757
- [2] Andriacchi, T. P., Galante, J. O. and Fermier, R. W. (1982)  
The influence of total knee-replacement design on walking and stair-climbing.  
J. Bone Jt Surg. 64-A, 1328-1335
- [3] Andriacchi, T. P. and Strickland, A. B. (1983)  
Gait analysis as a tool to assess joint kinetics.  
Proceedings of NATO Advanced Study Institute Biomechanics of Normal and Pathological Articulating Joints, pp. 83-102. Lisbon, Portugal
- [4] Bell, A. L., Pedersen, D. R. and Brand, R. A. (1989)  
Prediction of the hip joint center location from external landmarks.  
Hum. Movement Sci. 8, 3-16
- [5] Bell, A. L., Pedersen, D. R. and Brand, R. A. (1990)  
A comparison of the accuracy of several hip center location prediction methods  
J. Biomechanics Vol. 23, No. 6, pp. 617-621
- [6] DiGioia, A. M., Jamarez, B., Blackwell, M., Simon, D. A., Morgan, F., Moody, J. E., Nikou, C., Colgan, B. D., Aston, C. A., Labarca, R. S., Kischell, E. and Kanade, T. (1998)  
Image Guided Navigation System to Measure Intraoperatively Acetabular Implant Aligment  
Clin Orthop Number 355, pp. 8-22
- [7] Jamarez, B., DiGioia, A. M., Blackwell, M. and Nikou, C. (1998)  
Computer Assisted Measurement of Cup Placement in Total Hip Replacement  
Clin Orthop Number 354, pp. 70-81
- [8] Laskin, R. S. (1984)  
Aligment of total knee components.  
Orthopedics 7, 62-72
- [9] Maruyama, M., Feinberg, J. R., Capello, W. N. and D`Antonio, J.A. (2001)  
Morphologic Features of the Acetabulum and Femur  
Clin Orthop Number 393, pp. 52-65

- [10] Seidel, G. K., Marchinda, D. M., Dijkers, M. and Soutas-Little, R. W. (1995)  
Hip joint center location from palpable bony landmarks- A cadaver study  
J. Biomechanics Vol. 28, No. 8, pp. 995-998
- [11] Tylkowski, C. M., Simon, S. R. and Mansour, J. M. (1982)  
Internal rotation gait in spastic cerebral palsy in the hip.  
Proceedings of the 10<sup>th</sup> Open Scientific Meeting of the Hip Society  
(Edited by Nelson, J. P.), pp. 89-125. Mosby, St. Louis.
- [12] Wentzensen, A., Zheng, G., Langlotz, B. V. U., Korber, J., Nolte, L. P. and Grützner P. A. (2003)  
Image-based hip navigation  
International Orthopedics (SICOT) 27 (Suppl.1), pp. 43-46

## **Danksagung**

Für den erfolgreichen Abschluß dieser Arbeit schulde ich vielen Menschen meinen herzlichen Dank.

An erster Stelle möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. med. Nikolaus Wülker für die Möglichkeit in seiner Abteilung die Doktorarbeit durchführen zu können bedanken.

Großen Dank schulde ich vor allem Dr. med. Patrik Reize, der mir viel Geduld und Vertrauen entgegengebracht hat und mich in schwierigen Situationen mit seiner Diskussionsbereitschaft und seinen wertvollen Ratschlägen unterstützte.

Ein besonderes Dankeswort gilt auch Dr. Otto Müller, der mich mit seinen umfassenden mathematischen Kenntnissen bei statistischen Fragestellungen zur Seite stand und damit wichtige Anregungen für diese Arbeit geliefert hat.

Zum Schluß möchte ich mich bei meinen Eltern für die Unterstützung während des Medizinstudiums und der Doktorarbeit bedanken. Ihnen möchte ich diese Arbeit widmen.

## Lebenslauf

<b>Name:</b>	Sebastian Motzny
<b>Geburtsdatum:</b>	16.08.1976
<b>Geburtsort:</b>	Groß-Strehlitz
<b>1987-1996</b>	Ellental-Gymnasium in Bietigheim
<b>Sept. 1996-Sept. 1997</b>	Zivildienst in der Klinik Markgröningen
<b>WS 1997-SS 1998</b>	Studium des Bauingenieurwesens an der Universität Stuttgart
<b>WS 1999</b>	Beginn des Medizinstudiums an der Universität Halle
<b>SS 2000</b>	Wechsel an die Universität Tübingen
<b>1.Staatsexamen</b>	29.08.2002 ( Universität Tübingen)
<b>2.Staatsexamen</b>	Schriftlicher Teil am 24.08.2004 Mündlicher Teil am 07.09.2004 (Universität Tübingen)
<b>WS 2004-SS 2005</b>	Praktisches Jahr im Krankenhaus Bietigheim ( Universität Heidelberg)
<b>3. Staatsexamen</b>	08.11.2006 (Universität Heidelberg)