

Aus der Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe  
der medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin

# Dissertation

**Der Zusammenhang zwischen dem im offenen MRT bestimmten  
Höhenstand der knöchernen Leitstelle und dem durch translabialen  
Ultraschall ermittelten Angle of Progression bei Schwangeren am Termin**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité - Universitätsmedizin Berlin

von

Saskia Scheuermann  
aus Altdöbern

Datum der Promotion: 27.02.2015

*Tu erst das Notwendige,  
dann das Mögliche,  
und plötzlich schaffst du das Unmögliche.*

Franz von Assisi

gewidmet  
Bernd „Perkeo“ Krogull

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>SEITE</b>
Abkürzungsverzeichnis	3
Abstract	4
English Abstract	5
1 Einleitung und Zielsetzung	6
2 Grundlagen der Arbeit	7
2.1 Die normale Geburt	7
2.1.1 Geburtsmechanik	7
2.1.2 Geburtsverlauf	9
2.2 Höhenstandsbestimmung der knöchernen Leitstelle	10
2.2.1 Untersuchungsprinzip	10
2.2.2 Klinische Bedeutung	13
2.2.3 Fehlerquellen	16
2.3 Intrapartaler Ultraschall	17
2.3.1 Transabdominale Diagnostik	18
2.3.2 Translabiale Einsatzmöglichkeiten und Angle of Progression	19
2.4 MRT in der Schwangerschaft	23
2.4.1 Pränatale Diagnostik	23
2.4.2 Pelvimetrie	23
2.5 Arbeitshypothese	25
3 Material und Methoden	26
3.1 Untersuchungsaufbau	26
3.2 Untersuchungsablauf	29
3.3 Datenerhebung und Auswertung	36
3.3.1 Messgrößen aus MRT und Ultraschall	36
3.3.2 Demographische Datenerhebung	37
3.3.3 Statistik	37

4 Ergebnisse	
4.1 Charakteristika der Patientinnen	38
4.1.1 Allgemeine Beschreibung der Patientinnen	38
4.1.2 Charakteristika zum Zeitpunkt der Untersuchung	38
4.1.3 Charakteristika zum Zeitpunkt der Geburt	39
4.1.4 Graviddität und Parität	41
4.2 Charakteristika der Neugeborenen	41
4.3 Messergebnisse aus MRT- und Ultraschalluntersuchung	42
5 Diskussion	
5.1 Validität der vaginalen Tastuntersuchung	43
5.2 Komplikationen nach fehlerhafter Höhenstandsdiagnostik	45
5.3 Objektivierung der Höhenstandsdiagnostik mittels translabialem Ultraschall	46
5.4 Korrelation von Ultraschall und MRT	49
6 Zusammenfassung	52
7 Literaturverzeichnis	53
Eidesstattliche Versicherung	58
Publikationsliste	59
Anteilerklärung an Publikationen	60
Danksagung	61
Curriculum vitae	62

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ACOG	American College of Obstetricians and Gynecologists
BB	Beckenboden
BMI	Body-Mass-Index
BPD	Biparietaler Durchmesser
CT	Computertomographie
DGGG	Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe
I	Interspinalenebene
ITU	intrapartaler translabialer Ultraschall
Lig	Ligamentum
MRT	Magnetresonanztomographie, Magnetresonanztomograph
oMRT	offene Magnetresonanztomographie
PDA	Periduralanästhesie
SE	Spin-Sequenz
SSW	Schwangerschaftswoche
Tab.	Tabelle
TE	Time of Echo
TR	Time of Repetition
TSE	Turbo-Spin-Sequenz
VE	Vakuumextraktion

## **Abstract**

Der Zusammenhang zwischen dem im offenen MRT bestimmten Höhenstand der knöchernen Leitstelle und dem durch translabialen Ultraschall ermittelten Angle of Progression bei Schwangeren am Termin.

Hintergrund: Die genaue Bestimmung der Entfernung zwischen dem führenden Teil des kindlichen Kopfes und der Interspinalenebene der Mutter ist entscheidend, um bei einem Geburtsstillstand den Geburtsmodus festzulegen. Allerdings zeigt sich, dass die bisherigen Methoden zur Höhenstandsdiagnose durch eine hohe Fehlerrate gekennzeichnet sind. Daher muss die diagnostische Genauigkeit verbessert werden. Hierzu wurde der Zusammenhang zwischen dem durch Ultraschall gemessenen Angle of Progression und dem durch das offene MRT gemessenen Höhenstand der knöchernen Leitstelle bei Frauen am Termin untersucht.

Methoden: Die anatomischen Referenzstrukturen, die Spinae ischiadicae, sind im Ultraschall nicht sichtbar. Deshalb musste der Abstand der Leitstelle zur Interspinalenebene im MRT gemessen werden. Es wurden 31 Schwangere ab einem Gestationsalter von < 37 SSW mit Schädellage eingeschlossen. Zunächst wurde der Abstand zwischen dem führenden Teil des kindlichen Schädels und der mütterlichen Interspinallinie im offenen MRT gemessen. Direkt im Anschluss wurde der Angle of Progression mittels translabialen Ultraschalls gemessen. Dabei wurde die Körperhaltung der Patientin nicht verändert.

Ergebnisse: Es konnte eine signifikante Korrelation zwischen dem sonographisch gemessenen Angle of Progression und dem Abstand der fetalen Leitstelle zur Interspinalenebene ermittelt werden ( $y = -0,51x + 60,8$ ;  $r^2 = 0,38$ ;  $p < 0,001$ ). Es zeigt sich, dass ein Höhenstand auf Interspinal, welcher dem Engagement des fetalen Kopfes entspricht, einem Angle of Progression von  $120^\circ$  entspräche.

Schlussfolgerung: Die vorliegende Studie demonstriert die Korrelation zwischen dem Angle of Progression und dem Abstand der Leitstelle zur Interspinalenebene. Hierbei entspricht die Interspinalenebene einem Winkel von  $120^\circ$ . Allerdings stützt sich diese Korrelation bisher nur auf statistischen Annahmen und muss in weiteren klinischen Studien validiert werden.

## English Abstract

The correlation between fetal head station established using an open magnetic resonance imaging scanner and the angle of progression determined by transperineal ultrasound

**Background:** Precise determination of the distance between the leading part of the fetal skull and the level of the maternal ischial spines is crucial when intervention is required for a prolonged second stage of labor. However, obtaining this information by clinical means has many shortcomings. Transperineal ultrasound has been used to improve diagnostic accuracy. During labor, transperineal sonography is increasingly used to evaluate fetal head descent. The aim of this study was to compare the angle of progression assessed by open magnetic resonance imaging and transperineal ultrasound.

**Study Design:** A total of 31 pregnant women at term (< 37 weeks), who were not in labor, underwent MRI in an open 1.0 tesla system. A midsagittal plane of the maternal pelvis was stored. Immediately afterwards, without changing the supine position, a transperineal ultrasound was performed. The angle of progression was measured offline by transperineal ultrasound and MRI.

**Results:** The angles of progression measured by transperineal ultrasound (mean, 79,05 degrees; SD 11,44) and the distance from the presenting part to the ischial spine plane in open MRI (mean, 80,48 degrees; SD 11,06) correlated significantly ( $y = -0,51x + 60,8$ ;  $r^2 = 0,38$ ;  $p < 0,001$ ). The intraclass correlation coefficient between the two methods was 0,89 (95% confidence interval, 0,78-0,94). The X-intercept for the linear regression line showed that station 0, which would correspond to fetal head engagement, is expected to occur when the angle of progression reaches 120°. Our results should be interpreted with caution as linear extrapolation is frequently subject to uncertainties.

**Conclusion:** The angle of progression measurements obtained by transperineal ultrasound and open MRI correlated very well. The present study demonstrated a predictable correlation between the angle of progression obtained by transperineal ultrasound and the traditional scale to quantify fetal head descent. Based on our results, station 0 would correspond to a 120° angle of progression. However, this correlation is based on statistical assumption only and has to be proven in future studies.

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Als regelrechte Geburt bezeichnet man den Spontanpartus eines normal großen Kindes [1] aus vorderer Hinterhauptslage am Ende der Schwangerschaft [2] ohne Überschreitung der zulässigen Geburtsdauer [3].

Der Geburtsvorgang ist beim Menschen im Vergleich zu anderen Primatenarten deutlich komplizierter [4], da der aufrechte Gang evolutionär zu anatomischen Veränderungen am Becken führte [5]. Gleichzeitig erfolgte eine starke Volumenzunahme des Gehirns, welche mit einer Vergrößerung des Neurokraniums einher ging [4]. Das führte dazu, dass, im Gegensatz zu neugeborenen Menschenaffen, der Kopf des menschlichen Feten etwa so groß ist wie der mütterliche Beckenausgang [6]. Infolge der zusätzlichen Veränderung des Geburtskanals von einem geraden in einen gekrümmten Verlauf, kann das Kind nur durch Haltungsänderungen sowie durch Rotation den Geburtskanal passieren [5].

Aufgrund dieser komplizierten Geburtsverhältnisse besteht die Gefahr einer protrahierten Geburt und damit die Notwendigkeit von geburtshilflichen Interventionen [7]. Bei einem Geburtsstillstand muss unter Berücksichtigung verschiedener Faktoren wie z. B. dem Höhenstand des kindlichen Kopfes sowie der Muttermundsweite die Entscheidung getroffen werden, ob eine vaginal-operative Entbindung oder eine sekundäre Sectio cesarea durchgeführt wird. Dazu ist eine exakte Höhenstandsdiagnostik notwendig [8].

Es zeigt sich jedoch, dass der palpatorisch ermittelte Höhenstand fehlerhaft, subjektiv sowie nicht reliabel ist [9]. Verschiedene Arbeiten weisen darauf hin, dass Ultraschallverfahren hinsichtlich ihrer Objektivierbarkeit besser geeignet sind, um den Höhenstand der fetalen Leitstelle zu bestimmen [10, 11].

Ziel der Arbeit war es, mithilfe von bildgebenden Verfahren eine valide Höhenstandsbestimmung zu ermöglichen. Hierzu wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen dem Höhenstand der knöchernen Leitstelle, welcher anhand einer Untersuchung im offenen Magnetresonanztomographen (oMRT) bestimmt wurde und dem mittels translabialen Ultraschall ermittelten Angle of Progression bei Einlingsschwangerschaften am Termin gegeben ist.

## 2 Grundlagen der Arbeit

### 2.1 Die normale Geburt

#### 2.1.1 Geburtsmechanik

Durch den Einfluss der Eröffnungswehen nimmt der kindliche Kopf Bezug zum Becken auf. Infolge von kongruenzbezogenen Anpassungsvorgängen kann der Fetus den Geburtskanal passieren [12]. Dabei ist der Geburtsverlauf sowohl von den Eigenschaften des Geburtskanals und des Feten als auch von den Geburtskräften in Form von Wehen abhängig [13].

Der Geburtskanal besteht zum einen aus Anteilen des knöchernen Beckens und zum anderen aus dem sogenannten Weichteilrohr [12]. Die geburtsmechanisch relevanten Bereiche des knöchernen Beckens sind die Beckeneingangsebene a) und die Beckenausgangsebene c), die den zwischen ihnen liegenden Raum der Beckenmitte b) umschließen [7] (Abb. 1).

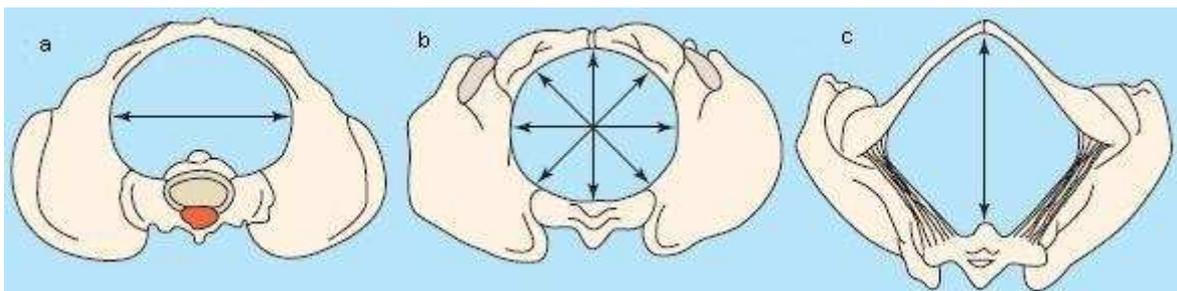


Abb. 1: Transversale Ansicht des mütterlichen Beckens. Form von a) Beckeneingang, b) Beckenmitte und c) Beckenausgang [4]

Die Beckeneingangsebene wird durch das Promontorium und den oberen Symphysenrand eingegrenzt und weist eine querovale Form auf. Begrenzt wird die Beckenmitte im oberen Teil durch die Linea terminalis, im unteren Teil durch eine Linie zwischen Symphysenunterkante sowie dem sacro-coccygealen Übergang und seitlich durch die Innenfläche der Acetabula. Innerhalb der rund geformten Beckenmitte befindet sich die Interspinalebene (I), welche in der Transversalebene auf Höhe der beiden Spinae ischiadicae definiert ist. Die Beckenausgangsebene wird entsprechend durch den Unterrand der Symphyse und der Steißbeinspitze begrenzt und hat eine längsovale Form [12].

Der innere Anteil des Geburtskanals, das sogenannte Weichteilrohr, besteht aus Zervix, Vagina und Beckenboden [8]. Beim Weichteilrohr handelt es sich nicht um eine starre, vorbestehende anatomische Struktur, sondern um einen Raum, der sich aufgrund eines

dynamischen Prozesses sukzessiv im Geburtsverlauf entwickelt [14]. Aufgrund des Tiefertretens dilatiert bei Schädellagen der fetale Kopf unter der Geburt die einzelnen Anteile des Weichteilrohrs [15]. Der vollständig ausgewalzte Geburtskanal stellt eine Säule dar, die am Beckeneingang beginnt und bis zur Beckenmitte gerade verläuft. Auf Höhe der Spinae ischiadicae biegt diese in ventraler Richtung ab und zieht als Geburtsparabel um die Symphyse bis zum Beckenboden [14]. Die Linie durch die Mittelpunkte aller geraden Durchmesser des kleinen Beckens und des sich nach unten anschließenden Weichteilweges wird als Beckenführungslinie bezeichnet [16] (Abb. 2).

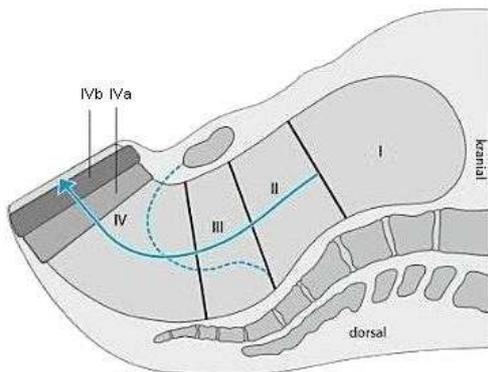


Abb. 2: Weichteilrohr. I = kontraktiver Teil des Uterus, II = unteres Uterinsegment, III = Cervix uteri, IV = Weichteilansatzrohr, IVa = Diaphragma pelvis, IVb = Diaphragma urogenitale, Pfeil = Beckenführungslinie [7]

Der Fetus stellt das Geburtsobjekt dar, wobei der geburtsmechanisch wichtigste Teil der Kopf ist, da dieser den größten Umfang besitzt [12]. Zusätzlich bestimmen Größe, Verformbarkeit, Stellung, Haltung sowie Einstellung des Feten den Geburtsverlauf [13]. Als Stellung bezeichnet man das Verhältnis des kindlichen Rückens zur Gebärmutterinnenwand. Die Haltung ist die Beziehung der Kindsteile zueinander. Als Einstellung wird die Beziehung des führenden kindlichen Teils zum Geburtskanal bezeichnet und stellt den Teil des kindlichen Körpers dar, auf den man bei der geburtshilflichen Tastuntersuchung trifft [17] (Abb. 3).

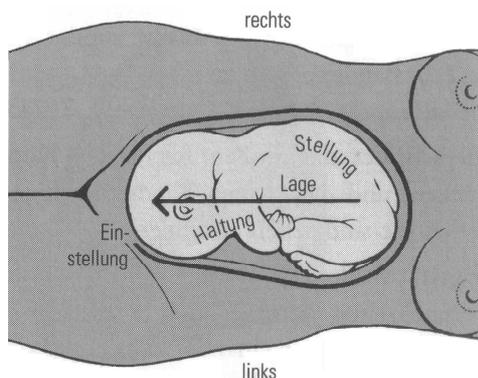
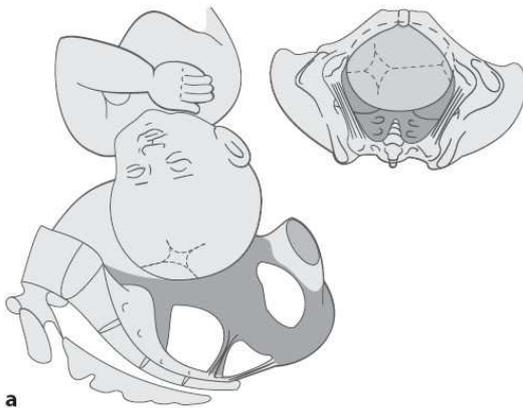


Abb. 3: Lage, Stellung, Haltung und sowie Einstellung des Kindes [17]

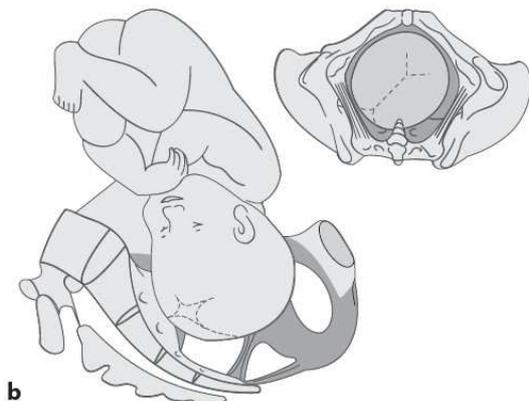
## 2.1.2 Geburtsverlauf

Der Beginn der Geburt ist durch eine regelmäßige, anhaltende und muttermundswirksame Wehentätigkeit gekennzeichnet [18, 19]. Der Geburtsverlauf gliedert sich in drei Phasen [20]: Der Zeitraum ab Beginn der Geburt bis zur vollständigen Eröffnung der Zervix ist die Eröffnungsperiode. Daraufhin folgt die Austreibungsperiode mit Pressphase bis zur Geburt des Kindes. Die Nachgeburtsperiode beginnt ab Partus des Kindes bis zur Geburt der Plazenta [4]. Im gesamten Geburtsverlauf ist der Fetus aufgrund des engen Geburtskanals bestrebt, sich in seiner Haltung und Stellung den gegebenen anatomischen Raumverhältnissen anzupassen [6]. Der Kopf vollzieht dabei beim Durchtritt durch das Becken drei simultan verlaufende Bewegungen. Er tritt tiefer ins Becken und ändert damit seinen Höhenstand, geht in eine Flexion, wodurch sich seine Haltung ändert und dreht sich, was zu einer Stellungsänderung führt. Diese komplexen Bewegungsabläufe werden auch als Cardinal Movements bezeichnet und verlaufen bei vorderer Hinterhauptslage folgendermaßen [21]:

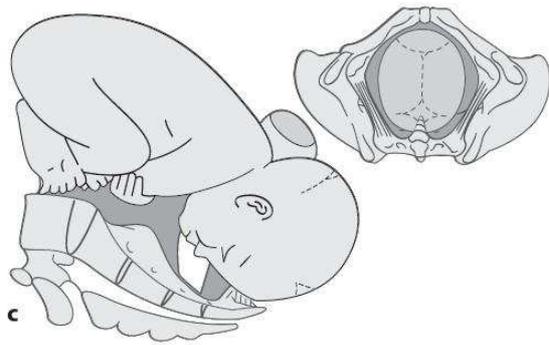


1. Eintritt des Kopfes ins kleine Becken:  
Aufgrund der querovalen Form des Beckeneingangs stellt sich der Kopf ebenfalls quer ein (Abb. a).

2. Flexion:  
Der Kopf tritt tiefer in die Beckenhöhle und führt passiv eine Beugung durch. Die kleine Fontanelle kommt in die Führungslinie (Abb. b).



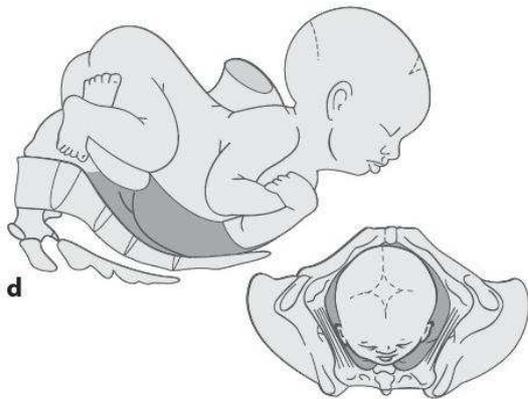
3. Erste Rotation:  
Der Kopf gelangt in die Beckenenge und muss entsprechend ihrer Form eine 90°-Drehung vollziehen, um das Os occipitale nach vorn zu bringen. Das Gesicht weist nach hinten und die Leitstelle gelangt an den Beckenausgang.



Die Pfeilnaht ist ausgerotiert (Abb. c).

#### 4. Streckung:

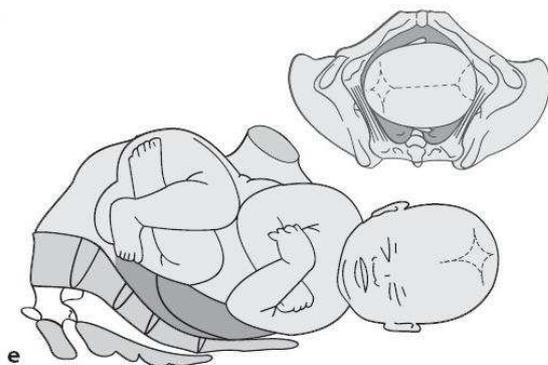
Der Kopf muss die Krümmung im Geburtskanal passieren und wird dazu retroflektiert. Aufgrund des Übergangs in eine Streckhaltung werden nacheinander das Os occipitale, die Ossa parietalia, das Os frontale und das Kinn über den Damm geboren (Abb. d).



#### 5. Zweite Rotation und

Schultergeburts. Bei der Geburt des Kopfes steht die Schulterbreite in Übereinstimmung mit dem querovalen Beckeneingang. Anschließend drehen sich die Schultern in der runden Beckenhöhle, um den Beckenausgang im Längsdurchmesser zu verlassen.

innere Drehung der Schultern entspricht der äußeren Drehung des Kopfes (Abb. e).



#### 6. Geburt des Rumpfes:

Dieser Vorgang erfolgt ohne Spannung und der Rumpf wird, dem gebogenen Geburtskanal folgend, um die Symphyse geboren [4, 12].

Abb. 4: a) - e) Cardinal Movements [7]

## 2.2 Höhenstandsbestimmung der knöchernen Leitstelle

### 2.2.1 Untersuchungsprinzip

Die äußere Untersuchung mittels Leopoldscher Handgriffe lässt eine orientierende Aussage über das Tiefertreten des fetalen Kopfes zu. Die vaginale Palpation ist jedoch besser geeignet, um dessen Höhenstand innerhalb des Geburtskanals zu verfolgen.

Das wichtigste Anliegen der inneren Untersuchung ist hierbei die Feststellung, auf welcher Höhe im Geburtskanal sich der größte kindliche Kopfumfang, auch Durchtrittsplanum genannt, befindet. Durch die engen anatomischen Gegebenheiten des mütterlichen Beckens kann dieser nicht direkt bestimmt werden. Mittels vaginaler Tastuntersuchung ist nur die sogenannte knöcherne Leitstelle zu tasten [21]. Diese entspricht dem tiefsten Punkt des vorangehenden kindlichen Teils in der Beckenführungslinie des Geburtskanals [22]. Durch den Höhenstand der Leitstelle kann aber indirekt auf den Höhenstand des Durchtrittsplanums geschlossen werden. Dieser Bezug ist möglich, da bei einer Hinterhauptseinstellung der Abstand von der kleinen Fontanelle bis zum größten Kopfumfang 4 cm beträgt [23].

Um den erhobenen vaginalen Palpationsbefund zu interpretieren, können unterschiedliche Bezugssysteme heran gezogen werden. Die drei gängigsten Varianten sind:

#### 1. Höhenstandsbestimmung unter Berücksichtigung der klassischen Beckenräume:

Hierbei wird von der Beurteilung des Höhenstandes der Leitstelle auf den Höhenstand des Durchtrittsplanums im Beckeneingang, in Beckenmitte und im Beckenausgang bzw. auf Beckenboden geschlossen [12] (Abb. 5).

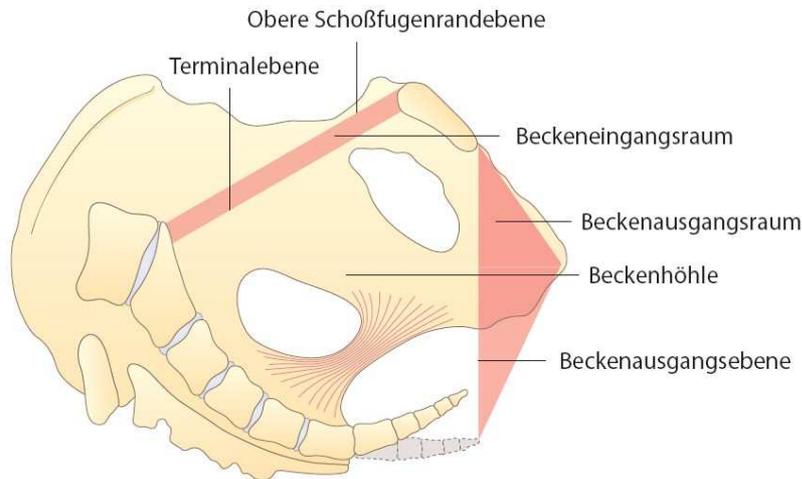


Abb. 5: Klassische Beckenräume [24]

Im Beckeneingang steht der Kopf tief und fest, wenn die Leitstelle des Kopfes in der Interspinallinie zu tasten ist. Bei diesem Höhenstand hat der Kopf mit seinem größten Umfang die Terminalebene überschritten [21].

Das Durchtrittsplanum befindet sich in Beckenmitte, wenn die Leitstelle unter der Interspinallinie tastbar ist und das Hinterhaupt vollständig in das Becken eingetreten ist [25]. Der Kopf steht im Bereich der Beckenausgangsebene, wenn die knöcherne Leitstelle den

Beckenboden erreicht hat. Bei der inneren Untersuchung sind die Spinae ischiadicae nicht mehr zu tasten [26].

## 2. Höhenstandsbeschreibung mit dem System der Parallelebenen nach Hodge:

Dabei wird das kleine Becken in vier Ebenen unterteilt, die parallel zur oberen Schoßfugenrandebene verlaufen und sich an markanten Knochenpunkten orientieren [27] (Abb. 6).

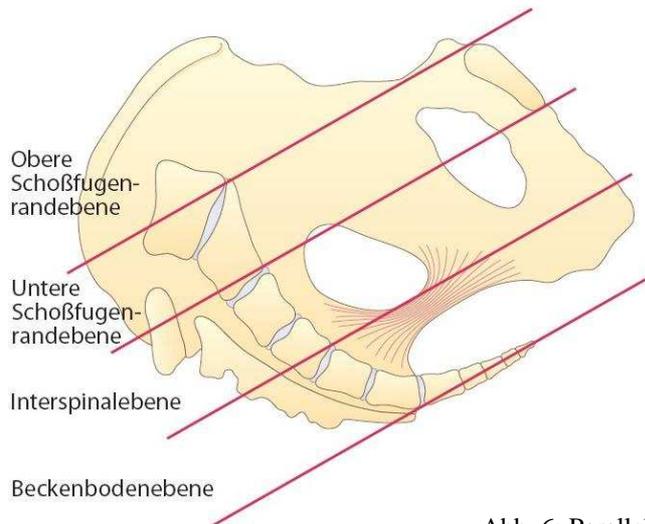


Abb. 6: Parallelebenen nach Hodge [24]

Die erste Parallelebene erstreckt sich vom oberen Symphysenrand auf Höhe der Linea iliopectinea bis zum Promontorium. Die zweite Parallelebene verläuft vom unteren Symphysenrand bis zur Mitte des zweiten Kreuzbeinwirbels. Die dritte Parallelebene ergibt sich aus der Verbindungslinie der beiden Spinae ischiadicae und entspricht der Interspinalenebene. Die vierte Parallelebene verläuft durch das Zentrum des Steißbeins [27].

## 3. Höhenstandsdiagnose nach de Lee:

Dies ist die international übliche Art, den Höhenstand anzugeben. Der Untersucher orientiert sich an den vaginal zu tastenden Spinae ischiadicae und gibt den Abstand zur knöchernen Leitstelle in cm an. Die Interspinallinie entspricht dem Wert 0. Ein Höhenstand über der Interspinallinie wird mit einem negativen Vorzeichen, ein Höhenstand unter der Interspinalenebene mit einem positiven Vorzeichen versehen [19]. Die genaue Höhenstandsangabe wird mittels einer gedachten, frontal vor das Becken gehaltenen, 8 cm langen Zentimeterskala angegeben [28] (Abb 7).

- 4 cm = oberer Schoßfugenrand
- 3 cm = Mitte Symphyse
- 2 cm = unterer Schoßfugenrand
- 1 cm = zwischen Symphysenunterkante und I
- 0 cm = Interspinalebene
- +1 cm = 1 cm unterhalb der Interspinalebene
- +2 cm = zwischen I und BB
- +3 cm = 1 Querfinger vom BB entfernt
- +4 cm = BB [12]

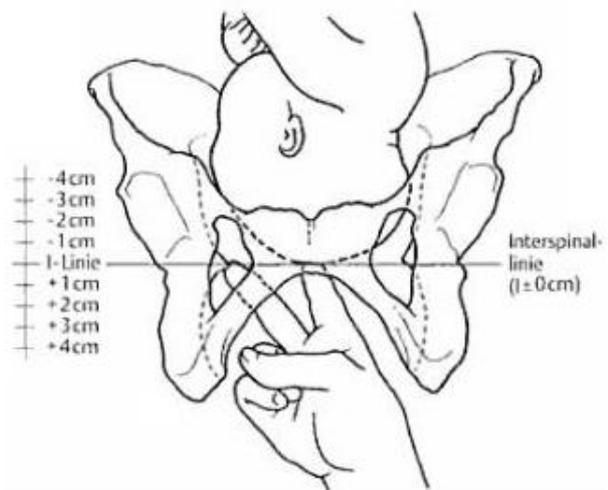


Abb. 7: Höhenstandsbestimmung nach de Lee mit Spina ischiadica als Bezugspunkt [29]

1988 nahm das American College of Obstetricians and Gynecologists (ACOG) eine Erweiterung der Einteilung nach de Lee vor, indem der Geburtskanal in 11 Abschnitte eingeteilt wurde und fortan alle Höhenstandsangaben in Bezug zur Interspinalebene in Zentimeterschritten von -5 cm bis +5 cm angegeben werden. Zusätzlich wurde der Begriff des Engagements eingeführt [30]. Dabei befindet sich der biparietale Durchmesser (BPD) unterhalb der Terminalebene und die Leitstelle ist unterhalb der Interspinalebene zu tasten. Der Kopf steht tief und fest im Beckeneingang [31].

### 2.2.2 Klinische Bedeutung

Die Kontrolle des Geburtsfortschritts erfolgt über ein Partogramm [32], welches einen Überblick über den Geburtsverlauf bietet und eine graphische Darstellung ermöglicht [33]. Dazu werden die digital ermittelten Tastbefunde Muttermundweite, Höhenstand des vorangehenden Teils und Verlauf der Pfeilnaht [1] über die Zeit aufgetragen [33] (Abb. 8).

Die Dokumentation der Geburt in einem Partogramm dient unter anderem dazu, den Geburtsfortschritt einzuschätzen und einen pathologischen Geburtsverlauf frühzeitig zu erkennen [32]. Die Dauer der einzelnen Geburtsabschnitte sowie die beschriebenen Grenzwerte variieren jedoch erheblich in der Literatur [34]. Dennoch sollte die gesamte Geburtsdauer bei Erstgebärenden nicht mehr als 18 Stunden und bei Mehrgebärenden nicht über 12 Stunden liegen. Eine protrahierte Geburt tritt mit einer Prävalenz von 4 - 8 % auf [7]. Ursachen können Geburtshindernisse, ein fetopelvines Missverhältnis oder kindliche Lage- und Einstellungsanomalien sein [35].

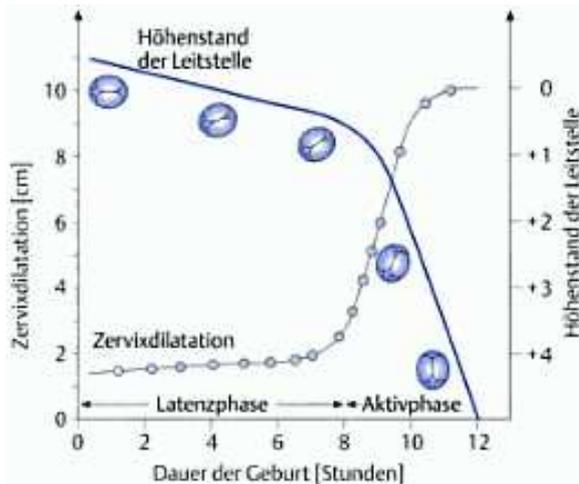


Abb. 8: Partogramm. Zeitlicher Verlauf von Muttermundweite und Tiefertreten des kindlichen Kopfes bei Erstgebärenden [36]

Zusätzlich können eine hypotone bzw. diskordinierte Wehentätigkeit zur Geburtsverzögerung führen [37]. Außerdem werden bei frühzeitig gelegten Regionalanästhesien häufiger protrahierte Geburten beobachtet [38-40], wobei die Rate an sekundären Sectiones in diesem Fall nicht erhöht ist [41].

	Erstgebärende	Mehrgebärende
Protrahierte Eröffnungsperiode (Dilatation)	< 1,2 cm/h	< 1,5 cm/h
Protrahierte Austreibungsperiode (Deszensus)	< 1,0 cm/h	< 2,0 cm/h
protrahierte Pressperiode	> 20 - 30 min (8 - 12 Presswehen)	
Geburtsstillstand Eröffnungsperiode	> 2 h	
Geburtsstillstand Austreibungsperiode	> 1 h	

Tab. 1: Kriterien der protrahierten Geburt nach ACOG 1995 [42]

Der Geburtsstillstand ist definiert als das Fehlen eines Geburtsfortschritts innerhalb eines definierten Zeitraumes (Tab. 1) [7]. Jede Form eines protrahierten Verlaufs sollte früh erfasst und in ihrer Bedeutung evaluiert werden. Die Überschreitung der zeitlichen Grenzwerte soll Anlass zur Analyse der Geburtssituation geben und dient nicht der Indikationsstellung von Interventionen [18].

Nach der Diagnosestellung eines Geburtsstillstands wird abhängig von verschiedenen Parametern das weitere Vorgehen entschieden. Ein unvollständig eröffneter Muttermund und ein Höhenstand der Leitstelle -4 cm bis 0 cm sind Kontraindikationen für eine vaginal-operative Entbindung [26] und ein Kaiserschnitt ist notwendig [31]. Bei vollständig eröffnetem

Muttermund muss abhängig vom Höhenstand, der Stellung und Einstellung sowie des Tiefertretens des kindlichen Kopfes unter der Wehe entschieden werden, ob ein vaginal-operatives Verfahren durchgeführt wird oder eine sekundäre Sectio indiziert ist [31, 43]. Laut den Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe (DGGG) sollte eine Vakuumextraktion (VE) erst bei einem Höhenstand der knöchernen Leitstelle auf I durchgeführt werden. Bei einer Leitstelle von 0 cm bis +2 cm sollte die vaginal-operative Entbindung nur bei vorderer Hinterhauptslage durchgeführt werden. Ab einem Höhenstand der Leitstelle +2 cm bis +4 cm kann auch bei hinterer Hinterhauptslage oder Deflexionshaltung mit VE entbunden werden [26].

Wegen des Schwierigkeitsgrades und der hohen Komplikationsrate einer instrumentellen Entbindung bei einem Höhenstand der Leitstelle oberhalb +2 cm oder bei einer Abweichung der Sagittalnaht von der antero-posterioren Position über 45° [44, 45] sollte ein solcher Eingriff nur bei hoher Erfolgsaussicht und durch einen erfahrenen Geburtshelfer ausgeführt werden [26].

Wenn während des Eingriffs eine Fehlbeurteilung des Höhenstandes oder der Einstellung des Kopfes erkannt wird, darf die vaginal-operative Entbindung nicht erzwungen werden. Daher müssen die generellen organisatorischen Voraussetzungen für die sofortige Durchführung einer Citosectio erfüllt sein [26]. Insgesamt zeigen Neugeborene, die durch sekundäre Sectio nach frustraner instrumenteller Entbindung geboren wurden, die niedrigsten Apgar- und Nabelschnurarterien-pH-Werte [46].

Nach den Leitlinien der DGGG, soll die Höhenstandsbestimmung in der klinischen Praxis nach de Lee durchgeführt werden [26]. Die aktuelle Literatur zeigt jedoch, dass die digitale Untersuchung nach de Lee eine hohe Fehlerrate aufweist [47, 48]. In mehreren Studien wurden theoretische und praktische Bedenken geäußert, dass die vaginal-digitale Beurteilung des kindlichen Höhenstandes subjektiv ist [49].

### **2.2.3 Fehlerquellen**

Es gibt mehrere Ursachen, die für eine Fehleinschätzung verantwortlich sein können [50]. Von ungeübten Untersuchern wird der Höhenstand regelmäßig zu tief geschätzt. Der Höhenstand lässt sich nur korrekt beurteilen, wenn der tastende Finger genau in der Beckenführungslinie des bogenförmigen Geburtsweges untersucht.

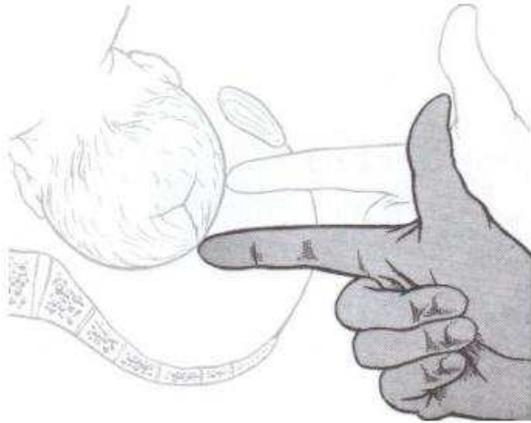


Abb. 9: Vaginal-digital ermittelter Höhenstand: grauer Finger in Beckenführungslinie, weißer Finger zu dicht hinter Symphyse [12]

Bei einer Palpation dicht hinter der Symphyse, also zu weit vorn, wird der vorangehende Teil leichter erreicht und auf diese Weise zu tief eingeschätzt [12] (Abb. 9). Ein weiterer Fehler liegt in der Nichtbeachtung einer bestehenden Geburtsgeschwulst (Caput succedaneum), welche die Angaben verfälschen kann [21].

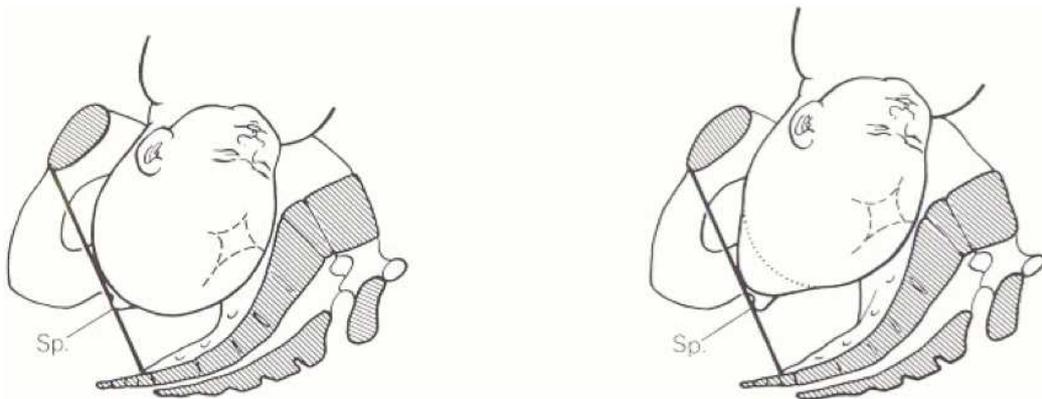


Abb. 10: Vorgetäuschter Tiefstand durch ein Caput succedaneum (rechts) [17]

Das Caput succedaneum ist eine kappenförmige Anschwellung der Leitstelle infolge seröser und hämorrhagischer Infiltration des lockeren Bindegewebes zwischen Galea und Periost. Die Größe des Caput succedaneum ist direkt proportional zum Geburtswiderstand und zur Geburtsdauer [51]. Deshalb muss die Ausprägung des Caput succedaneum vom ermittelten Ergebnis der Tastuntersuchung abgezogen werden [21] (Abb 10).

Außerdem ist anzumerken, dass die getastete Höhenstandsangabe nur für die physiologischen Flexionslagen gilt und bei Haltungsanomalien keine Gültigkeit hat. Bei Deflexionshaltungen ist zu berücksichtigen, dass sich der größte kindliche Kopfumfang mehr als 4 cm oberhalb der Leitstelle befindet [21] (Abb. 11).

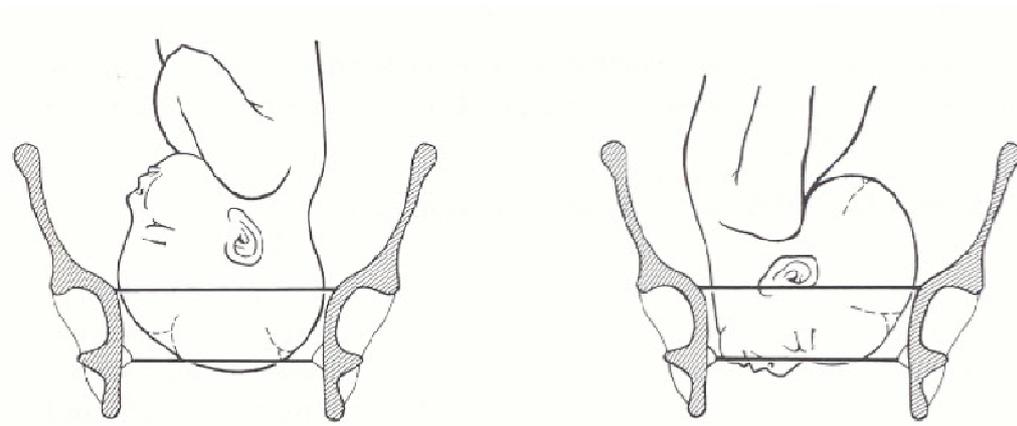


Abb. 11: Physiologische Flexionshaltung mit Leitstelle über I = engaged (links) und unphysiologische Deflexionshaltung mit Leitstelle über I, aber nicht engaged (rechts) [17]

## 2.3 Intrapartaler Ultraschall

In den letzten Jahren wurden verschiedene klinische Studien publiziert, die den Einsatz des Ultraschalls im Kreißsaal evaluiert haben [9-11, 52-54]. Obwohl die meisten sonographischen Untersuchungen der Geburtshilfe auf dem Gebiet der Pränataldiagnostik durchgeführt werden, kann die Sonographie auch während des Geburtsverlaufs eingesetzt werden [55]. Der intrapartale Ultraschall wird abhängig von der zu beurteilenden Struktur meist transabdominal oder translabial durchgeführt. Für die translabiale Untersuchung findet sich in der Literatur auch die Bezeichnung transperineal. Beide Begriffe beziehen sich dabei auf dieselbe Untersuchungstechnik, wobei transperineal terminologisch nicht eindeutig ist, da verschiedene Definitionen für das Perineum bestehen [56].

### 2.3.1 Transabdominale Diagnostik

Transabdominal kann der Ultraschall als additives Verfahren eingesetzt werden, wenn die vaginale Tastuntersuchung keine zuverlässigen Ergebnisse über Stellung und Haltung des Kindes liefern [57]. Hier kann durch die sonographische Darstellung der Wirbelsäule die Stellung des Rückens und durch die Darstellung der Orbitae sowie des Kleinhirns die Ausrichtung des Hinterhaupts beurteilt werden [58] (Abb. 12).

Das zeigten auch Chou et al. 2004, indem sie die Stellung des Kopfes in der Austreibungsphase mit Ultraschall bestimmten und die Resultate anschließend mit den Daten,



Abb. 12: Darstellung einer hinteren Hinterhauptslage [7]

die bei der Geburt erhoben wurden, verglichen. In 92 % der Fälle brachte das Ultraschallverfahren das richtige Ergebnis [59]. Dieses Verfahren kann außerdem vor vaginal-operativen Entbindungen eingesetzt werden, um die genaue Position des Hinterhaupts zu bestimmen, da die Palpationsbestimmung in dieser Situation in 25 % der Fälle fehlerhaft ist [57]. Aufgrund der zuverlässigen Lagebestimmung des Hinterhaupts kann die Vakuumplocke näher an den Flexion Point herangebracht und damit besser positioniert werden [8].

Der Flexion Point ist die Stelle am fetalen Kopf, auf welche die Vakuumplocke platziert wird. Er befindet sich auf der Sagittalnaht, 3 cm von der hinteren Fontanelle entfernt. Der Begriff leitet sich von seiner Funktion ab, denn die Vakuumplocke sollte möglichst weit hinten auf der Sagittalnaht platziert werden, um das Kind in Flexionshaltung zu entwickeln und das Durchtrittsplanum so klein wie möglich zu halten [60] (Abb. 13).

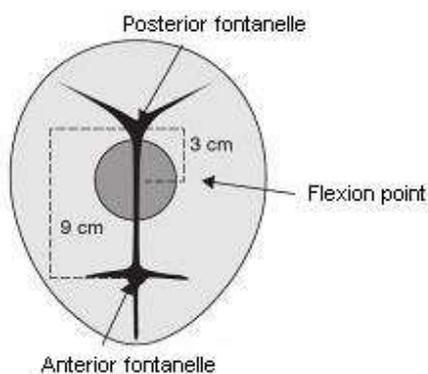


Abb. 13: Flexion Point (dunkelgrauer Kreis) [60]

Daher wird die Durchführung einer abdominalen Ultraschalluntersuchung in den Leitlinien der DGGG empfohlen, wenn die Einstellung des kindlichen Kopfes nicht sicher zu bestimmen ist [26]. Das bedeutet, dass kombinierte Techniken aus Ultraschall und klinischer Bestimmung zu einem verbesserten Ergebnis führen [61].

Außerdem gibt es sonographische Versuche, den Höhenstand der fetalen Leitstelle transabdominal zu ermitteln. Dazu gibt es verschiedene Studien, die versucht haben, das Engagement im Ultraschall darzustellen, was nur eingeschränkt möglich war [52, 62].

Die Aussagekraft des transabdominalen Ultraschalls ist in Bezug auf den Höhenstand dadurch begrenzt, dass die Leitstelle unzugänglich im Geburtskanal liegt und ventral durch die Symphyse verdeckt wird.

### **2.3.2 Translabiale Einsatzmöglichkeiten und Angle of Progression**

Seit ca. 10 Jahren wird eine weitere Möglichkeit, Ultraschall intrapartal einzusetzen, näher untersucht. Dabei handelt es sich um den intrapartalen translabialen Ultraschall (ITU) [9-11, 54, 63]. Beim ITU wird ein konvexer Abdominalschallkopf mit Ultraschallgel und einem Handschuh überzogen und sagittal auf die großen Labien aufgesetzt, sodass ein medianer Längsschnitt der Symphyse horizontal zu sehen ist [10] (Abb. 14).

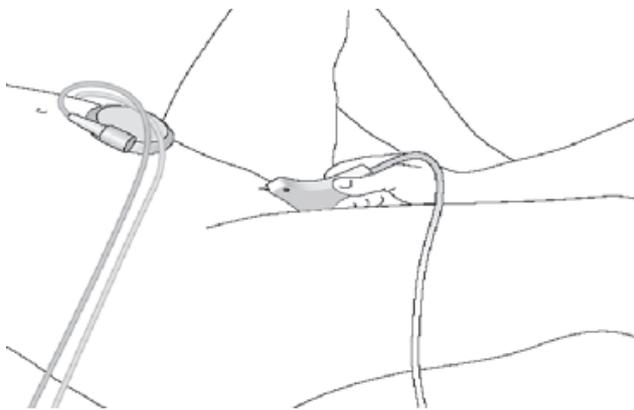


Abb. 14: Plazierung des Schallkopfes beim ITU [54]

Die knöchernen Anteile der Symphyse und des fetalen Schädels sind gut abgrenzbar, wodurch die Leitstelle darstellbar ist. Mittels ITU können die klinisch wichtigen Aspekte wie die Dynamik, also das Tiefertreten des Kopfes in der Wehe, beurteilt werden. Zusätzlich kann durch den Einsatz des ITU ein Caput succedaneum festgestellt werden [9].

Verschiedene Arbeitsgruppen haben unterschiedliche Messwerte evaluiert, um mittels ITU den Höhenstand zu bestimmen und die Chance für eine vaginale Geburt vorherzusagen. Die erste peer-reviewed Publikation zur translabialen Höhenstandsmessung und den Erfolgsaussichten bei einer Vakuumextraktion veröffentlichten Henrich et al. 2006. In dieser Pilotstudie wurden Ultraschallparameter als Prädiktoren für den Schwierigkeitsgrad einer bevorstehenden Vakuumextraktion definiert. Dazu wurde der Ultraschallkopf, wie für den ITU beschrieben, platziert, woraus sich ein horizontales Bild der Symphyse ergibt. Anschließend wurde die senkrechte Linie vom unteren Pol der Symphyse als infrapubische Linie definiert. Während der Pressenwehe konnte unter anderem die Kopfrichtung beurteilt werden. Diese Richtung wurde über eine Linie dargestellt, die senkrecht zum größten Durchmesser des fetalen Kopfes verlief. Wenn der Winkel zwischen der Linie der Kopfrichtung und der Horizontalen mehr als  $30^\circ$  ergab, bezeichnete man das als Head Up (Abb. 15).

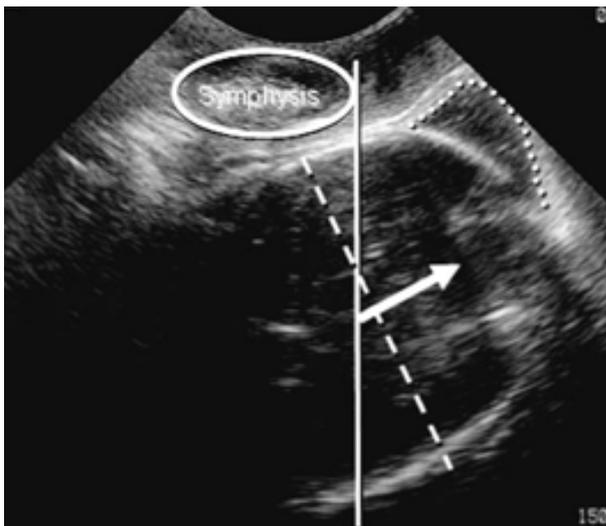


Abb. 15: Ultraschallbild mit infrapubischer Linie und Kopfrichtung (Pfeil) nach oben (Head Up) [10].

Ein Winkel kleiner  $0^\circ$ , also eine Kopfrichtung unterhalb der Horizontalen, wurde als Head Down definiert. Sonographische Prädiktoren für eine erschwerte VE waren somit die Bewegung der Längsachse des fetalen Kopfes in eine horizontale bzw. symphyseferne Richtung [10].

Eggebo et al. versuchten 2006 über den Abstand des kindlichen Kopfes zum Perineum den Geburtsmodus und den Geburtszeitpunkt vorherzusagen. Ein kurzer Abstand erforderte eine geringere Anzahl an Sectiones, prognostizierte eine kürzere Austreibungsphase und die Neugeborenen wiesen einen höheren Nabelschnurarterien-pH-Wert auf [64].

2009 untersuchten auch Ghi et al. den ITU in der Austreibungsphase. Zusätzlich zu den Ultraschallparametern von Henrich et al. wurde untersucht, inwieweit die Sagittalnaht ausrotiert ist und welche Aussage dies über den Höhenstand zulässt. Der Schallkopf wurde quer translabial unter der Symphyse aufgesetzt. Hierbei kommen die Pfeilnaht und die Fontanellen zur Darstellung. Wenn die cerebrale Mittellinie nicht eingestellt werden konnte oder eine Rotation von  $\geq 45^\circ$  vorlag, entsprach das einem Höhenstand von +2 cm. Ein Höhenstand von +3 cm oder mehr trat vor allem bei einer Kopfrichtung nach unten in Kombination mit einer Rotation von  $< 45^\circ$  auf [56].

Dennoch wurde bei den bisherigen Techniken nicht beachtet, dass der Geburtskanal einen bogenförmigen Verlauf aufweist und dieser Aspekt eine wichtige Rolle beim Deszensus des kindlichen Kopfes spielt [9]. Um den Prozess des Geburtsfortschritts besser verfolgen zu können, gab es die Überlegung, den jeweiligen Höhenstand der fetalen Leitstelle nicht durch lineare Messungen, sondern über einen Winkel zu evaluieren. Da beim translabialen Ultraschall im Sagittalschnitt die mütterliche Symphyse sowie ein Teil des kindlichen Kopfes sichtbar sind, werden diese Strukturen verwendet, um den Winkel festzulegen. Die Messung erfolgt über den Winkel zwischen einer, durch die Mittellinie der Symphyse verlaufenden Linie und einer zweiten Linie, die von der Unterkante der Symphyse

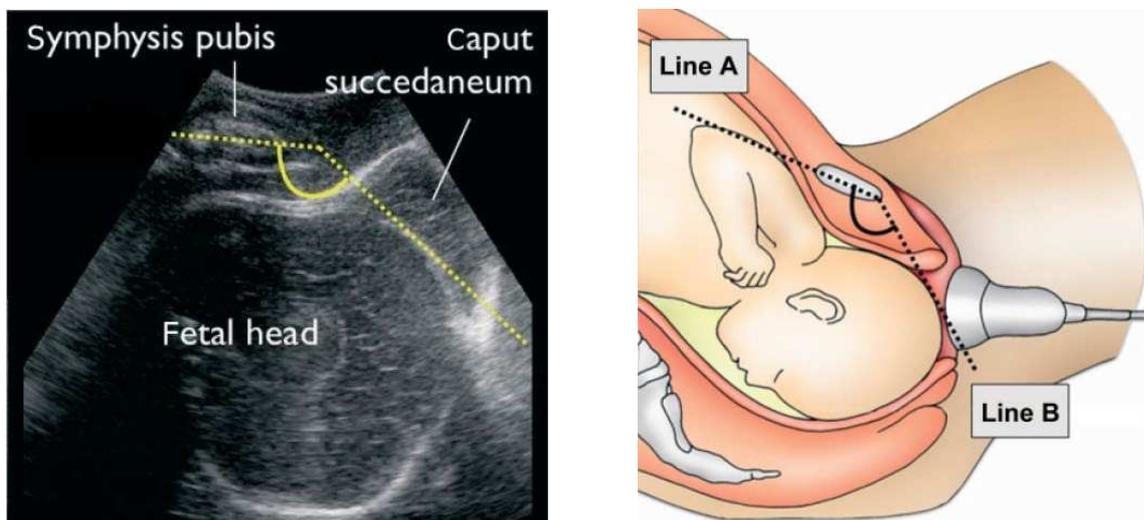


Abb. 16: Ultraschallbild mit Angle of Progression (links). Winkel zwischen Line A und Line B ergibt den Angle of Progression (rechts) [11]

tangential zum fetalen Schädel erstellt wird [11]. Dieser Winkel wird als Angle of Progression oder auch als Angle of Descent bezeichnet (Abb 16).

Es konnte gezeigt werden, dass die Gradzahl des Winkels direkt zunimmt, je tiefer der kindliche Kopf ins Becken tritt. Durch die verlaufsmäßige Änderung des unteren Schenkels des Angle of Progression (Line B in Abb. 16), der durch die Symphysenunterkante und Leitstelle verläuft, ist es möglich, den Geburtsfortschritt darzustellen [9] (Abb. 17).

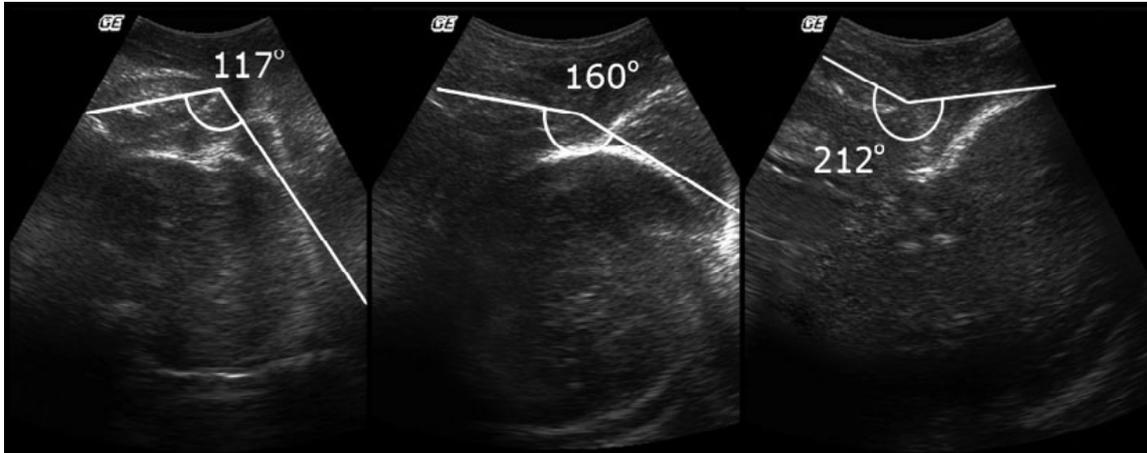


Abb. 17: Ultraschallbilder des translabial ermittelten Angle of Progression zu unterschiedlichen Zeiten der Austreibungsphase. Mit Fortschritt der Geburt vergrößert sich der gemessene Winkel [9]

Unter anderem zeigten Kalache et al., dass der mittels ITU gemessene Angle of Progression helfen kann, die geburtshilfliche Entscheidung zwischen vaginaler Geburt oder sekundärer Sectio bei einem Geburtsstillstand zu vereinfachen. Bei 26 Feten in vorderer Hinterhauptslage konnte gezeigt werden, dass ein Angle of Progression von  $120^\circ$  und mehr mit einer 90 % Chance auf eine erfolgreiche Vakuumextraktion oder vaginale Entbindung einhergeht [11].

Hieraus lässt sich ableiten, dass die aktuelle Datenlage darauf hindeutet, dass der Angle of Progression ein geeignetes objektives Mittel sein kann, um das Tiefertreten des kindlichen Kopfes zu evaluieren [17].

Ein limitierender Faktor des translabialen Ultraschalls ist, dass die Spinae ischiadicae im Ultraschall nicht darstellbar sind. Diese sind jedoch die wichtigen Referenzstrukturen im mütterlichen Beckens, um bei der vaginalen Tastuntersuchung den Höhenstand anzugeben.

Dadurch wird die Validität der Ultraschalltechnik zur Höhenstandsdiagnostik reduziert. Das hat zur Folge, dass eine exakte Höhenstandsbestimmung allein mittels ITU nicht möglich ist. Dazu sind andere bildgebende Verfahren wie eine Magnetresonanztomographie (MRT) nötig [55].

## **2.4 MRT in der Schwangerschaft**

### **2.4.1 Pränatale Diagnostik**

In der Schwangerschaft ist die Ultraschalluntersuchung das diagnostische Verfahren der ersten Wahl [65]. Dennoch kann eine MRT-Untersuchung des Feten zur Sicherung oder Komplettierung einer Verdachtsdiagnose sinnvoll sein. Es bildet ein zusätzliches bildgebendes Verfahren bei Schwangerschaften mit sonographischem Verdacht auf fetale Anomalien [66]. Die MRT-Untersuchung scheint während der Schwangerschaft keine Gefahr für den Feten darzustellen [67], da dieses Verfahren auf der Grundlage von Magnetfeldern basiert und keine Röntgenstrahlung verwendet wird [68]. Dennoch entstehen durch das Ein- und Ausschalten der Gradientenspulen Geräusche, die je nach angewendeter Sequenz einer Lautstärke zwischen 65 und 115 Dezibel entsprechen [69]. Eine Möglichkeit der Lautstärkereduzierung ist die Pulssequenzoptimierung. Bisher konnten keine schädlichen Auswirkungen auf den Feten durch MRT-Untersuchungen während des letzten Drittels der Schwangerschaft nachgewiesen werden [70]. In mehreren Studien wurden Feten, die im Mutterleib einer MRT-Untersuchung ausgesetzt waren, pränatal und postpartal untersucht. Hierbei zeigte sich ein unkomplizierter Verlauf der weiteren Schwangerschaft, ein normaler Geburtsverlauf, altersentsprechende Resultate in neurologischen und sozialwissenschaftlichen Tests sowie Normalbefunde bei Hör- und Sehtests [71, 72]. Auch die Richtlinien für MRT-Untersuchungen bei Schwangeren aus dem Jahr 2008 beschreiben, dass keine Risiken für das kindliche Gehör bestehen [73, 74]. Auf den Fetus wirken die Geräusche der MRT-Aufnahme nur sehr abgeschwächt ein [75], da sie durch Fruchtwasser und die mütterlichen Weichteile gedämpft werden [74]. Trotzdem sollte eine MRT-Untersuchung erst nach dem 1. Trimenon erfolgen, da es zu einer Erwärmung des Gewebes kommt, welches des Feten umgibt [42].

### **2.4.2 Pelvimetrie**

Zur pelvimetrischen Messung stehen äußere sowie innere Beckenmaße zur Verfügung. Die äußeren Maße können mit einem Beckenzirkel, die inneren Maße durch eine digitale Beckenaustastung oder bildgebende Verfahren ermittelt werden. Von der äußeren Beckendiagnostik kann nicht auf die inneren Beckenmaße geschlossen werden. Durch eine pelvimetrische Beckendiagnostik können objektiv die Beckenmaße der Schwangeren bestimmt werden. Damit soll ein fetopelvines Missverhältnis, also das Verhältnis von

mütterlichem Becken zu kindlichem Kopf, prospektiv erfasst und die Festlegung auf den Geburtsmodus erleichtert werden [12].

Die MRT-Pelvimetrie ist heute als Standardverfahren etabliert [76]. Diese Untersuchung ermöglicht es, die geburtsmechanisch wichtigen Distanzen zu erfassen (Abb. 18) [7].

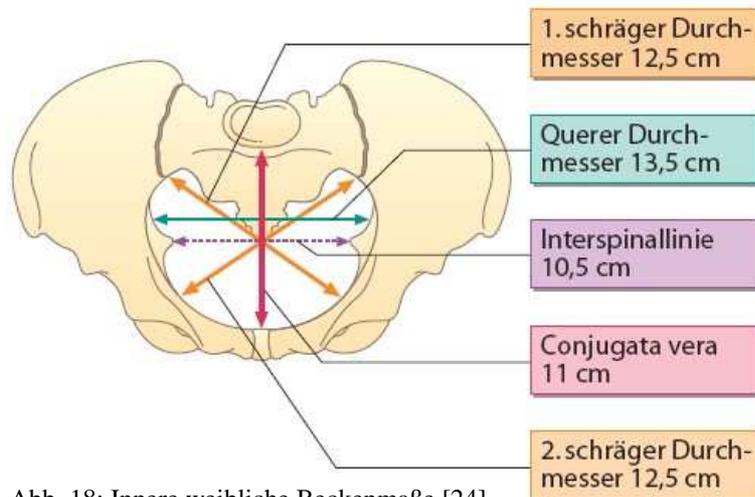


Abb. 18: Innere weibliche Beckenmaße [24]

Der klinische Stellenwert der zweidimensionalen Pelvimetrie ist allerdings seit längerem umstritten. Einerseits divergieren die Referenzwerte für geburtshilfliche Beckenmaße in der Literatur, da sie abhängig von Aufnahmetechnik, ethnischer Zusammensetzung des Kollektivs und Erhebungszeit sind [77, 78]. Andererseits können weitere Faktoren wie z.B. Wehen, die auf den Verlauf der Geburt einwirken, nicht berücksichtigt oder vorhergesagt werden. Dies erklärt den geringen prädiktiven Wert der konventionellen Pelvimetrie hinsichtlich des Geburtsverlaufs und des Geburtsmodus [7].

Zusätzlich wurde nach einer Möglichkeit zum antepartalen Vergleich kindlicher und mütterlicher Parameter gesucht. Ein Ansatz ist der Fetopelvine Index, bei dem radiologisch ermittelte Umfänge des Beckens mit sonographisch erfassten Umfängen von kindlichem Kopf und Abdomen zueinander in Beziehung gesetzt werden. Ist der Index positiv, geht man von einer fetopelvinen Disproportion aus [79]. Jedoch erfolgte in einer verblindeten Studie selbst bei einem positiven Fetus-Beckenindex bei Primiparae mit einem Fetus in Schädellage eine Spontangeburt in 25 % der Fälle [80]. Das heißt, dass es auch bei einer diagnostizierten fetopelvinen Diskrepanz nicht möglich ist, einen Geburtsstillstand oder den Geburtsmodus vorherzusagen [81, 82].

## **2.5 Arbeitshypothese**

Da die sonographische Darstellung der mütterlichen Spinae ischiadicae nicht möglich ist, wurde es erforderlich, den Vergleich zu einem anderen bildgebenden Verfahren zu ziehen. Die pränatale MRT-Untersuchung ermöglicht die Darstellung dieser knöchernen Leitstrukturen. Anhand der MRT-Aufnahmen kann durch pelvimetrische Messungen der Abstand der knöchernen Leitstelle zur Interspinalenebene angegeben werden. Durch den direkten Vergleich mit dem Angle of Progression im zweidimensionalen Ultraschall wird eine Korrelation der Daten, die aus beiden bildgebenden Verfahren hervorgehen, angestrebt. Im Folgenden kann dann von der sonographischen Darstellung des Angle of Progression auf den Abstand der fetalen Leitstelle zur Interspinalenebene geschlossen werden. Dadurch ist eine exaktere Höhenstandsbestimmung des fetalen Kopfes intrapartal möglich.

### **3 Material und Methoden**

Im Zeitraum vom 01.01.2009 bis 30.09.2009 wurden 31 Frauen im Alter von 18 bis 38 Jahren aus dem Patientenkollektiv der Klinik für Geburtshilfe der Charité - Campus Berlin Mitte in die Studie eingeschlossen. Die Patientinnen befanden sich zum Zeitpunkt der Untersuchung zwischen der 37+0 und der 42+0 Schwangerschaftswoche (SSW). Als Einschlusskriterien galten eine unkomplizierte, intakte Einlingsschwangerschaft mit einem Fetus in Schädellage mit vorderer Hinterhauptslage und ein Alter von 18 bis 45 Jahren. Die Ausschlusskriterien waren bekannte strukturelle Anomalien beim Feten, Risikoschwangerschaften anderer Genese, ein erfolgter Blasensprung, ein aktives Geburtsgeschehen mit regelmäßigen Wehen sowie für die Untersuchung im MRT bestehende Kontraindikationen wie Herzschrittmacher oder Metallimplantationen.

Das Studiendesign wurde nach gestelltem Ethikantrag durch die Ethikkommission der Charité genehmigt.

Alle Teilnehmerinnen wurden mittels Aufklärungsbogen und persönlichem Gespräch eingehend informiert und unterzeichneten eine schriftliche Einverständniserklärung.

Die Untersuchung wurde von keiner Patientin abgebrochen. Somit durchliefen alle Teilnehmerinnen die vollständige Untersuchung im oMRT sowie die anschließende translabiale Ultraschalluntersuchung.

#### **3.1 Untersuchungsaufbau**

Zu Beginn wurde eine Untersuchung im oMRT durchgeführt. Die MRT ist ein bildgebendes Verfahren der medizinischen Diagnostik. Basierend auf den physikalischen Prinzipien der Kernresonanz werden Schnittbilder des Körpers in einer frei wählbaren Raumebene erzeugt. Dazu ist im Gegensatz zu röntgenbasierten oder nuklearmedizinischen Bildgebungstechniken keine ionisierende oder hochenergetische Strahlung nötig [83]. Die wesentlichen Bestandteile eines Magnetresonanztomographen sind: ein starker Magnet zur Erzeugung eines Magnetfelds, Gradientenspulen zur Erzeugung von magnetischen Feldgradienten für die Ortskodierung, eine Sendespule zur Erzeugung eines periodischen Magnetfelds zur Anregung, Empfängerspulen für die Hochfrequenzsignale und ein Rechnersystem zur Datenverarbeitung und Bildberechnung [69]. Geschlossene Systeme sind wie eine Röhre aufgebaut, in der eine supraleitende Spule ein Magnetfeld ausbildet. Offene Systeme verfügen über zwei Helmholtzspulen, die hier horizontal zueinander angeordnet sind, um das erforderliche vertikale Magnetfeld zu erzeugen [84]. Die

MRT basiert physikalisch auf den Prinzipien der Kernspinresonanz. Atomkerne, die sich in einem äußeren Magnetfeld befinden, werden resonant angeregt. Die Energieabgabe (Relaxation) wird als elektromagnetisches Signal über die Empfängerspule des MRT-Geräts aufgenommen und verarbeitet. In der medizinischen Bildgebung ist der bevorzugte Kern der Wasserstoffkern (Proton). Zum eigentlichen diagnostischen Bildkontrast der unterschiedlichen Gewebearten tragen nicht nur die unterschiedlichen Protonenkonzentrationen, sondern auch zwei magnetische Gewebeeigenschaften (T1- und T2-Relaxationszeit) bei [85].

Das gesamte Indikationsspektrum zur Durchführung einer MRT-Untersuchung kann auch im offenen System durchgeführt werden, jedoch gibt es zusätzlich spezielle Indikationen für ein offenes MRT-Verfahren. Dazu gehören die interventionelle Radiologie [86], Bewegungsabfolgen von Gelenken [87], Klaustrophobie [88] und Adipositas per magna [89].

Die in dieser Arbeit beschriebenen Untersuchungen wurden in dem offenen MRT Panorama HFO (Philips Healthcare, Best NL) bei 1.0 T mit der abdominalen Sense Body XL Spule durchgeführt. Das Gerät hat in der Breite einen Durchmesser von 160 cm und eine Öffnungshöhe von 40 cm. Zusätzlich ist der Zugang zum Patienten von allen Seiten möglich (Abb. 19).



Abb. 19: Panorama HFO (Philips Healthcare, Best NL) mit vertikalem Magnetfeld (parallele Pfeile links) und Breite sowie Öffnungshöhe (kreuzende Pfeile rechts)

Der Philips Panorama erreicht im Vergleich zu anderen offenen nicht supraleitenden Niederfeldgeräten in einer kürzeren Untersuchungszeit eine höhere Bildqualität. Die Patienten neigen während der Untersuchung weniger zu Bewegungen, weshalb die Bilder weniger Bewegungsartefakte enthalten. Da die Bildqualität im Zentrum des Magnetfeldes am höchsten ist, wird die zu untersuchende Körperregion dort plaziert. Weiterhin ist die Bildqualität durch

die vertikale Anordnung des Magnetfelds und den Einsatz effektiverer Empfangsspulen optimiert. Somit kann mit einer geringeren Feldstärke eine gute Bildqualität erreicht werden [90].

Für die MRT-Bildgebung wurden als durchschnittliche apparative Parameter ein Time of Echo (TE) mit 15 ms, Time of Repetition (TR) mit 498 ms und eine Schichtdicke von 3 mm verwendet. TE steht für Echozeit und umfasst den Zeitabstand vom anregenden Hochfrequenzimpuls bis zur Signalaufnahme des vom Patienten zurückgesandten Echos. TR steht für Repetitionszeit oder Wiederholungszeit und beschreibt den Zeitabstand zwischen zwei aufeinander folgenden initiierten Anregungsimpulsen [69].

Die Aufnahmen erfolgten als T1-gewichtete Turbo-Spin-Echo-Sequenzen (TSE). Nach Anregung kehren die Protonen wieder in den Grundzustand zurück und die Kernspins richten sich wieder entlang des äußeren Magnetfelds aus. Diesen Prozess des Wiederaufbaus aus der Längsmagnetisierung in ihren Gleichgewichtszustand bezeichnet man als T1-Relaxation [91]. TSE sind Spin-Echos (SE) mit verkürzter Aufnahmezeit. SE-Sequenzen zeichnen sich dadurch aus, dass innerhalb der Sequenz immer 90°- und 180°-Impulse zur Anwendung kommen. Die Gradzahl der Impulse wird als Flip-Winkel bezeichnet und gibt den Grad der Auslenkung des Magnetisierungsvektors in Richtung der Transversalebene an. Bei der SE-Sequenz weist der Anregungsimpuls einen Flip-Winkel von 90° auf. Der nachfolgende 180°-Impuls, der noch vor der Auslesung des Signals abgegeben wird, ist ein Rephasierungsimpuls und dient der besseren Signalausbeute [69].



Abb. 20: Voluson 730 Expert-System Bild von GE Healthcare, Milwaukee, WI

Der anschließende Untersuchungsschritt war die sonographische Messung des Angle of Progression. Als Ultraschallgerät wurde ein Voluson 730 Expert-System von GE Healthcare, Milwaukee, WI, verwendet, welches mit einer 4 - 7 MHz transabdominalen 3-D Sonde ausgestattet ist (Abb. 20). Maßnahmen zur Risikobeherrschung sind beim Ultraschall nicht notwendig, da die beim zweidimensionalen Ultraschall applizierte Energie aufgrund der kurzen Untersuchungsdauer und geringen Schallintensität zu vernachlässigen ist [92].

### 3.2 Untersuchungsablauf

Nach Aufklärung der Patientin und entleerter Harnblase wurde die Schwangere im Panorama HFO gelagert. Dazu legte sich die Patientin in Rückenlage mit leicht abduzierten, nicht überkreuzten Beinen und den Händen neben dem Körper auf den Untersuchungstisch. Diese Lage wurde durch eine entsprechende Polsterung fixiert (Abb. 21). Um ein Vena-cava-Kompressionssyndrom zu vermeiden, war es der Patientin möglich, den Bauch leicht nach links zu kippen, um die Vena cava inferior zu entlasten. Dennoch musste darauf geachtet werden, dass der gesamte Beckengürtel auf dem Untersuchungstisch auflag, um eine vergleichbare Ausgangssituation zu erreichen. Als Gehörschutz wurden Gehörschutzstöpsel (Gehörschutz Klasse 1) und ein Kapselgehörschutz (Gehörschutz Klasse 2) verwendet.



Abb. 21: Patientin auf Untersuchungsliege im oMRT [93]

Über ein Fenster sowie eine Kamera hatte das Personal die gesamte Zeit Sichtkontakt zur Patientin. Zusätzlich hatte die Schwangere die Möglichkeit, über eine Notfallklingel bei Unbehagen einen sofortigen Abbruch der MRT-Untersuchung herbeizuführen. Das zu untersuchende Areal erstreckt sich vom Bauchnabel bis zum oberen Drittel des Oberschenkels der Patientin. Für den Beginn der Untersuchungsreihe wurde die Patientin unter dem Gerät

positioniert und anschließend 8 Sequenzen in mehreren Ebenen gescannt (Tab. 2). Die ersten 4 Sequenzen sind Lokalisationssequenzen oder auch Übersichtssequenzen, Survey oder Scout genannt. Dabei zeigt jede Sequenz ein genaueres Bild der vorhergehenden Sequenz. Tabelle 2 zeigt das Pulssequenzprotokoll mit den wesentlichen Parametern.

Sequenz	Ebene	n/Thick/Dist (mm)	FOV (mm)	TR	TE	Dauer (min)
1 Survey bFFE	coronar transversal sagittal			4	1,5	0:18
2 Ref Body XL	transversal			4	1,5	0:09
3 T1W para scout	parasagittal	2 x 9/3/1	300	357	19	1:36
4 T1W ax scout	transversal	15/3/0	280	413	19	1:49
5 T1W parasag	parasagittal	2 x 15/2/0,2	300	595	19	3:14
6 T1W axa plant	transversal	50/3/0	280	1291	19	5:35
7 T1W cor	coronar	26/3/0	390	518	19	2:57
8 T1W sag	sagittal	40/3/1	280	796	19	2:55

Tab. 2: Pulssequenzprotokoll oMRT. n = Anzahl Bilder, Thick = Schichtdicke, Dist = Distanzfaktor = Abstand zwischen den einzelnen Schichten, FOV = Field of View, TR = Time of Repetition, TE = Time of Echo

Die erste Sequenz ist eine kurze Sequenz mit Bildern der 3 Hauptebenen Coronarebene, Sagittalebene und Transversalebene und dient der groben Orientierung und Darstellung der räumlichen Verhältnisse (Abb. 22). Diese erste Lokalisationssequenz muss bei nicht gut einstellbarer Anatomie wiederholt werden, da die folgenden Sequenzen auf deren Inhalt aufbauen.

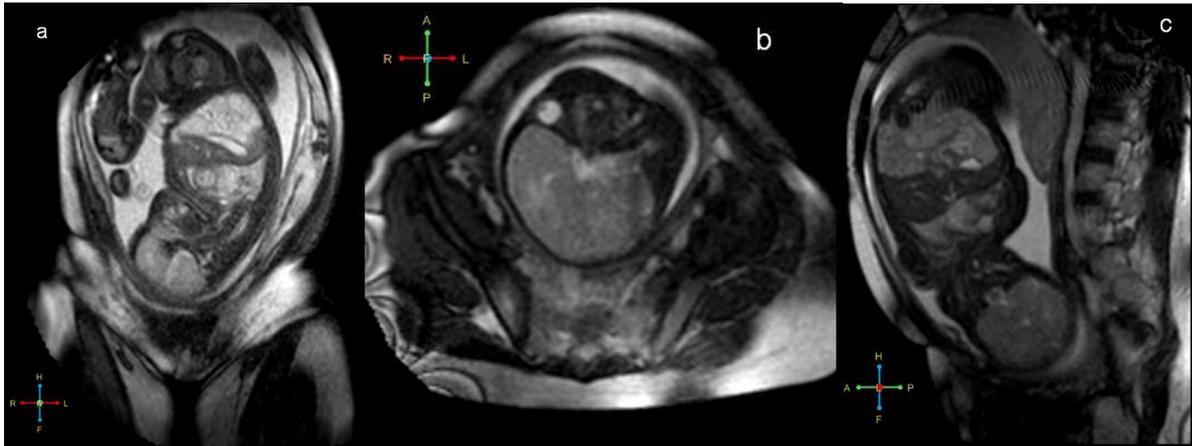


Abb. 22: 1. Bildabfolge als Lokalisationssequenzen in a) coronar, b) transversal und c) sagittal

Die zweite Sequenz ist ein kurzer transversaler Durchgang und dient als Matrix für die folgende Sequenz (Abb. 23). Anhand dieser zweiten Lokalisationssequenz konnte die nächste Bildabfolge auf die wichtigen anatomischen Marker, die Spinae ischiadicae, ausgerichtet und zentriert werden. Dazu stellt man auf den Bildern der zweiten Sequenz auf Höhe der Hüftköpfe der Patientin zwei Schichtbündel (Slabs) ein, welche dadurch zwei parasagittale Ebenen definieren.

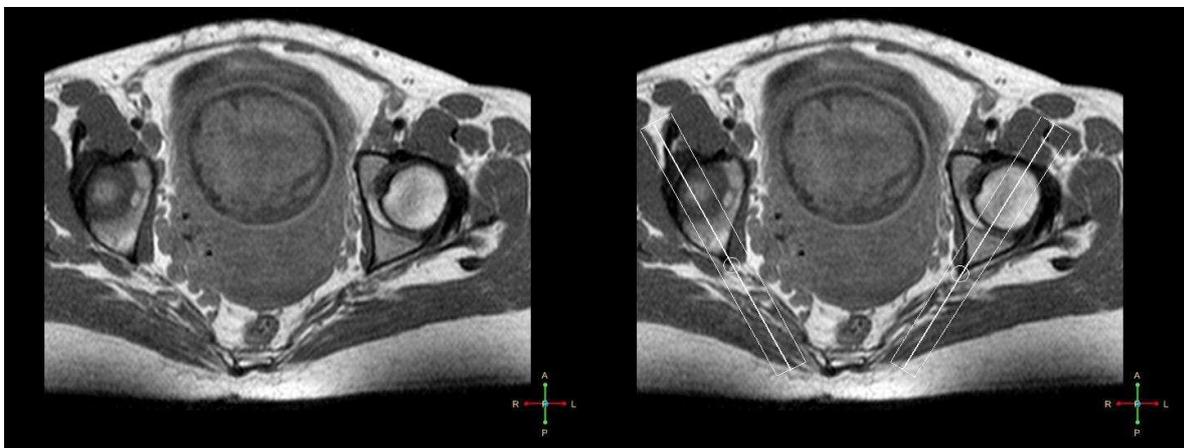


Abb. 23: Transversalebene als 2. Sequenz (links) und mit Slabs für die 3. Sequenz (rechts)

Die dritte Sequenz ist somit eine parasagittale Aufnahme, welche jeweils 9 Bilder für ein Schichtbündel aufnimmt, was insgesamt zu 18 Bildern pro parasagittaler Sequenz führt, da jede Spina ischiadica über ein separates Schichtbündel eingestellt wird (Abb. 24).

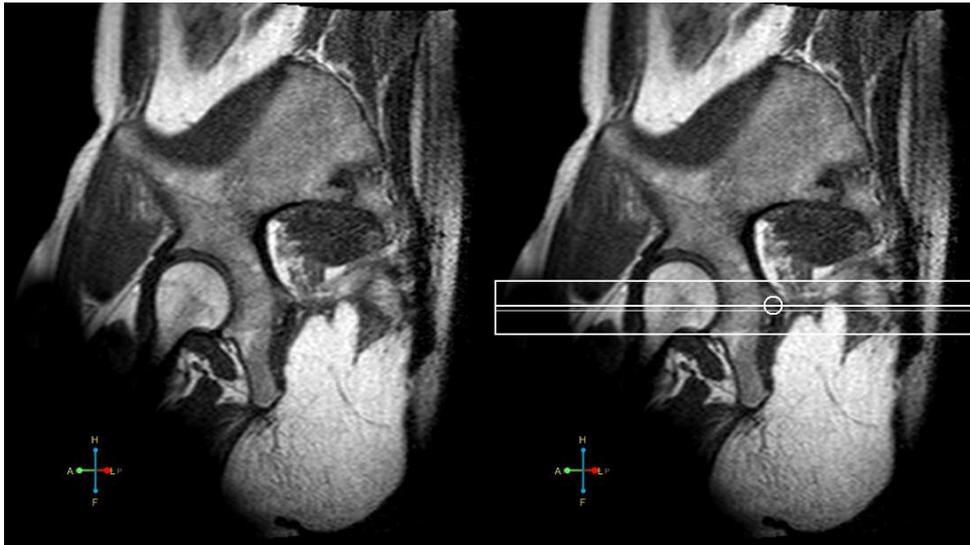


Abb 24: Parasagittale Ebene als 3. Sequenz (links) und mit Slabs für die 4. Sequenz (rechts)

Die vierte Sequenz ist wieder eine transversale Sequenz, welche auf Höhe der Spina ischiadica in transversaler Richtung verläuft, da diese im vorangegangenen dritten Schnittbild mithilfe der Schichtbündel eingestellt wurde (Abb. 25).

Dieses Verfahren ist notwendig, um eine bessere Abbildung der Spina ischiadica zu ermöglichen. Dies kann in reinen transversalen oder sagittalen Aufnahmen nicht exakt dargestellt werden, da aufgrund des Schnittbildverfahrens einer MRT-Untersuchung nur Fragmente oder keine Spina ischiadica zu erkennen sind.

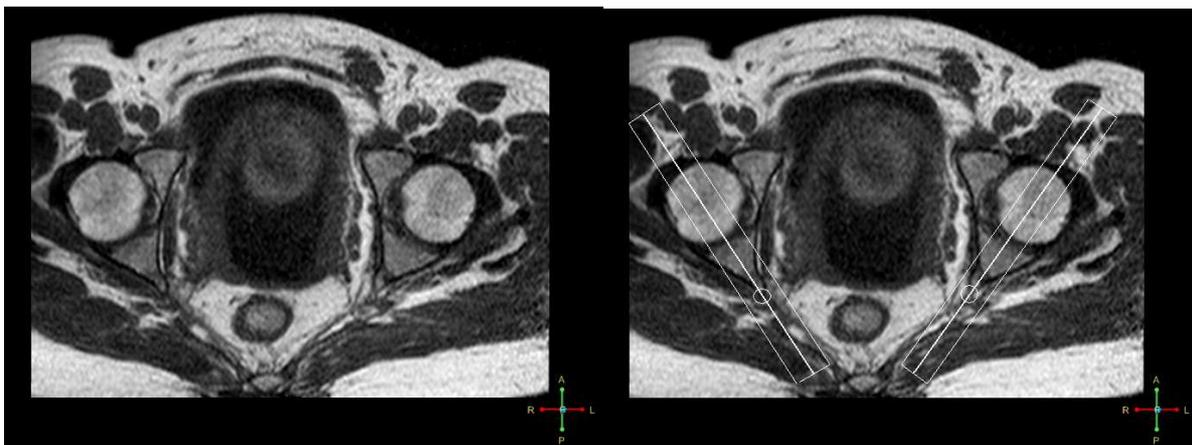


Abb. 25: Erneute transversale Ebene als 4. Sequenz (links) und mit Slabs für die 5. Sequenz (rechts)

Damit sind die vorbereitenden Lokalisationssequenzen abgeschlossen.

Die fünfte Sequenz wird, wie die dritte Bildabfolge, nur als Hilfssequenz verwendet und baut auf der vierten Sequenz auf. Das bedeutet, dass die Slabs auf die Spinae ischiadicae der vierten Sequenz ausgerichtet sind und sich entsprechend als fünfte Sequenz eine parasagittale

Ebene ergibt (Abb. 26). Für jede der beiden Spinae ischiadicae werden 15 Bilder aufgenommen, woraus sich eine Gesamtbilderzahl von 30 Bildern für die fünfte Sequenz ergibt.

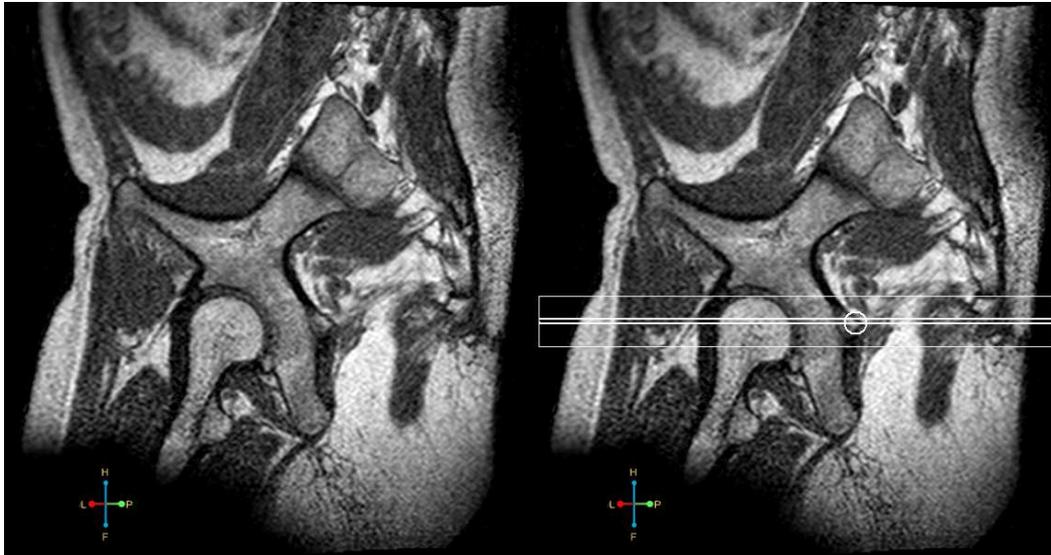


Abb. 26: Erneute parasagittale Ebene als 5. Sequenz (links) und mit Slabs für die 6. Sequenz (rechts)

Nun können die eigentlichen, später zu analysierenden, Bilder aufgenommen werden.

Die sechste Sequenz verläuft vom Einstellungsprinzip wie die vierte Sequenz und bietet wieder eine genauere Einstellungsmöglichkeit der Spina ischiadica in der Transversalebene. Für das Auffinden der Spina ischiadica orientiert man sich am Insertionspunkt des Ligamentums sacrospinale (Abb. 27).

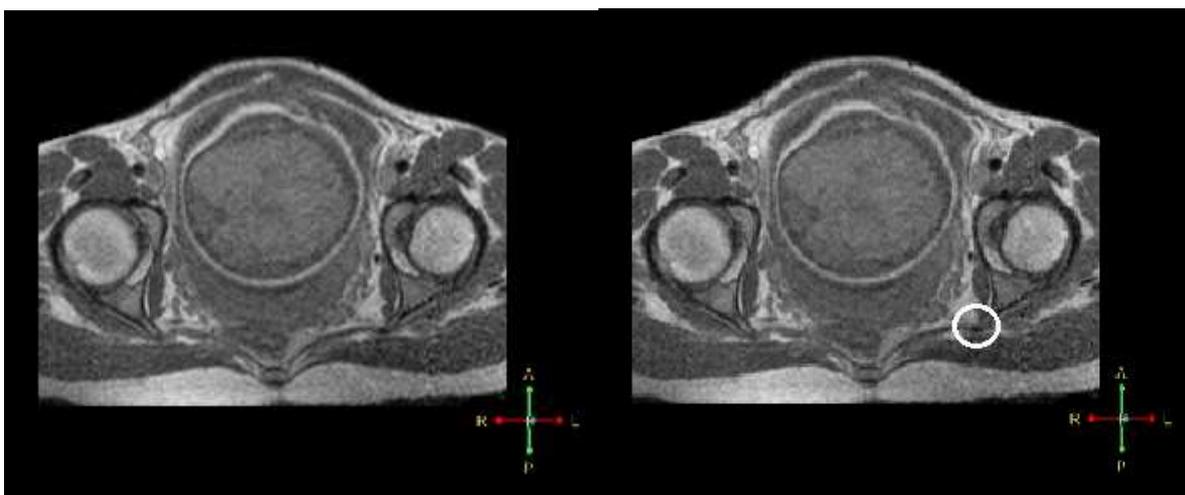


Abb. 27: 6. Sequenz. Transversale Ebene mit Insertion Lig. Sacrospinale an der Spina ischiadica (weißer Kreis)

Abschließend werden noch zwei konventionelle Ebenen abgebildet, um eine optimale bildliche Ausgangssituation für die anschließende Messung zu sichern. Die siebte Sequenz ist eine coronare Sequenz mit 26 Bildern. Die achte Sequenz zeigt 40 Bilder in der sagittalen Ebene.

Aus dem Untersuchungsablauf gehen drei potenziell analysierbare Ebenen hervor. Eine coronare, eine sagittale und eine transversale Ebene, die exakt die Spinae ischiadicae darstellt. Die gesamte Untersuchungsdauer betrug in den meisten Fällen weniger als 30 Minuten, wobei die reine Sequenzdauer 18 Minuten entsprach. Die erstellten MRT-Bilder wurden am Untersuchungsgerät im DICOM-Datenformat gespeichert und anschließend analysiert.

Nachdem die MRT-Untersuchung abgeschlossen war, wurde die Patientin ohne Lageänderungen auf dem MRT-Untersuchungstisch belassen und in den Vorraum des MRT-Geräts gefahren (Abb. 28). Durch Beibehalten der Lage wurde gewährleistet, dass der translabiale Ultraschall ohne verfälschende äußere Einflüsse durchgeführt werden konnte.



Abb. 28: Patientin auf MRT-Untersuchungstisch kurz vor der ITU [93]

Die konvexe Ultraschallsonde wurde vertikal auf der infrapubischen Region auf Höhe der großen Labien auf das Perineum der liegenden Patientin platziert. Angestrebt wurde ein Bild in medio-sagittaler Ansicht mit deutlicher Sicht auf die Symphyse und den kindlichen Schädel, wobei der Knochenschatten der Symphyse nicht im Zentrum des Bildes sichtbar sein sollte. Die Sonde wurde durch seitliches Verschieben korrigiert, bis der Symphysenkern deutlich im Kapselgewebe sichtbar war. Es wurde darauf geachtet, dass der Knochenschatten der Symphyse oberhalb des kindlichen Schädels abgebildet wurde. Dies kann durch dorsales Kippen des Ultraschallkopfes erreicht werden. Bei exakt eingestelltem Bild konnte der Angle

of Progression gemessen und schriftlich festgehalten werden. Zusätzlich wurden die Ergebnisse gespeichert.

### 3.3 Datenerhebung und Auswertung

#### 3.3.1 Messgrößen aus MRT und Ultraschall

Als erste Messgröße wurde in den MRT-Aufnahmen der Höhenstand der fetalen Leitstelle, also der Abstand zwischen Leitstelle und der mütterlichen Interspinalenebene, gemessen. Dazu wurde eine Spina ischiadica, wie in Abbildung 27 dargestellt, im Transversalschnitt aufgesucht und markiert (Abb. 29).

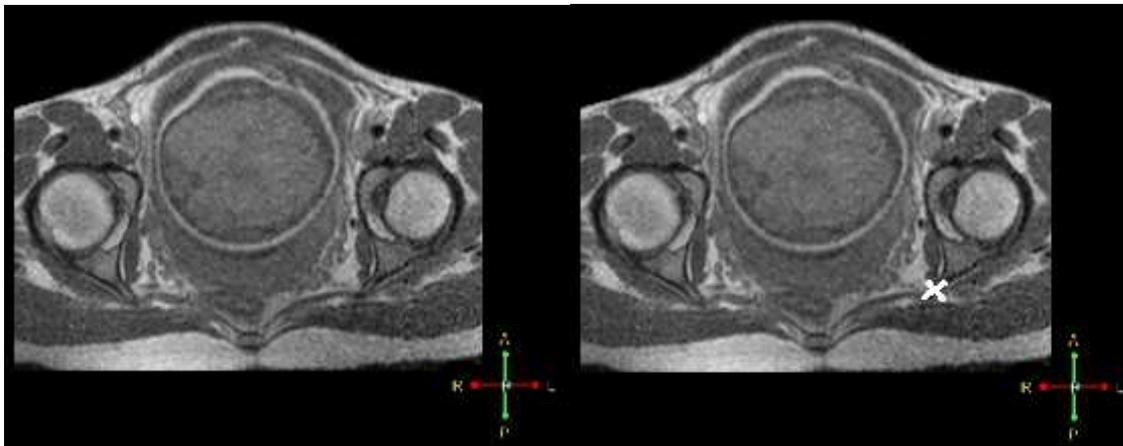


Abb. 29: MRT-Bild in der Transversalebene mit Markierung der Spina ischiadica (weißes Kreuz)

Die gespeicherten DICOM-Bilder wurden mit dem MRT-Programm Osirix bearbeitet. Damit blieb die gesetzte Markierung der Spina ischiadica der Transversalebene in allen anderen Sequenzen erhalten (Abb. 30). So konnte der Abstand der Leitstelle zur maternalen Interspinalenebene im Frontalschnitt in mm ausgemessen werden (Abb. 31).



Abb. 30: MRT-Bild in der Frontalebene mit Markierung der Spina ischiadica (weißes Kreuz)

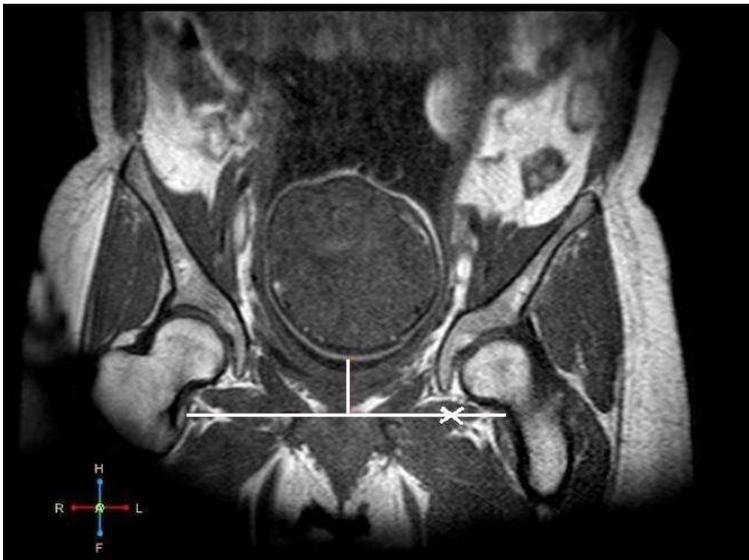


Abb. 31: MRT-Bild in der Frontalebene mit schematischer Darstellung der Messung des Abstands der Leitstelle zur Interspinallinie

Für die Messung des Angle of Progression im Ultraschallbild benötigt man ein medio-sagittales Schnittbild durch die mütterliche Symphyse (Abb. 32). Die Erstellung der Ultraschallbilder erfolgte durch einen erfahrenen Geburtshelfer mit mehr als 5 Jahren klinischer Tätigkeit.

Wie bereits beschrieben, wird anschließend zwischen Symphyse und Leitstelle der Angle of Progression gemessen. Die Analyse der Ultraschall-Daten wurde offline durchgeführt.



Abb. 32: Angle of Progression im translabialen Ultraschall als Mediosagittalschnitt

### **3.3.2 Demographische Datenerhebung**

Folgende Parameter der Mutter wurden anhand des Mutterpasses in die Datenbank aufgenommen: das Alter, das Untersuchungsdatum, SSW bei der Untersuchung, Anzahl vorheriger Schwangerschaften und Geburten, Größe, Gewicht vor der Schwangerschaft, Gewicht am Termin und SSW bei Geburt. Zusätzlich wurden Geburtsmodus und die Angabe der Durchführung einer Periduralanästhesie (PDA) aus der Kreißsaal-datenbank entnommen. Diese Datenbank ermöglichte weiterhin die Erfassung der kindlichen Daten. So wurden Geschlecht, Größe, Gewicht, Kopfumfang, Nabelschnurarterien-pH-Wert bei der Geburt und die Apgarwerte nach 1, 5 und 10 Minuten in die eigene Datenbank eingetragen.

### **3.3.3 Statistik**

Zur Darstellung der Daten wurden bei Normalverteilung Mittelwerte, Standardabweichungen, Spannweite und Intervalle verwendet. Einfach lineare Regressionen und der Korrelationstest nach Pearson wurden genutzt, um den Zusammenhang zwischen dem Angle of Progression und dem Höhenstand der Leitstelle im oMRT darzustellen. Bezüglich des Signifikanzniveaus wurde  $p < 0,05$  als signifikant für alle statistischen Untersuchungen festgelegt. Die statistische und graphische Verarbeitung des Datenmaterials erfolgte mithilfe der Software SPSS Version 16.0 (SPSS, Chicago, IL, USA). Zur Erstellung der Graphen wurde GraphPad Prism Version 4.0 OSX (GraphPad Software, San Diego, CA, USA) verwendet.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Charakteristika der Patientinnen

#### 4.1.1 Allgemeine Beschreibung der Patientinnen

Die folgende Tabelle (Tab. 3) zeigt die allgemeinen Merkmale der Studienteilnehmerinnen.

<b>Merkmal</b>	<b>Mittelwert ± Standardabweichung</b>	<b>Spannweite</b>
Körpergröße (cm)	163,9 ± 7,7	(143-186)
Gewicht vor der Schwangerschaft (kg)	61,1 ± 8,8	(45-85)
Gewichtszunahme in der Schwangerschaft (kg)	13,8 ± 3,9	(5-22)
BMI vor Schwangerschaft (kg/m <sup>2</sup> )	22,8 ± 2,8	(18,2-29,4)
BMI am Ende der Schwangerschaft (kg/m <sup>2</sup> )	27,7 ± 3,4	(19,8-32,4)

Tab. 3: Allgemeine Charakteristika der Studienteilnehmerinnen

Die mütterliche Körpergröße lag im Durchschnitt bei  $163,9 \pm 7,7$  cm mit einem mütterlichen Gewicht vor der Schwangerschaft von  $61,1 \pm 8,8$  kg, was einem Body-Mass-Index (BMI) vor der Schwangerschaft von  $22,8 \pm 2,8$  entspricht. Während der Schwangerschaft ergab sich eine durchschnittliche Gewichtszunahme von  $13,8 \pm 3,9$  kg. Dies führte zu einem durchschnittlichen mütterlichen Gewicht am Ende der Schwangerschaft von  $74,9 \pm 10,9$  kg.

#### 4.1.2 Charakteristika zum Zeitpunkt der Untersuchung

Die demographischen Daten der vorliegenden Studienpopulation ergaben ein mütterliches Durchschnittsalter bei der Untersuchung von  $29,5 \pm 5,3$  Jahren. Die jüngste Patientin war 18 und die älteste Patientin 38 Jahre alt.

Zum Untersuchungszeitpunkt lag das mittlere Gestationsalter bei  $38,3 \pm 1,6$  SSW. Dabei lag die Spannweite zwischen 37+0 und 41+6 SSW (Abb. 33).

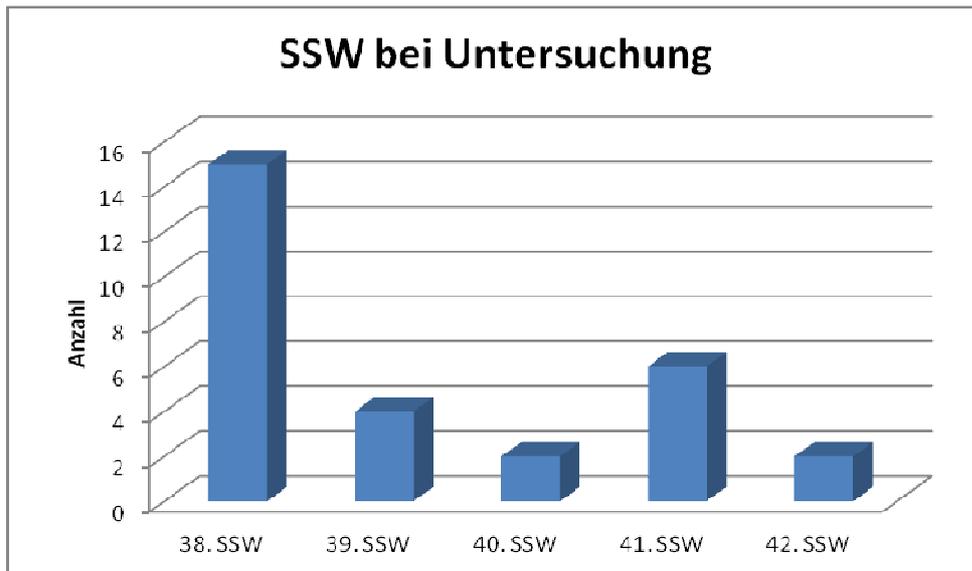


Abb. 33: SSW zum Zeitpunkt der Untersuchung im MRT

#### 4.1.3 Charakteristika zum Zeitpunkt der Geburt

Die folgende Abbildung zeigt anhand einer Intervallskala mit diskreten Werten, dass 32 % der Patientinnen innerhalb von 3 Tagen und 68 % der Patientinnen innerhalb von 10 Tagen nach der Untersuchung entbunden wurden (Abb. 34).

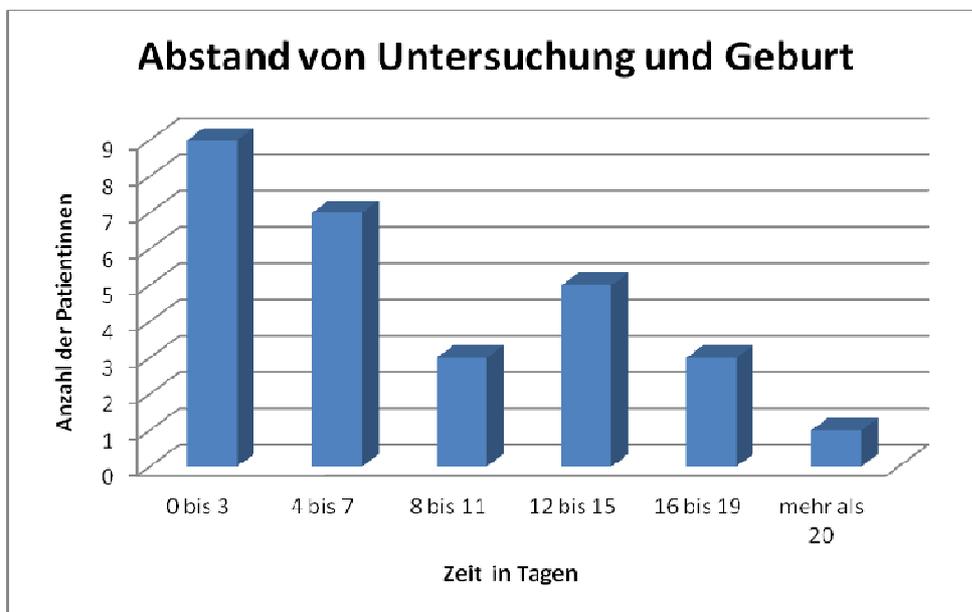


Abb. 34: Zeitlicher Abstand in Tagen von Untersuchung bis zur Geburt

Zum Zeitpunkt der Geburt entsprach das durchschnittliche Gestationsalter  $39,2 \pm 1,0$  Wochen, wobei das geringste Gestationsalter bei  $37+0$  und das höchste bei  $41+6$  SSW lag (Abb. 35).

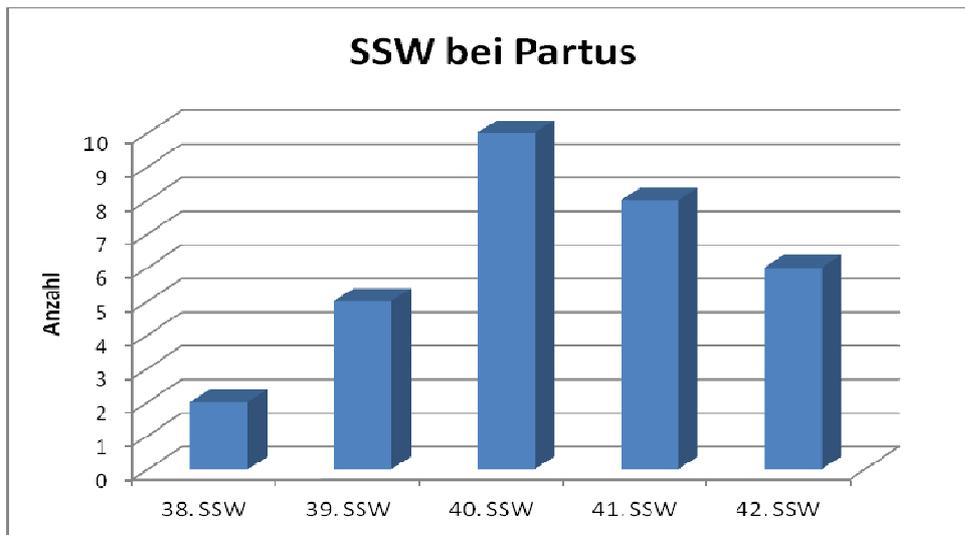


Abb. 35: Übersicht SSW bei Geburt

Unter der Geburt wurde eine PDA bei 20 Schwangeren gesetzt. Das entspricht 65 % des Patientenkollektivs. 11 Patientinnen entschieden sich gegen eine PDA, was einem Prozentsatz von 35 % entspricht.

Die Geburt erfolgte in 58 % der Fälle spontan. 13 % der Frauen wurden vaginal-operativ und 29 % per Sectio Cesarea entbunden (Abb. 36).

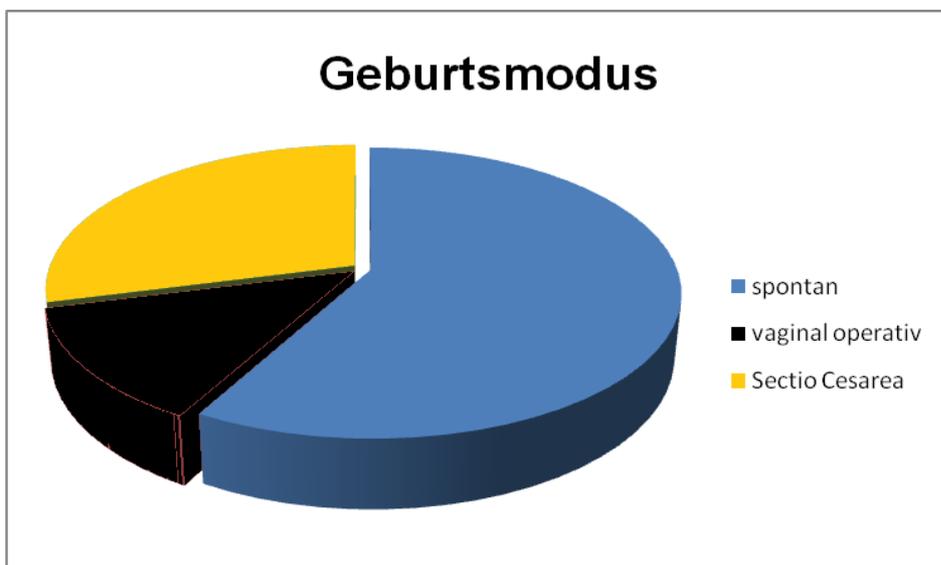


Abb. 36: Geburtsmodus der Studienpopulation

#### 4.1.4 Gravidität und Parität

In der folgenden Abbildung werden Gravidität und Parität der Patientinnen dargestellt.

Mit 48 % Primigravida und 58 % Nullipara nahmen die Erst- und Zweitgravida sowie die Erstgebärenden den Hauptteil der Studienteilnehmerinnen ein (Abb. 37).

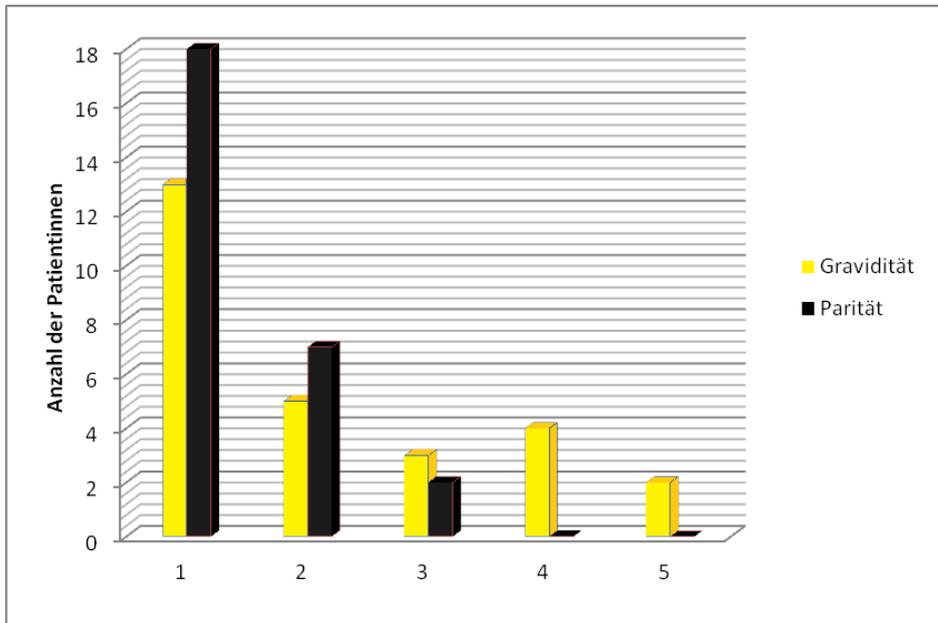


Abb. 37: Gravidität und Parität der Patientinnen

#### 4.2 Charakteristika der Neugeborenen

Die Tabelle (Tab. 4) fasst die allgemeinen Charakteristika der Neugeborenen zusammen. Insgesamt waren 39 % männlichen und 61 % weiblichen Geschlechts.

	Mittelwert $\pm$ Standardabweichung	Spannweite
Geburtsgewicht (g)	3284 $\pm$ 513	2240 - 4180
Körpergröße (cm)	50,7 $\pm$ 2,3	45 - 55
Kopfumfang (cm)	34,5 $\pm$ 1,3	31 - 38
<b>APGAR - Werte</b>		
1 Minute	8,71 $\pm$ 1,19	4 - 10
5 Minuten	9,25 $\pm$ 0,98	6 - 10
10 Minuten	9,57 $\pm$ 0,56	8 - 10
Nabelschnurarterien-pH	7,20 $\pm$ 0,18	7,07 - 7,35

Tab. 4: Allgemeine Angaben der Neugeborenen

### 4.3 Messergebnisse aus MRT- und Ultraschalluntersuchung

Bei allen Patientinnen konnte der Abstand von der fetalen Leitstelle zur Interspinalenebene im MRT und dem Angle of Progression in den Ultraschallbildern gemessen werden. Bei keiner Patientin lag zum Zeitpunkt der Untersuchung ein Engagement vor.

Der Angle of Progression, der bei den 31 Patientinnen im Ultraschall gemessen wurde, betrug im arithmetischen Mittel  $79,05^\circ \pm 11,25^\circ$ . Die Spannweite lag zwischen  $55,72^\circ - 114,18^\circ$ . Der Abstand der Interspinalenebene zur fetalen Leitstelle im MRT ergab im Durchschnitt  $33,4 \pm 15,1$  mm mit einer Spannweite von 3,8 - 64 mm.

Die Ergebnisse können als lineare Extrapolation interpretiert werden. Es konnte eine hochsignifikante Korrelation mit  $p < 0,001$  zwischen dem sonographisch ermittelten Angle of Progression sowie der Distanz zwischen der fetalen Leitstelle und der maternalen Interspinalenebene gezeigt werden. Der Determinationskoeffizient liegt bei  $r^2 = 0,38$ .

Die folgende graphische Darstellung zeigt den linearen Zusammenhang zwischen dem Abstand der Interspinalenebene zur Leitstelle und dem Angle of Progression als Streudiagramm mit einer Ausgleichsgeraden (Abb. 38). Hierbei handelt es sich um eine linear fallende Funktion. Je kleiner der Abstand von I zur Leitstelle, desto größer ist der Angle of Progression. Die Regressionsgerade mit  $Y = f(x) -0,51x + 60,8$  zeigt den Ordinatenschnittpunkt bei (50/60,8) und eine Steigung von -0,51. Wobei x als Angle of Progression im Gradmaß interpretiert wird.

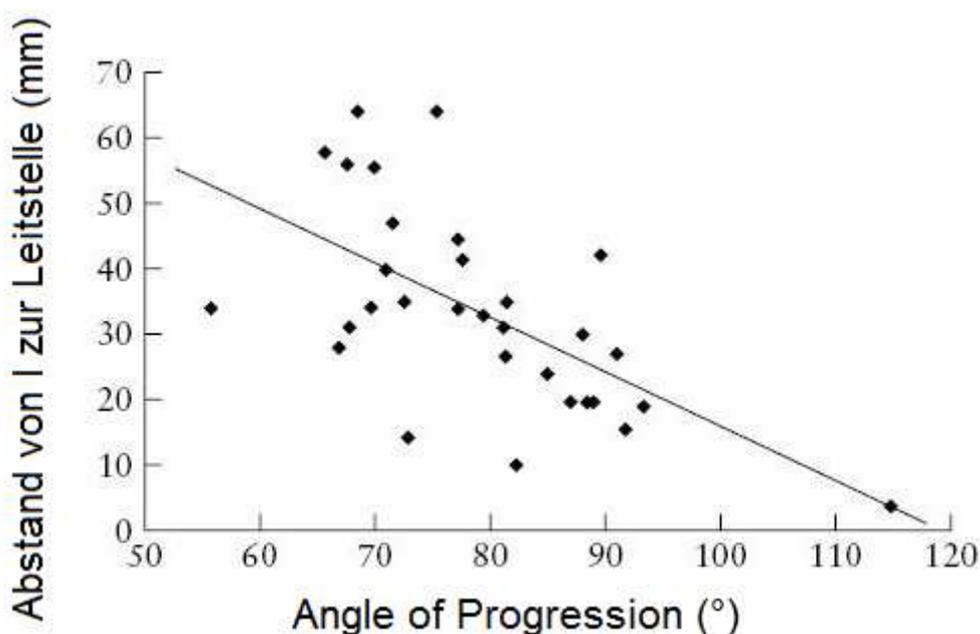


Abb. 38: Zusammenhang zwischen Angle of Progression und Höhenstand der fetalen Leitstelle

Die Schnittstelle des Graphen mit der Abzissen-Achse zeigt, dass ein Höhenstand von 0, welcher der Interspinalenebene entspricht, einem Angle of Progression von  $120^\circ$  entsprechen würde.

## 5 Diskussion

### 5.1 Validität der vaginalen Tastuntersuchung

Der Höhenstand der fetalen Leitstelle in Bezug auf die Interspinalenebene ist wichtig für die klinische Beurteilung des Geburtsfortschritts. Es existieren in der Literatur verschiedene Studien, die zeigen, dass die vaginale Tastuntersuchung nicht zur exakten Höhenstandsbestimmung geeignet ist. 2005 untersuchten Dupuis et al. anhand eines konstruierten Höhenstandssimulators die Genauigkeit der digital ermittelten Höhenstandsbestimmung nach de Lee (Abb. 39).

32 Assistenzärzte mit ca. 2 Jahren Erfahrung und 25 Oberärzte mit ca. 10 Jahren Erfahrung sollten zu Beginn am Untersuchungsphantom die normiert eingestellten Höhenstände in Zentimetern über oder unter der Interspinalenebene ertasten.



Abb. 39: Geburtssimulator [94]

Die Tabelle 5 zeigt die Fehlerrate der vaginalen Tastuntersuchung bei der Bestimmung der Leitstelle in den einzelnen Stationen von -5 bis +5. Dabei wurden Höhenstände oberhalb der Interspinalenebene am häufigsten falsch eingeschätzt.

eingestellter Höhenstand	Assistenzärzte (n = 32)	Oberärzte (n = 25)
-5	50	36
-4	72	52
-3	63	80
-2	88	68
-1	66	76
0	72	72
1	81	76
2	69	68
3	63	76
4	53	72
5	56	68

Tab. 5: Fehlerrate der einzelnen Höhenstände von Assistenzärzten und Oberärzten in Prozent [94]

Anschließend sollte festgestellt werden, ob sich die Leitstelle im Beckeneingang, in Beckenmitte oder auf Beckenboden befindet. Dabei wurde der Höhenstand tendenziell eher zu tief geschätzt und es würde in 15 - 20 % der Fälle eine vaginal-operative Entbindung vom Beckeneingang erfolgen (Tab. 6).

Type of group error (%) for residents and attending physicians					
	Group code	High	Mid	Low	Outlet
Real position (sensor value)					
Resident results	High	—	21 (19.6%)	3 (2.8%)	0 (0.0%)
	Mid	17 (15.9%)	—	15 (14.0%)	1 (0.9%)
	Low	2 (1.9%)	19 (17.8%)	—	7 (6.5%)
	Outlet	0 (0%)	1 (0.9%)	21 (19.7%)	—
Attending physician results	High	—	10 (10.65%)	5 (5.3%)	0 (0.0%)
	Mid	15 (16.0%)	—	11 (11.7%)	0 (0.0%)
	Low	2 (2.1%)	20 (21.3%)	—	5 (5.3%)
	Outlet	0 (0.0%)	2 (2.1%)	24 (25.55%)	—

Tab. 6: Fehlerrate des Höhenstandes in Bezug auf Beckeneingang, Beckenmitte und Beckenboden in % [94]

Zuletzt sollte festgelegt werden, ob ein Engagement vorliegt. Hier zeigt sich eine annähernd gleiche Fehlerrate von ca. 10 % bei Assistenzärzten und Fachärzten [94].

Eine weitere Studie zeigt ein ähnliches Ergebnis. Hier belegten Olah et al. die Ungenauigkeit der vaginalen Tastuntersuchung zur Bestimmung des Höhenstandes sub partu. Dazu wurde bei einem Geburtsstillstand in der Austreibungsphase der Höhenstand nacheinander von zwei unterschiedlichen Geburtshelfern digital ermittelt. Anschließend sollte anhand des Höhenstandes entschieden werden, ob eine VE oder eine sekundäre Sectio cesarea erfolgen

sollte. Die Ergebnisse zeigen eine deutlich Diskrepanz in der Angabe der Höhenstände zwischen den einzelnen Untersuchern. In 38 % der Fälle betrug die Höhenstandsdifferenz mehr als 3 cm [47].

Auch die in-vivo-Studie von Buchmann und Libhaber belegt, dass die vaginale Tastuntersuchung zur Höhenstandsbestimmung aufgrund hoher Interobserver-Variabilität unsicher ist. Bei dieser Studie sollten 2 verschiedene Untersuchergruppen per Tastuntersuchung feststellen, ob ein Engagement vorliegt. In ca. 30 % der untersuchten Fälle kamen beide Gruppen zu keinem übereinstimmenden Ergebnis [48] (Tab. 7).

Übereinstimmung bei der Höhenstandsdiagnose zwischen verschiedenen Untersuchern

		Untersucher mit klinischer Erfahrung	
		unengaged	engaged
n = 446			
Untersucher ohne klinische Erfahrung	unengaged	166 (37,2 %)	61 (13,7 %)
	engaged	70 (15,7 %)	149 (33,4 %)

Tab. 7: Ergebnisse der Studie Buchmann et al.; Angaben als absolute Zahl mit Prozentangabe [48]

Barbera et al. untersuchten ebenfalls die Genauigkeit der vaginalen Tastuntersuchung und zeigten, dass erhebliche Unterschiede in der Interpretation des vaginal-digital ermittelten Höhenstandes vorlagen.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die vaginale Tastuntersuchung unzuverlässig und ein klinisch schlecht auszuwertendes Verfahren ist [9].

## 5.2 Komplikationen nach fehlerhafter Höhenstandsdiagnostik

Da der Höhenstand der knöchernen Leitstelle ein Kriterium für das weitere Vorgehen bei einem Geburtsstillstand ist, sind Fehleinschätzungen des Höhenstandes unbedingt zu vermeiden [30]. Grundsätzlich gilt für die vaginal-operativen Entbindungsverfahren, dass die Risiken für Mutter und Kind steigen, je höher die Leitstelle von der Beckenausgangsebene entfernt ist, je weiter die Sagittalnaht von der anterior-posterioren Richtung abweicht und je deflektierter die Kopfhaltung ist [95]. In der Regel ist die Pfeilnaht auf Beckenboden in den tiefen Gradstand rotiert und der Kopf hat seine Beugehaltung eingenommen. In Beckenmitte steht die Sagittalnaht noch im schrägen Durchmesser und die Flexion ist unvollendet. Daher wird es immer schwieriger, die natürlichen Anpassungsmechanismen mit einer vaginal-

operativen Entbindung zu imitieren, je höher der Kopf über dem Beckenboden steht [8]. Als Komplikation kommt es nach vaginal-operativen Entbindungen aus Beckenmitte häufiger zu Dammrissen III. und IV. Grades. Zusätzlich steigt das fetale Verletzungsrisiko [96]. Hier kommt es bei schwierigen VEs zu einer signifikant erhöhten Frequenz von Zephalhämatomen [97], da die Häufigkeit und die Ausprägung von der Dauer der Vakuumpplifikation anhängig ist [98].

Außerdem erhöht sich die Komplikationsrate nach frustranen vaginal-operativen Entbindungen [99]. Bei einer sekundären Sectio sind die Risiken für neonatale intracerebrale Blutungen mit einer Inzidenz von 1:334 um ein 5,7-faches erhöht. Diese Blutungsgefahr ist bei einer primären Sectio nicht erhöht. Daher ist ein Konvertieren von einer vaginal-operativen Entbindung zur einer sekundären Sectio unbedingt zu vermeiden [100].

Alexander et al. verglichen 2009 das maternale und neonatale Outcome nach sekundärer Sectio cesarea und vorherigen Versuchen einer vaginalen Entbindung mittels VE mit sekundärer Sectio ohne VE-Versuche. In der Gruppe der sekundären Sectiones, die bereits einen VE-Versuch hatten, waren vermehrt Apgar-Werte von 3 oder weniger nach 5 Minuten, Nabelschnurarterien-pH-Werte von weniger als 7,0 und hypoxisch-ischämische Enzephalopathie zu finden [95].

Es wird deutlich, dass sich die Entscheidungen beim geburtshilflichen Management sowohl auf das fetale Outcome als auch auf die mütterliche Morbidität auswirken und derzeit von subjektiv wahrgenommenen Befunden bei der Höhenstandsbestimmung abhängig sind.

Zur Objektivierung sollte das Prinzip der Höhenstandsdiagnose überarbeitet werden, um eine Verbesserung des Outcomes zu erlangen.

### **5.3 Objektivierung der Höhenstandsdiagnostik mittels translabialem Ultraschall**

Aufgrund der eingeschränkten Darstellbarkeit der mütterlichen Spinae ischiadicae im Ultraschall haben verschiedene Studien auf andere Art und Weise versucht, Aussagen über die Anwendbarkeit des translabialen Ultraschalls zu treffen. Zum Beispiel wurde der ITU mit der vaginal-digitalen Untersuchung zur Höhenstandsbestimmung verglichen [53, 101].

Weitere Studien haben sich mit der Fragestellung beschäftigt, ob mittels intrapartaler translabialer Sonographie die Diagnose des Engagements zu erheben ist.

Dietz et al. stellten fest, dass die Beurteilung des Engagements durch den translabialen Ultraschall gut reproduzierbar ist. Außerdem bietet der translabiale Ultraschall die Möglichkeit, die ungefähre Geburtsdauer sowie den Geburtsmodus vorherzusagen [53].

Auch die bereits erwähnte Studie von Henrich et al. von 2006 gibt Parameter an, die den Geburtsfortschritt genauer definieren sollen. Die Ultraschallparameter orientierten sich an der sog. infrapubischen Linie, die senkrecht zur Längsachse der Symphyse von deren kaudalem Pol nach dorsal verlaufender Linie definiert wurde. Anhand einer exemplarischen Computertomographie-Aufnahme des Beckens wurde die infrapubische Linie 3 cm kranial der Interspinalenebene positioniert (Abb. 40). In der Untersuchung wurden unmittelbar vor Durchführung einer VE der größte Umfang des fetalen Kopfes und seine Richtung während eines Pressversuchs in Bezug auf die intrapubische Linie beurteilt. Die Richtung des fetalen Kopfes im maternalen Becken wurde mithilfe des Winkels zwischen der Längsachse des Kopfes und der infrapubischen Linie bewertet. Sonographische Prädiktoren für eine erschwerte VE waren die fehlende Überschreitung des größten Kopfumfang über die infrapubischen Linie [10].

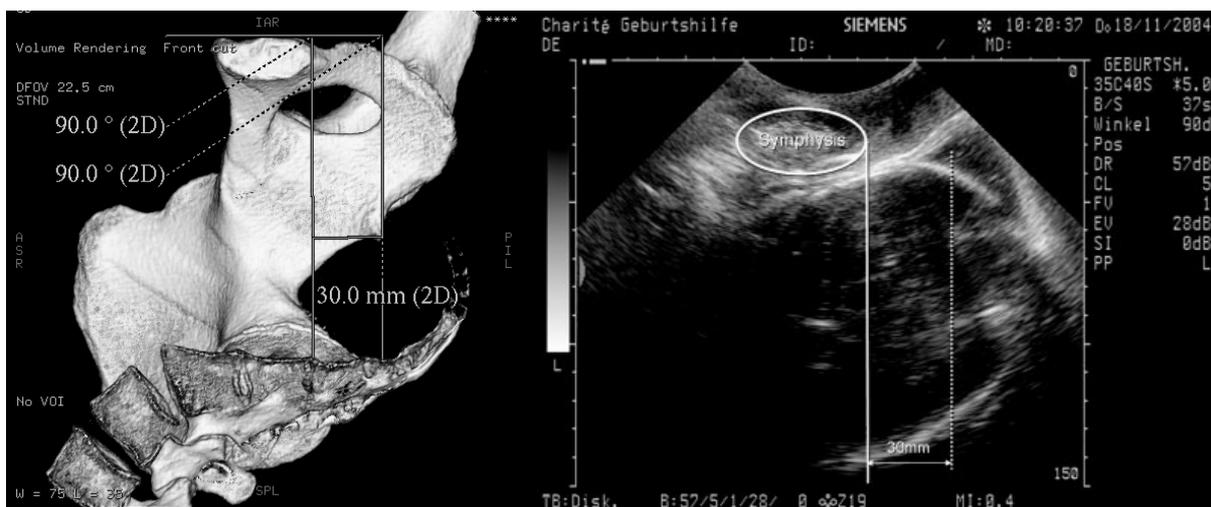


Abb. 40: Korrelation von ITU mit einem rekonstruierten CT-Modell. CT-Rekonstruktion eines normalen weiblichen Beckens mit der infrapubischen Linie und der parallelen Linie auf Höhe der Spina ischiadica 3 cm in kaudale Richtung (linkes Bild). Die parallele Linie (gestrichelte Linie) verläuft in Projektion zu den Spinae ischiadicae 3 cm unterhalb der infrapubischen Linie (rechtes Bild) [10].

Unter anderem untersuchten Eggebo et al. den Abstand zwischen der äußersten knöchernen Begrenzung des kindlichen Schädels zur Hautoberfläche des mütterlichen Perineums. Als Ergebnis konnte festgehalten werden, dass ein sehr geringer Abstand mit einer schnellen und ohne Interventionsbedarf ablaufenden Geburt einhergeht [25].

Barbera et al. haben den Angle of Progression bei Schwangeren während eines Geburtsstillstandes gemessen und fanden heraus, dass ein Winkel von 120° oder mehr immer mit einer anschließenden spontanen Entbindung vergesellschaftet war. Außerdem wurde

gezeigt, dass der vaginal-digitale Höhenstand durch verschiedene Faktoren schwieriger zu beurteilen ist. Bei einem erheblichen Caput succedaneum wurde der klinisch beurteilte Höhenstand der fetalen Leitstelle mit der Station +3 angegeben. Mittels Angle of Progression konnte im ITU gezeigt werden, dass der Winkel deutlich kleiner war und der Höhenstand nicht der Station +3 entspricht [9].

Näher untersucht wurde der Angle of Progression 2009 von Kalache et al. In dieser prospektiven Studie wurde bei protrahierten Entbindungen bzw. Geburtsstillständen in der Austreibungsperiode die Fragestellung untersucht, ob mittels Angle of Progression der Geburtsmodus vorhersagt werden kann. Dazu wurde bei 41 Frauen in der  $\geq 37.$  SSW mit vorderer Hinterhauptslage der Angle of Progression kurz vor der Geburt gemessen. Die Fälle wurden in drei Gruppen eingeteilt: Sectio cesarea nach Geburtsstillstand, VE nach Geburtsstillstand und spontane Geburt nach protrahierter Austreibungsphase. Es konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Winkel und dem nachfolgenden Geburtsmodus gezeigt werden. Je größer der Winkel ist, desto wahrscheinlicher wird eine vaginale Entbindung. Bei einem Winkel von  $120^\circ$  wurden 90 % der Neugeborenen spontan oder vaginal-operativ bzw. 10 % per sekundärer Sectio geboren [11] (Abb. 41).

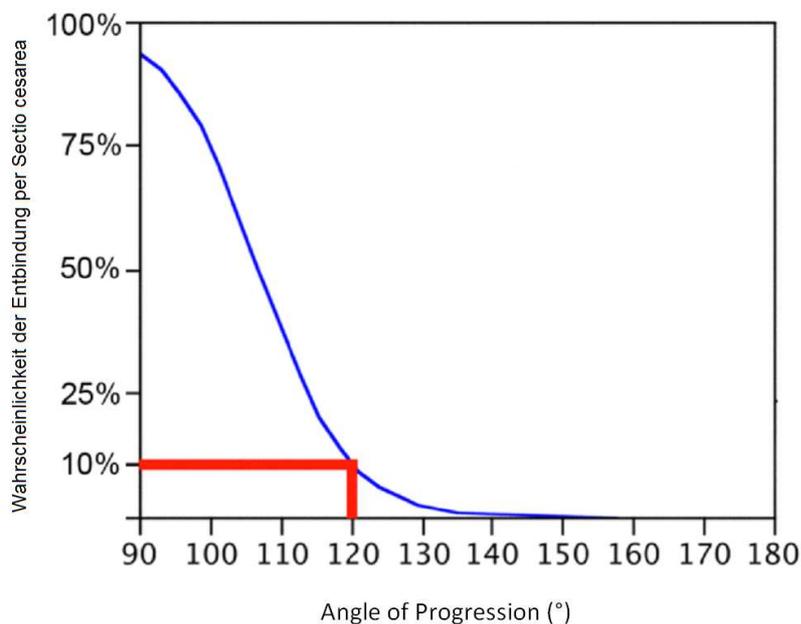


Abb. 41: Zusammenhang zwischen Geburtsmodus und Angle of Progression [11]

2009 fassten Yeo und Romero in einer Metaanalyse zusammen, dass der ITU eine objektive Methode darstellt, die der vaginalen Tastuntersuchung überlegen ist und zu einem verbesserten klinischen Management in der Austreibungsphase beiträgt [102].

2010 konnte zusätzlich durch die Studie von Dückelmann et al. gezeigt werden, dass der Angle of Progression eine valide und reliable Untersuchungsmethode ist und nicht vom jeweiligen Höhenstand oder der Ultraschallkenntnis des Untersuchers abhängt [43].

Der intrapartale translabiale Ultraschall ist eine einfach zu erlernende Untersuchungsmethode, die dabei hilft, die normale Geburt objektiv zu beurteilen und die pathologisch verlaufende Geburt richtig zu erkennen. Er sollte additiv zur konventionellen vaginalen Palpation eingesetzt werden und ermöglicht eine objektive Erfassung des Geburtsfortschritts. Dies ist besonders für die Einschätzung der Dynamik der Austreibungsperiode sowie für die wissenschaftliche Beurteilung der Geburtsmechanik hilfreich und erhöht die Sicherheit für Mutter und Kind [17, 54].

Das bedeutet, dass durch die sonographische Einschätzbarkeit des Höhenstands die Chancen auf einen möglichen Erfolg einer vaginal-operativen Geburt besser beurteilt werden können.

#### **5.4 Korrelation von Ultraschall und MRT**

Umfangreiche Studien haben gezeigt, dass die Darstellung der räumlichen Beziehungen des kindlichen Kopfes im mütterlichen Becken mittels MRT-Untersuchung mit einer Abweichung von 1 % exakt ist. [103, 104].

In der vorliegenden Promotion wurde aufgrund des offenen MRT-Verfahrens ein Vergleich von pelvimetrisch ermitteltem Höhenstand und dem sonographisch ermittelten Angle of Progression möglich, da direkt nach der MRT-Untersuchung die Ultraschalluntersuchung ohne Lageänderung der Patientin durchgeführt werden konnte. Anhand der Bilder, die im oMRT entstanden, konnte die Interspinalenebene definiert werden. Daher war eine genaue Messung des Abstandes zur Leitstelle in cm möglich. Durch das anschließende Messen des Angle of Progression im Ultraschall konnten die Messergebnisse miteinander korreliert werden.

Die Studie zeigt eine signifikante Korrelation zwischen dem Angle of Progression, der im Ultraschall gemessen wurde, und dem durch oMRT ermittelten Höhenstand der knöchernen Leitstelle. Die Ergebnisse legen nahe, dass ein Höhenstand der Leitstelle bei I einem Angle of Progression von 120° entspräche.

Eine Übereinstimmung mit diesen Daten zeigt die Studie von Tutschek et al. von 2012. Hier wurden die wichtigsten Parameter, die mittels ITU bestimmbar sind, zueinander in Beziehung gesetzt und ihr Verlauf in Korrelation zum Geburtsfortschritt analysiert. Die Stellung des

Kopfes sowie der Höhenstand der knöchernen Leitstelle änderten sich entsprechend des Geburtsfortschritts. Höhenstand und Angle of Progression waren immer miteinander assoziiert. Ein Winkel von  $116^\circ$  würde einem Engagement und damit einem Höhenstand der Leitstelle bei I entsprechen [54].

Im Gegensatz dazu berechneten Barbera et al. mit einem geometrischen Modell, dass ein Engagement bei einem Angle of Progression von  $100^\circ$  vorliegt. In diesem Fall wurde die CT-Untersuchung des Beckens an nichtschwangeren Frauen durchgeführt, was die unterschiedlichen Ergebnisse erklären könnte. Anschließend wurden Koordinaten für spezifische Knochenpunkte am Becken bestimmt, um daraus ein geometrisches Modell des Geburtskanals zu generieren, welches die Berechnung einer Reihe von theoretischen Winkeln in jeder Station des kindlichen Kopfes zulässt [101]. Ein weiterer limitierender Faktor der Studie von Barbera et al. war, dass das CT nur knöcherne Strukturen abbildet und die abgeleiteten Daten nur knöcherne Punkte berücksichtigen. Im Gegensatz dazu werden bei der Ultraschalluntersuchung auch die nicht-knöchernen Anteile der Symphyse berücksichtigt.

In der vorliegenden Promotionstudie wurde der Angle of Progression bei Schwangeren am Ende der Schwangerschaft gemessen und dann mit dem Höhenstand, der im MRT ermittelt wurde, verglichen. Dies geschah unter Berücksichtigung des Weichteilgewebes und der unveränderten Position der Patientin während der beiden aufeinanderfolgenden Untersuchungen. Hierbei gab es einen Untersucher mit mehr als 5 Jahren Ultraschallerfahrung, der die Analyse der Ultraschalldaten vornahm. Die Reproduzierbarkeit des transperinealen Ultraschalls ist als gut zu bewerten. Die Arbeitsgruppe Dückelmann et al. untersuchte den Angle of Progression bei 24 Frauen während eines Geburtsstillstandes. Die Ergebnisse zeigen, dass der ICC-Koeffizient von separat erstellten Bildern, die durch zwei erfahrene Geburtshelfer ermittelten wurden, bei 0,86 (95 % CI 0,7 - 0,93) liegt [43].

Unsicherheiten bei der Bestimmung des Angle of Progression können durch die Schwierigkeit bedingt sein, den Unterrand der Symphyse genau zu definieren. Im medio-sagittalen Schnitt erschwert der Knorpelkern der Symphyse die genaue Differenzierung. Eine weitere Einschränkung dieser Promotionsarbeit ist, dass bei keiner der Schwangeren ein Engagement vorlag. Das heißt, kein kindlicher Kopf hatte mit seinem größten Umfang die Beckeneingangsebene überschritten.

Mehrere Autoren von geburtshilflichen Standardwerken geben an, dass das Engagement bei Erstgebärenden für gewöhnlich 2 - 3 Wochen vor dem errechneten Geburtstermin mit einer Inzidenz von 45 - 75 % eintritt [30, 105, 106].

Das Studiendesign wurde auf der Grundlage dieser Daten konzipiert. Allerdings berichten neuere Studien, dass in der Eröffnungsphase nur bei 30 % der Erstgebärenden ein Engagement vorliegt [107, 108].

Da in der vorliegenden Studie bei den Schwangeren kein Engagement vorlag und somit der fetale Kopf noch frei über dem Beckeneingang war, können Bewegungen während oder zwischen den MRT- und Ultraschalluntersuchungen nicht ausgeschlossen werden.

Obwohl durch diese Einschränkung eine eindeutige Aussage zum genauen Angle of Progression bei einem Höhenstand auf I nicht möglich ist, werden die Ergebnisse als Tendenz sowie als Grundlage für weitere Forschungen betrachtet.

Darüber hinaus ist es wichtig zu beachten, dass die Beziehung zwischen Angle of Progression und dem Höhenstand, der in dieser Studie beschrieben ist, nur für vordere Hinterhauptslagen gilt. Das heißt, dass vor der Ermittlung des Angle of Progression und seiner Interpretation die Einstellung des Kopfes sicher festgestellt werden muss, was palpatorisch nicht immer eindeutig möglich ist.

Die Resultate dieser validierten Studie deuten darauf hin, dass der sonographisch ermittelte Angle of Progression mit dem im oMRT gemessenen Höhenstand der fetalen Leitstelle signifikant korreliert. Das bedeutet, dass die Messung des Angle of Progression mittels translabialen Ultraschalls als eine gängige Methode zur objektiven Höhenstandsbestimmung werden kann. Vorliegende Daten lassen vermuten, dass ein Engagement einem Winkel von 120° entspräche.

Allerdings basiert diese Extrapolation bisher nur auf statistischen Annahmen und muss als vorläufig betrachtet werden. Weitere Daten von Patientinnen mit einem tatsächlichen fetalen Engagement sind nötig, um die statistischen Annahmen zu bestätigen.

## 6 Zusammenfassung

Die vorliegenden Daten zeigen eine signifikante Korrelation zwischen dem sonographisch ermittelten Angle of Progression und der Höhenstandsbestimmung der fetalen Leitstelle, welche mittels oMRT-Aufnahmen bestimmt wurde. Basierend auf den Ergebnissen entspräche ein Höhenstand der fetalen Leitstelle bei I nach de Lee einem Angle of Progression von  $120^\circ$ .

Allerdings ist diese Korrelation bisher nur auf statistische Annahmen gestützt und muss in weiteren klinischen Studien validiert werden. Bei einem Winkel von ca.  $120^\circ$  im translabialen Ultraschall würde sich die knöchernen Leitstelle in der Interspinalenebene befinden. Bei diesem Höhenstand ist der kindliche Kopf in Beckenmitte und eine vaginale Entbindung gelingt in ca. 90 % der Fälle. Die Höhenstandsbestimmung mittels translabialen Ultraschalls und die Messung des Angle of Progression ist innovativ und als additives Verfahren zur digitalen Tastuntersuchung zu verstehen. Sie kann einfach im Kreißaal vorgenommen werden. Diese Art der Höhenstandsbestimmung ist leicht zu erlernen und demonstriert sowohl die normale als auch die pathologische Geburt, womit auch für Ausbildungszwecke die komplexen Geburtsmechanismen plastisch dargestellt werden können. Zusätzlich bieten sich Prognosemöglichkeiten für die Geburt, welche die Sicherheit für Mutter und Kind erhöhen. Außerdem ist mittels Angle of Progression eine eindeutige Dokumentation des Geburtsfortschritts möglich, wodurch der mediko-legale Anspruch erfüllt wird.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Studd, J., *Partograms and nomograms of cervical dilatation in management of primigravid labour*. Br Med J., 1973. 4(5890): p. 451-5.
2. Morgan, M. and S. Siddighi, *Obstetrics and gynecology*. 5th ed. ed. 2005, Philadelphia, Pa. ; London: Lippincott Williams & Wilkins.
3. Kilpatrick, S.J. and R.K. Laros, Jr., *Characteristics of normal labor*. Obstet Gynecol, 1989. 74(1): p. 85-7.
4. Steer, P. and C. Flint, *ABC of labour care: physiology and management of normal labour*. BMJ, 1999. 318(7186): p. 793-6.
5. Stewart, D.B., *The pelvis as a passageway. I. Evolution and adaptations*. Br J Obstet Gynaecol., 1984. 91(7): p. 611-7.
6. Weaver, T.D. and J.J. Hublin, *Neandertal birth canal shape and the evolution of human childbirth*. Proc Natl Acad Sci U S A., 2009. 106(20): p. 8151-6. doi: 10.1073/pnas.0812554106. Epub 2009 Apr 20.
7. Schneider, H., et al., *Die Geburtshilfe*, 2006, Springer Medizin Verlag Heidelberg: Berlin, Heidelberg.
8. Schmidt, M., U. Gembruch, and W. Rath, *Geburtshilfe und Perinatalmedizin: Pränataldiagnostik - Erkrankungen - Entbindung*. 2010: Thieme.
9. Barbera, A.F., et al., *A new method to assess fetal head descent in labor with transperineal ultrasound*. Ultrasound Obstet Gynecol, 2009. 33(3): p. 313-9.
10. Henrich, W., et al., *Intrapartum translabial ultrasound (ITU): sonographic landmarks and correlation with successful vacuum extraction*. Ultrasound Obstet Gynecol, 2006. 28(6): p. 753-60.
11. Kalache, K.D., et al., *Transperineal ultrasound imaging in prolonged second stage of labor with occipitoanterior presenting fetuses: how well does the 'angle of progression' predict the mode of delivery?* Ultrasound Obstet Gynecol, 2009. 33(3): p. 326-30.
12. Martius, G., *Lehrbuch der Geburtshilfe*. 1981. 10e.
13. Mengert, W.F., *Estimation of pelvic capacity*. J Am Med Assoc, 1948. 138(3): p. 169-74.
14. Borell, U. and I. Fernstrom, *Shape and course of the birth canal; a radiographic study in the human*. Acta Obstet Gynecol Scand, 1957. 36(2): p. 166-78.
15. Fochem, K. and G. Narik, *[Roentgenological studies of the birth mechanism]*. Geburtshilfe Frauenheilkd, 1955. 15(5): p. 401-11.
16. Pfleiderer, A., M. Kaufmann, and M. Breckwoldt, *Gynäkologie und Geburtshilfe*. 2011: Thieme.
17. Dudenhausen, J.W., et al., *Praktische Geburtshilfe: mit geburtshilflichen Operationen*. 2011: De Gruyter.
18. Cudmore, D.W., *Labor - when is it too long?* Can Fam Physician, 1971. 17(10): p. 65-9.
19. Barr, W., *Obstetrics in General Practice. Normal Labour*. Br Med J, 1964. 1(5394): p. 1361-3.
20. Barrett, W.M., *A Normal Labor*. Cal State J Med, 1908. 6(10): p. 347-9.
21. Dudenhausen, J.W., M. Obladen, and W. Pschyrembel, *Praktische Geburtshilfe : mit geburtshilflichen Operationen ; [29 Tabellen]*. 20., völlig überarb. Aufl. ed. 2008, Berlin [u.a.]: de Gruyter. XI, 470 S.
22. Schmidt-Matthiesen, H. and D. Wallwiener, *Gynäkologie und Geburtshilfe*. 2007: Schattauer GmbH.
23. Strauss, A., *Geburtshilfe Basics*. 2006: Springer.

24. Diedrich, K., et al., *Gynäkologie und Geburtshilfe*. 2007: Springer London, Limited.
25. Eggebo, T.M., et al., *Ultrasound assessment of fetal head-perineum distance before induction of labor*. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2008. 32(2): p. 199-204.
26. Deutsche Gesellschaft für Gynäkologie und Geburtshilfe, H.H. *Vaginal-operative Entbindungen*. 2012.
27. Hodge, H.L., *The Principles and Practices of Obstetrics*. 1864: H.C. Lea.
28. Williams, J.W. and F.G. Cunningham, *Williams obstetrics*. 20th ed. 1997, London: Prentice-Hall International. x, 1448 p.
29. Stiefel, A., C. Geist, and U. Harder, *Hebammenkunde: Lehrbuch für Schwangerschaft, Geburt, Wochenbett und Beruf*. 2012: Hippokrates.
30. Cunningham, F.G., *Williams obstetrics*. 21st ed ed. 2001, New York [etc.]: McGraw-Hill. X, 1668 p.
31. Beckmann, C.R.B. and American College of Obstetricians and Gynecologists., *Obstetrics and gynecology*. 6th ed. 2010, Baltimore: Wolters Kluwer Health / Lippincott Williams & Wilkins. xiii, 497 p.
32. Philpott, R.H., *Graphic records in labour*. *Br Med J*, 1972. 4(5833): p. 163-5.
33. Orhue, A., M.E. Aziken, and A.P. Osemwenkha, *Partograph as a tool for team work management of spontaneous labor*. *Niger J Clin Pract*, 2012. 15(1): p. 1-8.
34. Wright, C.H., *The active management of prolonged labor*. *J Natl Med Assoc*, 1983. 75(2): p. 223-6.
35. Barwin, B.N., A. Dempsey, and B. Ivey, *Labour: when to worry*. *Can Med Assoc J*, 1978. 118(3): p. 292-4.
36. Baltzer, J., et al., *Praxis der Gynäkologie und Geburtshilfe: das komplette Praxiswissen in einem Band ; 321 Tabellen*. 2004: Thieme.
37. Arnot, P.H., *Prolonged labor*. *Calif Med*, 1952. 76(1): p. 20-2.
38. Reynolds, J.L. and P.L. Yudkin, *Changes in the management of labour: 2. Perineal management*. *Cmaj*, 1987. 136(10): p. 1045-9.
39. Chestnut, D.H., et al., *The influence of continuous epidural bupivacaine analgesia on the second stage of labor and method of delivery in nulliparous women*. *Anesthesiology*, 1987. 66(6): p. 774-80.
40. Piper, J.M., D.R. Bolling, and E.R. Newton, *The second stage of labor: factors influencing duration*. *Am J Obstet Gynecol*, 1991. 165(4 Pt 1): p. 976-9.
41. Wang, F., et al., *Epidural analgesia in the latent phase of labor and the risk of cesarean delivery: a five-year randomized controlled trial*. *Anesthesiology*, 2009. 111(4): p. 871-80.
42. *Guidelines for diagnostic imaging during pregnancy. The American College of Obstetricians and Gynecologists*. *Int J Gynaecol Obstet*, 1995. 51(3): p. 288-91.
43. Duckelmann, A.M., et al., *Measurement of fetal head descent using the 'angle of progression' on transperineal ultrasound imaging is reliable regardless of fetal head station or ultrasound expertise*. *Ultrasound Obstet Gynecol*, 2010. 35(2): p. 216-22.
44. *Operative vaginal delivery. Clinical management guidelines for obstetrician-gynecologists. American College of Obstetrics and Gynecology*. *Int J Gynaecol Obstet*, 2001. 74(1): p. 69-76.
45. Hankins, G.D. and T.F. Rowe, *Operative vaginal delivery--year 2000*. *Am J Obstet Gynecol*, 1996. 175(2): p. 275-82.
46. Bashore, R.A., W.H. Phillips, Jr., and C.R. Brinkman, 3rd, *A comparison of the morbidity of midforceps and cesarean delivery*. *Am J Obstet Gynecol*, 1990. 162(6): p. 1428-34; discussion 1434-5.

47. Olah, K.S., *Reversal of the decision for caesarean section in the second stage of labour on the basis of consultant vaginal assessment*. J Obstet Gynaecol, 2005. 25(2): p. 115-6.
48. Buchmann, E. and E. Libhaber, *Interobserver agreement in intrapartum estimation of fetal head station*. Int J Gynaecol Obstet, 2008. 101(3): p. 285-9.
49. Crichton, D., *A reliable method of establishing the level of the fetal head in obstetrics*. S Afr Med J, 1974. 48(18): p. 784-7.
50. Roshanfekr, D., et al., *Station at onset of active labor in nulliparous patients and risk of cesarean delivery*. Obstet Gynecol, 1999. 93(3): p. 329-31.
51. Pschyrembel, W., J.W. Dudenhausen, and D. Pschyrembel, *Praktische Geburtshilfe : mit geburtshilflichen Operationen*. 18., überarb. Aufl. ed. 1994, Berlin [u.a.]: de Gruyter. XVI, 745 S.
52. Sherer, D.M. and O. Abulafia, *Intrapartum assessment of fetal head engagement: comparison between transvaginal digital and transabdominal ultrasound determinations*. Ultrasound Obstet Gynecol, 2003. 21(5): p. 430-6.
53. Dietz, H.P. and V. Lanzarone, *Measuring engagement of the fetal head: validity and reproducibility of a new ultrasound technique*. Ultrasound Obstet Gynecol, 2005. 25(2): p. 165-8.
54. Tutschek, B., et al., *A study of progress of labour using intrapartum translabial ultrasound, assessing head station, direction, and angle of descent*. BJOG, 2011. 118(1): p. 62-9.
55. Sherer, D.M., *Intrapartum ultrasound*. Ultrasound Obstet Gynecol, 2007. 30(2): p. 123-39.
56. B., T., *Intrapartaler translabialer Ultraschall (ITU) zur Bestimmung des Geburtsfortschritts*. Gynäkol Geburtsmed Gynäkl Endokrinol, 2012. 8(1).
57. Akmal, S., et al., *Comparison of transvaginal digital examination with intrapartum sonography to determine fetal head position before instrumental delivery*. Ultrasound Obstet Gynecol, 2003. 21(5): p. 437-40.
58. Sherer, D.M., et al., *Intrapartum fetal head position II: comparison between transvaginal digital examination and transabdominal ultrasound assessment during the second stage of labor*. Ultrasound Obstet Gynecol, 2002. 19(3): p. 264-8.
59. Chou, M.R., et al., *Vaginal versus ultrasound examination of fetal occiput position during the second stage of labor*. Am J Obstet Gynecol, 2004. 191(2): p. 521-4.
60. Warren, R. and S. Arulkumaran, *Best Practice in Labour and Delivery*. 2009: Cambridge University Press.
61. Dupuis, O., et al., *Fetal head position during the second stage of labor: comparison of digital vaginal examination and transabdominal ultrasonographic examination*. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol, 2005. 123(2): p. 193-7.
62. Maticot-Baptista, D., et al., *[Ultrasound in the diagnosis of fetal head engagement. A preliminary French prospective study]*. J Gynecol Obstet Biol Reprod (Paris), 2009. 38(6): p. 474-80.
63. Ghi, T., et al., *Diagnosis of station and rotation of the fetal head in the second stage of labor with intrapartum translabial ultrasound*. Ultrasound Obstet Gynecol, 2009. 33(3): p. 331-6.
64. Eggebo, T.M., et al., *Prediction of labor and delivery by transperineal ultrasound in pregnancies with prelabor rupture of membranes at term*. Ultrasound Obstet Gynecol, 2006. 27(4): p. 387-91.
65. Levine, D., *Obstetric MRI*. J Magn Reson Imaging, 2006. 24(1): p. 1-15.
66. Jansen, O. and U. Sephani, *Fehlbildungen und frühkindliche Schädigungen der ZNS*. 2007: Thieme Georg Verlag.

67. Baker, P.N., et al., *A three-year follow-up of children imaged in utero with echo-planar magnetic resonance*. Am J Obstet Gynecol, 1994. 170(1 Pt 1): p. 32-3.
68. Rummeny, E.J., et al., *Ganzkörper-MR-Tomographie : 94 Tabellen*. Referenz-Reihe Radiologie. 2002, Stuttgart [u.a.]: Thieme. XXVI, 677 S.
69. Kauffmann, G.W., E.G. Moser, and R. Sauer, *Radiologie mit StudentConsult-Zugang: StudentConsult*. 2006: Elsevier, Urban & Fischer.
70. Shellock, F.G. and J.V. Crues, *MR procedures: biologic effects, safety, and patient care*. Radiology, 2004. 232(3): p. 635-52.
71. Kok, R.D., et al., *Absence of harmful effects of magnetic resonance exposure at 1.5 T in utero during the third trimester of pregnancy: a follow-up study*. Magn Reson Imaging, 2004. 22(6): p. 851-4.
72. Clements, H., et al., *Infants exposed to MRI in utero have a normal paediatric assessment at 9 months of age*. Br J Radiol, 2000. 73(866): p. 190-4.
73. Chen, M.M., et al., *Guidelines for computed tomography and magnetic resonance imaging use during pregnancy and lactation*. Obstet Gynecol, 2008. 112(2 Pt 1): p. 333-40.
74. Glover, P., et al., *An assessment of the intrauterine sound intensity level during obstetric echo-planar magnetic resonance imaging*. Br J Radiol, 1995. 68(814): p. 1090-4.
75. Joseph, R., *Fetal Brain Behavior and Cognitive Development*. Dev Rev, 2000. 20(1): p. 18-18.
76. Hamm, B. and P. Asbach, *MRT von Abdomen und Becken : 63 Tabellen*. 2., völlig überarb. und erw. Aufl. ed. 2007, Stuttgart [u.a.]: Thieme. XIV, 401 S.
77. Pfammatter, T., et al., *[MR pelvimetric reference values]*. Rofo, 1990. 153(6): p. 706-10.
78. Lehmann, K.J., et al., *[Do the obstetrically relevant bony pelvic measurements change? A retrospective analysis of computed tomographic pelvic x-rays]*. Rofo, 1992. 156(5): p. 425-8.
79. Morgan, M.A., G.R. Thurnau, and J.I. Fishburne, Jr., *The fetal-pelvic index as an indicator of fetal-pelvic disproportion: a preliminary report*. Am J Obstet Gynecol, 1986. 155(3): p. 608-13.
80. Morgan, M.A. and G.R. Thurnau, *Efficacy of the fetal-pelvic index in nulliparous women at high risk for fetal-pelvic disproportion*. Am J Obstet Gynecol, 1992. 166(3): p. 810-4.
81. Sporri, S., et al., *[Methods, techniques and assessment criteria in obstetric pelvimetry]*. Z Geburtshilfe Perinatol, 1994. 198(2): p. 37-46.
82. Zaretsky, M.V., et al., *Magnetic resonance imaging pelvimetry and the prediction of labor dystocia*. Obstet Gynecol, 2005. 106(5 Pt 1): p. 919-26.
83. Reiser, M.F. and W. Semmler, *Magnetresonanztomographie*. 2002: Springer-Verlag GmbH.
84. Adamek, H.E. and T.C. Lauenstein, *MRT in der Gastroenterologie: MRT und bildgebende Differenzialdiagnose*. 2009: Thieme Georg Verlag.
85. Placidi, G., *MRI: Essentials for Innovative Technologies*. 2012: Taylor & Francis Group.
86. Krukemeyer, M.G. and W. Wagner, *Strahlenmedizin: Ein Leitfaden Für Den Praktiker*. 2004: De Gruyter.
87. Strich, R., T. Rarreck, and Z. Zhang, *TCM in der Sportmedizin*. 2010: Haug Fachbuch.
88. Ferri, F.F., *Diagnostikscout: Laborwerte und Bildgebung*. 2006: Elsevier, Urban und Fischer.

89. de Bucourt, M., et al., *Obese patients in an open MRI at 1.0 Tesla: image quality, diagnostic impact and feasibility*. Eur Radiol, 2011. 21(5): p. 1004-15.
90. Philips Healthcare Europe, D.B., The Netherlands, 2013.
91. Vogl, T.J., E.J. Rummeny, and W. Reith, *Diagnostische Und Interventionelle Radiologie*. 2011: Springer.
92. Wladimiroff, J.W. and S.H. Eik-Nes, *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*. 2009: Elsevier Science Health Science Division.
93. Bamberg, C., et al., *Relationship between fetal head station established using an open magnetic resonance imaging scanner and the angle of progression determined by transperineal ultrasound*. Ultrasound Obstet Gynecol, 2011. 37(6): p. 712-6.
94. Dupuis, O., et al., *Birth simulator: reliability of transvaginal assessment of fetal head station as defined by the American College of Obstetricians and Gynecologists classification*. Am J Obstet Gynecol, 2005. 192(3): p. 868-74.
95. Alexander, J.M., et al., *Failed operative vaginal delivery*. Obstet Gynecol, 2009. 114(5): p. 1017-22.
96. Robertson, P.A., R.K. Laros, Jr., and R.L. Zhao, *Neonatal and maternal outcome in low-pelvic and midpelvic operative deliveries*. Am J Obstet Gynecol, 1990. 162(6): p. 1436-42; discussion 1442-4.
97. Bofill, J.A., et al., *Operative vaginal delivery: a survey of fellows of ACOG*. Obstet Gynecol, 1996. 88(6): p. 1007-10.
98. Bofill, J.A., et al., *Neonatal cephalohematoma from vacuum extraction*. J Reprod Med, 1997. 42(9): p. 565-9.
99. Fasubaa, O.B., et al., *Delivery of the impacted head of the fetus at caesarean section after prolonged obstructed labour: a randomised comparative study of two methods*. J Obstet Gynaecol, 2002. 22(4): p. 375-8.
100. Towner, D., et al., *Effect of mode of delivery in nulliparous women on neonatal intracranial injury*. N Engl J Med, 1999. 341(23): p. 1709-14.
101. Barbera, A.F., et al., *Anatomic relationship between the pubic symphysis and ischial spines and its clinical significance in the assessment of fetal head engagement and station during labor*. Ultrasound Obstet Gynecol, 2009. 33(3): p. 320-5.
102. Yeo, L. and R. Romero, *Sonographic evaluation in the second stage of labor to improve the assessment of labor progress and its outcome*. Ultrasound Obstet Gynecol, 2009. 33(3): p. 253-8.
103. Stark, D.D., et al., *Pelvimetry by magnetic resonance imaging*. AJR Am J Roentgenol, 1985. 144(5): p. 947-50.
104. Zaretsky, M.V., D.D. McIntire, and D.M. Twickler, *Feasibility of the fetal anatomic and maternal pelvic survey by magnetic resonance imaging at term*. Am J Obstet Gynecol, 2003. 189(4): p. 997-1001.
105. Auer, E.S. and J.M. Simmons, Jr., *The floating fetal head in the primipara at term*. Am J Obstet Gynecol, 1949. 58(2): p. 291-8.
106. Burke, L., H.W. Rubin, and A.L. Berenberg, *The significance of the unengaged vertex in a nullipara at thirty-eight weeks' gestation*. Am J Obstet Gynecol, 1958. 76(1): p. 132-6.
107. Peisner, D.B. and M.G. Rosen, *Latent phase of labor in normal patients: a reassessment*. Obstet Gynecol, 1985. 66(5): p. 644-8.
108. Diegmann, E.K., R.A. Chez, and W.G. Danclair, *Station in early labor in nulliparous women at term*. J Nurse Midwifery, 1995. 40(4): p. 382-5.

## **Eidesstattliche Versicherung**

„Ich, Saskia Scheuermann, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Der Zusammenhang zwischen dem im offenen MRT bestimmten Höhenstand der knöchernen Leitstelle und dem durch translabialen Ultraschall ermittelten Angle of Progression bei Schwangeren am Termin - selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE - [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Berlin, 23. Juli 2014

Saskia Scheuermann

## **Publikationsliste**

Bamberg C, Scheuermann S. et al. Relationship between fetal head station established using an open magnetic resonance imaging scanner and the angle of progression determined by transperineal ultrasound. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*; 2011 Jun; 37.

Bamberg C, Scheuermann S. et al. Angle of progression measurements of fetal head at term: a systematic comparison between open magnetic resonance imaging and transperineal ultrasound. *AJOG*; 2011 Oct; 25.

## **Anteilerklärung an Publikationen**

Saskia Scheuermann hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Publikation 1: Bamberg C, Scheuermann S. et al. Relationship between fetal head station established using an open magnetic resonance imaging scanner and the angle of progression determined by transperineal ultrasound. *Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*; 2011 Jun; 37.

Publikation 2: Bamberg C, Scheuermann S. et al. Angle of progression measurements of fetal head at term: a systematic comparison between open magnetic resonance imaging and transperineal ultrasound. *AJOG*; 2011 Oct; 25.

Beitrag im Einzelnen: Patientenaquise, Patientenselektion, Datenerhebung, Dateneingabe und Datenauswertung

Berlin, 23. Juli 2014

betreuender Hochschullehrer PD Dr. med. C. Bamberg

Berlin, 23. Juli 2014

Doktorandin Saskia Scheuermann

## **Danksagung**

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. W. Henrich, Direktor der Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe der Charité-Universitätsmedizin Berlin, für die Möglichkeit der Durchführung der Studie.

Herrn PD Dr. med. C. Bamberg danke ich für die Überlassung des Themas. Ihm gilt mein besonderer Dank, da er mich stets motiviert hat und mir mit seinem fachlichen Rat jederzeit zur Seite stand.

Meinem Vater dipl. Päd. Studienrat A. Scheuermann danke ich für die Hilfe bei der Überarbeitung der mathematischen und physikalischen Grundlagen.

Frau M. Ed. L. Lange danke ich für die orthographische und grammatikalische Überprüfung der Dissertationsschrift.

Ich bedanke mich bei allen, die mich im Rahmen meiner Dissertation unterstützt haben.

## **Curriculum Vitae**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.