

**FALXVERKALKUNGEN- UND VERKNÖCHERUNGEN  
IN DER CT - DATENERHEBUNG ZUR HÄUFIGKEIT,  
GRÖSSE UND POSITION**

Master Thesis zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Science (MSc)

im Universitätslehrgang Osteopathie MSc

eingereicht von

Alexander Schedler

Department für Gesundheitswissenschaften und Biomedizin

an der Donau-Universität Krems

Thesen-Betreuer: Ass. Prof. Jan Porthun, MMSc

Klinischer Betreuer: Univ.-Prof. Priv.-Doz. Dr.med.univ. Hannes Deutschmann

Vasoldsberg, November 2016

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich, Alexander Schedler, geboren am 03.01.1981 in Graz erkläre,

1. dass ich meine Master Thesis selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfen bedient habe,
2. dass ich meine Master Thesis bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe,
3. dass ich, falls die Master Thesis mein Unternehmen oder einen externen Kooperationspartner betrifft, meinen Arbeitgeber über Titel, Form und Inhalt der Master Thesis unterrichtet und sein Einverständnis eingeholt habe.

## Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen, die mich beim Verfassen meiner Masterthesis unterstützt haben, herzlich bedanken. Besonderer Dank gilt:

- Ass. Prof. Jan Porthun, MMSc für die wissenschaftliche Betreuung meiner Masterthesis
- Univ.-Prof. Priv.-Doz. Dr.med.univ. Hannes Deutschmann für die von Beginn an förderliche Unterstützung und Ebnung des Weges zur Datenerhebung im Universitätsklinikum Graz
- Dr. Kalliope Kuess und Ing. Peter Steiner für die Einführung in die Arbeit mit syngo.plaza
- Adrian Taflinsky für die Einführung in die Arbeit mit syngo.via
- Andrea Schlemmer und Dr. Gerit Wunsch vom Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Dokumentation, für Informationen zur Statistik radiologischer Untersuchungen des Jahres 2015
- meiner Frau Martina Schedler, welche die Strapazen und meine zeitliche Beanspruchung für die Masterthesis besonders zu spüren bekam, mich unterstützt und durchgehalten hat.

## Zusammenfassung

**Autor:** Alexander Schedler

**Zielsetzung:** Ziel der Studie ist die Ermittlung der Häufigkeit, Größe, Position, Geschlechter- und Altersverteilung von Falxverkalkungen/Falxverknöcherungen (FV) mittels CT.

**Methode:** Eine explorative, retrospektive Datenerhebung anhand von Schädelaufnahmen aller CT-Geräte im Universitätsklinikum Graz.

Für den Zeitraum vom 20. bis 31. 08. 2015 wurden 365 Fälle mit störungsfreien und kontrastmittelfreien Gehirnaufnahmen ermittelt. FV wurden ab einem Dichteschwellwert von  $\geq 100$  HE erfasst, anhand der Zielparameter analysiert und mittels deskriptiver Statistik ausgewertet. Auch Lateralansichten dreidimensionaler Bildrekonstruktionen großer FV wurden erstellt und vermessen. Des Weiteren wurden Sinusverkalkungen untersucht.

**Ergebnisse:** Die FV-Inzidenz betrug 34 % und war etwas höher bei Männern. Die Position der größten FV lag zu 95 % anterior und medial. 51 % der Personen mit FV wiesen mehrere FV (mit ähnlicher Verteilung) auf. Die Rangkorrelation nach Spearman zwischen Alter und FV betrug  $r = .96$ ,  $p < .001$ . Einen Schädelkontakt der FV gab es nur in 3 Fällen. Bei einer Mindest-FV-Größe von  $\geq 2 \text{ cm}^2$  Vermessungsfläche betrug die FV-Inzidenz 9,8 %.

**Diskussion:** Die FV-Häufigkeit von ca. 10 % ab  $\geq 2 \text{ cm}^2$  Vermessungsfläche lag im Bereich der Angaben vorausgegangener Röntgenstudien, jedoch wurde nie die Größe angegeben.

Eine Relevanz für Osteopathen scheint gegeben, denn derartige FV könnten möglicherweise einen Einfluss auf die kraniosakrale Palpation und Behandlung der Falx haben. Darüber gibt es jedoch noch keine Untersuchungen.

Es besteht weiterer Forschungsbedarf mit genauen Größenmessungen, über den Einfluss von FV auf die kraniosakrale Palpation der Falx und histologische Vergleiche zur CT-Bildgebung.

**Stichworte:** Falx cerebri, calcification, ossification, osteoma, computed tomography

## Abstract

**Aim:** The aim of this study is the acquisition of data regarding the frequency, position, size, sex- and age distribution of falx cerebri calcifications (FCC, including ossifications) by means of CT scans.

**Design:** An explorative-retrospective data collection using skull CT scans of all CT devices (in use for patient examinations) at the University Hospital Graz.

**Method:** From August 20 to August 31, 2015 365 cases of undisturbed and non-contrast brain images were determined. FCC with a density threshold value of  $\geq 100$  HU were recorded, analysed according to certain target parameters and evaluated by means of descriptive statistics. Additionally, lateral views of three-dimensional image reconstructions of certain FCC were produced and measured. Also, superior sagittal sinus calcifications were examined.

**Results:** The occurrence of FCC accounted for 34% in general and was slightly more frequent in older men. Among all FCC 95% were located in anterior and medial falx area. The spearman's rank correlation between age and occurrence of FCC was  $r = .96$ ,  $p < .001$ . Considering a sagittal dimension (max. length x max. height x  $\sin(90^\circ\text{-Gantry Tilt})$  computed in axial layers) of  $\geq 2\text{cm}^2$ , FCC incidences still amounted to 9, 8%.

**Discussion:** The FCC frequency of 10% with a size of  $\geq 2\text{cm}^2$  (sagittal dimension computed in axial layers) corresponded to values of previous x-ray studies. However, the dimension or height was never mentioned.

FCC of the above-mentioned size seem relevant to an osteopath's work, since they might influence the craniosacral palpation and treatment of the falx cerebri. Therefore, there is further need for investigation concerning the possible effects of FCC on craniosacral palpation of the falx cerebri, precise measurements of size, as well as a histological comparison alongside of CT-imaging.

**Keywords:** Falx cerebri, calcification, ossification, osteoma, computed tomography

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>I</b>
<b>Danksagungen</b>	<b>II</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>III</b>
<b>Abstract</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Die Bedeutung von Falxverkalkungen/-verknöcherungen (FV) für die Osteopathie</b>	<b>5</b>
<b>1.2 Der Ausgangspunkt und die Relevanz der Studie</b>	<b>6</b>
<b>2 Literaturüberblick</b>	<b>7</b>
<b>2.1 Falxverkalkung oder Falxverknöcherung?</b>	<b>7</b>
<b>2.2 Vier unterschiedliche Verfahren zur Darstellung von FV</b>	<b>9</b>
2.2.1 Die FV in MRT-Studien	9
2.2.2 Die FV in Röntgenstudien	9
2.2.3 Die FV in anatomischen / histologischen Studien	10
2.2.4 Die FV in CT-Studien	10
<b>2.3 Ergebnisse bisheriger Studien</b>	<b>11</b>
2.3.1 Klassifikationsversuche	11
2.3.2 Zur Bildpräsentation von FV	12
2.3.3 Zur Häufigkeit der FV und Sinusverkalkungen (SV)	13
2.3.4 Zur Geschlechter- und Altersverteilung der FV	16
2.3.5 Zur Lage der FV	18
2.3.6 Zur Größe der FV	21
2.3.7 Zur anatomischen Beschaffenheit von FV	22
2.3.8 Zur Äthiologie von FV	23
2.3.9 Zu falxangrenzenden Duraverkalkungen/Verknöcherungen	25
<b>2.4 Zusammenfassung der Literatur zu FV</b>	<b>26</b>
<b>2.5 Bildgebung und Bilddarstellungsmöglichkeiten der Mehrschicht-Spiral-CT</b>	<b>28</b>
2.5.1 Hounsfield-Skala und Fensterung	29
2.5.2 3D-Darstellungsmöglichkeiten in der CT	30
<b>2.6 Bestimmung der Bildqualität in der CT</b>	<b>31</b>

2.6.1	Rauschen	31
2.6.2	Raumauflösung bei niedrigem Kontrast	31
2.6.3	Raumauflösung bei hohem Kontrast	32
<b>2.7</b>	<b>Einflussfaktoren auf die Bildqualität</b>	<b>32</b>
2.7.1	CT-Protokoll	32
2.7.2	CT-Artefakte	33
2.7.3	Kontrastmittelgabe	34
<b>2.8</b>	<b>Metrische Messungen in der CT</b>	<b>35</b>
<b>3</b>	<b>Forschungsfragen</b>	<b>39</b>
<b>4</b>	<b>Methodologie</b>	<b>40</b>
<b>4.1</b>	<b>Studiendesign</b>	<b>40</b>
<b>4.2</b>	<b>Stichprobe</b>	<b>40</b>
4.2.1	Einschlusskriterien	40
4.2.2	Ausschlusskriterien	40
4.2.3	Stichprobengröße	41
4.2.4	Repräsentativität	41
<b>4.3</b>	<b>Messparameter</b>	<b>42</b>
4.3.1	Primäre Messparameter	42
4.3.2	Sekundäre Messparameter	43
<b>4.4</b>	<b>Materialien</b>	<b>44</b>
4.4.1	Verwendete CT-Geräte	44
4.4.2	Verwendete CT-Protokolle	45
4.4.3	Verwendete Software	46
<b>4.5</b>	<b>Datenerhebung</b>	<b>47</b>
4.5.1	Vorbereitungen	47
4.5.2	Erhebungszeitraum	47
4.5.3	Prozedere für die Excel-Datenerhebung	48
4.5.4	Prozedere für die Bilddatenerhebung	49
4.5.5	Vermessung der größten FV	51
4.5.6	Bestimmung der FV-Position entlang der x-Achse	53
4.5.7	Bestimmung der FV- und SV-Position entlang der y-Achse	54
4.5.8	Dichtemessungen	57
<b>4.6</b>	<b>Datenverarbeitung</b>	<b>58</b>
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>59</b>

<b>5.1</b>	<b>Die dreidimensionale Präsentation von FV</b>	<b>59</b>
<b>5.2</b>	<b>Genauigkeit der linearen Distanzmessungen</b>	<b>64</b>
5.2.1	Präzision der Messungen mit der Distanzlinie	64
5.2.2	Differenz der Längenmessungen in Gehirn- und Knochenaufnahmen	64
<b>5.3</b>	<b>Die einzelnen Häufigkeiten</b>	<b>66</b>
5.3.1	Häufigkeit von FV und SV	66
5.3.2	Häufigkeit von Schädelverbindungen, Crista frontalis und TV	67
5.3.3	Geräteabhängige bzw. krankengutabhängige FV-Häufigkeit	68
<b>5.4</b>	<b>Besonderheiten der FV und SV</b>	<b>69</b>
5.4.1	Besonderheiten bezüglich der Alters- und Geschlechterverteilung	69
5.4.2	Besonderheiten bezüglich der Position	74
5.4.3	Besonderheiten bezüglich der Breite und Größe der jeweils größten FV	79
5.4.4	Besonderheiten bezüglich der Dichte der Falx und Hyperdensitätsbereiche	80
<b>5.5</b>	<b>CT-Hinweise bezüglich der Struktur von FV (Verkalkung oder Verknöcherung)</b>	<b>81</b>
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>83</b>
<b>6.1</b>	<b>Methodendiskussion</b>	<b>83</b>
6.1.1	Studiendesign und Art der Studiendurchführung	83
6.1.2	Literaturrecherche	83
<b>6.2</b>	<b>Diskussion der Datenerhebung</b>	<b>84</b>
6.2.1	Zur Messgenauigkeit	84
6.2.2	Prozedere der Datenerhebung	84
6.2.3	Besondere Herausforderungen	85
6.2.4	Verbesserungen für Folgestudien	85
<b>6.3</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>86</b>
6.3.1	Ermöglicht die dritte Dimension eine Differenzierung in typische FV-Formen?	86
6.3.2	Über Häufigkeit, Alters- und Geschlechterverteilung von FV	87
6.3.3	Über SV, TV und ausgeprägte Varianten der Crista frontalis	88
6.3.4	Über die Position von FV und SV	89
6.3.5	Über die Breite und Größe der jeweils größten FV	91
6.3.6	Über CT-Hinweise bezüglich der Struktur von FV	93
6.3.7	Über Ursachen für FV	94
<b>7</b>	<b>Konklusion</b>	<b>95</b>
<b>7.1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>95</b>
<b>7.2</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>96</b>



7.3	Ausblick	97
8	Literaturrecherche	98
8.1	Ziele der Literaturrecherche	98
8.2	Einschlusskriterien	98
8.3	Ausschlusskriterien	99
8.4	Ausgewählte Datenbanken	99
8.5	Stichwörter	99
8.6	Zeitliche Reihenfolge der Recherche	100
	Literaturverzeichnis	101
	Tabellenverzeichnis	108
	Abbildungsverzeichnis	109
	Abkürzungsverzeichnis	112
	Hinweis auf Daten-CD-Rom	113
	Anhang: Votum der Ethikkommission	114

## **1 Einleitung**

Das erste Mal wurde der Verfasser der These während des Osteopathie-Studiums auf das Vorkommen von Knochengebilden in der Falx (FV) aufmerksam gemacht, als sie nebenbei im kraniosakralen Unterricht erwähnt wurden. Über Ursache und Häufigkeit konnte nicht berichtet werden, es sei jedoch sehr selten. Seit dem konnten während der Arbeit auf der Neurologie des Universitätsklinikums Graz immer wieder Falxverkalkungen / Falxverknöcherungen auf kranialen CT-Bildern beobachtet werden. Das Interesse wurde geweckt und im Zuge erster Recherchen immer weiter vertieft.

### **1.1 Die Bedeutung von Falxverkalkungen/-verknöcherungen (FV) für die Osteopathie**

In der themenspezifischen osteopathischen Literatur findet man die Falx als wichtige und über Palpation der Schädeldecke wahrnehmbare Struktur, welche Spannungen innerhalb des Dura-Membransystems übertragen und auch beinhalten kann. Es werden auch verschiedene kraniosakrale Techniken zur Behandlung der Falx cerebri angeboten (Chaitow, 2005; Cloet, Gross, & Fuhrmann, 1999; Liem, 2010; Liem & Eickel, 2010; Sills, 2003, 2012; Upledger, Vredevoogd, & Klett, 1996).

In der kraniosakralen Palpation werden verschiedene Ebenen unterschieden, darunter die Membran-Ebene und die ossäre Ebene (Liem, 2010, S. 373; Liem & Eickel, 2010, S.1). Eine teils verknöcherte Falx könnte somit die Palpation so beeinflussen, dass sie schwer zu interpretieren ist und auch zu Fehlschlüssen führen kann, wenn dabei die Möglichkeit von FV nicht in Betracht gezogen wird. Für die richtige Interpretation der Palpation bei Spannungsveränderungen und Änderungen der Gewebequalität sollten Informationen über die Häufigkeit von FV bezüglich unterschiedlicher Größen und der Lokalisation in der Falx sehr wertvoll und hilfreich sein.

Das Phänomen der FV dürfte demnach für Osteopathen von Bedeutung sein, jedoch wird sie in Standardwerken der kraniosakralen Literatur an keiner Stelle erwähnt (Chaitow, 2005; Cloet u. a., 1999; Liem, 2010; Liem & Eickel, 2010; Sills, 2003, 2012; Upledger u. a., 1996). Es wird nur von John Upledger und seiner ersten palpatorischen Erfahrung des kraniosakralen Rhythmus während einer neurochirurgischen Operation berichtet, in der zervikal eine extradurale Verkalkung entfernt wurde (Chaitow, 2005).

## **1.2 Der Ausgangspunkt und die Relevanz der Studie**

Im vorherigen Kapitel wurde bereits auf die mögliche Bedeutung der FV für die Osteopathie hingewiesen sowie auf den Umstand, dass FV in osteopathischen Lehrbüchern mit keinem Wort erwähnt werden. Die defizitäre Kenntnislage über FV zieht sich beim Studium der fachbezogenen wissenschaftlichen Literatur weiter fort. Die FV wurde v. a. in Röntgenstudien untersucht, diese Projektionsmethode erwies sich jedoch aufgrund möglicher Fehlinterpretationen der Überlagerungen bei i. d. R. nur sagittalem Strahlengang als fehleranfällig. Dementsprechend variierten auch die Ergebnisse. Wie man im folgenden Kapitel erkennen wird, sind gewisse Aspekte der FV, welche für den Osteopathen besonders interessant sein könnten, noch gar nicht erforscht worden. So konnte noch keine Studie mit genauen Größenangaben über die räumliche Ausdehnung von FV in einer Stichprobe gefunden werden, obwohl die Bestimmung der Mindestgröße erfasster FV maßgebend für die FV-Häufigkeit sein dürfte. Im übrigen gibt es noch nicht ausreichende und kaum spezifische Ergebnisse von CT- Studien über die Häufigkeitsverteilung von FV oder Sinusverkalkungen- bzw. Verknöcherungen (SV), obwohl diese Methode als Goldstandard für das Erkennen von intrakranialen Verkalkungen gilt.

Nur eine moderne CT-Studie mit gültiger Methodik und gezielter Fragestellung kann grundlegende, spezifische und osteopathisch relevante Informationen u. a. über die Häufigkeit, Position und geschlechts- sowie altersspezifische Besonderheiten von FV liefern. Sollte sich herausstellen, dass FV in einer relevanten Größe überraschend häufig beim Menschen vorkommen, so müsste dieser Umstand sowie weitere spezifische Informationen zur FV in aktualisierten Auflagen der osteopathischen Literatur berücksichtigt werden. Dieser Umstand verleiht dieser Studie die wesentliche Relevanz für die Osteopathie im Bereich kraniosakraler Palpation und Therapie.

## 2 Literaturüberblick

### 2.1 Falxverkalkung oder Falxverknöcherung?

Der Titel dieser Arbeit weist schon darauf hin, dass sowohl Verkalkungen als auch Verknöcherungen in der Falx in Betracht kommen, daher soll als erstes auf die Unterschiede und Gemeinsamkeiten dieser beiden Mineralisationsformen eingegangen werden.

Bei der Verkalkung handelt es sich schlicht um eine Ablagerung von Kalk durch Ausfällung gelöster Ca-Ionen in Calciumphosphat- und carbonat in Geweben. Man unterscheidet hierbei Verkalkungen, die vom Gewebe bestimmt werden und solche, die auf eine Calciumstoffwechselstörung mit Hyperkalzämie zurückzuführen sind (auch als „metastatische Verkalkungen“ bekannt). Die Hyperkalzämie entsteht entweder durch starken Eintrag (z.B. infolge osteolytischer Prozesse) oder durch eine gestörte Ausscheidungsfunktion der Niere. Die vom Gewebe bestimmte „dystrophe Verkalkung“ findet in minderdurchbluteten Geweben mit stark herabgesetztem Stoffwechsel sowie in abgestorbenen Massen statt. Vom Gewebe bestimmt wird auch die Kalkablagerung bei der Knochenbildung (die Verkalkung ist somit ein Bestandteil der Verknöcherung). Im Falle der Verknöcherung selbst handelt es sich jedoch um eine aktive durch Osteoblasten im Osteoid hervorgerufene Ausfällung von Kalksalzen, welche zudem im Gegensatz zur dystrophen Verkalkung einer guten Vaskularisation bedarf (Eder & Gedigk, 1986).

Es ist weiters bekannt, dass sich aus jeder Art von Verkalkungen später auch Verknöcherungen bilden können (Eder & Gedigk, 1986).

Falxverkalkungen (auch Falxverknöcherungen) werden in der Fachliteratur zu den „physiologischen intrakraniellen Verkalkungen“ gezählt (siehe Kapitel 2.3.8). So ist es verständlich, dass Studien über intrakranielle Verkalkungen fast nur den Begriff „Falxverkalkung“ (bzw. „falx calcification“) verwenden, offenbar als Überbegriff für sämtliche Kalkanreicherungen - also auch knöcherner Form - innerhalb der Falx (Boening, 1930; Daghighi, Rezaei, Zarrintan, & Pourfathi, 2007; Kieffer & Gold, 1974; Kiroglu, Calli, Karabulut, & Oncel, 2010; Sedghizadeh, Nguyen, & Enciso, 2012; Serbanescu, Popa, & Lupescu, 2013; Stavrou, Dubovsky, Reaman, Goldstein, & Vezina, 2000; Uduma, Pius, & Mathieu, 2012).

In Röntgenstudien werden die im Frontalbild sich strichartig und im Falxverlauf abbildenden Kalkschatten i. d. R. als „Falxverkalkungen“ gedeutet. Breitere Gebilde unterschiedlicher Form werden dagegen als „Verknöcherungen“ bzw. „Osteome“ gedeutet (siehe Kapitel 2.2.2)

Studien mit histologischem Inhalt oder mit Verwendung der Magnetresonanztomographie (die MRT erkennt nur Verknöcherungen anhand ihres Fettmarks) dagegen unterscheiden zwar zum Teil beide Begriffe („Falxverkalkung“ und „Falxverknöcherung“), scheinen jedoch zumeist aufgrund der vorgefundenen knochentypischen Gewebebesonderheiten die „Verknöcherung der Falx“ (bzw. „falx ossification“) vorzuziehen (Batnitzky, Powers, & Schechter, 1974; Heidrich & Küstner, 1967; Jimenez, Mazas, Lidon, Forradellas, & Garcia, 2001; Novak u. a., 2001; Rao, Rao, Ovchinnikow, McRae, & Rao, 2007; Ruge, Russell, & Levy, 1990; Sands u. a., 1987; Tsitouridis u. a., 2006; Tubbs, Kelly, Lott, Salter, & Oakes, 2006). Ein Autor legt sich gar nicht auf einen dieser Begriffe fest und spricht dagegen von „Verhärtungen im Bereich der Dura“ (Teir & Ohela, 1956). Batnitzky u. a. (1974) hatte unter seinen Falxverknöcherungen auch sehr schmale Exemplare, welche sich zuvor am Röntgenbild wie eine strichförmige Falxverkalkung abbildeten. Kalkablagerungen in der Falx fand er nur vereinzelt als mikroskopisch kleine Psammom-Körperchen vor. Als neutralen Überbegriff verwendete er auch „Falx mineralization“.

Im Falle eines typischen Kalkschattens im Verlauf der Falx bei bildgebenden Verfahren kann eine Falxverkalkung (im Sinne einer dystrophischen Kalkablagerung in der Falx) jedoch nicht ausgeschlossen werden. Dafür bedarf es weiterer histologischer Studien, die sich gezielt mit der Art von Kalkanreicherung in der Falx und zugleich mit der Analyse von Falxverkalkungserscheinungen in der Bildgebung befassen.

Mayer (1959) definiert gegenüber anderen Autoren das „typische Falxosteom“ als Sonderform von Falxverknöcherungen. Das typische Falxosteom tritt demnach anterior gehäuft auf und sei markant aufgrund seiner gleichmäßigen Form: Die mediale Seite sei flach und schmiegt sich an die Falx cerebri, die laterale Seite sei konvex ausgebeult. Andere Autoren (Bergerhoff u. a., 1963; Beutel u. a., 1963; Celzo u. a., 2013; Kremser, 1955; Parnitzke, 1961; Seuffer, 1969, 1969; von Wrangell, U. & Fassbender, 1974) verwenden den Begriff „Falxosteom“ undifferenziert von der „Falxverknöcherung“.

In der vorliegenden Arbeit wird in weiterer Folge für die allgemeine Bezeichnung von Kalkanreicherung in der Falx (also auch für Verknöcherung) der Begriff „Falxverkalkung“ (FV)

gewählt. Ist eine spezifischere Begriffswahl nötig, so werden die Begriffe „Falx-Ossifikation“ (FO) für Falxverknöcherung gegenüber der sich strichförmig abbildenden Falxverkalkung (SFV) bzw. der „reinen Falxverkalkung“ (rFV) für die dystrophische- oder kalziumstoffwechselbedingte Verkalkung differenziert.

## **2.2 Vier unterschiedliche Verfahren zur Darstellung von FV**

### *2.2.1 Die FV in MRT-Studien*

Die MRT ermöglicht zwar ebenso wie das CT eine dreidimensionale Darstellung anhand von Schnittebenen mit räumlicher Einordnung unterschiedlicher Strukturen, jedoch werden Kalkstrukturen nur sehr schwer erkannt und abgegrenzt. MRT-Studien erkennen v. a. FO durch das Vorhandensein von Fett-Mark und geben somit wesentlich geringere Häufigkeiten an. Sands u. a., (1987) beispielsweise beschreiben die FV-Häufigkeit mit 0,4 %. Novak u. a. (2001) geben eine FV-Häufigkeit von 0,7 % an. Es konnten für diesen Wert jedoch weder Hinweise für eigene Messungen noch andere Quellen gefunden werden.

### *2.2.2 Die FV in Röntgenstudien*

FV werden seit ca. 100 Jahren in Röntgenstudien beschrieben.

Bezüglich der Häufigkeit in der Geschlechterverteilung, einer Zunahme im Alter und einem Krankheitswert besteht keine einheitliche Meinung unter den Autoren (mehr dazu in den entsprechenden Kapiteln). Dies könnte man mit der Verwendung unterschiedlicher Begriffe und anderen in der Folge beschriebenen Fehlerquellen erklären.

In Röntgenstudien werden i. d. R. Frontalaufnahmen verwendet, denn auf seitl. Aufnahmen ist die FV oft nicht darstellbar oder schwer von anderen Überlagerungen abgrenzbar. Die Frontalaufnahmen können jedoch nach Siewert (1989) je nach Beschaffenheit der Crista frontalis auch falsch positiv ausfallen. Außerdem wurde bewiesen, dass zumeist auch eine nicht verkalkte Falx in der Frontalaufnahme bei exakt rechtwinkliger Projektion als feiner Strich dargestellt werden kann (Robertson, 1946). Sie unterscheidet sich dann nicht mehr von Darstellungen der Autoren, welche daraus eine sogenannte „strichförmige FV“ (SFV) interpretierten.

### *2.2.3 Die FV in anatomischen / histologischen Studien*

FV wurden schon Jahrhunderte vor den Röntgenstudien von Anatomen und Pathologen beschrieben (Hauser, 1968; Seuffer, 1969). Sie sind auch heute noch unentbehrlich wenn es darum geht, eine sichere Differenzierung aufgrund typischer Gewebebeschaffenheiten in rFV und FO vorzunehmen (siehe auch Kapitel 2.1), Rückschlüsse auf die Ätiologie zu versuchen und mögliche pathologische Prozesse zu diagnostizieren.

Nur wenige Autoren machen Angaben zur Häufigkeit (Heidrich & Küstner, 1967; Teir & Ohela, 1956), zur Lage der FV (Batnitzky u. a., 1974; Teir & Ohela, 1956) und zur Größe der FV (Batnitzky u. a., 1974), mehr dazu in den entsprechenden Kapiteln.

### *2.2.4 Die FV in CT-Studien*

Es gibt zu diesem Thema nur wenige CT-gestützte Studien. Dabei gilt das CT ohne Kontrastmittel als die Methode der Wahl bzw. Goldstandard zum Erkennen von intrakraniellen Verkalkungen (Becker, 1981; Becker, Grau, & Hacker, 1977; Brossmann, 2001; Celzo u. a., 2013; Daghighi u. a., 2007; Kara, Bayir, Ak, Degirmenci, & Istanbuluoglu, 2014; Prokop u. a., 2006; Ruge u. a., 1990; Sedghizadeh u. a., 2012; Serbanescu u. a., 2013; Tsuruda & Bradley, 1987; Uduma u. a., 2012).

Die meisten CT-Studien liefern kaum spezifische Information über FV (Daghighi u. a., 2007; Debnath, Satija, George, Vaidya, & Sen, 2009; Kiroglu u. a., 2010; Sedghizadeh u. a., 2012) oder fassen die Häufigkeit von FV mit anderen Dura-Verkalkungen zusammen (Daghighi u. a., 2007; Uduma u. a., 2012).

Becker u. a. (1977) finden in einer Stichprobe von 400 Patient/innen aufgrund der verbesserten Sensitivität der CT-Schichtaufnahmen eine erhöhte FV-Häufigkeit von 21 % (siehe Kapitel 2.3.3), jedoch haben die Bilder von damals eine schlechte Auflösung und Verkalkungen werden von den Autoren schon bei relativ geringen Hounsfield-Einheiten (HE, = Dichtewert) von +50 beschrieben. Verkalkungen in diesem Dichtebereich sind zwar schon möglich (Schwarzmueller-Erber & Silberstein, 2012), jedoch ist in diesem niederen Bereich laut anderer Autoren eine Falx auch ohne Verkalkungen darstellbar. Die normale Falx hat eine Dichte von 46HE, diese steigt jedoch mit dem Alter bis 97HE. Blutungen haben eine Dichte von ca. 60-90HE. Aus diesem Grund gilt eine intrakranielle Verkalkung für das MSCT erst ab 90-100HE (Prokop u. a., 2006; Uduma u. a., 2012; Zimmerman, Yurberg, Russell, & Leeds, 1982). Eine Differenzierung im CT von FV gegenüber Blutungen ist zwar oft über

klinische Daten, Form und Lokalisation der Hyperdensität möglich, eine sichere Abgrenzung ist jedoch erst mit einer Doppel-kV-Untersuchung machbar. In einer späteren Dissertation von Becker (1981) geht jedoch hervor, dass das in seiner Studie von 1977 verwendete Gerät nicht in der Lage war, Doppel-kV-Untersuchungen auszuführen.

Die FV-Dichte ist eine wichtige Information bei der Beschreibung von FV-Häufigkeiten. Becker u. a. (1977) stellten fest, dass im CT erkannte FV mit einer Dichte von 50-70 HE in keiner Standard-Röntgenaufnahme-Ebene erkennbar waren. FV mit einem Dichtewert zwischen 75 HE und 105 HE ließen sich nach Kenntnis des CT-Befundes mehr oder weniger schemenhaft abgrenzen und ab 110 HE konnten die FV auch im Röntgenbild mit zunehmender Deutlichkeit dargestellt werden. Bei dreifacher FV-Häufigkeit in seiner CT-Studie gegenüber der meisten Angaben von Röntgenstudien wird nahegelegt, dass etwa zwei Drittel seiner gefundenen FV eine geringe Dichte von nur 50-110 HE hatten (es wurden jeweils die maximalen CT-Werte gemessen).

Becker (1981) beobachtete im Zuge von CT-Verlaufsuntersuchungen bei verkalkenden Tumoren, dass Kalk sogar in so niedriger Dichte vorliegen kann, dass er am CT nicht erkannt wird und nur histologisch nachweisbar ist. Durch fortschreitende Verkalkung wird er zunehmend bildgebend nachweisbar bevor er die CT-Wert-Grenze von 100 HE überschreitet.

Verkalkte Meningeome sind anhand des Nativ-CT schwer von physiologischen FV abgrenzbar (Ruge u. a., 1990; Sands u. a., 1987; Tsitouridis u. a., 2006). Sie stellen sich in der Regel als rundliche homogene Verkalkung dar (Becker, 1981; Tsitouridis u. a., 2006).

Laut Becker (1981) können Dichteunregelmäßigkeiten des Hirngewebes neben plaqueförmigen Verkalkungen (FO) ein Hinweiszeichen für das Vorliegen eines Falxmeningeoms sein.

## **2.3 Ergebnisse bisheriger Studien**

### *2.3.1 Klassifikationsversuche*

Parnitzke (1948) teilte die in seinen Schädelröntgenuntersuchungen gefundenen FV in „diffuse Kalkeinlagerungen“ (SFV) und „fleckenförmig osteomartige Verkalkungen“ (FO), jeweils in den 3 Schweregraden grazil (+), mäßig (++) und massiv (+++). Die SFV war deutlich häufiger und v. a. mit schwachen Stärken vertreten (159 grazil, 95 mäßig, 14 massiv), die „osteomartigen Verkalkungen“ überwiegen in mittlerer Ausprägung (11 grazil, 55 mäßig, 29 massiv). Leider wurden keine Grenzwerte für die Schweregrade bekanntgegeben.



Siewert (1988) teilte in seiner Dissertation bei alleiniger Verwendung von okzipito-mentalen Röntgenaufnahmen die Schatten im Falxbereich in vier Strukturgruppen ein („LS 1-4“). Er deutete sie aufgrund von Projektionsexperimenten als Crista frontalis („LS 1“, 12,1 %), als kraniale Crista frontalis und Knochenlamellen im Sinusbereich („SL 2“, 1 %), als Falxverkalkungen (SL 3, 0,4 %) und plurilamellare Falxverkalkungen („SL 4“, 0,4 %), welche ein starker Hinweis für das Vorliegen eines NBCCS (Nevoid Basal Cell Carcinoma Syndrom) seien. Auf dem CT dagegen seien diese FV perlchnurartig, dies demonstrierte er mit einer CT-Aufnahme eines NBCCS-Kranken. Da die LS 3-Verkalkungen eine Inzidenz von nur 0,4 % hatten und eine sprunghafte Zunahme der Häufigkeit im höheren Alter zeigten, deutete er die L3 gemeinsam mit den L4-Verkalkungen als pathologisch. Die von ihm beschriebene Einteilung wurde von keiner ihm folgenden Studie weiter angewendet.

Tsitouridis u. a. (2006) unterscheiden auf MRT und CT zwei verschiedene FV- Formen: 1.) FV mit einer Verbindung zur Kalotte. 2.) FV ohne diese Verbindung. Man sollte sich jedoch bewusst sein, dass die Darstellung solch einer Verbindung v. a. durch den Partialvolumeneffekt auch vorgetäuscht und auch ausgelöscht werden kann (siehe Kapitel „Einflussfaktoren auf die Bildqualität“).

### *2.3.2 Zur Bildpräsentation von FV*

Schon in frühen Studien wurden Formbesonderheiten von FV nicht nur beschrieben sondern auch anhand weniger Abbildungsbeispiele veranschaulicht. Das Röntgen vermochte nur eine umstrittene zweidimensionale Darstellung, in der Regel nur in frontalen Ansichten (siehe Kapitel 2.2.2). Lanig (1976) erstellte erstmals mediosagittale Schichtaufnahmen von FV mithilfe von Röntgentomographie. Er konnte sogar etwas mehr Fälle mit FV finden als zuvor allein anhand von Frontalbildern. Die Bildqualität war jedoch noch relativ undeutlich und verwaschen. Die frühen CT-Aufnahmen von Becker u. a. (1977) waren ebenfalls noch sehr grob aufgelöst (1,9 x 1,9 mm Pixel). Modernere CTs konnten die FV bereits schärfer abgrenzen und räumlich erfassen, lieferten jedoch stets nur Ausschnitte bzw. Schnittbilder. Mit der Weiterentwicklung der CT und deren Software bis zum heutigen Stand ist es nun möglich FV isoliert und dreidimensional darzustellen. Dies wurde noch von keiner bekannten Studie unternommen.

### 2.3.3 Zur Häufigkeit der FV und Sinusverkalkungen (SV)

Um die Gemeinsamkeiten und Unterschiede bisheriger FV-Häufigkeitsangaben übersichtlich miteinander zu vergleichen, wurde eine tabellarische Präsentationsform gewählt. Neben der Autoren wurde auch der Ländercode notiert, bei Möglichkeit wurde auch die medizinische Fachrichtung der Stichprobe ergänzt und eine Aufschlüsselung der FV in SFV und/oder FO (in Klammer), sowie anderer Duraverkalkungen vorgenommen. Röntgenstudien sind mit schwarzer Schrift, histologische Studien mit oranger Schrift, MRT-Studien mit grüner Schrift und CT-Studien mit blauer Schrift gekennzeichnet.

Tabelle 1: Studien mit Angaben zur Häufigkeitsverteilung von FV

Studie(n), Ländercode	Klinische Abteilung	Stichprobe	FV	%	(Aufschlüsselung), + weitere Häufigkeiten
Dyke (1930) USA, N.Y.	Chirurgie, Röntgenologie	2724	194	7,1	
*Paulian, Sfintescu, & Fortunescu, (1936, zit. nach Bruuyn, 1963, S. 102) ROU	Nicht bekannt	750	45	6	
*Chavany & Brunhes, (1938, zit. nach Bruyn, 1963, S. 102) FRA	Neurochirurgie	663	22	3	+ Falx 20 %
Robertson (1946) AUS	n. a.	100	0	0	+ Falx 93 %
Parnitzke (1948) DEU	Nervenklinik	5033	363	7,2	(SFV 5,3 %, „FO“ 1,9 %)
Teir & Ohela (1956) SWE	Gerichtsmedizin Pathol. Anat.	100	11	11	+SV 6 %; + Dura 12 %
*E. H. Wu, Yang, Wang, & Yang, (1956, zit. nach Seuffer, 1969, S.12) CHN	Allgemeines KH	1334	124	9,3	
*Urbano & Viola, (1961, zit. nach Bruyn, 1963, S. 105) ITA	Radiologie	700	34	4,9	
Parnitzke (1961) DEU	Nervenklinik	10000	645	6,5	¾ davon SFV
*Antoci & Farina (1961, zit. nach Bruyn, 1963, S. 105) ITA	Pathologie	50	21	42	Mikroskop. Aufnahmen
Bruyn (1963) NLD	Neurologie	2595	111	4,3	(SFV 2,7 %+, „FO“ 1,8 %) +SV 0,7 %
	Endokrinologie	120	14	11,7	(SFV 5,8 %+, „FO“ 5,8 %) +SV 2,5 %
Bruch, Bushe, & Gregl (1965) DEU	Neurochirurgie	8014	652	8,14	

Heidrich & Küstner (1967) DEU	Chir., HNO u. Nervenlinik	9971	352	3,5	(FO 3,5 %, SFV 1,2 %)
Heidrich & Küstner (1967) DEU	Pathologie	100	4	4	(nur FO vorgefunden)
Hauser (1968) DEU	Neurochirurgie Neurologie	1600	80	5	
Seuffer (1969) DEU	Neurologie Chirurgie	851 871	158 80	18,6 9,2	(nur SFV beurteilt) (nur SFV beurteilt)
Lanig (1976) DEU	Neuroradiologie	2905	178	6,1	
Becker u. a., (1977) DEU	Neuroradiologie	400	85	21,3	
Sands u. a. (1987) USA, N.Y.	Radiologie	3000	12	0,4	
Siewert (1988) DEU	KH. Für Zahn- und Kieferheilkunde	4787	19	0,4	+Cr. fr.12,1 %; +SV 1 %; +Gorlin Golz-Typ 0,4 %
Ojuawo, Nzeh, & Salisu, (2003) NGA	Epilept. Kinder Kinder ohne Epi	102 42	8 0	7,8 0	
**Daghighi u. a., (2007) IRN	Radiologie	1569	n. a.	n. a.	+ 7,3 % (115) TV+SV+FV
1.) Shanley u. a. (1994) AUS 2.) Kimonis u. a. (1997) USA 3.) Lo Muzio u. a. (1999) ITA 1.-3.) Zit. nach Lo Muzio (2008)	Pat. mit .NBCC Pat. mit .NBCC Pat. mit .NBCC	118 105 37	78 62 189	92 65 70	

\* Diese Studien waren weder in deutscher noch in englischer Sprache verfügbar.

\*\* Daghighi u. a. (2007) fassten die FV- Häufigkeiten mit Tentoriumverkalkungen (TV) und SV zusammen.

Die Betrachtung der Tabelle 1 führt zu folgenden Schlüssen:

- Die Häufigkeit von FV wurde fast nur in Röntgenstudien beschrieben und nur vereinzelt von CT-, MRT- und histologischen Studien.
- Die hohe FV-Häufigkeit von Antoci & Farina (1961) sticht besonders hervor, eine Begründung mit der hohen Auflösung seiner mikroskopischen Aufnahmen und einer damit einhergehenden Erfassung ansonsten makroskopisch nicht sichtbarer FV ist naheliegend. Er bestätigt damit den von Parnitzke (1948) beschriebenen Trend einer Häufigkeitszunahme von FV je feiner und kleiner sie sind. Auch der zweithäufigste Wert von Becker (1977) lässt sich einerseits damit begründen, dass die CT ein sensibleres Verfahren zur Erfassung von FV darstellt, andererseits die Autoren FV schon ab einer Dichte von 50 HE zählten. Umgekehrt erklärt sich die geringe FV-

Inzidenz in der MRT-Studie (Sands u. a., 1987) durch deren geringere Sensitivität, denn FV werden nur bei fetthaltigem Knochenmark erkannt.

- Obwohl ein großer Aufwand mit sehr großen Stichproben betrieben wurde, schwanken bei den anderen Autoren die Häufigkeitswerte von FV stark. Allein bei Röntgenstudien in Deutschland variiert der Wert schon zwischen 0,4 % (Siewert, 1988) und 18,6 % (Seuffer, 1968). In der gleichen Gruppe schwankt der Wert auch bei ähnlichem Krankengut (Neurologie) noch stark zwischen 5 % (Hauser, 1968) und 18,6 % (Seuffer, 1968). Auch die Differenzierung von SFV und FO führt zu keiner Erklärung der Häufigkeitsschwankungen. Dies legt eine niedrige Inter-Tester-Reliabilität der konventionellen Röntgenmethode bei der Beurteilung von FV nahe. Mögliche Ursachen dafür wurden bereits im Kapitel 2.2.2 aufgeführt. In weiterer Folge müssen auch Unterschiede in den FV-Häufigkeitsangaben zwischen verschiedenen Bevölkerungsgruppen relativiert werden.

Bruyn, 1963; Ojuawo u. a., 2003; Seuffer, 1969 verglichen jeweils die Häufigkeiten zwischen unterschiedlichem Krankengut und erkannten deutliche Unterschiede. Diese kann man entweder auf eine schlechte Intra-Tester-Reliabilität zur FV-Beurteilung in Röntgenstudien (ist nicht bekannt) oder auf unterschiedliche Krankengut-spezifische Eigenschaften zurückführen (vergleiche Kapitel 2.3.8).

- Robertson (1946) stellt seiner Stichprobe die höchste Häufigkeit von strichförmigen Falxschatten im Röntgenbild fest (ermöglicht mit besserer Trefferquote durch exakte Ausrichtung der Falx dank mehrerer Aufnahmen). Er unterstreicht damit die projektionsbedingte Schwäche der FV- Beurteilung anhand von Röntgenbildern.
- Interessanter Weise zeigen Autoren, welche die FV in SFV und FO aufschlüsseln, in 3 von 4 Fällen, dass sich diese beiden Formen so gut wie überhaupt nicht überschneiden. Bei Heidrich & Küstner (1967) dagegen tritt die SFV offenbar nur in Verbindung mit FO gemeinsam auf.
- Als weitere Auffälligkeit sei auf die für Kinder ungewöhnlich hohe Häufigkeit von FV in Verbindung mit Epilepsie hingewiesen (Ojuawo u. a., 2003). Dagegen konnte eine andere Studie zumindest keinen Zusammenhang zwischen der Lokalisation von intrakraniellen Verkalkungen und der Lokalisation der Krampfanfallsherde feststellen (Cukiert, Puglia, Scapolan, Vilela, & Marino Junior, 1994).
- Lo Muzio (2008) führt mehrere Studien mit großen Gorlin-Golz-/ bzw. NBCC-Krankenzahlen auf. Aufgrund der hohen FV-Inzidenz bei NBCC-Kranken gilt die bilamellare FV auch als eine der Hauptkriterien für die Diagnosestellung (2 Hauptkriterien reichen für die Diagnose). Siewert (1988) erkannte in seiner Studie

anhand bilamellarer FV 19 von 21 NBCC-Kranke (90,5 %), die restlichen zwei hatten keine FV.

Es gibt zusätzlich noch eine CT-Studie von Uduma u. a. (2012), welche FV-Häufigkeiten in Afrika beschreibt. Er zählt sämtliche FV (auch die Anzahl mehrfacher FV pro Person) in Altersgruppen zusammen und kommt auf 24 FV bei einer Stichprobe von 132 Personen. Die FV-Inzidenz in seiner Stichprobe ist leider nicht feststellbar.

### 2.3.4 Zur Geschlechter- und Altersverteilung der FV

Um die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Angaben zur Geschlechterverteilung mit FV sowie der Angaben zur Beziehung von FV zum Alter überschaubar zu machen, wurde wieder eine tabellarische Form gewählt. Röntgenstudien sind mit schwarzer Schrift, histologische Studien mit oranger Schrift, MRT-Studien mit grüner Schrift und CT-Studien mit blauer Schrift gekennzeichnet:

Tabelle 2: Studien mit Angaben zu Geschlechterverteilung von FV und zur Beziehung (wenn möglich als Rangkorrelation nach Spearman) zwischen FV und Alter

Studie(n), Ländercode	Klinische Abteilung	Stichprobe	Verhältnis m : w (%)	Rangkorrelation nach Spearman zw. FV und Alter
Dyke (1930) USA, N.Y.	Chirurgie, Röntgenologie	2724	7,6 : 6,6	r = .91; p = < .01
Parnitzke (1948) DEU	Nervenlinik	5033	<b>8,5</b> : 5,2	Gipfel 50.lj
<b>Teir &amp; Ohela (1956) SWE</b>	<b>Gerichtsmedizin Pathol. Anatomie</b>	<b>100</b>	<b>**m &gt; w</b>	<b>r = 0,72 (Dura)</b>
*E. H. Wu u. a. (1956, zit. nach Seuffer, 1969, S.12) CHN	Allgemeines Krankenhaus	1334	9,2 : 9,6	r = .94; p = < .01
*Urbano & Viola, (1961, zit. nach Bruyn, 1963, S. 105) ITA	Röntgenologie	700	4,9 : 4,9	r = .17
Parnitzke (1961) DEU	Nervenlinik	10000	n. a.	normal verteilt um 50.Lj
<b>*Antoci &amp; Farina (1961, zit. nach Bruyn, 1963, S. 105) ITA</b>	<b>Pathologie</b>	<b>50</b>	<b>36,4: 46,4</b>	<b>Ab 70.lj ↑</b>
Bruyn (1963) NLD	Neurologie	2595	**m > w	
Bruyn (1963) NLD	Endokrinologie	120	**m > w	
Bruch u. a. (1965) DEU	Neurochirurgie	8014	8,6 : 7,1	↑ Alter = ↑ FV
Heidrich & Küstner (1967) DEU	Chirurgie, HNO und Nervenlinik	9971	n. a.	SFV ↑ ab 50.lj; FO norm. verteilt

Hauser (1968) DEU	Neurochirurgie Neurologie	1600	<b>6,4</b> : 3,6	$r = .98, p = <.001$
Seuffer (1969) DEU	Neurologie	851	<b>24,1</b> :11,6	$r = .93; p = <.01$
	Chirurgie	871	<b>10,8</b> : 7,2	$r = .91; p = <.01$
Lanig (1976) DEU	Neuroradiologie	2905	5,8 : 6,5	$r = .96; p = <.001$
Siewert (1988) DEU	KH für Zahn- und Kieferheilkunde	4787	„kein Unterschied“	Cr. frontalis 1,00 SV .53 FV .96; $p = <.001$
Ojuawo u. a. (2003) NGA	Kinderklinik, epilept. Kinder	102	<b>9,2</b> : 5,4	
<b>***Daghighi u. a. (2007) IRN</b>	Radiologie	<b>1569</b>	<b>(6,1 : 9)</b>	<b>( <math>r = .86; p &lt; .05</math> )</b>

\* Diese Studien waren weder in deutscher noch in englischer Sprache verfügbar.

\*\* Hier konnten keine relativen Werte ermittelt werden, da keine Geschlechterverteilung für die Gesamtheit der Stichprobe bekanntgegeben wurde. Folglich wird nur grob das nach Meinung des jeweiligen Autors vorliegende Häufigkeitsverhältnis zwischen Männern und Frauen vermerkt.

\*\*\* Daghighi u. a. (2007) fassten die FV- Häufigkeiten mit Tentoriumverkalkungen (TV) und SV zusammen.

Die Betrachtung der Tabelle 2 führt zu folgenden Schlüssen:

- Von elf Gegenüberstellungen relativer Häufigkeiten von Männern und Frauen (ohne Daghighi u. a., 2007) weisen sieben auf eine höhere FV-Inzidenz bei Männern hin (in fünf Fällen mehr als um die Hälfte größer). Auch die groben Angaben sprechen für eine höhere Inzidenz bei Männern. Nur drei Gegenüberstellungen relativer FV-Häufigkeiten von Männern und Frauen deuten auf eine geringfügig höhere Inzidenz bei Frauen. Am deutlichsten überwiegt die Häufigkeit bei Frauen für Daghighi u. a. (2007), möglicherweise weil er die FV mit SV und TV zusammen gefasst hatte.
- Die Stärke des Zusammenhangs zwischen zunehmendem Alter (Altersgruppen mit 6-8 Dezimal-Abständen) und dem Auftreten von FV wurde mittels Rangkorrelation nach Spearman berechnet, sofern die dafür notwendigen Werte in den Studien vorlagen. Acht Ergebnisse sprechen für eine hohe bis sehr hohe Korrelation zwischen zunehmender FV-Inzidenz und steigendem Alter. Die Studie von Daghighi u. a. (2007) bestätigt diesen Trend der FV in Verbindung mit SV und TV. Bei SV wurde von Siewert (1988) ein geringer Zusammenhang beobachtet. Nur der Korrelationseffizient von Urbano & Viola, (1961, zit. nach Bruyn, 1963, S. 105) spricht für einen sehr geringen Zusammenhang erhöhter FV-Inzidenz bei zunehmendem Alter.
- Zwei weitere Autoren sprechen sich für eine Zunahme von FV in höherem Alter aus. Nur Parnitzke (1948, 1961) sieht hierbei keinen Zusammenhang. Heidrich & Küstner

(1967) schreiben diesen Widerspruch ihrer Beobachtung zu, dass die SFV mit dem Alter zunehmen und die FO dagegen in jeder Altersgruppe gleich verteilt bleiben.

Es gibt noch weitere Autoren, welche von einer Zunahme der FV im Alter sprechen (Hauser, 1968; Hassler, 1965; Kieffer & Gold, 1974; Kiroglu u. a., 2010; Löschke, 1957; Mayer, 1959; Novak u. a., 2001).

Lanig (1976) hätte bei Betrachtung der Altersverteilung der FV-Fälle seiner Studiengruppe eine Zunahme der FV im Alter interpretiert, konnte die 0-Hypothese (dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von FV in jeder Altersgruppe gleich hoch sei) jedoch statistisch mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95 % nur für die männliche Gruppe ablehnen. Bei Betrachtung seiner Altersverteilung wird jedoch rasch deutlich, dass das Zusammenführen der männlichen und weiblichen Gruppe zu einer deutlich stärkeren Korrelation von FV mit steigendem Alter führen muss, da die FV-Anteile bis zur letzten Altersklasse entlang einer kontinuierlichen Steigung symmetrisch entgegengesetzt zu streuen scheinen.

Boening (1930) beobachtete unter 3300 Schädelröntgen die FV über alle Altersstufen regellos verstreut.

Uduma u. a. (2012) beobachteten FV bei Männern dreimal häufiger als bei Frauen (es wurden auch mehrere FV pro Person gezählt). Siewert (1989) wiederum konnte keinen Unterschied bei der Häufigkeit zwischen den Geschlechtern feststellen. Laut Mayer (1959) und Bruyn (1963) kommt das FO häufiger bei Frauen vor.

### *2.3.5 Zur Lage der FV*

#### *Die Lage von FV in der Sagittalebene:*

Es wird von den meisten Autoren von einem gehäuften Vorkommen der FV im frontalen bzw. anterioren Anteil der Falx berichtet (Kieffer & Gold, 1974; Lanig, 1976; Parnitzke, 1961; Uduma u. a., 2012). Einige weitere Autoren spezifizieren hierfür die FO (Batnitzky u. a., 1974; Becker, 1981; Mayer, 1959; Sands u. a., 1987; Tsitouridis u. a., 2006).

Eine genauere Eingrenzung in „das anteriore Drittel der Falx“ bzw. „die vorderen zwei Drittel“ wird von Parnitzke (1961, S. 25), Lanig (1976, S. 8), und Sands u. a. (1987, S. 603) vorgenommen. Uduma u. a. (2012) geben die antero-posteriore Verteilung von FV mit 7:1 an.

Tsitouridis u. a. (2006) untersuchten 40 Fälle mit FO und fanden bei 67,5 % FO im frontalen Bereich, bei 17,5 % FO im mittleren Bereich und bei 5 % FO im posterioren Bereich. Bei den restlichen 10 % waren mehrere FO im frontalen und medialen Bereich der Falx verteilt.

Lanig (1976) erwähnte, dass dieser anteriore Bereich der Falx anatomische Besonderheiten bezüglich der Faserausrichtung und der Blutversorgung vorweist. Die Falx cerebri besteht anterior aus dünnen Faserstrahlen, die fächerförmig von der Glabella nach kranial ausstrahlen und nach posterior bis Lambda reichen. Posterior ziehen einerseits dicke Faserstränge vom Tentoriumdach aus fächerförmig nach kranial zum Okziput und bis zum Os frontale. Andererseits ziehen Fasern vom Okziput im Verlauf des Sinus rectus zur Crista frontalis. In der Folge ist der antero-inferiore Falxbereich deutlich dünner als der supero-posteriore Bereich. In diesem dünnen Bereich werden häufig mehrere „Fenster“ als Aussparungen des sehnigen Gewebes beobachtet. Lanig (1967) führt diese Defekte auf regressive Veränderungen im höheren Alter zurück. Diese Ausrichtung der Fasern und die Aussparungen mit „Fenstern“ konnten jedoch von mehreren Autoren schon bei kleinen Feten mit < 10 cm Größe regelmäßig nachgewiesen werden (Jiang & Jia, 1980; Witzig, 1940).

Lanig (1976) untersuchte als einziger Autor eine große Anzahl von Lateralansichten welche über Röntgen- bzw. Verwischungstomographie gewonnen wurden. Pro Flächeneinheit einer FV übertrug er auf die entsprechende Stelle eines als Kompromiss aus allen Lateralansichten erstellten Schädelbildes (ergänzt mit einem Raster) einen Punkt. Nach Auszählung der Punkte pro Rastereinheit entstand ein Bild über die Häufigkeitsverteilung der FV. Auf diese Weise konnte er mittels  $\chi^2$ - Test die Nullhypothese, ob die Anzahl der Punkte von der Lokalisation im Raster unabhängig sei, mit 99-prozentiger Wahrscheinlichkeit ablehnen. Es ist also sehr wahrscheinlich, dass die beobachtete Verteilung der FV nicht nur zufällig war.

Die Falx wird im anterioren Bereich von der A. pericallosa, der A. meningea ant. und der A. meningea media versorgt – siehe Abbildung 1 (Lanig, 1976; Merland, Bories, & Djindjian, 1977). Möglicherweise kommt es in dem Bereich der Versorgungsgrenzen dieser Arterien (insbesondere der ersteren) gehäuft zu Durchblutungskrisen, welche Kalkeinlagerungen begünstigen könnten.



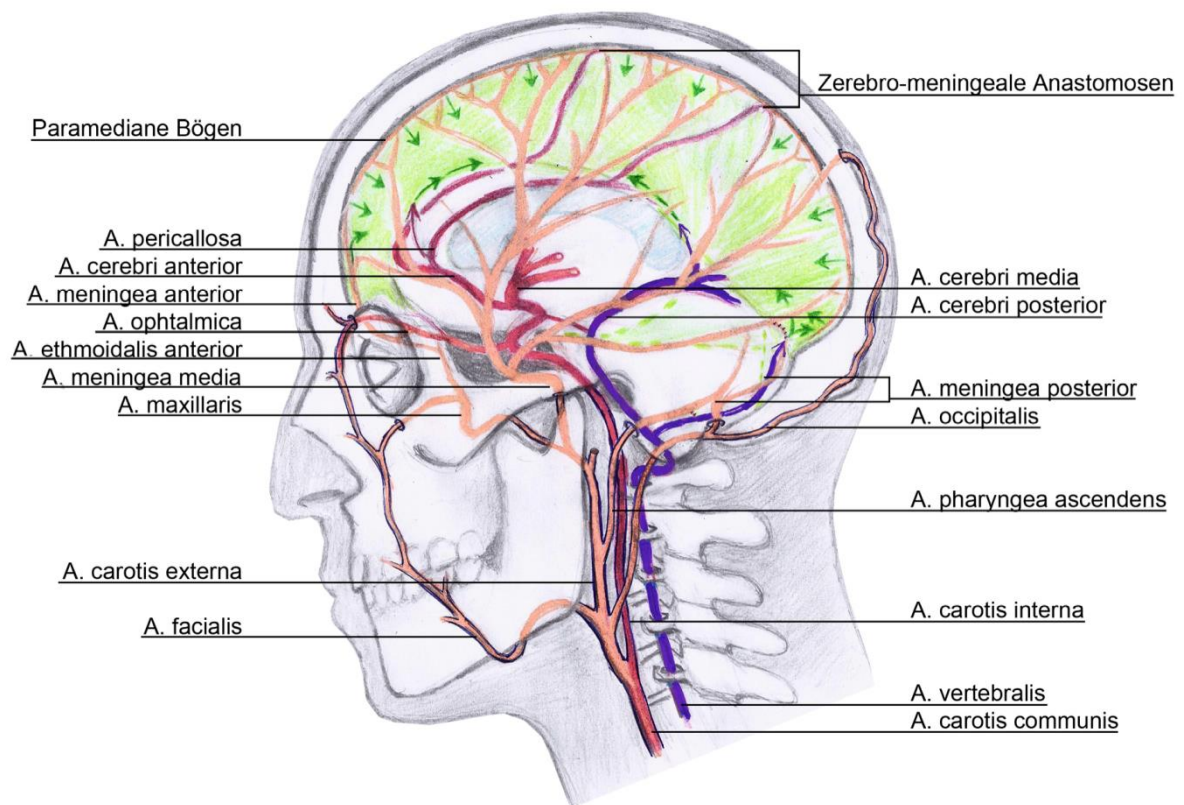


Abbildung 1: Schema (eigene Skizze) über die Blutversorgung der Falx cerebri. Die grünen Pfeile beschreiben den Eintritt und den Verlauf der kleinen Arterien innerhalb der Falx

Nach Mayer (1959) zeigen rFV im Gegensatz zu FO keine anteriore oder posteriore Häufung. Hassler (1965) findet kleine FV-Körnchen sogar gehäuft im posterioren Bereich der Falx.

*Befinden sich die FV zwischen, inmitten oder auf den Durablättern der Falx cerebri?*

Pendergrass (1948, zit nach Bruyn, S. 103), ist der Meinung, dass FV sowohl in der Mittellinie als auch an den Seitenwänden der Falx auftreten. Ferraz Alvim (1943, zit. nach Bruyn, 1963, S. 101) dagegen beobachtete, dass nur FO zwischen den zwei Blättern der Falx eingebettet vorkommen, granuläre Kalzium-Ablagerungen dagegen nur auf der Außenfläche der Falx. Urbano & Viola (1961, zit. nach Bruyn, 1963, S. 105) berichteten von einem FO, das sich zwischen den beiden Durablättern der Falx entwickelte.

Bruch u. a. (1965) beschreiben FV ein - oder beidseitig innerhalb der Durablätter der Falx vorliegend. Heidrich & Küstner (1967) fanden nur in der Falx eingebettete FO.

Batnitzky u. a. (1974) sowie Parnitzke (1961) fanden FO normalerweise auf den Seitenflächen der Falx vor.

Robertson (1946) schreibt allgemein von FV dass sie seitlich der Falx anstatt innerhalb der Falx auftreten, die restliche Falx sei dabei nicht dichter als normal.

### 2.3.6 *Zur Größe der FV*

Die Größe von FV wurde nur selten und in der Regel bestenfalls für einzelne FV-Beispiele angegeben. Manche Autoren berichteten über Einzelfälle besonders großer FV. Janker (1949) berichtete von einer FO mit 13 cm Länge, Kremser (1955) berichtete von einer FO mit 12 cm Länge und bis zu 2 cm Breite, Löschke (1957) stellte eine FO mit 8 x 3 x 1 cm Größe vor (später auch von Parnitzke (1961) illustriert). Zandian u. a. (2014) berichteten von einer das anteriore Drittel beherrschenden und den Sinus sagittalis superior obstruierenden FV mit weiteren FV-Bereichen im medialen und posterioren Bereich und Tubbs u. a. (2006) präsentierte eine komplette FO (der Sinus sagittalis superior, das Tentorium cerebelli und andere Duraanteile waren nicht betroffen). Bei all diesen extremen Fällen konnte keine ungewöhnliche oder die FV erklärende Pathologie festgestellt werden, sie war stets ein Zufallsbefund.

Batnitzky u. a. (1974) informierte über den Größenbereich seiner in 18 Autopsien beobachteten FO zwischen 1 - 5 cm (gemeint ist vermutlich der längste Durchmesser). Heidrich & Küstner (1967) stellten fest, dass SFV mit steigendem Alter in größerer Ausdehnung auftraten, und zwar bis zu über 7 cm Länge. Parnitzke (1961) und Boening (1930) konnten hingegen keine Größenzunahme von FV beobachten. Auch Hassler (1965) gab in seiner Röntgenstudie über kleinste intrakranielle Verkalkungen am Präparat einen Größenbereich für FV an. Er schwankte zwischen 0,1 und 1 mm. Zusammengehäufte Aggregate dagegen seien größer als 3 mm<sup>2</sup>.

Es ist verwunderlich, dass kein Autor mit einer größeren Stichprobe es jemals für notwendig hielt, die Mindestgröße/Ausdehnung der FV ihrer Stichprobe bekannt zu geben, obwohl gerade im Bereich kleiner FV eine unterschiedliche Wahl der Mindestgröße zu größeren Unterschieden der Häufigkeitswerte von FV führen dürfte. Möglicherweise ist die Größenbestimmung aufgrund überlagerungsbedingt unscharfer Grenzen nicht immer möglich gewesen.

Wenige Autoren äußern sich darüber, wie sie zwischen SFV und FO differenzierten. Es ging offenbar darum, dass die SFV nicht breiter als die Falx selbst sein dürfte, jedoch wurde keine genaue Angabe zur Breite der Falx gemacht.

„Wenn es sich bei der Falxverkalkung um eine einfache Kalkeinlagerung in der Dura handelt - die Falx stellt ja eine Duplikatur der Dura dar - so kann diese entsprechend der normalen Breite der Falx nur Millimeter stark sein“ (Parnitzke, 1961, S. 27).

Es ist also anzunehmen, dass er die Differenzierung zwischen „diffusen“ SFV und FO über die Beurteilung der FV-Breite vornahm. Ein genaues Maß gibt auch er nicht bekannt.

Seuffer (1969) konnte auch keine Quellen über die Breite der Falx in der Literatur finden. Eigene Recherchen führten zu einer Quelle, welche die Breite der Falx mit ca. 2 mm und die Breite der an der Kalotte anliegenden Dura mit ca. 1 mm festlegt (Yoganandan, 1998).

Seuffer definiert SFV anfangs als sich max. 1 mm breit darstellende Gewebsverkalkung (S. 1), später dann als max. 2,5 mm darstellende Gewebsverkalkung (S. 9). Nach ihm müssten projektionsbedingt auch noch breitere Darstellungen bei nicht exakt frontalen Aufnahmeeinstellungen zu beobachten seien, jedoch kämen die schwachen FV dann gar nicht mehr zur Abbildung.

Bruyn (1963) deutete 0,5 - 2 mm breite Schatten im Falxbereich als SFV, FO dagegen mussten mindestens eine Breite von 4 mm vorweisen. Er lässt leider offen, wie er bei FV mit einer Breite im Grenzbereich von >2 und < 4 mm entschied. Einige FO hatten eine Breite von 8 - 14 mm, manche erreichten sogar 25 mm.

Bruch (1965) schrieb von 2 - 3 mm breiten Kalkschatten, die gelegentlich ein- oder beidseitig in den Durablättern der Falx auftraten.

### *2.3.7 Zur anatomischen Beschaffenheit von FV*

Wie bereits im Kapitel 2.1 erwähnt, beschreiben bisher fast alle histologischen Studien die FV als knochentypische Struktur, oft bestehend aus einer äußeren Kompakta und einem inneren Markraum mit Knochenbälgen sowie Fett- und blutbildenden Zellen (Batnitzky u. a., 1974; Heidrich & Küstner, 1967; Rao u. a., 2007; Tsitouridis u. a., 2006; Tubbs u. a., 2006; Zandian u. a., 2014).

In FO können sich auch Knochenmetastasen und leukämische Infiltrate einnisten, da sie sich strukturell nicht von sonstigen membranösen Knochen unterscheidet (Batnitzky u. a., 1974; Tubbs u. a., 2006).

Bezüglich der Beschaffenheit beschreibt Batnitzky u. a. (1974) die FO als Platten und Einheiten aus hartem, weißem Material, das normalerweise dünn und brüchig ist und leicht von der Falx separiert werden kann.

Hassler (1965) beschreibt die kleinsten FV als abgerundete Körnchen, welche auch zu größeren Aggregaten verschmelzen können.

Schmidt (1914, zit. Nach Bruyn, 1963, S. 99) merkte an, dass er Kalzium nur in Form von Foki, niemals jedoch diffus in der Dura, vorfand.

Tsitouridis u. a. (2006) berichten von knochenähnlichen Dichtewerten der FO in ihren CT-Scans. Die FO stellten sich als relativ klein, rund, oval und keilförmig dar.

### *2.3.8 Zur Äthiologie von FV*

Die Falxverkalkungen zählen zu den häufigsten Formen der „physiologischen intrakraniellen Verkalkungen“ (Boening, 1930; Bruch u. a., 1965; Daghighi u. a., 2007; Kieffer & Gold, 1974; Kiroglu u. a., 2010; Sedghizadeh u. a., 2012; Uduma u. a., 2012)

Darunter werden alle altersabhängigen physiologischen und neurodegenerativen Verkalkungen verstanden, die keinerlei Krankheitsevidenz besitzen und keine pathologische Ursache haben (Kieffer & Gold, 1974).

Dennoch wird eine erhöhte Inzidenz der FV bei gewissen Krankheitsbildern beobachtet, besonders beim Basalzellnävus- oder Gorlin-Syndrom, aber auch bei endokrinen Störungen (Hypophysen- oder Schilddrüsendysfunktionen), chronischer Niereninsuffizienz, Vitamin D-Intoxikation, Hypertelorismus, Myotone Dystrophie, Brachyolmie (Typ Maroteaux) und bei Pseudoxanthoma elasticum (Bruyn, 1963; Cohen, Richieri-Costa, Guion-Almeida, & Saavedra, 1995; Lo Muzio, 2008; Miaux u. a., 1997; Rao u. a., 2007; Saulite, Voykov, Mehra, Hoetzenecker, & Guenova, 2013; Shohat, Lachman, Gruber, & Rimoin, 1989; Siewert, 1989; Stavrou u. a., 2000).

Umgekehrt wurden in Studien mit großen Stichproben öfters die Haupterkrankungen und Todesursachen der Fälle mit FV herangezogen, um gehäufte Krankheitsbilder in Beziehung

mit der FV bringen zu können. Da die Häufigkeiten verschiedener Krankheitsgruppen mit FV jedoch nicht in Relation zu den entsprechenden Krankheitsgruppen in der Gesamtstichprobe gebracht wurden (diese wurden nämlich nicht erhoben), haben die Ergebnisse nur geringe Aussagekraft. In Studien mit neurologischem und psychiatrischem Krankengut wurden überwiegend Gefäßstörungen in der FV-Gruppe beobachtet und daher mit FV in Zusammenhang gebracht. Parnitzke (1948) gibt Gefäßstörungen mit 37 %, Bruyn (1963) bei SFV mit 50 % und bei FO mit 25 % und Lanig (1976) mit 22,5 % an. Teir & Ohela (1956) untersuchten eine Stichprobe aus der Pathologie und fanden zwei Haupttodesursachen - zum einen wieder Gefäßerkrankungen, zum anderen den gewaltsamen Tod. Bruyn (1963) untersuchte zusätzlich zur neurologischen auch eine Stichprobe aus der Endokrinologie und fand unter deren FV eine große Mehrheit an metabolischen/endokrinologischen Störungen.

Heidrich & Küstner (1967) geben in einer Stichprobe aus unterschiedlichen medizinischen Fachbereichen die Gruppe der Gefäßstörungen bei FV ebenfalls führend mit 28 % an (knapp vor frischen Schädelverletzungen) und stellen zusätzlich fest, dass die Anzahl zerebral gesunder Patient/innen in dieser Gruppe deutlich geringer ist (12,5%). Sie schließen daraus, dass die osteoplastische Tendenz der Dura im Zuge intrakranieller Krankheiten etwa dreimal häufiger als bei zerebral Gesunden in Erscheinung tritt. Hauser (1968) führt als häufigste Krankheitsgruppe für FV ebenfalls Gefäßstörungen mit 35 % an, jedoch erkennt er, dass diese Häufigkeit für sein neurologisches Krankengut nicht ungewöhnlich und eine Zunahme im höheren Alter typisch ist. Er erkennt keinen Zusammenhang zwischen FV und einer der Krankheitsgruppen.

Seuffer (1969) stellte eine Stichprobe aus der Neurologie einer Stichprobe aus der Chirurgie bezüglich der Häufigkeitsverteilung von SFV einander gegenüber, ohne sich auf Krankheitsgruppen einzulassen. Die chirurgische Stichprobe bestand v. a. aus frischen Unfallverletzten, sollte damit weitgehend der Normalbevölkerung entsprechen und wurde daher als Kontrollgruppe eingesetzt. Er kam auf eine (ungewöhnlich hohe) SFV-Häufigkeit von 9,2 % in der chirurgischen Stichprobe und 18,6 % in der neurologischen Stichprobe und schloss daraus einen pathologischen Prozess, der bei der Entstehung von SFV beteiligt ist bzw. war. Die Stichproben waren zwar bezüglich Anzahl und Geschlecht relativ gut vergleichbar, jedoch war der Altersgipfel der chirurgischen Stichprobe zwischen dem 10.-30. Lebensjahr und der Altersgipfel der neurologischen Stichprobe zwischen dem 50.-60. Lebensjahr. Allein dieser Umstand könnte schon verantwortlich für das unterschiedliche FV-Häufigkeits-Ergebnis seiner Stichproben gewesen sein.

Hauser (1968), Lanig (1976) sowie Urbano & Viola (1976, zit. nach Hauser, 1968, S. 17) halten die FV als altersbedingte regressiv/involutiv-dystrophische Erscheinung. Lanig (1976) hält es auch für möglich, dass sich die FV infolge von Erkrankungen entwickle, welche nicht mit der Alterung zusammenhängen. Erst verbleibende Merkmalsträger würden eine Zunahme von FV- Fällen bis zu einem gewissen Alter bewirken. Er beobachtete die FV auch gehäuft zugleich mit anderen physiologischen intrakraniellen Verkalkungen (Lig. Petrosellaria, Korpus pineale, Plexus Chorioideus) und vermutet daher auch einen systemischen Faktor bei der Entstehung von FV.

Jüngere Studien stützen die von Heidrich & Küstner (1967) sowie von Wrangell, U. & Fassbender (1974) beschriebene osteoplastische Tendenz der Dura. Die subdurale Oberfläche der Dura mater, einschließlich der Falx, besteht aus einer einzigen Schicht von abgeflachten Zellen, die mesotheliale Ursprungs sind. Mesothelzellen entwickeln sich aus dem Mesoderm und können daher unter besonderen Umständen als Fibroblasten agieren. Etwa durch Trauma, Blutungen, Irritation oder Degeneration können sie sich einer metaplastischen Umwandlung unterziehen und Knochen bilden (Batnitzky u. a., 1974; Celzo u. a., 2013; Debnath u. a., 2009; Rao u. a., 2007; Tubbs u. a., 2006).

Bei Kindern scheinen die Autoren aufgrund sehr geringer Häufigkeit einig darüber zu sein, dass bei physiologischen intrakraniellen Verkalkungen i. d. R. eine Pathologie zugrunde liegen müsse (Ojuawo u. a., 2003; Stavrou u. a., 2000; Uduma u. a., 2012).

Verkalkte Meningeome sind von FV abzugrenzen, da es sich um eine Verkalkung des Meningeoms und nicht der Falx cerebri selbst handelt.

### *2.3.9 Zu falxangrenzenden Duraverkalkungen/Verknöcherungen*

Die Erhebung der Häufigkeit von SV und TV, deren Lokalisation und das Vorhandensein eines Kontaktes zur Kalotte ist bereits ergänzender Bestandteil dieser Studie. Es wurde jedoch nicht gezielt nach Studien über sonstige intrakranielle Duraverkalkungen recherchiert, um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen. Daher folgen nun nur über die Hinweise aus der verwendeten Literatur.

In zwei Studien über besonders große FV wurde erwähnt, dass der gesamte Sinuswandbereich von Verkalkungen ausgespart blieb (Tubbs u. a., 2006; Zandian u. a., 2014). Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass SV wesentlich seltener vorkommen als FV

oder dass es ganz andere Entstehungsmechanismen für SV verantwortlich sind. Die Häufigkeit von SV wird deutlich seltener als FV beschrieben. Teir & Ohela (1956) fanden 6 % SV gegenüber 11 % FV, Bruyn (1963) fand 0,7 - 2,5 % SV gegenüber 4,3 - 11,7 % FV. Nur Siewert (1988) fand die SV häufiger als FV (1 % SV gegenüber 0,4 % FV), jedoch schreibt er als einziger Autor den Großteil an vermeintlichen FV einer ausgeprägten Crista frontalis zu. Die SV-Häufigkeit wird als unabhängig vom Alter und Geschlecht angesehen.

Mehrere Autoren sind sich einig, dass Tentorium-Verkalkungen bzw. Verknöcherungen (TV) deutlich seltener beobachtet werden als FV. Sie befinden sich v. a. am hinteren freien Rand bzw. an der Spitze des Tentoriums (Bergerhoff u. a., 1963; Brossmann, 2001; Kieffer & Gold, 1974; Mayer, 1959; Parnitzke, 1961). Bruch, Bushe, & Gregl (1965) fanden in einer Stichprobe von 8014 Patient/innen TV mit 0,26 % und Verkalkungen der Falx cerebelli mit 0,12 % vor - im Vergleich dazu FV mit rund 8,14 %.

TV sind als Reste eines Hämatoms oft die Folge eines geburtstraumatischen Tentoriumeinrisses (Parnitzke, 1961).

Zu sonstigen Duraverkalkungen sei nur erwähnt, dass Verkalkungen in der Dura an jeder beliebigen Stelle innerhalb der Schädelhöhle vorkommen können, jedoch gibt es Stellen, an denen Kalkablagerungen und Verknöcherungen häufiger beobachtet werden. Einerseits im Sellavakuum (als Sellabrücke) und andererseits im Ansatzgebiet des Tentoriums an den Lig. Petrosellaria (Parnitzke, 1961).

## **2.4 Zusammenfassung der Literatur zu FV**

Die Mehrheit der Autoren hält die FV für eine physiologische intrakranielle Verkalkung, welche mit altersabhängiger Neurodegeneration ohne Krankheitsevidenz einhergeht, es gibt jedoch auch eine Häufung von FV-Fällen in Verbindung mit pathologischen Ursachen, welche insbesondere bei Kindern (aufgrund der geringen FV-Inzidenz im jungen Alter) zu berücksichtigen ist.

Die FV wurden als kleine runde bis keilförmige Foki oder dünne brüchige Platten beschrieben, welche bis über 2,5 cm breit werden und die ganze Falx einnehmen können. Es existieren noch keine statistischen Angaben über die (metrische) Größe von FV. Der bevorzugte Verkalkungs-/ Verknöcherungsbereich der Falx ist anterior, posterior dagegen seltener, eine Ausbreitung der FV von anterior aus ist möglich. Histologisch wurde die FV

bisher mit knochentypischem Gewebe beschrieben. Im CT werden auch knochentypische Dichtewerte erreicht. In der CT werden intrakranielle Verkalkungen aus differenzialdiagnostischen Gründen typischerweise ab dem Grenzwert von 100 HE definiert, da v. a. Blutungen CT-Werte bis knapp unter 100 HE erreichen können. FV werden immer wieder in SFV und in FO unterschieden. Hierzu diene neben der strichartigen FV-Form offenbar auch die Bestimmung der FV-Breite: Etwa 0,5 bis max. 2 oder 3 mm breite FV wurden als SFV und die breiteren FV als FO differenziert.

Die Häufigkeit von FV wird in der Literatur sehr unterschiedlich angegeben. Der medizinische Fachbereich der jeweiligen Studienstichprobe könnte die Schwankungen zwar mit beeinflussen, möglicherweise sind jedoch v. a. röntgenbildgebungsbedingte Fehlerquellen und uneinheitlich angewandte FV-Mindestgrößen verantwortlich für die Differenzen. Ohne dem Ausreißer-Wert von Antoci und Farina (1963, zit. nach Bruyn, 1963) und ohne den drei NBCC-Studien ergeben alle Werte zusammen den Mittelwert 7,1 % mit einer Standard-Abweichung von +/- 5,1.

19 von 24 Studien (79 %) beschreiben eine erhöhte FV- Inzidenz bei zunehmendem Alter.

9 von 11 Korrelationswerten (81 %) sprechen für einen starken bis sehr starken Zusammenhang zwischen der Höhe der FV-Inzidenz und der Höhe des Alters.

Von 11 gültigen Angaben zur Geschlechter-Verteilung sind 7 Angaben (64 %) für eine meist deutlich höhere FV-Inzidenz bei Männern und 3 Angaben (27 %) für eine geringfügig höhere FV-Inzidenz bei Frauen. Eine Studie erkennt keinen Unterschied in der Verteilung von FV zwischen Männern und Frauen.

Zehn Studien machen Angaben zur antero-posterioren Verteilung von FV. 90 % dieser Studien erkennen eine anterior gehäufte Verteilung, davon sprechen 50 % nur von FO. Von Mayer (1959) wird die anteriore Häufung bei FO im Gegensatz zu SFV als typisch angesehen. Lanig (1976) errechnete eine 99-prozentige Wahrscheinlichkeit dafür, dass die anteriore Häufung von FV in seiner Stichprobe nicht zufällig ist.

Die Häufigkeit von SV wird deutlich seltener als von FV beschrieben. Das Verhältnis zwischen SV zu FV beträgt nach Teir & Ohela (1956) 1:2 und nach Bruyn (1963) 1:5.



Diese Angaben zur Häufigkeit und Verteilung von FV stammen fast ausschließlich von Röntgenstudien. Diese Projektionsmethode zeigt jedoch ein nicht unerhebliches Potential für Fehlinterpretationen.

Die CT ist aufgrund der höheren Sensitivität bei der Erkennung intrakranieller Verkalkungen, der Möglichkeit von Dichtemessungen, der räumlichen Bestimmbarkeit aufgrund des Schnittverfahrens, der immer feineren Auflösung sowie der Möglichkeit von dreidimensionalen Darstellungen gegenüber anderen Bildgebungsverfahren überlegen.

Von den drei CT-Studien mit Angaben zur FV-Häufigkeit verwendete eine Studie unspezifische Dichtebereiche weit unter 100 HE (Becker, 1977), eine Studie fasste die FV mit anderen Duraverkalkungen zusammen (Daghighi u. a., 2007) und eine Studie zählte nicht die Merkmalsträger sondern sämtliche FV pro Person (Uduma u. a., 2012). Diese Studien zeigen daher auch nicht die gewünschten Angaben zur Geschlechterverteilung und zur Altersverteilung von FV. Eine zielgerichtete CT-Studie zum Thema FV erscheint notwendig, um mehr Klarheit in die Thematik zu bringen und die vielen Unsicherheiten bezüglich der FV auszuräumen.

## **2.5 Bildgebung und Bilddarstellungsmöglichkeiten der Mehrschicht-Spiral-CT**

Bei der Mehrschicht-Spiral-CT (MSCT) wird durch den Spiralverlauf des Scanvorgangs bei kontinuierlichem Tischvorschub zunächst ein inkonsistenter Datensatz geschaffen. Dieser wird durch spezielle Rekonstruktionsprinzipien (Interpolationsverfahren) in einen planaren Datensatz umgerechnet. Abhängig vom CT-Protokoll kommen dafür unterschiedlich weiche (rauscharme, dafür etwas verschwommene) oder harte (kantenbetonende, dafür rauschreichere) Faltungskerne zum Einsatz. Der resultierende primäre Rohdatensatz besteht aus einer Vielzahl kleinster dreidimensionaler Bildelemente – den Voxeln (siehe Abbildung 2). Je nach Art der Untersuchung werden daraus wiederum beliebig dicke Schichten mit beliebig starken Überlappungen rekonstruiert. Dabei können die Voxel zwar vergrößert, nicht aber weiter verkleinert werden (Prokop u. a., 2006).

Der gemäß Protokoll erworbene (sekundäre) Datensatz wird im Archiv gespeichert und der primäre Rohdatensatz aufgrund begrenzter Speichermöglichkeiten verworfen, sofern er nicht weiter benötigt wird (Lipson, S. 2005). Die erworbenen Aufnahmen stehen danach im DICOM-Format (Digital Imaging and Communications in Medicine) über einen PACS-Server (Picture Archiving and Communication System) an verschiedenen

Computerarbeitsplätzen je nach Berechtigung in vollem oder begrenztem Ausmaß zur Verfügung. Als Standard liegen die CT-Bilder in Form axialer Schnittbilder vor, denn eine Rekonstruktion anderer Schnitt-ebenen wird für Diagnosezwecke zumeist nicht benötigt.

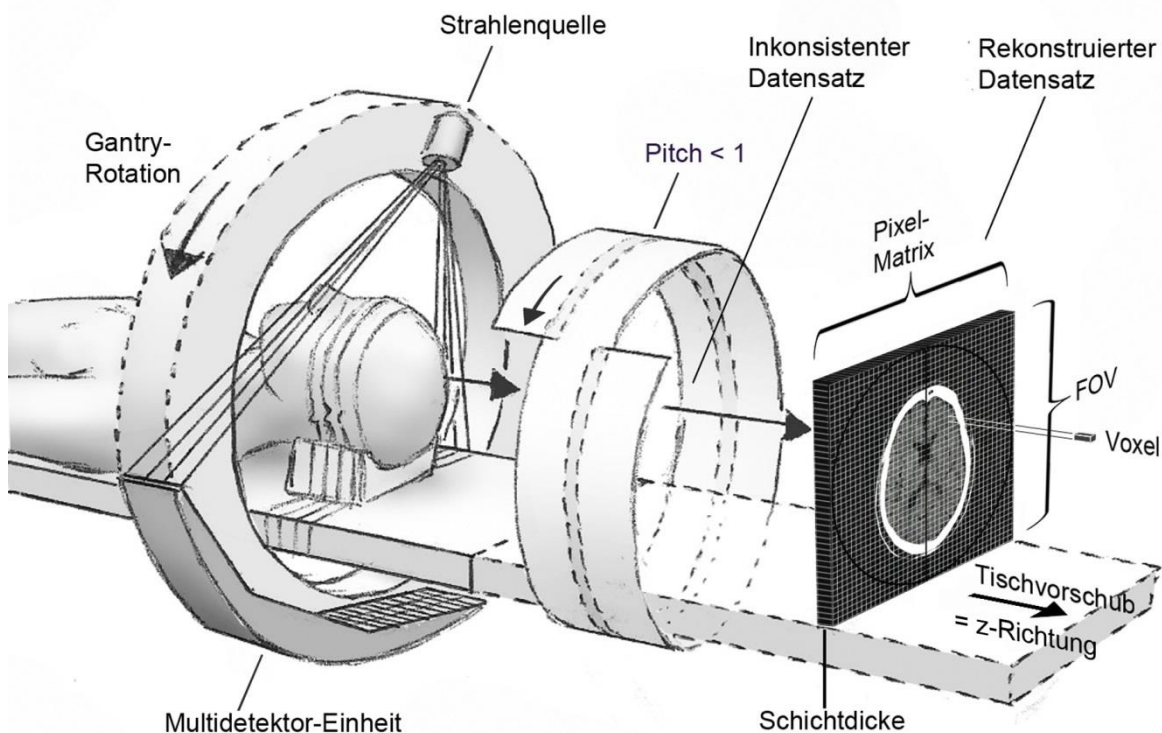


Abbildung 2: CT-Scanvorgang- und Bildgeneration

### 2.5.1 Hounsfield-Skala und Fensterung

Die Hounsfield-Einheit (HE, engl.: HU = Hounsfield Unit) lehnt sich an den linearen Schwächungskoeffizienten  $\mu$  und definiert Wasser mit 0 HE und Luft mit -1000 HE. Über das Referenzsystem dieser zwei Fixpunkte wird die Dichte unterschiedlichster Gewebe auf der sogenannten Hounsfield-Skala eingeordnet. Aufgrund der 2-Punkt-Kalibrierung ist die Skala nicht vollkommen frei vom Einfluss wechselnder Strahlenqualitäten. Wird mit niedriger Röhrenspannung gearbeitet, werden für Gewebe mit hoher Ordnungszahl (kalkhaltige Gewebe) höhere CT-Zahlen ermittelt als bei höherer Röhrenspannung (Prokop, 2006).

Im CT-Bild werden Dichtewerte als Grauwerte repräsentiert. Allerdings erkennt das menschliche Auge nur ca. 40-100 Grauwerte. Laut Becker (1981) erkennt das menschliche Auge am Monitor sogar nur 16 Graustufen. Es können also niemals alle möglichen Dichtewerte in erkennbaren Graustufen dargestellt werden. Aus diesem Grund werden alle

erkennbaren Grauwerte dem diagnostisch relevanten Dichtebereich zugeteilt, welcher somit kontrastreicher erscheint. Dieser Vorgang wird Fensterung genannt.

Bei der Fensterung wird einerseits als Zentrum der mittlere Grauwert festgelegt, andererseits wird über die Weite des Fensters (Fensterbreite) definiert, welche CT-Werte oberhalb und unterhalb des mittleren Grauwertes noch gegenüber Schwarz und Weiß differenziert werden können (Prokop, 2006).

Die Strukturgrenze einer bestimmten Struktur wird besonders klar dargestellt, wenn die Fensterung so gewählt ist, dass alles über dem unteren Dichtegrenzwert der Struktur als Weiß erscheint. Für FV (Dichte  $\geq 100$  HE) werden beispielsweise bei  $c=50$  und  $w=100$  alle CT-Werte ab  $\geq 100$  HE weiß dargestellt und CT-Werte ab  $\leq 0$  HE schwarz dargestellt. Ähnlich, jedoch am kontrastreichsten und ohne Grauwerte, werden CT-Werte  $\geq 100$ HE bei  $c=100$  und  $w=0$  weiß dargestellt, alle darunterliegenden CT-Werte dagegen schwarz. Die Weißgrenzen verlaufen jedoch gleich wie im ersten Beispiel. Solche scharfen Grenzen erlauben sehr genaue Größenmessungen.

Bei nicht korrekter Wahl der Fensterung werden Form und Größe der gesuchten Struktur falsch dargestellt. Strukturen können auch fälschlicherweise ein- und ausgeblendet werden. Knochenaufnahmen eignen sich kaum für die Bestimmung und Vermessung von Verkalkungen – die Knochengrenzen werden zwar optimal dargestellt werden, jedoch verschwimmen die Grenzen zunehmend bei schwächeren Verkalkungen aufgrund der großen Weite des Fensters und des vermehrten Rauschens.

### 2.5.2 3D-Darstellungsmöglichkeiten in der CT

Neben den üblicherweise für die Bilddiagnostik verwendeten axialen Schnittbildern können auch andere Schnittebenen rekonstruiert werden. Wenn die Ausdehnung der Voxel in alle Raumebenen gleich groß ist (abhängig von der Detektorgröße und der rekonstruierten Schichtdicke), so ist auch die Qualität dieser rekonstruierten Bilder gleichwertig mit den axialen Schnittbildern.

*Die multiplanare Reformatierung (MPR)* ist der erste Schritt in Richtung dreidimensionaler Bilddarstellung. Eine Serie axialer Bilder wird zu einem Stapel zusammengefasst und aus dem virtuellen Datenvolumen neue, beliebig schwenkbare Ebenen errechnet. Es werden drei Schädeldarstellungen zugleich angezeigt, deren Ebenen i. d. R. senkrecht zueinander liegen.

Räumlichere Darstellungen können geschaffen werden, wenn nur gewisse Dichteprofile lichtundurchlässig definiert werden und deren Oberfläche mit einer virtuellen Lichtquelle beleuchtet wird, sodass die Oberflächenbeschaffenheit vom Schattenverlauf betont wird. Je deutlicher bzw. kontrastreicher sich Strukturen von ihrer Umgebung abheben, desto besser können sie räumlich visualisiert werden (z.B. Knochen und kontrastmittelgefüllte Gefäße). Solche Darstellungen bieten eine rasch erfassbare räumliche Übersicht der relevanten anatomischen Gegebenheiten mit kompakter Information und werden daher gerne für den Informationsaustausch mit externen Ärzten gewählt.

Die *Volume Rendering Technique (VRT)* können mehrere CT-Werte gleichzeitig mit unterschiedlicher Lichtdurchlässigkeit und Farbe dargestellt werden. Aufgrund der Überlegenheit dieser Technik gegenüber anderen 3-D-Verfahren wird sie vom Autor für die bildliche Darstellung von FV bevorzugt. Mit dieser Methode könnten mehrere FV eines Individuums zugleich mit der jeweiligen Größe, Raumausdehnung und Position innerhalb der Falx cerebri veranschaulicht werden.

## **2.6 Bestimmung der Bildqualität in der CT**

### *2.6.1 Rauschen*

Das Bildelementrauschen besteht aus Schwankungen der CT-Werte der Pixel um einen Mittelwert aufgrund vermindert auftreffender Röntgenquanten (bei abgeschwächtem Röntgenstrahl).

Rauschen lässt sich u. a. durch höhere Röhrenspannung und höheren Röhrenstrom vermindern. Dies erhöht jedoch die Strahlenexposition. Eine Verdopplung des Verhältnisses von Signal zu Rauschen wird erst mit vierfacher Dosis erreicht (Prokop u. a., 2006).

### *2.6.2 Raumauflösung bei niedrigem Kontrast*

Das Auflösungsvermögen bei niedrigem Kontrast (auch Kontrastauflösung, Niedrigkontrastauflösung, engl. contrast resolution) bezeichnet die Fähigkeit der Bildgebung, Objekte trotz geringem Dichteunterschied zu ihrer Umgebung unterscheidbar darzustellen. Sie wird z.B. bestimmt als die kleinste darstellbare Größe von Objekten mit 3 HE Dichtedifferenz bei einer Dosis von ca. 50 mGy (Schmidt & freyschmidt, 2001).

### 2.6.3 *Raumauflösung bei hohem Kontrast*

Die Ortsauflösung (auch System-, oder Hochkontrastauflösung; engl. spacial resolution) bezeichnet den technisch kleinsten darstellbaren Abstand zwischen zwei kontrastreichen Strukturen und wird mit *Linienpaaren pro cm (Lp/cm)* angegeben. Die Ortsauflösung kann durch ein kleines FOV und harte Faltungskerne verbessert werden. Sie wird von der Pixelgröße limitiert. In z-Richtung wird sie von der effektiven Schichtdicke limitiert. Um korrekte CT-Werte zu erhalten, sollte die z-Abtastung gleich oder kleiner sein als die Objekte im Scan. Eine Schichtüberlappung verbessert die z-Ortsauflösung (Schmidt & freyschmidt, 2001).

Eine sehr gute Kontrastauflösung bei gleichzeitig sehr scharfer Ortsauflösung kann nur mit hoher Strahlendosis ermöglicht werden und ist daher ethisch nicht vertretbar. Es muss zwischen Bildqualität und Strahlendosis ein guter Kompromiss gefunden werden, welcher für Gehirnaufnahmen z.B. über den Einsatz glättender Faltungskerne, breiterer Schichtdicken und spezieller Expositionskontrollprogramme ermöglicht wird. (Prokop u. a., 2006).

## 2.7 Einflussfaktoren auf die Bildqualität

### 2.7.1 *CT-Protokoll*

Je nach Art der geplanten Untersuchung sind (den Bild- und Dosisanforderungen entsprechend) unterschiedliche CT-Protokolle festgelegt, in denen die notwendigen Scanner- und Rekonstruktionsparameter bereits enthalten sind (Prokop u. a., 2006).

Folgende Scannerparameter werden unterschieden (Prokop u. a., 2006):

- der Scan-Typ (sequentiell oder Spirale),
- die Röhrenspannung (bestimmt die Durchdringungsfähigkeit der produzierten Röntgenstrahlen),
- der Röhrenstrom (bestimmt die Menge der produzierten Röntgenstrahlen),
- die Rotationszeit (Zeit pro Scannerumdrehung),
- der Pitch (beschreibt das Verhältnis zwischen Tischvorschub pro Umdrehung und der Schichtkollimation),
- die Schichtkollimation (Anzahl und Breite der verwendeten Detektor-Reihen, sie bestimmen die Mindestauflösung in z-Richtung) und
- der Gantry-Tilt (der Strahlen-Detektor-Komplex kann bis 30° um die x-Achse geschwenkt werden)

Folgende Rekonstruktionsparameter werden unterschieden (Prokop u. a., 2006):

- das Field of View (FOV, Durchmesser des vom Röntgen-Fächerstrahl fassbaren runden Rekonstruktionsfeldes),
- die Matrix (bestimmt die Anzahl der Pixelelemente),
- der Zoomfaktor (Vergrößerung eines FOV-Teilbereiches auf die ganze Matrix),
- die rekonstruierte Schichtdicke (aus der primären Schichtkollimation berechnet),
- das Inkrement (bestimmt die Abstände der rekonstruierten Schichten),
- der Faltungskern (Rückprojektionsfilter; ermöglicht eine objektgerechte Darstellung mit weichzeichnender oder scharfzeichnender Gewichtung) und
- die Fenstereinstellung (siehe Kapitel 2.5.1).

### 2.7.2 CT-Artefakte

#### **Verfahrensbedingte Artefakte**

Der *Partialvolumeneffekt* (PVE) zeigt sich in Form verwischter Struktur Grenzen durch Mittelung unterschiedlicher Dichtewerte im kleinsten Volumenelement, dem Voxel. Die Auswirkung der Verwischung ist am größten in z-Richtung, da zumeist die Ausdehnung des Voxels in z-Richtung (abhängig von Schichtdicke und Schichtkollimation) deutlich größer ist als die Ausdehnung in x- und y- Richtung. Eine Reduktion des PVE gelingt durch die Wahl schmalerer Schichtdicken. Diese ist begrenzt nach unten durch die Schichtkollimation (Prokop u. a., 2006).

Durch rein rechnerische Mittelung und einer Fensterung von  $c=50$  /  $w=100$  ( $\geq 100$  HE werden weiß dargestellt) würden die Grenzen einer FV mit einer homogenen Dichte von ca. 150 HE gegenüber einer Falx mit 60 HE relativ genau dargestellt werden. Verkalkungen mit geringerer Dichte würden dagegen aufgrund des PVE im Randbereich kleiner - und dichtere Verkalkungen größer dargestellt werden. Ein ähnliches Verhalten der Dichtewerte wurde von Becker (1981) experimentell bestätigt.

*Aufhärtungsartefakte* bedeuten eine schattenartig erniedrigte Dichtedarstellung hinter dichten Strukturen aufgrund einer Erhöhung des Anteils harter Röntgenstrahlen durch Resorption weicher Röntgenstrahlen. Der Aufhärtungsartefakt tritt bevorzugt in der hinteren

Schädelgrube zwischen den Felsenbeinen auf, die Falx liegt außerhalb davon. Aber auch der Bereich nahe dem Schädeldach ist vom Aufhärungsartefakt betroffen und kann künstlich erniedrigte CT-Werte vorweisen. Unterschiedlich große Schädel führen ebenfalls zu einer Aufhärtung und veränderten CT-Werten. Um dies so gering wie möglich zu halten, wird in der Regel der Röhrenstrom angepasst.

*Windmühlen-Artefakte* entstehen in der Spiral-CT-Bildgebung bei zu grober Abtastung in z-Richtung und plötzlichen Konturänderungen von Strukturen in z-Richtung. Der Name kommt daher, dass man beim Durchscrollen der Ebenen windmühlenartig rotierende hyper- und hypodense Streifen wahrnimmt.

### **Detektorbedingte Artefakte**

*Strahl- und Ringartefakte* entstehen durch kurzzeitigen oder anhaltenden Detektorausfall. Dies führt zu kreisrunden oder geraden schmalen Linien. Die Behebung gelingt nur durch technische Reparatur. Strahl- und Ringartefakte können leicht erkannt werden, da sie sehr charakteristisch sind. Der Falxbereich sollte von solchen Artefakten nicht betroffen sein, damit keine falschen CT-Werte entstehen.

### **Patient/innenbedingte Artefakte**

*Bewegungsartefakte* sind streifenförmige Dichteverstärkungen bzw. Doppel- oder Mehrfachkonturen durch räumliche Veränderung des Objekts während des Messvorgangs. Abhilfe wird v. a. durch schnelle Scangeschwindigkeit geschaffen.

*Metallartefakte* entstehen durch Implantate (Clips oder Splitter), sie führen zu Reflektionen und erzeugen so hyperdense und hypodense Streifen (meist fächerförmig, sternartig) auf dem Bild. Im Schädel-CT wird die Schräge der Schnittebenen so ausgerichtet, dass der Einflussbereich von Metallartefakten durch Zahnprothesen außerhalb des Hirn- bzw. Falxbereiches liegt.

Patient/innenbedingte Artefakte sind sehr charakteristisch und können leicht festgestellt werden. Liegen FV im Einflussbereich von solchen Artefakten, so können sie nicht exakt beurteilt werden.

### **2.7.3 Kontrastmittelgabe**

Durch das Kontrastmittel werden Blutgefäße dichter dargestellt als das Hirnparenchym (hyper- statt hypodens). Der Plexus choroideus und die harten Hirnhäute werden dichter dargestellt. FV könnten vorgetäuscht werden, daher darf für den Nachweis von feinen Falxverkalkungen keine Kontrastmittel-CT verwendet werden.

## 2.8 Metrische Messungen in der CT

### *Lineare Messungen*

Für die Vermessung von FV kommen lineare Distanzmessungen und sagittale Flächenmessungen in Betracht. Die linearen Distanzmessungen sollten in allen Raumrichtungen stattfinden – die Länge und Höhe, um einen Eindruck über die sagittale Ausbreitung zu gewinnen, die Breite der FV dagegen könnte laut einiger Autoren zumindest scheinbar morphologische Rückschlüsse nahelegen (Naidich u. a., 2012; Parnitzke, 1961; Seuffer, 1969). Diese Art der Vermessung schließt bereits die Anwendung gängiger Kriterien nach WHO oder RECIST (Response Evaluation Criteria in Solid Tumors) sowie vom Tumorstaging aus, welche nur uni- oder bidimensionale Messungen beinhalten.

Whyms u. a. (2013) stellte in seiner Untersuchung mit dreidimensionalen Kieferrekonstruktionen fest, dass lineare Messungen auch bei unterschiedlichen Scanparametern genau sind.

Als einfache und gut reproduzierbare Messpunktbestimmung für Distanzmessungen eignen sich die Maximalwerte der FV-Ausdehnung, man erhält so einen „Vermessungsrahmen“, deren Grenzen die FV von innen berührt. Die Berechnung der Fläche innerhalb dieses Rahmens ermöglicht die Reduktion der Größenbestimmung auf einen Wert. Hier muss man sich jedoch im Klaren sein, dass diese Fläche keine konstante Proportion zur tatsächlichen sagittalen Fläche der FV vorweisen kann.

### *Volumenmessungen*

Die Volumenmessung kann zwar genauere Ergebnisse liefern und hat eine bessere Reproduzierbarkeit, jedoch eignet sie sich nur gering zur Größenbestimmung von FV in dieser Arbeit, v. a. da solche Werte keine genaue Information über die Ausbreitung der FV auf der Falx liefern. Somit sind für diese Arbeit keine Volumenmessungen geplant.



## *Flächenmessungen*

Zur Beschreibung größerer FV eignen sich besonders sagittale Flächenmessungen, da sich FV naturgemäß entlang der Falx ausbreiten. Gemeint ist die zweidimensionale Fläche im Falxverlauf und nicht die dreidimensionale FV-Oberfläche, deren Messungen nach Whyms u. a. (2013) bei schichtdickenbedingten Stufenbildungen stets überschätzt werden. Zweidimensionale Flächenwerte dagegen leiden nicht unter der Oberflächenvergrößerung, liefern eine genaue Information über die Ausbreitung der FV auf der Falx und können ebenso wie lineare Werte relativ leicht imaginär interpretiert werden. In Einzelschichten können Flächenbestimmungen, z.B. über das Markieren eines „Range of Interest“, bestimmt werden, hier wird jedoch schichtbedingt nur selten das vollständige Umrissmaß der Falx abgebildet. Erwünscht wäre ein zweidimensionales Markieren der genauen Umrisse einer dreidimensionalen (also die max. FV-Ausdehnung aus mehreren Schichten wiedergebenden) FV-Abbildung von lateral. Nach Wissen des Autors gibt es diese Funktion in den gängigen medizinischen 3D-Software-Anwendungen nicht. Alternative 2D-Bildbearbeitungsprogramme können hier jedoch aushelfen. Nach Prokop u. a. (2006) sollten Größenmessungen aufgrund von perspektivischen Verschiebungen bei dreidimensionalen Rekonstruktionen nur am Schnittbild erfolgen. Die Falx cerebri ist jedoch eine Ausnahme im menschlichen Körper und besitzt eine gerade Fläche, entlang welcher die FV sich ausbreitet.

## *Die kleinste messbare Größe*

Man muss sich der Tatsache bewusst sein, dass der PVE bei FV, die kleiner als die doppelte Auflösung der Bildgebung sind, zu Ungenauigkeiten in der Darstellung führt. Das Problem des maximalen Additionseffektes und des maximalen Subtraktionseffektes aufgrund des PVE, insbesondere bei kleinen FV, sei anhand folgender Skizze näher veranschaulicht:

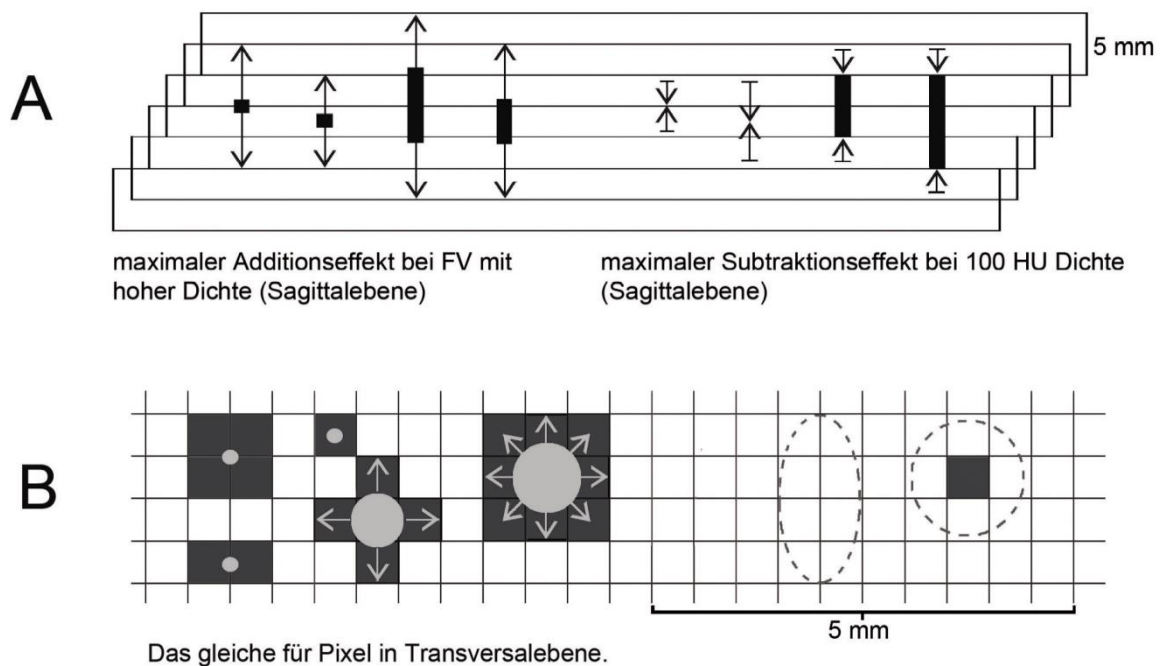


Abbildung 3: Demonstration der maximalen Addition und Subtraktion aufgrund des Partialvolumeneffektes

Der Einfluss des PVE ist in erster Linie abhängig von den Dimensionen des kleinsten Volumenelementes der Bildgebung - dem Voxel. Dieser wird am einfachsten im „voxelbasierten“ Modell mit scharfkantigen Grenzen zwischen den Voxeln beschrieben. Das sogenannte „gitterbasierte Modell“ dagegen definiert einen Punkt in der Mitte jedes Voxels. Jeder Punkt repräsentiert Daten entlang der z-Achse (entsprechend des Schichtempfindlichkeitsprofils) und innerhalb der Schichtebene entsprechend der verwischenden „Punkt-Streu-Funktion“ (Prokop u. a., 2006). Das hat zur Folge, dass die Pixelstruktur verwaschen wird und fast nur im Bereich scharfer Kontrastgrenzen noch angedeutet wahrgenommen werden kann.

Rauschen, Interpolationsungenauigkeiten des für das Spiral-CT typischen inkonsistenten Datensatzes und Ungenauigkeiten in der Führung bewegter Scannermechanik führen zu einer weiteren Verschlechterung der Bildqualität. Diese kann in der vorliegenden Studie nicht eindeutig quantifiziert werden, da sich die Protokolle der Konstanzmessungen im Rahmen der CT-Wartungsverträge von den verwendeten Untersuchungsprotokollen deutlich unterscheiden.

Subedi u. a. (2015) verwendeten die „ Agatston Score“ bei Verkalkungen der A. carotis interna und stellten die Bedingung von zumindest 3 zusammenhängenden und über den Schwellwert von 130 HE liegenden Pixeln für weitere Volumenberechnungen. Wu u. a. (2009) untersuchten die Messbarkeit sehr kleiner zerebraler, supratentorieller Verkalkungsherde eines Patienten mit Neurozystizerkose mit MRT und CT. Sie erfassten mit einer Resolution von 0,45 x 0,45 x 5 mm und einem FOV von 230 mm im Weichteilfilter durchschnittlich 1,1 mm<sup>2</sup> (0,6-1,7 mm<sup>2</sup>) große Verkalkungen ab einem Schwellwert von 100 HE.

Demnach sollen in dieser Arbeit kleinste FV in x-und y-Richtung bis zu einer Größe gemessen werden, die sich auf 1 mm runden lässt. Solch kleine FV können möglicherweise wertvolle Informationen zur FV-Entstehung liefern.

### 3 Forschungsfragen

Mit welcher Häufigkeit treten FV und SV sowie TV und ausgeprägte Varianten der Crista frontalis auf und wie häufig haben FV und SV Kontakt zum Schädel?

Welche Besonderheiten der FV (und SV) gibt es bezüglich Geschlechterverteilung, Altersverteilung, Position, Größe, Breite, Verlauf, Markbereich und Dichte?

Wie stellen sich große FV-Fälle dreidimensional dar? Wie unterscheidet sich die Vermessungsfläche zur sagittalen Fläche von dreidimensionalen FV-Darstellungen? Können in der dritten Dimension noch typische FV-Formen differenziert werden?

Welche möglichen Hinweise bezüglich der Struktur der FV (Verkalkung oder Verknöcherung) kann das CT liefern?

## **4 Methodologie**

### **4.1 Studiendesign**

Es wurde eine explorative, retrospektive Datenerhebung an der Universitätsklinik für Radiologie in Graz durchgeführt. Hierfür wurden sämtliche konsekutiv angefertigte computertomographische Schädelscans eines gewissen Zeitraums gesichtet und jene verwendet, welche den erforderlichen Kriterien entsprachen.

### **4.2 Stichprobe**

#### *4.2.1 Einschlusskriterien*

Es wurden nur CT-Untersuchungen verwendet, welche zumindest Aufnahmen für das Gehirnfenster beinhalteten, da diese aufgrund des geringen Rauschens für HE- Messungen verwendet werden konnten. Weiters mussten die verwendeten Schnittbilder den gesamten Bereich der Falx und des Tentoriums umfassen und kontrastmittelfrei sein. Der Falxbereich sollte frei von störenden Artefakten (i. e. L. gerätebedingt und patient/innenbedingt) sein.

Das Alter der Patient/innen muss zwischen 10 und 99 Jahren liegen.

#### *4.2.2 Ausschlusskriterien*

Untersuchungen, die nur Knochenaufnahmen des Schädels enthielten, mussten ausgeschlossen werden, da aufgrund des verstärkten Bildrauschens keine genauen CT-Wert-Messungen erfolgen konnten.

Ebenso wurden Aufnahmen ausgeschlossen, in denen geräte- und patient/innenbedingte Artefakte die Messungen beeinflussten und erschwerten.

Untersuchungen, welche keine Nativ-Aufnahmen (ohne Kontrastmittelenhancement) beinhalteten, konnten nicht verwendet werden, da die Falx aufgrund des Kontrastmittels deutlich höhere CT-Werte aufgewiesen hätte (siehe Kapitel 2.7.3).

War das Alter der Patient/innen unter 10 und über 100 Jahre, so wurden ihre Bilder nicht verwendet.

#### *4.2.3 Stichprobengröße*

Ziel war es, zumindest 100 Fälle mit FV zu erfassen. Gemäß der Häufigkeitsangaben in der Literatur wären hierfür etwa 500 (bei 20 % FV) bis 1000 (bei 10 % FV) Patient/innen notwendig gewesen. Vom 31. August 2015 rückgehend wurden so viele Patient/innen erfasst, bis ausreichend Fälle mit FV gefunden waren. Schon nach 11 Untersuchungstagen konnten insgesamt 124 Fälle mit FV identifiziert werden, wodurch die Erhebung beendet werden konnte. Die Stichprobe umfasste somit 365 Patient/innen.

#### *4.2.4 Repräsentativität*

Im Jahr 2015 hatten 12122 unterschiedliche Fälle eine oder mehrere Schädel-CT-Untersuchungen ohne Kontrastmittel (Gesamtpopulation 2015); 48,7 % waren Männer und 51,3 % waren Frauen.

Die Stichprobe umfasst 365 unterschiedliche Fälle mit einer oder mehreren Schädel-CT-Untersuchungen ohne Kontrastmittel (3 % der Gesamtpopulation 2015); 55 % sind Männer und 45 % sind Frauen. Die Gesamtpopulation 2015 und die Stichprobe haben bezüglich Verteilung in Altersgruppen (10 - 19,... 90 - 99) eine starke Korrelation (Rangkorrelation nach Spearman) von  $r = .91$  ( $p = < .01$ ).

Es scheint trotz sehr geringem Anteil der Stichprobe an der Gesamtpopulation 2015 eine gewisse Repräsentativität gegeben zu sein.

### 4.3 Messparameter

Folgende primäre und sekundäre Messparameter wurden ausschließlich vom Autor der vorliegenden Studie erhoben:

#### 4.3.1 Primäre Messparameter

Die folgenden primären Messparameter dienen der Beantwortung der Forschungsfragen.

Tabelle 3: Primäre Messparameter

Parameter	Ausprägung	Niveau
<b>Über Syngo.plaza bezogen:</b>		
Scanner	1= Siemens Somatom Definition AS+ 2= Somatom Sensation Cardiac 64 3= Toshiba Aquillion 64 Zeilen 4= Toshiba Aquillion one 320 Zeilen	nominal
Alter	10 – 99	metrisch
Geschlecht	0= w, 1= m	nominal
FV	Ja / Nein	nominal
Verkalkte Strukturen	Verkalkungsfrei = 0, FV=1, FV+SV = 2, SV = 3	nominal
Struktur der größten FV	1= kernig, 2= Markbereich angedeutet, 3= Markbereich erkennbar	ordinal
Max. CT-Wert der größten FV	in HE	metrisch
Maximale Länge der größten FV (axial, Falxverlauf)	Auf mm gerundet	metrisch
max. Höhe der größten FV (Tischvorschubrichtung, Körperlängsachse)	Auf mm gerundet	metrisch
Max. Breite der größten FV (axial, senkrecht zum Falxverlauf)	Auf mm gerundet	metrisch
Vermessungsfläche der größten FV (L x H x sin 90°-Gantry Tilt)	in cm <sup>2</sup>	metrisch
Position der größten FV in Sagittalebene	Anterior, medial, posterior	ordinal
Position der größten FV in Transversalebene im Verhältnis zur Falx cerebri	1= mittig, 2= leicht verlagert, 3= deutlich verlagert, 4= eher aufgelagert	ordinal

Schädelverbindung der größten FV	1= Kalotte, 2= Crista Galli, 3= beides	ordinal
Gesamtzahl der FV pro Fall	Zahlensumme	metrisch
Position mehrerer FV in Sagittalebene pro Fall	Anterior, medial, posterior	ordinal
Schädelverbindung weiterer FV	1= Kalotte, 2= Crista Galli, 3= beides	ordinal
Anzahl der SV	Zahlensumme	metrisch
Von SV betroffene Region	Anterior, medial, posterior	ordinal
Schädelverbindung von SV	Ja/nein	nominal
Anzahl von Tentoriumverkalkungen	Zahlensumme	metrisch
Axiale Länge der Crista Frontalis (außerhalb von Überlagerungen der vorderen Schädelgrube)	> 9mm	metrisch
<b>Über Syngo.via und Photoshop bezogen:</b>		
Sagittale Ausdehnung der FV (Lateralansichten von 3D-Darstellungen)	In cm <sup>2</sup>	metrisch

#### 4.3.2 Sekundäre Messparameter

Folgende sekundäre oder akzessorische Messparameter bieten ergänzende Informationen, dienen teils als Korrekturgröße und möglicherweise auch als nützliche Information für ähnliche oder weiterführende Studien.

Tabelle 4: Sekundäre Messparameter

Parameter	Ausprägung	Niveau
<b>Über Syngo.plaza bezogen:</b>		
Maximaler CT-Wert der Scheitel-Falx	In HE	metrisch
Bereiche mit Hyperdensitäten (80-99 HE)	1= langgezogene Bereiche, 0= einzelne Foki	nominal
(Zusätzliche) undifferenzierbar kleine FV – Foki (<0,5 mm breit); ja / nein)	1 = Ja	nominal



Struktur der größten FV in zugleich vorhandenen Knochenaufnahmen für Vergleich	1= kernig, 2= Markbereich angedeutet, 3= Markbereich erkennbar	ordinal
L, H, B der größten FV in zugleich vorhandenen Knochenaufnahmen für Vergleich	Auf mm gerundet	metrisch
Gantry Tilt	In Winkelgrade (°)	metrisch
Verlauf der Lagetrennlinien (siehe Kapitel 4.5.7)	+3, +2, +1, 0, -1, -2, -3 (cm, gerundet)	ordinal

## 4.4 Materialien

### 4.4.1 Verwendete CT-Geräte

Im Universitätsklinikum Graz werden vier Mehrzeilen-Spiral-Computertomographen (MSCT) der 3. CT-Generation (Strahlenquelle und Detektoreinheit drehen sich gemeinsam) für alle Schädeluntersuchungen verwendet. Sie unterscheiden sich v. a. durch zwei verschiedene Hersteller (SIEMENS Healthcare Diagnostics GmbH und TOSHIBA Medical Systems GmbH) und Baujahr. Eine zum Teil unterschiedliche Detektorzeilen-Anzahl spielt für die Schädeluntersuchungen eine untergeordnete Rolle, da die Schichtkollimation laut Standardprotokoll (s. u.) hierfür fast identisch ist. Folgende Geräte wurden verwendet:

1.) *Siemens Somatom Definition AS+* (SD AS+, BJ 2000)

2.) *Siemens Somatom Sensation Cardiac 64* (SSC 46, BJ 2004)

Diese beiden Geräte stehen auf der Radiologie im 2. Stock und im EG. Aufgrund der engen räumlichen Beziehung zur Chirurgie gibt es hier häufig einen traumatischen oder postchirurgischen Untersuchungshintergrund.

3.) *Toshiba Aquilion 64 Zeilen* (TA 64, BJ 2006)

Dieses Gerät steht in der EBA (Erstbefundaufnahme), es dient v. a. der Abklärung von atraumatischen Blutungen. Mit der CT-Untersuchung in Zusammenhang stehende Stürze von Patient/innen sind hier eher kreislaufbedingt.

4.) *Toshiba Aquilion one 320 Zeilen* (TA one 320, BJ 2008)

Dieses Gerät wird v. a. für Angiographien und Untersuchungen von Kindern und Jugendlichen eingesetzt.

#### 4.4.2 Verwendete CT-Protokolle

Aufgrund des retrospektiven Designs dieser Studie war das Protokoll der zur Verfügung stehenden CT-Untersuchungen bereits vorgegeben (siehe Tabelle 5). Es wurde davon ausgegangen, dass die Parametereinstellungen bereits für eine optimale Bildgebung bei möglichst niedriger Strahlendosis gewählt wurden und eine Veränderung (im Zuge eines prospektiven Designs) mit möglichen Dosissteigerungen als Konsequenz ethisch nicht vertretbar gewesen wäre. Ein weiterer Vorteil war, dass die Daten in Ruhe, unabhängig vom Untersuchungsergang erhoben werden konnten.

Tabelle 5: CT-Untersuchungsprotokolle

<b>Protokoll für:</b>	SSD AS+		SSC 64		TA 64		TA one 320	
	Gehirn	Knochen	Gehirn	Knochen	Gehirn	Knochen	Gehirn	Knochen
<b>Geräteeinstellung</b>								
Scantyp	Spiral-CT		Spiral-CT		Spiral-CT		Spiral-CT	
Röhrenspannung in kV	120		120		12 fix		120 fix	
Röhrenstrom in mA / mAs	ca. 320 mAs		ca. 320 mAs		150 mA		150 mA	
Rotationszeit	variiert mit mAs		variiert mit mAs		ca. 0,75 sek		ca. 0,75 sek	
Pitch	0,55		0,65		0,656		0,656	
Schichtkollimation in mm	40 x 0,6		32 x 0,5		32 x 0,5		32 x 0,5	
<b>Rekonstruktion</b>								
FOV Durchmesser in mm (mit Zooming)	300 x 300 (ca. 250 x 250)		300 x 300 (ca. 250 x 250)		240 x 240		240 x 240	
Matrix (Pixelzahl)	512 x 512		512 x 512		512 x 512		512 x 512	
Pixeldurchmesser in mm (mit Zoom)	0,59, (ca. 0,5)		0,59, (ca. 0,5)		0,47		0,47	
Gantry Kippung Max. 30° bds.	variiert		variiert		Variiert, max. 30°		variiert, max. 22°	
Schichtdicke (mm)	3	1,5	3	1,5	5	3	5	3
Increment Abst.	2	1	2	1	2,5	1,5	2,5	1,5

(mm)								
Faltungskern	J 30 s medium smooth	H70H very sharp	H 31 S	H70H very sharp	FC 21	FC 81	FC 21	FC 81
Fensterlevel (HE)	35	300	35	700	30	350	30	350
Fensterbreite (HE)	80	1400	70	3200	74	2700	74	2700

Die allgemeinen Beschreibungen der verschiedenen Protokollparameter werden im Kapitel 2.7.1 beschrieben.

Grundsätzlich kann man mit diesen Einstellungen für alle vier CT-Geräte vergleichbare Bilderergebnisse erwarten, zu beachten sind jedoch die breiteren Schichten der Toshiba-Rekonstruktionen, welche in einer etwas größeren z-Ortsauflösung resultieren.

Die Einstellungen für die Gehirnaufnahmen ermöglichen aufgrund des geringen Rauschens annähernd korrekte HE-Bestimmungen im niedrigen Dichtebereich um 100 HE. Aufgrund der dickeren Schichtdicken kann man dafür einen verhältnismäßig größeren Einfluss des PVE auf Strukturgrenzen erwarten als bei den Knochenaufnahmen. Es macht Sinn, Größenmessungen in Gehirnaufnahmen gegenüber Knochenaufnahmen zu vergleichen, um die Auswirkungen des PVE bei den breiteren Schichtdicken besser einschätzen zu können (siehe Kapitel 4.5.5 und 5.2.2). Bei kleinen und schwachen FV sind jedoch aufgrund des starken Rauschens in Knochenaufnahmen keine Größenmessungen möglich (siehe Kapitel 2.5.1).

#### 4.4.3 *Verwendete Software*

##### *syngo@.plaza VB10A (Siemens Healthcare)*

syngo.plaza ist eine von Siemens Healthcare entwickelte Software, die als PACS-Erweiterung und Spezialarbeitsplatz dient, mit unterschiedlichen Werkzeugen für die 2D-, 3D- und 4D-Befundung.

##### *syngo@.via*

Syngo.via bietet eine verbesserte 3d-Verarbeitung und Darstellung. DICOM-Dateien aus dem PACS müssen einzeln über Eingabe von Patient/innendaten importiert werden. Es können keine Patient/innenlisten erstellt werden. Daher eignet sich diese Software nur ergänzend zur Arbeit mit Syngo.plaza.

## Adobe® Photoshop CS2

Außerhalb der Klinik wurde diese Software für die Weiterverarbeitung von Snapshots für das Bildmaterial und für die genauen Flächenmessungen verwendet.

### **4.5 Datenerhebung**

#### *4.5.1 Vorbereitungen*

Da die vorliegende Arbeit einen Zugriff auf patient/innenbezogene Daten innerhalb des Universitätsklinikums Graz erforderte, musste als erstes die Genehmigung der Ethikkommission eingeholt werden. Freundlicherweise erklärte sich Prof. Deutschmann als klinischer Betreuer bereit und ermöglichte einen freien Platz an einer PACS-Workstation mit Befundungsbildschirm sowie eine kurze Einführung in die Anwendungen von Syngo.plaza und Syngo.via, half bei organisatorischen Hürden und beantwortete aufkommende fachspezifische Fragen. Es wurden Zugangsdaten des Autors für Syngo.plaza angefordert, um die selbstständige und unabhängige Datenerhebung zu ermöglichen. Der Zugang für das PACS-System war schon vorbestehend aufgrund der Beschäftigung des Verfassers am Universitätsklinikum Graz. Sämtliche Daten wurden selbstständig vom Verfasser der These erhoben, anonymisiert und verarbeitet.

#### *4.5.2 Erhebungszeitraum*

Die Erhebung der Excel-Datentabelle dauerte von 3. September bis 5. Oktober 2016. Während dieser Zeit wurden sämtliche Schädel-CTs von 11 aufeinanderfolgenden Untersuchungstagen gesichtet. 31 Fälle mussten ausgeschlossen werden, 365 den Einschlusskriterien entsprechenden Fälle sind geblieben. Die Erhebung sämtlicher Daten eines Falles variierte aufgrund der unterschiedlich intensiven Messungen stark zw. 2 min. (keine FV) und ca. 25 min (mehrere FV).

Die Erstellung der dreidimensionalen Bilder erfolgte zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach der Datenerhebung bis zum Frühjahr 2016. Das Importieren in syngo.via und die Darstellung eines Falles in den erwünschten Einstellungen in 3D dauerte 10 - 20 Minuten, die Flächenmessungen, die Zusammenstellung mehrerer Ansichten und die Ergänzung mit zusätzlichen Informationen in Photoshop dauerte effektiv ca. 45 min. pro Fall (die Flächenmessungen der größten FV und der Verkalkungen insgesamt von einem Fall dauerte ca. 2 - 3 min.).

#### 4.5.3 Prozedere für die Excel-Datenerhebung

- 1.) Erstellen einer chronologisch gereihten CT-Untersuchungsliste in Syngo.plaza. Aus dieser wurden die verschiedenen Schädel-CT-Untersuchungen nacheinander gewählt und in der zugleich geöffneten Excel-Tabelle auf eine bereits erfolgte Fall-Erfassung geprüft. Erste Ausschlusskriterien (s. o.) kamen hier zur Anwendung, weitere Ausschlüsse erfolgten während der anschließenden Schritte.
- 2.) Der Name, das Geburtsjahr, der Gerätetyp und das Geschlecht wurden erfasst. In der Standardfenstereinstellung (Hirn-Fensterung,  $c=30-35$  /  $W=70-80$ ) wurden der scheidelnähe Falxbereich unterhalb des Sinus sagittalis superior mit dem Tool ROI (Range of Interest) markiert (hyperdens erscheinende Foki wurden dabei ausgelassen) und der maximale HE-Wert zum Einschätzen der allgemeinen FalxDichte bestimmt. Die Bestimmung des durchschnittlichen HE-Wertes eignete sich nicht, da mittels der elliptischen Begrenzung des Tools der schmale und gerade Verlauf der Falx schwer markiert werden konnten und hypodense Bereiche außerhalb der Falx den durchschnittlichen HE-Wert verfälscht hätten (resultierend in einer schlechten Reproduzierbarkeit). Anschließend wurde eine Fensterung von  $c=50$  /  $w=100$  vorgenommen (Strukturen mit  $HE \geq 100$  erschienen weiß, Strukturen mit  $HE \leq 0$  erschienen schwarz), Schnittebene für Schnittebene durch den Schädel gescrollt und nach FV, SV und TV gesucht. Weiße Hyperdensitäten wurden mit dem Tool „Distanzlinie“ vermessen (siehe Kapitel 4.5.5). War deren Länge / Breite so klein, dass sie nicht auf 1 mm gerundet werden konnte, dann wurde für den Falxbereich das Vorhandensein von zusätzlichen undifferenzierbar kleinen Foki notiert. Das Vorhandensein von Hyperdensitäten zw. 80-99 HE (langgezogene Bereiche oder Foki) im Falxbereich wurde mittels der Fensterung  $c=90$  /  $w=20$  geprüft und gegebenenfalls notiert. War die axiale Länge (in Transversalebene) der Crista frontalis stark ausgeprägt, wurde sie vermessen und ab 9 mm dokumentiert.
- 3.) Waren differenzierbare FV, SV oder TV vorhanden, dann wurden bei FV und SV zunächst die Lokalisation und Anzahl bestimmt (siehe Kapitel 4.5.7). Bei der FV mit offenbar größter Ausdehnung in der Sagittalebene wurden dann bei entsprechender Fensterung ( $c=100$  /  $w=0$ ) die maximale Ausdehnung in allen Ebenen vermessen (siehe Kapitel 4.5.5) Für die spätere Berechnung der „Vermessungsfläche“ der größten FV musste auch das Gantry Tilt (eingestellte Neigung der Schnittebene gegenüber der Senkrechten zum Tischvorschub) notiert werden. Weiters wurden von

der größten FV auch die Lage entlang der x-Achse („FV-Verlauf“, siehe Kapitel 4.5.6), das Vorhandensein von FV-Hohlräumen als Hinweis für Knochenmark (in Knochenfensterung), der maximale CT-Wert mittels ROI und das Vorhandensein einer Verbindung zum Schädel (Fensterung  $c=50/w=100$ , zur Kontrolle auch Knochenfensterung) bestimmt. Der Schädelkontakt wurde auch bei den SV geprüft. Zuletzt wurden auch Messungen für die Bestimmung der Tischvorschubrichtung vorgenommen (Abbildung 7), um die Variation der Trennlinien für die Positionsbeschreibung erfassen zu können.

- 4.) Kontrollmessungen: 35 Fälle mit FV enthielten zusätzlich Knochenaufnahmen. Diese wurden verwendet, um das Vorhandensein von FV-Hohlräumen als Hinweis für Knochenmark erneut zu prüfen. Bei 14 solcher Knochenaufnahmen konnte auch eine Kontrollgrößenmessung der größten FV unternommen werden da die FV eine ausreichende Dichte vorwies. Bei den restlichen Fällen mit niedrigen FV-Dichtewerten war dies aufgrund des Rauschens und des geringen Bildkontrastes nicht möglich.

#### *4.5.4 Prozedere für die Bilddatenerhebung*

Die FV können dank der ausgereiften CT-Technologie so dargestellt werden, dass die dreidimensionale Form und ihre Lage sowie der Verlauf innerhalb der Falx vom Betrachter gut erfasst werden können. Es kann angenommen werden, dass für den Osteopathen vor allem größere FV als Einflussgröße bei der Palpation von Relevanz sind. Aus diesem Grund wurden die 12 Fälle mit den größten FV für die bildliche Darstellung ausgewählt (die Größe der Vermessungsflächen wurde zuvor aus den Primärdaten entnommen). Zusätzlich wurden vier weitere interessante Fälle zur Darstellung ausgewählt.

Die Datensätze dieser Fälle wurden in Syngo.via importiert, dann wurde in der VRT die Darstellung des Sichtbaren mit  $\geq 100$  HE bestimmt, unterschiedliche Ansichten auf die Schnittbilder um die FV erstellt und diese mit Desktop-Screenshots festgehalten. Im Gegensatz zur VRT von Syngo.plaza bietet die VRT von Syngo.via ein Lineal als Größenreferenz. Mittels Photoshop konnten die verschiedenen Ansichten kompakt zu einem Bild zusammengefasst werden. Die Linksansichten behielten die Schädelbegrenzung als Referenz, die Rechtsansichten wurden isoliert und in eine den Primärdaten entsprechende Vermessungsfläche gesetzt. Alle weiteren Ansichten wurden ebenfalls isoliert dargestellt. Die

Ausrichtung der Lateralansichten wurde so gewählt, dass die Tischvorschubrichtung vertikal verläuft.

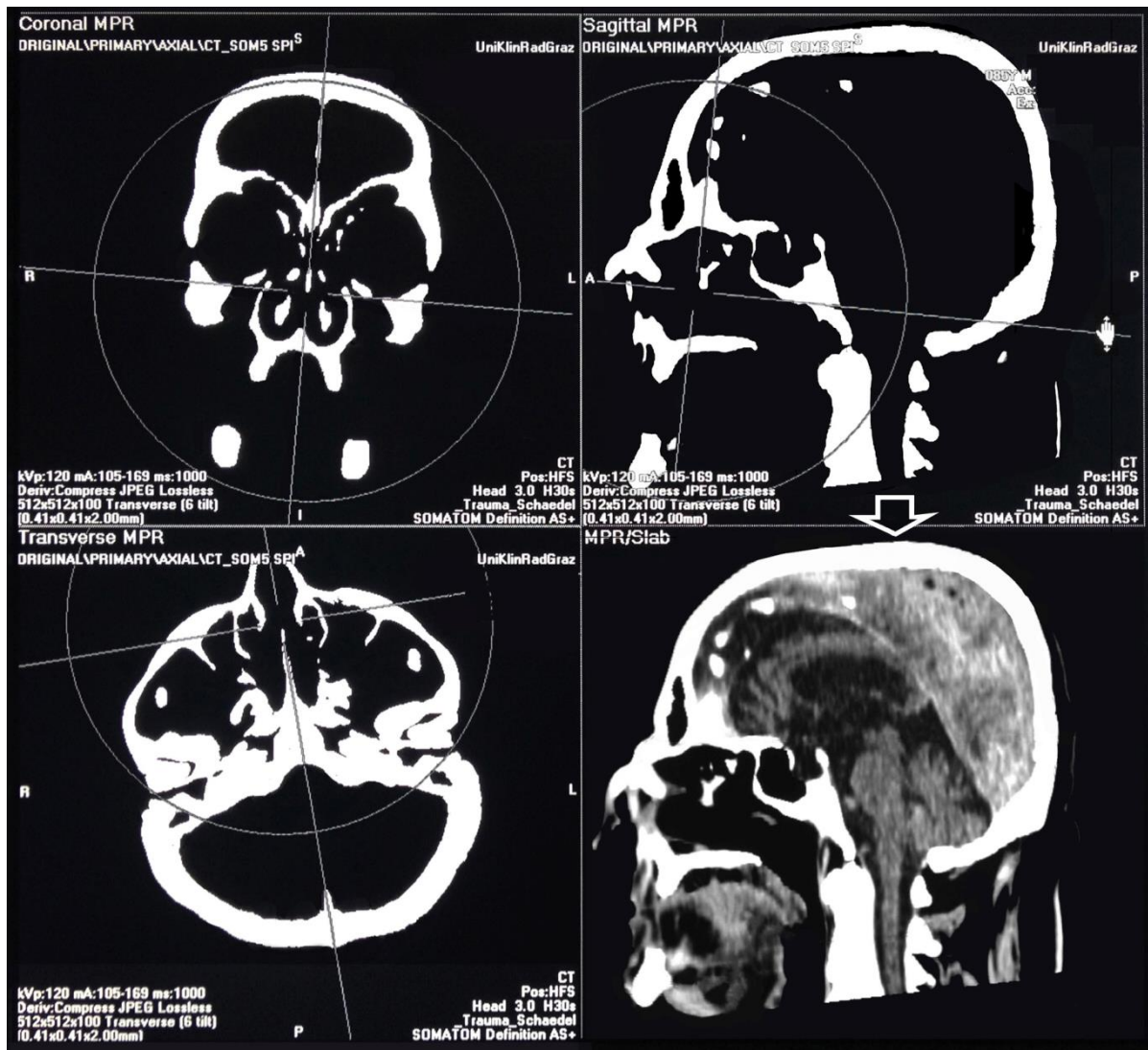


Abbildung 4: Optimale Ausrichtung der Schnittebene mittels MPR an die Falx cerebri

Die Falx konnte in der VRT leider nicht befriedigend zur Darstellung gebracht werden. Mit der MPR war dies jedoch möglich (MPR gibt es in Syngo.via und Syngo.plaza). Die Schnittebene konnte hier optimal an die Ausrichtung der Falx angepasst werden. Zumindest der freie Rand der Falx cerebri ließ sich im Weichteilfenster deutlich darstellen (Abbildung 4). Dessen Verlauf und feststellbare Falxdefekte wurden als Umrisslinie mittels Photoshop auf die bereits vorhandenen Linksansichten übertragen (blaue Linie).

Im nächsten Schritt wurden in Photoshop Flächenmessungen an den isolierten FV der Lateralansichten unternommen. Das Beibehalten eines inneren Größenreferenzsystems konnte über das von Syngo.via im jeweiligen Bild integrierte Lineal gewährleistet werden. Die FV wurde mit dem Tool „Zauberstab“ automatisch von Außen ausgewählt (Toleranz 10, da so die Grenzen der FV optimal erfasst wurden), die Auswahl umgekehrt und die Pixelzahl innerhalb dieses Umrisses mit dem Tool „Histogramm“ ermittelt. Mehrmaliges Auswählen hintereinander führte immer zur gleichen Pixelzahl. Im Vergleich zu der Pixelzahl einer (dem inneren Referenzsystem entsprechenden) Fläche von 10 x 10 cm konnte nun der Flächeninhalt der FV berechnet werden. Diese Flächenberechnung erfolgte für die jeweils größte FV (für Vergleiche mit der Vermessungsfläche der größten FV, welche aus den Primärdaten berechnet wurde) sowie für alle Verkalkungen im Falx- und Sinusbereich gesamt.

Im letzten Schritt wurden die bildlichen Darstellungen mit relevanten anonymen Daten (Fallzahl, Alter, Geschlecht, Messwerte) ergänzt.

#### *4.5.5 Vermessung der größten FV*

In der Fenstereinstellung  $c=50/w=100$  oder  $c=100/w=0$  wurde durch alle Schichten gescrollt und die optisch am größten erscheinende FV für die Vermessung bestimmt. Durch Zoomen wurde sie für eine möglichst präzise Messpunktbestimmung vergrößert. In der Schicht, in welcher die FV die weiteste Ausdehnung nach anterior hatte, wurde die Mausspitze des (integrierten) Tools „Distanzlinie“ an die vorderste Weiß-Grenze positioniert. Dann wurde zur Schicht mit der weitesten Ausdehnung der FV nach posterior gecrollt, die Mausspitze gedrückt nach dorsal gezogen und dort losgelassen, wo die Mausspitze den Punkt der hintersten Weiß-Grenze (als max. Ausdehnung der FV nach dorsal) erreichte (Abbildung 5).



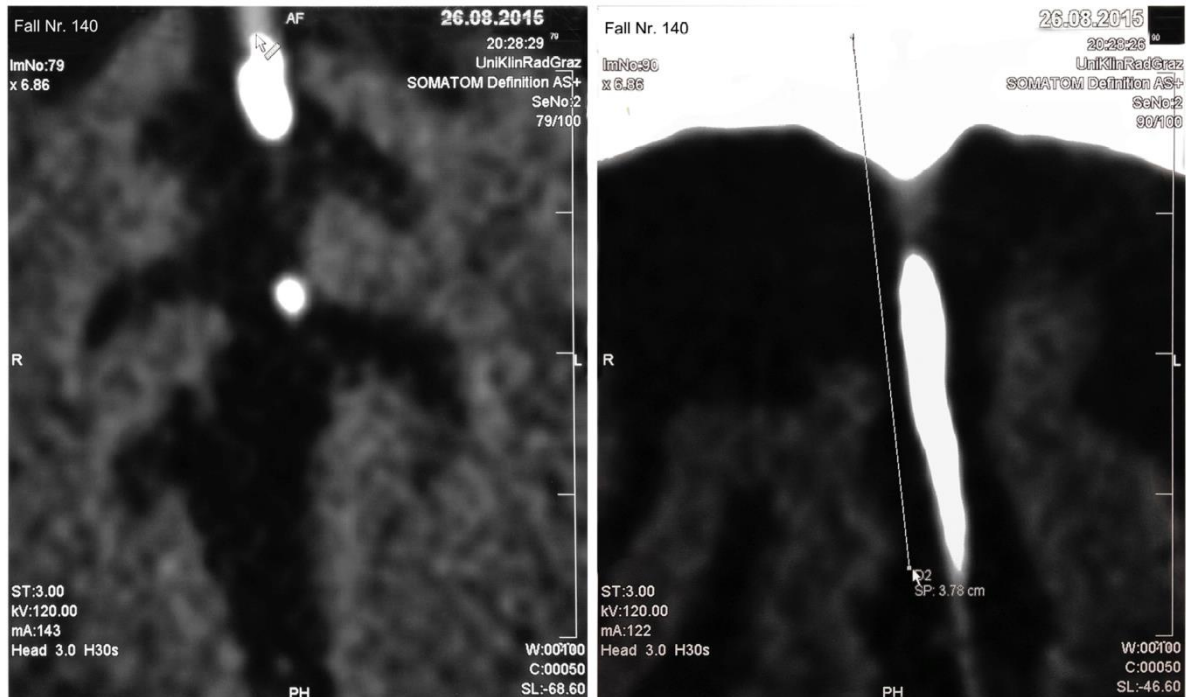


Abbildung 5: Vermessung der maximalen FV-Länge nach Positionierung der Mausspitze und Scrollen zwischen der max. FV-Ausdehnung

Für die Vermessung der maximalen FV-Breite wurde die Schicht mit der breitesten Darstellung der FV gewählt und senkrecht zum Falxverlauf der größte FV-Durchmesser mit der Distanzlinie zwischen den Weiß-Grenzen vermessen. Die Distanzen wurden im Zehntel-Millimeterbereich gemessen und auf Millimeter gerundet.

Die max. FV-Höhe konnte anhand axialer Schichten nur rechnerisch ermittelt werden. Es wurden alle Schichten gezählt, die beim Scrollen aneinander anschließende und überlappende Weißbereiche vorwiesen. Diese Zahl der Schichten wurde mit dem Inkrement multipliziert und das Ergebnis mit der Schichtüberlappung addiert (je nach Protokoll 2,5 oder 1 mm). Diese Berechnung wurde unter der Annahme gewählt, dass Schichten mit den zu messenden Weißbereichen von der FV vollständig durchdrungen werden. Man muss sich jedoch im Klaren sein, dass die Höhe von FV mit sehr hoher Dichte im Randbereich in Wahrheit auch knapp 10 mm kleiner bzw. die Höhe von sehr schwachen FV auch knapp 5 mm größer sein könnte (Abbildung 3).

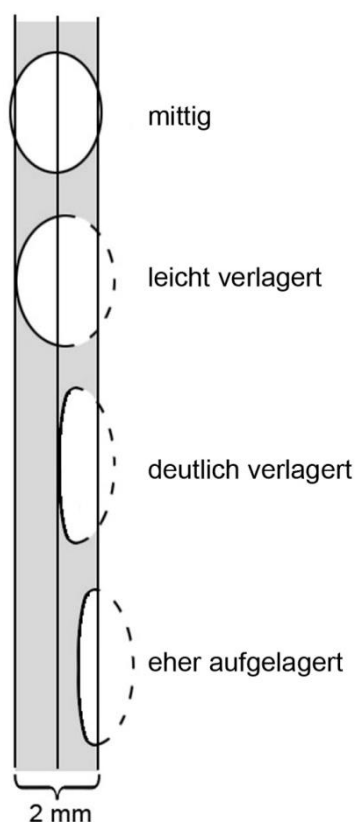
Mit der Flächenberechnungsformel eines Parallelogramms kann man mit dem Wert der Länge, der Höhe und dem Winkel der Gantry-Einheit auch die Vermessungsfläche berechnen ( $\text{Länge} \times \text{Höhe} \times \sin(90 - \text{Gantry Kipp-Winkel})$ ) und erhält dadurch einen

einzelnen Größen-Wert. Man muss sich jedoch bewusst sein, dass die Vermessungsfläche stets größer als die tatsächliche dem sagittalen Umriss entsprechende FV-Fläche ist und proportional variiert.

Um die Präzision der Messungen zu ermitteln, wurde für jedes CT-Gerät eine FV zw. 0,5 und 1,5 cm Länge gewählt und die Länge so wie die Breite 10 mal hintereinander (jeweils mit wiederholter Fensterung) vermessen. Auch die Schichten für die Höhenberechnung wurden 10 mal gezählt. Die Standarddeviation um einen Mittelwert bestimmt dabei das Maß der Präzision (siehe Kapitel 5.2.1).

#### 4.5.6 Bestimmung der FV-Position entlang der x-Achse

Um Hinweise darauf zu erhalten, ob die FV oberflächlich, inmitten einer der Durablätter oder dazwischenliegt, wurde versucht die Lage auch entlang der Horizontalachse zu bestimmen.



Ausschlaggebend dafür war die Lage der lateralen Weiß-Grenze. Eine FV wurde als „mittig“ liegend dokumentiert, wenn die lateralen Falxränder symmetrisch von der Falxmitte entfernt waren oder zumindest beidseits über den Falxrand herausragten. Bei einer optischen Verlagerung zu einer Seite hin wurde die Position der gegenüberliegenden FV-Grenze bezüglich der Falx cerebri bestimmt: Bei „leichter Verlagerung“ befand sich der innere FV-Rand auf dem gegenüberliegenden Falxrand. Bei „deutlicher Verlagerung“ befand sich der innere FV-Rand in der Mitte der Falx. „Eher aufgelagert“ war eine FV, wenn der innere FV-Rand inmitten der FV-zugewandten Durahälfte lag (Abbildung 6). Bei einer erwarteten Breite der Falx cerebri von ca. 2 mm (Yoganandan, 1998) wurde mit diesem System einer möglichen PVE-bedingten Überschätzung der inneren FV-Grenze von ca. 0,5 mm Rechnung getragen.

Abbildung 6: Lagevarianten der FV zur Falx cerebri entlang der x-Achse

#### *4.5.7 Bestimmung der FV- und SV-Position entlang der y-Achse*

Alle Autoren, welche die Lage von FV untersuchten (Batnitzky u. a., 1974; Hassler, 1965; Lanig, 1976; Mayer, 1959; Uduma u. a., 2012), begnügten sich mit einer Einteilung zwischen anterior und posterior, die lagetrennende Mittellinie wurde nie definiert. Lanig (1976) stellte zusätzlich fest, dass die meisten FV unterhalb des Bregma zu finden waren.

Angenommen, der Großteil der FV befände sich von lateral gesehen im medialen Bereich, so können Betrachter bei der Einteilung derselben FV-Fälle leicht zu konträren Ergebnissen in Bezug auf die Lage kommen.

Es sollte daher in dieser Studie die Lokalisation in anterior, medial und posterior unterschieden werden. Die große Herausforderung war es nun, die Grenzen zwischen diesen Zonen so zu wählen, dass alle Flächenanteile annähernd gleich groß waren, sodass sie auf den axialen CT-Bildern leicht definierbar und im Weiteren für den Osteopathen durch Palpation anatomischer Orientierungspunkte ebenfalls nachvollziehbar waren.

Der Verlauf der Grenzlinien zwischen den Lokalisationszonen ist beim Scrollen durch axiale Schichten immer in Richtung des Tischvorschubes und damit abhängig von der jeweiligen Lagerung des Kopfes während der CT-Bildgebung. Leider stellte sich heraus, dass die Kopfposition während des Tischvorschubs unterschiedlich stark in der Sagittalebene geneigt war, zum Teil verstärkt durch eine gelegentliche und unterschiedlich starke Kippung der Röntgen-Detektor-Einheit („Gantry Tilt“). Folglich variierte der Verlauf der Grenzlinien und die Einteilung der FV ist weniger genau. Um die Stärke dieser Abweichungen einschätzen zu können, wurden im Zuge der Erhebung auch grobe Messungen zum Verlauf der Trennlinien gemacht (Abbildung 7).

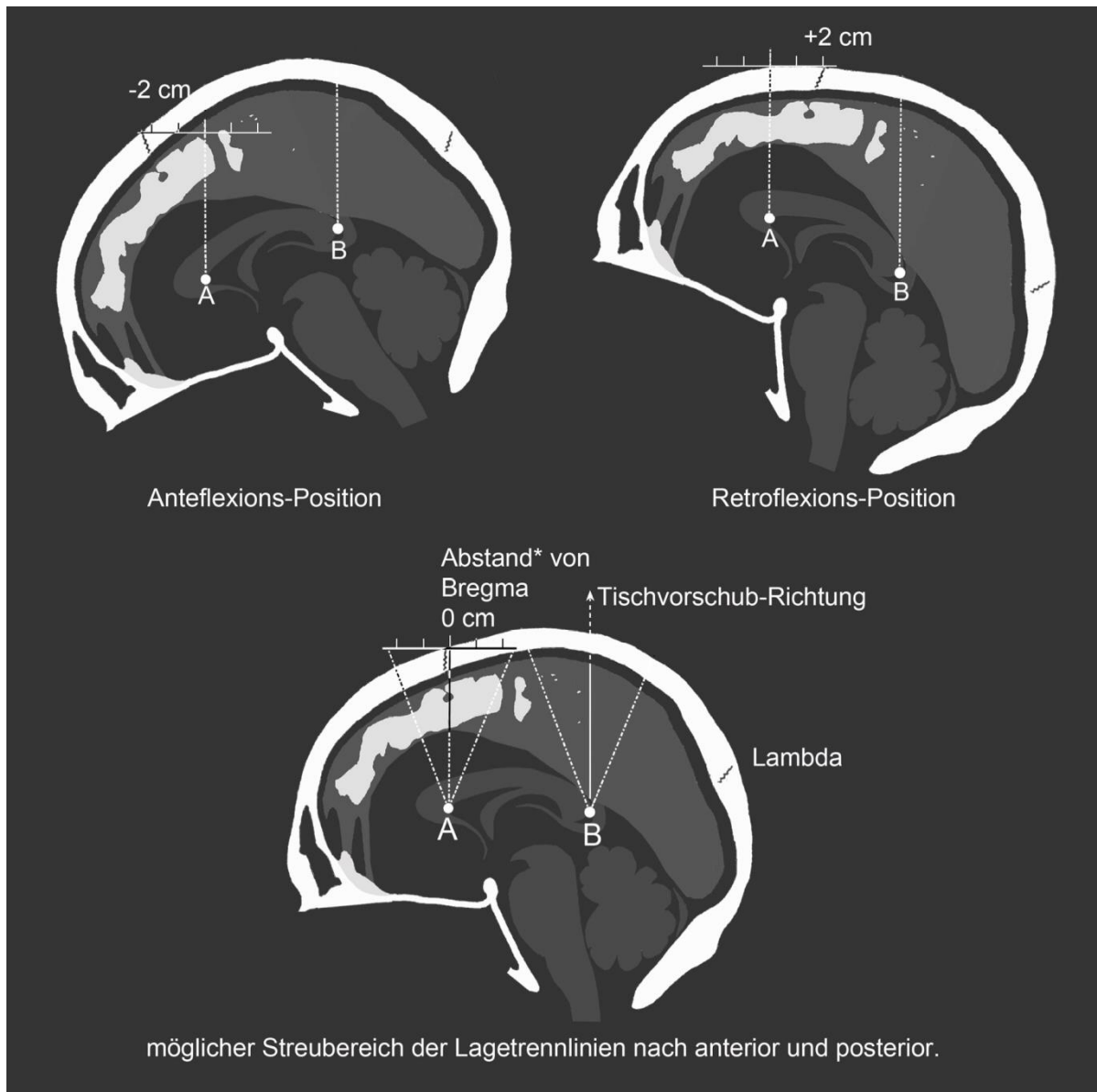


Abbildung 7: Eigene Skizze von Fall 358 mit den Trennlinien für die Lagebestimmung

Diese Trennlinien werden durch die Orientierungspunkte A und B sowie die Position des Kopfes während des Tischvorschubes bestimmt. Um die Ausrichtung der Trennlinien zwischen unterschiedlichen Fällen vergleichen zu können, wurde der Orientierungspunkt A in Tischvorschubrichtung auf die axiale Schnittebene auf Höhe des Bregma übertragen, der Abstand zu Bregma gemessen und auf ganze Zentimeter (-2 bis +2 cm) gerundet. Strichlierte Linien in Abbildung 7 markieren den Streubereich der Trennlinien aller Fälle. Die medialen Hirnstrukturen wurden in dieser Skizze für Veranschaulichungszwecke proportional in Anlehnung an Fotos anatomischer Präparate interpretiert.

Ausgehend von axialen Schnittbildern konnten für die Positions-Unterteilung in anterior, medial und posterior ( y-Achse) annähernd gleich große Falxbereiche definiert werden: Die zwei Lagetrennlinien ergaben sich durch Positionierung der Pfeilspitze (Computermaus) auf einen der Referenzpunkte A oder B („vorderste Begrenzung des Septum pellucidum“ und „Grenze zwischen Corpus callosum und Spitze des Tentorium“) und Scrollen in Tischvorschubsrichtung nach kranial. In der Regel lief die anteriore Lagetrennlinie durch das Bregma (nur in 23,6 % wich die anteriore Lagetrennlinie mehr als 1 cm nach anterior oder posterior von Bregma ab). Die Orientierungspunkte stellen sich aufgrund der Grenze zum Ventrikelsystem sehr kontrastreich dar (Abbildung 8).

Auch wenn die Trennlinie während der Untersuchung durch eine FV ging, so konnte die FV in der Regel überwiegend einem Bereich zugeschrieben werden. Bei sehr großen Verkalkungen wurden gegebenenfalls auch beide Falxanteile registriert (insg. in 5 Fällen).



Abbildung 8: Links: Anteriorer und posteriorer Orientierungspunkt liegen zufällig in der gleichen Schicht. Die Lagetrennlinie wird mittels Positionierung der Mausspitze bei gleichzeitigem Scrollen nachvollzogen. Mitte: FV liegt anterior. Rechts: Lagetrennlinie führt durch das Bregma

Ergänzend sollten die genauen FV-Grenzen aus den 16 dreidimensionalen Lateralansichten transparent übereinander gelagert und in realer Größe demonstriert werden: Es wurde zeichnerisch ein sagittaler Schädelschnitt erstellt (ohne Crista galli und Crista frontalis), der in seiner Form einen Kompromiss zwischen den unterschiedlichen Schädelformen der 16 Linksansichten darstellte. Im nächsten Schritt wurden nacheinander in den Links-Ansichten mittels Photoshop alle Konturen ausgewählt, der Inhalt gelöscht und mit transparentem Schwarz gefüllt (6 % Deckkraft). Diese Linksansichten wurden auf die Schädelzeichnung

übertragen und an die Form angepasst. Das Neuro- und Viszerokranium wurde nun gelöscht, sodass nur die vorhandenen FV, SV, Crista frontalis oder Crista galli übrig blieben. So entstanden zum Schädel proportional stimmende durchscheinende FV, SV, Crista frontalis und Crista galli, die im Bereich vermehrter Überlagerungen dunklere Flächen bildeten. Die bevorzugten Verkalkungsbereiche der Falx können auf diese Weise detailliert hervorgehoben werden.

#### 4.5.8 Dichtemessungen

Mit dem Tool „Range of Interest“ (ROI) wurde die FV in unterschiedlichen Schichten großzügig markiert und der maximale CT-Wert ermittelt. Von der Ermittlung des durchschnittlichen CT-Wertes wurde abgesehen, u. a. deshalb, weil eine genaue Auswahl der FV nicht möglich war. Nebenbei wurde beobachtet, dass die maximale Dichte der FV i. d. R. in den mittleren Schichten am größten ist und in der Peripherie abnimmt.

Auch für die Falx sollte ein Dichtewert ermittelt werden, um die Korrelation mit der Inzidenz von FV testen zu können. Bei der Durchsicht unterschiedlicher Fälle erwies sich dafür die Region des Schädeldaches unterhalb des Sinus sagittalis superior als geeignet, da der interhemisphärische Spalt hier zumeist etwas größer war, die Falx sich dadurch deutlicher abzeichnete und besser mittels ROI markiert werden konnte (Abbildung 9).

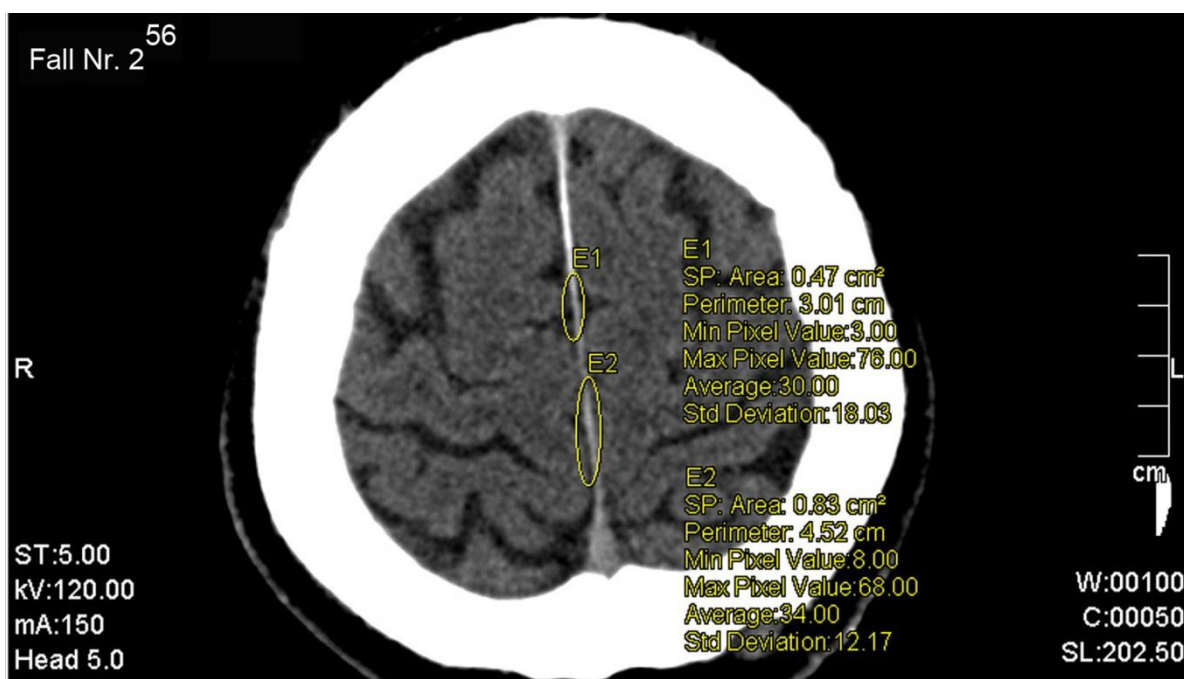


Abbildung 9: Bestimmung der maximalen Dichte der Falx cerebri im apikalen Bereich. Hyperdensitäten (wie hier im anterioren Abschnitt) werden nicht gemessen

Auf eine Vermessung von SV wurde verzichtet, sie wäre aufgrund des schrägen Verlaufes der Sinuswände in der axialen Schicht und aufgrund des häufigen Schädelkontakts sehr fehleranfällig und wenig sinnvoll gewesen.

#### **4.6 Datenverarbeitung**

Die Datenverarbeitung wurde selbstständig vom Autor vorgenommen.

Für eine kompakte und übersichtliche Präsentation der Ergebnisse kam deskriptive Statistik zu Anwendung. Auch laterale Ansichten dreidimensionaler Bildrekonstruktionen wurden erstellt.

Bei auffallend starken Unterschieden beobachteter Häufigkeiten wurde mittels  $\chi^2$ -Mehrfeldertest die Unabhängigkeit vom Zufall (Signifikanzniveau  $p \leq .05$ ) getestet.

Um Zusammenhänge zwischen der Falxdichte, FV-Größe, FV/SV-Häufigkeit und dem Alter (in Altersgruppen) zu beurteilen und mit anderen Autoren vergleichbar zu machen, wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman (Signifikanzniveau  $p \leq .05$ ) berechnet.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Die dreidimensionale Präsentation von FV

Die Schichtdicke wird für Gehirnaufnahmen größer rekonstruiert, um die Strahlendosis und das Bildrauschen gering zu halten. Im Gegenzug können dafür genaue Dichtewerte und Strukturgrenzen bestimmt werden. Als Folge der dickeren Schichten werden jedoch in dreidimensionalen Ansichten auf schrägen Strukturverläufen abgerundete Stufen in Inkrementabständen erkennbar und die Bildqualität ist etwas reduziert. Dennoch wird ein guter Eindruck über die räumliche Beschaffenheit und Lage der FV ermöglicht (Abbildung 10-Abbildung 13). Die sagittalen Ansichten erlauben genaue sagittale Flächenbestimmungen innerhalb der scharfen FV-Umriss und exakte Lagebestimmungen dank Orientierung an den Schädelkonturen und dem freien Falxrand. Sämtliche wesentliche Informationen können mit dieser Darstellungsweise zusammengeführt werden.

Die Abbildung 10 bis Abbildung 12 demonstrieren die 12 Fälle mit den größten Vermessungsflächen (grau), welche zuvor aus der primären Datentabelle gewonnen wurden. Abbildung 13 demonstriert 4 weitere interessante Fälle: Der Fall links oben und der Fall rechts unten weisen eine Variation kleiner und mittlerer FV vor, hier interessiert v. a. das Größenverhältnis kleiner FV gegenüber der Falx cerebri und der Vergleich zwischen dem Umriss der Vermessungsflächen und dem Umriss der FV. Der Fall rechts oben demonstriert die Schwierigkeit der CT bei der dreidimensionalen Darstellung von sehr zarten FV. Der Fall rechts unten ist v. a. zur Demonstration einer großflächigen Sinusverkalkung bestimmt.

Die unterschiedlichen Ansichten auf die FV sind mit Großbuchstaben markiert (L= links, R= rechts, A= anterior, S= superior, I= inferior). Der grüne Rahmen der Links-Ansicht beschreibt vertikal die Ausrichtung des Tischvorschubes und horizontal / schräg die Ausrichtung der Schnittebene, bestimmt durch den Winkel des Gantry-Tilt (bei grauem Rahmen ist der Winkel 0°). Die jeweils unterste Zeile enthält Zusatzinformationen über die größten FV aus axialen Schichtbildern – die maximale Dichte, der FV-Verlauf (FVV- die Lage der lateralen FV-Grenze(n) im Verhältnis zur Falx) und die Erkennbarkeit eines Markraumes (MR).



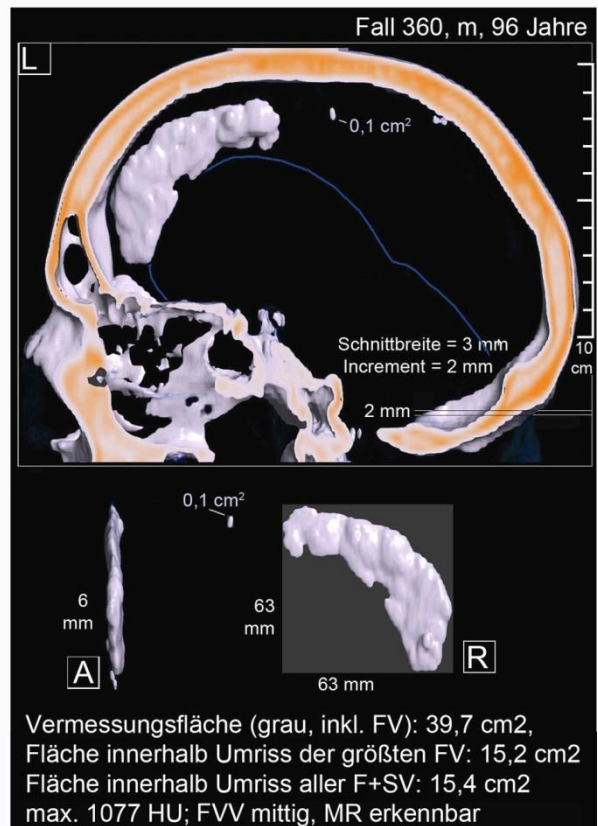
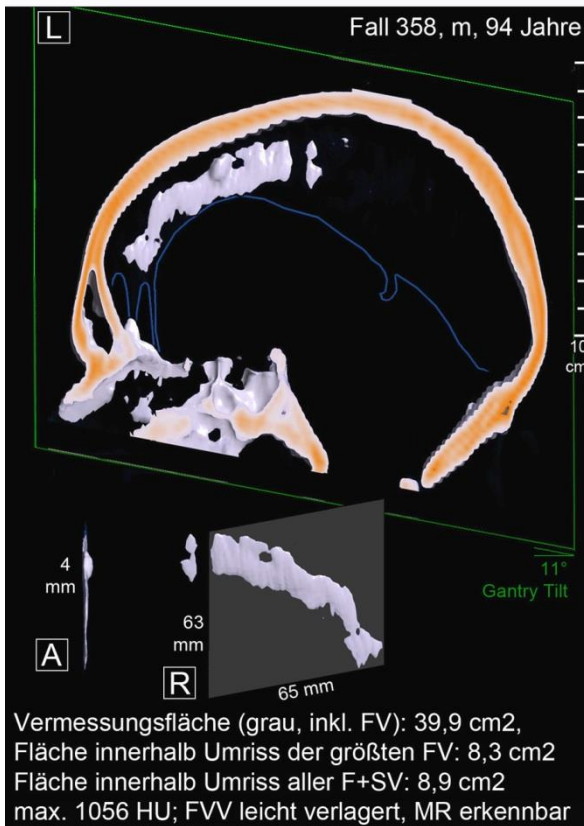
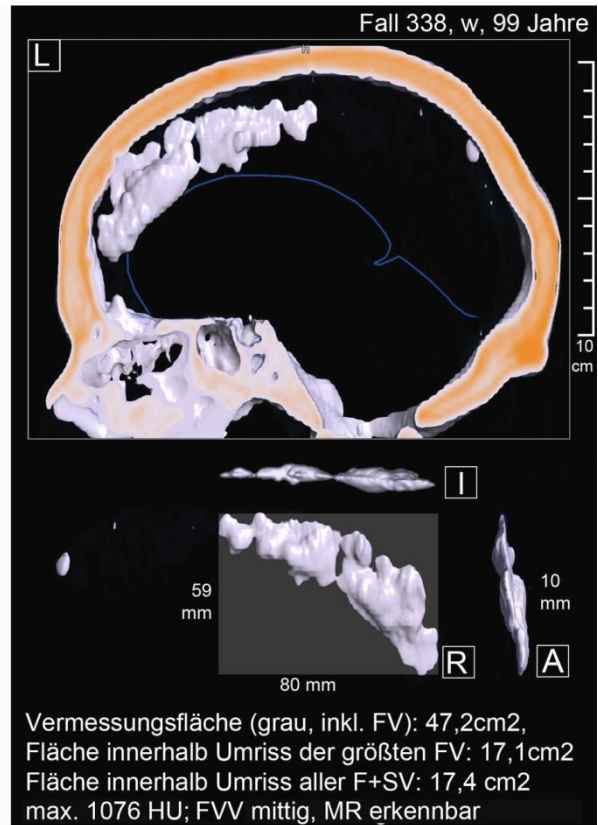
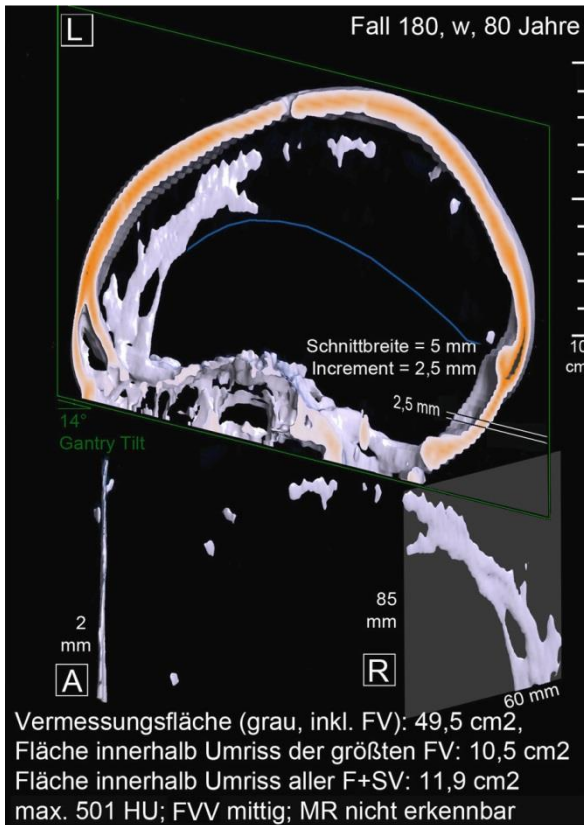


Abbildung 10: Teil 1 der 12 Fälle mit den größten Vermessungsflächen

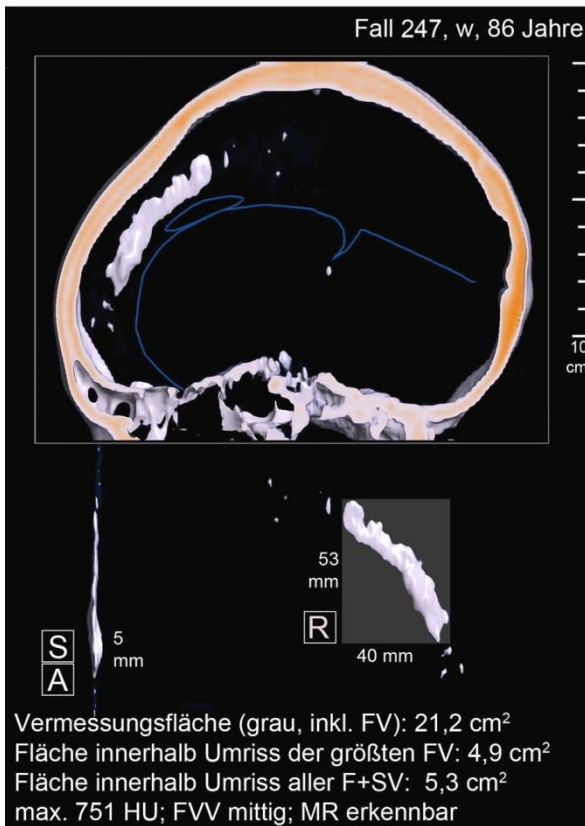
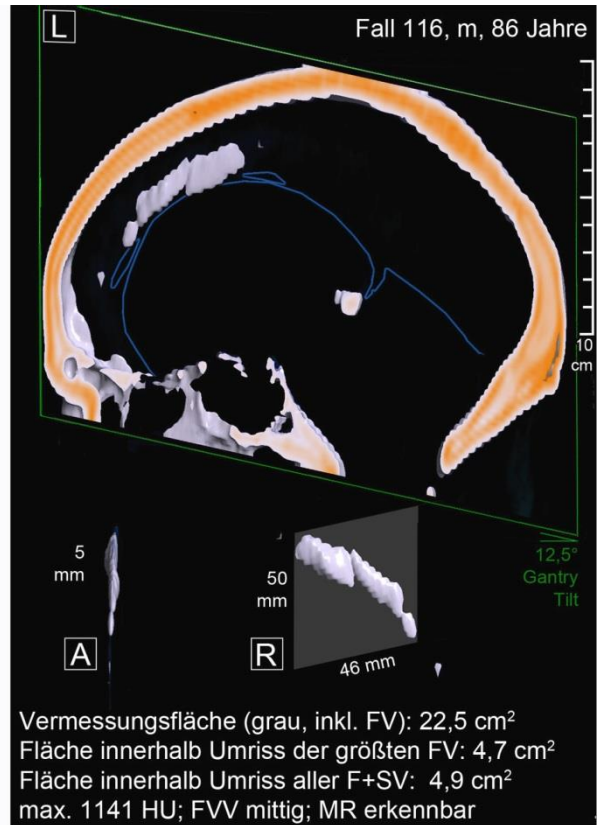
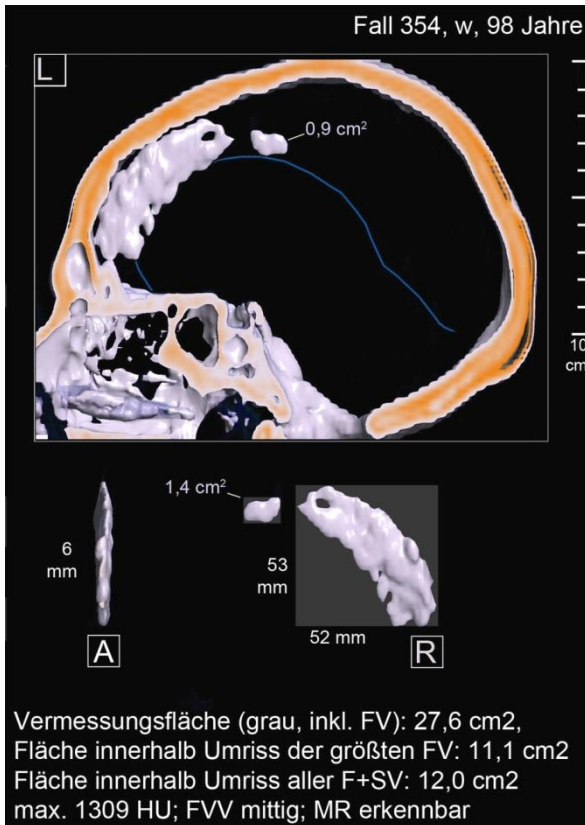


Abbildung 11: Teil 2 der 12 Fälle mit den größten Vermessungsflächen



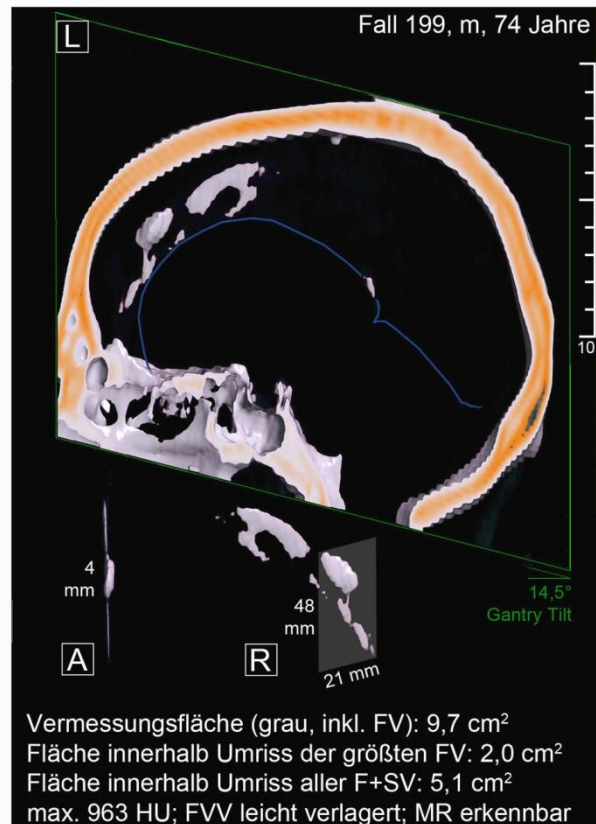
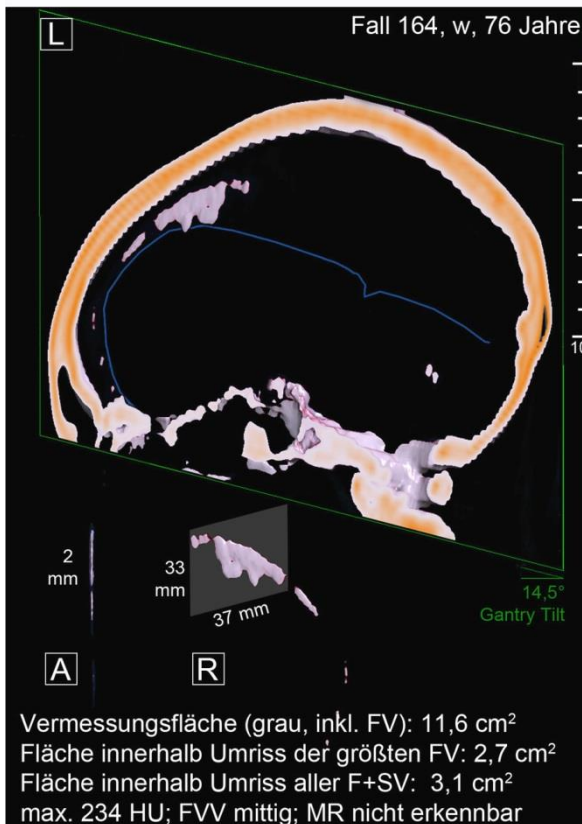
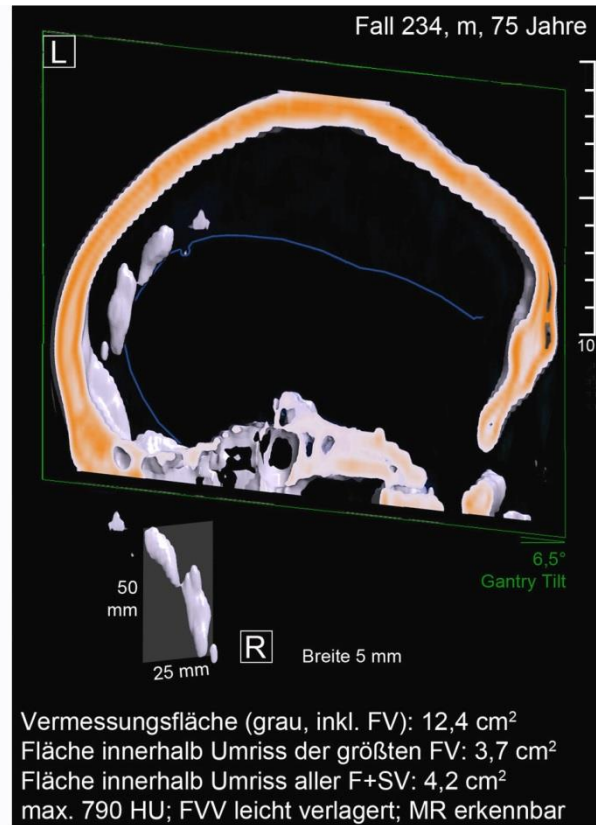
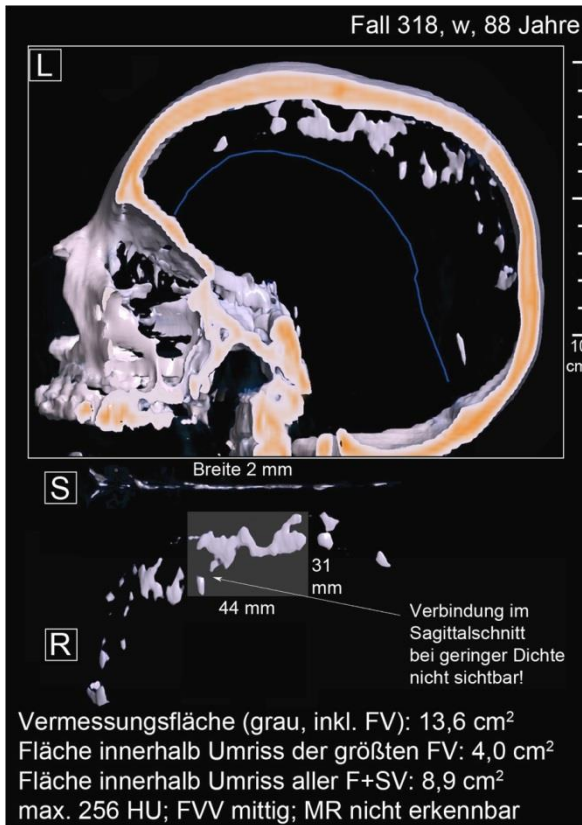


Abbildung 12: Teil 3 der 12 Fälle mit den größten Vermessungsflächen

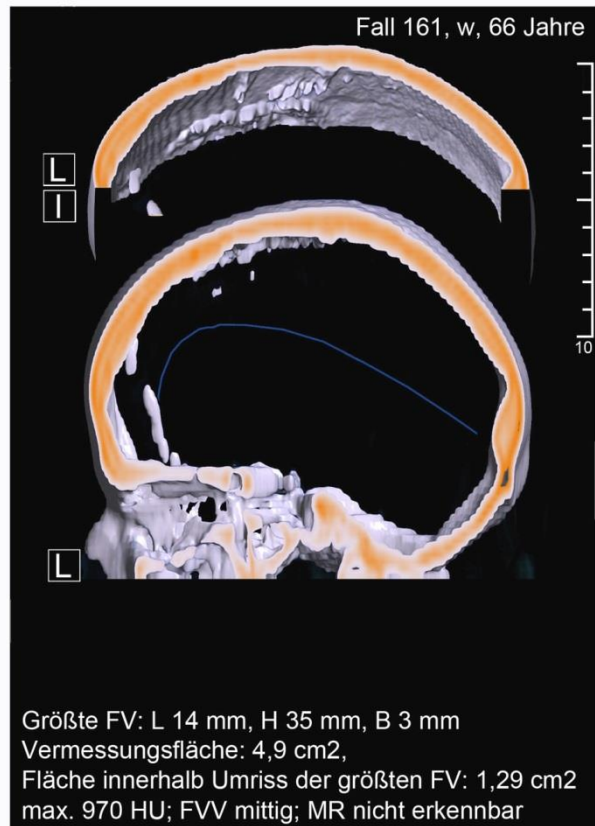
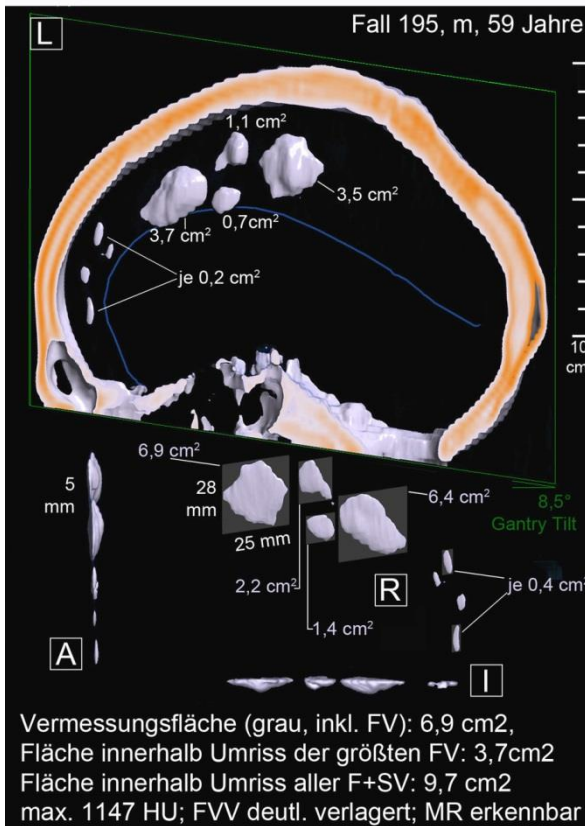
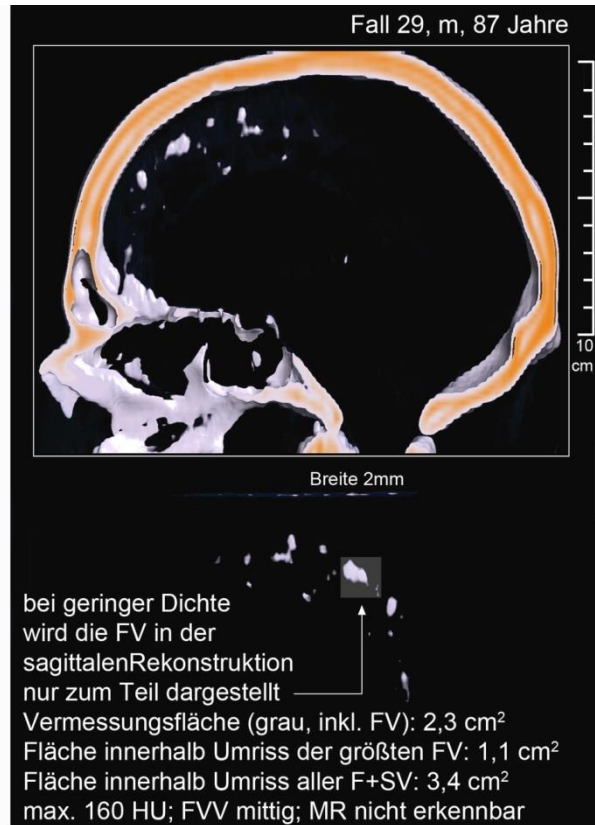


Abbildung 13: 4 Weitere Fälle mit Besonderheiten

## 5.2 Genauigkeit der linearen Distanzmessungen

### 5.2.1 Präzision der Messungen mit der Distanzlinie

Wie in Kapitel 4.5.5 erwähnt, wurden 10 Distanzmessungs-Wiederholungen bei jeweils einer Aufnahme aller CT-Geräte durchgeführt. Die Ergebnisse können der Tabelle 6 entnommen werden.

Tabelle 6: Präzision der Längenmessungen mittels des Tools „Distanzlinie“ (für die Länge und Breite) und Schichten-Zählen (für die Höhe).

CT-Gerät	Siemens Som. Definition AS+			Siemens Somatom Sens. Cardiac 64			Toshiba Aquilion 64 Zeilen			Toshiba Aquilion one 320 Zeilen		
Fall Nr.	241			97			139			362		
	Länge (cm)	Höhe n	Breite (cm)	Länge (cm)	Höhe n	Breite (cm)	Länge (cm)	Höhe n	Breite (cm)	Länge (cm)	Höhe n	Breite (cm)
	1,62	6	0,34	0,85	3	0,1	1,60	6	0,16	0,56	3	0,28
	1,62	6	0,34	0,85	3	0,1	1,60	6	0,16	0,56	3	0,28
	1,62	6	0,35	0,86	3	0,1	1,59	6	0,16	0,56	3	0,28
	1,62	6	0,34	0,86	3	0,1	1,60	6	0,16	0,56	3	0,28
	1,62	6	0,35	0,85	3	0,1	1,60	6	0,16	0,56	3	0,28
	1,63	6	0,35	0,86	3	0,1	1,59	6	0,16	0,56	3	0,28
	1,62	6	0,35	0,86	3	0,1	1,59	6	0,16	0,56	3	0,28
	1,62	6	0,34	0,86	3	0,1	1,59	6	0,16	0,56	3	0,28
	1,62	6	0,35	0,85	3	0,1	1,59	6	0,16	0,56	3	0,28
	1,62	6	0,35	0,85	3	0,1	1,59	6	0,16	0,56	3	0,28
Mittelwert	1,62	6,00	0,35	0,86	3,00	0,10	1,59	6,00	0,16	0,56	3,00	0,28
$\sigma$ (Stabw.n)	0,003	0,000	0,005	0,005	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$2 \sigma$	0,006	0,000	0,010	0,010	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

### 5.2.2 Differenz der Längenmessungen in Gehirn- und Knochenaufnahmen

Teilweise wurden zusätzlich zu den Gehirnaufnahmen auch Knochenaufnahmen gemacht. 14 davon eigneten sich (dank ausreichendem Dichte-Kontrast) für Größenmessungen. Es gilt

die Annahme, dass die FV in Gehirnaufnahmen aufgrund des PVE in Verbindung mit ihrer erhöhten Dichte tendenziell vergrößert dargestellt wird. Knochenaufnahmen sind aufgrund der geringeren Schichtdicke weniger empfindlich dafür. Daher sollen nun die Messdifferenzen der beiden Aufnahmevarianten verglichen werden.

Tabelle 7: Messdifferenzen zwischen 14 Knochen- und Gehirnaufnahmen

	Die Mess- Differenzen zw. Gehirn- und Knochenaufnahme						
	-3 mm	-2 mm	-1 mm	0 mm	1 mm	2 mm	>2 mm
bei Längenmessungen	0	1	8	4	1	0	0
bei Höhenmessungen	2	1	4	4	0	1	2
bei Breitenmessungen	0	2	11	1	0	0	0

Angenommen, dass die Messungen in Knochenaufnahmen die wahren Begrenzungen der FV wiedergeben, ließe sich anhand der Tabelle 7 ableiten, dass die FV in Gehirnaufnahmen

- zu 85,7 % maximal 1 mm zu lang dargestellt wurden.
- zu 57 % maximal 1 mm zu hoch dargestellt wurden. Ansonsten streuen die Differenzwerte zwischen „3 mm zu groß“ und „> 2 mm zu klein“.
- zu 79 % genau 1 mm zu breit dargestellt wurden.

### 5.3 Die einzelnen Häufigkeiten

#### 5.3.1 Häufigkeit von FV und SV

Von den 365 Personen der Stichprobe hatten 124 Personen (34 %) FV und 76 Personen (20,8 %) SV, wobei es eine Überschneidung dieser beiden Formen in 35 Fällen (9,6 %) gab. Demnach waren 200 Personen (54,8 %) frei von FV und SV.

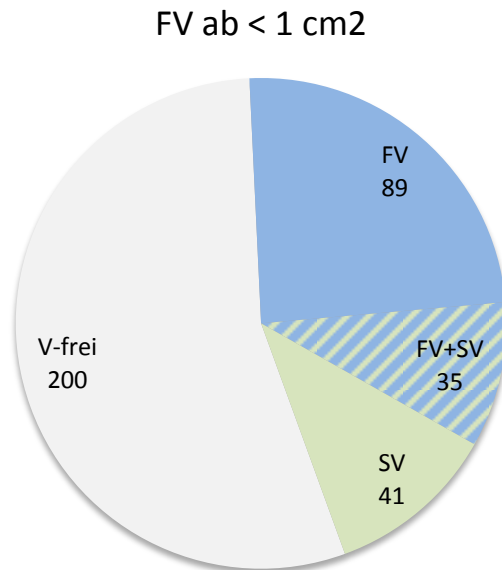


Abbildung 14: Verteilung von FV und SV ab < 1 cm<sup>2</sup> Vermessungsfläche

Dass die Angabe der Mindestgröße der FV eine wichtige Information bei Häufigkeitsangaben darstellt, verdeutlicht das Beispiel, wenn man nun von einer Mindestvermessungsfläche der FV von  $\geq 2 \text{ cm}^2$  ausgeht. Hiermit reduziert sich die FV - Häufigkeit bereits von 34 % (Abbildung 14) auf 9,8 % (Abbildung 15 links). Ähnlich verhält es sich, wenn man entsprechend den Lateralaufnahmen der Röntgenaufnahmen nur die Höhe der FV berücksichtigt und FV erst ab einer Höhe von 2 cm registriert (Abbildung 15 rechts). Der Anteil der FV beträgt dann 8,8 %.

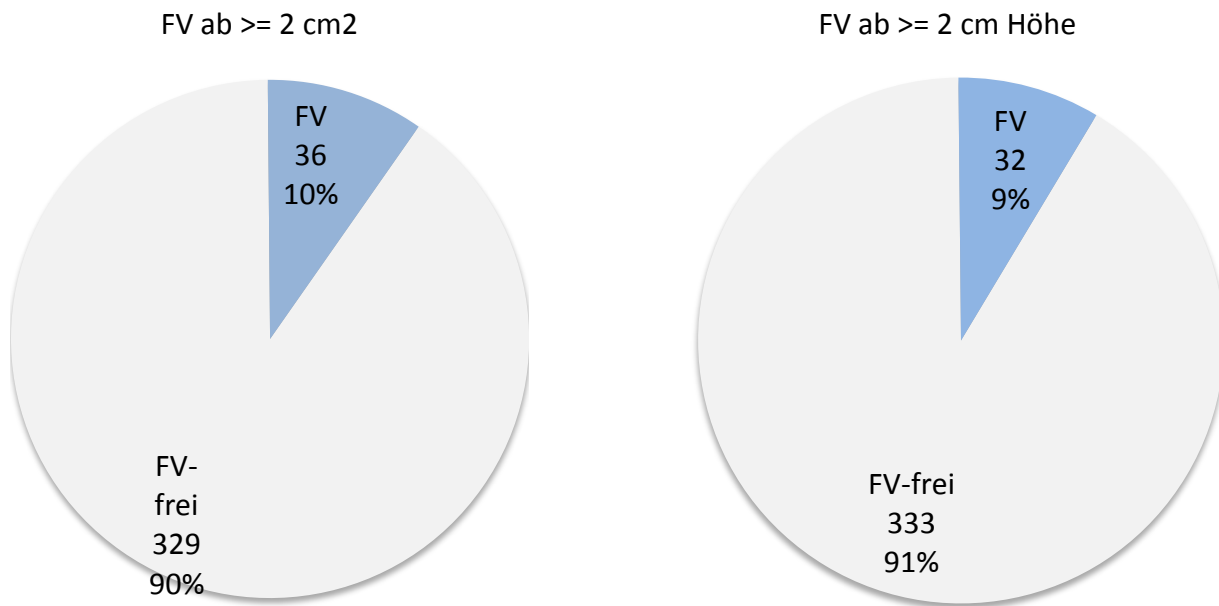


Abbildung 15: Verteilung von FV ab  $\geq 2 \text{ cm}^2$  (links) und wenn FV ab  $2 \text{ cm}^2$  Höhe (rechts)

### 5.3.2 Häufigkeit von Schädelverbindungen, Crista frontalis und TV

Tabelle 8: Absolute und relative Häufigkeit von Schädelkontakt, Crista frontalis und TV

Merkmal	unter...	= Anzahl	= Anteil
Schädelverbindung	FV	2	2,2 %
	FV+SV	1 + 23	68,6 %
	SV	26	63,4 %
Crista front. (9 - 13 mm)	FV	3	3,4 %
	FV+SV	0	0,0 %
	SV	1	2,4 %
	V frei	8	4,0 %
Tentorium- Verkalkung/ Verknöcherung	FV	4	4,5 %
	FV+SV	1	2,9 %
	SV	3	7,3 %
	V frei	3	1,5 %



Wie man Tabelle 8 entnehmen kann, konnte v. a. bei SV oder bei Kombinationen dieser mit FV ein Schädelkontakt beobachtet werden. Eine Fortführung von SV in die Falx ist demnach sehr selten. Insgesamt wurden zwar bei 5 FV Schädelkontakte festgestellt, jedoch konnten 2 dieser Fälle in Knochenaufnahmen nicht mehr nachgewiesen werden.

Ausgeprägte Formen der Crista frontalis (in der Transversalebene 9- 13 mm lang) wurden sehr selten beobachtet (insgesamt nur bei 12 Fällen). Sie zeigen keinerlei Häufung bei FV oder SV.

Auch TV wurden nur in 11 Fällen beobachtet. Sie scheinen bei FV und SV geringfügig gehäuft vorzukommen.

Weder bei den Fällen mit Schädelkontakt noch bei den Fällen der Crista frontalis und den Fällen mit Tentoriumverkalkungen/-Verknöcherungen gab es eine wesentliche geschlechtsspezifische Häufung. Bei Fällen mit ausgeprägter Crista frontalis wurde ein geringfügig tieferes Durchschnittsalter (56,6 Jahre im Vergleich zur Stichprobe mit 62 Jahren) festgestellt.

### 5.3.3 Geräteabhängige bzw. krankengutabhängige FV-Häufigkeit

Tabelle 9: FV-Häufigkeiten pro CT-Gerät

CT-Gerät	Vorwiegendes Krankengut	Unter- suchung	FV	%
1.) <i>Siemens Somatom Definition AS+</i>	Traumatisch, postchirurgisch	65	26	40
2.) <i>Siemens Somatom Sensation Cardiac 64</i>	Traumatisch, postchirurgisch	40	11	28
3.) <i>Toshiba Aquilion 64 Zeilen</i>	Atraumatische Abklärung Blutung oder Tumor	255	86	34
4.) <i>Toshiba Aquilion one 320 Zeilen</i>	Kinder u. Jugendliche, Angiographien	5	1	20

Bei Betrachtung der über unterschiedliche CT-Geräte festgestellten FV-Häufigkeiten (Tabelle 9) müssen die auf den ersten Blick auffallenden Unterschiede relativiert werden: Mittelt man die FV-Häufigkeiten der Siemensgeräte aufgrund des gemeinsamen Krankengutes, so entsprechen sie mit 35,2 % der FV-Häufigkeit des Toshiba Aquilion 64 Zeilen. Die geringe

FV- Häufigkeit beim vierten Gerät ist vermutlich auf ein vermehrtes Schwanken der Werte im Zufallsbereich aufgrund geringer Fallzahl zurückzuführen.

## 5.4 Besonderheiten der FV und SV

### 5.4.1 Besonderheiten bezüglich der Alters- und Geschlechterverteilung

Die Verteilung der Häufigkeiten von FV und SV bei Frauen und Männern soll anhand des Kreisdiagramms (Abbildung 16, oben) übersichtlich veranschaulicht werden. Für die Darstellung des Unterschiedes in zwei Altersgruppen dient das Balkendiagramm (Abbildung 16, unten).

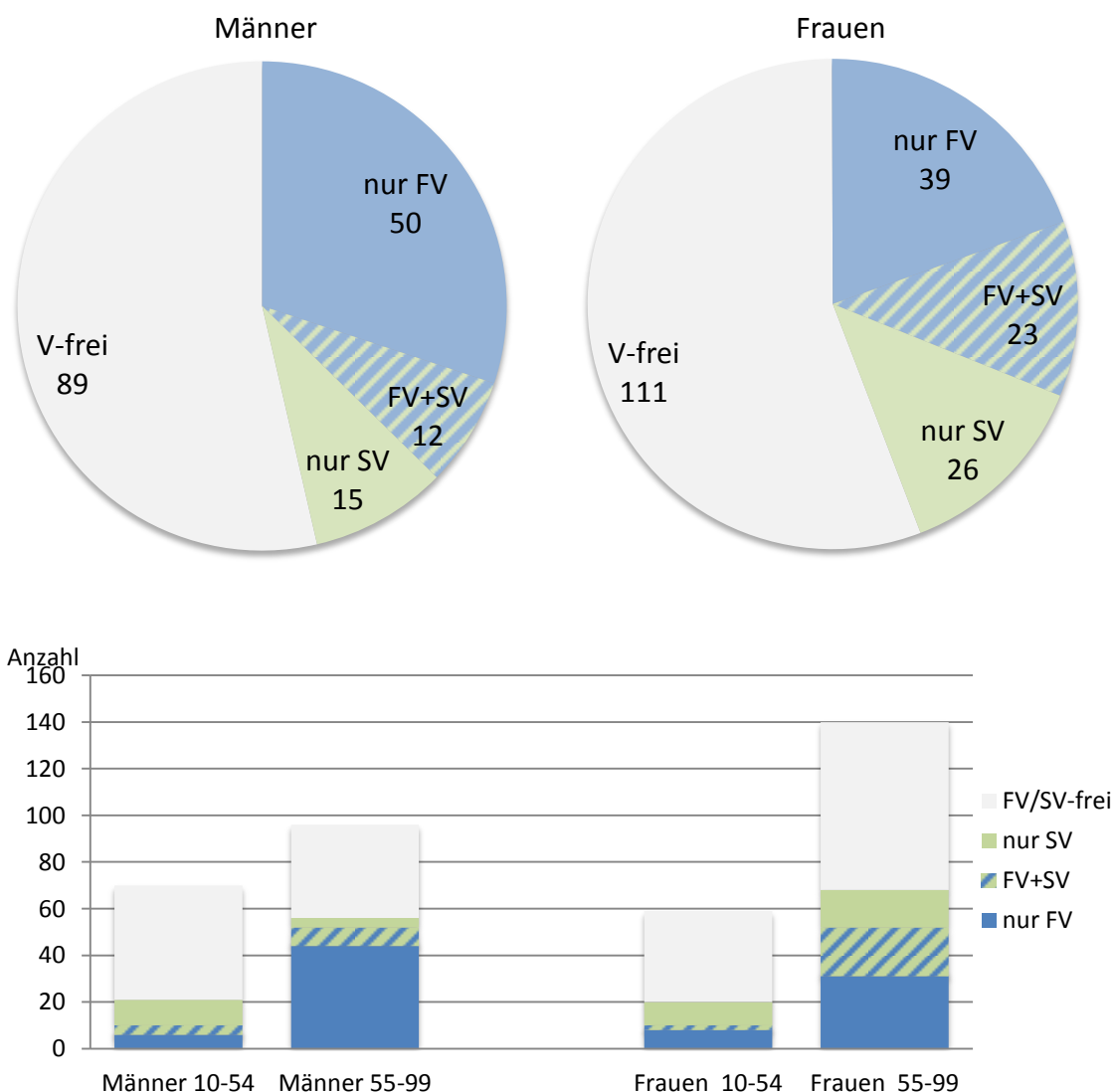


Abbildung 16: Vergleich der Häufigkeiten von FV und SV bei Frauen und Männern und zwei Altersgruppen

In dieser Stichprobe kommen die FV etwas häufiger bei Männern als bei Frauen vor (m = 37,3 %: w = 31,2 %), die SV kommen dagegen bei Frauen um ca. 50% häufiger als bei Männern vor (m = 16,3 %: w = 24,6 %). Bei Männern kommen die FV ab dem 55. Lebensjahr deutlich häufiger vor, bei Frauen ist der Unterschied etwas weniger deutlich.

Nach dem Chi-Quadrat-Mehrfeldertest unterscheiden sich die beobachteten Häufigkeiten dieser vier Gruppen mit höchster Signifikanz ( $p < .001$ ) von den durch Zufall erwarteten Häufigkeiten.

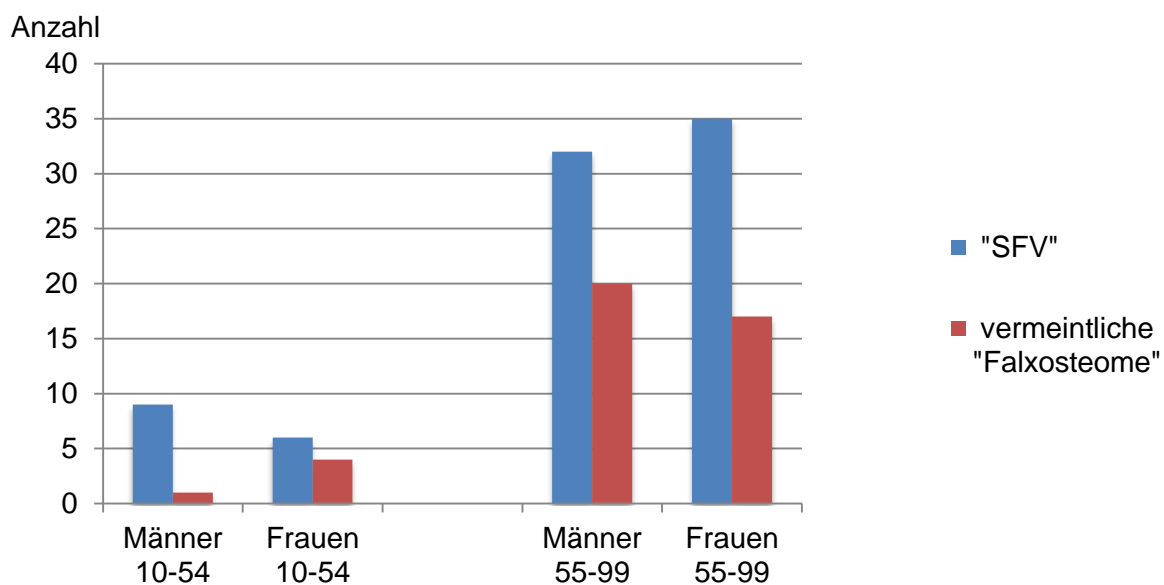


Abbildung 17: Die alters- und geschlechtsabhängige Verteilung vermeintlicher „SFV“ und „FO“

FV, die über die Breite der Falx cerebri hinausragen, treten im Alter von 10-54 Jahren häufiger bei Frauen als bei Männern auf, im Übrigen ist die Verteilung in den Altersgruppen ähnlich wie auf Abbildung 17.

Die Verteilung der Stichprobe in Alter und Geschlecht sowie die zugehörigen FV-Häufigkeiten stellen sich folgendermaßen dar:

Tabelle 10: Häufigkeitstabelle mit Verteilung der Stichprobe bezüglich Alter und Geschlecht

Alter (Jahre)	Alle			FV			FV		
	Fälle	FV	%FV	Männer	Männer	%	Frauen	Frauen	%
10-19	9	1	11,1	5	0	0,0	4	1	25,0
20-29	26	3	11,5	11	0	0,0	15	3	20,0
30-39	39	3	7,7	25	3	12,0	14	0	0,0
40-49	31	7	22,6	15	3	20,0	16	4	25,0
50-59	47	11	23,4	26	8	30,8	21	3	14,3
60-69	45	13	28,9	20	6	30,0	25	7	28,0
70-79	73	29	39,7	31	17	54,8	42	12	28,6
80-89	68	41	60,3	27	22	81,5	41	19	46,3
90-99	27	16	59,3	6	3	50,0	21	13	61,9
Summe	365	124	34,0	166	62	37,4	199	62	31,2

Aus der zweiten Spalte der Tabelle 10 geht hervor, dass die Verteilung des Alters deutlich rechts-schief ist und dass keine Normalverteilung vorliegt. Gegebenenfalls dürfen also nur nichtparametrische Tests verwendet werden. Auch das Geschlecht liegt nicht gleichmäßig verteilt vor, die Prozentzahlen geben das tatsächliche merkmalspezifische Verhältnis wieder und eignen sich besser für Vergleiche.

Möchte man nun den Unterschied von geschlechts- und altersspezifischen Häufigkeiten bei unterschiedlicher Mindestgröße von FV zugleich betrachten, so eignet sich die Darstellung als Liniendiagramm, um die Überschaubarkeit zu erhalten. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass es die Übergänge zwischen den Altersgruppen eigentlich gar nicht gibt. Es wurden alle Personen in Altersgruppen mit 10-Jahres-Abständen eingeteilt. Um Ausreißer aufgrund zu kleiner Altersgruppen zu reduzieren, wurde die jüngste und die älteste Altersgruppe mit der jeweils nächstliegenden Gruppe zusammengefasst.

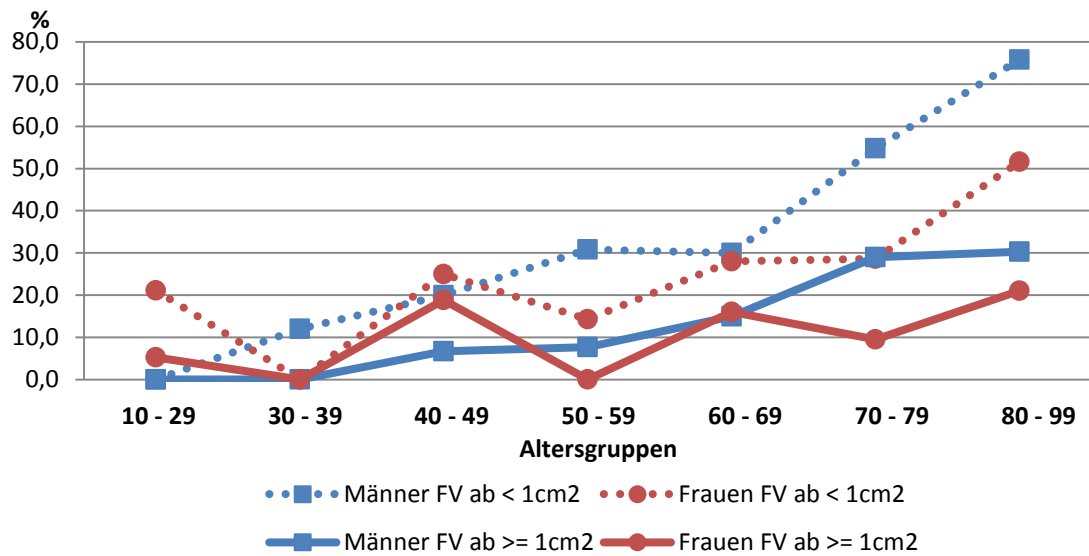


Abbildung 18: FV- Häufigkeit von Frauen und Männern in Altersgruppen ab  $< 1 \text{ cm}^2$  und ab  $\geq 1 \text{ cm}^2$

Der Unterschied zwischen der FV-Häufigkeit „ab  $< 1 \text{ cm}^2$ “ und der FV-Häufigkeit „ab  $\geq 1 \text{ cm}^2$ “ scheint im Groben pro Geschlecht in jeder Altersgruppe proportional ähnlich groß zu sein (Abbildung 18).

Wie in der Abbildung 19 ersichtlich, unterscheidet sich die Verteilung von SV in 7 Altersstufen deutlich von der FV-Verteilung.:

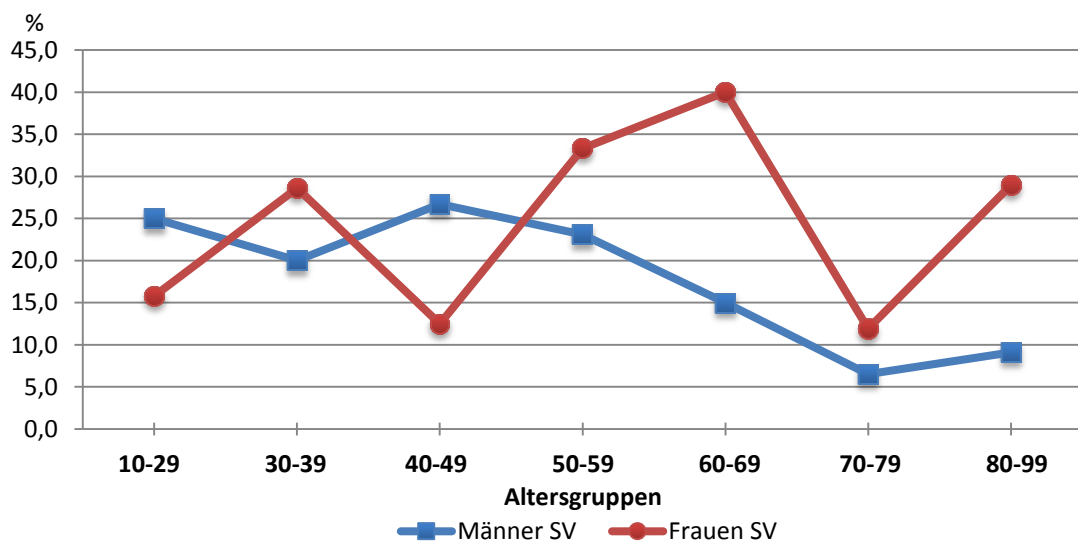


Abbildung 19: SV-Häufigkeit bei Frauen und Männern in Altersgruppen

Für die Berechnung der Stärke des geschlechtsspezifischen Zusammenhanges zwischen der FV- bzw. SV-Häufigkeit und dem Alter eignet sich der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman.

Bei Männern ist der Zusammenhang zwischen der FV-Häufigkeit und dem Alter sehr stark positiv ( $r = .96$ ,  $p = < .001$ ). Wenn die FV erst ab  $\geq 1 \text{ cm}^2$  Vermessungsfläche gezählt werden, dann verstärkt sich dieser Zusammenhang ( $r = .99$ ,  $p = < .001$ ).

Bei Frauen ist der Zusammenhang zwischen der FV-Häufigkeit und dem Alter stark positiv ( $r = 0,82$ ,  $p = < 0,05$ ). Wenn die FV erst ab  $\geq 1 \text{ cm}^2$  Vermessungsfläche gezählt werden, dann verringert sich dieser Zusammenhang auf eine mittlere Stärke ( $r = .58$ ,  $p = > .05$ , nicht signifikant).

Der Zusammenhang zwischen der SV-Häufigkeit und dem Alter ist bei Männern stark negativ ( $r = -0,79$ ,  $p = > .05$ , nicht signifikant), bei Frauen gibt es keinen Zusammenhang ( $r = 0,18$ ,  $p = > .05$ , nicht signifikant).

*Die Verteilung der FV, wenn alle im Individuum vorkommenden FV gesondert gezählt werden:*

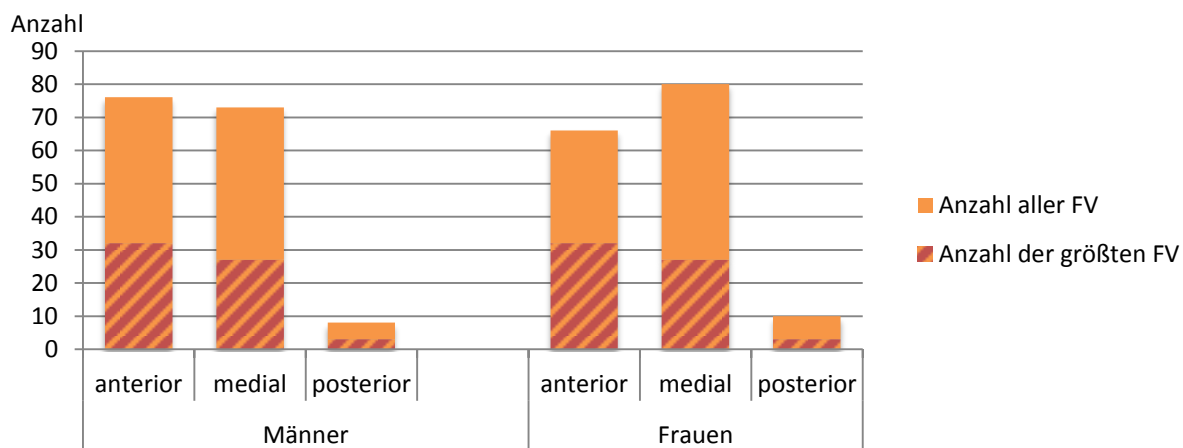


Abbildung 20: Vergleich der Anzahl aller FV mit der Anzahl der größten FV

Wie in Abbildung 20 ersichtlich, ist die Gesamtzahl der FV pro Falxbereich stets mehr als doppelt so groß wie nur die Anzahl der größten bzw. der vermessenen FV.

#### 5.4.2 Besonderheiten bezüglich der Position

Die Falx ist v. a. im anterioren und medialen Bereich von FV betroffen. Die Verteilung dieser betroffenen Bereiche ist annähernd gleich groß. Der posteriore Bereich ist verhältnismäßig sehr selten betroffen. Die SV dagegen sind am häufigsten medial, weniger häufig posterior und am seltensten anterior vorliegend. Das Verhältnis der Lageverteilung bei FV und SV erscheint unabhängig vom Geschlecht (Abbildung 21).

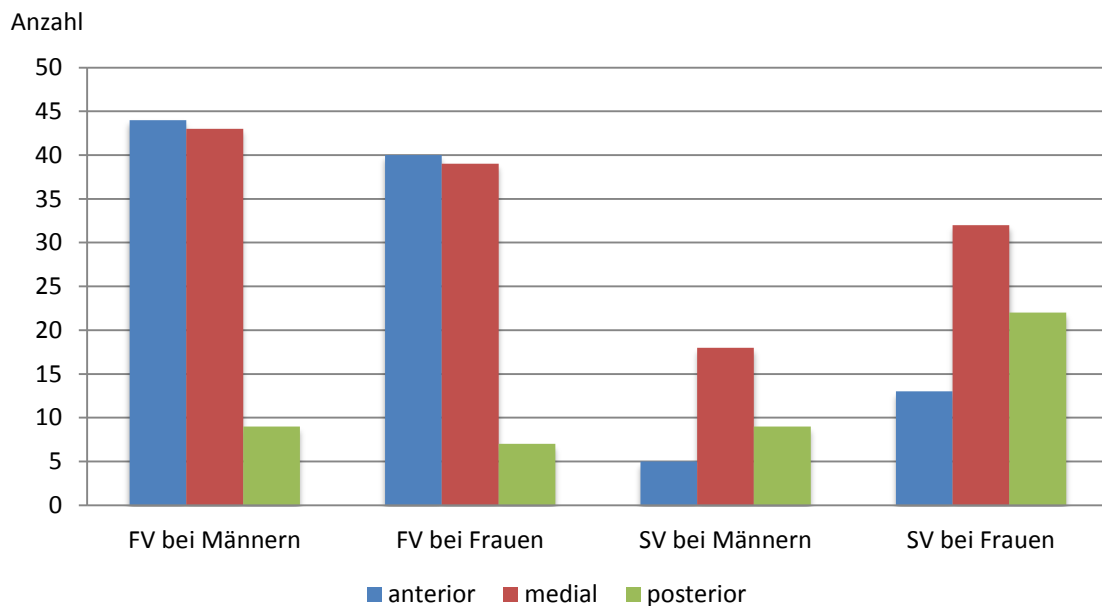


Abbildung 21: Verkalkungshäufigkeit im anterioren, medialen und posterioren Falx- und Sinus-Bereich (hierfür wurden pro Bereich maximal eine FV und/oder SV gezählt; Verkalkungen in mehreren Bereichen zugleich sind möglich)

Diese auffallenden Unterschiede (unabhängig vom Geschlecht) gaben Anlass, zusätzlich das Signifikanzniveau mittels  $\chi^2$ -Mehrfelder-Test zu prüfen (Tabelle 11). Es wurde die Nullhypothese getestet, ob sich FV und SV in ihrer Lage nicht signifikant ( $p = > .05$ ) von erwartbaren Werten unterscheiden.

Die beobachteten Häufigkeiten ( $f_o$ ) unterscheiden sich mit höchster Signifikanz ( $p = < .001$ ) von den erwartbaren Häufigkeiten ( $f_e$ ), daher muss die Nullhypothese verworfen werden. Die FV sind anterior signifikant ( $p = < .05$ ) häufiger und posterior sehr signifikant ( $p = < .01$ ) seltener als erwartet. Die SV dagegen sind anterior sehr signifikant ( $p = < .01$ ) seltener und posterior höchst signifikant ( $p = < .001$ ) häufiger als erwartet.

Tabelle 11: Kreuztabelle für  $\chi^2$ -Unabhängigkeitstest der Lage von FV und SV.

		anterior	medial	posterior	Zeilen-Summe	Summe qsR
FV	fo	84	82	16	182	11,9
	fe	66,1	85	30,4		
	qsR	4,9*	0,1	6,9**		
SV	fo	18	50	31	99	21,8
	fe	35,9	46,5	16,6		
	qsR	9,0**	0,3	12,6***		
Spaltensumme		102	132	47	281	34***

fo = beobachtete Häufigkeiten

fe = erwartete Häufigkeiten

qsR = quadriertes standardisiertes Residuum

Signifikanzniveau: \*p < .05; \*\* p < .01; \*\*\* p < .001

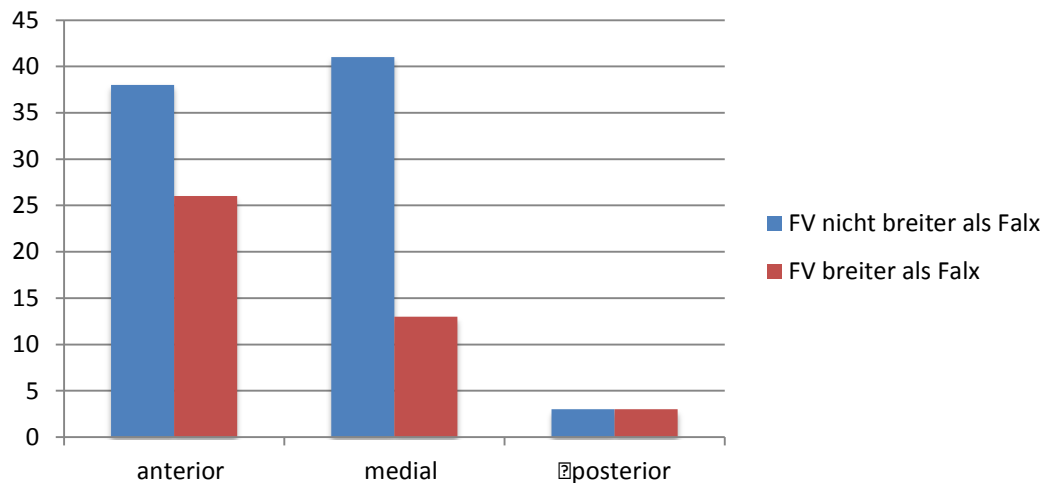


Abbildung 22: Lageverteilung aufgeschlüsselt in „FV breiter als die Falx“ und „FV nicht breiter als die Falx“

FV, die nicht über die Breite der Falx hinausragen, nehmen nach posterior hin konstant ab, während FV welche innerhalb der Falxbreite liegen, bis auf den posterioren Falxbereich annähernd gleich verteilt bleiben (Abbildung 22).



Die transparente Übereinanderlagerung der FV- und SV aus den 16 Lateralansichten gewährt eine detaillierte graphische Darstellung der gehäuften Verkalkungs- bzw. Verknöcherungsbereiche (Abbildung 23). Der ganze anteriore Falxbereich ist deutlich bevorzugt betroffen, v. a. die kraniale Hälfte. Der mediale Falxbereich ist ebenfalls noch deutlich von FV betroffen, nach posterior hin nimmt die FV-Häufigkeit jedoch stark kontinuierlich ab. Im posterioren Falxbereich gibt es so wenige FV, dass die SV überwiegen. Die SV scheinen keine wesentliche Häufung im anterioren, medialen oder posterioren Bereich der Sinuswände zu haben. Die FV scheinen i. d. R. nicht über den Beginn der Sinuswände hinaus zu ragen. Sehr nahe reichen die FV anterior zur Crista frontalis und zur Crista galli, sodass es dort vermehrt zu Überlagerungen wegen variierender Grenzverläufe der Cristae und der FV kommt. Wie selten es tatsächlich eine Verbindung der FV zum Schädel gibt, wird erst bei Betrachtung der einzelnen 3D-Lateralansichten deutlich.

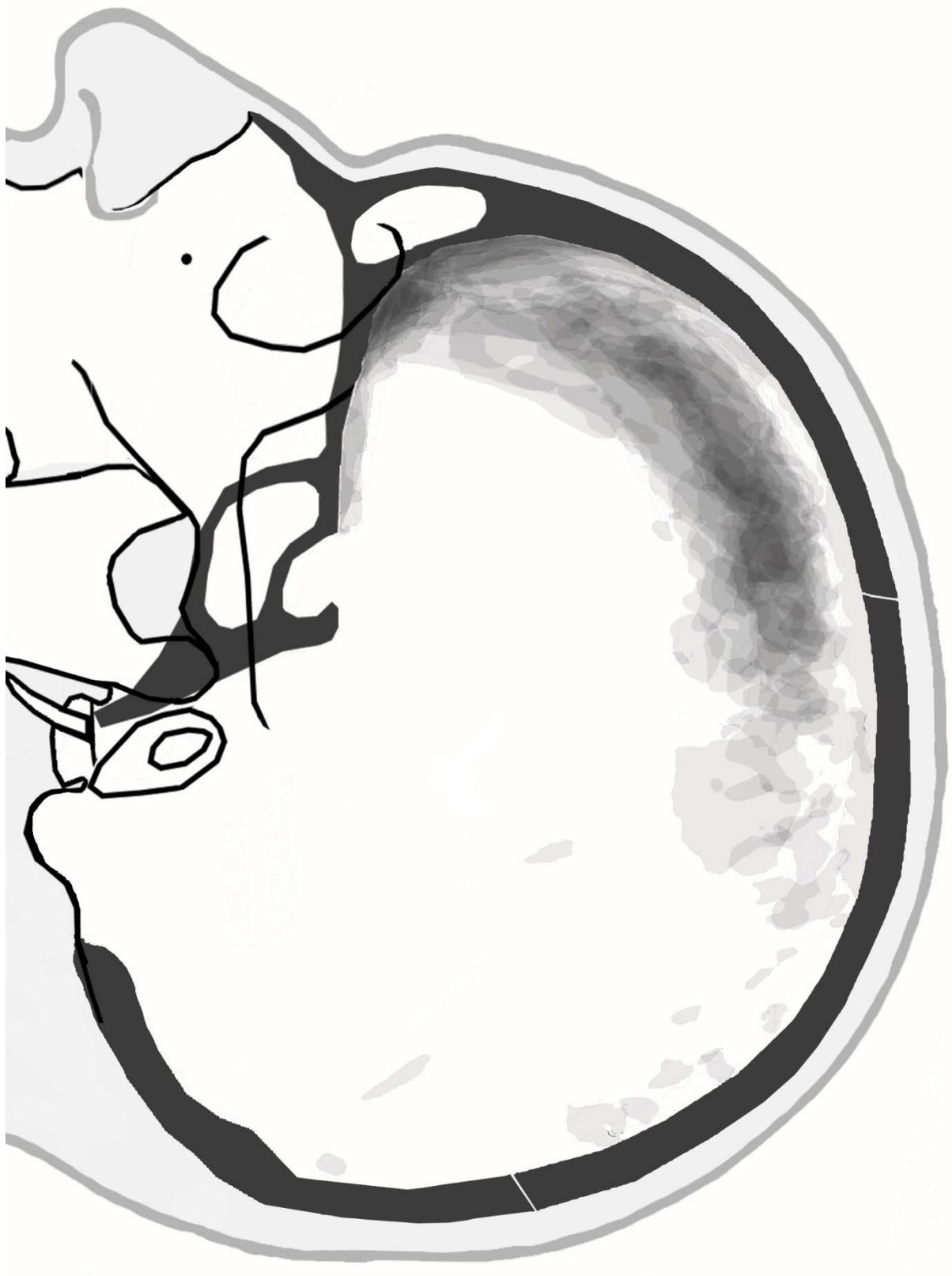


Abbildung 23: Lateralansichten von 16 Fällen transparent übereinandergelagert, ungefähr in Originalgröße

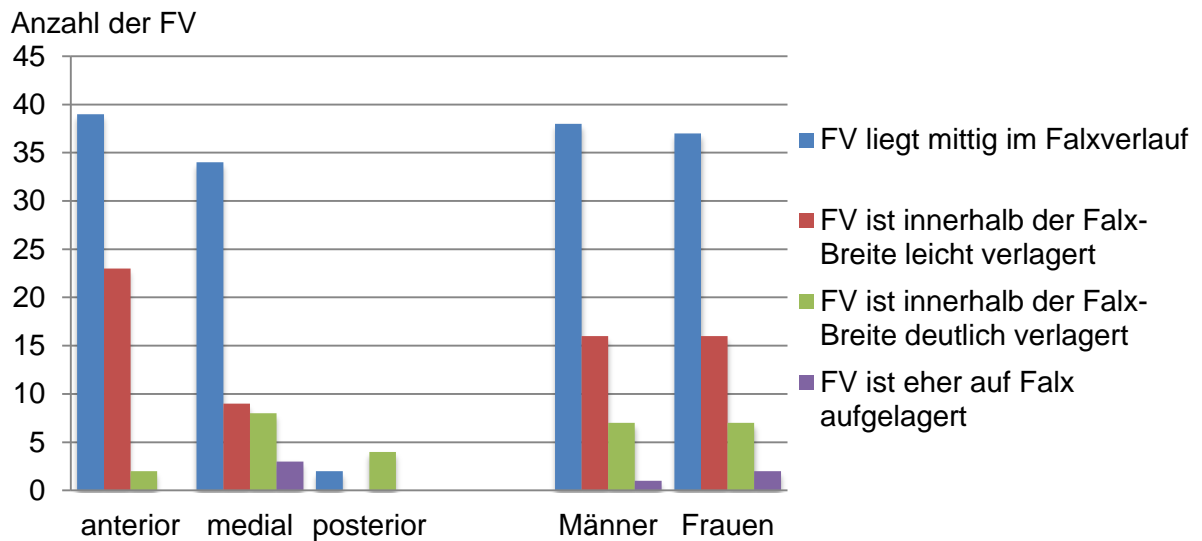


Abbildung 24: Links: Verteilung der FV entlang der y-Achse. Rechts: Verteilung der FV entlang der x-Achse bei Frauen und Männern

Der Abbildung 24 (links) kann man entnehmen, dass im anterioren und medialen Falxbereich die FV mit mittiger Lage im Verhältnis zu den lateralen Falxgrenzen sowie FV mit leichten Verlagerungen zur Seite deutlich überwiegen. Nach posterior hin nimmt dagegen der Anteil der FV mit deutlicher Verlagerung nach lateral markant zu. Scheinbar aufgelagert kommen die FV nur medial vor. Die Verteilung der verschiedenen Lagevarianten im Bezug zu den lateralen Falxgrenzen ist bei Frauen und Männern fast identisch, und zwar je mittiger, desto häufiger (Abbildung 24, rechts).

### 5.4.3 Besonderheiten bezüglich der Breite und Größe der jeweils größten FV

Für Größenbeschreibungen wurden zunächst in axialen Schichtbildern lineare Maximalwerte der FV ermittelt. Deren Grenzen bilden einen gewissen Vermessungsrahmen, dessen Flächeninhalt („Vermessungsfläche“) bestimmt wurde, um die FV der Größe nach sortieren zu können.

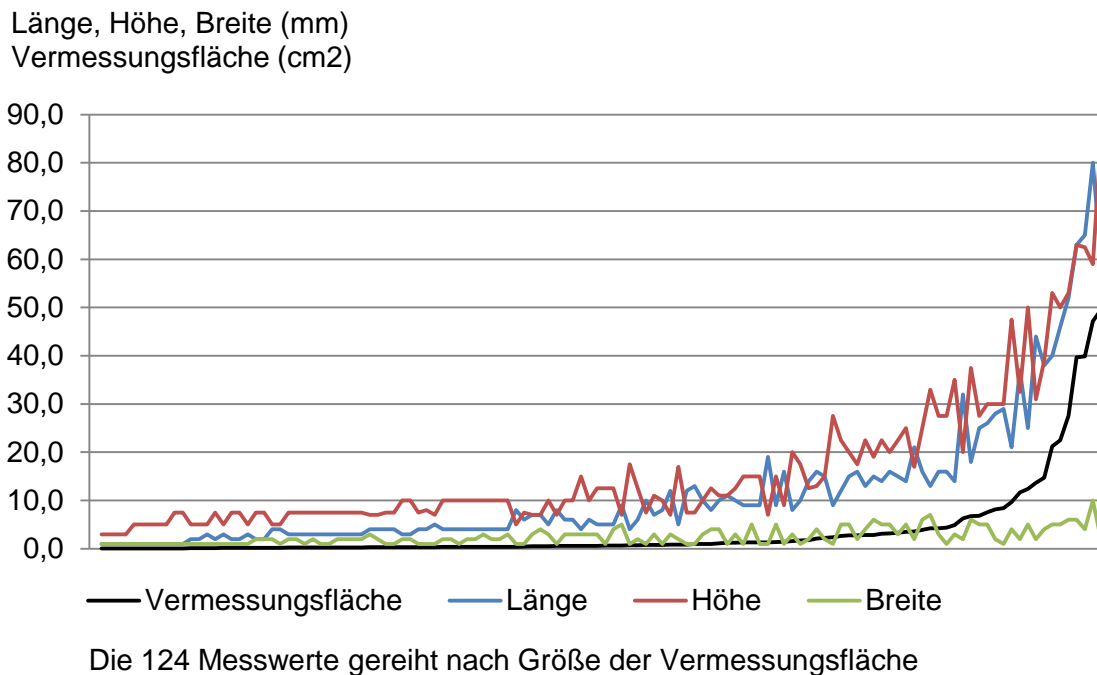


Abbildung 25: Gegenüberstellung der Linearen Messwerte und der Vermessungsfläche

Die Abbildung 25 bringt die verschiedenen Messungen in einen visuellen Bezug zueinander. Es fällt auf, dass die Höhenmessungen tendenziell um 3 - 5 mm größer als die Längenmessungen sind. Der Verlauf der (nach Größe der Vermessungsfläche gereihten) Längen- und Höhenwerte sowie der Vermessungsfläche selbst ist exponentiell. Die Breitenwerte dagegen zeigen keinen exponentiellen Verlauf.

Um den Zusammenhang der durchschnittlichen Größe der Vermessungsflächen mit 9 Altersgruppen zu testen, wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman bestimmt. Der Zusammenhang ist sehr stark und höchst signifikant ( $r = .92$ ;  $p < .001$ ).

Es war klar, dass die Vermessungsflächen stets größer sein mussten als die tatsächlichen sagittalen FV-Flächen. Daher werden in diesem Kapitel auch die in Axial-Schichten berechneten Vermessungsflächen mit den aus dreidimensionalen Lateralansichten gewonnenen „Umrissflächen“ der FV verglichen (mehr zu den Flächenmessungen im Kapitel 4.5.4).

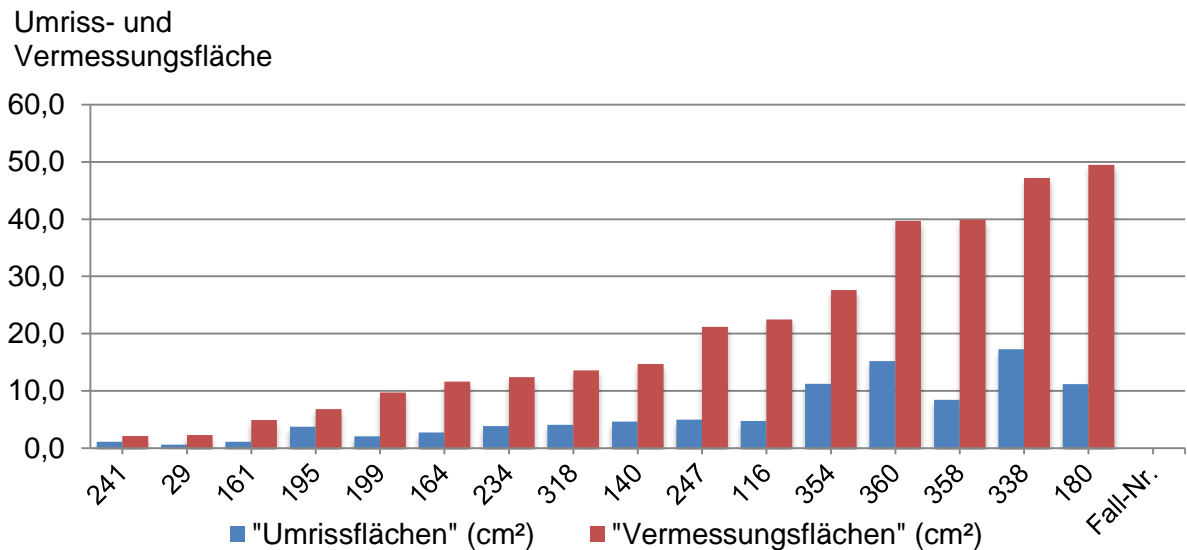


Abbildung 26: Vergleich der in Axial-Schichten berechneten mit den in 3D-Lateralansichten berechneten Flächen der größten FV

Im Durchschnitt sind die „Vermessungsflächen“ der 16 Fälle 3,5 mal so groß wie die „Umrissflächen“, das Verhältnis wird von Abbildung 26 verdeutlicht. Diese Verhältniszahl hat eine Streuung bzw. Standardabweichung von 1,0.

#### 5.4.4 Besonderheiten bezüglich der Dichte der Falx und Hyperdensitätsbereiche

Der Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen HE der Falx (scheitelnah gemessen) und dem Alter (9 Altersgruppen), anhand der Rangkorrelation nach Spearman berechnet, ist mit  $r = .27$  nur sehr gering und nicht signifikant ( $p = > .05$ ). Demnach scheint es keinen Zusammenhang zwischen der Dichte der Falx und dem Patient/innenalter zu geben.

Vergleicht man den Durchschnitt der Maximal-CT-Werte der Falx für Fälle mit FV, für Fälle mit reinen SV und für Fälle ohne Verkalkungen, so ist dieser Wert bei Fällen mit FV 61 HE nur geringfügig erhöht gegenüber den Fällen ohne Verkalkungen und mit reinen SV (jeweils 56 HE).

Hyperdensitätsbereiche- und Foki kommen in 55,6 % aller Fälle mit FV vor, dagegen nur zu 19,5 % bei Fällen ohne Verkalkungen und zu 17,1 % bei Fällen mit nur SV (Abbildung 27).

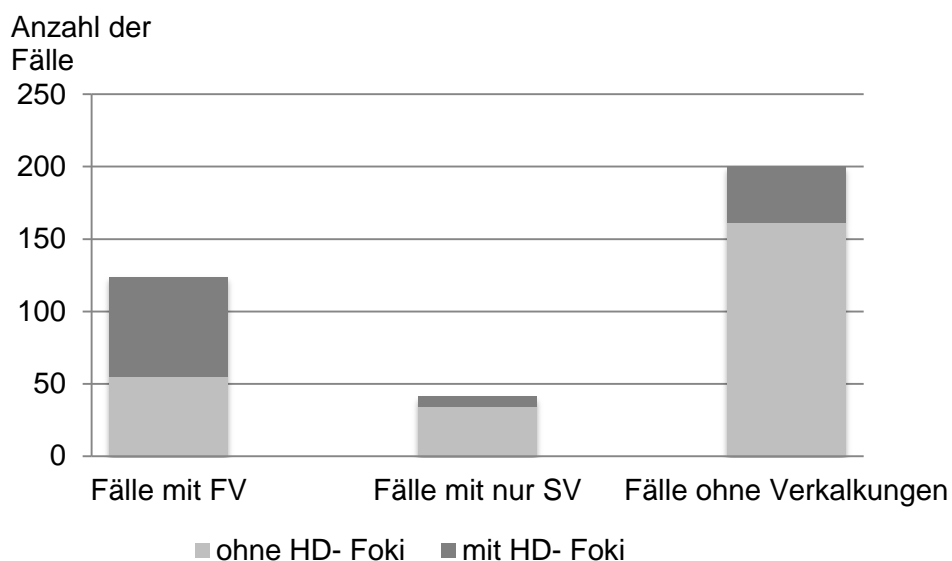


Abbildung 27: Verteilung der Hyperdensitäten (HD) bei Fällen mit FV, mit nur SV und ohne Verkalkungen

Auf die Dichtemessungen der größten FV wird im anschließenden Kapitel eingegangen.

### 5.5 CT-Hinweise bezüglich der Struktur von FV (Verkalkung oder Verknöcherung)

In der Literatur wurden vielfach diffuse FV, die nicht über die Breite der Falx hinaus ragen, in Verbindung mit diffusen Kalkablagerungen gebracht, Demgegenüber wurden die breiteren FV als Falxosteome unterschieden. Zum Zweck der Vergleichbarkeit wurden die FV je nach Lage innerhalb der lateralen Falxgrenzen (2,5 bis 3 mm breit) in jenen Breiten ausgewählt, die nicht darüber hinaus ragten. Von dieser Gruppe wurde der Durchschnitt der „Maximal-CT-Werte der größten FV“ berechnet. Für die restlichen FV (welche über die Falxbegrenzung von 2,5 - 3 mm hinaus ragten) wurde ebenfalls der Durchschnitt der CT-Werte berechnet. Der erhöhte Grenzwert der fiktiven FV-Breite (2,5 - 3 mm anstatt 2 mm) wurde gewählt, da ja die FV-Breite in Gehirnaufnahmen (gegenüber den genaueren Knochenaufnahmen) um 1 mm zu breit dargestellt wurde (Kapitel 5.2.2).

Tabelle 12: Durchschnitt der Maximal-Dichtewerte bei „Diffusen FV“ und „Falxosteomen“

	Anzahl	durchschnittliche HE
FV die sich innerhalb der Falxbreite befinden	82	240,6
FV die breiter als die Falx sind	42	813,1
Alle FV	124	434,5

Es gibt eine deutliche Abweichung der durchschnittlichen „Maximal-CT-Werte der größten FV“ in den Untergruppen gegenüber allen FV zusammen (Tabelle 12). Vergleicht man zwischen „falxbreiten FV“ und „breiteren FV“ das Durchschnittsalter (73 : 75 Jahre) und die Verteilung der Geschlechter (bei Männern 24,7 % : 12,7 %; bei Frauen 20,6 % : 10,6 %), so fallen keine wesentlichen Unterschiede auf.

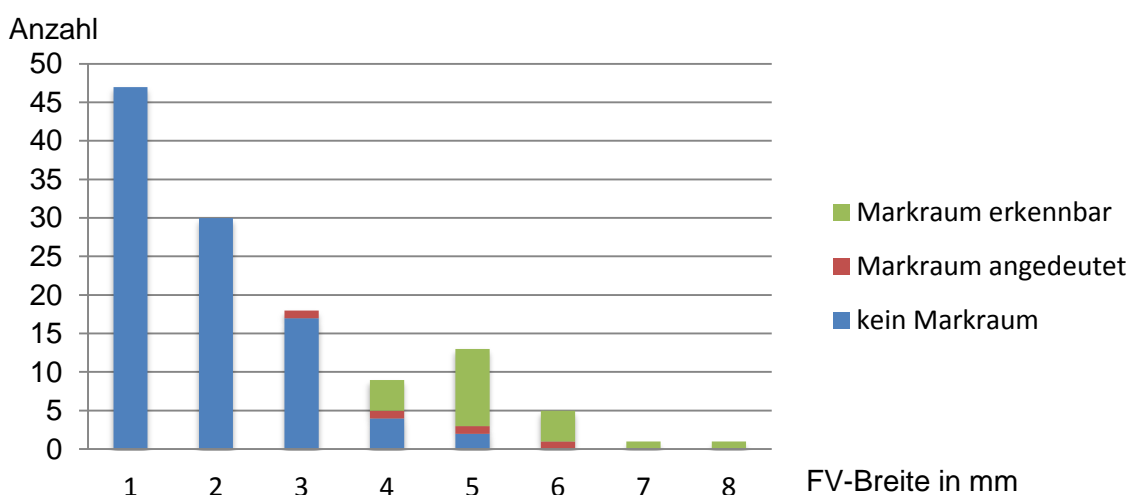


Abbildung 28: Vergleich der Markraum-Erkennbarkeit bei unterschiedlichen FV-Breiten

Die Abbildung 28 veranschaulicht die Erkennbarkeit von Markräumen bei unterschiedlichen FV-Breiten. Bis zu einer FV-Breite von 3 mm war kaum ein „Markraum“ angedeutet oder erkennbar. Ab 5 mm FV-Breite waren fast in allen FV-Fällen „Markräume“ angedeutet oder erkennbar. Man beachte auch die leicht vergrößerte FV-Häufigkeit im Bereich der FV mit erkennbarem Markraum im Gegensatz zum konstant abnehmenden Trend der FV-Häufigkeit ohne Markraum.

## **6 Diskussion**

### **6.1 Methodendiskussion**

#### *6.1.1 Studiendesign und Art der Studiendurchführung*

Das retrospektive Design dieser Studie basiert auf der Entscheidung des Autors, dass für die Studie keine Änderungen des vermutlich für die Befundung bereits optimierten Protokolls der CT-Untersuchungen unternommen werden sollten, welche möglicherweise eine höhere Strahlenbelastung für das Krankengut mit sich gebracht hätte und damit ethisch nicht vertretbar gewesen wäre.

Im Laufe der Erhebung stellte sich jedoch heraus, dass auch ohne Veränderung der Geräteeinstellungen (diese sind alleinig entscheidend für die Strahlenbelastung) immerhin der Zugang auf die mit feiner Schichtkollimation akquirierten Aufnahmen möglich wäre. Hieraus könnte man breitere Schichten in unterschiedlichen Raumebenen rekonstruieren, mit gleich guter Auflösung wie bei den standardmäßig angefertigten Axial-Schichten (Prokop u. a., 2006).

Im Nachhinein hätte also ein prospektives Studiendesign dennoch entscheidende Vorteile gehabt. Die Umsetzbarkeit dieser Vorgangsweise müsste jedoch aufgrund des zusätzlichen Aufwands für das radiologietechnische Personal (gegenüber dem Routineablauf) noch geklärt werden.

#### *6.1.2 Literaturrecherche*

Alte Quellen, die nicht in Datenbanken gelistet waren, wurden vor allem über die Referenzen älterer Dissertationen gefunden.

Die Dissertationen, welche besonders informativ waren, wurden über das Einschlusskriterium C gefunden, genau genommen über den österreichischen Bibliothekenverbund, das Internet und die Referenzen eines radiologischen Fachbuches.

Im Zuge der Recherchen stellte sich heraus, dass die Kenntnis der japanischen und italienischen Sprache von Vorteil gewesen wäre, da ein paar interessante Studien in diesen Sprachen zusätzlich verwendbar gewesen wären. Glücklicherweise stellte Bruyn (1963) detaillierte Zahlen von ein paar italienischen Studien vor, welche für die Literaturergebnisse der vorliegenden Arbeit wieder verwendet werden konnten.



## **6.2 Diskussion der Datenerhebung**

### *6.2.1 Zur Messgenauigkeit*

Aus der Tabelle 6 kann man ableiten, dass der „Fehler aufgrund begrenzter Präzision bei der Erfassung der Daten“ bei den Probemessungen mit mindestens 95,4-prozentiger Wahrscheinlichkeit maximal 0,1 mm betrug. Diese Wertabweichungen sind möglicherweise auch Rundungsfehler aufgrund der begrenzten Dezimalstellen. Die Vermessung der kleinsten Längen um 1 mm und die Rundung auf ganze Zahlen erscheint jedenfalls bezüglich der Distanz-Messgenauigkeit gerechtfertigt.

Das Risiko zufälliger oder statistischer Fehler ließe sich durch Messwiederholungen für alle Messungen reduzieren, jedoch steht der erheblich größere Aufwand dieser Methode nicht in Relation zu dem geringen und schwer einschätzbaren Gewinn. Abgesehen davon würde die Datenmenge ein nicht mehr überschaubares Maß annehmen.

Es bleibt die Möglichkeit systemischer Fehler durch schlechte Gerätekalibrierung und -wartung. Durch regelmäßige Konstanzmessungen im Rahmen der CT-Wartungsverträge wird versucht diesem Fehler entgegenzuwirken. Eine Quantifizierung dieses Fehlers könnte nur im Zuge gezielter Phantommessungen unternommen werden, dies war jedoch im Rahmen dieser Studie nicht möglich.

Systemische Fehler aufgrund von Interpolationsungenauigkeiten des für die Spiral-CT typisch inkonsistenten Datensatzes und Ungenauigkeiten in der Führung bewegter Scannermechanik führen zu einer weiteren Verschlechterung der Bildqualität. Diese kann in der vorliegenden Studie nicht eindeutig quantifiziert werden, da sich die Protokolle der Konstanzmessungen im Rahmen der CT-Wartungsverträge von den verwendeten Untersuchungsprotokollen deutlich unterscheiden.

### *6.2.2 Prozedere der Datenerhebung*

Im Nachhinein wäre es möglicherweise effizienter, weniger zeitintensiv und für den Zweck der Studie ausreichend gewesen, wenn nur die Falldaten, die Verwendbarkeit (bezüglich Ein- und Ausschlusskriterien) und das bloße Vorhandensein von FV (evtl. mit Position entlang x-Achse und Dichte und Hohlraumsuche), SV und TV über Syngo.plaza geprüft und die Positionsbeschreibung entlang der y-Achse und sagittale Flächenmessungen dagegen in Syngo.via und Photoshop unternommen worden wären. Für die Positionsbeschreibung könnte man dann eine gedachte Linie zwischen Nasion und Inion ziehen, dritteln und

senkrecht an den Schnittpunkten die Lagetrennlinien kranialwärts ziehen. Die vordere Lagetrennlinie würde den Schädel dann auch wieder in der Nähe des Bregma kreuzen.

### 6.2.3 Besondere Herausforderungen

Tabelle 13: Häufigkeit der unterschiedlichen Ausrichtungen der Lagetrennlinien

Messung auf cm gerundet	Anzahl der Fälle	%
2	14	8,5
1	41	24,9
0	50	30,9
-1	34	20,6
-2	20	12,6
Summe	159	100

Zu Beginn der Datenerhebung waren die Möglichkeit mit Syngo.via zu arbeiten und dessen Vorteile in der 3D-Darstellung noch nicht bekannt. Daher wurde ein System geschaffen, mit dem FV anhand axialer Schichten eindeutig einem anterioren, medialen oder posterioren Bereich der Falx zugeordnet werden konnten. Diese Bereiche der Falx sind i.d.R etwa gleich groß und können anhand von leicht palpierbaren Knochenkennpunkten nachvollzogen werden (siehe Kapitel 4.5.7). Die Trennlinien zwischen den Falxbereichen werden jedoch durch die Position des Kopfes während des Tischvorschubes

mitbestimmt. Bei 76,4 % der Kontrollmessungen (bei allen Fällen mit FV oder SV) verlief die Lagetrennlinie durch einen Streubereich von + - 1 cm anterior oder posterior des Bregma (Tabelle 13). Bei den restlichen Fällen beträgt jedoch der Winkel zwischen den beiden Lagetrennlinien etwa 45° (Abbildung 7). Dies führt leider zu einer gewissen Ungenauigkeit der Lagebestimmungen der FV und SV. Eine Vorbeugung dieser Ungenauigkeit hätte durch eine prospektive Studie möglicherweise mit einheitlichen Vorgaben der Positionierung des Kopfes erreicht werden können. In Einzelfällen dürften jedoch unterschiedliche Faktoren eine derartige erwünschte Einstellung dennoch behindern.

### 6.2.4 Verbesserungen für Folgestudien

Im Kapitel 6.1.1 wird der Vorteil einer besseren Bildqualität für sagittale Schnittbilder im Zuge eines prospektiven Studiendesigns diskutiert.

Im Kapitel 6.2.2 wird diskutiert, welches Vorgehen bei der Datenerhebung vermutlich weniger aufwendig gewesen wäre und dennoch die (in dieser Studie nur teilweise vorgenommenen) genauen Flächenmessungen ermöglicht hätte.

## 6.3 Diskussion der Ergebnisse

### 6.3.1 Ermöglicht die dritte Dimension eine Differenzierung in typische FV-Formen?

Eine Klassifizierung unterschiedlicher FV-Typen in der CT-Bildgebung macht wohl dann Sinn, wenn die Form mögliche Rückschlüsse auf eine unterschiedliche Struktur (Verkalkung oder Verknöcherung) oder unterschiedliche Entstehungsmechanismen geben kann. Es gibt jedoch noch keine klaren Hinweise aus der Literatur, wie sich eine FV aufgrund eines Hämatoms, einer Degeneration, einer Durchblutungsstörung oder einer chronischen Stoffwechselstörung präsentieren müsste. Es gibt lediglich die Vermutung, dass FV als reine Kalkablagerungen in der Falx nicht über die anatomische Breite der Falx hinausgehen dürften (Naidich u. a., 2012; Parnitzke, 1948; Seuffer, 1969). Die Breite von FV kann am besten in axialen Schichten gemessen und zur Differenzierung in diffuse ( $\leq 2$  mm) und kompakte ( $> 2$  mm) FV genutzt werden.

Bei der lateralen Ansicht dreidimensionaler FV-Darstellungen lässt sich die Form und Anordnung der FV am ehesten mit jener von Inseln bzw. Inselgruppen vergleichen. Diese sind so gut wie immer (unterschiedlich stark) unregelmäßig geformt, oft gebogen und leicht geschwungen, mit unterschiedlich großen „Buchten“ und teils sogar „Seen“. Die zumeist längliche Form großer FV richtet sich in der Regel entlang der sichelartigen Form der Falx aus.

Die große Vielfalt an Formen der FV in dreidimensionalen Darstellungen und deren grenzenlose Übergänge legen nahe, dass eine Klassifizierung in bestimmte Formtypen hier weder möglich noch sinnvoll ist. Das Beispiel in Abbildung 29 veranschaulicht die markanten Formveränderungen die bei unterschiedlichem Dichte-Grenzwert für FV resultieren würden.

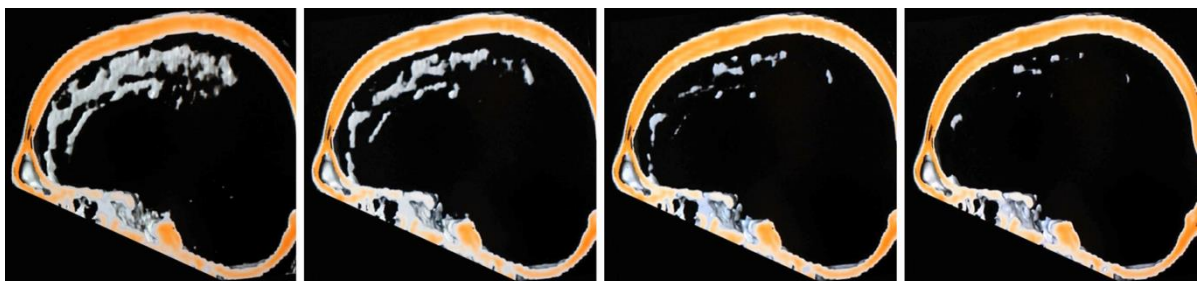


Abbildung 29: Fall 193 mit vier unterschiedlichen Fensterungen in Syngo.via

### 6.3.2 Über Häufigkeit, Alters- und Geschlechterverteilung von FV

In dieser Studie wurden weitaus mehr FV, SV und TV beobachtet als in vorherigen Studien. Becker (1977) verwendete vor 39 Jahren eine Pixelauflösung von 1,9 x 1,9 mm sowie einen Dichte-Grenzwert von 50 HE (dies bereitete Schwierigkeiten in der Differenzierung zwischen FV und Blutungen) und kam dank der verbesserten Sensitivität der CT gegenüber der Röntgenbild-Methode auf eine FV-Häufigkeit von 21 %. In der vorliegenden Studie wurde eine wesentlich höhere FV-Häufigkeit von 34 % festgestellt, obwohl der Dichte-Grenzwert mit 100 HE deutlich höher war. Möglicherweise wurde dies mit der verbesserten Auflösung der CT-Geräte der vorliegenden Studie (0,5 x 0,5 mm) ermöglicht. Das bedeutet, dass mindestens jede dritte Person innerhalb der vorliegenden Stichprobe eine FV vorwies.

Die Männer waren mit 37,3 % gegenüber Frauen mit 31,2 % etwas häufiger von FV betroffen, was den Trend bestätigt, welcher von den meisten Autoren beschrieben wurde (Bruch u. a., 1965; Bruyn, 1963; Dyke, 1930; Hauser, 1968; Ojuawo u. a., 2003; Parnitzke, 1948; Seuffer, 1969; Teir & Ohela, 1956). Dieser Unterschied ist zwar sehr gering, jedoch nimmt er mit steigendem Alter zu. Vergleicht man die Altersgruppe „10 - 54 Jahre“ mit der Altersgruppe „55 - 99 Jahre“, so steigt bei Männern die FV-Häufigkeit ausgehend von 16,6 % in der jüngeren Gruppe auf 52 % in der älteren Gruppe. Bei den Frauen ist der Anstieg der FV-Häufigkeit von 17 % in der jüngeren Gruppe auf nur 37,2 % in der älteren Gruppe zu beobachten (Abbildung 16).

Unterscheidet man zusätzlich FV, die sich in der Röntgen-Frontalaufnahme als „SFV“ abbilden müssten, mit FV, die sich als „FO“ darstellen müssten, so fällt auf, dass die „FO“ in der jüngeren Gruppe deutlich häufiger bei Frauen vorkommen. In der älteren Gruppe kehrt sich das Verhältnis geringfügig um (Abbildung 17). Die nach Mayer (1959) bevorzugt bei Frauen auftretenden FO wurden demnach möglicherweise an einem vorwiegend jungen Krankengut beobachtet.

Die vorliegende Studie kann die Annahme von Heidrich und Küstner (1967), dass nur FO mit dem Alter zunehmen, nicht stützen, da in dieser Studie auch „SFV“ mit dem Alter zugenommen haben. Wie bei der Mehrheit der vergangenen Studien konnte auch in dieser Studie eine stark positive Korrelation ( $r = .96$ ) mit höchster Signifikanz ( $p = < .001$ ) zwischen der FV-Häufigkeit und dem Alter nachgewiesen werden. Bei Frauen ist dieser Zusammenhang weniger deutlich ( $r = 0,82$ ) wenn auch signifikant ( $p = < .05$ ). Seuffer (1969) kam bei seinem chirurgischen Krankengut auf ein fast identisches Ergebnis. Ansonsten

variierten die aus Werten anderer Autoren berechneten Korrelationskoeffizienten zwischen FV und Alter bei Unterscheidung der Geschlechter stark und eher zugunsten einer höheren Korrelation bei Frauen als bei Männern (Dyke, 1930; Hauser, 1968; Lanig, 1978; Seuffer, 1969; Wu u. a., 1956).

Die Hälfte aller FV-Fälle wies mehr als 1 FV vor. Die Zahl der FV insgesamt erhöht sich dadurch auf 313 Stück. Uduma u. a. (2012) fanden dagegen in Afrika nur 24 FV bei 132 Personen, obwohl sie pro Person auch mehrere FV zählten. Tsitouridis u. a. (2006) zählten in nur 10 % ihrer Fälle mehrere FV pro Person.

Lediglich bei 3 Fällen wurde ein Schädel-Kontakt der FV festgestellt (1 x zur Kalotte, 1 x zur Crista galli und 1 x beide zugleich). Diese Häufigkeit scheint mit 0,8 % der Stichprobe extrem selten zu sein. Tsitouridis dagegen fand einen Knochenkontakt der FV in 15 % seiner 40 FV-Fälle. Seine Stichprobe, die nicht mehr als die 40 Fälle mit FV umfasst, wurde aus Gründen der Differenzialdiagnostik gegenüber pathologischen Faktoren registriert und ist daher stark selektiv beeinflusst.

### *6.3.3 Über SV, TV und ausgeprägte Varianten der Crista frontalis*

SV kommen mit einer Häufigkeit von 20,8 % vor, dies entspricht einem Verhältnis von knapp 2:3 zu FV. In der Literatur wird die SV-Häufigkeit nur mit 0,7 – 2,5 % (Bruyn, 1963), 1 % (Siewert, 1988) und 6 % (Teir & Ohela, 1956) angegeben. Auch im jeweiligen Verhältnis zu FV wurden die SV seltener beobachtet, was die Vermutung nahelegt, dass am Röntgenbild die FV leichter als SV erkannt werden können. Umgekehrt muss jedoch auch kritisch darauf hingewiesen werden, dass gerade im Bereich nahe der Kalotte auf CT-Bildern eine gewisse Strahlenaufhärtung zu erwarten ist, die möglicherweise zur Darstellung von SV führt, welche eigentlich knapp unterhalb des Dichte-Grenzwertes von 100 HE liegen. Beim Großteil der SV (64,5 %) wurde ein Schädelkontakt beobachtet, i. d. R. reichten die SV nicht über den Rand der Falx hinaus. Hierzu gibt es noch keine Vergleichsdaten.

Für Bruyn (1963) kommen bei Frauen mehr SV und weniger FV als bei Männern vor. Dies konnte auch von der vorliegenden Studie bestätigt werden. Siewert (1988) dagegen stellte keine geschlechtsspezifischen Unterschiede fest. Es weichen jedoch generell alle seine Ergebnisse stark vom überwiegenden Konsens der restlichen Autoren ab, vermutlich lag das an einem Fehler in seinem neuen Ansatz der Interpretation der Röntgenshatten im Falxbereich. Eine Überschneidung von FV und SV gibt es in der vorliegenden Studie bei etwa der Hälfte aller SV. Von anderen Autoren gibt es hierüber keine Information.

Im Gegensatz zur FV ist die Korrelation zwischen der SV-Häufigkeit und dem Alter für Frauen sehr gering ( $r = .19$ ) und für Männer sogar mittelstark negativ ( $r = - .75$ ), jedoch nicht signifikant ( $p = > .05$ ). Auch hierüber gibt es noch keine Ergebnisse anderer Autoren, sodass keine Vergleiche angestellt werden können.

Bruch, Bushe, & Gregl (1965) fanden die TV bei 0,26 % ihrer 8014 Fälle, bei einem Verhältnis von 1 SV: 31 FV. In der vorliegenden Studie kommen TV in 11 der 365 Fälle (3 %) vor, bei einem Verhältnis von 1 SV : 15,5 FV. Scheinbar wirkt sich die verbesserte Sensitivität der heutigen CT-Geräte gegenüber der Röntgenuntersuchung noch mehr auf das Erkennen von TV als von FV aus. Es muss jedoch kritisch angemerkt werden, dass der Bereich des Tentoriums bereits im Einflussbereich der Strahlenaufhärtung der hinteren Schädelgrube liegt. Diese Artefakte können relativ unscheinbar sein und dennoch zu einer Berechnung von höheren CT-Werten in diesem Bereich führen. Möglicherweise ist dies der Grund der erhöhten Inzidenz. Zusätzlich konnte beobachtet werden, dass TV in Verbindung mit FV und SV gehäufte (4,9 %) vorkommen als bei verkalkungsfreien Fällen (1,5 %).

In der Literatur finden sich keine Grenzwerte für eine ungewöhnlich stark ausgeprägte Crista frontalis. Subjektiv erschien dies ab etwa 9 mm der Fall zu sein. Solch ausgeprägte Cristae frontalis wurden in 12 der 365 Fälle (3,3 %) beobachtet, und zwar geringfügig häufiger bei Fällen ohne irgendeine Verkalkung. Sie scheinen also in keinerlei Zusammenhang mit FV und SV zu stehen. Der Altersdurchschnitt dieser Fälle liegt unter dem der Stichprobe. Diese Beobachtungen stehen konträr zu der von Siewert (1988) in 12,1 % seiner Fälle interpretierten Crista frontalis. Außerdem stellte er einen stark positiven Zusammenhang dieser Gruppe mit dem Alter fest sowie eine leicht erhöhte Inzidenz bei Männern. All dies lässt vermuten, dass Siewert (1988) den Großteil von eigentlichen FV fälschlicherweise als eine stark ausgeprägte Crista frontalis interpretierte.

#### *6.3.4 Über die Position von FV und SV*

Bezüglich der Diskussion zur Differenzierung zwischen den Falxbereichen wird auf das Kapitel 6.2.3 verwiesen.

Übereinstimmend mit den Ergebnissen der meisten Autoren zur vorwiegend anterioren Lage der FV war die Falx auch in dieser Studie mit stark überwiegender Mehrheit im anterioren und medialen Bereich von FV betroffen. Berücksichtigt man den Umstand, dass 5 große FV, die in den medialen Falxbereich hineinragten, (aus statistischen Gründen) nur anterior gezählt wurden, so ist der anteriore und mediale Bereich der Falx etwa gleich

häufig von FV betroffen. Tsitouridis u. a. (2006) zählten 67,5 % der FV alleine im anterioren Bereich der Falx, 17,5 % im medialen Bereich und 5 % im posterioren Bereich. Leider gehen die Autoren nicht näher darauf ein, nach welchem System die Lage-Einteilung vorgenommen wurde, möglicherweise ist der von ihnen deklarierte mediale Bereich der Falx viel kleiner als der anteriore Bereich.

Der Anteil an „FO“ (> 3 mm gemessene Breite) ist anterior deutlich größer als medial, posterior wiederum sind „FO“ sowie „SFV“ ( $\leq 3$  mm) zugleich sehr selten. Entgegen der Ansicht von Mayer (1959), dass die anterior gehäufte Verteilung nur für FO zutrifft und nicht für SFV, waren demnach auch „SFV“ anterior (und medial) gegenüber posterior gehäuft.

Für SV wurde eine gegenteilige Lageverteilung beobachtet, und zwar bei Männern und Frauen posterior häufiger als anterior, der Großteil lag jedoch medial. Mit 99 prozentiger Wahrscheinlichkeit kann ein Zufall für diesen Unterschied ausgeschlossen werden ( $\chi^2$ -Mehrfeldertest,  $p = < .001$ ). Dieser markante Unterschied zwischen FV und SV wurde zuvor von keinem Autor beschrieben. Dennoch bemerkten die Autoren zweier Studien (Tubbs u. a., 2006; Zandian u. a., 2014) bei besonders großen FV nebenbei, dass der anteriore Bereich der Falx verkalkt/verknöchert war, der Sinuswandbereich jedoch ausgespart blieb. Diese Besonderheit fällt auch bei Betrachtung der angefertigten Lateralansichten (Abbildung 10-Abbildung 13; Abbildung 23) ins Auge.

Lanig (1976) beschrieb den genauen Bereich der maximalen FV-Häufigkeit frontal in der Nähe des Bregma, wo die zwei unterschiedlichen Faserstrahlungen der Falx zusammentreffen. Genau dieser Bereich war auch auf den 16 Lateral-Ansichten der vorliegenden Studie (darunter die 12 größten FV) am häufigsten betroffen.

Besonders wenig einig waren sich Autoren vergangener Studien über das Vorliegen der FV entweder zwischen den Durablättern der Falx (Ferraz Alvim, 1943 und Urbano & Viola, 1961, zit. nach Bruyn, 1963, S. 101 und S. 105), inmitten eines Durablattes (Bruch u. a., 1965; Heidrich & Küstner, 1967) oder aufgelagert auf das Durablatt (Batnitzky u. a., 1974; Parnitzke, 1961, Robertson, 1946) Daher wurde auch in dieser Studie die FV-Position bezüglich der lateralen Falxgrenzen untersucht. Die meisten FV wurden mittig im Falxverlauf liegend beobachtet. Je weiter die Verlagerung der FV innerhalb der Falxbreite nach lateral war, desto seltener kamen sie vor. Diese Verteilung ist bei Männern und Frauen gleich. Auffallend war, dass der Anteil der „deutlichen FV-Verlagerungen“ nach posterior hin markant zunahm und dass scheinbar auf die Falx aufgelagerte FV nur medial

vorhanden waren. Es konnte am CT-Bild dennoch nicht festgestellt werden, ob z.B. mittige und leicht verlagerte FV sich zwischen den Durablättern der Falx befanden und die Durablätter nach lateral verdrängten, ob sie das Durablatt penetrierten oder ob die Durablätter der Falx von der FV vereinnahmt waren. Diese Frage kann zurzeit nur anhand anatomischer Studien eindeutig geklärt werden.

### *6.3.5 Über die Breite und Größe der jeweils größten FV*

In der vorliegenden Studie ging es im Falle der kleinsten FV (in Millimetergröße) nur darum, sie so weit wie möglich zu registrieren. Die tatsächliche Größe und die erhöhte Wahrscheinlichkeit unterschiedlicher Messwerte bei unterschiedlichen CT-Untersuchungen aufgrund der verstärkten Auswirkung des PVE in diesem Größenbereich sind für diese Studie nicht relevant.

Es war dank der Recherchen bekannt, dass die Erkennbarkeit kleinster FV von der Auflösung der CT-Geräte bestimmt wird. Rein rechnerisch können FV mit einer geringen Dichte in der Bildgebung ausgelöscht werden, wenn kein Voxel vollständig von einer FV ausgefüllt werden kann. Bei der verwendeten Pixel-Auflösung von 0,5 mm und bis 5 mm dicken Schichtdicken ist es nicht unwahrscheinlich, dass viele schwache, nur 1 - 2 mm große FV, gar nicht registriert wurden. Andererseits wurden möglicherweise besonders dichte FV, die kleiner als 1 mm groß sind und normalerweise nicht registriert worden wären, aufgrund der vergrößerten Darstellung (durch den PVE) in der Bildgebung dennoch registriert.

Derartige kleine FV-Körnchen wurden bereits von mehreren Autoren erwähnt (Batnitzky u. a., 1974; Schmidt, 1914, zit. Nach Bruyn, 1963, S. 99) und von Hassler (1965) genauer untersucht. Dieser beschrieb kleine Körnchen von 0,1 – 1 mm Größe, welche auch zusammengehäuft als über 3 mm<sup>2</sup> große Aggregate vorkommen können. Möglicherweise handelte es sich hierbei um die von Batnitzky histologisch festgestellten Psammomkörper. Über die Dichte dieser kleinen Körnchen ist dem Autor dieser Studie nichts bekannt. Es ist jedoch nicht unwahrscheinlich, dass sie in dieser Studie mit dem Auftreten von Hyperdensitätsbereichen, kleinsten FV-Foki und FV in Millimetergröße zu tun haben.

Der Durchschnitt der maximalen Falxdichte ist bei FV-Fällen, SV-Fällen und bei Fällen ohne Verkalkungen recht ähnlich zwischen 56 und 61 HE (vorhandene FV und Hyperdensitäts-Foki wurden bei den Dichtemessungen der Falx bewusst ausgelassen). Außerdem gab es keinen signifikanten Zusammenhang ( $p = > .05$ ) zwischen dem maximalen Dichtewert der Falx und dem Alter. Dies spricht dafür, dass die Verkalkung bzw. Verknöcherung der Falx nur



von abgegrenzten Bereichen ausgeht, während die restliche Falx unverändert bleibt. Die Tatsache, dass FV-Fälle mit gleichzeitigem Vorhandensein von Hyperdensitäts-Foki gegenüber FV-Fällen ohne Hyperdensitäts-Foki überwiegen, während der Anteil von Hyperdensitäts-Foki bei Fällen ohne FV nur einen kleinen Bruchteil ausmacht, bestärkt die Vermutung, dass Hyperdensitäts-Foki i. d. R. in Wahrheit kleinste FV darstellen (Abbildung 27).

Auf Abbildung 25 fällt auf, dass die Höhenmessungen tendenziell um 3 – 5 mm größer als die Längenmessungen sind. Der Wert entspricht den verwendeten Schichtdicken und weist vermutlich auf den Einfluss der - dreidimensional die Höhe bevorzugenden - Bildauflösung hin. Die Variation dieses Unterschiedes ist vermutlich auf eine unterschiedliche Ausrichtung der FV zurückzuführen.

Bei der Betrachtung der Abbildung 25 fällt auch der späte und exponentielle Anstieg der (der Größe nach gereihten) Vermessungsflächen auf, welcher auf immer seltener vorkommende FV deuten lässt, je größer die Vermessungsflächen sind.

Es wurde noch nicht untersucht, ob und inwieweit FV in einer bestimmten Größe einen Einfluss auf die kraniosakrale Palpation der Falx durch Osteopathen haben. Es ist jedoch die Annahme gerechtfertigt, dass sehr kleine FV keinen Einfluss auf die kraniosakrale Palpation der Falx cerebri haben können.

In den lateralen Ansichten (Abbildung 10-Abbildung 13) vermitteln FV mit einer Größe von 1 – 2 cm<sup>2</sup> Vermessungsfläche den Eindruck, eine ausreichende Größe für einen möglichen Einfluss auf die kraniale Palpation der Falx zu haben.

Daher wurde auch die Häufigkeit für FV ab einer Vermessungsfläche von 2 cm<sup>2</sup> untersucht. Mit einer Inzidenz von 9,8 % hat etwa jede zehnte Person der Stichprobe eine FV mit 2 cm<sup>2</sup> Vermessungsfläche oder größer.

Weiterhin wurde untersucht, ab welcher Höhe der FV (die Höhe entspricht ungefähr der im frontalen Röntgenbild wahrnehmbaren Größe der FV) eine ähnliche Inzidenz wie in vorausgegangenen Röntgenstudien festgestellt werden kann (Abbildung 15 rechts). Ab einer Höhe der FV von 2 cm beträgt die FV-Inzidenz 8,7 % und liegt somit sehr nahe dem Mittelwert früherer Studien mit 7,1 + - 5,1 % (Becker u. a., 1977; Bruch u. a., 1965; Bruyn, 1963; Daghighi u. a., 2007; Hauser, 1968; Heidrich & Küstner, 1967; Lanig, 1976; Ojuawo u. a., 2003; Sands u. a., 1987; Seuffer, 1969; Siewert, 1989).

In Röntgenstudien konnten FV also vermutlich ab ungefähr 2 cm FV-Höhe registriert werden. Im Nachhinein kann dies jedoch nicht mehr geklärt werden, daher handelt es sich nur um eine sehr wagen Annahme.

Die Spearman-Korrelation zwischen der FV-Inzidenz und dem Alter ist auch ab einer Vermessungsfläche der FV von  $\geq 1 \text{ cm}^2$  sehr hoch ( $p < .01$ ). Dabei steigt die Rangkorrelation nach Spearman für Männer auf  $r = .99$  ( $p < .001$ ), für Frauen dagegen sinkt sie auf  $r = .58$  ( $p > .05$ , nicht signifikant).

Die vier größten FV bemaßen eine zusammenhängende sagittale Fläche (über FV-Umriss bestimmt) von  $10 - 17 \text{ cm}^2$  und  $0,2 - 1 \text{ cm}$  Breite.

Als Kritikpunkt für das angewendete Mess-System sei auf die Abbildung 26 verwiesen. Die tatsächlichen aus sagittalen Rekonstruktionen berechneten Flächen der FV („Umrissflächen“) betragen nur einen Bruchteil der für alle FV-Fälle erhobenen Vermessungsflächen.

Folglich sind Angaben über die Größe der FV in Form von Vermessungsflächen immer mit einer gewissen Unsicherheit über die tatsächliche sagittale Ausbreitung (Fläche) der vermessenen FV verbunden. Denn je nach Form und Ausrichtung kann die FV die Vermessungsfläche mehr oder weniger ausfüllen. Der Unterschied zwischen den Vermessungsflächen und den Umrissflächen ist größer als zu Beginn der Studie erwartet wurde.

### *6.3.6 Über CT-Hinweise bezüglich der Struktur von FV*

In histologischen Studien wurde als Knochenmerkmal u. a. gerne das Vorhandensein von Knochenmarkräumen beschrieben. Auch am CT-Bild konnten regelmäßig Hohlräume festgestellt werden. Die Sichtbarkeit von Hohlräumen bzw. Markhöhlen in FV hing scheinbar von der Breite der FV ab. Während bis zu einer FV-Breite von 3 mm noch so gut wie kein Hohlraum festgestellt werden konnte, so hatten FV mit 4 mm Breite bereits zu 50 % Hohlräume und breitere FV noch viel mehr. Bei Betrachtung von Abbildung 28 hat es den Anschein, dass FV mit Markraum eine eigene Gruppe darstellen, die erst ab einer Breite von 4 mm auftreten und den Häufigkeitsgipfel bei 5 mm haben.

Im Weiteren gab es scheinbar einen Zusammenhang zwischen der Breite und den Dichtewerten der größten FV (Tabelle 12). FV die über die Breite der Falx hinausragten, hatten eine mit normalem Knochen vergleichbare Dichte (dünnere FV erreichten nur ein Drittel dieser Dichte). Hier kann wieder kritisch angemerkt werden, dass FV mit nur 1 mm

Breite wahrscheinlich häufig das kleinste Volumenelement der Bildgebung nicht vollständig ausfüllen und der PVE folglich zu einer verringert dargestellten Dichte führt.

### *6.3.7 Über Ursachen für FV*

Die Suche nach möglichen Ursachen für FV war nicht Gegenstand dieser Studie. Es wurde zwar versucht, das bevorzugte Krankengut pro CT-Gerät aufzuschlüsseln, jedoch konnten keine Auffälligkeiten in der Verteilung festgestellt werden (Tabelle 9 mit Beschreibung).

Die Ursachen der FV wurden bereits mit Informationen anderer Autoren ausführlich im Kapitel 2.3.8 besprochen.

Eines soll jedoch fest gehalten werden: Die FV wurde v. a. bei osteolytischen, knochendeformierenden und mit Hyperkalzämie einhergehenden Krankheiten gehäuft beobachtet. Zusätzlich korreliert die FV-Inzidenz mit einer Zunahme bei steigendem Alter. Die Osteoporose und Hyperkalzämie würden hierbei auch ein interessantes Bindeglied zu endokrinologischen Störungen bieten. Dennoch wurde dieses Krankheitsbild leider von keinem Autor in Bezug auf die FV-Inzidenz untersucht.

Hinsichtlich der Suche nach Krankheitszusammenhängen konnte ein Forschungsbedarf aufgezeigt werden da die meisten vorausgegangenen Studien wichtige methodische Fehler beinhalten.

## 7 Konklusion

### 7.1 Zusammenfassung

Es liegen in der Literatur nur spärliche Informationen von CT-Studien über FV vor, obwohl die Nativ-CT die beste Methode für Untersuchungen über intrakranielle Verkalkungen ist. Daher wurden v. a. die als unsicher zu bewertenden Ergebnisse der zum Großteil recht alten Röntgenstudien für Vergleiche herangezogen. Da diese Ergebnisse i. d. R. deutlich streuten, wurde der Konsens der Mehrheit gebildet.

Die vorliegende Studie bietet eine sehr umfassende Datenerhebung und Analyse unterschiedlicher Parameter für 365 Untersuchungsfälle bezüglich FV, SV und TV im Universitätsklinikum Graz. Die Häufigkeiten von FV, SV und TV waren deutlich höher als bisher bekannt, vermutlich aufgrund des verbesserten Auflösungsvermögen gegenüber älteren CT-Geräten und einer höheren Sensitivität und Spezifität der CT- im Vergleich zur Röntgenbildmethode. Jede 3. Person hatte eine FV, vermutlich wären es noch mehr bei einer feineren Bildauflösung. Als osteopathisch relevant erscheinen erst Größen ab 2 cm<sup>2</sup> (Vermessungsfläche). Diese wies etwa jede 10. Person vor. Die vier größten FV hatten eine „Umrissfläche“ von 10 – 17 cm<sup>2</sup>.

Im Einklang mit dem Konsens der meisten (Röntgen-) Studien konnte eine stark positive Korrelation zwischen FV und dem Alter (v. a. bei Männern) nachgewiesen werden sowie eine deutlich anterior (und medial) betonte Lageverteilung.

Im Gegensatz zu vorherrschenden Resultaten vorheriger Studien lagen bei deutlich mehr FV-Fällen (etwa der Hälfte) mehrere FV vor. FV-Schädelverbindungen und ausgeprägte Crista-frontalis-Varianten kamen dafür vergleichsweise extrem selten vor.

SV hatten eine im Vergleich zu FV gegenteilige Lageverteilung ( $p < .001$ ), es konnte auch kein Zusammenhang der SV-Häufigkeit mit dem Alter nachgewiesen werden. Die SV hatten größtenteils eine Verbindung zum Schädel und kamen bei Frauen etwa häufiger vor.

Die meisten FV hatten eine mittige Lage zum Falxverlauf. Ab einer Breite von 4 mm wurde i. d. R. ein Markraum (bzw. Hohlraum) nachgewiesen. FV die breiter als die Falx waren wiesen durchschnittlich eine mit normalem Knochen vergleichbare Dichte vor.

## 7.2 Schlussfolgerung

Sämtliche Forschungsfragen konnten beantwortet werden, jedoch bedarf es weiterer Forschungen hinsichtlich dieser Fragestellungen, um diese Ergebnisse zu bekräftigen oder zu relativieren und um Wahrscheinlichkeitsberechnungen der FV-Inzidenz in der Normalbevölkerung zu ermöglichen. Außerdem sollten auch mögliche Zusammenhänge der FV mit bestimmten Krankheiten genauer untersucht werden, da diesbezügliche Untersuchungen vorausgegangener Studien leider fehlerbehaftet waren.

FV gelten als physiologisch und haben keine klinische Relevanz, dennoch dürften sie je nach Ausmaß die Elastizität der Falx negativ beeinträchtigen und dadurch einen Einfluss auf den palpatorischen Befund von Osteopathen haben. Dieser Umstand macht die FV besonders für Osteopathen interessant. Gemäß der Ergebnisse der vorliegenden Studie hatte jede/r zehnte Patient/in eine FV in einem Ausmaß, das zumindest dem Autor als relevant erscheint. Die Frage, ob und ab welcher Größe FV sich tatsächlich auf die palpatorische Spannungsqualität der Falx auswirken, müsste in fortführenden Studien noch geklärt werden. Sollten jedoch auch große FV keinerlei Einfluss auf die palpatorische Spannungsqualität haben, so darf in Frage gestellt werden, ob es tatsächlich die Falx ist, welche entsprechend der gelehrten osteopathischen Methoden palpatorisch beurteilt wurde. Andererseits ließen sich die palpatorischen Fähigkeiten von Osteopathen möglicherweise auch bekräftigen, dann wäre es weiterführend interessant zu untersuchen, ob die Spannungsqualität der Falx mit FV durch eine kraniosakrale Technik auch verbessert werden kann.

Derweil dürfte alleine die Kenntnis der Häufigkeit, Größe sowie bevorzugtes Alter und Position von FV schon hilfreich für die Praxis von Osteopathen und kraniosakral arbeitenden Therapeuten sein.

### 7.3 Ausblick

Es wäre wünschenswert, wenn der aktuelle Forschungsstand über die Häufigkeit, Größe, bevorzugtes Alter und Position von FV in Neuauflagen osteopathischer oder kraniosakraltherapeutischer Lehrbücher Erwähnung fände, um eine differenziertere Interpretation unterschiedlicher Spannungsqualitäten der Falx zu ermöglichen und weitere Forschungen voranzutreiben.

Folgende Bereiche bezüglich FV sind noch besonders wenig erforscht:

- Die Aufspürbarkeit von FV ab einer gewissen Größe mittels osteopathischer Befundung bzw. kraniosakraler Tests (Reliabilitätsstudien).
- Der Vergleich verschiedener zuvor anhand der CT in Leichen erkannter FV im anatomischen Präparat- welche palpatorischen Eigenschaften weisen FV am Präparat vor (ab welcher Größe)? Handelt es sich wirklich stets um Verknöcherungen (auch bei weitläufigen diffusen Hyperdensitäten in der Falx)? Befinden sich FV innerhalb oder oberflächlich auf der Falx cerebri (in welcher Schicht)?
- Die Erhebung und Evaluation der Krankheiten, die in Zusammenhang mit den FV stehen könnten (auch Osteoporose) - sowohl für alle Fälle mit FV wie auch für alle FV-freien Fälle.
- Für Größenmessungen in Folgestudien wäre v. a. die auf sagittalen Schnittrekonstruktionen basierte Vermessung der sagittalen FV-Fläche von Interesse, sie erlaubt die genauesten Werte über das Ausmaß der möglichen Beeinträchtigung der Falx (genauere Empfehlungen sind in den Kapiteln 6.1.1 und 6.2.2).

## **8 Literaturrecherche**

### **8.1 Ziele der Literaturrecherche**

Das Ziel der Literaturrecherche war, relevante Studien für diese Arbeit zu finden, welche Aussagen über Formen, Häufigkeit, Position, Dichte, Größe, Korrelationen zu Alter und Geschlecht oder Ursachen von Falxverkalkungen bzw. Falxverknöcherungen vorgenommen haben, bevorzugt mit großen Stichproben. Sie sollten dem Kennenlernen und der Darstellung des aktuellen Stands der Forschung (mit seinen Stärken und Schwächen), dem Finden relevanter Forschungsfragen und der Diskussion der gewonnenen Ergebnisse dienen.

### **8.2 Einschlusskriterien**

#### *Generelle Einschlusskriterien*

- Alle Studien müssen in englischer und/ oder deutscher Sprache vorliegen.
- Alle Studien müssen im Ansatz den Zielen der Literaturrecherche dienen.

#### *Einschlusskriterium A*

Studien, welche mithilfe einer stichwortbasierten Suche in den ausgewählten Datenbanken gefunden wurden und welche die generellen Einschlusskriterien erfüllen.

#### *Einschlusskriterium B*

Studien, welche über Referenzen von Studien gefunden wurden (die das Einschlusskriterium A erfüllten und die Ausschlusskriterien durchlaufen haben) und die generellen Einschlusskriterien erfüllen.

#### *Einschlusskriterium C*

Studien, die dem Verfasser der Thesis auf anderem Wege bekannt wurden (also nicht das Einschlusskriterium A oder B erfüllten) jedoch die generellen Einschlusskriterien erfüllen.

### **8.3 Ausschlusskriterien**

#### *Ausschlusskriterium A*

Die Studie ist nicht beschaffbar

#### *Ausschlusskriterium B*

Die Studie dient nicht dem Ziel der Literaturrecherche.

### **8.4 Ausgewählte Datenbanken**

Die Suche wurde größtenteils in Pubmed, im Osteopathic Research Web und im OPAC der Universitätsbibliothek Graz sowie der Medizinischen Universität Graz durchgeführt.

### **8.5 Stichwörter**

In einer groben Orientierung stellte sich heraus, dass es v. a. ältere Literatur zu diesem Thema gibt. Daher wurden in Pubmed folgende Suchbegriffe und Filter ohne Zeitfenster bis hin zum Stichtag angewendet:

((falc[Title/Abstract] OR falcine[Title/Abstract]) AND calcif\*[Title/Abstract]) (165 Ergebnisse, 18 nach Ein/Ausschl.)

((falc[Title/Abstract] OR falcine[Title/Abstract]) AND mineralization[Title/Abstract]) (3 Ergebnisse, 2 nach Ein/Ausschl.)

((falc[Title/Abstract] OR falcine[Title/Abstract]) AND ossif\*[Title/Abstract]) (27 Ergebnisse, 10 nach Ein/Ausschl.)

((falc[Title/Abstract] OR falcine[Title/Abstract]) AND osteom\*[Title/Abstract]) (8 Ergebnisse, 1 nach Ein/Ausschl.)

((ct[Title/Abstract] OR tomograph\*[Title/Abstract]) AND falx cerebri[Title/Abstract]) (76 Ergebnisse, 7 nach Ein/Ausschl.)

((ct[Title/Abstract] OR tomograph\*[Title/Abstract]) AND intracranial calcifications[Title/Abstract]) (115 Ergebnisse, 9 nach Ein/Ausschl.)



Die meisten Studien handeln vom Gorlin Golz-Syndrom und erwähnen die FV im Rahmen des Symptomenkomplexes, ein aktueller Review zum Gorlin Golz-Syndrom soll für diese These genügen.

## **8.6 Zeitliche Reihenfolge der Recherche**

Die stichwortbasierte Suche in den Datenbanken wurde am Stichtag 01.03.2015 durchgeführt. Die Anwendung der Ausschlusskriterien, die Beschaffung der Studien, die darauf folgende Auswertung und das Weiterverfolgen relevanter Referenzen erfolgten im anschließenden Zeitraum. Die Recherche mit Einschlusskriterium C wurde fortlaufend bis zur Auswertung der Untersuchungsergebnisse geführt.

## Literaturverzeichnis

- Batnitzky, S., Powers, J. M., & Schechter, M. M. (1974). Falx „calcification“--does this exist? *Neuroradiology*, 7(5), 255–260.
- Becker, H. (1981). *Intrakranielle Verkalkungen im Computertomogramm* (Thesis / Dissertation). Universität Frankfurt, Fachbereich Humanmedizin, Frankfurt.
- Becker, H., Grau, H., & Hacker, H. (1977). Endokranielle Verkalkungen in der Computer-Tomographie - Ein Vergleich zum Röntgenbild. *RoFo: Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin*, 126(6), 509–512. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1230628>
- Bergerhoff, W., Ellegast, H., Friedmann, G., Lorenz, R., Muntean, E., Süsse, H. J., & Theiler, K. (1963). *Röntgendiagnostik des Schädels I / Roentgen Diagnosis of the Skull I*. (L. Diethelm & F. Strnad, Hrsg.). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Beutel, A., Clementschitsch, F., Hollmann, K., Kotscher, E., Psenner, L., Sonesson, A., ... Tänzer, A. (1963). *Röntgendiagnostik des Schädels II / Roentgen Diagnosis of the Skull II*. (L. Diethelm & F. Strnad, Hrsg.) (Bd. 7 / 2). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Boening, H. (1930). Über intrakranielle Verkalkungen im Röntgenbild. *Journal für Psychologie und Neurologie*, 40, 190–204.
- Brossmann, J. (2001). *Grenzen des Normalen und Anfänge des Pathologischen in der Radiologie des kindlichen und erwachsenen Skeletts* (14.). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Bruch, G., Bushe, K. A., & Gregl, A. (1965). Die nicht-pathologischen intrakraniellen Verkalkungen. *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*, 103, 444–449.
- Bruyn, G. W. (1963). Calcification and ossification of the cerebral falx and superior longitudinal sinus. *Psychiatria, Neurologia, Neurochirurgia*, 66, 98–119.
- Celzo, F. G., Venstermans, C., De Belder, F., Van Goethem, J., van den Hauwe, L.,

van der Zijden, T., ... Parizel, P. M. (2013). Brain stones revisited-between a rock and a hard place. *Insights into Imaging*. <https://doi.org/10.1007/s13244-013-0279-z>

Chaitow, L. (2005). *Cranial Manipulation: Theory and Practice* (2 Pap/Cdr). Edinburgh: Elsevier Churchill Livingstone.

Cloet, E., Gross, B., & Fuhrmann, M. C. (1999). *Osteopathie im kranialen Bereich* (1., Aufl.). Stuttgart: Hippokrates.

Cohen, M. M. J., Richieri-Costa, A., Guion-Almeida, M. L., & Saavedra, D. (1995). Hypertelorism: interorbital growth, measurements, and pathogenetic considerations. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 24(6), 387–395.

Cukiert, A., Puglia, P., Scapolan, H. B., Vilela, M. M., & Marino Junior, R. (1994). Congruence of the topography of intracranial calcifications and epileptic foci. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 52(3), 289–294.

Daghighi, M. H., Rezaei, V., Zarrintan, S., & Pourfathi, H. (2007). Intracranial physiological calcifications in adults on computed tomography in Tabriz, Iran. *Folia Morphologica*, 66(2), 115–119.

Debnath, J., Satija, L., George, R. A., Vaidya, A., & Sen, D. (2009). Computed tomographic demonstration of unusual ossification of the falx cerebri: a case report. *Surgical and Radiologic Anatomy: SRA*, 31(3), 211–213. <https://doi.org/10.1007/s00276-008-0408-4>

Dyke, C. G. (1930). Indirekt signs of brain tumor as noted in routine roentgen examinations. *American Journal of Roentgenology*, 23, 598–606.

Eder, M., & Gedigk, P. (1986). *Lehrbuch der allgemeinen Pathologie und der pathologischen Anatomie* (32.). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

Hassler, O. (1965). Intracranial Calcifications - A Microradiological and Biophysical Study. *Acta Neuropathologica*, 4, 355–369.

Hauser, K.-P. (1968). *Über die Bedeutung von Verkalkungen der Falx cerebri bei neurochirurgisch-neurologischen Kranken*. Medizinische Fakultät der Freien Universität Berlin.

- Heidrich, R., & Küstner, R. (1967). Über Falxverkalkungen. *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*, 107, 402–405.
- Janker, R. (1949). Der Falxknochen. *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und Nuklearmedizin*, 71, 114–118.
- Jiang, D., & Jia, B. (1980). Investigation of 100 falx cerebri and tentorium cerebelli. *Chinese Medical Journal*, 93(2), 107–110.
- Jimenez, R. M., Mazas, L., Lidon, M. C., Forradellas, A., & Garcia, Y. (2001). Physiological ossification of the falx cerebri. Findings on magnetic resonance. *Revista de neurologia*, 33(9), 898–899.
- Kara, H., Bayir, A., Ak, A., Degirmenci, S., & Istanbuluoglu, R. (2014). Idiopathic brain calcification accompanied by intracranial hemorrhage, a challenging diagnosis. *Journal of Case Reports in Practice*, 2(1), 30–31.
- Kieffer, S. A., & Gold, L. H. A. (1974). Intracranial physiologic calcifications. *Seminars in Roentgenology*, 9(2), 151–162.
- Kiroglu, Y., Calli, C., Karabulut, N., & Oncel, C. (2010). Intracranial calcifications on CT. *Diagnostic and Interventional Radiology (Ankara, Turkey)*, 16(4), 263–269. <https://doi.org/10.4261/1305-3825.DIR.2626-09.1>
- Kremser, K. (1955). Der Falxknochen. *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und Nuklearmedizin*, 83, 885–887.
- Lanig, M. (1976). *Untersuchung über die Falxverkalkung anhand der mediosagittalen Schichtaufnahme des Schädels*. Universität Würzburg, Fachbereich Medizin, Würzburg.
- Liem, T. (2010). *Kraniosakrale Osteopathie- Ein praktisches Lehrbuch* (5., aktualisierte Auflage). Stuttgart: Hippokrates-Verlag.
- Liem, T., & Eickel, V. (2010). *Praxis der Kraniosakralen Osteopathie: Lehrbuch* (3., überarbeitete Auflage). Karl F. Haug.
- Lo Muzio, L. (2008). Nevoid basal cell carcinoma syndrome (Gorlin syndrome). *Orphanet Journal of Rare Diseases*, 3, 32. <https://doi.org/10.1186/1750-1172-3-32>

- Löschke, C. (1957). Falxknochen kombiniert mit Duraverkalkungen. *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und Nuklearmedizin*, 86, 804–806.
- Mayer, E. G. (1959). *Diagnose und Differentialdiagnose in der Schädelröntgenologie*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Merland, J. J., Bories, J., & Djindjian, R. (1977). The blood supply of the falx cerebri, the falx cerebelli and the tentorium cerebelli. *Journal of Neuroradiology*, 4(2), 175–202.
- Miaux, Y., Chiras, J., Eymard, B., Lauriot-Prevost, M. C., Radvanyi, H., Martin-Duverneuil, N., & Delaporte, C. (1997). Cranial MRI findings in myotonic dystrophy. *Neuroradiology*, 39(3), 166–170.
- Naidich, T. P., Castillo, M., Cha, S., Raybaud, C., Smirniotopoulos, J. G., & Kleinman, G. M. (2012). *Imaging of the Brain: Expert Radiology Series (1 Har/Psc)*. Philadelphia: Elsevier Ltd, Oxford.
- Novak, V., Abduljalil, A., Kangarlu, A., Slivka, A., Bourekas, E., Novak, P., ... Robitaille, P. M. (2001). Intracranial ossifications and microangiopathy at 8 Tesla MRI. *Magnetic Resonance Imaging*, 19(8), 1133–1137.
- Ojuawo, A., Nzeh, A. A., & Salisu, A. (2003). Calcification of falx cerebri: a normal variant or a pathological entity? *Sahel Medical Journal*, 6(2), 40–43.
- Parnitzke, K. H. (1948). Falxverkalkungen in Klinik und Röntgenbild- Kritische Bearbeitung von 363 Verkalkungen. *Deutsche Zeitschrift für Nervenheilkunde*, 59, 81–96.
- Parnitzke, K. H. (1961). *Endokranielle Verkalkungen im Röntgenbild, ihre Deutung und Bedeutung im Dienste der klinischen Hirndiagnostik*. Leipzig: Georg Thieme.
- Prokop, M., Galanski, M., Schaefer-Prokop, C., Molen, A. J. van der, Engelke, C., Jörgensen, M., ... Mödler, U. (2006). *Ganzkörper-Computertomographie: Spiral- und Multislice-CT (2. Aufl.)*. Stuttgart; New York: Thieme.
- Rao, S. R., Rao, T. R., Ovchinnikow, N., McRae, A., & Rao, A. V. C. (2007). Unusual isolated ossification of falx cerebri: a case report. *Neuroanatomy*, 6, 54–55.
- Robertson, G. (1946). The roentgenographic appearance of the falx cerebri. *Radiology*, 56, 320–323.

- Ruge, J. R., Russell, E. J., & Levy, R. M. (1990). Mineralization of the falx cerebri simulating interhemispheric vascular anomalies on MR imaging. Report of three cases. *Journal of Neurosurgery*, 72(6), 971–974. <https://doi.org/10.3171/jns.1990.72.6.0971>
- Sands, S. F., Farmer, P., Alvarez, O., Keller, I. A., Gorey, M. T., & Hyman, R. A. (1987). Fat within the falx: MR demonstration of falcine bony metaplasia with marrow formation. *Journal of Computer Assisted Tomography*, 11(4), 602–605.
- Saulite, I., Voykov, B., Mehra, T., Hoetzenecker, W., & Guenova, E. (2013). Incidental finding of lamellar calcification of the falx cerebri leading to the diagnosis of gorlin-goltz syndrome. *Case Reports in Dermatology*, 5(3), 301–303. <https://doi.org/10.1159/000356146>
- Schmidt, T., & freyschmidt, jürgen. (2001). *Handbuch diagnostische Radiologie: Strahlenphysik, Strahlenbiologie, Strahlenschutz*. Springer-Verlag.
- Schwarz Müller-Erber, G., & Silberstein, E. (2012). *Angewandte Computertomographie* (2. Aufl.). facultas.wuv / maudrich.
- Sedghizadeh, P. P., Nguyen, M., & Enciso, R. (2012). Intracranial physiological calcifications evaluated with cone beam CT. *Dento Maxillo Facial Radiology*, 41(8), 675–678. <https://doi.org/10.1259/dmfr/33077422>
- Serbanescu, M. M., Popa, G., & Lupescu, I. G. (2013). Computed tomography patterns of intracranial calcifications: always easy to define? Abgerufen von [http://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing\\_poster&doi=10.1594/ecr2013/C-1556](http://posterng.netkey.at/esr/viewing/index.php?module=viewing_poster&doi=10.1594/ecr2013/C-1556)
- Seuffer, R. (1969). *Vergleichende Untersuchungen zur Häufigkeit der Verkalkung der Falx cerebri im Röntgenbild*. Fotodruck Präzis, Tübingen.
- Shohat, M., Lachman, R., Gruber, H. E., & Rimoin, D. L. (1989). Brachyolmia: radiographic and genetic evidence of heterogeneity. *American Journal of Medical Genetics*, 33(2), 209–219. <https://doi.org/10.1002/ajmg.1320330214>
- Siewert, B. (1989). *Die Verkalkung der Falx cerebri als pathognomonisches Zeichen beim Gorlin-Goltz-Syndrom*. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Sills, F. (2003). *Craniosacral Biodynamics: The primal midline and the organization of*

*the body*. North Atlantic Books.

- Sills, F. (2012). *Foundations in Craniosacral Biodynamics, Volume Two: The Sentient Embryo, Tissue Intelligence, and Trauma Resolution* (1 edition). Berkeley, Calif: North Atlantic Books.
- Stavrou, T., Dubovsky, E. C., Reaman, G. H., Goldstein, A. M., & Vezina, G. (2000). Intracranial calcifications in childhood medulloblastoma: relation to nevoid basal cell carcinoma syndrome. *AJNR. American Journal of Neuroradiology*, 21(4), 790–794.
- Subedi, D., Zishan, U. S., Chappell, F., Gregoriades, M.-L., Sudlow, C., Sellar, R., & Wardlaw, J. (2015). Intracranial Carotid Calcification on Cranial Computed Tomography. *Stroke; a Journal of Cerebral Circulation*, 46(9), 2504–2509. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.115.009716>
- Teir, H., & Ohela, K. (1956). Über Verhärtungen in der Dura (auf Grund eines gerichtsmedizinischen Falls). *Deutsche Zeitschrift für gerichtliche Medizin*, 45, 488–492.
- Tsitouridis, I., Natsis, K., Goutsaridou, F., Tsitouridis, K., Tarazi, L., Chondromatidou, S., ... Emmanouilidou, M. (2006). Falx Cerebri Ossification: CT and MRI Evaluation. *The Neuroradiology Journal*, 19(5), 621–628.
- Tsuruda, J. S., & Bradley, W. G. (1987). MR detection of intracranial calcification: a phantom study. *AJNR. American Journal of Neuroradiology*, 8(6), 1049–1055.
- Tubbs, R. S., Kelly, D. R., Lott, R., Salter, E. G., & Oakes, W. J. (2006). Complete ossification of the human falx cerebri. *Clinical Anatomy (New York, N.Y.)*, 19(2), 147–150. <https://doi.org/10.1002/ca.20162>
- Uduma, F. U., Pius, F., & Mathieu, M. (2012). Computed tomographic pattern of physiological intracranial calcifications in a city in central Africa. *Global Journal of Health Science*, 4(1), 184–191. <https://doi.org/10.5539/gjhs.v4n1p184>
- Upledger, J. E., Vredevoogd, J. D., & Klett, L. (1996). *Lehrbuch der Kraniosakraltherapie* (3. Aufl.). Heidelberg: Karl F. Haug Verlag.
- von Wrangell, U., U., & Fassbender, C. W. (1974). [Calcification and ossification of the falx cerebri (author's transl)]. *Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen*

*und der Nuklearmedizin*, 121(5), 550–555.

- Whymys, B. J., Vorperian, H. K., Gentry, L. R., Schimek, E. M., Bersu, E. T., & Chung, M. K. (2013). The effect of CT scanner parameters and 3D volume rendering techniques on the accuracy of linear, angular, and volumetric measurements of the mandible. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology and oral radiology*, 115(5), 682–691. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2013.02.008>
- Witzig, K. (1940). Beitrag zur Frage nach der funktionellen Struktur der Dura mater cerebri des Menschen. Untersuchungen an menschlichen Feten über die Entstehung gerichteter Fasern in der Dura mater. *Vierteljahresschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich*, 85, 71–97.
- Wu, Z., Mittal, S., Kish, K., Yu, Y., Hu, J., & Haacke, E. M. (2009). Identification of calcification with MRI using susceptibility-weighted imaging: a case study. *Journal of Magnetic Resonance Imaging: JMRI*, 29(1), 177–182. <https://doi.org/10.1002/jmri.21617>
- Yoganandan, N. (1998). *Frontiers in Head and Neck Trauma: Clinical and Biomechanical*. IOS Press.
- Zandian, A., Clarke, P., Tubbs, R. S., & Loukas, M. (2014). A partially ossified falx cerebri. *Folia Morphologica*, 73(3), 363–365. <https://doi.org/10.5603/FM.2014.0053>
- Zimmerman, R. D., Yurberg, E., Russell, E. J., & Leeds, N. E. (1982). Falx and interhemispheric fissure on axial CT: I. Normal anatomy. *AJR. American Journal of Roentgenology*, 138(5). <https://doi.org/10.2214/ajr.138.5.899>



## Tabellenverzeichnis

<i>Nummer</i>	<i>Seite</i>
Tabelle 1: Studien mit Angaben zur Häufigkeitsverteilung von FV .....	13
Tabelle 2: Studien mit Angaben zu Geschlechterverteilung von FV und zur Beziehung (wenn möglich als Rangkorrelation nach Spearman) zwischen FV und Alter.....	16
Tabelle 3: Primäre Messparameter .....	42
Tabelle 4: Sekundäre Messparameter .....	43
Tabelle 5: CT-Untersuchungsprotokolle.....	45
Tabelle 6: Präzision der Längenmessungen mittels des Tools „Distanzlinie“ (für die Länge und Breite) und Schichten-Zählen (für die Höhe).....	64
Tabelle 7: Messdifferenzen zwischen 14 Knochen- und Gehirnaufnahmen .....	65
Tabelle 8: Absolute und relative Häufigkeit von Schädelkontakt, Crista frontalis und TV.....	67
Tabelle 9: FV-Häufigkeiten pro CT-Gerät .....	68
Tabelle 10: Häufigkeitstabelle mit Verteilung der Stichprobe bezüglich Alter und Geschlecht .....	71
Tabelle 11: Kreuztabelle für $\chi^2$ -Unabhängigkeitstest der Lage von FV und SV.....	75
Tabelle 12: Durchschnitt der Maximal-Dichtewerte bei „Diffusen FV“ und „Falxosteomen“ .....	82
Tabelle 13: Häufigkeit der unterschiedlichen Ausrichtungen der Lagetrennlinien.....	85

## Abbildungsverzeichnis

<i>Nummer</i>	<i>Seite</i>
Abbildung 1: Schema (eigene Skizze) über die Blutversorgung der Falx cerebri. Die grünen Pfeile beschreiben den Eintritt und den Verlauf der kleinen Arterien innerhalb der Falx.....	20
Abbildung 2: CT-Scanvorgang- und Bildgeneration.....	29
Abbildung 3: Demonstration der maximalen Addition und Subtraktion aufgrund des Partialvolumeneffektes.....	37
Abbildung 4: Optimale Ausrichtung der Schnittebene mittels MPR an die Falx cerebri.....	50
Abbildung 5: Vermessung der maximalen FV-Länge nach Positionierung der Mausspitze und Scrollen zwischen der max. FV-Ausdehnung.....	52
Abbildung 6: Lagevarianten der FV zur Falx cerebri entlang der x-Achse.....	53
Abbildung 7: Eigene Skizze von Fall 358 mit den Trennlinien für die Lagebestimmung.....	55
Abbildung 8: Links: Anteriorer und posteriorer Orientierungspunkt liegen zufällig in der gleichen Schicht. Die Lagetrennlinie wird mittels Positionierung der Mausspitze bei gleichzeitigem Scrollen nachvollzogen. Mitte: FV liegt anterior. Rechts: Lagetrennlinie führt durch das Bregma.....	56
Abbildung 9: Bestimmung der maximalen Dichte der Falx cerebri im apikalen Bereich. Hyperdensitäten (wie hier im anterioren Abschnitt) werden nicht gemessen.....	57
Abbildung 10: Teil 1 der 12 Fälle mit den größten Vermessungsflächen.....	60
Abbildung 11: Teil 2 der 12 Fälle mit den größten Vermessungsflächen.....	61
Abbildung 12: Teil 3 der 12 Fälle mit den größten Vermessungsflächen.....	62
Abbildung 13: 4 Weitere Fälle mit Besonderheiten.....	63
Abbildung 14: Verteilung von FV und SV ab $< 1 \text{ cm}^2$ Vermessungsfläche.....	66

Abbildung 15: Verteilung von FV ab $\geq 2 \text{ cm}^2$ (links) und wenn FV ab $2 \text{ cm}^2$ Höhe (rechts).....	67
Abbildung 16: Vergleich der Häufigkeiten von FV und SV bei Frauen und Männern und zwei Altersgruppen.....	69
Abbildung 17: Die alters- und geschlechtsabhängige Verteilung vermeintlicher „SFV“ und „FO“ .....	70
Abbildung 18: FV- Häufigkeit von Frauen und Männern in Altersgruppen ab $< 1 \text{ cm}^2$ und ab $\geq 1 \text{ cm}^2$ .....	72
Abbildung 19: SV-Häufigkeit bei Frauen und Männern in Altersgruppen.....	72
Abbildung 20: Vergleich der Anzahl aller FV mit der Anzahl der größten FV.....	73
Abbildung 21: Verkalkungshäufigkeit im anterioren, medialen und posterioren Falx- und Sinus-Bereich (hierfür wurden pro Bereich maximal eine FV und/oder SV gezählt; Verkalkungen in mehreren Bereichen zugleich sind möglich) .....	74
Abbildung 22: Lageverteilung aufgeschlüsselt in „FV breiter als die Falx“ und „FV nicht breiter als die Falx“ .....	75
Abbildung 23: Lateralansichten von 16 Fällen transparent übereinandergelagert, ungefähr in Originalgröße .....	77
Abbildung 24: Links: Verteilung der FV entlang der y-Achse. Rechts: Verteilung der FV entlang der x-Achse bei Frauen und Männern .....	78
Abbildung 25: Gegenüberstellung der Linearen Messwerte und der Vermessungsfläche.....	79
Abbildung 26: Vergleich der in Axial-Schichten berechneten mit den in 3D-Lateralansichten berechneten Flächen der größten FV.....	80
Abbildung 27: Verteilung der Hyperdensitäten (HD) bei Fällen mit FV, mit nur SV und ohne Verkalkungen .....	81
Abbildung 28: Vergleich der Markraum-Erkennbarkeit bei unterschiedlichen FV-Breiten.....	82

Abbildung 29: Fall 193 mit vier unterschiedlichen Fensterungen in Syngo.via .....86

## Abkürzungsverzeichnis

FO	Falxosteom, Falxossifikation, Falxverknöcherung
FV	„Falxverkalkung“, als Überbegriff für „reine Falxverkalkungen“ sowie „Falxverknöcherungen“ (als neue Knochenbildung).
FVV	FV-Verlauf, gemeint ist die Position der FV in Bezug zum lateralen Grenzverlauf der Falx (siehe Kapitel 4.5.6)
i. d. R.	In der Regel
i. e. L.	In erster Linie
MPR	Multiplanare Reformatierung (siehe Kapitel 2.5.2)
NBCC- Syndrom	Nevoid Basal Cell Carcinoma- oder auch Gorlin Golz- Syndrom
PVE	Partialvolumen-Effekt (siehe Kapitel 2.7.2)
rFV	Reine Falxverkalkung reine Kalkablagerung in minderdurchbluteten Geweben.
SFV	Strichförmige FV (strichartiger feiner Schatten im Falxbereich auf Frontalen Röntgenaufnahmen). Sie wird von vielen Autoren als rFV interpretiert.
s. o.	Siehe oben
SSC 64	Siemens Somatom Sensation Cardiac 64 (CT-Gerät)
SSD AS+	Siemens Somatom Definition AS+ (CT-Gerät)
s. u.	Siehe unten
SV	Sinusverkalkungen/ Verknöcherungen
TA 64	Toshiba Aquilion 64 Zeilen (CT-Gerät)
TA one 320	Toshiba Aquilion one 320 Zeilen (CT-Gerät)
TV	Tentoriumverkalkungen/ Verknöcherungen
u. a.	Unter anderem
v. a.	Vor allem
VRT	Volume Rendering Technique (siehe Kapitel 2.5.2)

## **Hinweis auf Daten-CD-Rom**

Die gebundene Masterthese enthält auch eine CD-Rom mit folgenden Daten:

- Rohdaten-Excel-Tabelle der Datenerhebung mit Berechnung der Tabellen und Diagramme,
- Excel-Datei mit Berechnung der Spearman-Korrelationen zwischen FV und Alter bei Frauen und Männern anhand von Daten unterschiedlicher Autoren,
- Excel-Tabelle mit den Daten für die Statistik der kontrastmittelfreien Schädel-CT-Untersuchungen 2015 vom Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Dokumentation der Medizinischen Universität Graz.

## Anhang: Votum der Ethikkommission

### Ethikkommission



Medizinische Universität Graz

Auenbruggerplatz 2, A-8036 Graz  
ethikkommission@medunigraz.at  
Tel.: +43 / 316 / 385-13928, Fax: -14348

### VOTUM gültig bis 30.07.2016

**EK-Nummer:** 27-484 ex 14/15  
**Studientitel:** The Frequency and pattern of falx calcifications and ossifications on nativ- CT at the University Clinic Graz  
An explorative and retrospective study  
**Prüfer:** Univ.-Prof. Priv.-Doz. Dr.med. Hannes Deutschmann  
Universitätsklinikum Graz  
**Sponsor:** Medizinische Universität Graz, Universitätsklinikum  
**Ansprechpartner:** Univ.-Prof. Priv.-Doz. Dr.med. Hannes Deutschmann, 8010 Graz, Auenbruggerplatz 9  
**CRO:** -  
**Antragsteller:** Wiener Schule für Osteopathie, Donau-Universität Krems  
**Ansprechpartner:** Alexander Schedler

Die o.a. Studie wurde von der Ethikkommission erstmals im 'expedited Review' am 30.07.2015 behandelt. Die Ethikkommission ist zu folgendem Schluss gekommen:

**Es besteht kein Einwand gegen die Durchführung der Studie in der vorliegenden Form.**

Kommissionsmitglieder, die für diesen Tagesordnungspunkt als befangen anzusehen waren und daher gemäß Geschäftsordnung an der Entscheidungsfindung und Abstimmung nicht teilgenommen haben:  
keine

#### Zur Beurteilung vorliegende Dokumente:

<b>Dokumente eingegangen am 21.07.2015, begutachtet im 'expedited Review' am 30.07.2015</b>	
✓ Antragsformular ECS	21.07.2015
✓ Originalprotokoll Protokoll1 21.07.15 1	21.07.2015
✓ CV Curriculum vitae 5_2015 5/ 2015	25.06.2015
✓ Sonstiges: Antrag auf Gebührenbefreiung 1	21.07.2015
<b>Dokumente eingegangen am 23.07.2015, begutachtet im 'expedited Review' am 30.07.2015</b>	
✓ Antragsformular ECS Unterschriftenseiten	21.07.2015
✓ Sonstiges: e-mail - Stellungnahme zum Antragsformular	21.07.2015

Die Ethikkommission geht - rechtlich unverbindlich - davon aus, dass es sich um keine klinische Prüfung nach AMG bzw. MPG handelt.

Es handelt sich um eine Studie im Rahmen einer Diplomarbeit.

Das Votum der Ethikkommission berührt in keiner Weise die alleinige Verantwortung der Prüferin / des Prüfers / der Prüfer für die ordnungsgemäße Durchführung der Studie unter Einhaltung aller einschlägiger gesetzlicher Bestimmungen und Richtlinien.

Weiters machen wir darauf aufmerksam, dass der Kommission unverzüglich zu melden sind:

- Abweichungen vom Protokoll aus Sicherheitsgründen oder Protokolländerungen

wesentlich beeinflussen

- Mutmaßliche unerwartete schwerwiegende Nebenwirkungen - SUSARs (AMG-Studien ab 1.5.2004) oder schwerwiegende unerwünschte Ereignisse - SAEs (andere Studien)

- Jegliche Information über sonstige Umstände, die die Sicherheit der Teilnehmer/-innen oder die Durchführung der Studie beeinträchtigen können

Dieses Votum gilt für ein Jahr ab dem Datum der Ausstellung. Bei längerer Studiendauer ist rechtzeitig vor Ablauf der Gültigkeit des Votums ein Zwischenbericht vorzulegen (Berichtsformular), um eine etwaige Verlängerung zu erlangen.

Graz, 30. Juli 2015



Univ. Prof. Dr. Josef Haas  
Vorsitzender



Univ. Prof. Dr. Hermann Toplak  
Stv. Vorsitzender

**Achtung:** Bitte bei allen das Projekt betreffende Schreiben oder telefonischen Anfragen die EK-Nummer angeben!