

Aus der Klinik für Radiologie  
der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

**Degenerative und entzündliche Läsionen der Sakroiliakalgelenke in  
der Allgemeinbevölkerung: Eine retrospektive Analyse von  
Computertomographien**

*Degenerative and inflammatory lesions of the sacroiliac joints in the  
general population: a retrospective computed tomography study*

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Virginie Kreuzinger

Datum der Promotion: 04.03.2022

## **Vorwort**

Wesentliche Ergebnisse dieser Dissertation wurden bereits im Vorfeld in einem wissenschaftlichen Fachjournal mit Peer Review Verfahren veröffentlicht:

### **Impact of age, sex, and joint form on degenerative lesions of the sacroiliac joints on CT in the normal population**

Ziegeler K.\* , **Kreuzinger V.\***, Diekhoff, T., Roehle, R., Poddubnyy, D., Pumberger, M., Hamm, B., Hermann, K.-G. (\* geteilte Erstautorenschaft)

Scientific Reports, (IF 4,0)

# Inhaltsverzeichnis

<b>VORWORT</b> .....	<b>2</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS</b> .....	<b>5</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>7</b>
<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>9</b>
<b>ABSTRAKT</b> .....	<b>10</b>
<b>1. EINFÜHRUNG</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1. ANATOMIE DES SAKROILIAKALGELENKS</b> .....	<b>13</b>
1.1.1. <i>KNÖCHERNE ANATOMIE UND BANDAPPARAT</i> .....	13
1.1.2. <i>GESCHLECHTSDIMORPHISMUS UND ANATOMISCHE NORMVARIANTEN</i> .....	15
1.1.3. <i>LUMBOSAKRALE ÜBERGANGSANOMALIEN</i> .....	16
<b>1.2. ALTERSBEDINGTE VERÄNDERUNGEN DER SAKROILIAKALGELENKE</b> .....	<b>17</b>
1.2.1. <i>DEGENERATION</i> .....	18
1.2.2. <i>SCHWANGERSCHAFT UND GEBURT</i> .....	19
<b>1.3. ENTZÜNDLICHE VERÄNDERUNGEN DER SAKROILIAKALGELENKE</b> .....	<b>19</b>
1.3.1. <i>SPONDYLOARTHRITIDEN: DEFINITION UND KLINISCHES BILD</i> .....	20
1.3.2. <i>BILDGEBUNG BEI SAKROILIITIS</i> .....	21
1.3.3. <i>COMPUTERTOMOGRAPHIE IN DER DIAGNOSTIK DER SAKROILIITIS</i> .....	22
<b>1.4. ZIELSETZUNG UND HYPOTHESE</b> .....	<b>24</b>
<b>2. METHODIK</b> .....	<b>25</b>
<b>2.1. FALLZAHLSCHÄTZUNG, PATIENTENKOLLEKTIV UND ERHEBUNG PATIENTENSPEZIFISCHER DATEN</b> .....	<b>25</b>
<b>2.2. BILDGEBENDE TECHNIK</b> .....	<b>28</b>
<b>2.3. SCORE UND ATLAS</b> .....	<b>28</b>
2.3.1. <i>ANATOMISCHE FORM</i> .....	30
2.3.2. <i>LUMBOSAKRALE ÜBERGANGSANOMALIE</i> .....	32
2.3.3. <i>EROSIONEN</i> .....	33
2.3.4. <i>SKLEROSE</i> .....	34
2.3.5. <i>OSTEOPHYTEN</i> .....	35
2.3.6. <i>GELENKSPALTVERÄNDERUNGEN</i> .....	36
2.3.7. <i>INTRAARTIKULÄRE VERKALKUNGEN</i> .....	37
<b>2.4. STATISTIK</b> .....	<b>37</b>
<b>2.5. ETHIKVOTUM UND DATENSCHUTZ</b> .....	<b>38</b>
<b>3. ERGEBNISSE</b> .....	<b>40</b>
<b>3.1. PATIENTENPOPULATION UND KLINISCHE CHARAKTERISTIKA</b> .....	<b>40</b>
<b>3.2. ANATOMISCHE VARIANTEN</b> .....	<b>41</b>
3.2.1. <i>GELENKFORM</i> .....	41
3.2.2. <i>LUMBOSAKRALE ÜBERGANGSANOMALIEN</i> .....	43
<b>3.3. STRUKTURELLE LÄSIONEN</b> .....	<b>43</b>
3.3.1. <i>EROSIONEN</i> .....	44
3.3.2. <i>SKLEROSE</i> .....	44
3.3.3. <i>OSTEOPHYTEN</i> .....	47
3.3.4. <i>GELENKSPALTVERÄNDERUNGEN</i> .....	48
3.3.5. <i>INTRAARTIKULÄRE VERKALKUNGEN</i> .....	50
<b>3.4. ZUSAMMENHANG KLINISCHER FAKTOREN UND STRUKTURELLER LÄSIONEN</b> .....	<b>50</b>

3.5.	INTERREADER- UND INTRAREADER-RELIABILITÄT .....	60
3.6.	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE.....	62
<b>4.</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>64</b>
4.1.	ANATOMISCHE VARIANTEN UND LUMBOSAKRALE ÜBERGANGSANOMALIEN.....	64
4.2.	EROSIONEN.....	66
4.3.	SKLEROSE .....	66
4.4.	OSTEOPHYTEN, GELENKSPALTVERÄNDERUNGEN UND VERKALKUNGEN.....	67
4.5.	SCORINGSYSTEM .....	68
4.6.	LIMITATIONEN .....	69
<b>5.</b>	<b>FAZIT UND AUSBLICK .....</b>	<b>70</b>
<b>6.</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>71</b>
6.1.	LITERATURVERZEICHNIS .....	71
6.2.	SCORINGBOGEN .....	80
6.3.	EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG.....	81
6.4.	ANTEILSERKLÄRUNG AN PUBLIKATIONEN .....	82
6.5.	LEBENS LAUF .....	84
6.6.	PUBLIKATIONS LISTE .....	85
6.7.	DANKSAGUNG.....	86
6.8.	BESCHEINIGUNG STATISTIK.....	87

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1. New York Kriterien der Sakroiliitis im Röntgenbild.</b> Adaptiert nach Van der Linden (35). .....	22
<b>Tabelle 2. Patientencharakteristika nach Altersgruppe.</b> Angaben in absoluten und relativen (%) Werten. Adaptiert nach (40) mit Erlaubnis der Autor*innen. ....	40
<b>Tabelle 3. Häufigkeit Gelenkformen nach Geschlechtern getrennt.</b> Absolute und relative Häufigkeiten. ....	42
<b>Tabelle 4. Häufigkeit struktureller Läsionen pro Altersgruppe.</b> Absolute und relative Häufigkeiten. ....	43
<b>Tabelle 5. Regression: Erosionen.</b> Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (*) gekennzeichnet. ....	52
<b>Tabelle 6. Regression: Sklerose (ventral).</b> Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (*) gekennzeichnet. ....	53
<b>Tabelle 7. Regression: Sklerose (mittig).</b> Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (*) gekennzeichnet. ....	54
<b>Tabelle 8. Regression: Sklerose (dorsal).</b> Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (*) gekennzeichnet. ....	55
<b>Tabelle 9. Regression: Osteophyten (ventral).</b> Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (*) gekennzeichnet. ....	57
<b>Tabelle 10. Regression: Osteophyten (dorsal).</b> Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (*) gekennzeichnet. ....	58
<b>Tabelle 11. Regression: Gelenkspaltveränderungen.</b> Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (*) gekennzeichnet. ....	59
<b>Tabelle 12. Regression: Verkalkungen.</b> Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (*) gekennzeichnet. ....	60
<b>Tabelle 13. Intra-Reader Reliabilität.</b> ICC=Intraklassen-Korrelationskoeffizient. Übereinstimmungsmaße zwischen den beiden Scorings von Reader 1 berechnet mittels ICC(2,3). ....	61
<b>Tabelle 14. Inter-Reader Reliabilität.</b> ICC=Intraklassen-Korrelationskoeffizient. Übereinstimmungsmaße zwischen den Scorings von Reader 1 und Reader 2, berechnet mittels ICC(2,3). ....	61
<b>Tabelle 15. Zusammenfassung: Regressionsanalyse.</b> V=ventral; M=mittig; D=dorsal. Grüne Felder = Wahrscheinlichkeit der Läsion nimmt mit zunehmender	

Ausprägung der Kovariate zu ( $OR > 1$ ); hellgrün =  $OR\ 1,0-2,0$ ; dunkelgrün =  $OR > 2,0$ . Rote Felder = Wahrscheinlichkeit der Läsion nimmt mit zunehmender Ausprägung der Kovariate ab ( $OR < 1$ ); hellrot =  $OR\ 0,5-0,99$ ; dunkelrot =  $OR < 0,5$ . Weiße Felder = Kovariate nicht statistisch signifikant ( $p > 0,05$ ). ..... 62

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1. Anatomie des Sakroiliakgelenks.</b> Schematische Zeichnung. Links: seitliche Ansicht der rechten sakralen Gelenkfläche. Rechts: axiale Schnitte durch beide Gelenke auf Ebene des ersten Sakralwirbels (rechts oben), des zweiten Sakralwirbels (rechts mittig) und des dritten Sakralwirbels (rechts unten). Aus Gray's Anatomy, 20th Edition, Philadelphia: Lea & Febiger, 1918; New York: Barleby.com, 2000 (creative commons). .....	14
<b>Abbildung 2. Castellvi-Klassifikation.</b> Abbildung adaptiert nach Lee et al. (18) mit Erlaubnis. ....	17
<b>Abbildung 3. ASAS-Klassifikationskriterien.</b> NSAR = nicht-steroidale Anti-Rheumatika. CRP = C-reaktives Protein. ....	21
<b>Abbildung 4.</b> Flussdiagramm des Patienten-Einschlusses. SIG=Sakroiliakgelenk. Adaptiert (ins Deutsche übersetzt) nach (40) mit Erlaubnis der Autor*innen.....	27
<b>Abbildung 5. 24-Regionen Modell.</b> Nach Diekhoff und Hermann et al (41) mit Erlaubnis der Autor*innen. Von links nach rechts: ventraler, mittlerer und dorsaler Gelenkanteil. ....	29
<b>Abbildung 6. Schnittebenen Scoring.</b> Links: Sagittale Rekonstruktion; die blaue Linie zeigt die Ebene der para-koronaren Rekonstruktion (rechts oben), die lila Linie zeigt die Ebene der paraaxialen Rekonstruktion (rechts unten). ....	30
<b>Abbildung 7. Atlas – anatomische Form.</b> Rechte Sakroiliakgelenke in axialer Rekonstruktion. A: Typische Gelenkform. B: akzessorisches Gelenk. C: iliosakraler Komplex. D: bipartites Os ilium. E: sichelförmiges Os ilium. F: sakraler Defekt. G: sakraler Ossifikationskern. Adaptiert nach (40) mit Erlaubnis der Autoren. ....	31
<b>Abbildung 8. Atlas – lumbosakrale Übergangsanomalie.</b> Koronare Reformation in maximum intensity projection (MIP) mit 5 mm Dicke. A: Normal, vergrößert. B: mit Pseudoartikulation (weiße Pfeile) zum Sakrum. C: fusioniert mit dem Sakrum (weißer Pfeil). ....	32
<b>Abbildung 9. Atlas – Erosionen.</b> Parakoronare Reformationen des rechten SIGs. Erosionen sind durch weiße Pfeilspitzen markiert. A: Einzelne (max. 2) kleinere Erosionen (= Score 1). B: mehrere kleinere (3-5) Erosionen (=Score 2). C: Multiple kleinere (>5) oder konfluierende Erosionen (=Score 3). ....	33
<b>Abbildung 10. Atlas – Sklerose.</b> Parakoronare Reformationen des rechten SIGs. A: Schmäler, periartikulärer Sklerosesaum (= Score 1). B: breiter Sklerosesaum (=Score 2). ....	34
<b>Abbildung 11. Atlas – Osteophyten (ventral).</b> Parakoronare Reformationen des rechten SIGs. A: kleiner Osteophyt (<5 mm) (=Score 1). B: größerer Osteophyt (≥ 5 mm) (= Score 2). C: pontifizierender Osteophyt (=Score 3). ....	35
<b>Abbildung 12. Atlas – Osteophyten (dorsal).</b> Parakoronare Reformationen des rechten SIGs. A: kleiner Osteophyt (<5 mm) (=Score 1). B: größerer Osteophyt (≥ 5 mm) (= Score 2). C: pontifizierender Osteophyt (=Score 3). ....	35
<b>Abbildung 13. Atlas – Gelenkspaltveränderungen.</b> Parakoronare Reformationen des rechten SIGs. A: Angedeutete, bzw. gering ausgeprägte Gelenkspaltverschmälerung (= Score 1). B: Deutliche Gelenkspaltverschmälerung (=Score 2). C: Partielle Ankylose (=Score 3) – einzelne nicht ankylosierte Gelenkanteile sind noch abgrenzbar.....	36
<b>Abbildung 14. Atlas – Verkalkungen.</b> Parakoronare Reformationen des rechten SIGs. A: Einzelne feine Knorpelverkalkungen (= Score 1). B: Größere Verkalkung ventral kranial (=Score 2).....	37

<b>Abbildung 15. Sklerose: relative Häufigkeit im Geschlechtervergleich.</b> Relative Häufigkeit eines positiven Scorings für Sklerose pro Region, getrennt für Männer und Frauen. Relative Häufigkeit 2,5%-5,0% in hellrot und >5,00% in dunkelrot. Signifikant unterschiedliche Verteilung (gemäß exaktem Test nach Fisher) mit Asterisk gekennzeichnet: *: $p < 0,05$ ; **: $p < 0,001$ . .....	45
<b>Abbildung 16. Mittelwert Summenscore Sklerose pro Altersgruppe.</b> Balkendiagramm des Mittelwertes des Summenscores für Sklerose pro Altersgruppe, nach Geschlechtern getrennt. Adaptiert nach (40) mit Erlaubnis der Autor*innen.....	46
<b>Abbildung 17. Mittelwert Summenscore Osteophyten pro Altersgruppe.</b> Balkendiagramm des Mittelwertes des Summenscores für Osteophyten pro Altersgruppe, nach Geschlechtern getrennt. Adaptiert nach (40) mit Erlaubnis der Autor*innen. ....	48
<b>Abbildung 18. Mittelwert Summenscore Gelenkspaltveränderungen pro Altersgruppe.</b> Balkendiagramm des Mittelwertes des Summenscores für Gelenkspaltveränderungen pro Altersgruppe, nach Geschlechtern getrennt. ....	49
<b>Abbildung 19. Sklerose bei Akzessorischem Gelenk.</b> Parakoronare Rekonstruktion als 1,7 mm Mean Intensitiy Projektion. Deutliche Sklerose in den Regionen 18 und 19 in Assoziation zum hier vorliegenden akzessorischen Gelenk.	56



## Abkürzungsverzeichnis

AS	Ankylosierende Spondyloarthritis
ASAS	Assessment of SpondyloArthritis international Society
axSpA	axiale Spondyloarthritis
CRP	C-reaktives Protein
CT	Computertomographie
EULAR	European League Against Rheumatism
LWK	Lendenwirbelkörper
MIP	Mean Intensity Projection
MRT	Magnetresonanztomographie
NSAR	Nicht-steroidales Anti-Rheumatikum
OR	Odds Ratio
PsA	Psoriasis Arthritis
SIJ	Sacroiliacal Joint
SIG	Sakroiliakalgelenk
SpA	Spondyloarthritis

## **Abstrakt**

**Zielsetzung:** Der sakroiliakale Gelenkkomplex (SIG) spielt eine zentrale Rolle in der Kraftübertragung von den unteren Extremitäten auf den Rumpf und ist ein häufiger Manifestationsort von degenerativen und entzündlichen Erkrankungen des Achsenskeletts. Kenntnis von degenerativen und entzündlichen Veränderungen der Gelenke in der Normalbevölkerung ist essentiell für die Einordnung der Spezifität von Bildbefunden in der Diagnostik von Erkrankungen des Gelenks. Im Rahmen der hier vorgelegten Studie wurde die Verteilung dieser Läsionen und ihr Zusammenhang mit klinischen und anatomischen Faktoren untersucht.

**Methoden und Material:** In dieser retrospektiven Untersuchung wurden demographische Daten sowie hochaufgelöste Computertomographie (CT)-Datensätze von 818 Patient\*innen ohne Erkrankungen der SIG ausgewertet. Sklerose, Erosionen, Osteophyten, intraartikuläre Verkalkungen, Gelenkspaltveränderungen und anatomische Form wurden im Rahmen eines strukturierten Scorings semi-quantitativ erhoben. Chi-Quadrat-Tests wurden verwendet, um die Häufigkeit degenerativer und entzündlicher Läsionen zwischen verschiedenen Subgruppen zu vergleichen und logistische Regressionsanalysen wurden angewandt, um Zusammenhänge zwischen demographischen Daten, der anatomischen Form und dem Vorhandensein struktureller Läsionen zu untersuchen.

**Ergebnisse:** Erosionen waren selten und wurden bei 8,4% der Studienpopulation beobachtet. Sklerose und Osteophyten waren häufige Befunde mit einer Prävalenz von 64,5% bzw. 81,5% bei Patienten  $\geq 75$  Jahren. Ein typisches Gelenk wurde bei 85,9% der Männer und lediglich 37,9% der Frauen beobachtet ( $p < 0.001$ ); akzessorische Gelenke wurden bei 4,1% der Männer und 12,7% der Frauen gefunden. Akzessorische Gelenke wurden als Risikofaktor für dorsale Sklerose

(Odds ratio 2,7; 95% KI 1,4–5,4;  $p=0.004$ ) und intraartikuläre Verkalkungen (Odds ratio 2,8; 95% KI 1,1–6,8;  $p=0.029$ ) identifiziert.

**Fazit:** Erosionen sind selten in der Normalbevölkerung, was ihre Spezifität in der Sakroiliitisbildung bestätigt. Die Verteilung degenerativer Gelenkläsionen ist abhängig von Geschlecht und anatomischer Gelenkform.

## **Abstract**

**Introduction:** The sacroiliac joint complex (SIJ) plays a central role in the transmission of forces from the lower extremities to the trunk and is a frequent site of manifestation of degenerative and inflammatory diseases of the axial skeleton. Knowledge of degenerative and inflammatory changes of the joints in the normal population is essential for classifying the specificity of image findings in the diagnosis of diseases of the joint. In the study presented here, the distribution of these lesions and their association with clinical and anatomic factors were investigated.

**Methods and Materials:** In this retrospective study, demographic data and high-resolution computed tomography (CT) datasets of 818 patients without disease of the SIGs were evaluated. Sclerosis, erosions, osteophytes, intra-articular calcifications, joint space changes, and anatomic shape were assessed semi-quantitatively using structured scoring. Chi-square tests were used to compare the frequency of degenerative and inflammatory lesions between different subgroups and logistic regression analyses were applied to examine associations between demographic data, anatomic shape, and the presence of structural lesions.

**Results:** Erosions were rare and were observed in 8.4% of the study population. Sclerosis and osteophytes were common findings with a prevalence of 64.5% and 81.5%, respectively, in patients  $\geq 75$  years. A typical joint was observed in 85.9% of men and only 37.9% of women ( $p < 0.001$ ); accessory joints were found in 4.1% of men and 12.7% of women. Accessory joints were identified as a risk factor for dorsal sclerosis (odds ratio 2.7; 95% CI 1.4-5.4;  $p = 0.004$ ) and intra-articular calcifications (odds ratio 2.8; 95% CI 1.1-6.8;  $p = 0.029$ ).

**Conclusions:** Erosions are rare in the normal population, confirming their specificity in sacroiliitis imaging. The distribution of degenerative joint lesions depends on gender and anatomic joint shape.

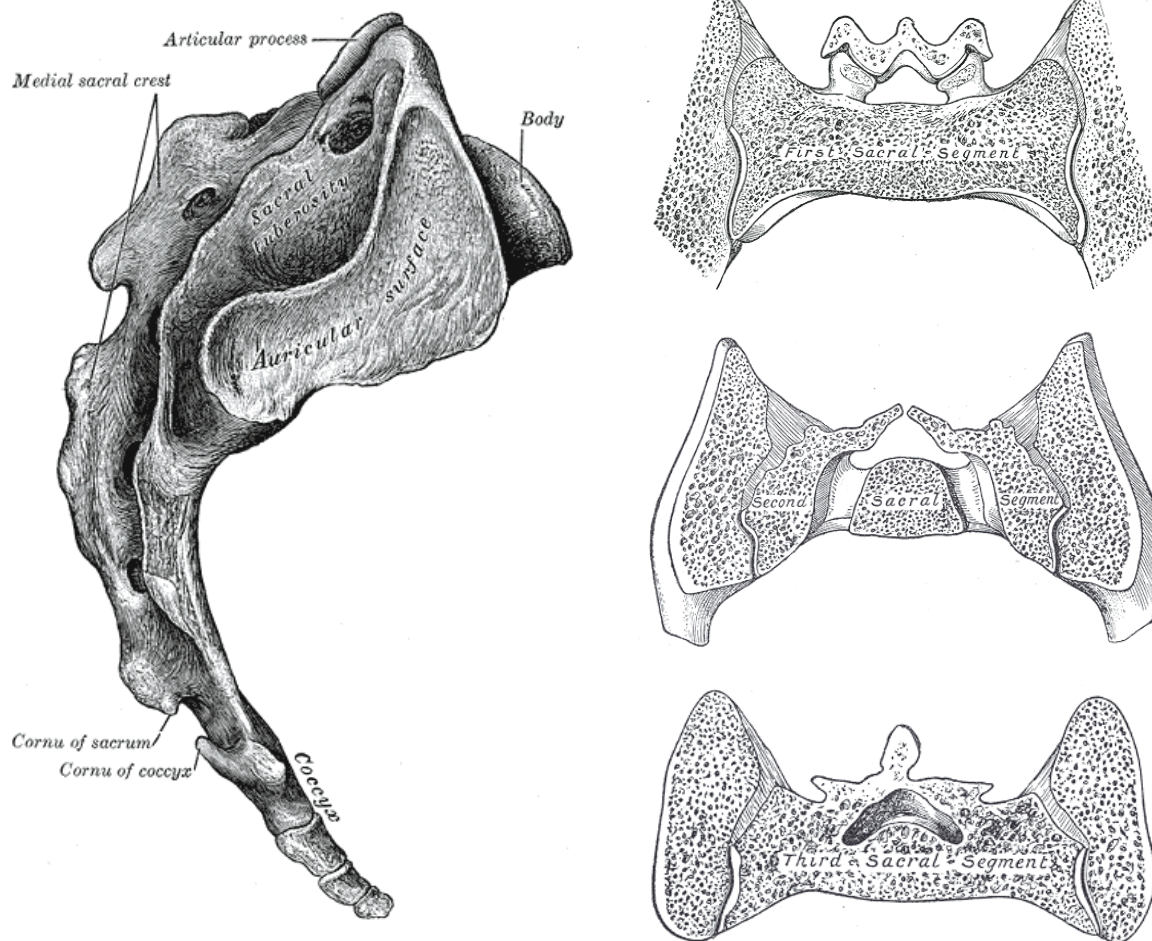
# 1. Einführung

## 1.1. Anatomie des Sakroiliakalgelenks

Das Sakroiliakalgelenk (SIG) stellt die knöcherne Verbindung zwischen Becken und Wirbelsäule dar und ist somit essentiell für die Kraftübertragung von den unteren Extremitäten auf den Rumpf (1). Historisch wurde das Gelenk als unbewegliche Synarthrose angesehen, die nur während der Schwangerschaft in eingeschränktem Maß mobil wurde – bereits Mitte des 19. Jahrhunderts konnte jedoch eine sehr geringe physiologische Beweglichkeit des Os iliums gegen das Os sakrum in einer transversalen Achse gezeigt werden (2). Diese Bewegung wird als Nutation (=Neigung nach vorne) bzw. Kontranutation (=Neigung nach hinten) bezeichnet. Zusätzlich konnte von Albee et al. zu Beginn des 20. Jahrhunderts durch spezielle Färbungen die synoviale Natur des Gelenks belegt werden (3). Das Verständnis der Beweglichkeit des SIGs wurde schließlich durch Testut und Latarjet weiterentwickelt, die zeigten, dass sich das Gelenk aus einem beweglichen ventralen und einem verknöcherten dorsalen Aspekt zusammensetzt (1) – durch diese Autor\*innen wurde auch die heute gängige anatomische Terminologie der Diarthroamphiarthrose geprägt, die beide Charakteristika begrifflich vereint.

### 1.1.1. Knöcherne Anatomie und Bandapparat

Knöchern setzt sich das SIG aus einem insgesamt vornehmlich konkav geformten sakralen und einem hauptsächlich konvex geformten iliakalen Gelenkpartner zusammen (1). Die Gelenkfläche ist C- oder L-förmig bzw. aurikulär, wobei meist der kraniale Schenkel kürzer ist als der kaudale (vergleiche auch Abbildung 1). Der kaudale Schenkel und die unteren Anteile des kranialen Schenkels sind synovial aufgebaut, während der obere Teil des kranialen Schenkels eher fibrös ist (4).



**Abbildung 1. Anatomie des Sakroiliakgelenks.** Schematische Zeichnung. Links: seitliche Ansicht der rechten sakralen Gelenkfläche. Rechts: axiale Schnitte durch beide Gelenke auf Ebene des ersten Sakralwirbels (rechts oben), des zweiten Sakralwirbels (rechts mittig) und des dritten Sakralwirbels (rechts unten). Aus *Gray's Anatomy, 20th Edition, Philadelphia: Lea & Febiger, 1918; New York: Barleby.com, 2000* (creative commons).

Die Gelenkfläche selbst enthält multiple symmetrisch verzahnte Unebenheiten, die zu einem starken Friktionskoeffizienten innerhalb des Gelenks führen, was die benötigte Stabilität gegenüber Scherkräften verschafft (5, 6). Ein zusätzlicher stabilisierender Faktor ist die keilartige Konfiguration des Os sakrum, welches superior breiter ist als inferior und anterior breiter als posterior (5). Der intraartikuläre Knorpelbesatz der Gelenkpartner ist asymmetrisch: typischerweise ist der hyaline sakrale Knorpel zwei- bis dreimal so dick wie der vornehmlich fibrocartilaginäre iliakale Knorpel (7). Der iliakale Knorpel zeigt allerdings eine höhere Zelldichte (8)

und eine dickere subchondrale Platte (9) als sein sakrales Gegenstück. Der periartikuläre kortikale Knochen ist ebenfalls iliumseitig strukturell dichter (8). Insgesamt unterliegt die Gelenkanatomie jedoch einer großen interindividuellen Variabilität (siehe auch 1.1.2). Das SIG ist mit einer kräftigen fibrösen Kapsel ausgestattet. Zudem wird das Gelenk durch eine Vielzahl an Ligamenten stabilisiert, unter denen das ventrale, dorsale und interossäre Ligament die wichtigsten Rollen einnehmen (10).

### *1.1.2. Geschlechtsdimorphismus und Anatomische Normvarianten*

Das knöchernen Becken zeigt deutliche Unterschiede zwischen Männern und Frauen – insgesamt ist das männliche Becken von robusterem Bau und prinzipiell auf ein größeres Körpergewicht ausgelegt (11). So ist z.B. das männliche Acetabulum typischerweise größer als das weibliche Acetabulum, mutmaßlich um die Artikulation mit einem größeren Femur zu ermöglichen (11). Bezüglich der Form ist das männliche Becken länger und schmaler und insgesamt eher konisch, während das weibliche Becken kürzer und eher zylindrisch geformt ist (1). Ebraheim et al. konnten zeigen, dass die Gelenkoberfläche bei Frauen deutlich kleiner ist als bei Männern (12). Eine kürzlich durchgeführte Analyse von Joukar et al. zeigte, dass das weibliche Becken insgesamt eine höhere Mobilität zeigt und größeren Druck- und ligamentären Belastungen ausgesetzt ist (13). Abseits der Unterschiede zwischen den Geschlechtern existieren mehrere anatomische Normvarianten des Sakroiliakgelenks, deren Beschreibung bisher hauptsächlich in der Bildgebung erfolgt ist. Federführend hier waren Prassopoulos et al. (14), die neben der typischen Gelenkform fünf verschiedene Gelenkformen definierten, die im Folgenden kurz beschrieben werden sollen. Das akzessorische Sakroiliakgelenk: diese Gelenkform

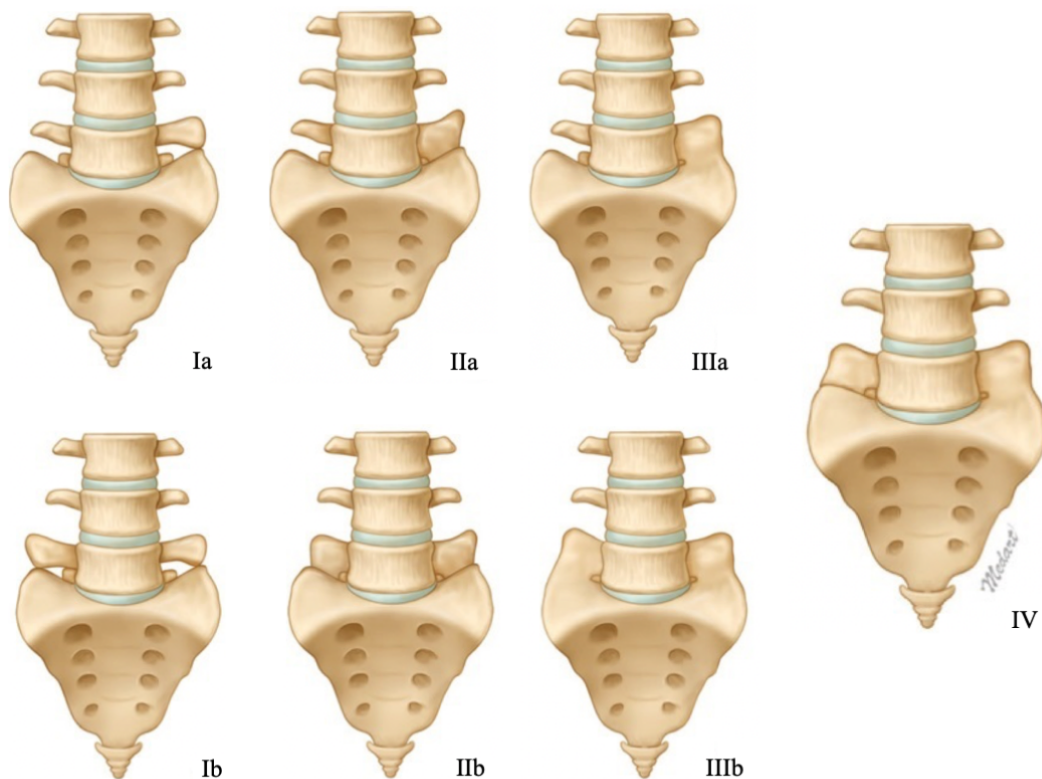
beschreibt eine zusätzliche Artikulation, die typischerweise weit dorsal und kaudal lokalisiert ist. Diese anatomische Variante ist vermutlich die bekannteste, da sie bei manchen Patient\*innen durch Degeneration im Rahmen der atypischen Artikulation zu Beschwerden führen kann (15, 16). Als sakroiliakalen Komplex bezeichnet man ein Gelenk dessen Os sakrum im Zentrum eine prominente Konkavität aufweist, welchem iliumseitig eine Konvexität gegenübersteht (14). Der Befund wird teilweise als „Iliumwulst“ beschrieben. Ebenfalls gängig ist das sogenannte bipartite Os ilium, welches durch eine krebsscherenartige Morphologie des dorso-inferioren Anteils des Os iliums gekennzeichnet ist (14). Als halbmondförmiges Os ilium bezeichnet man eine atypisch konkave Form des Os iliums, dem ein konvexes Os sakrum gegenübersteht, während symmetrische konkave Einkerbungen in beiden Gelenkflächen als halbkreisförmige Defekte bezeichnet werden (14). Schließlich kann es zur Persistenz von separaten Verknöcherungszentren des Os sakrums kommen, die sich typischerweise am ventro-superioren Aspekt des Gelenks zeigen (14).

### *1.1.3. Lumbosakrale Übergangsanomalien*

Als lumbosakrale Übergangsanomalie bezeichnet man angeborene Varianten des Übergangs zwischen dem letzten Lendenwirbel und dem ersten Sakralwirbel. Diese können numerischer (Lumbalisation, Sakralisation) oder morphologischer Natur sein, wobei im Rahmen dieser Arbeit nur auf morphologische Übergangsanomalien eingegangen wird. Für diese ist die gängigste die Castellvi-Klassifikation (17), die in graphischer Form in Abbildung 2 dargestellt ist (nach Lee et al.(18)). Bei den hier beschriebenen Anomalien besteht bei niedrigeren Graden zunächst nur eine Vergrößerung des Processus transversus des letzten Lumbalwirbels (typischerweise



Lendenwirbelkörper 5 = LWK 5), der bei höheren Graden eine Pseudoartikulation und schließlich eine Fusion zeigt (17).



**Abbildung 2. Castellvi-Klassifikation.** Abbildung adaptiert nach Lee et al. (18) mit Erlaubnis.

## 1.2. Altersbedingte Veränderungen der Sakroiliakgelenke

Das Beckenskelett und mit ihm das Sakroiliakgelenk ist im Rahmen der Skelettreifung komplexen Veränderungen unterworfen. Im Rahmen dieser Arbeit sollen jedoch nur physiologische und pathologische Alterungsprozesse jenseits der Pubertät thematisiert werden, weswegen diese nun näher betrachtet werden.

### *1.2.1. Degeneration*

Wie an jedem anderen Gelenk, können auch am SIG strukturelle Veränderungen im Rahmen von mechanischer Belastung bzw. Alterungsprozessen beobachtet werden. Eine Reduktion der Weite des Gelenkspalts wird gemeinhin als frühes Zeichen der Gelenkdegeneration angenommen und gilt als Korrelat der auch in anatomischen Studien demonstrierten Rarefizierung des Gelenkknorpels (1). Bereits in den 1980er Jahren konnten Vogler et al. eine altersabhängige Abnahme der Weite des Gelenkspalts in einer Studienpopulation ohne SIG-Beschwerden zeigen (19). In der gleichen Studienpopulation konnte ebenfalls eine altersabhängige Zunahme der Sklerose gezeigt werden (19), was sich in einer neueren Studie von Eno et al. bestätigte (20). Sklerose beschreibt eine periartikuläre Verdichtung des Knochens, welcher als Reaktion auf die Druckbelastung und die konsekutive Verdichtung des Trabekelwerkes verstanden wird (21). Eine ebenfalls auf Druckbelastung hin entstehende Läsion an Gelenken ist der Osteophyt (22), welcher gleichfalls als typisches Merkmal der Gelenkdegeneration gilt und als ossäre Ausziehung der knöchernen Gelenkpartner als Reaktion auf supraphysiologischen Druck definiert ist. Auch für Osteophyten konnte in der Vergangenheit eine altersabhängige Zunahme gezeigt werden (19, 20). Insgesamt sollte bedacht werden, dass es weiterhin kontrovers diskutiert wird, inwiefern ein gewisses Maß an obig beschriebenen Veränderungen als physiologische Adaptation gewertet werden kann (5) und in welchem Kontext solche Läsionen, die wie beschrieben eine hohe Prävalenz in der Allgemeinbevölkerung haben, tatsächlich einer mechanischen oder degenerativen Gelenkerkrankung entsprechen (23).

### *1.2.2. Schwangerschaft und Geburt*

Neben den obig beschriebenen, jeden aufrecht gehenden Menschen betreffenden mechanischen Belastungen der SIGs, kommt es bei Frauen im Rahmen von Schwangerschaft zu weiteren wesentlichen, teils mechanischen und teils hormonell gesteuerten Veränderungen des Gelenkkomplexes, welche als erleichternd für den eigentlichen Geburtsvorgang verstanden werden. Eine große Bedeutung kommt hier dem Relaxin zu, unter dessen Einfluss die Bandapparate von Symphyse und auch SIGs gelockert werden (1). Diese Reduktion der ligamentären Gelenkstabilität, gemeinsam mit der deutlichen Steigerung der mechanischen Belastung – zunächst durch Gewichtszunahme und konsekutiv vermehrte axiale Druckbelastung, und während der Geburt durch Scherkräfte innerhalb des Beckenringes – kann zu pelvinen und lumbalen Schmerzzuständen führen (24). Ein Phänomen, was mit diesen klinischen Beschwerden in Zusammenhang gebracht wird, ist das häufig bei Frauen unmittelbar post-partum mittels Magnetresonanztomographie (MRT) festgestellte periartikuläre Knochenmarködem der SIGs (25, 26). Besonders ausgeprägt ist dieses Phänomen bei mehrfach gebärenden Frauen (27, 28), die zudem erhöhte Raten an periartikulärer Sklerose zeigen (29, 30).

### **1.3. Entzündliche Veränderungen der Sakroiliakalgelenke**

Neben den beschriebenen und zum Teil als physiologisch bzw. mechanisch verstandenen Gelenkveränderungen der SIGs, können erhebliche Veränderungen bzw. Destruktionen des Gelenks im Rahmen von entzündlichen Erkrankungen beobachtet werden. Eine Entzündung der SIGs, als Sakroiliitis bezeichnet, tritt regelhaft im Rahmen von axialen Spondyloarthritis (axSpA) auf. Diese Bezeichnung umfasst eine Gruppe von entzündlich-rheumatischen Erkrankungen des Achsenskeletts, denen das Symptom des entzündlichen Rückenschmerzes

gemeinsam ist. Die Prävalenz in der Allgemeinbevölkerung wird auf 9–30 pro 10.000 geschätzt (31).

### *1.3.1. Spondyloarthritiden: Definition und klinisches Bild*

Der Begriff Spondyloarthritis (SpA) wird als Überbegriff für eine heterogene Gruppe von entzündlichen Erkrankungen des Achsenskeletts genutzt (32). Auch wenn viele Überlappungen bestehen, existieren innerhalb des SpA-Spektrums eigenständige Krankheitsentitäten – zu diesen zählt man typischerweise: die ankylosierende Spondylitis (AS, früher auch M. Bechterew), die Psoriasisarthropathie (PsA), Arthritiden im Rahmen chronisch-entzündlicher Darmerkrankungen (enteropathische Arthropathien) und reaktive Arthritiden (33). Häufig zeigen sich Entzündungen der Sehnenansätze, welche auch als Enthesitis bezeichnet wird, sowie ein vornehmlich nachts und morgens auftretender Rückenschmerz. Darüber hinaus besteht eine Assoziation mit dem MHC-Antigen HLA-B27 (33) sowie der Entwicklung einer Uveitis anterior (34). Die Erstmanifestation der Erkrankung ist typischerweise in der dritten bis vierten Lebensdekade und Männer sind häufiger betroffen als Frauen, mit einer Ratio von ca. 2:1 (33). Um eine rasche Diagnosefindung vor der Entwicklung irreversibler Schäden am Bewegungsapparat zu ermöglichen, wurden 2009 von der Assessment of SpondyloArthritis international Society (ASAS) neue Klassifikationskriterien verfasst (siehe Abbildung 3 (32)), die eine alleinige Klassifikation aufgrund klinischer Beschwerden und HLA-B27-Status auch ohne Vorliegen von eindeutigen Veränderungen in der Bildgebung erlauben.

# ASAS Klassifikationskriterien für axiale Spondyloarthritis (SpA)

Patienten mit chronischen Rückenschmerzen  $\geq 3$  Monate, Symptombeginn vor dem 45. Lebensjahr



#SpA-Parameter

- entzündlicher Rückenschmerz
- periphere Arthritis
- Enthesitis (Ferse)
- Uveitis
- Daktylitis
- Psoriasis
- M. Crohn/ Colitis ulcerosa
- gutes Ansprechen auf NSAR
- positive Familienanamnese für SpA
- HLA-B27
- erhöhtes CRP

\*Sakroiliitis in der Bildgebung:

- Aktive (akute) Entzündung in der MRT, gut vereinbar mit einer SpA-assoziierten Sakroiliitis
- Definitive röntgenologische Sakroiliitis (Strukturveränderungen) gemäß den mod. NY-Kriterien

n=649 Patienten mit Rückenschmerzen:

Sensitivität 82,9%, Spezifität: 84,4%

Bildgebung allein:

Sensitivität: 66,2%, Spezifität: 97,3%



Rudwaleit M et al. Ann Rheum Dis 2009;68:777-783 (mit Genehmigung)

**Abbildung 3. ASAS-Klassifikationskriterien.** NSAR = nicht-steroidale Anti-Rheumatika. CRP = C-reaktives Protein.

### 1.3.2. Bildgebung bei Sakroiliitis

Das primär eingesetzte radiologische Untersuchungsinstrument bei klinischem Verdacht auf das Vorliegen einer Sakroiliitis ist das Röntgenbild. Die Darstellung erfolgt in einer Ebene mittels anteroposteriorer Projektion entweder Lotrecht zur Körperlängsachse (als Beckenübersicht oder auf die SIGs eingeblendet) oder um ca. 30° nach kranial gekippt (sog. Ferguson-Aufnahme). Die Graduierung der Veränderungen im Röntgenbild erfolgt mittels der modifizierten New York Kriterien von 1984 (35), die in Tabelle 1 zusammengefasst sind.

Grad	Radiographische Veränderungen am Sakroiliakgelenk
0	Normaler Gelenkspalt
1	Verdächtige Veränderungen (z.B. fragliche Erosion)
2	Gering ausgeprägte, aber eindeutige Veränderungen: umschriebene Erosionen und Sklerose bei unauffälliger Gelenkspaltweite
3	Ausgeprägte Erosionen (ggf. zu einer Pseudoerweiterung konfluierend), partielle Ankylosierung
4	Komplette Ankylose.

**Tabelle 1. New York Kriterien der Sakroiliitis im Röntgenbild.** Adaptiert nach Van der Linden (35).

Die wesentliche Bildgebungsmodalität bei der Diagnostik und Verlaufskontrolle von entzündlichen Erkrankungen der SIG ist die MRT (32). In dieser Bildgebungsmodalität können insbesondere mit großer Reliabilität Zeichen der floriden Entzündung detektiert werden. Auch strukturelle Läsionen wie Erosionen können insbesondere bei der Verwendung moderner MRT-Sequenzen mit hohem Knochen-Knorpel-Kontrast verlässlich dargestellt werden, während hier jedoch weiterhin der Computertomographie (CT) die höchste diagnostische Genauigkeit zugesprochen wird (36).

### *1.3.3. Computertomographie in der Diagnostik der Sakroiliitis*

Die CT wird aktuell nicht routinemäßig im Rahmen der Diagnostik bei Sakroiliitis eingesetzt und findet sich auch nicht in den aktuellen Empfehlungen der European League Against Rheumatism (EULAR) zur Bildgebung bei axSpA (37) oder den kürzlich erneuerten ASAS-EULAR Empfehlungen zum Management der axSpA (38) wieder. Dessen ungeachtet rückt diese Art der Bildgebung insbesondere seit der Etablierung von Niedrigdosis CT-Protokollen, die mittlerweile in einem vergleichbaren Dosisbereich wie konventionelle Röntgenaufnahmen akquiriert werden können (36), zunehmend in den Fokus (39). Der entscheidende Mehrwert der CT in der Diagnostik

der Sakroiliitis ist die wesentlich detailliertere Darstellung kleinster knöcherner Läsionen, also der im Vergleich zur MRT verbesserten Detektion von Erosionen (39). Darüber hinaus kann die komplexe dreidimensionale Anatomie des SIG in den dynamisch rekonstruierbaren Schnittebenen der CT deutlich besser visualisiert werden, als in den üblichen MRT-Sequenzen, die in der Regel parakoronar akquiriert werden und Schichtdicken von 3 mm bis 4 mm aufweisen (39).

#### **1.4. Zielsetzung und Hypothese**

Im Rahmen der hier vorgelegten Arbeit soll die Häufigkeit von degenerativen und entzündlichen Läsionen der Sakroiliakgelenke in der Allgemeinbevölkerung bestimmt werden. Darüber hinaus sollen verschiedene klinische sowie anatomische Einflussfaktoren auf Häufigkeit bzw. Ausprägung sowie Lokalisation dieser Läsionen untersucht werden, um in letzter Instanz durch ein verbessertes Verständnis physiologischer bzw. nicht-krankheitstypischer Veränderungen die Diagnostik bei entzündlichen und mechanischen Erkrankungen dieser Gelenke zu verbessern.



## 2. Methodik

### 2.1. Fallzahlschätzung, Patientenkollektiv und Erhebung

#### patientenspezifischer Daten

Die hier vorgelegte Studie wurde als retrospektive Studie an pseudonymisierten CT-Datensätzen konzipiert. Vor Beginn wurde eine Fallzahlschätzung durch das Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie mittels dedizierter Software durchgeführt (nQuery Version 7.0, StatSols, Ohio, USA). Grundannahme der Fallzahlschätzung war eine Häufigkeit von Erosionen von 3% – bei einem Fehler 1. Art von 5% und einer Power von 80%. Daraus resultierend wurde eine Fallzahl von 815 als ausreichend groß angesehen um mit einem einseitigen Chi<sup>2</sup>-Test eine Läsionshäufigkeit von <5% zu zeigen.

Aus dem Bildarchivierungssystem (Centricity RIS-i 5.0, General Electric Healthcare, Chicago, Illinois, USA) der Klinik für Radiologie der Charité – Universitätsmedizin Berlin (Campus Mitte) wurden CT-Untersuchungen des Beckens, einschließlich Kombinations- bzw. Ganzkörperuntersuchungen, aus dem Zeitraum März 2016 bis Juni 2019 identifiziert. Eingeschlossen wurden nur Untersuchungen mit vollständiger Abbildung beider SIGs in der benötigten Sekundärrekonstruktion (siehe 2.2.

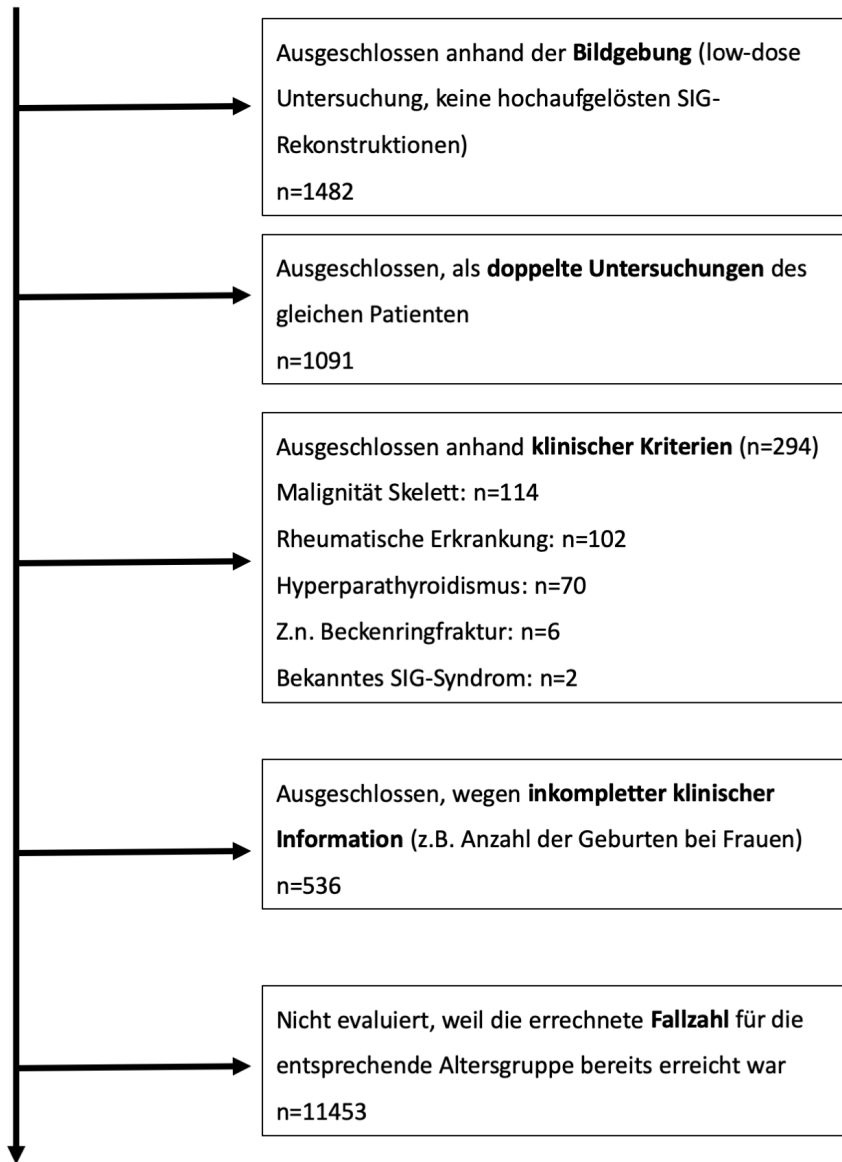
Bildgebende Technik). Parallel erfolgte die Erhebung klinischer Daten aus dem elektronischen Dokumentationssystem unserer Klinik (SAP, Walldorf, Deutschland). Erhoben wurden: Alter zum Zeitpunkt der Untersuchung (in Jahren), Geschlecht (binär), Indikation für die CT-Untersuchung (Staging/ Tumorsuche; Infektionsfokus; akutes Trauma/ Blutung; andere), Ernährungszustand zum Zeitpunkt der Untersuchung (schlank/ kachektisch; normalgewichtig; übergewichtig/ adipös), Anzahl der geborenen Kinder bei Frauen, ggf. vorliegende chronisch entzündliche Darmerkrankung, kutane Psoriasis und Uveitis. Ausgeschlossen wurden alle

Patientinnen und Patienten mit bekannten rheumatologischen Erkrankungen, bekanntem SIG-Syndrom, Beckenringfraktur in der Eigenanamnese, sowie solche mit maligner Erkrankung des Skelettsystems (sowohl primär als auch metastatisch). Eine graphische Darstellung des Patienteneinschlusses ist als Abbildung 4 gegeben.

**Rekrutierungszeitraum: März 2016 – Juli 2019**

**Insgesamt verwendbare Untersuchungen (CT Abdomen/Becken): n=14856**

- Frauen: n=6419
- Männer: n=8437



**Eingeschlossene Untersuchungen: n=818**

**Abbildung 4.** Flussdiagramm des Patienten-Einschlusses. SIG=Sacroiliakalgelenk. Adaptiert (ins Deutsche übersetzt) nach (40) mit Erlaubnis der Autor\*innen.

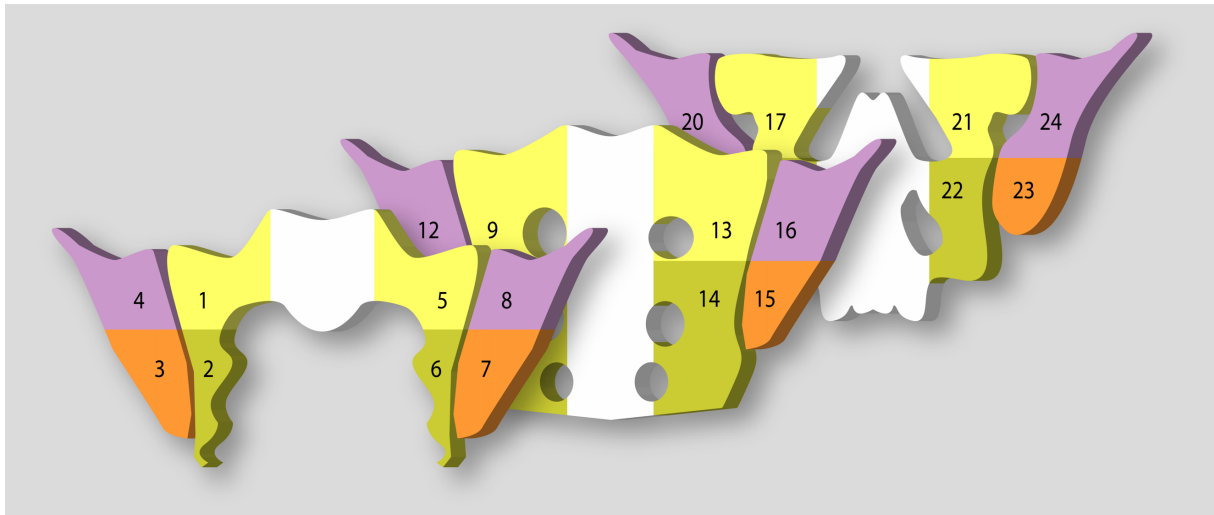
## **2.2. Bildgebende Technik**

Im Rahmen der hier vorgelegten Arbeit wurden Bilddaten von drei unterschiedlichen Geräten der Klinik für Radiologie (Campus Mitte) der Charité – Universitätsmedizin Berlin analysiert: zwei 80-Zeilen- und ein 320-Zeilen Computertomograph der Firma Canon Medical (Canon Aquillon und Canon Aquillon One, Canon Medical Systems, Otawara Japan). Eine an der Klinik für Radiologie der Charité standardmäßig im Rahmen der Routinediagnostik erstellten Sekundärrekonstruktionen ist ein dünnschichtiger (0,5 mm Schichtdicke) Volumendatensatz des Beckens in einem harten (Knochen-)Faltungskern mit axialer Orientierung – für diese Studie wurden allein diese Sekundärrekonstruktionen herangezogen. Alle Bilddatensätze wurden mit fortlaufender Identifikationsnummer pseudonymisiert und alle patientenbezogenen Metadaten (Name, Alter, Geschlecht, Adresse, zuweisender Arzt) mittels dedizierter Software (Horos v.4.0.0, The Horos Project) gelöscht.

## **2.3. Score und Atlas**

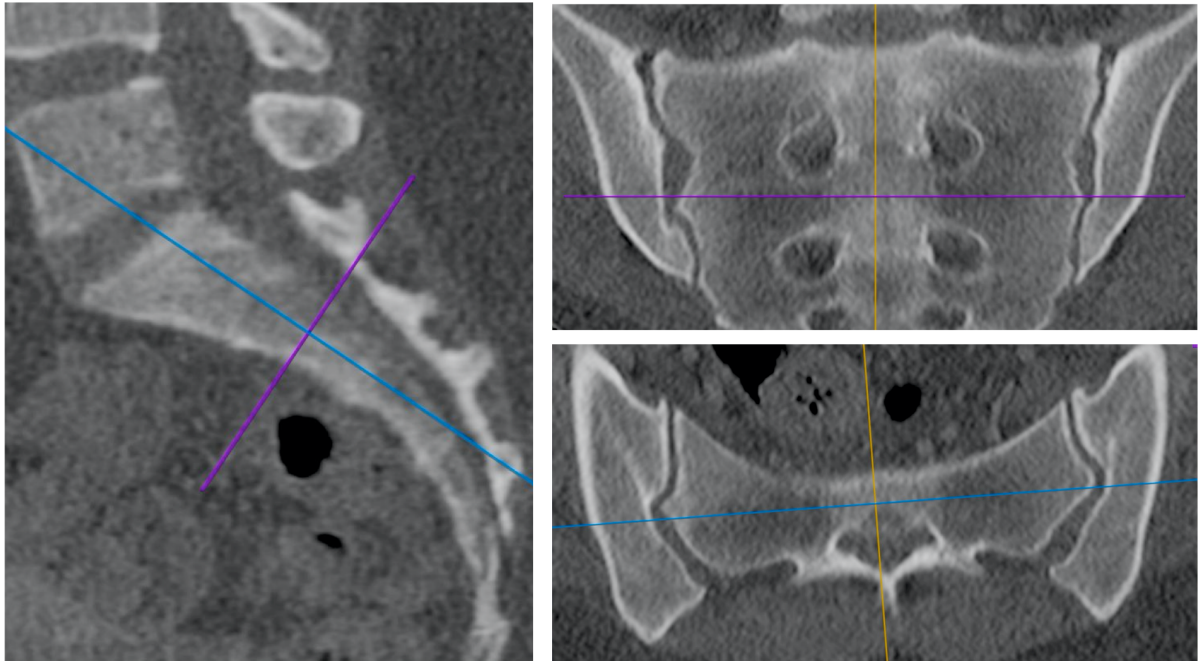
Alle Bilddatensätze des eingeschlossenen Patientenkollektivs wurden einem strukturierten Scoring unterzogen, um Gelenkveränderungen semiquantitativ zu erfassen. Der Score basiert auf Vorarbeiten unserer Arbeitsgruppe im Rahmen der SIMACT-Studie (36, 41, 42). Nach diesem Ansatz wird jedes SIG in 12 Regionen unterteilt – jeweils vier Quadranten im ventralen, mittleren und dorsalen Anteil des Gelenks in parakoronarer Betrachtung. Eine schematische Darstellung des 24-Regionen Modells ist als Abbildung 5 gegeben. Alle Bilddatensätze wurden von einer Radiologin in Ausbildung bewertet, welche fünf Jahre Erfahrung in muskuloskelettaler Bildgebung hatte. Vor Beginn des eigentlichen Scorings wurde eine Konsensus-Sitzung mit einem radiologischen Oberarzt mit extensiver Erfahrung

in muskuloskelettaler Bildgebung durchgeführt. Für die Berechnung von Intra- und Interreaderreliabilität führten beide Reader ein Scoring an 50 zufällig ausgewählten Studienpatient\*innen durch; im Fall der Radiologin in Ausbildung ein zweites Mal im Abstand von >2 Monaten zum ursprünglichen Scoring.



**Abbildung 5. 24-Regionen Modell.** Nach Diekhoff und Hermann et al (41) mit Erlaubnis der Autor\*innen. Von links nach rechts: ventraler, mittlerer und dorsaler Gelenkanteil.

Die Bilddatensätze wurden primär in parakoronarer Orientierung im Knochenfenster betrachtet, eine individuelle Anpassung der Rekonstruktionsebene und Fensterung war jedoch ohne Einschränkungen erlaubt – ein Bildbeispiel der Scoring-Umgebung ist in Abbildung 6 gegeben.



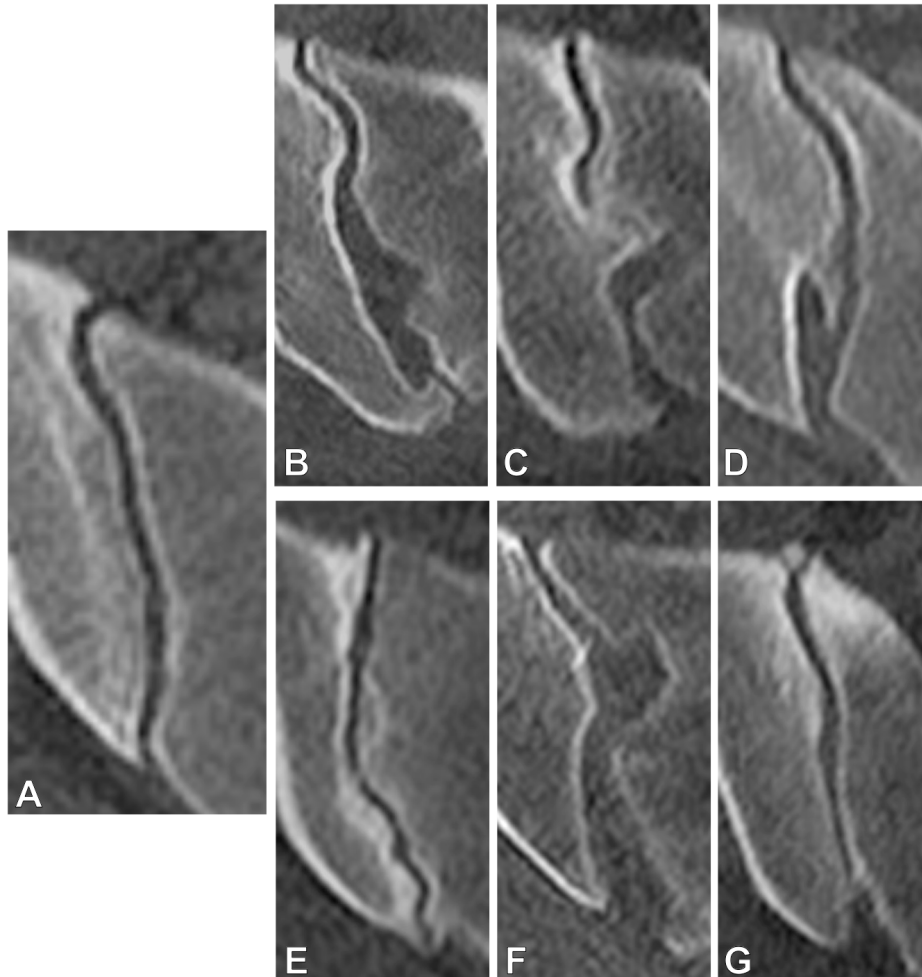
**Abbildung 6. Schnittebenen Scoring.** Links: Sagittale Rekonstruktion; die blaue Linie zeigt die Ebene der para-koronaren Rekonstruktion (rechts oben), die lila Linie zeigt die Ebene der paraaxialen Rekonstruktion (rechts unten).

Die Eingabe der Scoringergebnisse erfolgte über ein eigens erstelltes Formular in der zertifizierten Datenbank RedCap (Vanderbilt University, Nashville, USA) des Berlin Institute of Health. Nach Abschluss der Eingabe wurden die Daten als vollständige Datenbank exportiert. Eine auch analog verwendbare Version des Scoringbogens ist als Anhang 1 angefügt.

### 2.3.1. Anatomische Form

Die anatomische Form der SIGs wurde einzeln für jede Seite bewertet. Hierzu wurde vornehmlich eine Reformation in rein axialer Schnittführung betrachtet. Die kategoriale Einordnung der Gelenkform erfolgte angelehnt an die Klassifikation von Prassopoulos et al. (14) – der entsprechende Teil des Atlas ist als Abbildung 7 gegeben. Wie dort dargestellt, wurde unterschieden zwischen der typischen

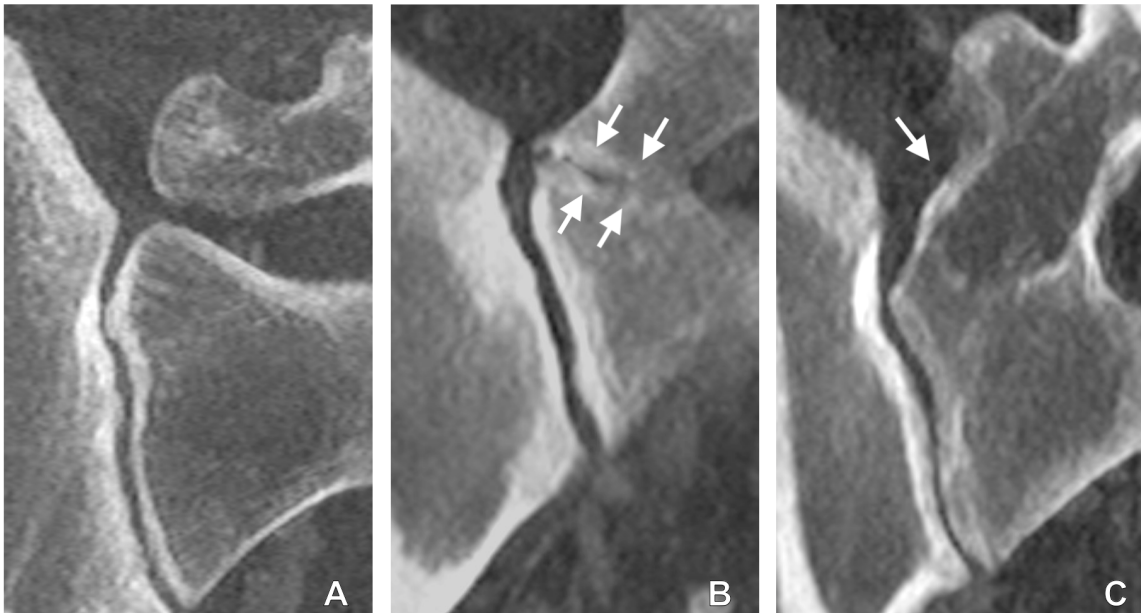
Gelenkform (A), dem akzessorischen Gelenk (B), dem iliosakralen Komplex (C), dem bipartiten Os ilium (D), dem sichelförmigen Os ilium (E), dem sakralen Defekt (F) und dem sakralen Ossifikationskern (G). Lag keine der genannten Formen bei Patient\*innen vor, konnte zusätzlich noch die Gelenkform „andere“ gewählt werden.



**Abbildung 7. Atlas – anatomische Form.** Rechte Sakroiliakgelenke in axialer Rekonstruktion. A: Typische Gelenkform. B: akzessorisches Gelenk. C: iliosakraler Komplex. D: bipartites Os ilium. E: sichelförmiges Os ilium. F: sakraler Defekt. G: sakraler Ossifikationskern. Adaptiert nach (40) mit Erlaubnis der Autoren.

### 2.3.2. Lumbosakrale Übergangsanomalie

Die Bewertung des Vorliegens einer lumbosakralen Übergangsanomalie erfolgte primär in koronaren Rekonstruktionen und erfolgte in enger Anlehnung an die Klassifikation von Castellvi et al. (17). Hierbei wurde der Processus transversus des kaudalsten Lumbalwirbels (bei numerisch typischer Anatomie: LWK5) bewertet als normal, vergrößert (A), mit Pseudoartikulation zum Sakrum (B) oder fusioniert mit dem Sakrum (C). Eine graphische Darstellung der drei Anomalien ist in Abbildung 8 gegeben.

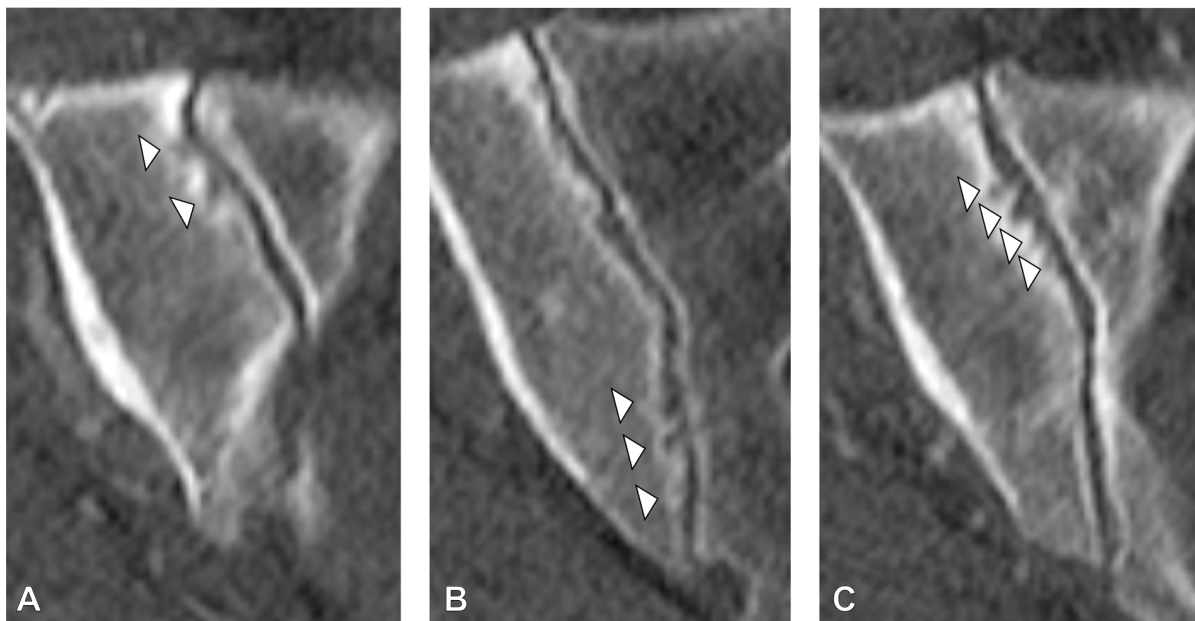


**Abbildung 8. Atlas – lumbosakrale Übergangsanomalie.** Koronare Reformation in maximum intensity projection (MIP) mit 5 mm Dicke. A: Normal, vergrößert. B: mit Pseudoartikulation (weiße Pfeile) zum Sakrum. C: fusioniert mit dem Sakrum (weißer Pfeil).



### 2.3.3. Erosionen

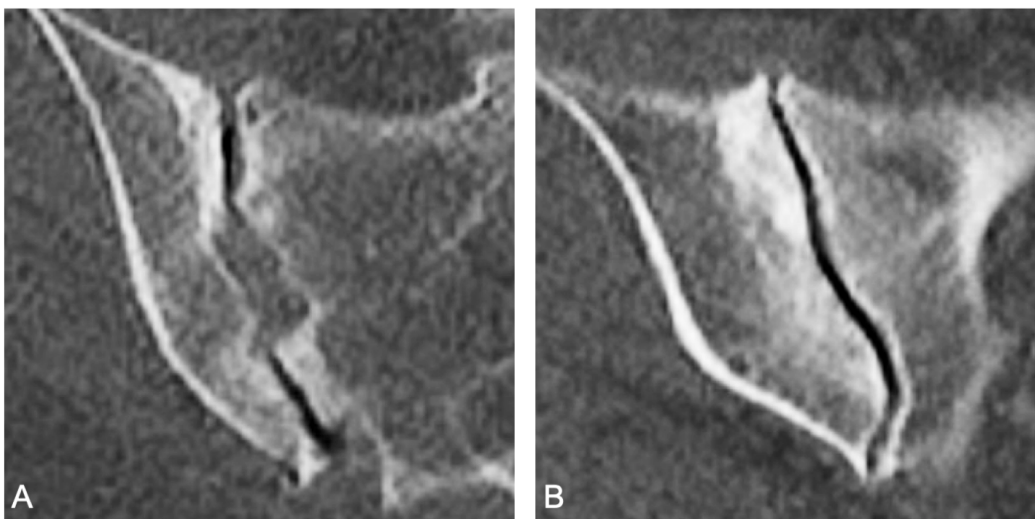
Als Erosionen wurden im Rahmen der hier vorgelegten Studie alle fokalen Unterbrechungen der Kortikalis über mindestens 1 mm Länge der Gelenkkontur eines der Gelenkpartner definiert. Die Einteilung erfolgte graduiert, je nach Anzahl der detektierten Erosionen und jeweils pro Region. Der entsprechende Teil des Atlas ist als Abbildung 9 gegeben. Eindeutig als Knochenkanälchen nachvollziehbare, tubuläre Strukturen wurden hierbei ebenso wenig als Erosionen gewertet wie subchondrale Zysten ohne Anschluss an das Gelenk. War eine Region des Gelenks aufgrund einer fortgeschrittenen Gelenkspaltveränderung nicht bewertbar, wurde dies ebenfalls erfasst.



**Abbildung 9. Atlas – Erosionen.** Parakoronare Reformationen des rechten SIGs. Erosionen sind durch weiße Pfeilspitzen markiert. A: Einzelne (max. 2) kleinere Erosionen (= Score 1). B: mehrere kleinere (3-5) Erosionen (=Score 2). C: Multiple kleinere (>5) oder konfluierende Erosionen (=Score 3).

#### 2.3.4. Sklerose

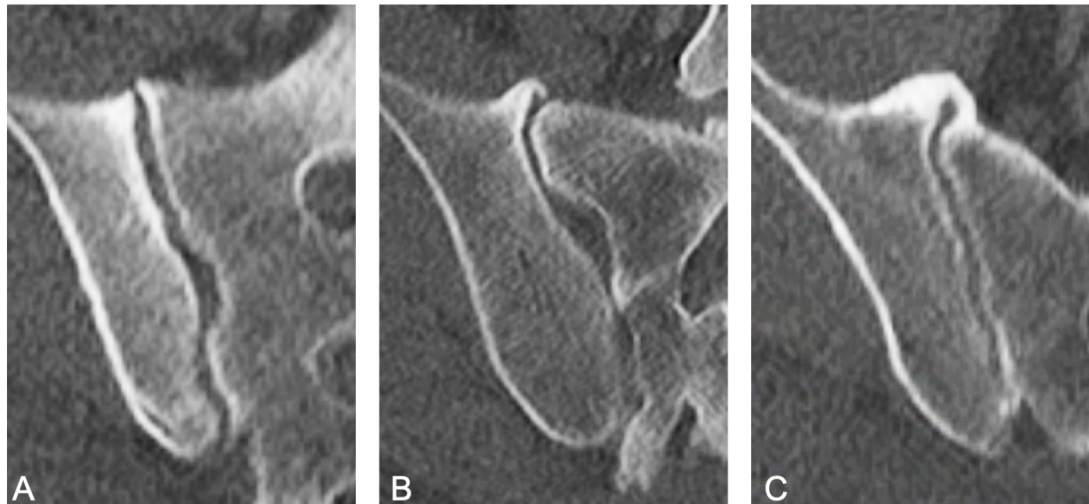
Als Sklerose wurde eine Verdichtung des periartikulären Knochens gewertet; diese wurde analog zu den Erosionen für jede Region einzeln bewertet. Hierbei wurde unterschieden, ob die Verdichtungen nur gering oder deutlich bis extensiv waren. Inzidentelle Skleroseinseln ohne Bezug zur Gelenkfläche wurden nicht in die Bewertung einbezogen. Beispiele für die unterschiedlichen Ausprägungen der Sklerose sind in Abbildung 10 zu finden.



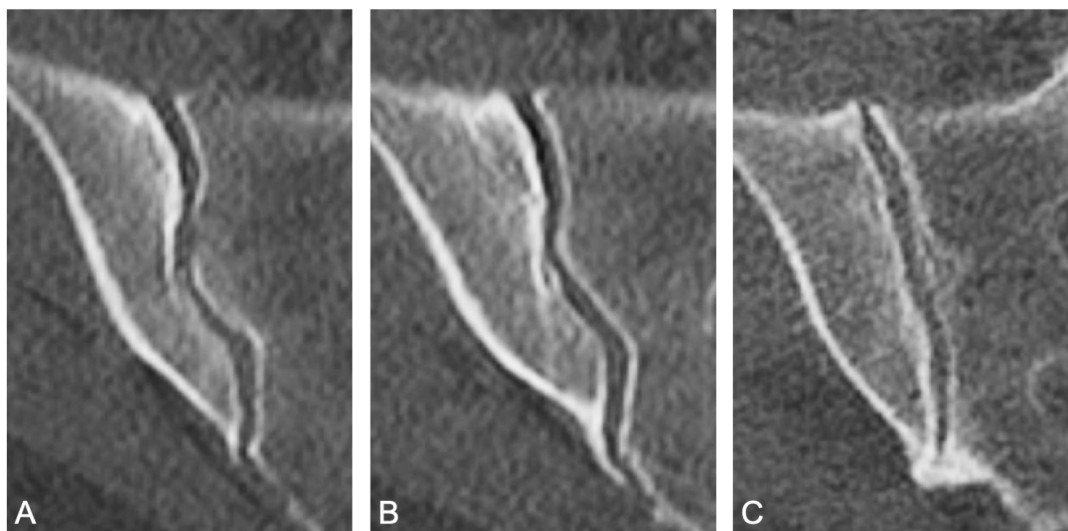
**Abbildung 10. Atlas – Sklerose.** Parakoronare Reformationen des rechten SIGs. A: Schmalere, periartikulärer Sklerosesaum (= Score 1). B: breiter Sklerosesaum (=Score 2).

### 2.3.5. Osteophyten

Osteophyten wurden ventral und dorsal separat bewertet – Bildbeispiele sind als Abbildung 11 (ventral) und Abbildung 12 (dorsal) gegeben.



**Abbildung 11. Atlas – Osteophyten (ventral).** Parakoronare Reformationen des rechten SIGs. A: kleiner Osteophyt (<5 mm) (=Score 1). B: größerer Osteophyt (≥ 5 mm) (= Score 2). C: pontifizierender Osteophyt (=Score 3).

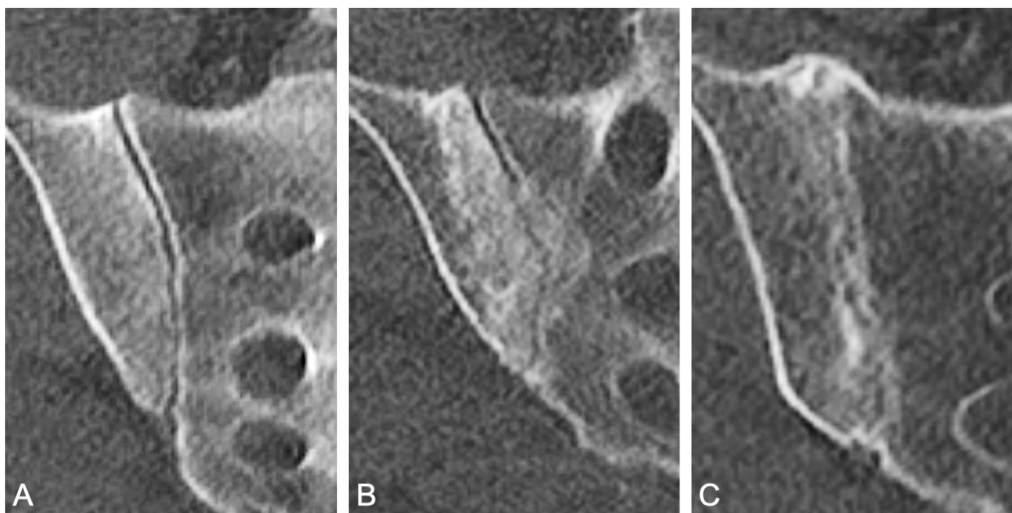


**Abbildung 12. Atlas – Osteophyten (dorsal).** Parakoronare Reformationen des rechten SIGs. A: kleiner Osteophyt (<5 mm) (=Score 1). B: größerer Osteophyt (≥ 5 mm) (= Score 2). C: pontifizierender Osteophyt (=Score 3).

Unterschieden wurde zwischen kleineren und größeren Osteophyten, wobei als Trenngröße eine gemessene Länge von 5 mm etabliert wurde. Als Maximalausprägung wurde der überbrückende oder auch pontifizierende Osteophyt definiert, der gelegentlich auch als extraartikuläre Ankylose bezeichnet wird (1).

### 2.3.6. Gelenkspaltveränderungen

Gelenkspaltveränderungen wurden für jedes Gelenk einzeln betrachtet. Hierbei wurde graduiert bewertet: ein Score von 1 wurde für ein Gelenk mit nur leichter bzw. angedeuteter Verschmälerung oder Erweiterung vergeben. War die Gelenkspaltweite eindeutig abnormal groß oder klein wurde ein Score von 2 vergeben. Bei partiell ankylosiertem Gelenk wurde ein Score von 3 vergeben. Ein Score von 4 war für vollständig ankylosierte Gelenke vorbehalten. Bildbeispiele für die Scores 1-3 sind in Abbildung 13 dargestellt.

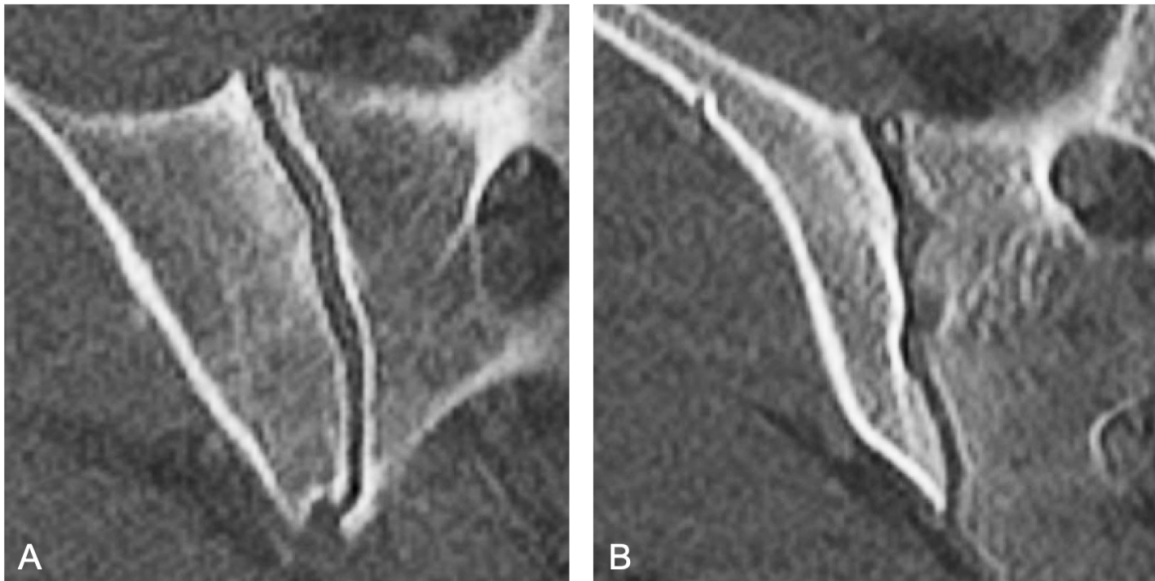


**Abbildung 13. Atlas – Gelenkspaltveränderungen.** Paracoronare Reformationen des rechten SIGs.

A: Angedeutete, bzw. gering ausgeprägte Gelenkspaltverschmälerung (= Score 1). B: Deutliche Gelenkspaltverschmälerung (=Score 2). C: Partielle Ankylose (=Score 3) – einzelne nicht ankylosierte Gelenkanteile sind noch abgrenzbar.

### 2.3.7. Intraartikuläre Verkalkungen

Intraartikuläre Verkalkungen, definiert als kalziumisodense feine Strukturen innerhalb des Gelenkknorpels wurden als fein bzw. fleckig (=Score 1) oder als ausgeprägt, z.B. mit größeren Kalkdepots (=Score 2) bewertet (siehe Abbildung 14).



**Abbildung 14. Atlas – Verkalkungen.** Parakoronare Reformationen des rechten SIGs. A: Einzelne feine Knorpelverkalkungen (= Score 1). B: Größere Verkalkung ventral kranial (=Score 2).

## 2.4. Statistik

Alle statistischen Analysen wurden mittels SPSS Version 24 (IBM Corporation, New York, USA) durchgeführt. Scoringergebnisse wurden für jede strukturelle Läsion einzeln als Summenscore auf Patientenebene zusammengefasst. Auf Patientenebene wurde ein Summenscore von  $\geq 3$  für Sklerose insgesamt (Regionen 1-24) und ein Summenscore von  $\geq 2$  für die Teilbereiche ventral (Regionen 1-8), mittig (Regionen 9-16) und dorsal (Regionen 17-24) als positiv gewertet. Patient\*innen mit einem Summenscore von  $\geq 2$  für Erosionen, Osteophyten und Verkalkungen sowie  $\geq 1$  für Gelenkspaltveränderungen, als positiv für die jeweilige

Läsionsart gewertet. Die Vergleiche von Häufigkeiten der Läsionen zwischen Subgruppen (Geschlecht, Alter, etc.) wurden mittels Chi<sup>2</sup>-Tests für ungepaarte Stichproben durchgeführt. Das Vorliegen von Alterstrends in der Läsionshäufigkeit wurde mittels Jonckheere-Terpstra Test untersucht. Zudem wurde eine logistische Regressionsanalyse für das Vorliegen von strukturellen Läsionen auf Patientenebene durchgeführt, mit Angabe des R<sup>2</sup> nach Nagelkerke als Maß der Güte des Regressionsmodells. Sklerose wurde hierbei separat für den ventralen, mittigen und dorsalen Gelenkanteil untersucht und Osteophyten wurden dorsal und ventral getrennt betrachtet. Als Kovariablen wurden Geschlecht (weiblich), Altersgruppe (10-Jahres-Inkrement), Gewichtskategorie (schlank, normal, übergewichtig), anatomische Gelenkform und Anzahl stattgehabter Geburten bei Frauen, das Vorliegen einer chronisch-entzündlichen Darmerkrankung und eine kutane Psoriasis in das Modell eingegeben. Inter- und intra-Reader Reliabilität wurde mittels Intraklassenkorrelationskoeffizienten unter der Verwendung eines 2-seitigen gemischten Modells (ICC(3,2)) (43) errechnet. Ein Signifikanzniveau von  $p < 0,05$  wurde für alle statistischen Tests angenommen.

## **2.5. Ethikvotum und Datenschutz**

Alle Patientinnen und Patienten der Klinik für Radiologie der Charité – Universitätsmedizin Berlin erklären bei Großgeräteuntersuchungen ihr Einverständnis zur Speicherung der Untersuchungsdaten und deren wissenschaftlichen Auswertung im Rahmen der jeweiligen Aufklärungsgespräche. Vor Beginn der Studie wurde ein positives Votum der Ethikkommission der Charité Universitätsmedizin Berlin (EA1/300/19) eingeholt. Aufgrund der großen Patientenpopulation und der retrospektiven Natur der Studie wurde kein studienspezifisches individuelles schriftliches Einverständnis der untersuchten

Patientinnen und Patienten eingeholt, wie explizit vom Gesetzgeber zugelassen (Landeskrankenhausgesetz §25 Absatz 2). Während der Studie fanden das Berliner Landesdatenschutzgesetz, das Berliner Landeskrankenhausgesetz sowie die Bestimmungen der Deklaration von Helsinki in ihrer aktuellsten Fassung (2013, Fortaleza, Brasilien) Anwendung.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Patientenpopulation und klinische Charakteristika

Das mittlere Alter der eingeschlossenen Patient\*innen betrug 50,6 Jahre ( $\pm$  19,3 Jahre). Die basalen klinischen Charakteristika sind in der folgenden Tabelle (Tabelle 2) zusammengefasst.

Altersgruppe [Jahre]	Anzahl	Geschlecht [n, %]		Ernährungszustand [n, %]		
		männlich	weiblich	Untergewichtig	Normalgewicht	Übergewichtig
<25	77	45 (58,4%)	32 (41,6%)	19 (24,7%)	49 (63,6%)	9 (11,7%)
25-34	126	63 (50,0%)	63 (50,0%)	15 (11,9%)	84 (66,7%)	27 (21,4%)
35-44	121	60 (49,6%)	61 (50,4%)	6 (5,0%)	83 (68,6%)	32 (26,4%)
45-54	123	62 (50,4%)	61 (49,6%)	5 (4,1%)	54 (43,9%)	64 (52,0%)
55-64	125	62 (49,6%)	63 (50,4%)	3 (2,4%)	52 (41,6%)	70 (56,0%)
65-74	122	63 (51,6%)	59 (48,4%)	3 (2,5%)	51 (41,8%)	68 (55,7%)
$\geq$ 75	124	62 (50,0%)	62 (50,0%)	7 (5,6%)	45 (36,3%)	72 (58,1%)
<b>Gesamt</b>	<b>818</b>	<b>417 (51,0%)</b>	<b>401 (49,0%)</b>	<b>58 (7,1%)</b>	<b>418 (51,1%)</b>	<b>342 (41,8%)</b>

**Tabelle 2. Patientencharakteristika nach Altersgruppe.** Angaben in absoluten und relativen (%) Werten. Adaptiert nach (40) mit Erlaubnis der Autor\*innen.

Gemäß der Einschlusskriterien wurden männliche und weibliche Patient\*innen in ausgewogenem Verhältnis inkludiert: 51,0% Männer, 49,0 % Frauen. Während in



den jüngeren Altersgruppen (<45 Jahre) die Mehrzahl der Patient\*innen normal- oder untergewichtig war, zeigte sich bei den älteren Patient\*innen eine höhere Prävalenz von Übergewicht (maximal 58,1% in der Gruppe der ≥75-jährigen). Von den insgesamt 401 eingeschlossenen weiblichen Patientinnen waren 156 (38,9% der Subpopulation) Nullipara, 92 (22,9%) Primipara, 88 (21,9%) Sekundipara und 38 (9,5%) hatten drei Kinder geboren. Siebenundzwanzig Patientinnen (6,7%) hatten vier oder mehr Kinder geboren, die höchste Anzahl an Geburten innerhalb des Studienkollektivs war 10 (eine Patientin).

Insgesamt wurde bei 7 Patient\*innen (0,9%) eine kutane Psoriasis in der elektronischen Patientenakte dokumentiert, während kein Fall von Uveitis in unserem Kollektiv beobachtet wurde. Bei 29 Patient\*innen fand sich eine chronisch entzündliche Darmerkrankung in der Vorgeschichte, hiervon bei 16 (2,0% der Gesamtpopulation) ein M. Crohn, bei 9 (1,1%) eine Colitis ulcerosa und bei 4 (0,5%) eine andere chronisch entzündliche Darmerkrankung.

Die häufigste Indikation zur CT-Untersuchung war ein onkologisches Staging bzw. Tumorsuche bei insgesamt 389 (47,6%) der eingeschlossenen Patient\*innen, gefolgt von Infektfokussuche (n=299; 36,6%). In 27 Fällen (3,3%) wurde die Indikation im Kontext von Trauma oder Blutung gestellt und in 103 Fällen (12,6%) lag eine andere als die genannten Indikationen vor.

## **3.2. Anatomische Varianten**

### *3.2.1. Gelenkform*

Die häufigste Gelenkform in unserem Studienkollektiv war das typische Gelenk, es wurde bei 510 Patient\*innen (62,3%) beobachtet. Die häufigste anatomische Variante war das bipartite Os ilium welches bei 11,1% (n=91) Patient\*innen vorkam. Ebenfalls häufig war das akzessorische Gelenk, welches bei 8,3% (n=68)

Patient\*innen gefunden wurde. Die übrigen Gelenkformen wurden deutlich seltener beobachtet. Insgesamt 94 Patient\*innen zeigten ein asymmetrisches Gelenkpaar, also eine einseitige anatomische Variante mit normalem gegenseitigem Gelenkspalt oder unterschiedliche variante Gelenkformen auf beiden Seiten. Die Häufigkeit dieser unterschiedlichen Gelenkformen unterschied sich statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ) zwischen den Geschlechtern, aus diesem Grund sind die jeweiligen Häufigkeiten in der folgenden Tabelle nach Geschlechtern getrennt aufgezeigt (Tabelle 3).

Gelenkform	Männer [n,%]	Frauen [n,%]
Typische Gelenkform	358 (85,9%)	152 (37,9%)
Akzessorisches Gelenk	17 (4,1%)	51 (12,7%)
Iliosakraler Komplex	5 (1,2%)	14 (3,5%)
Bipartites Os ilium	3 (0,7%)	88 (21,9%)
Sichelförmiges Os ilium	3 (0,7%)	12 (3,0%)
Halbkreisförmige Defekte	1 (0,2%)	1 (0,2%)
Sakrale Verknöcherungskerne	2 (0,5%)	2 (0,5%)
Andere Gelenkform	28 (6,7%)	81 (20,2%)

**Tabelle 3. Häufigkeit Gelenkformen nach Geschlechtern getrennt.** Absolute und relative Häufigkeiten.

Wie dieser Aufstellung zu entnehmen ist, zeigte nur eine Minderheit (37,9%) der Frauen eine als typisch definierte Gelenkform, während dies bei der Mehrheit der Männer (85,9%) der Fall war. Bei mehr als 1/5 der Frauen wurde ein bipartites Os ilium gefunden, eine Gelenkform, die bei weniger als 1 % der Männer zu beobachten war.

### 3.2.2. Lumbosakrale Übergangsanomalien

Lumbosakrale Übergangsanomalien waren insgesamt selten: nur 53 Patient\*innen (6,4%) zeigten eine solche anatomische Variante. Die häufigste beobachtete Form war der Typ IIa (n=15), gefolgt vom Typ Ia (n=10) und dem Typ IIb (n=9). Die Verteilung dieser Normvarianten unterschied sich nicht signifikant zwischen Männern und Frauen ( $p=0,569$ ).

### 3.3. Strukturelle Läsionen

Im Folgenden sollen die Häufigkeiten der in der Methodik beschriebenen strukturellen Läsionen dargestellt werden. Eine Übersicht der Häufigkeit dieser Läsionen pro Altersgruppe ist in der folgenden Tabelle gegeben (Tabelle 4).

Alter- gruppe [Jahre]	Anzahl	Erosionen [n, %]	Sklerose [n, %]	Osteophyten [n, %]	Gelenkspalt [n, %]	Verkalkungen [n, %]
<25	77	7 (9,1%)	13 (16,9%)	9 (11,7%)	1 (1,3%)	3 (3,9%)
25-34	126	5 (4,0%)	45 (35,7%)	25 (19,8%)	0 (0,0%)	3 (2,4%)
35-44	121	7 (5,8%)	63 (52,1%)	49 (40,5%)	6 (5,0%)	6 (5,0%)
45-54	123	12 (9,8%)	70 (56,9%)	71 (57,7%)	10 (8,1%)	12 (9,8%)
55-64	125	9 (7,2%)	58 (46,4%)	72 (57,6%)	11 (8,8%)	21 (16,8%)
65-74	122	12 (9,8%)	62 (50,8%)	92 (75,4%)	15 (12,3%)	23 (18,9%)
≥75	124	17 (13,7%)	80 (64,5%)	101 (81,5%)	33 (26,6%)	48 (38,7%)
<b>Gesamt</b>	<b>818</b>	<b>69 (8,4%)</b>	<b>391 (47,8%)</b>	<b>419 (51,2%)</b>	<b>76 (9,3%)</b>	<b>116 (14,2%)</b>

**Tabelle 4. Häufigkeit struktureller Läsionen pro Altersgruppe.** Absolute und relative Häufigkeiten.

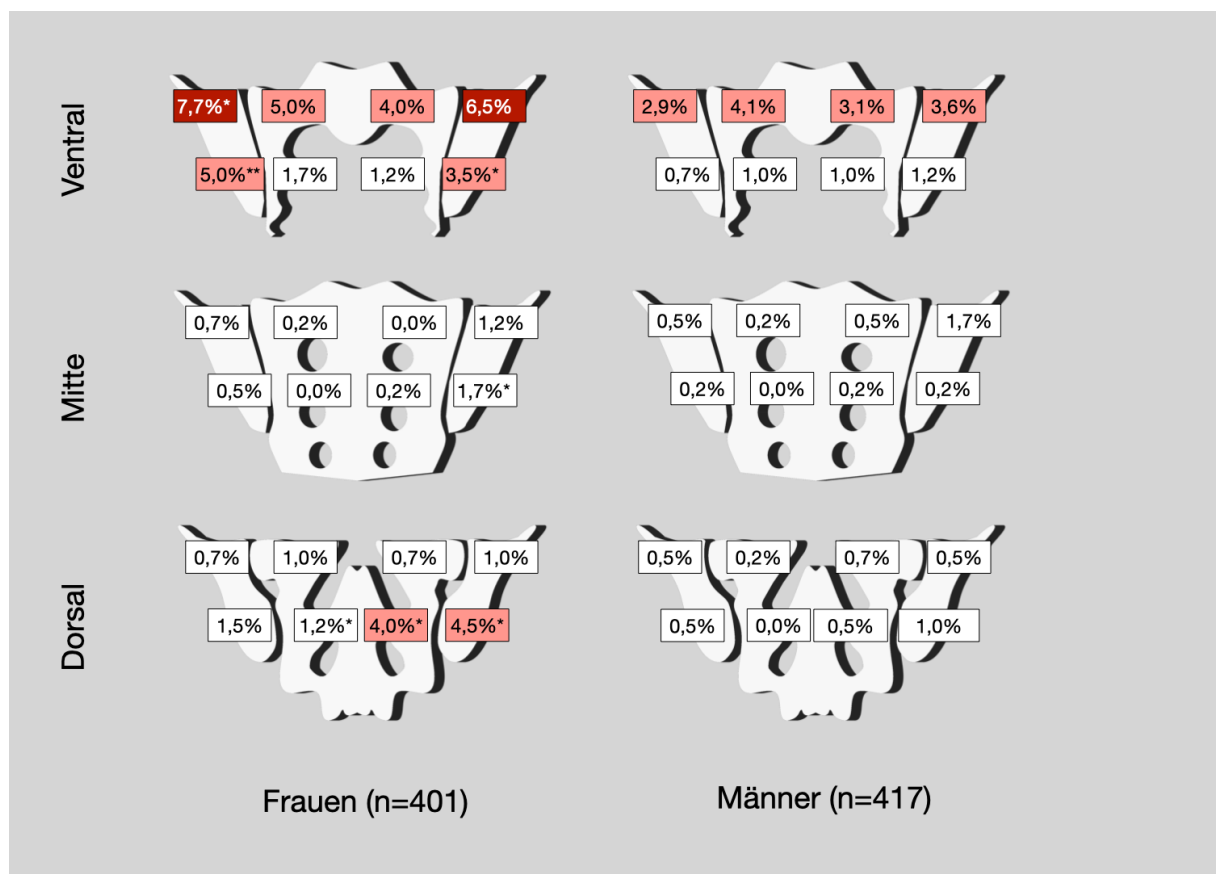
### 3.3.1. Erosionen

Erosionen waren insgesamt selten in unserer Studienpopulation zu beobachten: lediglich 69 Patient\*innen (8,4%) wurden als positiv für Erosionen bewertet. Die Häufigkeitsverteilung von Erosionen unterschied sich nicht signifikant ( $p=0,293$ ) zwischen den Geschlechtern. Bei der Analyse der topografischen Verteilungen der Erosionen zeigte sich keine Prädilektion für eine bestimmte Region: die am häufigsten betroffene Region war Region 4 (ventrales kraniales O ilium), hier zeigten 12 Patient\*innen (1,5%) Erosionen. Die am seltensten betroffenen Regionen waren 13 und 14 (mittleres Os sakrum, kranial und kaudal), in denen jeweils nur ein Patient (0,1%) Erosionen zeigten. Neben den hier betrachteten Häufigkeiten bzw. der Lokalisation der Erosionen wurde zudem das Ausmaß (ausgedrückt als Summenscore, Maximum 72) in unterschiedlichen Altersgruppen untersucht. Aufgrund der niedrigen Prävalenz war der mediane Summerscore für Erosionen in allen Altersgruppen 0,0. Der Mittelwert des Summenscores war am niedrigsten in der Gruppe der 25- bis 34-jährigen mit 0,21 und am höchsten in der Gruppe der über 75-jährigen mit 1,18. Der statistische Test für einen (alters-)gruppenabhängigen Trend, der Jonckheere-Terpstra-Test ergab ein  $p=0,449$ ; ein Alterstrend lag somit nicht vor.

### 3.3.2. Sklerose

Im Gegensatz zu den Erosionen war Sklerose ein häufig beobachtetes Phänomen. Insgesamt 391 Patient\*innen (47,8 %) wurden als positiv für Sklerose bewertet. Der am häufigsten vergebene Score für Sklerose war 1 (=“fragliche/ geringgradige Sklerose“) mit 1,1% (Region 2) bis 38,5% (Region 4). Frauen waren signifikant ( $p < 0,001$ ) häufiger von Sklerose betroffen als Männer (55,1% Frauen vs. 40,8% Männer). Die topographische Verteilung dieser Läsionen ist in der folgenden Abbildung dargestellt (Abbildung 15). Wie man erkennen kann, war in beiden

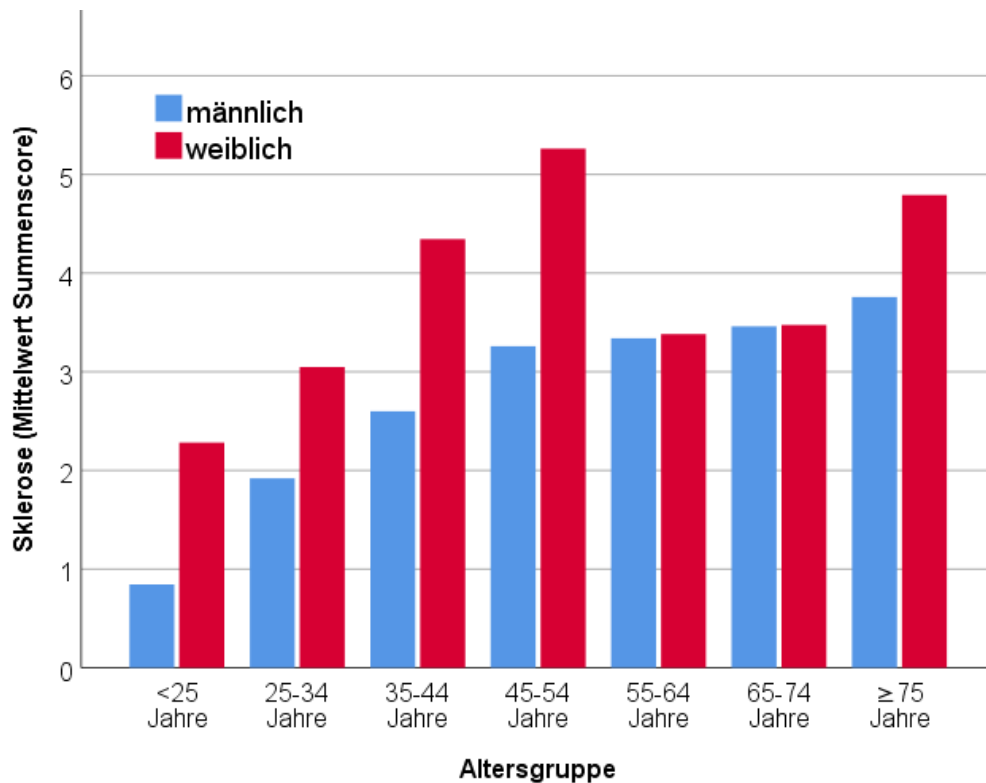
Gruppen der ventrale, kraniale Gelenkanteile, sowohl des Iliums als auch des Sakrums am häufigsten von Sklerose betroffen. Zusätzlich hierzu zeigte sich bei Frauen Sklerose auch im kaudalen Os ilium und dies jeweils signifikant häufiger als bei den Männern. Darüber hinaus zeigte sich bei Frauen eine Sklerose vor allem kaudal in den dorsalen Gelenkanteilen, was bei Männern in dieser Form nicht zu beobachten war.



**Abbildung 15. Sklerose: relative Häufigkeit im Geschlechtervergleich.** Relative Häufigkeit eines positiven Scorings für Sklerose pro Region, getrennt für Männer und Frauen. Relative Häufigkeit 2,5%-5,0% in hellrot und >5,00% in dunkelrot. Signifikant unterschiedliche Verteilung (gemäß exaktem Test nach Fisher) mit Asterisk gekennzeichnet: \*:  $p < 0,05$ ; \*\*:  $p < 0,001$ .

Auch das Ausmaß der Sklerose, ausgedrückt als Summenscore unterschied sich zwischen Männern und Frauen: über alle Altersgruppen hinweg betrug der mediane Summenscore für Sklerose bei Männern 2,0 (IQR 0,0 - 4,0) und bei Frauen 3,0 (IQR

1,0 - 6,0), der Unterschied war statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ). Insgesamt nahm das Ausmaß der Sklerose mit dem Alter zu, in der folgenden Abbildung (Abbildung 16) sind die mittleren Summenscores pro Altersgruppe als Balkendiagramm für Männer und Frauen getrennt dargestellt.

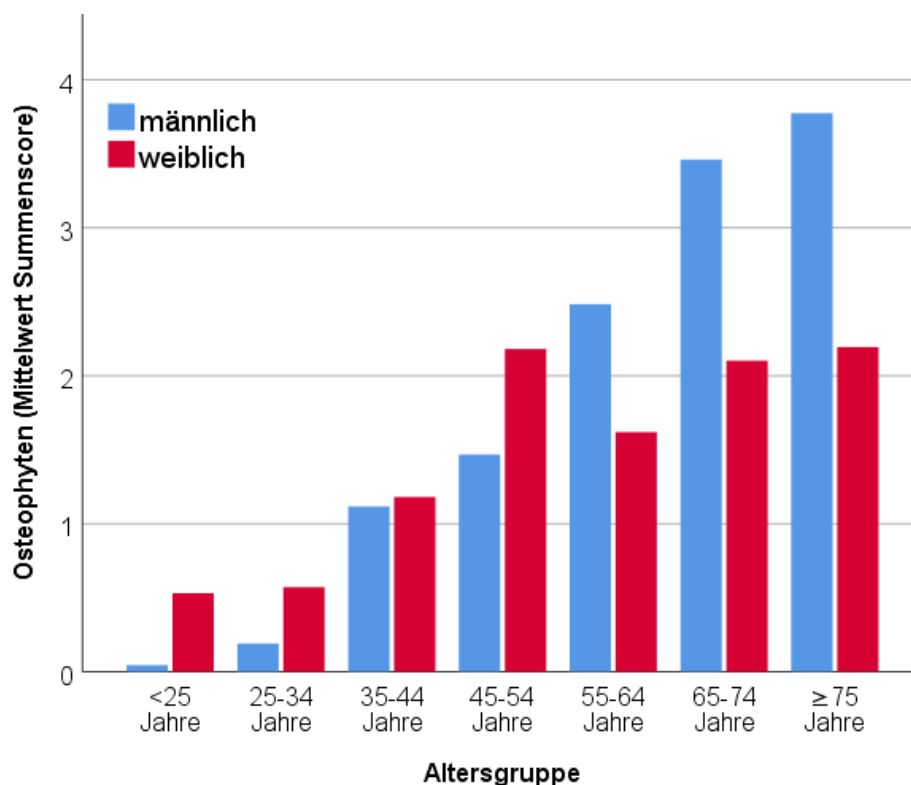


**Abbildung 16. Mittelwert Summenscore Sklerose pro Altersgruppe.** Balkendiagramm des Mittelwertes des Summenscores für Sklerose pro Altersgruppe, nach Geschlechtern getrennt. Adaptiert nach (40) mit Erlaubnis der Autor\*innen.

Hier zeigt sich bei weiblichen Studienteilnehmerinnen ein starker Anstieg der Sklerose in der ersten Lebenshälfte mit einem Maximum in der Altersgruppe der 45- bis 54-jährigen und danach ein gewisser Abfall des Ausmaßes der Sklerose. Im Gegensatz hierzu zeigt sich bei männlichen Studienteilnehmern ein nahezu linearer Anstieg des Ausmaßes der Sklerose. In beiden Gruppen konnte mittels des Jonckheere-Terpstra-Tests ein Alterstrend nachgewiesen werden ( $p \leq 0,010$ ).

### 3.3.3. Osteophyten

Ebenso wie Sklerose waren auch Osteophyten in unserer Studienpopulation ein häufig beobachtetes Merkmal: 51,2% der Patient\*innen (n=419) wurden als positiv für Osteophyten bewertet. Auch hier zeigten sich weibliche Patientinnen häufiger betroffen als männliche Patienten: 56,4% (n=226) betroffene Frauen standen 46,3% (n=193) betroffenen Männern gegenüber, die Verteilung unterschied sich statistisch signifikant ( $p=0,004$ ). Das Gesamtausmaß der osteophytären Veränderungen, ausgedrückt als Summenscore, unterschied sich nicht signifikant ( $p=0,541$ ) zwischen den Geschlechtern. Der mediane Summenscore der Gesamtpopulation lag bei 1,0 (IQR 0,0-2,3). Bezüglich der Lokalisation der Osteophyten zeigten sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen Männern und Frauen. Dorsale Osteophyten wurden bei 46,4% (n=186) der Frauen und lediglich bei 17,4% (n=73) der Männer gefunden. Im Kontrast hierzu zeigten sich bei 24,7% (n=103) der Männer und nur 14,5% (n=58) der Frauen ventrale Osteophyten. In beiden Fällen unterschied sich die Verteilung zwischen den Geschlechtern statistisch signifikant ( $p < 0,001$ ). Wie bereits in Tabelle 4 aufgezeigt, wurden Osteophyten in höheren Altersgruppen häufiger beobachtet als in niedrigen; auch der Summenscore für Osteophyten zeigte einen Alterstrend, wie der Jonckheere-Terpstra-Test bestätigte ( $p < 0,001$ ) – siehe auch Abbildung 17.



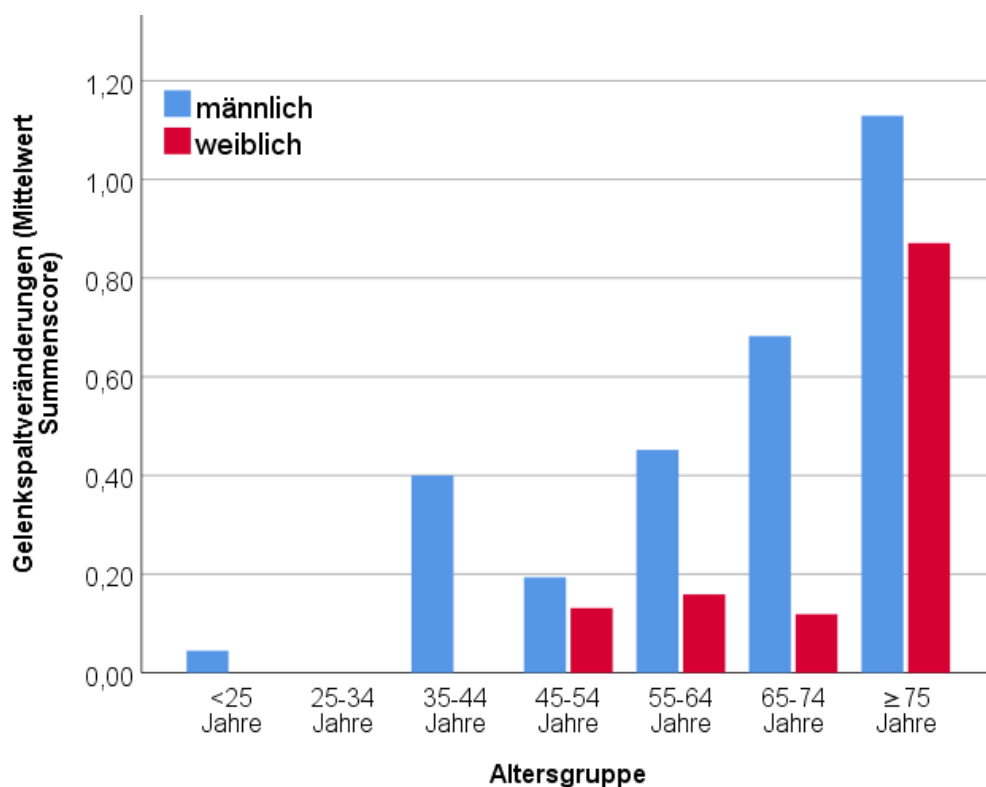
**Abbildung 17. Mittelwert Summenscore Osteophyten pro Altersgruppe.** Balkendiagramm des Mittelwertes des Summenscores für Osteophyten pro Altersgruppe, nach Geschlechtern getrennt. Adaptiert nach (40) mit Erlaubnis der Autor\*innen.

### 3.3.4. Gelenkspaltveränderungen

Gelenkspaltveränderungen waren insgesamt deutlich seltener als Sklerose und wurden bei insgesamt 76 Patient\*innen (9,3%) beobachtet. Die häufigsten vergebenen Scores waren 1 (=“fragliche Erweiterung oder Verschmälerung“) und 3 (=“partielle Ankylose/einzelne Knochenbrücken“) mit jeweils 4,2% bzw. 3,3% (der Gesamtbevölkerung) – ein Score von 4 (=“vollständige Ankylose“) wurde nur bei einem Patienten vergeben (unilateral). Anders als bei Osteophyten und Sklerose zeigte sich bei Gelenkspaltveränderungen eine signifikant höhere Prävalenz bei Männern als bei Frauen: von allen männlichen Studienteilnehmern zeigten 49 (11,8%) und von allen weiblichen Studienteilnehmerinnen lediglich 27 (6,7%) eine Veränderung des Gelenkspalts – die Verteilung unterschied sich statistisch



signifikant ( $p=0,016$ ). Auch das als Summenscore ausgedrückte Ausmaß der Gelenkspaltveränderungen unterschied sich zwischen den beiden Geschlechtsgruppen: der Mittelwert des Summenscores betrug 0,43 bei Männern und 0,20 bei Frauen, wobei jedoch aufgrund der niedrigen Prävalenz dieser Veränderung der Median und die 75. Perzentile in beiden Gruppen bei 0,0 lag, der Mann-Whitney-U-Test jedoch einen signifikanten Unterschied im Median der beiden Geschlechter anzeigte ( $p=0,019$ ). Ebenso wie Sklerose, waren auch Gelenkspaltveränderungen ein Phänomen, das häufiger in höheren Altersgruppen beobachtet wurde (Tabelle 4). Dieser Trend konnte mit Hilfe des Jonckheere-Terpstra-Tests bestätigt werden ( $p<0,001$ ), eine graphische Darstellung mittels Balkendiagramm ist als Abbildung 18 gegeben.



**Abbildung 18. Mittelwert Summenscore Gelenkspaltveränderungen pro Altersgruppe.**

Balkendiagramm des Mittelwertes des Summenscores für Gelenkspaltveränderungen pro Altersgruppe, nach Geschlechtern getrennt.

### 3.3.5. *Intraartikuläre Verkalkungen*

Intraartikuläre Verkalkungen wurden bei insgesamt 14,2% (n=116) der untersuchten Patient\*innen beobachtet. Bei betroffenen Patient\*innen war der am häufigsten vergebene Score die 1 (=“einzelne punktuelle Verkalkungen“) mit 10,5%. Anders als bei den übrigen strukturellen Läsionen zeigte sich hierbei kein Unterschied in der Verteilung zwischen den Geschlechtern: 59 Männer (14,1%) und 57 Frauen (14,2%) zeigten intraartikuläre Verkalkungen ( $p>0,999$ ). Der Mittelwert des Summenscores betrug bei Männern 0,31 und bei Frauen 0,30. Ebenso wie bei den Gelenkspaltveränderungen waren der Median und die 75. Perzentile 0, der Median zeigte im Mann-Whitney-U Test keinen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern ( $p=0,942$ ). Die altersabhängige Zunahme von intraartikulären Verkalkungen (Tabelle 4) konnte mit Hilfe des Jonckheere-Terpstra-Tests als Alterstrend bestätigt werden ( $p<0,001$ ).

## **3.4. Zusammenhang klinischer Faktoren und struktureller Läsionen**

Zur näheren Untersuchung der illustrierten Zusammenhänge wurde für jede strukturelle Läsion eine binäre logistische Regression mit den folgenden Kovariaten durchgeführt: Geschlecht, Parität, Altersgruppe, Gewichtskategorie, entzündliche Darmerkrankung, kutane Psoriasis, sowie die einzelnen Gelenkformen (typisches Gelenkform, akzessorisches Gelenk, iliosakraler Komplex, bipartites Os ilium, sichelförmiges Os ilium, halbkreisförmige Defekte, sakraler Ossifikationskern sowie übrige Gelenkformen).

### 3.4.1. Erosionen

Die Genauigkeit des binär-logistischen Regressionsmodells für Erosionen mit den obig genannten Variablen war gering mit einem Nagelkerkes's  $R^2$  von lediglich 0,053 – somit konnten nur ca. 5% der Variation im Auftreten von Erosionen durch Veränderungen in den obig genannten Faktoren (klinisch und anatomisch) erklärt werden. Die einzige signifikante ( $p=0,027$ ) Kovariate war das sichelförmige Os ilium, was mit einem fast fünffachen Risiko positiv für Erosionen bewertet zu werden, assoziiert war (OR 4,745; 95%KI 1,193-18,876;  $p=0,0027$ ). Eine vollständige Aufstellung aller Odds Ratios ist in Tabelle 5 gegeben.

Kovariaten	Odds Ratio	95% Konfidenzintervall		p
		untere Grenze	obere Grenze	
Geschlecht [weiblich]	0,844	0,428	1,665	0,625
Parität	1,205	0,968	1,500	0,095
Altersgruppe	1,126	0,974	1,302	0,109
Gewichtskategorie	1,308	0,831	2,058	0,246
Entzündliche Darmerkrankung	0,937	0,385	2,279	0,886
Kutane Psoriasis	0,000	.	.	0,999
Typisches Gelenk	0,853	0,375	1,939	0,704
Akzessorisches Gelenk	0,835	0,278	2,507	0,748
Iliosakraler Komplex	0,415	0,045	3,836	0,438
Bipartites Os ilium	1,151	0,436	3,038	0,777
Sichelförmiges Os ilium	4,745*	1,193	18,876	0,027
Halbkreisförmige Defekte	0,000	.	.	0,999
Sakraler Ossifikationskern	0,000	.	.	0,999
Übrige Gelenkformen	1,515	0,288	7,956	0,624

**Tabelle 5. Regression: Erosionen.** Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (\*) gekennzeichnet.

### 3.4.2. Sklerose

Das Vorhandensein von Sklerose wurde jeweils für den ventralen, mittleren und dorsalen Anteil des Gelenks einzeln betrachtet – hierbei ergab sich ein heterogenes Bild bezüglich der Schätzungsgenauigkeit der logistischen Regressionsmodelle. Für Sklerose in den ventralen Quadranten (Region 1 bis 8) zeigte sich eine geringe Modellgenauigkeit, angezeigt durch ein  $R^2$  von 0,057. Signifikante Kovariaten waren Alter (OR 1,093; 95%KI 1,009-1,184;  $p=0,029$ ) und Ernährungszustand (OR 1,475; 95%KI 1,148-1,894;  $p=0,002$ ). Eine Übersicht aller Kovariaten für Sklerose in den ventralen Quadranten ist in der folgenden Tabelle gegeben (Tabelle 6).

Kovariaten	Odds Ratio	95% Konfidenzintervall		p
		untere Grenze	obere Grenze	
Geschlecht [weiblich]	1,070	0,741	1,545	0,719
Parität	1,105	0,959	1,274	0,169
Altersgruppe	1,093*	1,009	1,184	0,029
Gewichtskategorie	1,475*	1,148	1,894	0,002
Entzündliche Darmerkrankung	0,688	0,420	1,128	0,138
Kutane Psoriasis	1,235	0,262	5,822	0,789
Typisches Gelenk	1,219	0,758	1,959	0,414
Akzessorisches Gelenk	1,208	0,637	2,292	0,563
Iliosakraler Komplex	0,469	0,156	1,410	0,178
Bipartites Os ilium	1,091	0,604	1,973	0,773
Sichelförmiges Os ilium	1,749	0,566	5,398	0,331
Halbkreisförmige Defekte	0,896	0,054	14,997	0,939
Sakraler Ossifikationskern	6,233	0,610	63,665	0,123
Übrige Gelenkformen	0,745	0,241	2,309	0,610

**Tabelle 6. Regression: Sklerose (ventral).** Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (\*) gekennzeichnet.

Auch für Sklerose in den mittleren Quadranten (Region 9 bis 16) zeigte das Regressionsmodell nur eine geringe Genauigkeit von  $R^2=0,055$  und nur die Altersgruppe konnte als signifikanter Faktor identifiziert werden (OR 1,149; 95%KI 1,055–1,251;  $p=0,001$ ) – alle übrigen Faktoren sind tabellarisch beigefügt (Tabelle 7).

Kovariaten	Odds Ratio	95% Konfidenzintervall		p
		untere Grenze	obere Grenze	
Geschlecht [weiblich]	1,003	0,678	1,483	0,988
Parität	0,992	0,858	1,147	0,918
Altersgruppe	1,149*	1,055	1,251	0,001
Gewichtskategorie	1,238	0,951	1,613	0,113
Entzündliche Darmerkrankung	0,924	0,566	1,509	0,752
Kutane Psoriasis	4,533	0,852	24,122	0,076
Typisches Gelenk	0,745	0,457	1,214	0,237
Akzessorisches Gelenk	0,514	0,258	1,023	0,058
Iliosakraler Komplex	1,103	0,390	3,122	0,853
Bipartites Os ilium	1,255	0,689	2,287	0,457
Sichelförmiges Os ilium	1,686	0,551	5,162	0,360
Halbkreisförmige Defekte	0,000	0,000	.	0,999
Sakraler Ossifikationskern	0,859	0,084	8,809	0,898
Übrige Gelenkformen	0,542	0,158	1,855	0,329

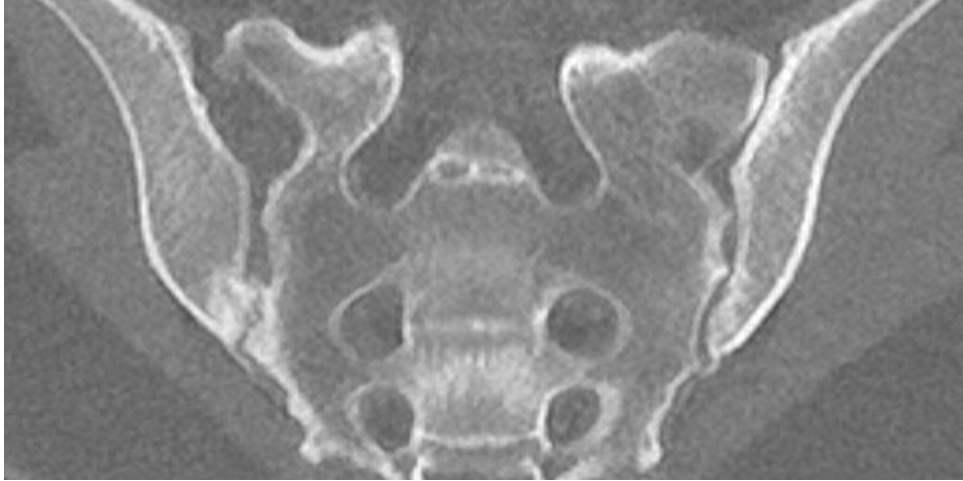
**Tabelle 7. Regression: Sklerose (mittig).** Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (\*) gekennzeichnet.

Für Sklerose in den dorsalen Quadranten (Region 17 bis 24) zeigte das Modell eine bessere Genauigkeit mit einem  $R^2$  von 0,259. Als signifikante positive (also die Wahrscheinlichkeit, Sklerose bei Vorliegen der Eigenschaft zu beobachten) Faktoren konnten Ernährungszustand (OR 1,484; 95%KI 1,077–2,045;  $p=0,016$ ) und ein akzessorisches Gelenk (OR 2,735; 95%KI 1,376–5,436;  $p=0,004$ ) identifiziert werden – bei Vorliegen dieser Faktoren war dementsprechend die Wahrscheinlichkeit Sklerose zu beobachten erhöht. Dem gegenüber standen als negative Faktoren eine typische Gelenkform (OR 0,174; 95%KI 0,104–0,293;  $p<0,001$ ) und ein iliosakraler Komplex (OR 0,183; 95%KI 0,049–0,687;  $p=0,012$ ). Tabelle 8 enthält eine vollständige Aufstellung aller Kovariaten für dorsale Sklerose.

Kovariaten	Odds Ratio	95% Konfidenzintervall		p
		untere Grenze	obere Grenze	
Geschlecht [weiblich]	1,160	0,722	1,863	0,541
Parität	0,996	0,847	1,171	0,962
Altersgruppe	1,089	0,984	1,206	0,101
Gewichtskategorie	1,484*	1,077	2,045	0,016
Entzündliche Darmerkrankung	1,277	0,740	2,204	0,379
Kutane Psoriasis	1,392	0,217	8,930	0,727
Typisches Gelenk	0,174*	0,104	0,293	<0,001
Akzessorisches Gelenk	2,735*	1,376	5,436	0,004
Iliosakraler Komplex	0,183*	0,049	0,687	0,012
Bipartites Os ilium	0,592	0,323	1,084	0,090
Sichelförmiges Os ilium	0,294	0,076	1,134	0,075
Halbkreisförmige Defekte	0,000	0,000	.	0,999
Sakraler Ossifikationskern	0,000	0,000	.	0,999
Übrige Gelenkformen	0,361	0,106	1,231	0,104

**Tabelle 8. Regression: Sklerose (dorsal).** Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (\*) gekennzeichnet.

Abbildung 19 zeigt ein Beispiel aus dem hier untersuchten Patientenkollektiv: bei der betroffenen Patientin zeigen sich deutliche sklerotische Veränderungen in Assoziation zum rechtsseitigen akzessorischen Gelenk.



**Abbildung 19. Sklerose bei Akzessorischem Gelenk.** Parakoronare Rekonstruktion als 1,7 mm Mean Intensitiy Projektion. Deutliche Sklerose in den Regionen 18 und 19 in Assoziation zum hier vorliegenden akzessorischen Gelenk.

### 3.4.3. Osteophyten

Ventrale und dorsale Osteophyten wurden im Rahmen der hier vorgelegten Analyse getrennt betrachtet. Hierbei zeigte sich wie bereits bei der Sklerose eine unterschiedliche Güte der Regressionsmodelle für ventrale und dorsale Veränderungen. Für ventrale Osteophyten konnte durch das hier beschriebene Modell ca. 40% der Variation erklärt werden ( $R^2=0,402$ ); Tabelle 9 listet alle errechneten Odds Ratios. Das weibliche Geschlecht (OR 0,164; 95%KI 0,095-0,282;  $p<0,001$ ) als auch ein typisches Gelenk (OR 0,494; 95%KI 0,260-0,936;  $p=0,031$ ) sind signifikant negativ mit der Ausbildung von ventralen Osteophyten assoziiert, während die Zugehörigkeit zu einer höheren Altersgruppe (OR 1,969; 95%KI 1,745-2,222;  $p<0,001$ ) und ein iliosakraler Komplex (OR 3,604; 95%KI 1,042-12,464;  $p=0,043$ ) das Auftreten wahrscheinlicher machten.



Kovariaten	Odds Ratio	95% Konfidenzintervall		p
		untere Grenze	obere Grenze	
Geschlecht [weiblich]	0,164*	0,095	0,282	<0,001
Parität	0,934	0,767	1,137	0,495
Altersgruppe	1,969*	1,745	2,222	<0,001
Gewichtskategorie	1,185	0,856	1,642	0,306
Entzündliche Darmerkrankung	0,930	0,506	1,707	0,814
Kutane Psoriasis	4,303	0,383	48,345	0,237
Typisches Gelenk	0,494*	0,260	0,936	0,031
Akzessorisches Gelenk	0,717	0,316	1,626	0,426
Iliosakraler Komplex	3,604*	1,042	12,464	0,043
Bipartites Os ilium	0,611	0,263	1,421	0,253
Sichelförmiges Os ilium	3,748	0,942	14,911	0,061
Halbkreisförmige Defekte	1,730	0,089	33,728	0,718
Sakraler Ossifikationskern	2,420	0,129	45,559	0,555
Übrige Gelenkformen	0,586	0,134	2,553	0,476

**Tabelle 9. Regression: Osteophyten (ventral).** Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (\*) gekennzeichnet.

Das Regressionsmodell für dorsale Osteophyten zeigte mit einem  $R^2$  von 0,284 eine etwas niedrigere Genauigkeit als das für ventrale Osteophyten. Ebenso wie bei den ventralen Osteophyten zeigte sich eine negative Assoziation zwischen einer typischen Gelenkform und der Ausbildung von dorsalen Osteophyten (OR 0,585; 95%KI 0,352-0,972;  $p=0,038$ ). Im Gegensatz zu den ventralen Osteophyten waren dorsale Osteophyten jedoch positiv mit dem weiblichen Geschlecht assoziiert (OR 3,706; 95%KI 2,429-5,654); selbiges galt für die Zugehörigkeit zu einer höheren Altersgruppe (OR 1,405; 95%KI 1,277-1,546;  $p<0,001$ ) und höheren Gewichtskategorie (OR 1,509; 95%KI 1,135-2,006;  $p=0,005$ ). Alle übrigen, nicht signifikanten Kovariaten aus der Regressionsanalyse sind in Tabelle 10 zusammengestellt.

Kovariaten	Odds Ratio	95% Konfidenzintervall		p
		untere Grenze	obere Grenze	
Geschlecht [weiblich]	3,706*	2,429	5,654	<0,001
Parität	1,031	0,888	1,197	0,690
Altersgruppe	1,405*	1,277	1,546	<0,001
Gewichtskategorie	1,509*	1,135	2,006	0,005
Entzündliche Darmerkrankung	1,067	0,640	1,777	0,804
Kutane Psoriasis	2,192	0,469	10,241	0,319
Typisches Gelenk	0,585*	0,352	0,972	0,038
Akzessorisches Gelenk	0,910	0,460	1,800	0,787
Iliosakraler Komplex	0,727	0,241	2,193	0,571
Bipartites Os ilium	0,869	0,465	1,624	0,659
Sichelförmiges Os ilium	0,763	0,225	2,584	0,664
Halbkreisförmige Defekte	0,911	0,042	19,556	0,953
Sakraler Ossifikationskern	0,000	0,000	.	0,999
Übrige Gelenkformen	1,791	0,523	6,131	0,353

**Tabelle 10. Regression: Osteophyten (dorsal).** Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (\*) gekennzeichnet.

#### 3.4.4. Gelenkspaltveränderungen

Durch das obig erklärte logistische Regressionsmodell konnten ca. 20% der Variation im Auftreten von Gelenkspaltveränderungen erklärt werden ( $R^2=0,192$ ). Hierbei konnte als einzige signifikante Kovariate die Zugehörigkeit zu einer höheren Altersgruppe identifiziert werden (OR 1,768; 95%KI 1,491-2,096;  $p<0,001$ ). Diese war mit einer höheren Wahrscheinlichkeit von Gelenkspaltveränderungen assoziiert.

Kovariaten	Odds Ratio	95% Konfidenzintervall		p
		untere Grenze	obere Grenze	
Geschlecht [weiblich]	0,550	0,265	1,141	0,108
Parität	0,926	0,683	1,256	0,623
Altersgruppe	1,768*	1,491	2,096	<0,001
Gewichtskategorie	0,744	0,476	1,162	0,193
Entzündliche Darmerkrankung	0,000	0,000	.	0,997
Kutane Psoriasis	2,109	0,339	13,110	0,424
Typisches Gelenk	1,096	0,451	2,663	0,840
Akzessorisches Gelenk	1,487	0,513	4,313	0,465
Iliosakraler Komplex	1,827	0,309	10,818	0,507
Bipartites Os ilium	0,725	0,193	2,727	0,634
Sichelförmiges Os ilium	1,390	0,138	13,982	0,780
Halbkreisförmige Defekte	0,000	0,000	.	0,999
Sakraler Ossifikationskern	0,000	0,000	.	0,999
Übrige Gelenkformen	1,756	0,301	10,235	0,531

**Tabelle 11. Regression: Gelenkspaltveränderungen.** Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (\*) gekennzeichnet.

### 3.4.5. Intraartikuläre Verkalkungen

Das  $R^2$  nach Nagelkerke für das Regressionsmodell zu intraartikulären Verkalkungen betrug 0,201. In der folgenden Tabelle 12 sind die einzelnen Kovariaten des Modells aufgetragen). Die Zugehörigkeit zu einer höheren Altersgruppe (OR 1,747; 95%KI 1,517-2,013;  $p < 0,001$ ) als auch sakrale Ossifikationskerne (OR 17,459; 95%KI 1,306-233,319;  $p = 0,031$ ) waren positiv mit dem Vorhandensein von intraartikulären Verkalkungen vergesellschaftet.

Kovariaten	Odds Ratio	95% Konfidenzintervall		p
		untere Grenze	obere Grenze	
Geschlecht [weiblich]	0,847	0,473	1,516	0,576
Parität	1,102	0,895	1,358	0,359
Altersgruppe	1,747*	1,517	2,013	<0,001
Gewichtskategorie	0,989	0,679	1,442	0,956
Entzündliche Darmerkrankung	1,124	0,529	2,386	0,761
Kutane Psoriasis	0,520	0,056	4,835	0,566
Typisches Gelenk	1,613	0,733	3,553	0,235
Akzessorisches Gelenk	2,754*	1,111	6,831	0,029
Iliosakraler Komplex	1,061	0,190	5,929	0,946
Bipartites Os ilium	1,381	0,516	3,696	0,520
Sichelförmiges Os ilium	2,206	0,375	12,976	0,381
Halbkreisförmige Defekte	11,842	0,649	216,080	0,095
Sakraler Ossifikationskern	17,459*	1,306	233,319	0,031
Übrige Gelenkformen	1,336	0,240	7,437	0,741

**Tabelle 12. Regression: Verkalkungen.** Auflistung aller untersuchten Kovariaten mit dazugehörigen Odds Ratios sowie des 95%-Konfidenzintervalls und der dazugehörigen Signifikanz. Signifikante Kovariaten sind mit Asterisk (\*) gekennzeichnet.

### 3.5. Interreader- und Intrareader-Reliabilität

In den folgenden Tabellen sind die Intraklassen-Korrelationskoeffizienten für jede der evaluierten Läsionen aufgetragen – Tabelle 13 zeigt hierbei die Daten für die Intrareader-Reliabilität, also die Übereinstimmung zwischen den beiden Scorings von Reader 1. Wie hier zu entnehmen ist, betrug die mittlere Übereinstimmung, ausgedrückt als Intraklassenkorrelationskoeffizient (ICC), 0,834 (Range 0,766-0,876;  $p < 0,001$ ) was als gute Reliabilität (43) interpretiert werden kann.

Läsion	ICC	95% Konfidenzintervall		p
		Untere Grenze	Obere Grenze	
Erosionen	0,766	0,588	0,867	<0,001
Sklerose	0,876	0,782	0,930	<0,001
Gelenkspalveränderungen	0,819	0,681	0,897	<0,001
Osteophyten	0,872	0,774	0,927	<0,001
Verkalkungen	0,857	0,757	0,919	<0,001
Gelenkform	0,812	0,670	0,894	<0,001

**Tabelle 13. Intra-Reader Reliabilität.** ICC=Intraklassen-Korrelationskoeffizient.

Übereinstimmungsmaße zwischen den beiden Scorings von Reader 1 berechnet mittels ICC(2,3).

In der Analyse der Interreader Reliabilität zeigte sich eine mittlere Übereinstimmung von 0,778 (Range 0,574-0,904;  $p < 0,001$ ), welche ebenfalls als gute Reliabilität (43) zu bewerten ist.

Läsion	ICC	95% Konfidenzintervall		p
		Untere Grenze	Obere Grenze	
Erosionen	0,574	0,249	0,758	0,002
Sklerose	0,781	0,644	0,869	<0,001
Gelenkspalveränderungen	0,735	0,532	0,849	<0,001
Osteophyten	0,833	0,706	0,905	<0,001
Verkalkungen	0,846	0,744	0,910	<0,001
Gelenkform	0,904	0,831	0,946	<0,001

**Tabelle 14. Inter-Reader Reliabilität.** ICC=Intraklassen-Korrelationskoeffizient.

Übereinstimmungsmaße zwischen den Scorings von Reader 1 und Reader 2, berechnet mittels ICC(2,3).

### 3.6. Zusammenfassung der Ergebnisse

Insgesamt zeichnen die hier präsentierten Ergebnisse ein komplexes Bild der Verteilung von degenerativen und entzündlichen Läsionen des Sakroilialgelenks in der Allgemeinbevölkerung (40). Die Ergebnisse der Regressionsanalysen sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Kovariaten	Erosionen	Sklerose			Osteophyten		Gelenkpalt Veränderungen	Verkalkungen
		V	M	D	V	D		
Geschlecht [weiblich]								
Parität								
Altersgruppe								
Gewichtskategorie								
Entzündliche Darmerkrankung								
Kutane Psoriasis								
Typisches Gelenk								
Akzessorisches Gelenk								
Iliosakraler Komplex								
Bipartites Os ilium								
Sichelförmiges Os ilium								
Halbkreisförmige Defekte								
Sakraler Ossifikationskern								
Übrige Gelenkformen								

**Tabelle 15. Zusammenfassung: Regressionsanalyse.** V=ventral; M=mittig; D=dorsal. Grüne Felder = Wahrscheinlichkeit der Läsion nimmt mit zunehmender Ausprägung der Kovariate zu (OR>1); hellgrün = OR 1,0-2,0; dunkelgrün = OR>2,0. Rote Felder = Wahrscheinlichkeit der Läsion nimmt mit zunehmender Ausprägung der Kovariate ab (OR<1); hellrot = OR 0,5-0,99; dunkelrot = OR<0,5. Weiße Felder = Kovariate nicht statistisch signifikant (p>0,05).

Es konnte ein Alterstrend für Sklerose, Osteophyten, Gelenkspaltveränderungen und intraartikuläre Verkalkungen mittels des Jonckheere-Terpstra-Tests nachgewiesen werden. Dies bestätigte sich zudem durch die logistischen Regressionsanalyse, die ORs von 1,4 bis 2,0 für die Altersgruppe ergab. Dies bedeutet, dass mit jedem Lebensjahrzehnt die Chance als positiv für eine dieser Läsionen bewertet zu werden um 40% bis 100% stieg. Zudem zeigte sich, dass die Lokalisation von Osteophyten stark vom Geschlecht abhängig ist. Bei Frauen treten dorsale und bei Männern ventrale Osteophyten auf. Ebenso zeigte sich ein protektiver Effekt einer typischen Gelenkform bzgl. dorsaler Sklerose und Osteophyten insgesamt und ein erhöhtes Risiko für dorsale Sklerose bei einem akzessorischen Gelenk (40).

## 4. Diskussion

Im Rahmen der hier vorgelegten Arbeit wurden an einem großen Patientenkollektiv aus der Normalbevölkerung degenerative und entzündliche Veränderungen der Sakroiliakalgelenke beschrieben und erstmals in Verbindung mit Varianten der anatomischen Gelenkform gebracht (40). Hierbei zeigte sich ein signifikanter Einfluss von Geschlecht und anatomischer Form auf die Ausprägung und räumliche Verteilung von entzündlichen Läsionen.

### 4.1. Anatomische Varianten und lumbosakrale Übergangsanomalien

Die in unserem Kollektiv beobachtete Häufigkeit von anatomischen Varianten des Sakroiliakalgelenks unterscheidet sich gering von vorpublizierten Werten von Prassopoulos et al. (14), die die Häufigkeit von Gelenkvarianten an insgesamt 534 Patient\*innen (220 Männer, 314 Frauen) untersucht haben. Diese Arbeitsgruppe fand eine vergleichbare Prävalenz von Anlagevarianten insgesamt von 35,8% (191/534) vs. 37,7% (308/818) in unserer Population. Prassaopoulos et al. fanden mehr anatomische Varianten in der weiblichen (41,7%) als der männlichen (27,3%) Population, wobei jedoch der Unterschied wesentlich weniger ausgeprägt war, als in unserer Studienpopulation (14,1% bei Männern; 62,1% bei Frauen). Darüber hinaus unterschieden sich die Häufigkeiten der jeweiligen Gelenkformen signifikant zwischen beiden Studienpopulationen: so war bei Passopoulos et al. (14) das akzessorische Gelenk in beiden Geschlechtsgruppen die häufigste Variante, während in unserer Studienpopulation bei Frauen das bipartite Os ilium deutlich häufiger beobachtet wurde. Eine kürzlich durchgeführte Studie von Tok Umay et al. (44) fand wiederum abweichende Häufigkeiten der entsprechenden Gelenkformen. In dieser Population war die häufigste Gelenkvariante der iliosakrale Komplex



(7,8%). Ein möglicher Unterschied im Auftreten von Gelenkvarianten zwischen den Geschlechtern wurde nicht gezielt untersucht. Die Daten dieser Studien sowie unsere eigenen Ergebnisse deuten an, dass es erhebliche Unterschiede in der Häufigkeit von bestimmten Varianten in unterschiedlichen Populationen geben kann. Im Rahmen unserer Studie wurden dünn-schichtige Bilddatensätze mit freien Rekonstruktionsebenen verwendet, welche in Einzelfällen eine höhere Sensitivität bei der Detektion bestimmter Gelenkvarianten, wie z.B. des bipartiten Iliums geführt haben kann. In unserer Regressionsanalyse konnten wir zeigen, dass akzessorische Gelenke die Wahrscheinlichkeit von dorsaler Sklerose erhöhen, während ein typisches Gelenk eine protektive Wirkung bezüglich dorsaler Sklerose und der Ausbildung von Osteophyten im Allgemeinen zeigt. Diese Ergebnisse unterstreichen die Wichtigkeit der Gelenkform für die Ausbildung degenerativer Läsionen. Die Verteilung von biomechanischer Belastung bei unterschiedlichen Gelenkformen sollte in weiteren Studien vertiefend untersucht werden.

Bezüglich der Prävalenz von morphologischen lumbosakralen Übergangsanomalien, welche nach Castellvi (17) klassifiziert werden, wichen unsere Ergebnisse ebenfalls zum Teil erheblich von vorangegangenen Studien ab. Eine große retrospektive Studie aus Finnland erhob eine Prävalenz von lumbosakralen Übergangsanomalien von 29%, wobei die häufigste beobachtete Anomalie die Vergrößerung des Processus transversus von LWK5 war (=Castellvi Typ I) (45). Ähnlich hohe Prävalenzen wurden von Carvajal Alegria et al. gefunden (46), während eine Studie von French et al. mit einer Bevölkerungsprävalenz von 9,9% unseren Ergebnissen näherkam (47). Ein möglicher Erklärungsansatz für die deutlich niedrigeren Raten an Übergangsanomalien in unserer Studienpopulation kann der explizite Ausschluss von Patient\*innen mit lumbosakraler Beschwerdesymptomatik sein. Da bereits durch eine andere Studie eine Assoziation von Übergangsanomalien und degenerativen

Bandscheibenerkrankungen der Lumbalwirbelsäule nachgewiesen werden konnte (45), ist es plausibel anzunehmen, dass durch unser Studiendesign die Prävalenz systematisch unterschätzt wird. Darüber hinaus war in vielen Fällen nicht der gesamte LWK5 in der ausgewerteten Sekundärrekonstruktion mitabgebildet, so dass hierdurch insbesondere die Detektion von Castellvi Typ I Veränderungen erschwert war.

#### **4.2. Erosionen**

Erosionen waren mit 8,4% insgesamt selten in unserer Studienpopulation zu beobachten. Zu bemerken sei an dieser Stelle, dass die in der Methodik dargelegte Definition einer Erosion sehr niedrigschwellig gewählt war und auch kleinere Unebenheiten der Gelenkoberfläche als Erosion gewertet werden konnten und somit in obig genannte Prävalenz einfließen. Die im Rahmen dieser Studie erhobene Prävalenz ist somit auch leicht höher als vorrangegangene Schätzungen aus MRT-Studien ( $\leq 2,6\%$ ) (48, 49).

Insgesamt unterstreichen unsere Ergebnisse die hohe Spezifität, die Erosionen in der Diagnostik der Sakroiliitis zugeschrieben wird (50). Auf diesen Ergebnissen aufbauend sollten zukünftige Studien eine Definition eines Cut-Off-Wertes für Erosionen im Kontext der SpA etablieren.

#### **4.3. Sklerose**

Periartikuläre Sklerose wurde in fast der Hälfte (47,8%) unserer Patientenpopulation beobachtet und zeigte einen signifikanten Anstieg in Häufigkeit mit dem Alter. Diese Ergebnisse sind deckungsgleich mit ähnlichen Erhebungen aus der Vergangenheit (19, 20, 51). Ein interessanter neuer Befund unserer Studie ist der nur bei Frauen beobachtete Häufigkeitsgipfel in der Altersgruppe 35-54-Jährigen. Ein möglicher

Erklärungsansatz kann in adaptiven Prozessen nach den eingangs beschriebenen peri- und postpartalen Gelenkveränderungen zu finden sein: die ligamentäre Laxizitätszunahme bildet sich vermutlich nicht sofort zurück (30), sodass postpartal eine erhöhte Gelenkmobilität persistiert. Dieser Umstand, sowie der bei Frauen allgemein erhöhte Bewegungsumfang der SIG (13, 52) kann zu erhöhten, dynamischen Scherkräften innerhalb des Gelenks und konsekutiv zu einer adaptiven Verstärkung des Knochens führen. Diese knöcherne Stabilisierung würde sich bei allgemein im Alter eher abnehmender Mobilität zurückbilden und somit die beobachtete Häufigkeitsverteilung erklären. Ein Ziel dieser Studie war die Häufigkeit der Läsionen in unterschiedlichen Bereichen des Sakroiliakgelenks zu erfassen. Es konnten die Annahmen von vorangegangenen Studien bestätigt werden, in denen Sklerose am häufigsten in den ventralen-kraniellen Anteilen des Os ilium gefunden wurde, und somit in dem Bereich, auf den die höchste mechanische Belastung wirkt (53, 54). Dieser Befund, sowie die verhältnismäßig hohe Prävalenz von Sklerose bei Patient\*innen unter 50 ist insbesondere für die Einordnung von Sklerose im Kontext der Bildgebung der Sakroiliitis relevant (31), da in dieser Altersgruppe häufig die Primärdiagnostik bei entzündlichem Rückenschmerz durchgeführt wird.

#### **4.4. Osteophyten, Gelenkspaltveränderungen und Verkalkungen**

Im Rahmen unserer Analyse konnte erstmals der deutliche Unterschied in der Lokalisation von Osteophyten zwischen Männern und Frauen gezeigt werden. Dieser Aspekt der geschlechtsspezifischen Degeneration blieb in vorangegangenen Studien unvollständig untersucht (19, 20, 29, 48). Mögliche Erklärungen können die bei Männern und Frauen unterschiedliche sakrale Angulation (11), sowie die bekanntermaßen erhöhte (ligamentäre) Mobilität des weiblichen Beckens sein (13).

Gelenkspaltveränderungen wurden insgesamt bei lediglich 9,3% unserer Patient\*innen beobachtet, wobei zu bemerken ist, dass vollständige Ankylose eines Gelenks in unserem Studienkollektiv nicht detektiert wurde, was die in vorangegangenen Studien berichtete hohe Spezifität dieser Gelenkveränderungen im Kontext der SpA unterstreicht (27, 48).

Intraartikuläre Verkalkungen waren selten in jungen Patient\*innen und erreichten eine Häufigkeit von maximal 38,7% bei Patient\*innen >75 Jahren. Dieser Befund ist gut vereinbar mit der bekanntermaßen hohen Prävalenz von (asymptomatischer) radiologischen Chondrokalzinose in unterschiedlichen Gelenkregionen (55-57).

Diese Erkenntnisse sind relevant für die bessere Einordnung von vermuteten Kristallarthropathien des SIG, welche von manchen Autor\*innen als Differentialdiagnose der Sakroiliitis im Rahmen der axSpA eingeschätzt werden (58) und bisher unvollständig untersucht sind.

#### **4.5. Scoringssystem**

Das im Rahmen dieser Arbeit eingesetzte Scoringssystem orientierte sich eng an Vorarbeiten unserer Arbeitsgruppe (36, 41). Aufbauend auf diesen Ergebnissen konnten wir bestätigen, dass ein Score, der auf der Einteilung der SIGs in 24 Regionen fußt, ein robustes Messwerkzeug für die semiquantitative Erhebung von strukturellen Läsionen ist – wir erzielten gute Werte, sowohl für die Intra- als auch die Intrareader-Reliabilität (43). Auch für die Bestimmung der anatomischen Gelenkform, für die nach unserer Kenntnis bisher keine Interreader-Reliabilität publiziert wurde, konnten wir mit ICCs von 0,812 und 0,904 gute Übereinstimmungsmaße erzielen.

## 4.6. Limitationen

Trotz sorgfältiger Planung und Durchführung der hier vorgelegten Studie gibt es einige Limitationen, die der Diskussion bedürfen. Zunächst sei kritisch anzumerken, dass alle klinischen Informationen retrospektiv aus elektronischen Patientenakten, also vornehmlich Arztbriefen entnommen wurden. Hierdurch ergibt sich ein Risiko von unvollständig dokumentierten Krankheitszuständen. Es kann nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden, dass einzelne der eingeschlossenen Patient\*innen tatsächlich SIG-Beschwerden hatten, dies aber nicht dokumentiert wurde. Darüber hinaus konnten ebenfalls aufgrund der heterogenen Datenlage bestimmte Patientendaten wie etwa das Gewicht nur als Schätzung im Sinne eines ordinalen Messniveaus anstatt als genaue Kilogrammzahl erhoben werden. Potentiell bedeutsame Einflussfaktoren auf die Degeneration der SIGs wie körperliche Aktivität, wie physisch anspruchsvoller Beruf, Sportarten mit starker axialer Stauchung, Kampfsport oder Reiten, konnten gar nicht erfasst werden. Als wichtigste Limitation ergibt sich das insgesamt retrospektive Design als Querschnittsstudie. Konzeptionell wäre eine longitudinale Beobachtungsstudie besser geeignet den Verlauf von degenerativen Veränderungen in Abhängigkeit von patientenspezifischen Faktoren zu beschreiben, da einige dieser Faktoren, z.B. Körpergewicht und Level der physischen Aktivität erheblichen Schwankungen im Laufe des Lebens unterworfen sein können.

## 5. Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse unserer Studie belegen, dass anatomische Variation am Sakroiliakgelenk ein vornehmlich weibliches Phänomen ist und dass erhebliche Unterschiede in der Lokalisation von degenerativen Gelenkveränderungen zwischen Männern und Frauen bestehen. Wir konnten zudem zeigen, dass bestimmte Gelenkformen, insbesondere das akzessorische SIG, die Entwicklung von degenerativen Läsionen in der Allgemeinbevölkerung begünstigen. Die hohe Variation von relativen Häufigkeiten der einzelnen Gelenkvarianten in unterschiedlichen Studienpopulationen zeigt, dass die Gelenkformen ggf. in zukünftigen Studien klarer definiert werden müssen, bzw. besser quantifizierbare Parameter, wie Gelenkoberfläche oder -angulation, zur Unterscheidung von Gelenkformen etabliert werden sollten. Darüber hinaus sind weiterführende biomechanische Studien zur Untersuchung der Gelenkmechanik bei unterschiedlichen Gelenkformen erforderlich. Ein vielversprechender methodischer Ansatz ist hier die Finite-Elemente-Analyse, welche zuerst im Bereich der Physik und Ingenieurwissenschaften etabliert wurde. Darüber hinaus sollten weiterführende Studien den Einfluss von varianter Gelenkanatomie auf die Entwicklung und Progression von entzündlichen Veränderungen im Kontext der Sakroiliitis untersuchen, da auch bei dieser Erkrankungsfamilie ein Einfluss von mechanischen Faktoren vermutet wird (59).

## 6. Anhang

### 6.1. Literaturverzeichnis

1. Vleeming A, Schuenke MD, Masi AT, Carreiro JE, Danneels L, Willard FH. The sacroiliac joint: an overview of its anatomy, function and potential clinical implications. *J Anat.* 2012;221(6):537-67.
2. Weisl H. The movements of the sacroiliac joint. *Acta Anat (Basel).* 1955;23(1):80-91.
3. Albee F. A study of the anatomy and the clinical importance of the sacroiliac joint. *JAMA.* 1909;LIII(16):1273-6.
4. Cole JD, Blum DA, Ansel LJ. Outcome after fixation of unstable posterior pelvic ring injuries. *Clin Orthop Relat Res.* 1996(329):160-79.
5. Vleeming A, Stoeckart R, Volkers AC, Snijders CJ. Relation between form and function in the sacroiliac joint. Part I: Clinical anatomical aspects. *Spine (Phila Pa 1976).* 1990;15(2):130-2.
6. Vleeming A, Van Wingerden JP, Dijkstra PF, Stoeckart R, Snijders CJ, Stijnen T. Mobility in the sacroiliac joints in the elderly: a kinematic and radiological study. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 1992;7(3):170-6.
7. Bowen V, Cassidy JD. Macroscopic and microscopic anatomy of the sacroiliac joint from embryonic life until the eighth decade. *Spine (Phila Pa 1976).* 1981;6(6):620-8.

8. McLauchlan GJ, Gardner DL. Sacral and iliac articular cartilage thickness and cellularity: relationship to subchondral bone end-plate thickness and cancellous bone density. *Rheumatology (Oxford)*. 2002;41(4):375-80.
9. Kampen WU, Tillmann B. Age-related changes in the articular cartilage of human sacroiliac joint. *Anat Embryol (Berl)*. 1998;198(6):505-13.
10. Ellis H. *Gray's anatomy*. 37th ed. P. L. Williams, R. Warwick, M. Dyson, L. H. Bannister. 305 × 235mm. Pp. 1598. Illustrated. 1989. Edinburgh: Churchill Livingstone. £70.00. *BJJ*. 1989;76(12):1359-.
11. Leong A. Sexual dimorphism of the pelvic architecture: a struggling response to destructive and parsimonious forces by natural & mate selection. *Mcgill J Med*. 2006;9(1):61-6.
12. Ebraheim NA, Biyani A. Percutaneous computed tomographic stabilization of the pathologic sacroiliac joint. *Clin Orthop Relat Res*. 2003(408):252-5.
13. Joukar A, Shah A, Kiapour A, Vosoughi AS, Duhon B, Agarwal AK, Elgafy H, Ebraheim N, Goel VK. Sex Specific Sacroiliac Joint Biomechanics During Standing Upright: A Finite Element Study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2018;43(18):E1053-E60.
14. Prassopoulos PK, Fafila CP, Voloudaki AE, Gourtsoyiannis NC. Sacroiliac joints: anatomical variants on CT. *J Comput Assist Tomogr*. 1999;23(2):323-7.
15. Ehara S, el-Khoury GY, Bergman RA. The accessory sacroiliac joint: a common anatomic variant. *AJR Am J Roentgenol*. 1988;150(4):857-9.



16. Kang JH, Kim MW, Moon EH, Kim YJ, Yu KP. The Accessory Sacroiliac Joint Diagnosed With Bone SPECT/CT. *Clin Nucl Med*. 2017;42(6):483-4.
17. Castellvi AE, Goldstein LA, Chan DP. Lumbosacral transitional vertebrae and their relationship with lumbar extradural defects. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1984;9(5):493-5.
18. Lee CS, Ha JK, Kim DG, Hwang CJ, Lee DH, Cho JH. The clinical importance of lumbosacral transitional vertebra in patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40(17):E964-70.
19. Vogler JB, 3rd, Brown WH, Helms CA, Genant HK. The normal sacroiliac joint: a CT study of asymptomatic patients. *Radiology*. 1984;151(2):433-7.
20. Eno JJ, Boone CR, Bellino MJ, Bishop JA. The prevalence of sacroiliac joint degeneration in asymptomatic adults. *J Bone Joint Surg Am*. 2015;97(11):932-6.
21. He Z, Chu L, Liu X, Han X, Zhang K, Yan M, Li X, Yu Z. Differences in subchondral trabecular bone microstructure and finite element analysis-based biomechanical properties between osteoporosis and osteoarthritis. *J Orthop Translat*. 2020;24:39-45.
22. Venne G, Tse MY, Pang SC, Ellis RE. Mechanically-induced osteophyte in the rat knee. *Osteoarthritis Cartilage*. 2020;28(6):853-64.
23. Backlund J, Clewett Dahl E, Skorpil M. Is CT indicated in diagnosing sacroiliac joint degeneration? *Clin Radiol*. 2017;72(8):693 e9- e13.

24. Wurdinger S, Humbsch K, Reichenbach JR, Peiker G, Seewald HJ, Kaiser WA. MRI of the pelvic ring joints postpartum: normal and pathological findings. *J Magn Reson Imaging*. 2002;15(3):324-9.
25. Hermann KG, Halle H, Reissbauer A, Schink T, Vsianska L, Muhler MR, Lembcke A, Hamm B, Bollow M. [Peripartum changes of the pelvic ring: usefulness of magnetic resonance imaging]. *Rofo*. 2007;179(12):1243-50.
26. Eshed I, Miloh-Raz H, Dulitzki M, Lidar Z, Aharoni D, Liberman B, Lidar M. Peripartum changes of the sacroiliac joints on MRI: increasing mechanical load correlating with signs of edema and inflammation kindling spondyloarthropathy in the genetically prone. *Clin Rheumatol*. 2015;34(8):1419-26.
27. Agten CA, Zubler V, Zanetti M, Binkert CA, Kolokythas O, Prentl E, Buck FM, Pfirrmann CWA. Postpartum Bone Marrow Edema at the Sacroiliac Joints May Mimic Sacroiliitis of Axial Spondyloarthritis on MRI. *AJR Am J Roentgenol*. 2018;211(6):1306-12.
28. Pialat JB, Di Marco L, Feydy A, Peyron C, Porta B, Himpens PH, Ltaief-Boudrigua A, Aubry S. Sacroiliac joints imaging in axial spondyloarthritis. *Diagn Interv Imaging*. 2016;97(7-8):697-708.
29. Fafila CP, Prassopoulos PK, Daskalogiannaki ME, Gourtsoyiannis NC. Variation in the appearance of the normal sacroiliac joint on pelvic CT. *Clin Radiol*. 1998;53(10):742-6.
30. Hoballah A, Lukas C, Leplat C, Taourel P, Pialat JB, Sans N, Ramos-Pascual S, Cyteval C. MRI of sacroiliac joints for the diagnosis of axial SpA:

prevalence of inflammatory and structural lesions in nulliparous, early postpartum and late postpartum women. *Ann Rheum Dis.* 2020;79(8):1063-9.

31. Wang R, Ward MM. Epidemiology of axial spondyloarthritis: an update. *Curr Opin Rheumatol.* 2018;30(2):137-43.
32. Rudwaleit M, van der Heijde D, Landewe R, Listing J, Akkoc N, Brandt J, Braun J, Chou CT, Collantes-Estevez E, Dougados M, Huang F, Gu J, Khan MA, Kirazli Y, Maksymowych WP, Mielants H, Sorensen IJ, Ozgocmen S, Roussou E, Valle-Onate R, Weber U, Wei J, Sieper J. The development of Assessment of SpondyloArthritis international Society classification criteria for axial spondyloarthritis (part II): validation and final selection. *Ann Rheum Dis.* 2009;68(6):777-83.
33. Braun J, Sieper J. Ankylosing spondylitis. *Lancet.* 2007;369(9570):1379-90.
34. Rosenbaum JT. New developments in uveitis associated with HLA B27. *Curr Opin Rheumatol.* 2017;29(4):298-303.
35. van der Linden S, Valkenburg HA, Cats A. Evaluation of diagnostic criteria for ankylosing spondylitis. A proposal for modification of the New York criteria. *Arthritis Rheum.* 1984;27(4):361-8.
36. Diekhoff T, Hermann KG, Greese J, Schwenke C, Poddubnyy D, Hamm B, Sieper J. Comparison of MRI with radiography for detecting structural lesions of the sacroiliac joint using CT as standard of reference: results from the SIMACT study. *Ann Rheum Dis.* 2017;76(9):1502-8.

37. Mandl P, Navarro-Compan V, Terslev L, Aegerter P, van der Heijde D, D'Agostino MA, Baraliakos X, Pedersen SJ, Jurik AG, Naredo E, Schueller-Weidekamm C, Weber U, Wick MC, Bakker PA, Filippucci E, Conaghan PG, Rudwaleit M, Schett G, Sieper J, Tarp S, Marzo-Ortega H, Ostergaard M, European League Against R. EULAR recommendations for the use of imaging in the diagnosis and management of spondyloarthritis in clinical practice. *Ann Rheum Dis.* 2015;74(7):1327-39.
38. van der Heijde D, Ramiro S, Landewe R, Baraliakos X, Van den Bosch F, Sepriano A, Regel A, Ciurea A, Dagfinrud H, Dougados M, van Gaalen F, Geher P, van der Horst-Bruinsma I, Inman RD, Jongkees M, Kiltz U, Kvien TK, Machado PM, Marzo-Ortega H, Molto A, Navarro-Compan V, Ozgocmen S, Pimentel-Santos FM, Reveille J, Rudwaleit M, Sieper J, Sampaio-Barros P, Wiek D, Braun J. 2016 update of the ASAS-EULAR management recommendations for axial spondyloarthritis. *Ann Rheum Dis.* 2017;76(6):978-91.
39. Tan S, Ward MM. Computed tomography in axial spondyloarthritis. *Curr Opin Rheumatol.* 2018;30(4):334-9.
40. Ziegeler K, Kreuzinger V, Diekhoff T, Roehle R, Poddubnyy D, Pumberger M, Hamm B, Hermann KGA. Impact of age, sex, and joint form on degenerative lesions of the sacroiliac joints on CT in the normal population. *Sci Rep.* 2021;11(1):5903.
41. Diekhoff T, Greese J, Sieper J, Poddubnyy D, Hamm B, Hermann KA. Improved detection of erosions in the sacroiliac joints on MRI with volumetric

interpolated breath-hold examination (VIBE): results from the SIMACT study. *Ann Rheum Dis.* 2018;77(11):1585-9.

42. Greese J, Diekhoff T, Sieper J, Schwenke C, Makowski MR, Poddubnyy D, Hamm B, Hermann KGA. Detection of Sacroiliitis by Short-tau Inversion Recovery and T2-weighted Turbo Spin Echo Sequences: Results from the SIMACT Study. *J Rheumatol.* 2019;46(4):376-83.
43. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of chiropractic medicine.* 2016;15(2):155-63.
44. Tok Umay S, Korkmaz M. Frequency of anatomical variation of the sacroiliac joint in asymptomatic young adults and its relationship with sacroiliac joint degeneration. *Clin Anat.* 2020;33(6):839-43.
45. Hanhivaara J, Maatta JH, Niinimaki J, Nevalainen MT. Lumbosacral transitional vertebrae are associated with lumbar degeneration: retrospective evaluation of 3855 consecutive abdominal CT scans. *Eur Radiol.* 2020.
46. Carvajal Alegria G, Voirin-Hertz M, Garrigues F, Herbette M, Deloire L, Simon A, Feydy A, Reijnierse M, van der Heijde D, Marhadour T, Saraux A. Association of lumbosacral transitional vertebra and sacroiliitis in patients with inflammatory back pain suggesting axial spondyloarthritis. *Rheumatology (Oxford).* 2020;59(7):1679-83.
47. French HD, Somasundaram AJ, Schaefer NR, Laherty RW. Lumbosacral transitional vertebrae and its prevalence in the Australian population. *Global Spine J.* 2014;4(4):229-32.

48. Ziegeler K, Eshkal H, Schorr C, Sieper J, Diekhoff T, Makowski MR, Hamm B, Hermann KG. Age- and Sex-dependent Frequency of Fat Metaplasia and Other Structural Changes of the Sacroiliac Joints in Patients without Axial Spondyloarthritis: A Retrospective, Cross-sectional MRI Study. *J Rheumatol.* 2018;45(7):915-21.
49. Seven S, Ostergaard M, Morsel-Carlsen L, Sorensen IJ, Bonde B, Thamsborg G, Lykkegaard JJ, Pedersen SJ. Anatomical distribution of sacroiliac joint MRI lesions in axial spondyloarthritis and control subjects. *Arthritis Care Res (Hoboken).* 2020.
50. Jones A, Bray TJP, Mandl P, Hall-Craggs MA, Marzo-Ortega H, Machado PM. Performance of magnetic resonance imaging in the diagnosis of axial spondyloarthritis: a systematic literature review. *Rheumatology (Oxford).* 2019;58(11):1955-65.
51. Shibata Y, Shirai Y, Miyamoto M. The aging process in the sacroiliac joint: helical computed tomography analysis. *J Orthop Sci.* 2002;7(1):12-8.
52. Eichenseer PH, Sybert DR, Cotton JR. A finite element analysis of sacroiliac joint ligaments in response to different loading conditions. *Spine (Phila Pa 1976).* 2011;36(22):E1446-52.
53. Kiapour A, Joukar A, Elgafy H, Erbulut DU, Agarwal AK, Goel VK. Biomechanics of the Sacroiliac Joint: Anatomy, Function, Biomechanics, Sexual Dimorphism, and Causes of Pain. *Int J Spine Surg.* 2020;14(Suppl 1):3-13.

54. Toyohara R, Kurosawa D, Hammer N, Werner M, Honda K, Sekiguchi Y, Izumi SI, Murakami E, Ozawa H, Ohashi T. Finite element analysis of load transition on sacroiliac joint during bipedal walking. *Sci Rep*. 2020;10(1):13683.
55. Chang EY, Lim WY, Wolfson T, Gamst AC, Chung CB, Bae WC, Resnick DL. Frequency of atlantoaxial calcium pyrophosphate dihydrate deposition at CT. *Radiology*. 2013;269(2):519-24.
56. Felson DT, Anderson JJ, Naimark A, Kannel W, Meenan RF. The prevalence of chondrocalcinosis in the elderly and its association with knee osteoarthritis: the Framingham Study. *J Rheumatol*. 1989;16(9):1241-5.
57. Zhang W, Doherty M, Bardin T, Barskova V, Guerne PA, Jansen TL, Leeb BF, Perez-Ruiz F, Pimentao J, Punzi L, Richette P, Sivera F, Uhlig T, Watt I, Pascual E. European League Against Rheumatism recommendations for calcium pyrophosphate deposition. Part I: terminology and diagnosis. *Ann Rheum Dis*. 2011;70(4):563-70.
58. Tuite MJ. Sacroiliac joint imaging. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2008;12(1):72-82.
59. McGonagle D, Thomas RC, Schett G. Spondyloarthritis: may the force be with you? *Ann Rheum Dis*. 2014;73(2):321-3.

# 6.2. Scoringbogen

Confidential SICC-NPP Seite 1

### CT-Score

Record ID \_\_\_\_\_

SICC-NP ID \_\_\_\_\_

Erosions ventral					
	absent	1-2 erosions	3-5 erosions	>5 erosions	not applicable/not evaluable
Region 1 (right Sacrum: ventral, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 2 (right Sacrum: ventral, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 3 (right Ilium: ventral, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 4 (right Ilium: ventral, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 5 (left Sacrum: ventral, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 6 (left Sacrum: ventral, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 7 (left Ilium: ventral, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 8 (left Ilium: ventral, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Erosions middle					
	absent	1-2 erosions	3-5 erosions	>5 erosions	not applicable/not evaluable
Region 9 (right Sacrum: middle, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 10 (right Sacrum: middle, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 11 (right Ilium: middle, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 12 (right Ilium: middle, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 13 (left Sacrum: middle, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

29.02.2020 14:43 projectredcap.org REDCap

Confidential Seite 2

Erosions posterior					
	absent	1-2 erosions	3-5 erosions	>5 erosions	not applicable/not evaluable
Region 14 (left Sacrum: middle, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 15 (left Ilium: middle, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Region 16 (left Ilium: middle, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Sclerosis ventral					
	absent	possible/very little Sclerosis	marked Sclerosis	not applicable/not evaluable	
Region 1 (right Sacrum: ventral, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 2 (right Sacrum: ventral, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 3 (right Ilium: ventral, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 4 (right Ilium: ventral, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 5 (left Sacrum: ventral, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 6 (left Sacrum: ventral, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

29.02.2020 14:43 projectredcap.org REDCap

Confidential Seite 3

Sclerosis middle					
	absent	possible/very little Sclerosis	marked Sclerosis	not applicable/not evaluable	
Region 7 (left Ilium: ventral, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 8 (left Ilium: ventral, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 9 (right Sacrum: middle, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 10 (right Sacrum: middle, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 11 (right Ilium: middle, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 12 (right Ilium: middle, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 13 (left Sacrum: middle, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 14 (left Sacrum: middle, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 15 (left Ilium: middle, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 16 (left Ilium: middle, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Sclerosis posterior					
	absent	possible/very little Sclerosis	marked Sclerosis	not applicable/not evaluable	
Region 17 (right Sacrum: posterior, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 18 (right Sacrum: posterior, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 19 (right Ilium: posterior, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 20 (right Ilium: posterior, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 21 (left Sacrum: posterior, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 22 (left Sacrum: posterior, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 23 (left Ilium: posterior, caudal)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Region 24 (left Ilium: posterior, cranial)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

29.02.2020 14:43 projectredcap.org REDCap

Confidential Seite 4

Joint Space						
	normal joint space	possible widening/harrowing	pseudo widening/harrowing	partial ankylosis	complete ankylosis	not applicable/not evaluable
Right	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Left	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Calcifications				
	absent	few or punctuate calcifications	extensive and/or linear calcifications	not applicable/not evaluable
Right	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Left	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Osteophytes					
	absent	small osteophyte (≤ 5 mm)	larger osteophyte (>5 mm)	bridging osteophyte	not applicable/not evaluable
right ventral	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
right dorsal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
left ventral	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
left dorsal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Anatomy									
	typical anatomical form	accessory sacral joint	iliosacral complex	bipartite iliac bony plate	crescent iliac bone	serriar defects	ossification centers of sacral wings	other	not applicable / non-evaluable
right	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
left	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Transitional vertebrae					
	none	enlarged transverse process	pseudointertransverse process fusion / pseudarthrosis	complete fusion	not applicable / not evaluable
right	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
left	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

29.02.2020 14:43 projectredcap.org REDCap



### 6.3. Eidesstattliche Erklärung

„Ich, Virginie Kreuzinger, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: *„Degenerative und entzündliche Läsionen der Sakroiliakalgelenke in der Allgemeinbevölkerung: Eine retrospektive Analyse von Computertomographien ; Degenerative and inflammatory lesions of the sacroiliac joints in the general population: a retrospective computed tomography study“* selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

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

Datum

Unterschrift

## 6.4. Anteilserklärung an Publikationen

1.) Ziegeler K.\*, **Kreutzinger V.\***, Diekhoff, T., Roehle, R., Poddubnyy, D., Pumberger, M., Hamm, B., Hermann, K.-G. (\* geteilte Erstautorenschaft), **Impact of age, sex, and joint form on degenerative lesions of the sacroiliac joints on CT in the normal population**, Scientific Reports (2021)

- 1.1. Frau Kreutzinger war an der Planung des Projektes gemeinsam mit Frau Dr. Ziegeler und Herrn Prof. Dr. Hermann sowie Herrn PD Dr. Torsten Diekhoff beteiligt.
- 1.2. Die Rekrutierung der Patient\*innen anhand der zuvor gemeinsam mit den unter 1.1. genannten Personen festgelegten Ein- und Ausschlusskriterien aus dem RIS/PACS der Klinik für Radiologie oblag vollständig Frau Kreutzinger. Zudem wurden von Frau Kreutzinger alle im Rahmen der Studie mituntersuchten klinischen Parameter der Patient\*innen elektronisch dokumentiert.
- 1.3. Frau Kreutzinger hat eigenständig alle CT-Datensätze pseudonymisiert.
- 1.4. Die Analyse aller Bilddatensätze (Scoring) erfolgte durch Frau Dr. Ziegeler, zusätzlich wurde eine zufällige Stichprobe von Herrn PD Dr. Diekhoff bewertet.
- 1.5. Nach statistischer Beratung durch Herrn Robert Röhle führte Frau Kreutzinger die statistischen Analysen in Rücksprache mit Frau Dr. Ziegeler unter Nutzung der Software SPSS durch.
- 1.6. Frau Kreutzinger erstellte selbstständig die Einleitung sowie den Methodenteil des Manuskripts, während Frau Dr. Ziegeler den ersten Entwurf des Ergebnis- und Diskussionsteils verantwortete. Frau Kreutzinger erstellte selbstständig Figure 1 (=Abbildung 4 der Monographie), Figure 2 (=Abbildung 7 der Monographie) und Figure 3 (=Abbildungen 16-18) sowie Table 1 (=Tabelle 2 der Monographie), Table 2 (=Tabelle 4 der Monographie), Table 3 (=Tabelle 3 der Monographie) und Table 4 (Tabellen 6-11 der Monographie).
- 1.7. Frau Kreutzinger war in enger Zusammenarbeit mit Frau Dr. Ziegeler und Herrn Prof. Hermann an der kritischen Diskussion der Ergebnisse sowie der Einbindung der Anmerkungen der Koautoren beteiligt.

2) **Kreutzinger, V.**, Diekhoff, T., Liefeldt, L., Poddubnyy, D., Hermann, K.-G., Ziegeler, K., **Asymptomatic secondary hyperparathyroidism can mimic sacroiliitis on computed tomography**, Scientific Reports (2021)

- 2.1. Frau Kreutzinger hat das Projekt gemeinsam mit Frau Dr. Ziegeler konzipiert.
- 2.2. Sie war verantwortlich für die Akquise der klinischen Daten der Kontrollgruppe sowie die Pseudonymisierung aller Bilddatensätze (siehe 1.2. und 1.3.). Klinische Daten der Patientengruppe wurden von Herrn Dr. Liefeldt zur Verfügung gestellt.
- 2.3. Sie führe selbstständig die gesamte statistische Auswertung mit der Software SPSS in enger Rücksprache mit Frau Dr. Ziegeler durch.

- 2.4. Frau Kreutzinger erstellte selbstständig den ersten Entwurf des Manuskripts und war verantwortlich für alle Tabellen und Abbildungen, mit Ausnahme der Figure 2, diese wurde von Frau Dr. Ziegeler erstellt.
- 2.5. Frau Kreutzinger war verantwortlich für die Einbindung der Anmerkungen der Koautoren in die finale Fassung des Manuskriptes in enger Rücksprache mit Frau Dr. Ziegeler.

**3.) Ziegeler, K., Kreutzinger, V., Proft, F., Poddubnyy, D., Hermann, K.-G., Diekhoff, T., Joint anatomy in axial spondyloarthritis: strong associations between sacroiliac joint form variation and symptomatic disease, Rheumatology (Oxford) (2021)**

- 3.1. Frau Kreutzinger war an der Konzeption des Projektes gemeinsam mit Frau Dr. Ziegeler und Herrn PD Dr. Diekhoff beteiligt.
- 3.2. Frau Kreutzinger war verantwortlich für die Bereitstellung der klinischen Informationen sowie die Pseudonymisierung der Kontrollgruppe (siehe 1.2 und 1.3.)
- 3.3. Darüber hinaus war sie für die Erstellung von Tabelle 1 und 2 des Manuskripts verantwortlich.
- 3.4. Frau Kreutzinger war beteiligt an der kritischen Revision des Manuskripts, das schwerpunktmäßig von Frau Dr. Ziegeler erstellt wurde, in enger Rücksprache mit Herrn PD Dr. Diekhoff.

---

Unterschrift, Datum und Stempel des/der erstbetreuenden Hochschullehrers/in

---

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

## **6.5. Lebenslauf**

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

## 6.6. Publikationsliste

### 1. Originalarbeiten in Zeitschriften mit peer review-Verfahren als Erstautorin

- |   | <b>IF</b>     |
|---|---------------|
| 1. <b>Kreutzinger, V.</b> , Diekhoff, T., Liefeldt, L., Poddubnyy, D., Hermann, K.-G., Ziegeler, K.<br>Asymptomatic secondary hyperparathyroidism can mimic sacroiliitis on computed tomography<br>Scientific Reports, 02/2021, p: 4323 Volume 11(1)  | 4.0<br>(2019) |
| 2. Ziegeler, K.* , <b>Kreutzinger, V.*</b> , Diekhoff, T., Roehle, R., Poddubnyy, D., Pumberger, M.,<br>Hamm, B., Hermann, K.-G.<br>Impact of age, sex, and joint form on degenerative lesions of the sacroiliac joints on CT in the<br>normal population<br>Scientific Reports, 03/2021, p: 5903 Volume 11(1)<br>*shared first authors | 4.0<br>(2019) |

### 2. Originalarbeiten in Zeitschriften mit peer review-Verfahren als Koautorin

- |  |               |
|--|---------------|
| 1. Ziegeler, K., <b>Kreutzinger, V.</b> , Proft, F., Poddubnyy, D., Hermann, K.-G., Diekhoff, T.,<br>Joint anatomy in axial spondyloarthritis: strong associations between sacroiliac joint form variation<br>and symptomatic disease<br>Rheumatology (Oxford), 04/2021, doi: 10.1093/rheumatology/keab318 | 5.6<br>(2019) |
|--|---------------|

## 6.7. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all den Personen bedanken, die mich während der Fertigstellung dieser Dissertation auf ganz unterschiedliche Art und Weise unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt zunächst meinem Doktorvater Prof. Dr. Kay-Geert A. Hermann der meine Arbeit stets mit viel Verständnis, Zeit und Anregungen unterstützt hat und ohne den die Umsetzung dieses Projektes nicht möglich gewesen

Dank gilt auch Frau Dr. med. Katharina Ziegeler, die mir durch ihr großes Engagement, die persönlichen Gespräche, den Zuspruch, ihre fachlichen Hinweise und ihr professionelles Lektorat stets zur Seite standen und somit wesentlich zum erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit beigetragen hat.

Des Weiteren möchte ich Herr PD. Dr. med. Torsten Diekhoff für seine kritischen Bemerkungen und den konstruktiven Austausch recht herzlich danken.

Für ihre Zeit, konstruktiven Anregungen und die mühevollen Arbeit des Korrekturlesens danke ich ebenso Frau Dr. med. Stefanie Sander.

Darüber hinaus möchte ich meiner Familie danken, deren Geduld und Rückhalt wesentlicher Motivator für diese Arbeit waren.

## 6.8. Bescheinigung Statistik



CharitéCentrum für Human- und Gesundheitswissenschaften

Charité | Campus Charité Mitte | 10117 Berlin

Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBiKE)

Direktor: Prof. Dr. Geraldine Rauch

**Name, Vorname:** Kreuzinger, Virginie  
**Emailadresse:** virginie.kreuzinger@charite.de  
**Matrikelnummer:** 223482  
**Promotionsbetreuer:** Prof. Dr. med. Kay-Geert Hermann  
**Promotionsinstitution / Klinik:** Institut für Radiologie CCM

Postanschrift:  
Charitéplatz 1 | 10117 Berlin  
Besucheranschrift:  
Reinhardtstr. 58 | 10117 Berlin  
  
Tel. +49 (0)30 450 562171  
geraldine.rauch@charite.de  
<https://biometrie.charite.de/>



### Bescheinigung

Hiermit bescheinige ich, dass Frau Virginie Kreuzinger innerhalb der Service Unit Biometrie des Instituts für Biometrie und klinische Epidemiologie (iBiKE) bei mir eine statistische Beratung zu einem Promotionsvorhaben wahrgenommen hat. Folgende Beratungstermine wurden wahrgenommen:

- Termin 1: 01.04.2020
- Termin 2: 28.10.2020

Folgende wesentliche Ratschläge hinsichtlich einer sinnvollen Auswertung und Interpretation der Daten wurden während der Beratung erteilt:

- Der Chi-Quadrat-Test zur Untersuchung von Einflussfaktoren auf das Vorhandensein von Läsionen auf Gelenkebene ist angemessen, da die Anzahl an Läsionen gering ist
- Die Logistische Regression für das Auftreten von Läsionen auf Patientenebene zur gemeinsamen Untersuchung von Einflussfaktoren ist sinnvoll, da kumuliert die Läsionshäufigkeit höher ist
- Der ICC (zweiseitiges gemischtes Modell) für die Bestimmung der Intra-Reader-Reliabilität ist ebenfalls angemessen

Diese Bescheinigung garantiert nicht die richtige Umsetzung der in der Beratung gemachten Vorschläge, die korrekte Durchführung der empfohlenen statistischen Verfahren und die richtige Darstellung und Interpretation der Ergebnisse. Die Verantwortung hierfür obliegt allein dem Promovierenden. Das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie übernimmt hierfür keine Haftung.

Datum: 28.10.2020

Name des Beraters: Robert Röhle

Robert  
Roehle

Digital unterschrieben  
von Robert Roehle  
Datum: 2020.10.28  
10:37:56 +01'00'

Unterschrift Berater, Institutsstempel

