

Aus der Klinik für Unfallchirurgie
der Medizinischen Fakultät
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Inter- und Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation für
osteoporotische Wirbelkörperfrakturen

D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Doktorgrades
Dr. med.
(doctor medicinae)

an der Medizinischen Fakultät
der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

vorgelegt von		Vadzim Lahodski
aus		Lida
Magdeburg		2024

Bibliographische Beschreibung:

Lahodski, Vadzim:

Inter- und Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation für osteoporotische Wirbelkörperfrakturen. – 2024. – 84 Bl., 21 Abb., 9 Tab., 4 Anl.

Kurzreferat:

Ziel dieser Dissertation war die Einschätzung der Inter- und Intrarater-Reliabilität zur, von der Sektion Wirbelsäule der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU) eingeführten, Klassifikation für osteoporotische Wirbelkörperfrakturen (OF-Klassifikation). Daten zur Reproduzierbarkeit wurden bislang nur durch diese Sektion mit substantieller Interrater-Reliabilität (Fleiss' Kappa 0.63) publiziert. Daten zur Intrarater-Reliabilität gab es bislang noch nicht. Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurden Röntgenbilder, Aufnahmen der Computertomographie (CT) und die Bilder der Kernspintomographie (MRT) von 54 osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen von 6 Ärzten (drei Oberärzte, drei Assistenzärzte einer Unfallchirurgischen Universitätsklinik) nach Kriterien der OF-Klassifikation zwei Mal im Abstand von zwei Monaten ausgewertet. Vor Beginn dieser Studie wurde die Klassifikation in dieser Klinik bereits seit 1,5 Jahren im klinischen Alltag benutzt. Die Interrater-Reliabilität erwies sich mit einem Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) von 0.62 (95 % KI 0.51, 0.72) als substantiell. Die Intrarater-Reliabilität war mit einem gewichteten Cohen's Kappa-Koeffizienten (κ) von 0.74 (95 % KI 0.67, 0.80) substantiell. Die Reliabilität der OF-Klassifikation war schlechter, wenn nur die Röntgen- und MRT-Bilder ausgewertet wurden (ICC = 0.52 (95 % KI 0.41, 0.64); κ = 0.64 (95 % KI 0.57, 0.71)).

Schlüsselwörter

Osteoporose, osteoporotische Wirbelkörperfraktur, OF-Klassifikation, Reliabilität

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis	9
1. Einleitung	10
1.1 Epidemiologie der Osteoporose und osteoporotischer Frakturen.....	10
1.2 Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen	10
1.2.1 Epidemiologie der osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen.....	10
1.2.2 Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen als eine separate Entität.....	11
1.2.3 Risikofaktoren einer osteoporotischen vertebrealen Fraktur.....	11
1.2.4 Komplikationen und Folgen osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen	12
1.3 Klassifikationen für osteoporotische Wirbelkörperfrakturen.....	12
1.3.1 Klassifikationen osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen auf der Basis von Röntgen-Aufnahmen	13
1.3.1.1 Klassifikation nach Genant.....	13
1.3.1.2 Klassifikation nach Sugita	14
1.3.1.3 Klassifikation nach Wu	16
1.3.2 Klassifikationen osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen auf der Basis von MRT-Aufnahmen	16
1.3.2.1 Klassifikation nach Kanchiku	16
1.3.2.2 Klassifikation nach Tsujio/Inose	17
1.3.3 Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen auf der Basis von CT- und MRT-Aufnahmen nach Zhang	19

1.3.4	Klassifikationen osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen auf der Basis von klinischen Symptomen und radiologischen Verfahren	22
1.3.4.1	AOSpine Klassifikation	22
1.3.4.2	OF-Klassifikation	23
2.	Ziel der Arbeit.....	30
3.	Material und Methoden	32
3.1	Studienkohorte	32
3.2	Osteoporosenachweis	35
3.3	Rater	36
3.4	Durchführung der Reliabilitätsanalyse	36
3.5	Statistik.....	37
3.5.1	Einführung in die Reliabilitätsanalyse	37
3.5.2	Auswahl statistischer Testverfahren und Berechnungen	37
3.5.3	Fallzahlplanung.....	38
3.6	Ethik-Votum und Deutsches Register Klinischer Studien	38
4.	Ergebnisse	39
4.1	Interrater-Reliabilität	39
4.2	Intrarater-Reliabilität	39
4.3	Differenzierungsproblematik zwischen verschiedenen OF-Typen.....	42
4.3.1	Analyse der Differenzierungsproblematik OF2/OF3	44
4.3.2	Analyse der Differenzierungsproblematik OF3/OF4	48
5.	Diskussion.....	54
6.	Zusammenfassung	62
	Literaturverzeichnis	63

Danksagungen	71
Ehrenerklärung	72
Erklärung zur strafrechtlichen Verurteilung	73
Lebenslauf	74
Publikationsliste	76
Anlagen.....	77
Anlage 1 Zustimmende Bewertung der Ethikkommission	77
Anlage 2 Schematische Darstellung der 5 OF-Typen der OF-Klassifikation mit Beschreibung	79
Anlage 3 Tabellarische Form der OF-Klassifikation	81
Anlage 4 Bogen für die Auswertung der OF-Klassifikation.....	82

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BMD	Bone Mineral Density
CT	Computertomographie
DE-CT	Dual-Energy-Computertomographie
DGOU	Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie
DRKS	Deutsches Register Klinischer Studien
DVO	Dachverband Osteologie
DXA	Duale Röntgen-Absorptiometrie
EDK	Endplatte-Diskus-Komplex
EP	Endplatte
HU	Hounsfield units
ICC	Intraklassen-Korrelationskoeffizient
IVD	Intervertebraler Diskus
κ	Kappa
KG	Konfidenzgrenze
KI	Konfidenzintervall
MRT	Magnetresonanztomographie
OF	Osteoporotische Fraktur(en)
OWF	Osteoporotische Wirbelkörperfraktur(en)
SD	Standardabweichung
STIR	Short-tau Inversion Recovery
Tab.	Tabelle
WK	Wirbelkörper

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Semiquantitative Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Genant	14
Abbildung 2	Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Sugita	15
Abbildung 3	Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Kanchiku	17
Abbildung 4	Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Tsujio	18
Abbildung 5	Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Inose	19
Abbildung 6	Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Zhang	21
Abbildung 7	AOSpine Klassifikation	22
Abbildung 8	OF-Klassifikation	23
Abbildung 9	Flussdiagramm der Patientenauswahl entsprechend der Ein- und Ausschlusskriterien	33
Abbildung 10	Frakturverteilung (%) bei den eingeschlossenen 54 Patientinnen nach Anzahl der frakturierten Wirbelkörper ..	34
Abbildung 11	Frakturverteilung nach Lokalisation der Wirbelkörperfraktur	34
Abbildung 12	Messung von Hounsfield-Einheiten in LWK 1 zum Osteoporosenachweis	35
Abbildung 13	Die Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation bei der Auswertung Röntgen + MRT (Forest-Plot)	40
Abbildung 14	Die Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation bei der Auswertung Röntgen + MRT + CT (Forest-Plot)	41

Abbildung 15	Darstellung der Differenzierungsproblematik zwischen den OF-Typen mittels Heatmap	43
Abbildung 16 a-d	Fallbeispiel einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur mit niedriger Intrarater-Reliabilität infolge einer OF2/OF3-Differenzierungsproblematik (87-jährige Patientin BB1 mit Fraktur des 1. Lendenwirbelkörpers).....	45
Abbildung 17 a-c	Fallbeispiel einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur mit perfekter Intrarater-Reliabilität (67-jährige Patientin BG3 mit Fraktur des 3. Lendenwirbelkörpers)	47
Abbildung 18 a-c	Fallbeispiel einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur mit schlechter Intrarater-Reliabilität infolge einer OF3/OF4-Differenzierungsproblematik (97-jährige Patientin BE1 mit Fraktur des 1. Lendenwirbelkörpers).....	49
Abbildung 19 a-c	Fallbeispiel OF3 mit perfekter Intrarater-Reliabilität (96-jährige Patientin OU2 mit osteoporotischer Fraktur des 2. Lendenwirbelkörpers OF3)	51
Abbildung 20 a-c	Fallbeispiel OF4 mit perfekter Intrarater-Reliabilität (84-jährige Patientin GG1 mit frischer osteoporotischer Fraktur des 1. Lendenwirbelkörpers OF4-Kneifzangenfraktur)	52
Abbildung 21 a-c	Fallbeispiel OF4 mit perfekter Intrarater-Reliabilität (93-jährige Patientin DR9 mit frischer Fraktur des 9. Brustwirbelkörpers OF4-Wirbelkörperkollaps)	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Übersicht der Klassifikationen für osteoporotische Wirbelkörperfrakturen.....	27
Tabelle 2	Die Interpretation der Reliabilitätsparameter nach Cicchetti.....	37
Tabelle 3	Die Interrater-Reliabilität der OF-Klassifikation	39
Tabelle 4	Die Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation bei der Auswertung Röntgen + MRT	40
Tabelle 5	Die Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation bei der Auswertung Röntgen + MRT + CT	41
Tabelle 6	Quantitative Morphometrie osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen mit Hinterwandbeteiligung und Differenzierungsproblematik OF2/OF3 anhand von CT-Aufnahmen	44
Tabelle 7	Quantitative Morphometrie osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen OF2/OF3 ohne Differenzierungsproblematik anhand von CT-Aufnahmen.....	46
Tabelle 8	Fälle mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen in Bezug auf eine OF3/OF4-Differenzierungsproblematik.....	48
Tabelle 9	Fälle mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen OF3/OF4 ohne Differenzierungsproblematik	50

1. Einleitung

1.1 Epidemiologie der Osteoporose und osteoporotischer Frakturen

Die Prävalenz der Osteoporose liegt weltweit bei ca. 18 %, wobei die Inzidenz bei Frauen höher als bei Männern ist [1]. Im Jahr 2010 waren in der Europäischen Union 22 Millionen Frauen und 5,5 Millionen Männer an Osteoporose erkrankt [2].

Die Prävalenz der Osteoporose war in Deutschland im Jahre 2019 im Lebensalter ≥ 50 Jahren bei Frauen (22,6 %) höher als bei Männern (6,6 %) [3]. In absoluten Zahlen auf ganz Deutschland ergab dies 5,6 Millionen Osteoporose-Patienten, davon 4,5 Millionen Frauen und 1,1 Millionen Männer [3, 4].

Die klinische Bedeutung der Osteoporose liegt im Auftreten von Frakturen. Die Zahl der jährlichen osteoporotischen Frakturen in der Europäischen Union wird von 4,3 Millionen im Jahr 2019 auf voraussichtlich 5,3 Millionen im Jahr 2034 ansteigen [3].

Aufgrund der demografischen Entwicklung ist mit einer Zunahme der osteoporotischen Frakturen zu rechnen [5]. Personen, die älter als 60 Jahre sind, machten 1950 lediglich 14,6 % der deutschen Bevölkerung aus, ihr Anteil stieg auf 29,4 % im Jahr 2022 an [6]. Diese demografische Tatsache und die hohe Inzidenz der Osteoporose bzw. osteoporotischer Frakturen verdeutlichen das Ausmaß des Problems.

1.2 Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen

1.2.1 Epidemiologie der osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen

Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen (OWF) sind weltweit eine der häufigsten osteoporotischen Frakturen und treten bei 30 – 50 % der Osteoporosepatienten ≥ 50 Jahren auf [7, 8]. Die Prävalenz OWF variiert von Region zu Region [8]. In Europa und in Deutschland wird je nach Region eine Prävalenz von 18 – 26 % angegeben [7]. Vor allem durch die Zunahme von OWF steigt die Gesamtzahl der Wirbelkörperfrakturen in Deutschland [5].

Die genaue epidemiologische Einschätzung ist erschwert. Ca. 70 % der Wirbelkörperfrakturen sind symptomlos und nur ca. 30 % der Patienten gehen aufgrund der Beschwerden zum Arzt [9–12]. Während hüftgelenknahe Femurfrakturen fast

immer zu einer Krankenhauseinweisung führen, werden OWF oft nicht erkannt. Dazu kommt die unvollständige Befundung bei radiologischer Beurteilung [13, 14]. Beispielsweise zeigt eine Studie von Löffler et al. [14], dass in 58 % der radiologischen CT-Berichte keine OWF bei den Patienten mit Frakturen erwähnt wurde.

1.2.2 Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen als eine separate Entität

Im Vergleich zu eindeutig traumatischen vertebrealen Frakturen sind die OWF eine separate Entität und aus verschiedenen Gründen prognostisch bedeutsam. Aufgrund einer verschlechterten trabekulären und kortikalen Mikrostruktur sind sie ein Indikator für die Beeinträchtigung der Knochenqualität [15, 16]. OWF gelten als ein unabhängiger Risikofaktor für weitere osteoporose-assoziierte Frakturen wie zum Beispiel eine mediale Schenkelhalsfraktur [16–20].

Das Auftreten einer OWF erhöht das Risiko für Folgefrakturen an der Wirbelsäule [19, 21]. Die Schwere der OWF nimmt mit der Verschlechterung der Mikroarchitektur des Knochens zu [19]. Das Vorhandensein einer leichten Wirbelkörper (WK)-Deformität (Genant 1) gilt als ein signifikanter Risikofaktor für das Auftreten von schweren Wirbelkörperfrakturen (Genant ≥ 2) [22]. Liegt eine einzelne OWF vor, beträgt das Risiko für das Entstehen einer weiteren vertebrealen Fraktur innerhalb eines Jahres ca. 20 % [19, 23].

Meist treten OWF im Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule auf, am häufigsten ist der thorakolumbale Übergang betroffen [10, 24–27]. Aufgrund der höheren Knochenmineraldichte und besserer Mikroarchitektur entstehen Frakturen zervikal deutlich später als thorakolumbal [28].

1.2.3 Risikofaktoren einer osteoporotischen vertebrealen Fraktur

Die Risikofaktoren für eine OWF sind Lebensalter, weibliches Geschlecht, Vorhandensein einer früheren Fraktur im Alter ≥ 50 Jahren, Vitamin-D-Mangel, Nikotinabusus, zwei oder mehr Stürze im vergangenen Jahr und Glukokortikoid-Dauertherapie [25, 27, 29, 30]. Niedrige Bone Mineral Density (BMD)-Werte sind ein hohes Risiko für OWF [31–34]. Die Ausgangswerte der Knochenmineraldichte vor der Menopause und die Rate der Abnahme der BMD während der Menopause sind unabhängige Risikofaktoren bei Frauen [35].

1.2.4 Komplikationen und Folgen osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen

Die Patienten mit OWF leiden durch Kyphose und gestörte spino-pelvine Balance unter Schmerzen, Bewegungseinschränkungen und Atemfunktionsstörungen mit Kurzatmigkeit [36–38]. Die Betroffenen mit zwei oder mehr OWF weisen tendenziell mehr Funktionseinschränkungen als Patienten mit nur einer Fraktur auf [39, 40]. Die Patienten mit OWF haben eine schlechtere Lebensqualität [27, 41] und körperliche Funktion im Vergleich zu Patienten mit Osteoporose [42, 43]. Durch OWF steigt die Mortalität [20, 40, 44, 45].

Die Inzidenz der Pseudarthrosen beträgt bei konservativer Therapie von OWF 13-17,5 % [46, 47]. Die Patienten mit Pseudarthrose leiden unter deutlich stärkeren Rückenschmerzen, zunehmender Kyphose und funktionellen Einschränkungen als die Patienten mit konsolidierten vertebrealen Frakturen [47, 48].

1.3 Klassifikationen für osteoporotische Wirbelkörperfrakturen

Eine Frakturklassifikation ist ein notwendiges Instrument für Diagnose und Behandlung. Eine Klassifikation soll bei der Therapieentscheidung helfen, die Kommunikation zwischen Ärzten erleichtern, prognostischen Wert für Patienten haben sowie die Dokumentation bzw. Forschung unterstützen [49]. Bis eine Klassifikation in der Praxis angewandt werden kann, soll sie auf Variabilität und Ungenauigkeit des Klassifizierungsverfahrens überprüft werden. Bei festgestellten Schwachstellen muss eine Korrektur im Klassifikationsprozess vorgenommen werden. Im Kontext der Behandlungsentscheidung ist eine schlecht validierte Klassifikation ein falscher Prädiktor für Therapieergebnisse [49, 50].

Es gibt mehrere Klassifikationen für OWF, die sich auf unterschiedliche diagnostische Maßnahmen wie klinische Daten, Röntgen [51–53], CT, MRT [46, 47, 54] oder deren Kombination [55–57] stützen. Nur wenige der Klassifikationen sind validiert [51, 55–57]. Bisher hat sich keine Klassifikation für OWF international durchgesetzt.

Im Vergleich zur eindeutig traumatischen Wirbelkörperfraktur ist die osteoporotische Wirbelkörperfraktur eine separate Entität. Für traumatische Frakturen gibt es valide Klassifikationen mit Bezug zur chirurgischen Therapiefindung [56,

58, 59]. Für OWF war dies lange Zeit nicht der Fall. In der AOSpine Klassifikation für traumatische Frakturen bilden sie sich unzureichend ab. Bezüglich Risikoabschätzung und medikamentöser osteologischer Therapieempfehlung orientiert sich der Dachverband Osteologie (DVO) bei OWF an der morphologischen Einteilung nach der Klassifikation nach Genant [51, 60]. Aus wirbelsäulenchirurgischer Sicht eignet sich diese Klassifikation aber kaum zur Ableitung einer konservativen versus operativen Therapieempfehlung. Darin lag der wesentliche Grund für die Entwicklung einer neuen Klassifikation für OWF. Diese wurde durch die Arbeitsgruppe Osteoporotische Frakturen der Sektion Wirbelsäule der DGOU im Jahr 2013 erstellt [61].

1.3.1 Klassifikationen osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen auf der Basis von Röntgen-Aufnahmen

1.3.1.1 Klassifikation nach Genant

Genant et al. publizierten 1993 die semiquantitative Klassifikation für OWF (Abb. 1) [51]. Der Klassifikation wurden konventionelle seitliche Röntgenaufnahmen der thorakolumbalen Wirbelsäule von 57 postmenopausalen Frauen mit OWF zu Grunde gelegt. Die Aufnahmen wurden von zwei unabhängigen Ratern analysiert.

Die visuelle Inspektion wurde ohne direkte Wirbelvermessung (semiquantitativ) durchgeführt. Dem nicht deformierten Wirbelkörper wird der Grad 0 zugeordnet. Der deformierte Wirbel wird in drei Deformationsgrade in Abhängigkeit der Reduktion der vorderen, mittleren und/oder hinteren Wirbelhöhe (keilförmige Deformität, bikonkave Deformität und Berstungswirbel) beschrieben. Die Einteilung der Schweregrade wird in leicht deformiert (Grad 1, ca. 20-25 % Reduktion der vorderen, mittleren und/oder hinteren Höhe und eine Reduktion der Fläche von 10-20 %), mäßig deformiert (Grad 2, ca. 25-40 % Reduktion der Höhe und eine Reduktion der Fläche von 20-40 %) und stark deformiert (Grad 3, ca. 40 % Reduktion der Höhe und der Fläche) vorgenommen.

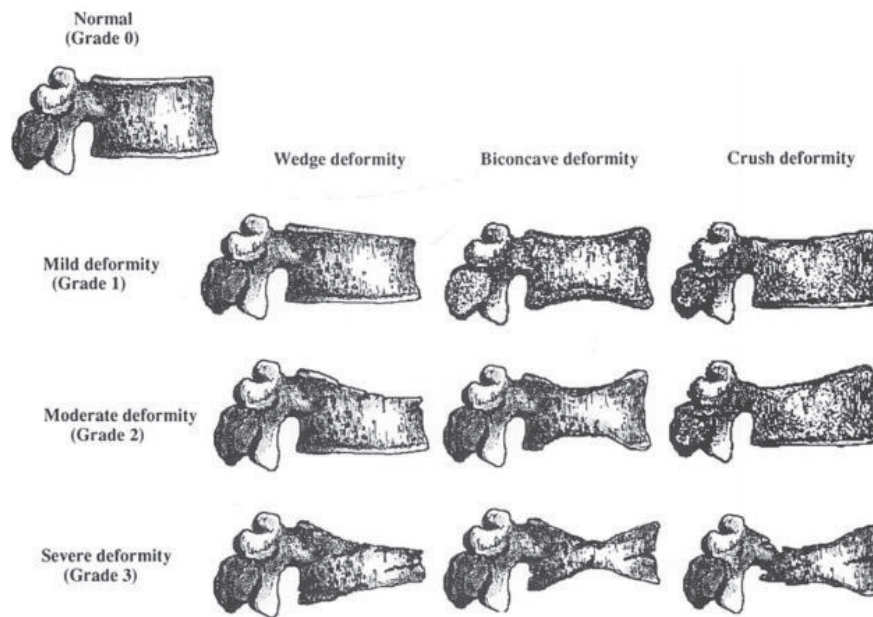


Abb. 1: Semiquantitative Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Genant [51].

Die Inter- und Intrarater-Reliabilität der Genant-Klassifikation war in eigener Analyse der Entwickler substantiell bis perfekt (Fleiss' Kappa $\kappa = 0.74$ (95 % KI 0.67, 0.81) bzw. $\kappa = 0.89$ (95 % KI 0.84, 0.94)) [51].

Die Gradeinteilung nach Genant findet ihre praxisrelevante Berücksichtigung unter anderem in der DVO-Leitlinie zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei postmenopausalen Frauen und bei Männern, sowohl zur Einschätzung der Risikokonstellation als auch Ableitung einer medikamentösen Osteoporosetherapie [60]. Zur Differentialindikation für eine operative oder konservative Therapieempfehlung ist sie aus unserer Sicht allerdings nicht geeignet.

1.3.1.2 Klassifikation nach Sugita

Sugita et al. haben in ihrer Klassifikation 2005 typische morphologische Unterschiede des frakturierten osteoporotischen Wirbelkörpers in sagittalen Röntgen-Aufnahmen herausgearbeitet. Nach den Entwicklern soll die Klassifikation eine prognostische Einschätzung bezüglich eines Wirbelkollapses bei konservativer Therapie ermöglichen [52].

In die Analyse flossen 84 Wirbelfrakturen von 73 Patienten (Durchschnittsalter 75 Jahre, Range 61 – 91 Jahre) ein. Diese wurden von zwei Untersuchern analysiert. Die Frakturen wurden in fünf Typen (Abb. 2) eingeteilt:

- a) der frontal aufgetriebene Typ, bei dem $> 50\%$ der vorderen Wand aufgetrieben sind;
- b) der bogenförmige Typ, bei dem die Vorderwand eingeklemmt und die Endplatte eingefallen ist, ähnlich dem Bug eines Schiffes;
- c) der vorwölbende Typ, bei dem $< 50\%$ der vorderen Wand des Wirbelkörpers vorsteht und als kleine Vorwölbung ohne Bruchlinie erscheint;
- d) der konkave Typ, bei dem die Endplatte einfällt und die vordere Wand intakt ist;
- e) der eingedrückte Typ, bei dem die Mitte der vorderen Wand des Wirbelkörpers eingedellt ist und die Frakturlinie sich im Wirbelkörper befindet.

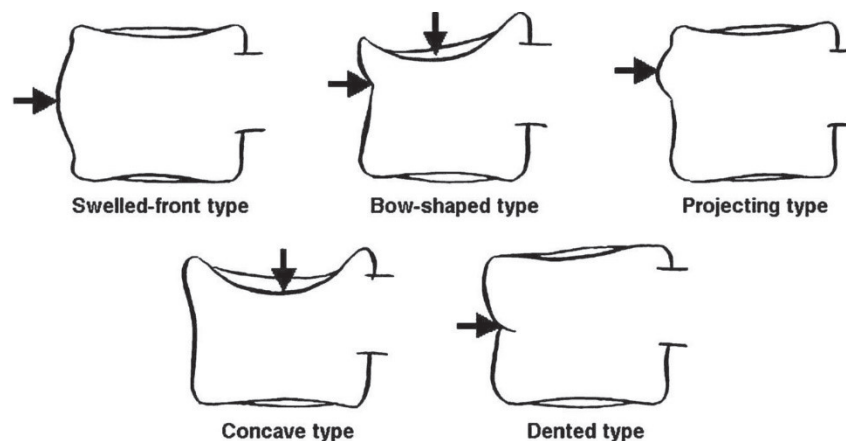


Abb. 2: Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Sugita [52].

Die Studie zeigte, dass die Frakturen vom frontal aufgetriebenen Typ, vom bogenförmigen und vorwölbenden Typ eine schlechte Prognose mit höherer Inzidenz von Vakuumpalten und einem späteren Kollaps aufzeigten. Im Gegensatz dazu hatten Frakturen vom konkaven und eingedrückten Typ eine gute Prognose. Sie kamen nahezu komplett zur Konsolidierung [52].

1.3.1.3 Klassifikation nach Wu

Nach Auswertung einer Serie von Patienten, die aufgrund von unbefriedigenden konservativen Therapieergebnissen einer OWF einer Vertebroplastie unterzogen

wurden (256 OWF/152 Patienten, Durchschnittsalter 70,2 Jahre), schlugen Wu et al. 2006 eine Klassifikation für symptomatische OWF der Brust- und Lendenwirbelsäule vor [53]. Zugrunde gelegt wurden (Funktions-) Röntgenaufnahmen vor und nach Vertebroplastie.

Unterschieden werden Typ-I-Frakturen (nur anteriore Säule des Wirbelkörpers betroffen) und Typ-II-Frakturen (anteriore und mittlere Säule betroffen). Bei Typ-II-Frakturen mit konservativer Therapie gab es eine signifikant höhere Rate an Pseudarthrosen im Vergleich zu Typ-I-Frakturen. Die Klassifikation arbeitet die Relevanz der mittleren Wirbelkörpersäule für die Stabilität heraus [53].

1.3.2 Klassifikationen osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen auf der Basis von MRT-Aufnahmen

1.3.2.1 Klassifikation nach Kanchiku

Kanchiku et al. haben 2003 die hohe diagnostische Treffsicherheit der MRT bei OWF im Vergleich zur konventionellen Röntgendiagnostik dargestellt [54]. Die Diagnoserate lag bei 98 % mittels MRT und 87 % bei der konventionellen Röntgenaufnahme [54].

Basierend auf den Veränderungen der Signalintensität und Regionen der gebrochenen Wirbel in T1-gewichteten sagittalen MRT-Bildern klassifizierten die Autoren 6 Frakturtypen: total, anterior, posterior, superior, inferior, zentral (Abb. 3).

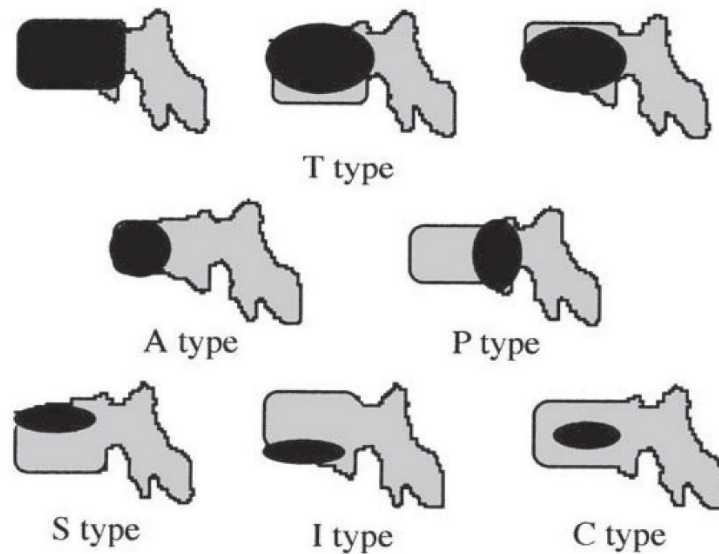


Abb. 3: Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Kanchiku [54]. Regionale Veränderungen eines frakturierten Wirbelkörpers in T1-gewichteten MRT-Aufnahmen. T - total; A - anterior; P - posterior; S - superior; I - inferior; C - zentral.

Bei den superioren und inferioren Frakturtypen wurden weder intraspinale Protrusionen noch neurologische Läsionen beobachtet. Die totalen und posterioren Typen wurden aufgrund der Hinterwandbeteiligung instabiler als die anderen Typen angesehen [54].

1.3.2.2 Klassifikation nach Tsujio/Inose

Tsujio et al. haben 2011 Röntgen- und MRT-Aufnahmen bei konservativer Therapie einer Serie von 363 OWF ausgewertet [46]. Anhand der MRT-Aufnahmen wurden 6 morphologische Frakturtypen in T1- und T2-Sequenzen unterschieden (Abb. 4). In T1 wurden zwei Frakturtypen identifiziert: Frakturen mit diffuser und lokal niedriger Signalintensität. In T2 ergaben sich vier Typen: Frakturen mit lokal und diffus hoher sowie Frakturen mit lokal und diffus niedriger Signalintensität.

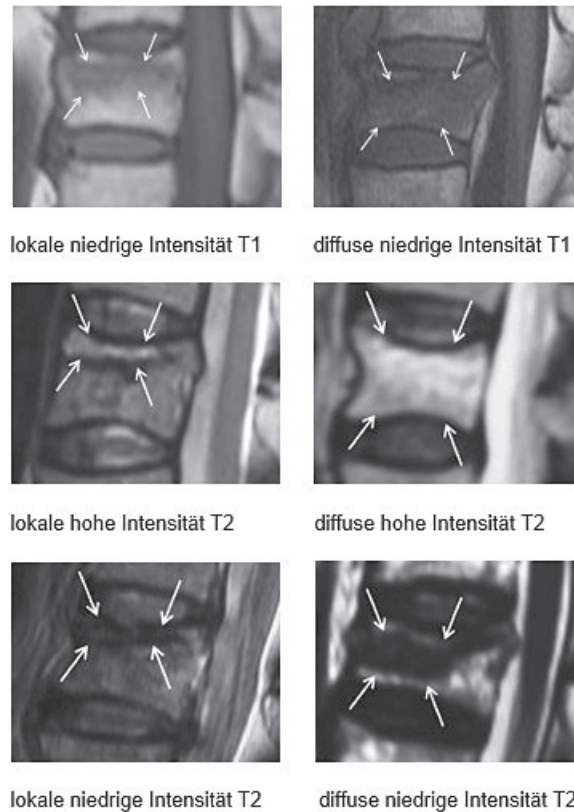


Abb. 4: Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Tsujio [46]. 6 Frakturtypen in T1- und T2-Sequenzen der MRT. Die Pfeile zeigen die Frakturlokalisierung.

Nach 6 Monaten konservativer Therapie von OWF wurden die Risiken für eine Pseudarthroseentwicklung in Abhängigkeit der 6 Frakturtypen herausgearbeitet. Ein lokal hohes und diffus niedriges Frakturmuster in T2-Sequenz der MRT erhöht das Risiko für eine Pseudarthrose. Unabhängig davon prädisponieren das Vorhandensein einer Mittelsäulenverletzung und die Lokalisation der Fraktur am thorako-lumbalen Übergang zur Pseudarthroseentwicklung [46].

Inose et al. analysierten 2020 Pseudarthrose-Risikofaktoren ein Jahr nach konservativer Therapie frischer OWF [47]. Es wurden sagittale Röntgenaufnahmen (nach 0, 12, 48 Wochen) und MRT-Bilder (nach 0, 48 Wochen, T1- und T2-Sequenzen) ausgewertet und die Klassifikation nach Tsujio modifiziert (Abb. 5).

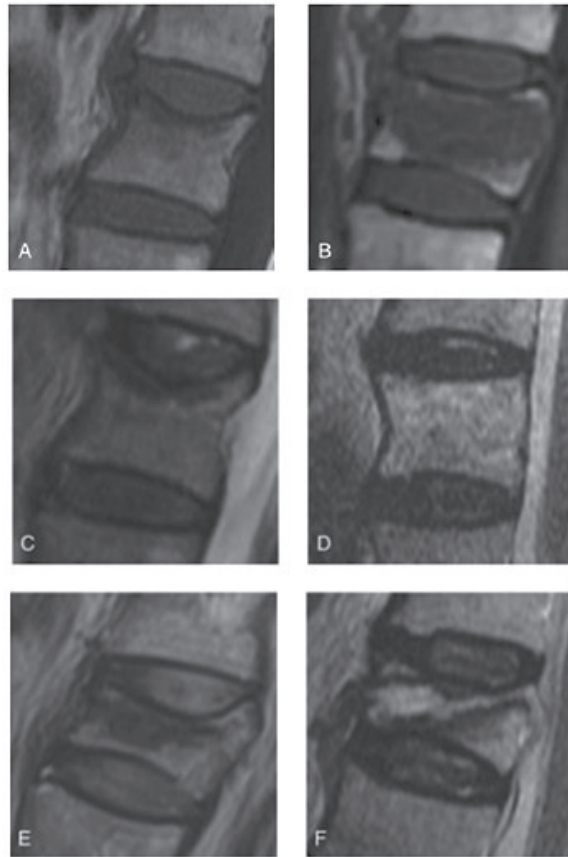


Abb. 5: Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Inose [47]. T1-Sequenz der MRT: A. lokale niedrige Intensität. B. diffuse niedrige Intensität. T2-Sequenz der MRT: C. lokale niedrige Intensität. D. diffuse hohe Intensität. E. diffuse niedrige Intensität F. Flüssigkeitsintensität.

Eine Pseudarthrose wurde in 17,5 % der Fälle diagnostiziert. Die Frakturtypen mit diffuser niedriger Intensität in der T1-Sequenz (B in Abb. 5), Flüssigkeitsintensität (F in Abb. 5) und diffuser niedriger Intensität in der T2-Sequenz (E in Abb. 5) sind die Risikofaktoren für eine Pseudarthrose bei konservativer Therapie einer OWF [47].

1.3.3 Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen auf der Basis von CT- und MRT-Aufnahmen nach Zhang

Zhang et al. haben 2021 die Veränderungen der Morphologie und Signalintensität des intervertebralen Diskus (IVD) auf dem MRT-Bild (STIR-Sequenz) zusammen mit der Endplattenverletzung auf dem CT-Bild als Verletzung des Endplatten-Diskus-Komplexes (EDK) beschrieben [55].

EDK-Verletzungen werden durch sie in die Grade 0 bis 4 eingeteilt (Abb. 6):

- Grad 0: STIR-Bild und CT-Rekonstruktion zeigen, dass die Morphologie und Signalintensität der EDK im Vergleich zu der unverletzten EDK normal sind. Der EDK ist bei Grad 0 somit nicht verletzt.
- Grad 1: Das STIR-Bild zeigt eine diffuse oder lokale Signalerhöhung im IVD und es ist kein Anzeichen einer Endplattenfraktur im CT zu erkennen. Der EDK zeigt ein intradiskales Ödem oder eine Einblutung im IVD bei intakter Endplatte.
- Grad 2: Das STIR-Bild zeigt eine diffuse oder lokale Signalerhöhung im IVD. Im CT imponiert eine lineare Fraktur der Endplatte (EP) ohne Verschiebung oder Kollaps der EP und ohne EP-Sklerose oder Subendplattenerguss.
- Grad 3: Zusätzlich zu den Veränderungen des zweiten Grades zeigen die CT-Bilder eine Verschiebung der EP, einen Kollaps, eine Knochen-sklerose der Subendplatte, einen Subendplattenerguss und ein Teil des IVD prolapiert in den WK.
- Grad 4: Veränderungen des Grades 2 oder 3, kompliziert mit einer Hinterwandfraktur.

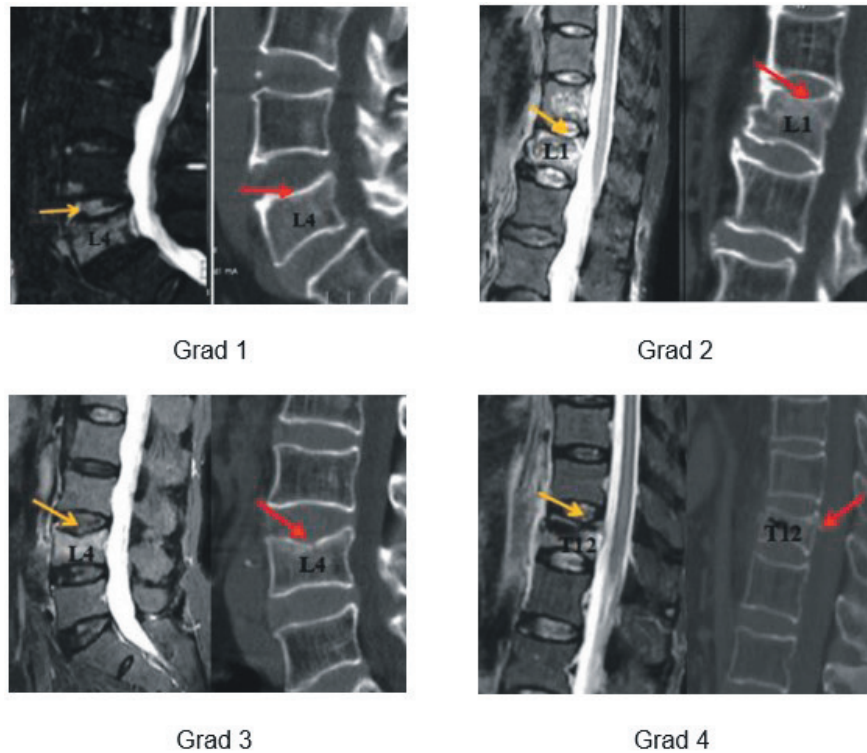


Abb. 6: Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen nach Zhang [55]. Grad 1 - 4 Verletzungen des Endplatten-Diskus-Komplexes. Jeweils sind MRT-STIR- und CT-Bilder gepaart dargestellt. Der gelbe Pfeil zeigt einen intervertebralen Diskus mit Signalerhöhung im STIR, der rote Pfeil zeigt den entsprechenden Typ der Endplattenfraktur im CT bzw. keinen Nachweis einer Endplattenfraktur in Grad 1. L1, L4, T12 – die Bezeichnung des frakturierten Wirbelkörpers.

Die Rate der OWF kombiniert mit Bandscheiben-Verletzungen beträgt laut dieser Studie 67 %. Die schwerwiegenden OWF-Formen (Grad 2, 3, 4 nach Zhang) waren am häufigsten im Bereich des thorakolumbalen Übergangs zu sehen. Die schwere Osteoporose (T-Score $\leq -3,5$) steht in Verbindung mit schweren Formen von EDK-Verletzungen (Grad 3, 4 nach Zhang) [55].

1.3.4 Klassifikationen osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen auf der Basis von klinischen Symptomen und radiologischen Verfahren

1.3.4.1 AOSpine Klassifikation

2013 wurde durch die „AOSpine Classification Group“ eine neue Klassifikation entwickelt [56, 62]. Dabei wurden die Frakturmorphologie, die neurologische Symptomatik und relevante patientenspezifische Modifikatoren berücksichtigt. Die Klassifikation ist für akute traumatische Wirbelkörperfrakturen erarbeitet worden.

Die AOSpine Klassifikation unterscheidet drei morphologische Grundtypen (Abb. 7): Typ-A sind knöcherne Kompressionsverletzungen der Wirbelsäule; Typ-B zeigt eine Zerreißung entweder der hinteren oder vorderen Zuggurtung; Typ-C sind translatorisch instabile Verletzungen.

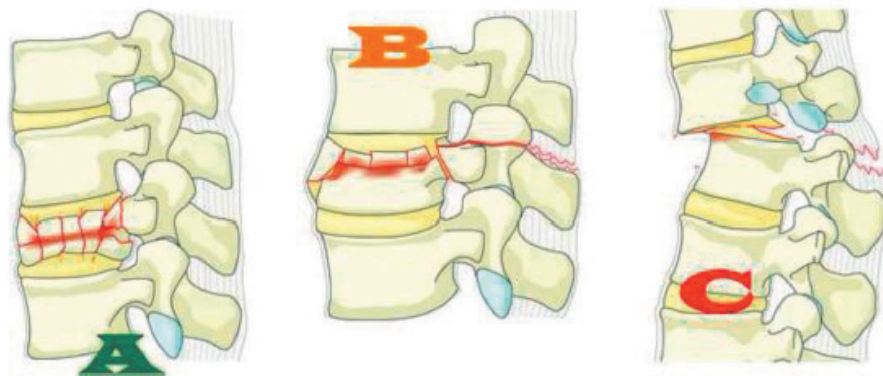


Abb. 7: AOSpine Klassifikation [56]. A - Kompressionsverletzung. Versagen anteriorer Strukturen unter Kompression bei intaktem Zugband; B – Distraktionsverletzung. Versagen der posterioren oder anterioren Zuggurtung; C – Translationsverletzung. Versagen der hinteren und vorderen Zuggurtung mit translatorischer Instabilität.

Die Osteoporose gilt in der AOSpine Klassifikation lediglich als ein fall-spezifischer klinischer Modifikator, der im Falle einer uneindeutigen Therapieempfehlung die Entscheidung beeinflussen kann [56].

1.3.4.2 OF-Klassifikation

Die „Osteoporotische Frakturen“-Klassifikation (OF) wurde durch die Arbeitsgruppe Osteoporotische Frakturen der Sektion Wirbelsäule der DGOU im Jahr 2013 erstellt. Hierzu wurden Daten von 707 Patienten aus 16 verschiedenen Kliniken gesammelt und ausgewertet [61]. Die Klassifikation berücksichtigt typische morphologische Verletzungsmuster und die biomechanische Stabilität der Frakturen. Die aufgestellte OF-Klassifikation besteht aus 5 Gruppen und basiert auf zur Verfügung stehenden radiologischen Untersuchungen (Röntgen, CT, MRT) [63]. Um reproduzierbare Behandlungsempfehlungen zu erhalten, sollen zur Einschätzung des OF-Typs in jedem Falle diagnostische Standardanforderungen konsequent eingehalten werden: konventionelles Röntgen in zwei Ebenen (wann immer möglich in stehender Position), MRT, welche auch eine STIR-Sequenz beinhaltet und CT [64, 65].

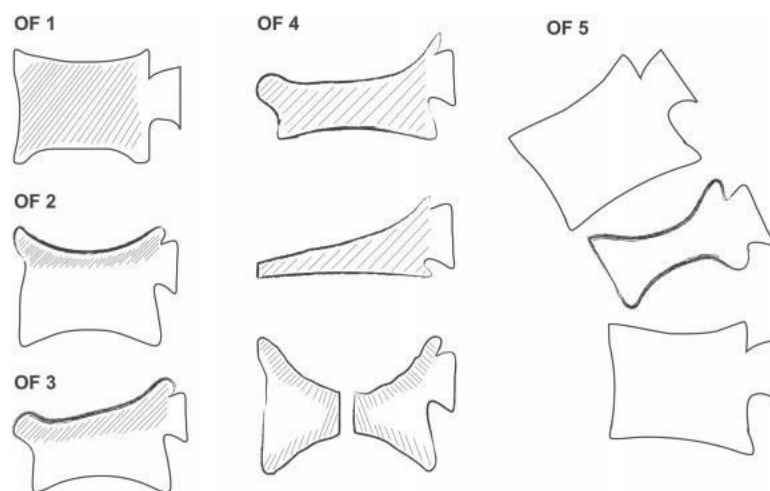


Abb. 8: OF-Klassifikation [57]. Schematische Darstellung der 5 Fraktur-Typen der OF-Klassifikation.

OF1: Keine Wirbelkörper-Deformation (lediglich Wirbelkörperödem in MRT-STIR). Dieser Typ ist selten. Diese stabile Verletzung ist nur in der MRT-STIR-Sequenz erkennbar. Röntgenaufnahmen und CT-Scan zeigen keine Deformation des Wirbelkörpers.

OF2: Deformation ohne oder mit allenfalls nur geringer Beteiligung der hinteren Wand ($< 1/5$). Dieser Frakturtyp betrifft nur eine Endplatte (Impressionsfraktur). OF2-Frakturen sind stabile Verletzungen.

OF3: Deformation mit deutlicher Beteiligung der hinteren Wand ($> 1/5$). Dieser Frakturtyp betrifft nur eine Endplatte, zeigt aber eine deutliche Beteiligung der Vorder- und Hinterwand (inkomplette Berstungsfraktur). Die Fraktur kann instabil sein und der Wirbelkörper mit der Zeit weiter kollabieren.

OF4: Diese Gruppe umfasst drei verschiedene Frakturtypen: Verlust der Wirbelkörperrahmenstruktur (a), Wirbelkörperkollaps (b) oder Kneifzangenfraktur (c).

- a) Bei einem Verlust der Wirbelkörperrahmenstruktur sind beide Endplatten und die hintere Wand betroffen (komplette Berstungsfraktur).
- b) Ein Wirbelkörperkollaps wird typischerweise nach fehlgeschlagener konservativer Behandlung gesehen und kann als sog. Plattwirbel erscheinen.
- c) Kneifzangenfrakturen betreffen beide Endplatten und können zu einer starken Deformierung des Wirbelkörpers führen.

OF4 sind instabile Frakturen. Oft sind intravertebrale Vakuumphänomene sichtbar.

OF5: Distraktions- oder Rotationsverletzungen.

Diese Gruppe ist selten, zeigt aber eine erhebliche Instabilität. Die Verletzung umfasst nicht nur die vordere Säule, sondern auch den hinteren knöchernen und ligamentären Komplex. OF5-Verletzungen können entweder direkt durch ein Trauma oder auch durch fortschreitendes Sintern und Kollabieren eines OF-Typs 4 entstehen.

Die Frakturtypen OF2, OF3 und OF4 machen entsprechend der Analyse der Arbeitsgruppe Osteoporotische Frakturen der DGOU 95 % aller Frakturen aus [66].

Die Interrater-Reliabilität der OF-Klassifikation wurde durch die o. g. Arbeitsgruppe anhand von 146 Frakturen durch 6 Rater evaluiert [66]. In dieser Untersuchung ergab sich eine substantielle Interrater-Reliabilität (Fleiss' Kappa $\kappa = 0.63$).

Ein zusätzlich entwickelter OF-Score soll eine Verknüpfung zwischen Klassifikation und Behandlungsempfehlung ermöglichen und unterstützt die grund-

sätzliche Entscheidungsfindung zwischen konservativer und operativer Therapie. Der OF-Score berücksichtigt neben der Morphologie (OF-Typen 1 – 5) die Parameter Knochendichte, Dynamik der Sinterung, Schmerz (unter Analgesie), Neurologie (frakturbedingt), Mobilisation (unter Analgesie) und Gesundheitszustand [65]. Im Score werden je nach OF-Typ zwei Punkte (OF1) bis 10 Punkte (OF5) im Ranking vergeben. Insofern ist im Hinblick auf eine Therapieentscheidung anhand eines Punkteschemas in jedem Falle die valide Einstufung der Morphologie relevant. Leitet sich anhand des OF-Scores eine Operationsindikation ab, so ergibt sich abhängig von der Morphologie auch ein unterschiedliches Vorgehen [64]. Stehen mehrere Frakturen zur Disposition, so soll der Score der OF-Klassifikation für jede einzelne Fraktur angewendet werden, um eine erste Grundlage für den weiteren Therapieansatz zu erhalten [64].

Blatter et al. [64] geben unter Berücksichtigung der OF-Morphologie folgende Empfehlungen: Bei den Typen OF1 und OF2 wird bei vorliegender OP-Indikation (abhängig vom OF-Score) eine Zementaugmentation (Kyphoplastie, Vertebroplastie) empfohlen. Beim Typ OF3 wird eine dorsale Instrumentierung mit optionaler Zementaugmentation des betroffenen Wirbelkörpers angeregt. Bei Typ OF4 wird bei Verlust der Rahmenstruktur eine dorsale Instrumentierung mit Zementaugmentation des betroffenen Wirbelkörpers bzw. die langstreckige dorsale Instrumentierung empfohlen. Bei einem Wirbelkörperkollaps wird die langstreckige dorsale Instrumentierung sowie in Fällen mit reponiblem Wirbelkörperkollaps die dorsale Instrumentierung mit Zementaugmentation des betroffenen Wirbelkörpers oder die dorsale Instrumentierung mit zusätzlicher ventraler Rekonstruktion angeraten. Bei Kneifzangenfrakturen sollte eine dorsale Instrumentierung mit optionaler ventraler Rekonstruktion erfolgen. Beim Typ OF5 ergibt sich die Indikation für eine langstreckige dorsale Instrumentierung. Eine kurzstreckige dorsale Instrumentierung wird lediglich bei isoliertem dorsalen Zuggurtungsverlust bzw. nur in Kombination mit einer ventralen Rekonstruktion angeraten. Bei den obigen Ausführungen bedeutet „langstreckige dorsale Instrumentierung“ die Instrumentierung von mindestens zwei Wirbelkörpern oberhalb und zwei Wirbelkörpern unterhalb des gebrochenen Indexwirbels.

Die OF-Klassifikation kommt momentan in den orthopädisch-unfallchirurgischen Kliniken in Umlauf und muss sich in der täglichen Praxis bewähren. Bei

entsprechender Konsequenz ihrer Anwendung einschließlich des OF-Scores werden sich reproduzierbare Behandlungsempfehlungen ableiten lassen.

Abschließend sind in der Tabelle 1 die oben genannten Klassifikationen der OWF dargestellt.

Tab. 1: Übersicht der Klassifikationen für osteoporotische Wirbelkörperfrakturen, Teil 1

Klassifikation	Methodik	Beschreibung	Interrater-Reliabilität	Intrarater-Reliabilität
Genant et al. 1993 [51]	Retrospektiv, 2 Rater, 57 Frauen mit OWF; Röntgenaufnahmen. Osteoporosenachweis mittels Single-Photon-Absorptiometrie am Calcaneus	Unterteilung OWF in drei Grade bei visueller Inspektion semiquantitativ anhand Deformitätsgrad der Wirbelkörper	$\kappa = 0.74$ (95 % KI 0.67, 0.81)	$\kappa = 0.89$ (95 % KI 0.84, 0.94)
Sugita et al. 2005 [52]	Retrospektiv, 2 Rater, 84 OWF bei 73 Patienten (Durchschnittsalter 75 Jahre); sagittale Röntgenaufnahmen. BMD Messung am distalen Radius	5 Frakturtypen basieren auf der äußeren Form OWF im Röntgen. Drei davon sind für einen Wirbelkollaps prädisponiert	Nicht publiziert	Nicht publiziert
Tsujo et al. 2011 [46]	Prospektiv, 3 Rater, 363 OWF bei 350 Patienten (75,9 Jahre, Range 65-93) Röntgen (nach 0, 6 Monaten) und MRT (nach 0, 6 Monaten, T1- und T2-Sequenzen). Keine Angaben über Osteoporosenachweis	6 Frakturtypen gestützt auf MRT. Frakturen in T2-Sequenz MRT als lokale hohe oder diffuse niedrige Signalintensität sind Risikofaktoren für Pseudarthrose (13,5 %)	Nicht publiziert	Nicht publiziert
Modifiziert Inose et al. 2020 [47]	Prospektiv, 2 Rater, 166 Frauen (65-85 Jahre) mit 166 OWF. Röntgen (nach 0, 12, 48 Wochen) und MRT (nach 0, 48 Wochen, T1- und T2-Sequenzen). Keine Angaben über Osteoporosenachweis	Frakturmorphologie in MRT T1-Sequenz diffuse niedrige Intensität, T2-Sequenz Flüssigkeitsintensität oder diffuse niedrige Intensität sind Risikofaktoren für Pseudarthrose (17,5 %)	Nicht publiziert	Nicht publiziert

Tab. 1: Übersicht der Klassifikationen für osteoporotische Wirbelkörperfrakturen, Teil 2

Klassifikation	Methodik	Beschreibung	Interrater-Reliabilität	Intrarater-Reliabilität
Wu et al. 2006 [53]	Retrospektiv, 256 subakute und chronische OWF nach unbefriedigender konservativer Therapie ($2,7 \pm 1,3$ Monaten), bei 152 Patienten (139 Frauen, 13 Männer) Durchschnittsalter 70,2 Jahre (Range 47-89). (Funktion)-Röntgenaufnahmen. Keine Angaben über Osteoporosenachweis	Zwei Frakturtypen: Typ I ohne und Typ II mit Beteiligung der mittleren Säule des Wirbelkörpers. Typ II hat eine höhere Inzidenz von Pseudarthrose im Vergleich zu Typ I	Nicht publiziert	Nicht publiziert
Kanchiku et al. 2003 [54]	Retrospektiv, keine Angabe über Rater, 95 OWF bei 34 Patienten (Durchschnittsalter 82 Jahre (Range 61-95)), Röntgen, MRT T1, T2. Keine Angaben über Osteoporosenachweis	6 Frakturtypen basieren auf der T1-Sequenz MRT. Unterscheidung stabiler und instabiler Typen anhand der morphologischen Parameter in MRT	Nicht publiziert	Nicht publiziert
Zhang et al. 2021 [55]	Retrospektiv, 2 Rater, 50 zufällige OWF aus 479 Patienten mit OWF (120 Männer und 359 Frauen), Durchschnittsalter $71,8 \pm 6,9$ Jahre. Osteoporose bestätigt durch DXA. Röntgen, CT, MRT einschl. STIR	Vier Grade der simultanen Verletzungen der Bandscheibe (STIR) und Endplattenfraktur (CT). Schwerwiegende Formen korrelieren mit schwerer Osteoporose und Frakturiokalisation	$\kappa = 0.82$	$\kappa = 0.86$

Tab. 1: Übersicht der Klassifikationen für osteoporotische Wirbelkörperfrakturen, Teil 3

Klassifikation	Methodik	Beschreibung	Interrater-Reliabilität	Intrarater-Reliabilität
AO Spine 2013 [56]	Retrospektiv, 9 Rater, 110 Fälle akuter traumatischer Wirbelkörperfrakturen, Röntgen, CT, MRT	Drei morphologische Grundtypen der Fraktur, mehrere Subtypen. Osteoporose bzw. OWF ist lediglich ein fallspezifischer klinischer Modifikator	$\kappa = 0.64$ (95 % KI 0.34, 1.0)	$\kappa = 0.77$ (95 % KI 0.6, 0.97)
OF Klassifikation 2013 [57]	Retrospektiv, 6 Rater, 146 OWF, keine Angaben über Osteoporosenachweis. Röntgen, CT, MRT einschl. STIR	5 Frakturtypen OWF berücksichtigen morphologische Parameter und die biomechanische Stabilität anhand Bilddiagnostik. 95 % der Frakturen sind Typ OF2, OF3 oder OF4	$\kappa = 0.63$	Nicht publiziert

2. Ziel der Arbeit

2013 wurde durch die Arbeitsgruppe Osteoporotische Frakturen der Sektion Wirbelsäule der DGOU die OF-Klassifikation mit fünf Typen publiziert. Die Interrater-Reliabilität wurde durch diese Sektion evaluiert. Dabei zeigte sich eine substantielle Übereinstimmung (Fleiss' Kappa $\kappa = 0.63$) [66]. Weitere Daten zur Interrater-Reliabilität oder Daten zur Intrarater-Reliabilität sind noch nicht publiziert worden. Vor Beginn der hier vorliegenden Studie wurde die Klassifikation in der Klinik für Unfallchirurgie der Universitätsmedizin Magdeburg etwa 1,5 Jahre zuvor eingeführt und war den ärztlichen Kollegen somit geläufig. Zur Orientierung in der täglichen Routine steht diese den ärztlichen Mitarbeitern in Bild und Wort im Taschenkittelformat zur Verfügung. In der Hauptfragestellung der Dissertation sollen die Interrater-Reliabilität und die Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation am hiesigen überregionalen Traumazentrum überprüft werden. Drei Assistenzärzte und drei Oberärzte der Klinik fungieren als Rater.

In der Nebenfragestellung soll hinsichtlich der Schnittbilddiagnostik die Wertigkeit der alleinigen MRT versus CT und MRT nach zuvor erfolgtem Röntgen evaluiert werden. Die Morphologie der Frakturtypen ist mit dem konventionellen Röntgenbild nicht komplett erfassbar. Daraus ergibt sich die Forderung nach additiven Schnittbildverfahren. Im klinischen Alltag wird die MRT-Diagnostik vordergründig zur Bestimmung des Frakturalters (STIR-Sequenz) bzw. zur Detektion von diskoligamentären Verletzungen sowie zur intraspinalen Abklärung eingesetzt. Die CT wird in erster Linie zur Beurteilung der Frakturmorphologie herangezogen. Die Sektion Wirbelsäule der DGOU rät in ihren allgemeinen Empfehlungen ein konventionelles Röntgen der betroffenen Region in beiden Standardebenen (wann immer möglich in stehender Position), MRT der gesamten thorakolumbalen Wirbelsäule, welche auch eine STIR-Sequenz beinhaltet und die CT der betroffenen Region, einschließlich einer sagittalen Rekonstruktion, um Klassifikation und Score zuverlässig anwenden zu können [63]. Aus Gründen der Effizienz stellt sich die Frage, ob die MRT ggf. ausreichende Informationen zur Frakturmorphologie wie die CT liefern kann, um die Fraktur einer der fünf Typen der OF-Klassifikation zuzuordnen zu können. Dies soll in einer Nebenfragestellung untersucht werden. Es soll der Frage nachgegangen werden, ob die Kombination aus konventionellem Röntgen und

MRT allein gegebenenfalls ausreichende Informationen liefert, um die Frakturmorphologie sicher zu bestimmen.

3. Material und Methoden

3.1 Studienkohorte

Datengrundlage für die Studie war ein retrospektiv analysierter Pool einer konsekutiven Serie von 108 Patientinnen im Alter von ≥ 50 Jahren, welche aufgrund einer vermeintlichen frischen OWF stationär in der Klinik für Unfallchirurgie der Universitätsmedizin Magdeburg betreut worden waren und eine bildgebende Diagnostik der OWF im Rahmen der klinischen Routine erhielten (Abb. 9). Als Einschlusskriterien für die Bilddatenauswahl wurden definiert: Frauen, Lebensalter ≥ 50 Jahre, komplette Bilddiagnostik (konventionelles Röntgen in zwei Ebenen, CT, MRT einschließlich STIR-Sequenz), kein bzw. ein niederenergetisches Trauma (Gelegenheitstrauma oder Sturz aus Standhöhe), Osteoporosenachweis entsprechend der Hounsfield units (HU) im CT. Alle bildgebenden Untersuchungen wurden innerhalb von zwei Wochen nach der stationären Aufnahme durchgeführt. Ausschlusskriterien waren: Männer, Lebensalter < 50 Jahre, unvollständige Diagnostik entsprechend oben aufgeführter Kriterien, Hochrasanztraumen, pathologische Frakturen im Zusammenhang mit Tumoren. Entsprechend der Ein- und Ausschlusskriterien wurden final Bilddaten von 54 Patientinnen (Durchschnittsalter $80,9 \pm 8,6$ Jahren) mit OWF in die Reliabilitätsanalyse einbezogen. Für die Auswertung wurde die Software CHILI Web und CHILI Diagnost in der Version 4.38.2 (NEXUS/CHILI GmbH) verwendet. In Vorbereitung der Reliabilitätsanalyse erfolgte eine Pseudonymisierung der personenbezogenen Daten. So waren auch auf dem Bildmaterial die persönlichen Daten der Patientinnen nicht erkenntlich.

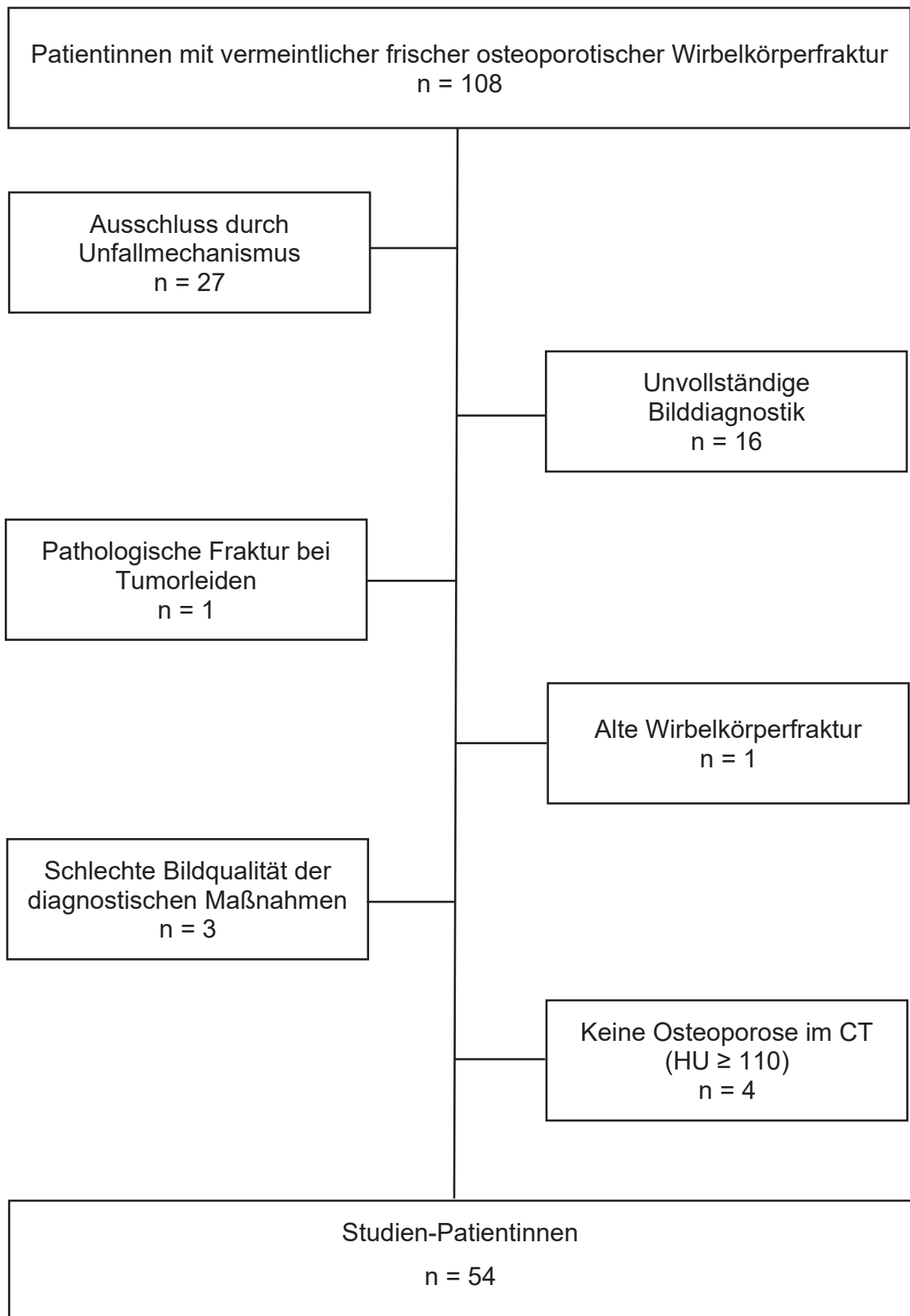


Abb. 9: Flussdiagramm der Patientenauswahl entsprechend der Ein- und Ausschlusskriterien.

Insgesamt wurden bei den 54 Patientinnen 67 frische OWF festgestellt (Abb. 10).
17 % der 54 Patientinnen zeigten multiple frische OWF.

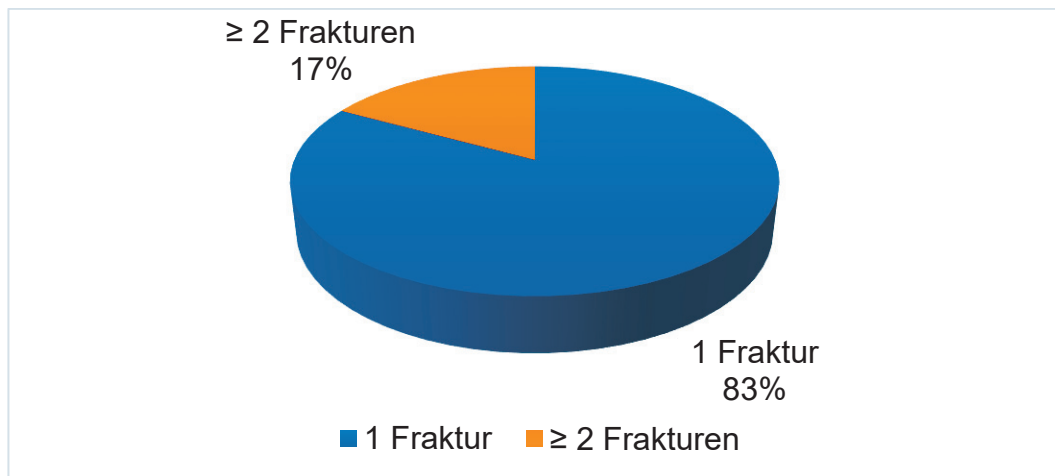


Abb. 10: Frakturverteilung (%) bei den eingeschlossenen 54 Patientinnen nach Anzahl der frakturierten Wirbelkörper.

Am häufigsten wurden OWF im Bereich des thorakolumbalen Übergangs gesehen (Abb. 11).

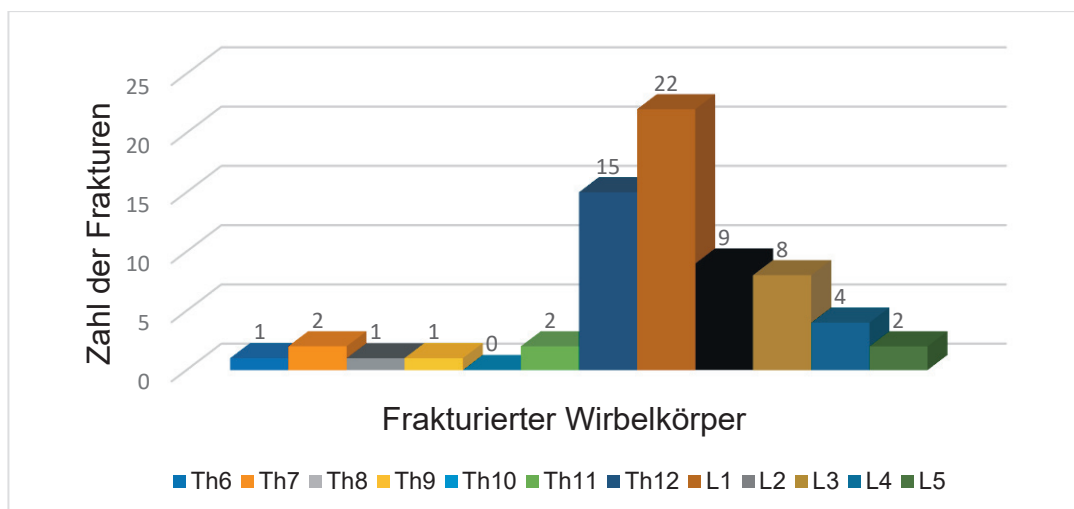


Abb. 11: Frakturverteilung nach Lokalisation der Wirbelkörperfraktur.

Pro Patientin war durch die Rater eine OWF morphologisch einzuschätzen. Bei Patientinnen mit mehreren OWF wurde zuvor durch den Studienleiter festgelegt, welche OWF zu bewerten ist.

3.2 Osteoporosenachweis

Die routinemäßige Bestimmung der Knochendichte mittels Dualer Röntgen-Absorptiometrie (DXA) bei allen Patienten mit Verdacht auf eine osteoporose-assoziierte Fraktur konnte in der Klinik bislang noch nicht allumfassend realisiert werden. Der Osteoporosenachweis erfolgte deshalb für diese Studie mittels Bestimmung der Hounsfield-Einheiten (HU) im CT (Abb. 12). Wenn eine Fraktur oder Sklerose in LWK 1 (n = 30) eine zuverlässige Messung verhinderte, wurde ein geeigneter Nachbarwirbel (BWK 11 n = 1; BWK 12 n = 9; LWK 2 n = 19; LWK 4 n = 1) zur Bestimmung der Knochendichte verwendet. Eine Dichte < 110 HU wurde als Maß für eine vorliegende Osteoporose definiert. Laut Literatur entspricht ein Wert von 110 HU im CT mit hoher Sensitivität und Spezifität einem T-Score von -2,5 in der DXA [37, 38]. Der mittlere Wert der Dichte betrug 68,3 HU (SD $\pm$ 22,68 HU) in der hier vorgestellten Patientengruppe. Scan-Parameter waren eine Röhrenspannung von 120 kV mit Modulation des Röhrenstroms (Aquilion, Canon Medical Systems, Neuss, Deutschland). Die Bewertung der HU wurde in axialen 0,5-mm oder 1-mm Schichten in drei verschiedenen Wirbelkörperniveaus durchgeführt (Infinitt, Infinitt Healthcare Europe, Frankfurt am Main, Deutschland).

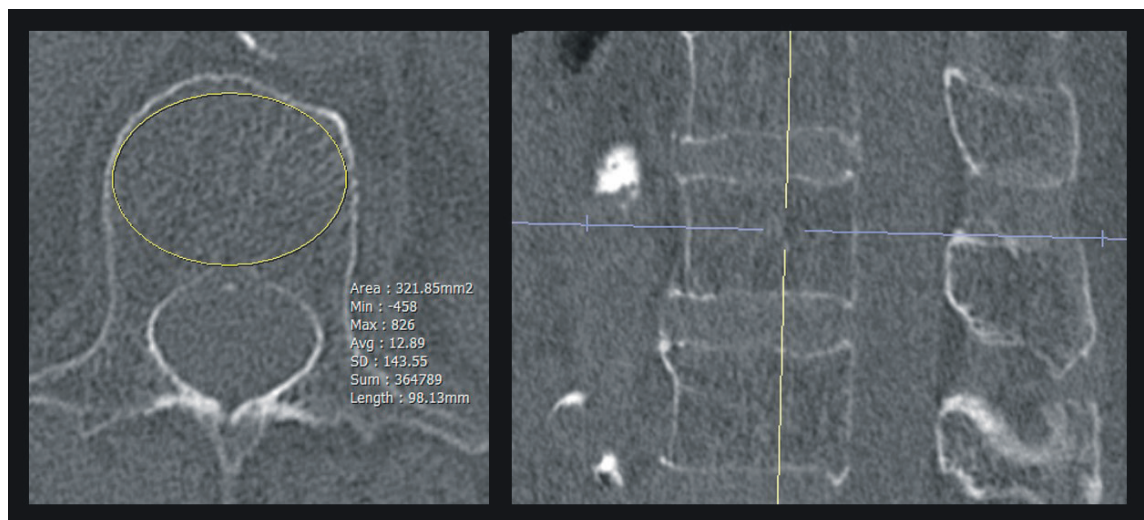


Abb. 12: Messung von Hounsfield-Einheiten (HU) in LWK 1 zum Osteoporosenachweis (HU < 110).

3.3 Rater

Die Bewertung des Bildmaterials erfolgte durch insgesamt 6 Rater. Diese hatten einen unterschiedlichen Ausbildungsstand (Assistenzarzt in der Weiterbildung Orthopädie und Unfallchirurgie n = 3, Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie mit Zusatz-Weiterbildung spezielle Unfallchirurgie n = 3). Sämtliche Rater kamen aus der gleichen unfallchirurgischen Universitätsklinik. Die Assistenzärzte befanden sich im fortgeschrittenen Ausbildungsstand zum Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie. Bei den Fachärzten handelte es sich um drei Oberärzte der Klinik.

3.4 Durchführung der Reliabilitätsanalyse

Zur Bestimmung der Interrater-Reliabilität wurden die Bilder von den 6 Ratern separat bewertet. Als Hilfsmittel lag ihnen die OF-Klassifikation sowohl als Schemaabbildung (Anlage 2) als auch in tabellarischer Form vor (Anlage 3). Auch bei multiplen frischen OWF war pro Patientin jeweils nur eine Wirbelkörperfraktur durch die Rater zu klassifizieren, um eine Unabhängigkeit der Stichprobenelemente zu sichern. Die zu klassifizierende OWF wurde im Vorfeld einheitlich für alle Rater vom Studienleiter festgelegt und auf dem Bildmaterial mit einem Pfeil markiert. Die Bildserien der einzelnen Patientinnen wurden in zufälliger Reihenfolge präsentiert. Die Auswertung erfolgte durch die Rater persönlich in schriftlicher Form auf einem vorgefertigten Bogen (Anlage 4). Zwei Monate später erfolgte die Beurteilung des gleichen Bildmaterials in neuer Reihenfolge durch dieselben Rater erneut zur Bestimmung der Intrarater-Reliabilität. Während der gesamten Auswertung erfolgte eine Kontrolle des korrekten Ablaufs durch den Studienleiter oder einen Vertreter.

Zur Bearbeitung der aufgestellten Nebenfragestellung wurde den Ratern das Bildmaterial in der Reihenfolge konventionelles Röntgen – MRT – CT vorgelegt und sowohl nach der Sichtung von Röntgenbildern und MRT als auch nach Sichtung von Röntgenbildern, MRT und nachfolgend zusätzlich CT jeweils eine diagnostische Aussage abverlangt. Anschließend erfolgte der Vergleich der diagnostischen Aussagen nach Röntgen/MRT vs. Röntgen/MRT/CT.

3.5 Statistik

3.5.1 Einführung in die Reliabilitätsanalyse

Die Interrater-Reliabilität bezeichnet die Reliabilität von Messungen oder Bewertungen zwischen verschiedenen Ratern. Die Intrarater-Reliabilität gibt Auskunft über die Übereinstimmung oder Wiederholbarkeit von Messungen eines Raters zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten.

3.5.2 Auswahl statistischer Testverfahren und Berechnungen

Alle Analysen wurden anhand der Software SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) und bewusst zum vollen Signifikanzniveau durchgeführt.

Zur Bestimmung der Interrater-Reliabilität bei 6 Ratern wird der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) angewandt [67]. Die Bestimmung der Intrarater-Reliabilität mit genau zwei Messpunkten erfolgt durch die Nutzung der gewichteten Cohen's Kappa-Koeffizienten (κ) [77, 78]. Dabei wird ein gewichtetes Kappa mit quadratischen Gewichten nach Fleiss/Cohen benutzt [79]. Über alle Rater wird ein Overall-Schätzer als gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient angegeben. Die Interpretation der Parameter erfolgte nach Cicchetti (Tab. 2) [68].

Tab. 2: Die Interpretation der Reliabilitätsparameter nach Cicchetti [68], Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC), gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient (κ).

Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC), gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient (κ)	Reliabilität
< 0,4	Schlecht
0,4 – 0,59	Moderat
0,6 – 0,74	Substantiell
0,75 – 1,0	Perfekt

Die absoluten Häufigkeiten der Übereinstimmungen/Abweichungen zwischen den Untersuchungszeitpunkten je Rater wurden mittels einer Heatmap visualisiert.

3.5.3 Fallzahlplanung

Zur Fallzahlplanung wird von der Nullhypothese ausgegangen, dass es keinen Unterschied zwischen den Beurteilungen der Rater gibt. Für die vorliegende Untersuchung sollte zum Nachweis einer guten Interrater-Reliabilität ausgehend von Cicchetti und Koo/Li ein ICC von 0,75 erreicht werden [67, 68]. Mit einem Signifikanzniveau von 5 % und einer Power von 80 % benötigt diese Studie bei 6 Ratern eine Fallzahl von $n = 50$ Patienten. Für die vorliegende Untersuchung wurde zum Nachweis einer guten Intrarater-Reliabilität von einem Kappa von 0,8 ausgegangen. Bei einem Signifikanzniveau von 5 %, einer Power von 80 % sowie einem Anteil von 70 % positiven Ratings, werden nach den Angaben von Sim und Wright 48 Patienten benötigt [69].

3.6 Ethik-Votum und Deutsches Register Klinischer Studien

Die Studie wurde mit dem Koordinierungszentrum für Klinische Studien Magdeburg geplant und erhielt von der Ethik-Kommission der Otto-von-Guericke-Universität an der Medizinischen Fakultät und am Universitätsklinikum Magdeburg A.ö.R. eine zustimmende Bewertung (Nr. 93/20, Anlage 1). Sie wird im Deutschen Register Klinischer Studien (DRKS) unter DRKS00023951 geführt.

4. Ergebnisse

4.1 Interrater-Reliabilität

Die Interrater-Reliabilität war bei zusammenhängender Auswertung der Röntgen- und MRT-Bilder ohne Kenntnis der CT-Bilder nach den Kriterien von Cicchetti moderat (Schätzer ICC = 0.52 [0.41; 0.64], Tab. 3). Bei zusammenhängender Auswertung der Röntgen-, MRT- und CT-Bilder war die Interrater-Reliabilität besser (ICC = 0.62 [0.51; 0.72], Tab. 3), und nach Cicchetti als substantiell zu definieren. Die sich überschneidenden Konfidenzintervalle zeigen an, dass der Unterschied nicht signifikant war.

Tab. 3: Interrater-Reliabilität der OF-Klassifikation. Interrater-Reliabilität der 6 Rater bei Einschätzung von 54 Frakturen bei 54 Patientinnen. ICC und 95 % KI.

Gruppe	Intraklassen-Korrelationskoeffizient, ICC (95 % KI)
Röntgen + MRT	0.52 (0.41, 0.64)
Röntgen + MRT + CT	0.62 (0.51, 0.72)

4.2 Intrarater-Reliabilität

Die Intrarater-Reliabilität war bei Auswertung nur der Röntgen- und MRT-Bilder als substantiell einzuschätzen (Overall-Schätzer gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient = 0.64 [0.57; 0.71], Tab. 5). Bei zusammenfassender Bewertung von Röntgen, MRT und CT war die Intrarater-Reliabilität ebenfalls substantiell (Overall-Schätzer gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient = 0.74 [0.67; 0.80], Tab. 5) und besser als bei alleiniger Kenntnis von nur Röntgen und MRT, wenngleich der Unterschied nicht als signifikant einzuschätzen ist. Stand den Ratern das komplette Bildmaterial zu Verfügung, so bewerteten sie nach zwei Monaten mit hoher Übereinstimmung. Bezogen sie sich nur auf die konventionellen Röntgenbilder und das MRT, war die Einschätzung zwei Monate später bei vier von sechs Ratern allerdings deutlich weniger deckungsgleich. Lediglich OA3 (gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient = 0.60 bzw. 0.59) und AA3 (gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient = 0.65 bzw. 0.63) zeigen fast identische Kappa Werte (κ) (Vergleich Tab. 4 und Tab. 5). Die Werte von OA1 (gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient = 0.65 bzw. 0.76), OA2 (gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient = 0.70 bzw. 0.80), AA1 (gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient = 0.62 bzw. 0.76)

sowie AA2 (gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient = 0.54 bzw. 0.71) zeigen eine deutliche Verbesserung, wenngleich sie substantiell bleiben.

Tab. 4: Die Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation bei der Auswertung Röntgen + MRT.

	Gewichteter Kappa-Koeffizient (κ) mit 95 % Konfidenzintervall		
Rater	Wert	Untergrenze	Obergrenze
OA1	0.65	0.48	0.82
OA2	0.70	0.55	0.85
OA3	0.60	0.41	0.78
AA1	0.62	0.44	0.80
AA2	0.54	0.25	0.83
AA3	0.65	0.47	0.82
Gesamt	0.64	0.57	0.71

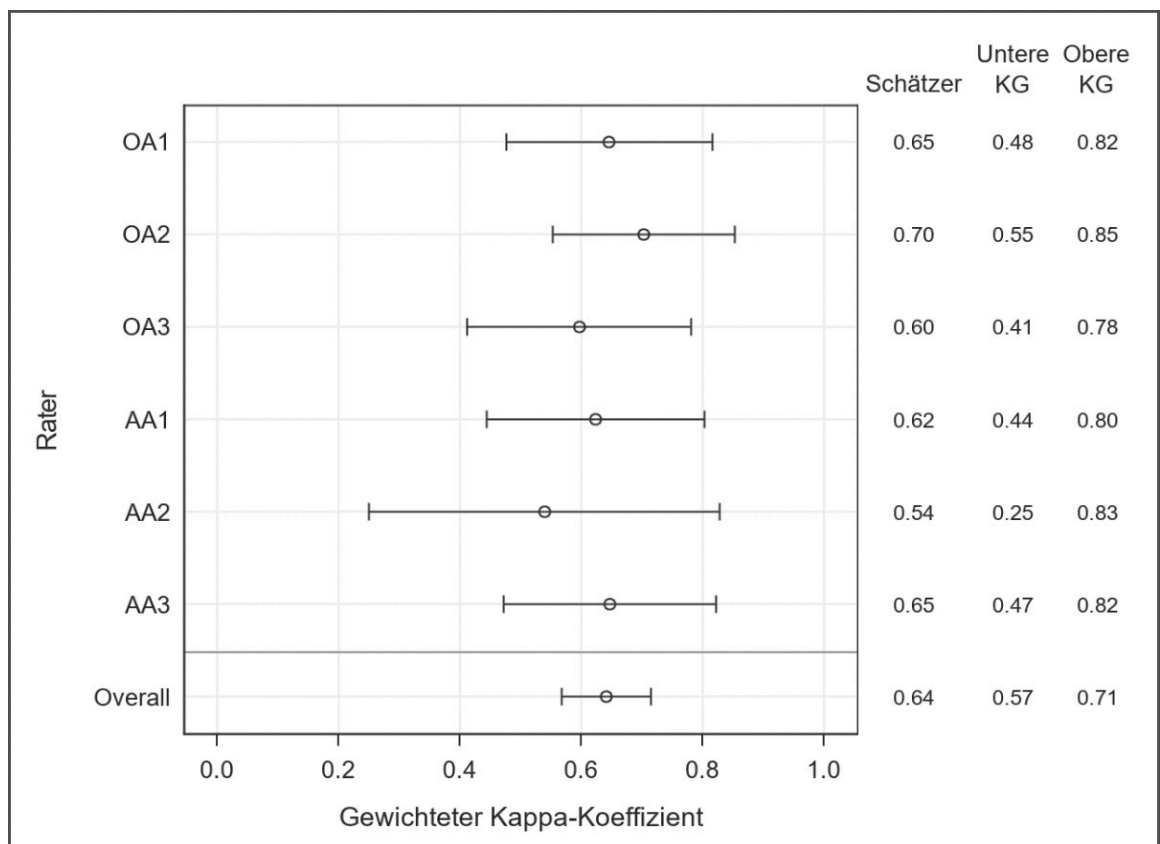


Abb. 13: Die Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation bei der Auswertung Röntgen + MRT (Forest-Plot). Schätzer – gewichteter Kappa-Koeffizient, KG – Konfidenzgrenze.

Tab. 5: Die Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation bei der Auswertung Röntgen + MRT + CT.

	Gewichteter Kappa-Koeffizient (κ) mit 95 % Konfidenzintervall		
Rater	Wert	Untergrenze	Obergrenze
OA1	0.76	0.56	0.95
OA2	0.80	0.67	0.93
OA3	0.59	0.42	0.77
AA1	0.76	0.66	0.87
AA2	0.71	0.46	0.97
AA3	0.63	0.39	0.87
Gesamt	0.74	0.67	0.80

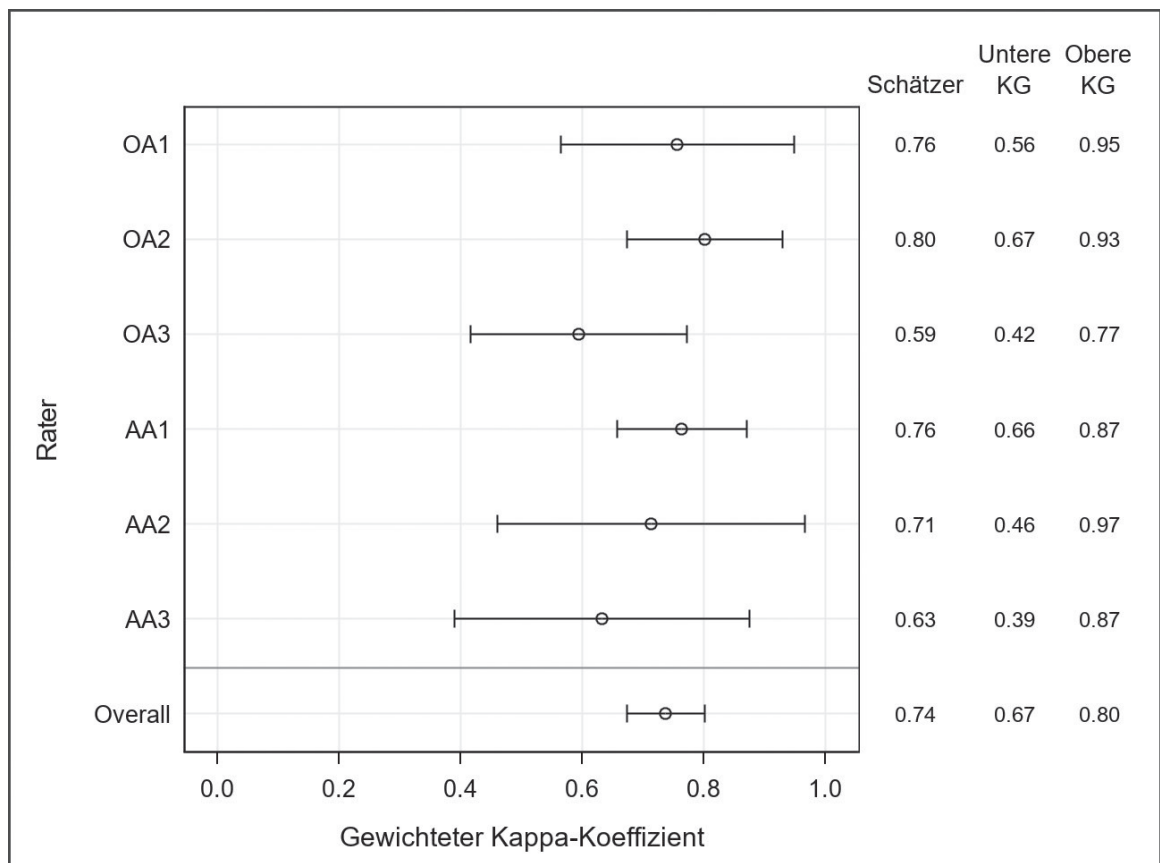


Abb. 14: Die Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation bei der Auswertung Röntgen + MRT + CT (Forest-Plot). Schätzer – gewichteter Kappa-Koeffizient, KG – Konfidenzgrenze.

4.3 Differenzierungsproblematik zwischen verschiedenen OF-Typen

Im Rahmen der hier vorliegenden Studien-Auswertung fiel eine Differenzierungsproblematik zwischen OF2 (Deformation ohne/mit geringer Wirbelkörper-Hinterwandbeteiligung ($< 1/5$)) und OF3 (Deformation mit ausgeprägter Hinterwandbeteiligung ($> 1/5$)) sowie teilweise auch zwischen OF3 und OF4 (Verlust der Rahmenstruktur, Wirbelkörperkollaps oder Kneifzangenfraktur) auf. Zur Darstellung und Evaluierung der Abweichungen wurde eine Heatmap verwendet (Abb. 15). Im besten Fall sollten sich alle Werte auf der diagonalen Hauptachse befinden. Abweichungen hiervon demonstrieren gut die Differenzierungsproblematik. Fünf der sechs Rater (AA1, AA2, AA3, OA2, OA3) zeigen eine deutliche Abweichung in Bezug auf OF2 und OF3 (Abb. 15). OA2 klassifizierte bei der ersten Auswertung 8 Frakturen als OF2, zwei Monate später als OF3. Bei AA1 sind es zum ersten Zeitpunkt sogar 16 Fälle OF2, welche beim zweiten Rating als OF3 ausgewertet wurden. Beide Rater haben ansonsten nur sehr geringe Abweichungen von der Hauptachse.

Ebenfalls auffällig ist eine Differenzierungsproblematik zwischen OF3 und OF4 bei vier von sechs Ratern (AA2, AA3, OA1, OA3) (Abb. 15). Zum Beispiel zeigt sich bei der Auswertung von OA1 nur eine geringe Abweichung von der Hauptachse. Zum Zeitpunkt 1 wurden drei Fälle als OF3 klassifiziert und zum Zeitpunkt 2 als OF4 sowie vier Fälle als OF4 und zwei Monate später als OF3.

Im Allgemeinen ist bei den Assistenzärzten eine größere Abweichung von der diagonalen Hauptachse bei der Klassifizierung der OF-Typen festzustellen. So ist die maximale Abweichung bei den Oberärzten um zwei Kategorien und bei Assistenzärzten um maximal fünf Kategorien (AA2) zu verzeichnen.

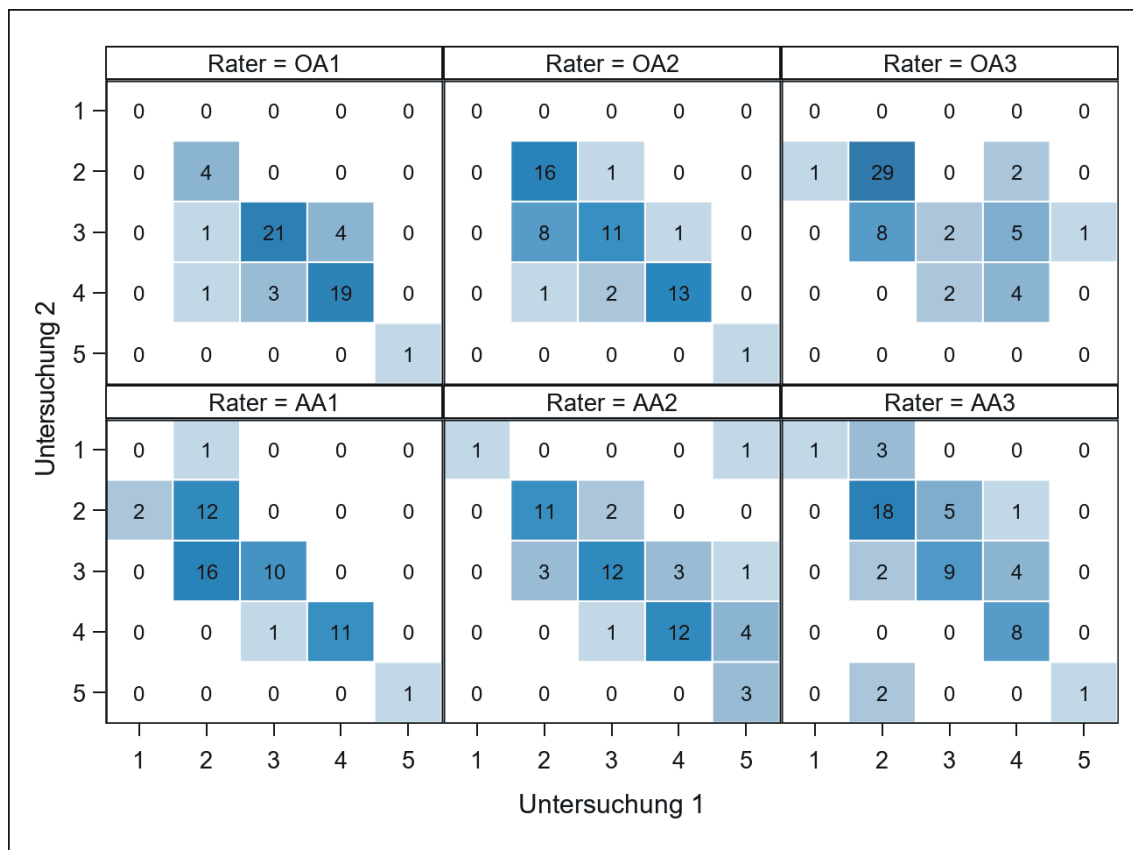


Abb. 15: Darstellung der Differenzierungsproblematik zwischen den OF-Typen mittels Heatmap.

4.3.1 Analyse der Differenzierungsproblematik OF2/OF3

Nach Abschluss der Einschätzung der OF-Typen durch die Rater wurden die Fälle mit schlechter und perfekter Intrarater-Reliabilität detektiert und analysiert. Die Analyse wurde mittels quantitativer Morphometrie des frakturierten Wirbelkörpers in den sagittalen CT-Aufnahmen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 6 und 7 dargestellt. In exemplarischen Fallbeispielen (Abb. 16, 17) wird die Problematik aufgezeigt.

Tab. 6: Quantitative Morphometrie osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen mit Hinterwandbeteiligung und Differenzierungsproblematik OF2/OF3 anhand von CT-Aufnahmen. Erläuterung im Text.

Fall	Rater mit Differenzierungsschwierigkeiten	Größe der Hinterwand des Wirbelkörpers, mm	Größe des Frakturfragmentes der Hinterwand, mm	Anteil der Hinterwandbeteiligung, %
BB1	AA1, AA2, AA3	23,7	8,2	35
BM12	AA1, AA3	27,5	8,6	31
KL6	OA2, AA1	19,6	8,9	45
KR3	AA1, AA2	26,1	8,1	31
LC1	OA2, AA2	24,6	9	37
LI1	OA2, AA2	22,4	8,4	38
NR12	AA1, AA2, AA3	21,1	8,7	41
OR2	OA2, AA1	25,3	8,6	34
OU2	AA1, AA3	25,8	8,9	34
US2	OA2, AA1	27,5	9,7	35
WH12	OA2, AA1, AA3	24,5	10,3	42

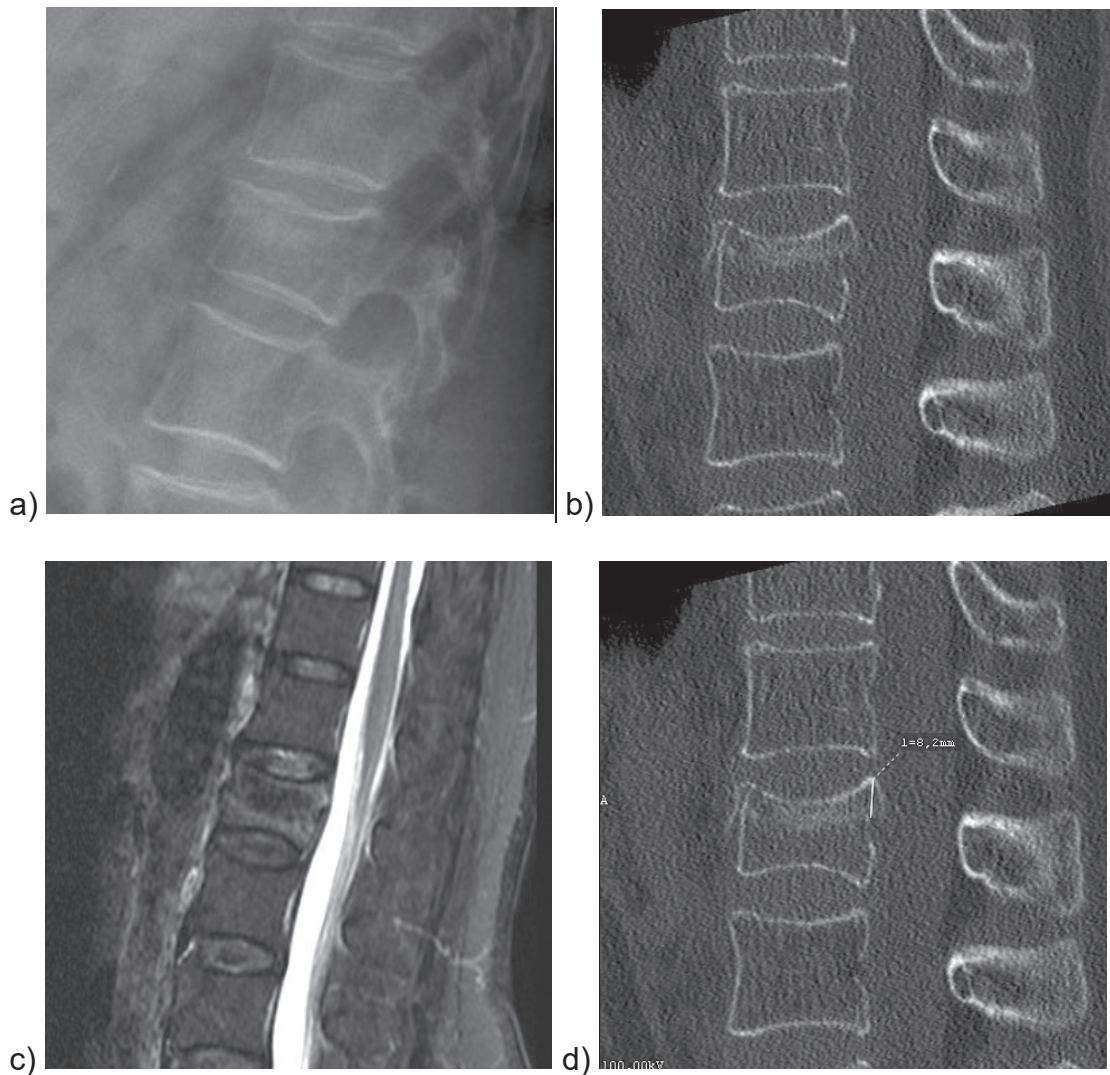


Abb.16 a-d): Fallbeispiel einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur mit niedriger Intrarater-Reliabilität infolge einer OF2/OF3-Differenzierungsproblematik (87-jährige Patientin BB1 mit Fraktur des 1. Lendenwirbelkörpers). Erläuterung im Text.

Das seitliche Röntgenbild der Lendenwirbelsäule (Abb. 16 a) ergibt den Verdacht auf eine frische LWK1-Fraktur. Im CT (Abb. 16 b) hat sich der Verdacht auf eine Deckplattenfraktur LWK 1 mit Hinterwandbeteiligung bestätigt. In der STIR-Sequenz MRT (Abb. 16 c) imponiert ein Knochenmarködem LWK 1. Die Größenmessung der Hinterwandfraktur (Abb. 16 d) zeigt 8,2 mm bei gesamter Höhe der Hinterwand von 23,7 mm. Drei von 6 Ratern haben Schwierigkeiten in der Zuordnung zu OF2/OF3 gezeigt.

Tab. 7: Quantitative Morphometrie osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen OF2/OF3 ohne Differenzierungsproblematik anhand von CT-Aufnahmen. Erläuterung im Text.

Fall	Rater mit gleichem Klassifikationsergebnis bei beiden Untersuchungen	Höhe der Hinterwand des Wirbelkörpers, mm	Hinterwand-fragment, mm bzw. keine Hinterwand-fraktur	Anteil der Hinterwand-beteiligung, %
BG3	OA1, OA2, OA3, AA1, AA3, AA3	28	keine Fraktur	-
DG11	OA1, OA2, OA3, AA2	25,1	3,7	15
DH2	OA1, OA2, OA3, AA1, AA3	26	6,1	23
RB12	OA1, OA2, OA3, AA1, AA3, AA3	27,4	keine Fraktur	-
RM12	OA1, OA2, OA3, AA1, AA3, AA3	23,7	keine Fraktur	-
SE8	OA2, OA3, AA1, AA2, AA3	19,6	keine Fraktur	-
TD1	OA1, OA3, AA1, AA2, AA3	26,2	5,3	20
ZC2	OA1, OA2, OA3, AA1, AA3	26,8	keine Fraktur	-

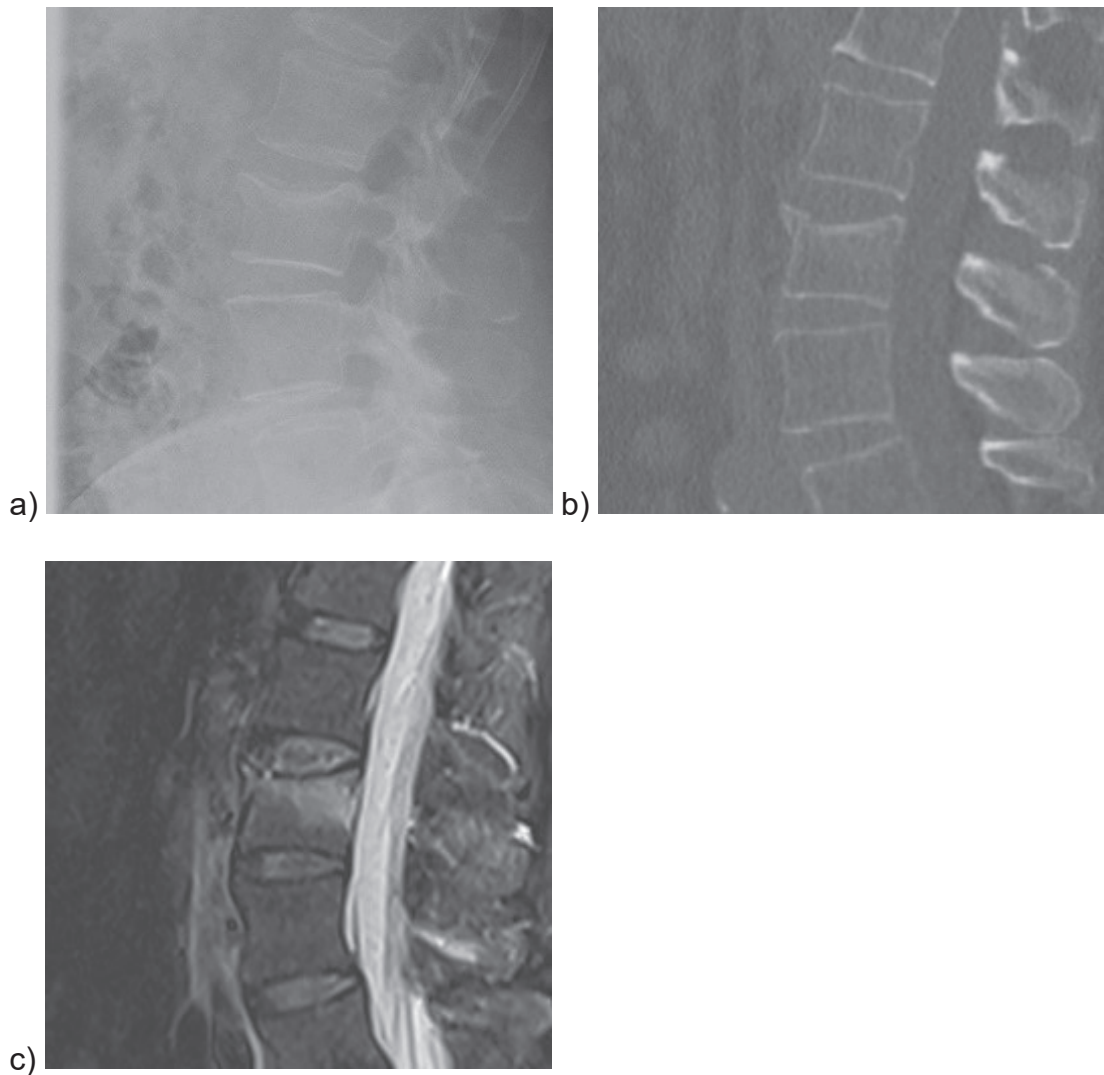


Abb.17 a-c): Fallbeispiel einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur mit perfekter Intrarater-Reliabilität (67-jährige Patientin BG3 mit Fraktur des 3. Lendenwirbelkörpers). Erläuterung im Text.

Im seitlichen Röntgenbild (Abb. 17 a) besteht der Verdacht auf eine frische LWK3-Fraktur. Die CT (Abb. 17 b) zeigt eine Deckplattenfraktur LWK 3 ohne Hinterwandbeteiligung. In der STIR-Sequenz MRT (Abb. 17 c) Darstellung eines Knochenmarködems LWK 3. Alle 6 Rater waren zum gleichen Klassifikationsergebnis (OF2) bei beiden Untersuchungen gekommen.

4.3.2 Analyse der Differenzierungsproblematik OF3/OF4

Nach dem Abschluss der Einschätzung der OF-Typen durch die Rater wurden die Fälle OF3 und OF4 mit schlechter und perfekter Intrarater-Reliabilität herausgesucht und analysiert. Die Analyse erfolgte anhand der Definitionskriterien OF3 und OF4 sowie der erneuten Auswertung des gesamten Bildmaterials. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 8 und 9 sowie in den Fallbeispielen (Abb. 18 - 21) dargestellt.

Tab. 8: Fälle mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen in Bezug auf eine OF3/OF4-Differenzierungsproblematik.

Fall	Rater mit Differenzierungsschwierigkeiten	Typ der Fraktur
BA1	OA2, AA3	OF4 Verlust der Wirbelkörperinnenstruktur, beide Endplatten betroffen
BE1	OA3, AA3	OF3 mit ausgeprägter Deformierung des Wirbelkörpers, nur eine Endplatte betroffen
EE12	OA3, AA3	OF4 Verlust der Wirbelkörperinnenstruktur, beide Endplatten betroffen
GR1	OA1, OA2	OF4 Verlust der Wirbelkörperinnenstruktur, beide Endplatten betroffen
KE4	OA1, OA3, AA1	OF3 mit ausgeprägter Deformierung des Wirbelkörpers, nur eine Endplatte betroffen

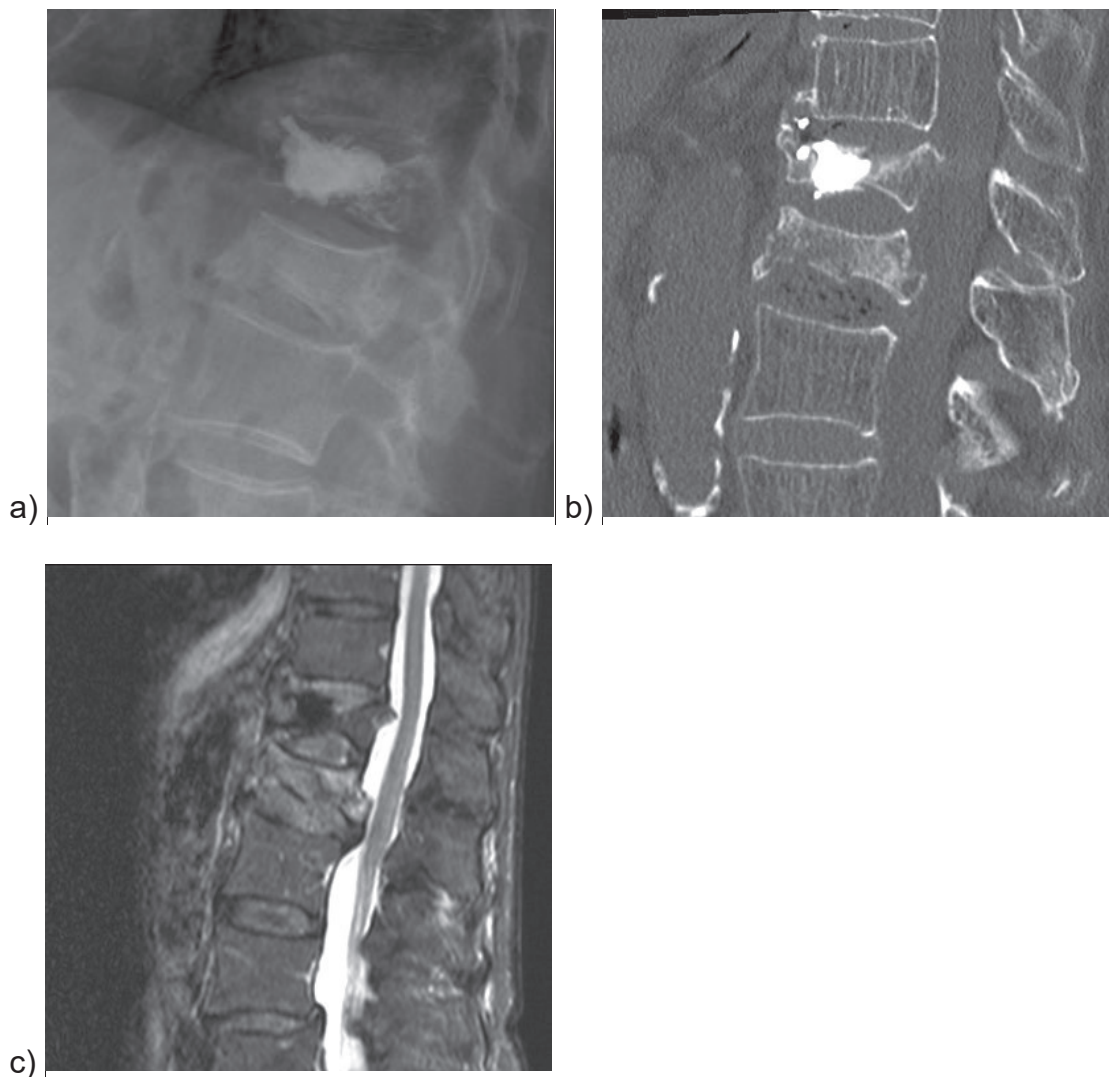


Abb.18 a-c): Fallbeispiel einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur mit schlechter Intrarater-Reliabilität infolge einer OF3/OF4-Differenzierungsproblematik (97-jährige Patientin BE1 mit Fraktur des 1. Lendenwirbelkörpers). Erläuterung im Text.

Im seitlichen Röntgenbild der Lendenwirbelsäule (Abb. 18 a) ergab sich ein Verdacht auf eine frische Fraktur LWK 1 mit Hinterwandbeteiligung, Zustand nach Zementaugmentation BWK 12. Im CT (Abb. 18 b) wird die Grundplattenfraktur LWK 1 mit Hinterwandfragment bestätigt, die Deckplatte ist intakt bei erheblicher Deformation des Wirbelkörpers. STIR-MRT (Abb. 18 c) bestätigt ein Knochenmarködem LWK 1. Zwei von 6 Ratern haben die Schwierigkeiten in der Zuordnung zu OF3/OF4 gezeigt.

Tab. 9: Fälle mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen OF3/OF4 ohne Differenzierungsproblematik.

Fall	Rater mit gleichem Klassifikationsergebnis bei beiden Untersuchungen	Typ der Fraktur
CE12	OA1, OA2, AA1, AA2, AA3	Kneifzangenfraktur
DR9	OA1, OA2, OA3, AA1, AA2, AA3	Wirbelkörperkollaps
GG1	OA1, OA2, OA3, AA1, AA2, AA3	Kneifzangenfraktur
KB12	OA1, OA2, AA1, AA2, AA3	Kneifzangenfraktur
LE3	OA1, OA2, AA1, AA2, AA3	Kneifzangenfraktur
MI1	OA1, OA2, OA3, AA1, AA2, AA3	Kneifzangenfraktur
Mül1	OA1, OA2, OA3, AA1, AA2, AA3	Kneifzangenfraktur
OM3	OA1, OA2, OA3, AA1, AA3	Kneifzangenfraktur mit erheblicher WK-Deformität
OU2	OA1, OA2, OA3, AA2	OF3, nur eine Endplatte betroffen
RL7	OA1, OA2, AA1, AA2	OF3, nur eine Endplatte betroffen
RM1	OA1, OA2, OA3, AA1, AA3	Wirbelkörperkollaps
SK1	OA1, OA2, AA1, AA2	Kneifzangenfraktur
UB12	OA1, OA2, OA3, AA1, AA2, AA3	Kneifzangenfraktur

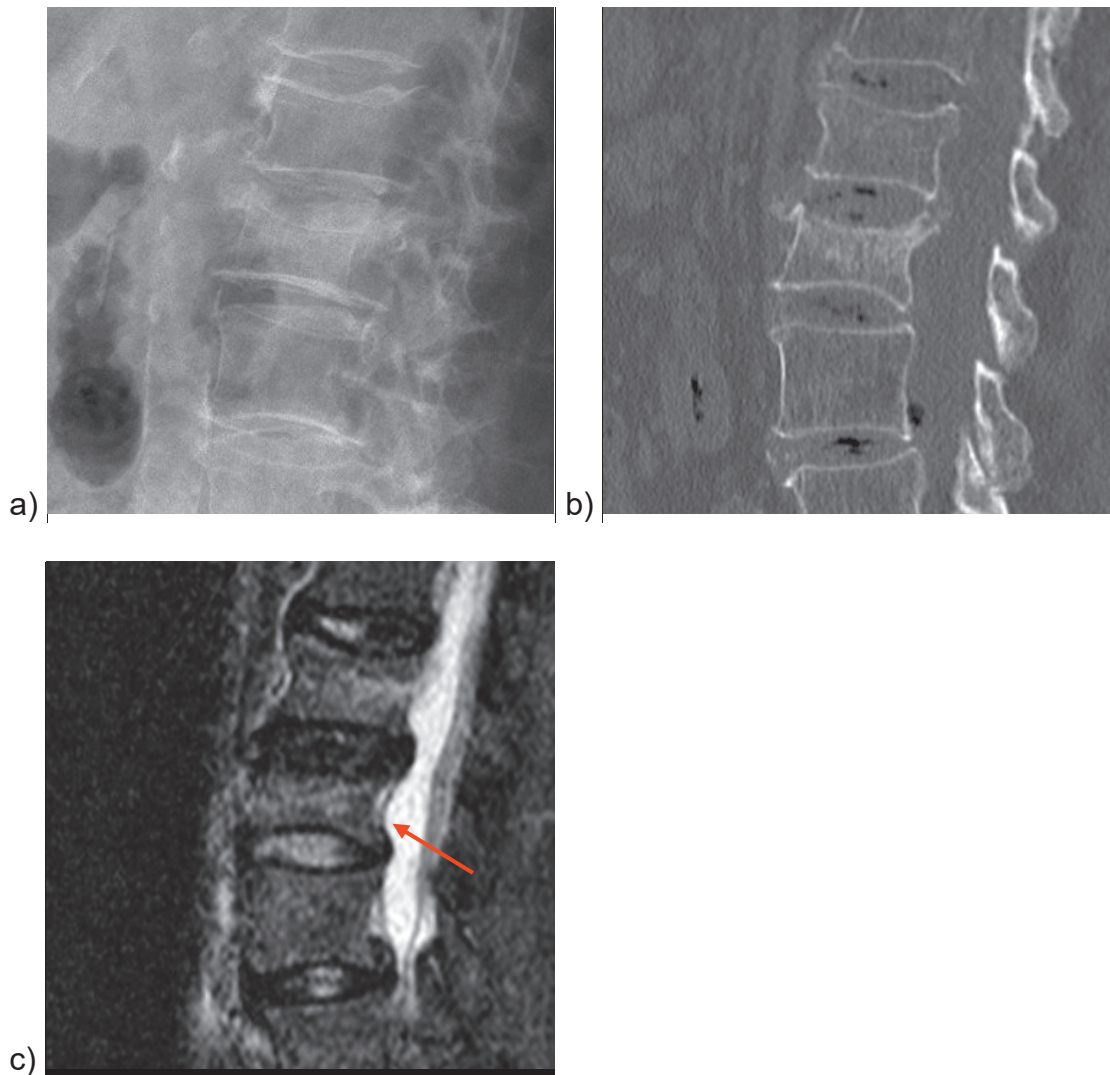


Abb. 19 a-c): Fallbeispiel OF3 mit perfekter Intrarater-Reliabilität (96-jährige Patientin OU2 mit osteoporotischer Fraktur des 2. Lendenwirbelkörpers OF3). Erläuterung im Text.

Im seitlichen Röntgenbild der Lendenwirbelsäule (Abb. 19 a) stellte sich der Verdacht auf eine frische Fraktur LWK 2. Im CT (Abb. 19 b) wird eine Deckplattenfraktur LWK 2 bestätigt, die Grundplatte ist intakt. STIR-MRT (Abb. 19 c) bestätigt das Knochenmarködem LWK 2 (roter Pfeil). Vier von 6 Ratern sind zum gleichen Klassifikationsergebnis (OF3) gekommen.

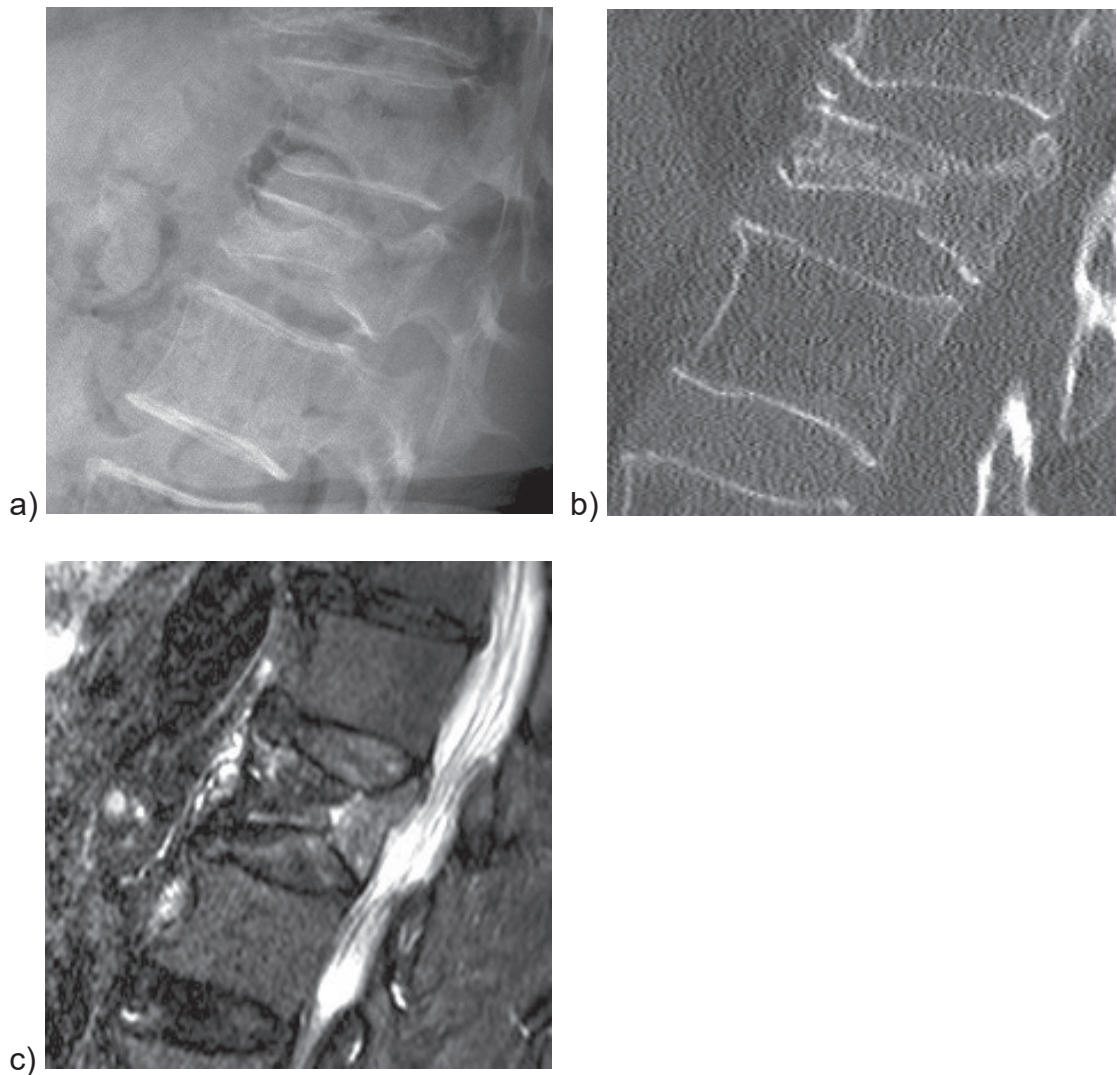


Abb. 20 a-c): Fallbeispiel OF4 mit perfekter Intrarater-Reliabilität (84-jährige Patientin GG1 mit frischer osteoporotischer Fraktur des 1. Lendenwirbelkörpers OF4 – Kneifzangenfraktur). Erläuterung im Text.

Im seitlichen Röntgenbild (Abb. 20 a) stellte sich eine Fraktur LWK 1 mit Beteiligung beider Endplatten dar. Im CT (Abb. 20 b) wird die Fraktur beider Endplatten bestätigt. STIR-MRT (Abb. 20 c) zeigt das Knochenmarködem LWK 1. 6 von 6 Rater sind zum gleichen Klassifikationsergebnis (OF4) bei beiden Untersuchungen gekommen.

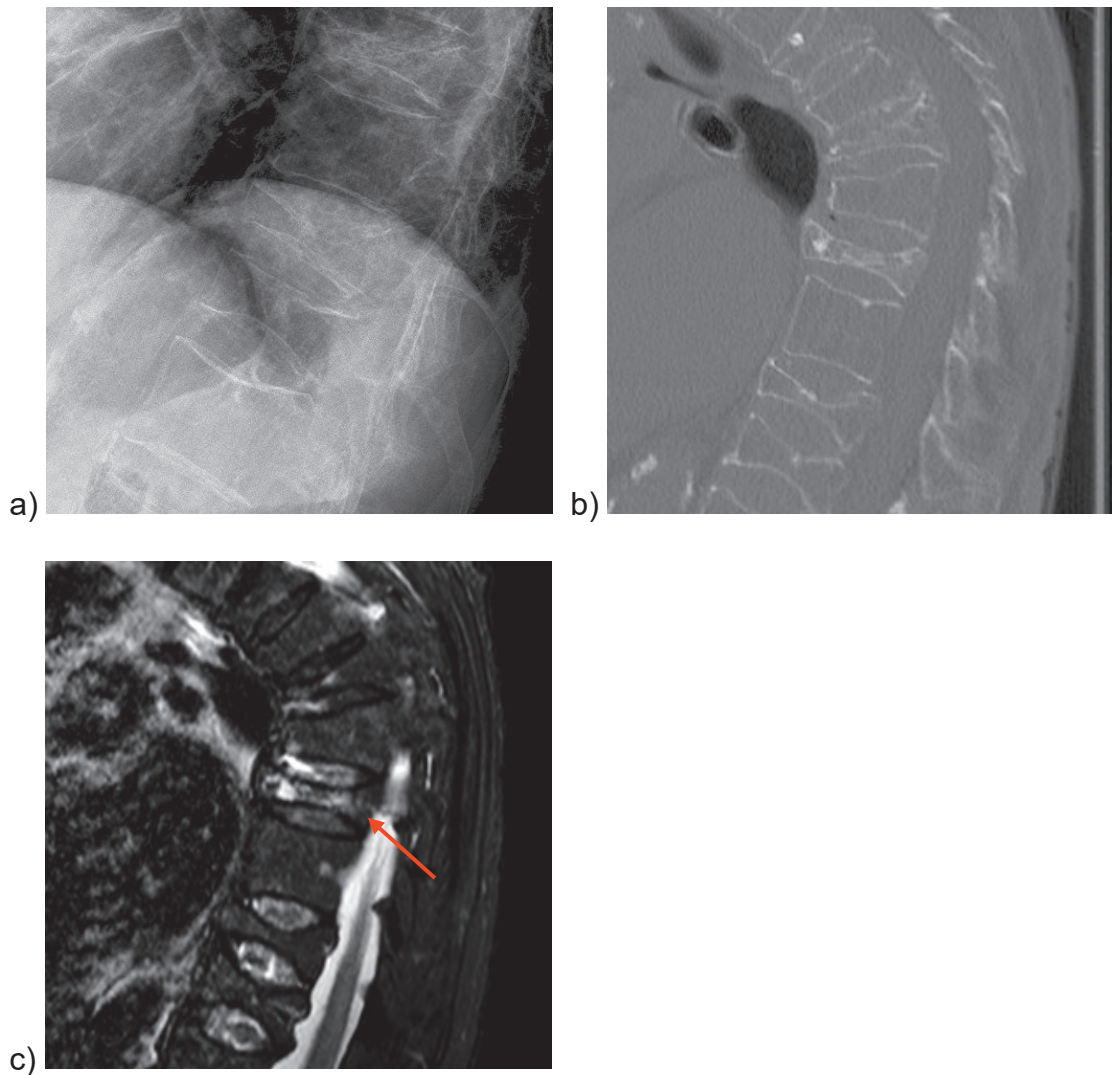


Abb. 21 a-c): Fallbeispiel OF4 mit perfekter Intrarater-Reliabilität (93-jährige Patientin DR9 mit frischer Fraktur des 9. Brustwirbelkörpers OF4 – Wirbelkörperkollaps). Erläuterung im Text.

Das Röntgenbild (Abb. 21 a) stellt mehrfache WK-Deformitäten dar. Im CT (Abb. 21 b) zeigten sich die multiplen WK-Deformitäten im unterschiedlichen Ausmaß bis zum Wirbelkörperkollaps. STIR-MRT (Abb. 21 c) zeigt das Knochenmarködem BWK 9 (roter Pfeil). 6 von 6 Rater haben identisch (OF4) bei beiden Untersuchungen klassifiziert.

5. Diskussion

Vertebrale Frakturen sind eine der häufigsten osteoporotischen Frakturen, die zu weiteren Fragilitätsfrakturen, erhöhter Morbidität und Mortalität prädisponieren [7, 16–18, 20, 44].

Ein klassifikationsbezogenes Vorgehen ist allgemeiner unfallchirurgischer Duktus. Von verschiedenen Arbeitsgruppen wurden für OWF eigene Klassifikationen entwickelt, um auch besser notwendige therapeutische Maßnahmen anhand dieser ableiten zu können. Derzeit gibt es keine allgemein anerkannte Klassifikation für OWF.

Die DVO-Leitlinie zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei postmenopausalen Frauen und bei Männern ab dem 50. Lebensjahr orientiert sich bei der morphologischen Einteilung OWF nach der semiquantitativen Genant-Klassifikation [51, 60]. Die meisten Wirbelfrakturen lassen sich leicht nach Genant-Kriterien durch das Vorhandensein von Endplattendeformationen, das Fehlen von Parallelität der Endplatten oder durch den Verlust der Kontinuität der Wirbelkörperhöhen in Röntgenaufnahmen erkennen [51]. Die Inter-/Intrarater-Reliabilität der Genant-Klassifikation wurde durch die Autoren als fast perfekt eingestuft (Fleiss' Kappa $\kappa = 0.74$ (95 % KI 0.67, 0.81) bzw. $\kappa = 0.89$ (95 % KI 0.84, 0.94) [51].

Die Sensitivität der Röntgen-Untersuchung bei der Detektion der OWF wird mit 51,3 % und die Spezifität von 75 % eingeschätzt [24, 70]. Da die Genant-Klassifikation lediglich auf sagittalen Röntgenaufnahmen basiert, ergeben sich dadurch mehrere Limitationen. Niedrige Qualität der Röntgenaufnahmen und nicht orthogonale Projektion der Wirbelsäule schränken die Aussagekraft der visuellen Einordnung ein. Eine WK-Deformität kann auch bei gesunden Probanden oder bei Entwicklungsanomalien auftreten [71–73]. Eine andere Beschränkung liegt bei OWF mit Schmerzen aber ohne messbare bzw. sichtbare radiologische Veränderungen [74]. Beeinflussende Faktoren sind das Patientenalter/-körpergewicht und die Erfahrung des Untersuchers in der Beurteilung der Röntgenbilder [70]. Eine OWF lässt sich besser anhand der morphologischen (qualitativen) Schäden an den Endplatten und/ oder kortikalen Konturen der Wirbelkörper diagnostizieren [75].

Sugita et al. klassifizierten die äußere Form von OWF im seitlichen Röntgenbild, um den vertebralen Kollaps bei konservativer Therapie vorherzusagen [52]. Die Daten zur Inter-/Intrarater-Reliabilität sind nicht publiziert. Drei Frakturtypen (frontal aufgetriebener Typ, bogenförmiger Typ und vorwölbender Typ, Abb. 2) prädisponieren für einen Wirbelkollaps. Als Ursache dafür äußern die Autoren die Vermutung, dass diese Frakturtypen nicht nur den Bruch der vorderen Säule, sondern auch eine Schädigung der mittleren Wirbelkörpersäule aufweisen können [52].

Eine weitere röntgenologische Klassifikation mit zwei Frakturtypen anhand der Beteiligung der mittleren Säule des Wirbelkörpers wurde von Wu et al. erarbeitet [53]. Diese Studie konnte auch eine höhere Inzidenz von Pseudarthrosen für die Frakturen mit Beteiligung der mittleren Säule des Wirbelkörpers zeigen [53]. Beide röntgenologische Klassifikationen (nach Sugita und Wu) betonen die Wichtigkeit des Erhalts der mittleren WK-Säule für gute Ergebnisse konservativer Therapie von OWF.

Bei niedriger Sensitivität und Spezifität der Röntgen-Untersuchung [24, 70] sind die oben genannten Klassifikationen (Genant, Sugita, Wu) zur Differenzierung für eine operative versus konservative Therapieempfehlung der OWF nicht geeignet.

Die CT gilt als Goldstandard für die Beurteilung der knöchernen Morphologie von vertebralen Frakturen [76]. CT ist ein häufiger Bestandteil nicht nur der radiologischen Untersuchungen mit verschiedenen Fragestellungen [14], sondern auch der präoperativen Planung von Wirbelsäulen-Operationen. 20 bis 30 % der stationär behandelten Patienten (> 50 Jahre) mit CT-Bildgebung aufgrund unterschiedlicher Fragestellungen weisen eine WK-Fraktur bzw. Deformität auf [13, 14]. Die praktische Relevanz dieser Untersuchungen bezieht sich auch auf die Möglichkeit eines opportunistischen Osteoporosescreenings [77]. Die Knochendichtebestimmung mittels CT hat ähnlich wie bei der DXA einen prädiktiven Wert für eine neue Fraktur, Risiko der Anschlussfrakturen sowie Implantatlockerung [78].

Die MRT ist für die Diagnosefeststellung einer OWF aufgrund einer guten Differenzierung zwischen frischen und alten Wirbeldeformitäten, benignen und pathologischen Frakturen, begleitenden diskoligamentären oder neuralen

Verletzungen unerlässlich [79–81]. Eine zusätzliche MRT-Bildgebung verändert im Vergleich zur alleinigen röntgenologischen Untersuchung die Erstdiagnose einer OWF in 52 % der Fälle [80]. Eine MRT der kompletten Brust- und Lendenwirbelsäule einschließlich STIR-Sequenz ist empfehlenswert, um alle Verletzungen bei nicht selten multiplen vertebrealen Frakturen zu erkennen [21]. In dieser Studie fanden wir in 17 % der Patientinnen mehrfache frische OWF.

Kanchiku et al. haben 2003 eine MRT-gestützte Klassifikation für OWF entwickelt [54]. Die Daten zur Inter-/Intrarater-Reliabilität sind nicht publiziert. Eine wichtige Schlussfolgerung dieser Klassifikation war die Unterscheidung zwischen stabilen und instabilen Frakturformen anhand der MRT-Untersuchung. Instabile Frakturformen (Typ posterior und total, Abb. 3) haben eine Hinterwandbeteiligung gemeinsam und entwickeln häufig eine intraspinale Protrusion. Ähnliche Ergebnisse zeigte die Publikation von Seo et al. [82]. Kanchiku empfiehlt eine zeitnahe CT-morphologische Abklärung der Hinterwandbeteiligung bei OWF, um eine Wirbelkörpersinterung bis zum Kollaps vorzubeugen [54]. Die Entscheidung zur operativen Indikation ist bei der Anwendung der Kanchiku-Klassifikation aber schwierig.

Eine andere MRT-gestützte Klassifikation wurde von Tsujio et al. 2011 erarbeitet [46] und von Inose et al. 2020 modifiziert [47]. Diese Klassifikationen stellen die MRT-morphologischen Risikofaktoren (in T1-Sequenz: diffuse niedrige Signalintensität, in T2-Sequenz: begrenzte hohe oder diffuse niedrige Signalintensität, Abb. 4) für eine Pseudarthrose bei konservativer Therapie OWF dar [47].

Alle MRT-basierten Klassifikationen betonen die Wichtigkeit des posterioren Anteils des Wirbelkörpers für die Aufrechterhaltung der Integrität. Das bestätigen biomechanische Studien. Der posterolaterale Bereich der Wirbelendplatten ist die kräftigste Stelle [83]. Degenerative Veränderungen führen zu maximaler Belastung der dorsalen Wirbelkörperanteile im Stehen und der ventralen Anteile in nach vorne gebeugter Position [84, 85].

Bei Patienten, bei denen eine MRT kontraindiziert ist, kann eine Dual-Energy-Computertomographie (DE-CT) potenziell von Vorteil sein [86]. Die DE-CT kann bei OWF ein Knochenmarködem darstellen [87], wobei eine gute Korrelation zur MRT-Bildgebung besteht [88].

Aufgrund oben genannter Vor- und Nachteile sind Röntgen, CT und MRT ein wichtiger Bestandteil der Diagnostik OWF.

Vaccaro et al. haben 2013 eine neue AOSpine Klassifikation für akute traumatische Wirbelkörperfrakturen vorgestellt. Diese bezieht klinische und radiologische Parameter mit ein. Die AOSpine Klassifikation ist für die Einteilung von OWF und für die Ableitung therapeutischer Maßnahmen allenfalls eingeschränkt zu verwenden [56]. OWF sind eine separate Entität im Vergleich zu akuten traumatischen Wirbelsäulenverletzungen.

Die hier zur Disposition stehende OF-Klassifikation der Sektion Wirbelsäule der DGOU berücksichtigt die spezifischen morphologischen und radiologischen Besonderheiten der alternden Wirbelsäule [57]. Klinische Studien zeigen gute Ergebnisse bei der praktischen Anwendung der OF-Klassifikation und den daraus resultierenden Therapie-Ergebnissen [89, 90].

Die Arbeitsgruppe Osteoporotische Frakturen ermittelte für die Interrater-Reliabilität der OF-Klassifikation eine substantielle Übereinstimmung (Fleiss' Kappa $\kappa = 0.63$; 146 Frakturen, 6 Rater) [66]. Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchung mit Assistenz- und Fachärzten eines überregionalen Traumazentrums war die Interrater-Reliabilität nach den Kriterien von Cicchetti ebenfalls gut (ICC = 0.62; 95 % KI 0.51, 0.72; 54 Frakturen; 6 Rater). Angaben zur Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation fanden sich in der einschlägigen Literatur bislang nicht. In der hier durchgeführten Untersuchung fand sich eine substantielle Übereinstimmung (gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient $\kappa = 0.74$, 95 % KI 0.67, 0.80).

In der Nebenfragestellung sollte ermittelt werden, ob die Kombination von konventionellem Röntgen und MRT alleine ausreichende Informationen liefert, um die Fraktur einer der fünf Typen der OF-Klassifikation zuordnen zu können. Dies erfolgte aufgrund fehlender Annahmen zur Nicht-Unterlegenheitsgrenze rein deskriptiv anhand der Beurteilung vom ICC sowie gewichtetem Cohen's Kappa-Koeffizient. Die OF-Klassifikation zeigte eine gute bzw. beträchtliche Interrater- und Intrarater-Reliabilität, wenn eine projektionsradiographische und CT-basierte Beurteilung als auch die MRT-Bildgebung herangezogen wurden. Die Reliabilität war besser als bei alleiniger Beurteilung von Röntgenbild und

MRT, wenn auch der Unterschied anhand dieser Daten nicht signifikant erscheint. Ein Nachteil der CT ist, dass schmerzhaftes Mikrofrakturen und Knochenmarködeme nicht erkannt werden können. Des Weiteren bedeuten zusätzliche Untersuchungen natürlich auch immer höhere Kosten im Klinikalltag. Hier hilft die MRT, ebenso wie in der grundsätzlichen Differenzierung zwischen akuten und chronischen Veränderungen. Zugleich kann die MRT-Zusatzinformationen über die Integrität der diskoligamentären Strukturen geben. Die MRT ist für die Klassifizierung von OF1 immer notwendig. Somit entfällt eine alleinige Beurteilung von konventionellem Röntgen und CT. Auch wenn in der hier vorliegenden Studie keine relevanten Unterschiede in der Reliabilität nach Auswertung von Röntgen und MRT allein versus Röntgen, MRT und CT gesehen wurden, empfiehlt es sich doch, nach wie vor die von der Sektion Wirbelsäule der DGOU komplette diagnostische Standardanforderung konsequent einzuhalten, also zur Gesamteinschätzung konventionelles Röntgen, CT und MRT zu nutzen [64, 65]. Die CT erlaubt letztlich doch eine genauere Einschätzung der Morphologie als die MRT und wurde von den Ratern als subjektiv hilfreich beschrieben. Dabei ist die Beurteilung einer Endplattenfraktur bzw. der Hinterwandbeteiligung ($< 1/5$ versus $> 1/5$) allein anhand von Röntgen und MRT nicht selten problematisch. Dies bestätigen die Daten der Intrarater-Reliabilität mit CT $\kappa = 0.74$ (95 % KI 0.67, 0.80) versus ohne CT $\kappa = 0.64$ (95 % KI 0.57; 0.71).

Im Rahmen der Auswertung sowie bereits zuvor im klinischen Alltag fiel eine Differenzierungsproblematik zwischen einzelnen OF-Typen auf. Insbesondere die Differenzierung zwischen OF2 und OF3 fiel den Ratern schwer. Definitionsgemäß liegt bei beiden Fraktur-Typen (OF2 und OF3) eine Wirbelkörperdeformität mit nur einer Endplattenfraktur vor. Der Unterschied liegt in einer nicht vorhandenen oder nur diskreten ($< 1/5$) Hinterwandbeteiligung (OF2) bzw. Deformation mit deutlicher Beteiligung ($> 1/5$) der Hinterwand (OF3) [57]. Zur Einschätzung der Frakturgröße an der Hinterwand können zwei unterschiedliche Methoden der vertebralen Morphometrie benutzt werden. Entweder eine semiquantitative Beurteilung (das Augenmaß, ohne Lineal) oder eine quantitative Morphometrie (mit Lineal) bzw. die Kombination von beiden Methoden.

Die quantitative Morphometrie der sagitalen Röntgenaufnahmen bei gesunden Frauen (BWK 4 bis LWK 4, 926 Patientinnen, Durchschnittsalter $64,7 \pm 7,5$

Jahren) zeigt, dass die minimale und maximale Höhe der Hinterwand bei thorakolumbalen Wirbelkörpern von 22,5 mm bis 32,9 mm (BWK 4 und LWK 2 entsprechend) beträgt [91]. Dabei zeigten Röntgenaufnahmen 1,3-fach vergrößerte Bilder [91]. Die quantitative Morphometrie sagittaler CT-Bilder entspricht den kadaverischen Messungen an der Wirbelsäule [92]. Die absoluten Messwerte der vertebralen Hinterwand mittels CT sind in mehreren Studien mit vergleichbaren Werten vorgestellt [93, 94]. Dabei variieren die minimalen und maximalen Höhenwerte der Wirbelkörperhinterwand von 18 bis 27 mm entsprechend der Wirbelkörperhöhe [93, 94]. Basierend auf diesen Daten lässt sich der Cut-off-Wert für die Differenzierung OF2 und OF3 berechnen. Die absolute Größe der Hinterwandfraktur soll kleiner als 3,6 – 5,4 mm bei OF2 oder größer bei OF3 sein.

In dieser Studie durften die Rater selbst die Methode der Einschätzung der Hinterwandfraktur auswählen. Fünf von 6 Ratern haben sich spontan für semi-quantitative und ein Rater für eine quantitative Einschätzung entschieden. Keiner der Rater hat sich für die Kombination der beiden Methoden entschieden. Die Chili-Software (einschließlich eines digitalen Lineals) lag den Ratern zur möglichen quantitativen Einschätzung vor.

Die Fälle der oben dargestellten Studie wurden zwecks Differenzierungsproblematik OF2 versus OF3 analysiert. Eine fast perfekte Reliabilität zeigen die OF2-Fälle ohne Hinterwandbeteiligung. Die Fälle mit einer Fraktur der Hinterwand (OF2 versus OF3) zeigen überwiegend eine niedrige Reliabilität und werden unterschiedlich bei wiederholter Untersuchung klassifiziert. Bei Fällen mit schlechter Reliabilität (OF2 und OF3 mit Hinterwandbeteiligung) wurde quantitativ (mit Lineal) anhand von CT-Aufnahmen die Frakturgröße der Hinterwand gemessen (Tab. 6). Die Analyse der Daten zeigt, dass Frakturfragmente ($> 1/5$ bzw. $> 5,4$ mm) durch Rater systematisch kleiner geschätzt werden. In absoluten Zahlen sind die Frakturfragmente 8, 9 oder sogar 10 mm gemessen, was deutlich über dem Cut-off-Wert liegt (Tab. 6). Damit weisen die Messungen eine systematische Unterschätzung der Hinterwandbeteiligung bei semiquantitativer Einschätzung durch Rater nach. Die Schwäche der semiquantitativen Einschätzung der minimalen Wirbelkörperdeformitäten (Genant 1) ist bereits für die Genant-Klassifikation beschrieben [73, 95, 96]. Andererseits

betonten Genant et al., dass die reine quantitative Morphometrie nicht isoliert durchgeführt werden sollte, insbesondere bei der Anwendung hochempfindlicher Kriterien bei niedrigen Schwellenwerten [97]. Unsere Daten der Reliabilitätsanalyse bestätigen das. Der einzige Rater (OA3), der mit dem Lineal (quantitativ) die Hinterwandbeteiligung bestimmt hat, zeigte die schlechteste Intrarater-Reliabilität (gewichteter Cohen's Kappa-Koeffizient $\kappa = 0.59$, 95 % KI 0.42, 0.77).

Auch eine gewisse Problematik zwischen OF3 und OF4 konnte in unserer Studie festgestellt werden. Die OF3 ist sehr ähnlich zu der OF4 beim Verlust der Wirbelkörperinnenstruktur (Fraktur beider Endplatten und der Hinterwand – komplette Berstungsfraktur). Einziges Diskriminierungskriterium ist die Fraktur der beiden Endplatten im Fall OF4 und einer Endplatte bei OF3. Zur Verbesserung der Reliabilität in diesem Fall kann nur die genaue Betrachtung der CT-Bilder helfen. Wir haben die OF4-Fälle herausgesucht, in denen die Rater eine perfekte Reliabilität in den beiden Untersuchungen gehabt haben (Tab. 9). Die Kneifzangenfraktur und der Wirbelkollaps sind die OF4-Typen mit perfekter Reliabilität.

Sicherlich ist bei weiterer und verbreiteter Anwendung der Klassifikation ggf. eine Nachjustierung durch die Arbeitsgruppe Osteoporotische Frakturen der Sektion Wirbelsäule der DGOU anzustreben. Basierend auf der hier vorliegenden Analyse ist das Kriterium „geringe Beteiligung der hinteren Wand (<1/5)“ insbesondere für ungeübte Anwender der OF-Klassifikation sehr komplex. Eine bessere Reliabilität könnte womöglich durch eine Definitionsänderung der OF2 (Fraktur nur einer Endplatte ohne Hinterkantenbeteiligung des Wirbelkörpers) erreicht werden. Ein alternativer Vorschlag wäre die gleichzeitige Anwendung semiquantitativer und quantitativer Verfahren in der Einschätzung der Größe des Frakturfragmentes bei erfahrenem Anwender. Im Fall der Differenzierung von OF3 und OF4 kann die genauere Einschätzung der CT-Bilder hilfreich sein.

Die OF-Klassifikation kommt momentan in den orthopädisch-unfallchirurgischen Zentren in Umlauf und muss sich in der täglichen Praxis bewähren. Bei entsprechender Konsequenz ihrer Anwendung einschließlich des OF-Scores werden sich reproduzierbare Behandlungsempfehlungen ableiten lassen. Trotz der Bemühungen hat die Studie einige Einschränkungen. Sie basiert auf einer

retrospektiven Analyse ohne prospektive Randomisierung, was zu einem Selektionseffekt führen kann. In der Studie untersuchten wir Patienten mit akuten OWF. Zu diesem Zweck haben wir strenge Einschlusskriterien aufgestellt und nur weibliche Patienten mit OWF eingeschlossen. Es ist jedoch möglich, dass zusätzliche Patienten bzw. männliche Personen eine zugrundeliegende Osteoporose hatten. Obwohl die OF-Klassifikation auch für diese Patienten gilt, wurden sie nicht in die Studie aufgenommen.

Eine weitere Limitation ist, dass die CT-basierte Knochendichtebestimmung kein Standardverfahren ist. Es fehlt dabei die Berücksichtigung des Patientenalters, des Geschlechtes und ethnischer Besonderheiten für die Definition von Osteoporose. Das kann zu Über- und Unterschätzung der Knochendichte führen.

6. Zusammenfassung

OWF sind häufig. 2013 entwickelte die Sektion Wirbelsäule der DGOU eine Klassifikation für OWF, die bei der Ableitung einer konservativen versus operativen Therapieempfehlung helfen soll. Entsprechend bildmorphologischer Kriterien im Röntgen, in der CT und MRT werden OWF in fünf Gruppen unterteilt. Die Interrater-Reliabilität der Klassifikation wurde bislang durch die oben genannte Sektion mit substantieller Übereinstimmung (Fleiss' Kappa 0.63) evaluiert. Daten zur Intrarater-Reliabilität sind bislang noch nicht publiziert worden. Ziel der Promotionsarbeit war die Überprüfung der Inter- und Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation in der Anwendung an einem überregionalen Traumazentrum. Vor Beginn dieser Studie wurde die Klassifikation in dieser Klinik bereits seit 1,5 Jahren im klinischen Alltag benutzt. In der Nebenfragestellung sollte hinsichtlich der Schnittbilddiagnostik die Wertigkeit der alleinigen MRT versus CT und MRT nach bereits erfolgter konventioneller Röntgendiagnostik evaluiert werden.

54 frische OWF bei 54 weiblichen Patienten mit einem Durchschnittsalter von 80,9 ($\pm$ 8,6) Jahren wurde unabhängig voneinander in unterschiedlicher Reihung zwei Mal im Abstand von zwei Monaten von 6 Ratern (drei Oberärzte und drei Assistenzärzte der Unfallchirurgischen Universitätsklinik) klassifiziert. Die Interrater-Reliabilität erwies sich mit einem Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) von 0.62 (95 % KI 0.51, 0.72) als gut. Die Intrarater-Reliabilität war mit einem Kappa-Koeffizienten (κ) von 0.74 (95 % KI 0.67, 0.80) substantiell. Die Reliabilität der OF-Klassifikation war schlechter, wenn nur die Röntgen- und MRT-Bilder ausgewertet wurden (ICC = 0.52 (95 % KI 0.41, 0.64); κ = 0.64 (95 % KI 0.57; 0.71)), wenngleich die Differenz nicht signifikant war. Insgesamt fiel eine Differenzierungsproblematik insbesondere zwischen OF2 und OF3 auf. Subsumierend erbrachte die OF-Klassifikation in der hier vorliegenden Analyse eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Um diese zu erhalten, sollten in jedem Falle die diagnostischen Standardanforderungen der Entwickler der Klassifikation konsequent eingehalten werden: konventionelles Röntgen (wann immer möglich in stehender Position), MRT, welche auch eine STIR-Sequenz beinhaltet und CT.

Literaturverzeichnis

1. Salari N, Ghasemi H, Mohammadi L et al. (2021) The global prevalence of osteoporosis in the world: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *Journal of orthopaedic surgery and research* 16(1): 609. doi: 10.1186/s13018-021-02772-0
2. Svedbom A, Hernlund E, Ivergård M et al. (2013) Osteoporosis in the European Union: a compendium of country-specific reports. *Archives of osteoporosis* 8(1): 137. doi: 10.1007/s11657-013-0137-0
3. Kanis JA, Norton N, Harvey NC et al. (2021) SCOPE 2021: a new scorecard for osteoporosis in Europe. *Archives of osteoporosis* 16(1): 82. doi: 10.1007/s11657-020-00871-9
4. Hadji P, Klein S, Gothe H et al. (2013) The epidemiology of osteoporosis - Bone Evaluation Study (BEST): an analysis of routine health insurance data. *Deutsches Ärzteblatt international* 110(4): 52–57. doi: 10.3238/arztebl.2013.0052
5. Rupp M, Walter N, Pfeifer C et al. (2021) The Incidence of Fractures Among the Adult Population of Germany – an Analysis From 2009 through 2019. *Deutsches Ärzteblatt international* 118(40): 665–669. doi: 10.3238/arztebl.m2021.0238
6. Statistisches Bundesamt Deutschland. www.destatis.de. Accessed 17 Dec 2023
7. Ballane G, Cauley JA, Luckey MM et al. (2017) Worldwide prevalence and incidence of osteoporotic vertebral fractures. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 28(5): 1531–1542. doi: 10.1007/s00198-017-3909-3
8. Zileli M, Fornari M, Costa F et al. (2022) Epidemiology, natural course and preventive measures of osteoporotic vertebral fractures: WFNS Spine Committee Recommendations. *Journal of neurosurgical sciences* 66(4): 282–290. doi: 10.23736/S0390-5616.22.05643-0
9. Fink HA, Milavetz DL, Palermo L et al. (2005) What proportion of incident radiographic vertebral deformities is clinically diagnosed and vice versa? *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research* 20(7): 1216–1222. doi: 10.1359/JBMR.050314
10. Stathopoulos KD, Chronopoulos E, Galanos A et al. (2021) Prevalence of morphometric vertebral fractures in osteoporotic patients in Greece: the Vertebral Integrity Assessment (VERTINAS) study. *Archives of osteoporosis* 16(1): 165. doi: 10.1007/s11657-021-01033-1
11. Lems WF, Paccou J, Zhang J et al. (2021) Vertebral fracture: epidemiology, impact and use of DXA vertebral fracture assessment in fracture liaison services. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 32(3): 399–411. doi: 10.1007/s00198-020-05804-3
12. Bässgen K, Westphal T, Haar P et al. (2013) Population-based prospective study on the incidence of osteoporosis-associated fractures in a German population of 200,413 inhabitants. *Journal of public health (Oxford, England)* 35(2): 255–261. doi: 10.1093/pubmed/fds076
13. Howlett DC, Drinkwater KJ, Mahmood N et al. (2020) Radiology reporting of osteoporotic vertebral fragility fractures on computed tomography studies: results of a UK national audit. *European radiology* 30(9): 4713–4723. doi: 10.1007/s00330-020-06845-2

14. Löffler MT, Kallweit M, Niederreiter E et al. (2021) Epidemiology and reporting of osteoporotic vertebral fractures in patients with long-term hospital records based on routine clinical CT imaging. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*. doi: 10.1007/s00198-021-06169-x
15. Christiansen BA, Bouxsein ML (2010) Biomechanics of vertebral fractures and the vertebral fracture cascade. *Current osteoporosis reports* 8(4): 198–204. doi: 10.1007/s11914-010-0031-2
16. Siris ES, Genant HK, Laster AJ et al. (2007) Enhanced prediction of fracture risk combining vertebral fracture status and BMD. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 18(6): 761–770. doi: 10.1007/s00198-006-0306-8
17. Johnell O, Kanis JA, Odén A et al. (2004) Fracture risk following an osteoporotic fracture. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 15(3): 175–179. doi: 10.1007/s00198-003-1514-0
18. E. Kanterewicz, E. Puigoriol, J.R. Rodríguez Cros et al. (2019) Prevalent vertebral fractures and minor vertebral deformities analyzed by vertebral fracture assessment (VFA) increases the risk of incident fractures in postmenopausal women: the FRODOS study. *Osteoporos Int.* 30(10): 2141–2149. doi: 10.1007/s00198-019-04962-3
19. Hadji P, Schweikert B, Kloppmann E et al. (2021) Osteoporotic fractures and subsequent fractures: imminent fracture risk from an analysis of German real-world claims data. *Archives of gynecology and obstetrics* 304(3): 703–712. doi: 10.1007/s00404-021-06123-6
20. Hasserijs R, Karlsson MK, Nilsson BE et al. (2003) Prevalent vertebral deformities predict increased mortality and increased fracture rate in both men and women: a 10-year population-based study of 598 individuals from the Swedish cohort in the European Vertebral Osteoporosis Study. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 14(1): 61–68. doi: 10.1007/s00198-002-1316-9
21. Lenski M, Büser N, Scherer M (2017) Concomitant and previous osteoporotic vertebral fractures. *Acta orthopaedica* 88(2): 192–197. doi: 10.1080/17453674.2016.1273644
22. Horii C, Iidaka T, Muraki S et al. (2021) The cumulative incidence of and risk factors for morphometric severe vertebral fractures in Japanese men and women: the ROAD study third and fourth surveys. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*. doi: 10.1007/s00198-021-06143-7
23. Lindsay R, Silverman SL, Cooper C et al. (2001) Risk of new vertebral fracture in the year following a fracture. *JAMA* 285(3): 320–323. doi: 10.1001/jama.285.3.320
24. Terakado A, Orita S, Inage K et al. (2017) A Clinical Prospective Observational Cohort Study on the Prevalence and Primary Diagnostic Accuracy of Occult Vertebral Fractures in Aged Women with Acute Lower Back Pain Using Magnetic Resonance Imaging. *Pain research & management* 2017: 9265259. doi: 10.1155/2017/9265259

25. Robinson WA, Carlson BC, Poppendeck H et al. (2020) Osteoporosis-related Vertebral Fragility Fractures: A Review and Analysis of the American Orthopaedic Association's Own the Bone Database. *Spine* 45(8): E430-E438. doi: 10.1097/BRS.0000000000003324
26. Ong T, Bin Syed Ali, Syed Ajmal, Sahota O (2021) The Presentation of Older People with Vertebral Fragility Fractures to a University Hospital: A Cross-sectional Analysis. *Current rheumatology reviews* 17(1): 109–112. doi: 10.2174/1573397116999200820170559
27. Cho MJ, Moon S-H, Lee JH et al. (2021) Association between Osteoporotic Vertebral Compression Fractures and Age, Bone Mineral Density, and European Quality of Life-5 Dimensions in Korean Postmenopausal Women: A Nationwide Cross-sectional Observational Study. *Clinics in orthopedic surgery* 13(2): 207–215. doi: 10.4055/cios20209
28. Schröder G, Hiepe L, Moritz M et al. (2022) Why Insufficiency Fractures are Rarely Found in the Cervical Spine, Even with Osteoporosis. *Z Orthop Unfall* 160(6): 657–669. doi: 10.1055/a-1647-3914
29. Osterhoff G, Asatryan G, Spiegl UJA et al. (2021) Impact of Multifidus Muscle Atrophy on the Occurrence of Secondary Symptomatic Adjacent Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Calcified tissue international*. doi: 10.1007/s00223-021-00925-1
30. Pluskiewicz W, Adamczyk P, Drozdowska B (2022) Glucocorticoids Increase Fracture Risk and Fracture Prevalence Independently from Bone Mineral Density and Clinical Risk Factors: Results from the Gliwice Osteoporosis (GO) Study. *Horm Metab Res*. 54(1): 20–24. doi: 10.1055/a-1700-5007
31. Zhang S-B, Xu H-W, Yi Y-Y et al. (2021) Evaluation of the Use of CT Attenuation for the Prediction of Subsequent Vertebral Fracture in Patients with Osteoporosis. *Pain physician* 24(4): E493-E500
32. Lee H-J, Park J, Lee I-W et al. (2019) Clinical, Radiographic and Morphometric Risk Factors for Adjacent and Remote Vertebral Compression Fractures Over a Minimum Follow-up of 4 Years After Percutaneous Vertebroplasty for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: Novel Three-dimensional Voxel-Based Morphometric Analysis. *World neurosurgery* 125: e146-e157. doi: 10.1016/j.wneu.2019.01.020
33. Fang S-Y, Dai J-L, Min J-K et al. (2021) Analysis of risk factors related to the re-fracture of adjacent vertebral body after PKP. *European journal of medical research* 26(1): 127. doi: 10.1186/s40001-021-00592-w
34. Halvachizadeh S, Stalder A-L, Bellut D et al. (2021) Systematic Review and Meta-Analysis of 3 Treatment Arms for Vertebral Compression Fractures: A Comparison of Improvement in Pain, Adjacent-Level Fractures, and Quality of Life Between Vertebroplasty, Kyphoplasty, and Nonoperative Management. *JBJS reviews* 9(10). doi: 10.2106/JBJS.RVW.21.00045
35. Shieh A, Karlamangla AS, Huang M-H et al. (2021) Faster Lumbar Spine Bone Loss in Midlife Predicts Subsequent Fracture Independent of Starting Bone Mineral Density. *The Journal of clinical endocrinology and metabolism* 106(7): e2491-e2501. doi: 10.1210/clinem/dgab279
36. Najjar E, Pasku D, Mardashti A et al. (2023) The influence of osteoporotic vertebral fractures on global sagittal alignment in elderly patients: a systematic review and meta-analysis. *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society and the European Section of the*

Cervical Spine Research Society 32(7): 2580–2587. doi: 10.1007/s00586-023-07780-8

37. Kregge JH, Kendler D, Krohn K et al. (2015) Relationship Between Vertebral Fracture Burden, Height Loss, and Pulmonary Function in Postmenopausal Women With Osteoporosis. *Journal of clinical densitometry: the official journal of the International Society for Clinical Densitometry* 18(4): 506–511. doi: 10.1016/j.jocd.2015.02.004
38. Harrison RA, Siminoski K, Vethanayagam D et al. (2007) Osteoporosis-related kyphosis and impairments in pulmonary function: a systematic review. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research* 22(3): 447–457. doi: 10.1359/jbmr.061202
39. Leidig-Bruckner G, Minne HW, Schlaich C et al. (1997) Clinical grading of spinal osteoporosis: quality of life components and spinal deformity in women with chronic low back pain and women with vertebral osteoporosis. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research* 12(4): 663–675. doi: 10.1359/jbmr.1997.12.4.663
40. Kado DM, Duong T, Stone KL et al. (2003) Incident vertebral fractures and mortality in older women: a prospective study. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 14(7): 589–594. doi: 10.1007/s00198-003-1412-5
41. Hu J, Zheng W, Zhao D et al. (2021) Health-related quality of life in men with osteoporosis: a systematic review and meta-analysis. *Endocrine* 74(2): 270–280. doi: 10.1007/s12020-021-02792-0
42. Cortet B, Houvenagel E, Puisieux F et al. (1999) Spinal curvatures and quality of life in women with vertebral fractures secondary to osteoporosis. *Spine* 24(18): 1921–1925. doi: 10.1097/00007632-199909150-00010
43. Silverman SL (1992) The clinical consequences of vertebral compression fracture. *Bone* 13 Suppl 2: S27-31. doi: 10.1016/8756-3282(92)90193-z
44. Weycker D, Li X, Barron R et al. (2016) Hospitalizations for osteoporosis-related fractures: Economic costs and clinical outcomes. *Bone reports* 5: 186–191. doi: 10.1016/j.bonr.2016.07.005
45. Battisti S, Napoli N, Pedone C et al. (2021) Vertebral fractures and mortality risk in hospitalised patients during the COVID-19 pandemic emergency. *Endocrine* 74(3): 461–469. doi: 10.1007/s12020-021-02872-1
46. Tsujio T, Nakamura H, Terai H et al. (2011) Characteristic radiographic or magnetic resonance images of fresh osteoporotic vertebral fractures predicting potential risk for nonunion: a prospective multicenter study. *Spine* 36(15): 1229–1235. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181f29e8d
47. Inose H, Kato T, Ichimura S et al. (2020) Risk Factors of Nonunion After Acute Osteoporotic Vertebral Fractures: A Prospective Multicenter Cohort Study. *Spine* 45(13): 895–902. doi: 10.1097/BRS.0000000000003413
48. Omi H, Yokoyama T, Ono A et al. (2014) Can MRI predict subsequent pseudarthrosis resulting from osteoporotic thoracolumbar vertebral fractures? *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 23(12): 2705–2710. doi: 10.1007/s00586-014-3490-9
49. Audigé L, Bhandari M, Hanson B et al. (2005) A concept for the validation of fracture classifications. *Journal of orthopaedic trauma* 19(6): 401–406. doi: 10.1097/01.bot.0000155310.04886.37

50. Garbuz DS, Masri BA, Esdaile J et al. (2002) Classification systems in orthopaedics. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 10(4): 290–297. doi: 10.5435/00124635-200207000-00007
51. Genant HK, Wu CY, van Kuijk C et al. (1993) Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research* 8(9): 1137–1148. doi: 10.1002/jbmr.5650080915
52. Sugita M, Watanabe N, Mikami Y et al. (2005) Classification of vertebral compression fractures in the osteoporotic spine. *Journal of spinal disorders & techniques* 18(4): 376–381. doi: 10.1097/01.bsd.0000168716.23440.61
53. Wu C-T, Lee S-C, Lee S-T et al. (2006) Classification of symptomatic osteoporotic compression fractures of the thoracic and lumbar spine. *Journal of clinical neuroscience: official journal of the Neurosurgical Society of Australasia* 13(1): 31–38. doi: 10.1016/j.jocn.2004.11.021
54. Kanchiku T, Taguchi T, Kawai S (2003) Magnetic resonance imaging diagnosis and new classification of the osteoporotic vertebral fracture. *Journal of orthopaedic science: official journal of the Japanese Orthopaedic Association* 8(4): 463–466. doi: 10.1007/s00776-003-0665-3
55. Zhang S, Wang S, Wang Q et al. (2021) Image classification of osteoporotic vertebral fracture with endplate-disc complex Injury. *BMC musculoskeletal disorders* 22(1): 197. doi: 10.1186/s12891-021-04070-6
56. Vaccaro AR, Oner C, Kepler CK et al. (2013) AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status and key modifiers. *Spine* 38(23): 2028–2037. doi: 10.1097/BRS.0b013e3182a8a381
57. Schnake KJ, Blattert TR, Hahn P et al. (2018) Classification of Osteoporotic Thoracolumbar Spine Fractures: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Global spine journal* 8(2 Suppl): 46S-49S. doi: 10.1177/2192568217717972
58. Vaccaro AR, Schroeder GD, Kepler CK et al. (2016) The surgical algorithm for the AOSpine thoracolumbar spine injury classification system. *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 25(4): 1087–1094. doi: 10.1007/s00586-015-3982-2
59. Kepler CK, Vaccaro AR, Schroeder GD et al. (2016) The Thoracolumbar AOSpine Injury Score. *Global spine journal* 6(4): 329–334. doi: 10.1055/s-0035-1563610
60. Dachverband der Deutschsprachigen Wissenschaftlichen Osteologischen Gesellschaften e.v. (2023) Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der OSTEOPOROSE bei postmenopausalen Frauen und bei Männern ab dem 50. Lebensjahr. www.dv-osteologie.org. Accessed 22 Dec 2023
61. Schnake KJ, Hahn P, Franck A et al. (2013) Development of a classification system (OF-classification) and of a score for therapeutic decision making (OF-score) for osteoporotic thoracolumbar fractures. *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 22(11): 2590. doi: 10.1007/s00586-013-3050-8
62. Kandziora F, Schleicher P, Schnake K et al. (2016) Die AOSpine-Klassifikation thorakolumbalen Wirbelsäulenverletzungen. *Z Orthop Unfall* 154(01): 35–42. doi: 10.1055/s-0041-108266

63. Schnake KJ, Bula P, Spiegl UJ et al. (2017) Thoracolumbar spinal fractures in the elderly: Classification and treatment. *Der Unfallchirurg* 120(12): 1071–1085. doi: 10.1007/s00113-017-0435-x
64. Blattert TR, Schnake KJ, Gonschorek O et al. (2019) Nonsurgical and surgical management of osteoporotic vertebral body fractures: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Der Orthopäde* 48(1): 84–91. doi: 10.1007/s00132-018-03666-6
65. Blattert TR, Schnake KJ, Gonschorek O et al. (2018) Nonsurgical and Surgical Management of Osteoporotic Vertebral Body Fractures: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Global spine journal* 8(2 Suppl): 50S-55S. doi: 10.1177/2192568217745823
66. Schnake K, Bouzakri N, Blattert TR et al. (2014) Validation of a classification system for osteoporotic thoracolumbar fractures (OF-classification). *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 23(11): 2511. doi: 10.1007/s00586-014-3600-8
67. Koo TK, Li MY (2016) A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of chiropractic medicine* 15(2): 155–163. doi: 10.1016/j.jcm.2016.02.012
68. Cicchetti DV (1994) Guidelines, criteria and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychol Assess* 6(4): 284–290. doi: 10.1037/1040-3590.6.4.284
69. Sim J, Wright CC (2005) The kappa statistic in reliability studies: use, interpretation and sample size requirements. *Physical therapy* 85(3): 257–268
70. Ito Z, Harada A, Matsui Y et al. (2006) Can you diagnose for vertebral fracture correctly by plain X-ray? *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 17(11): 1584–1591. doi: 10.1007/s00198-006-0123-0
71. Diacinti D, Guglielmi G (2019) How to define an osteoporotic vertebral fracture? *Quantitative imaging in medicine and surgery* 9(9): 1485–1494. doi: 10.21037/qims.2019.09.10
72. Tribus CB (1998) Scheuermann's kyphosis in adolescents and adults: diagnosis and management. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 6(1): 36–43. doi: 10.5435/00124635-199801000-00004
73. Prior JC, Oei EHG, Brown JP et al. (2021) Where's the break? Critique of radiographic vertebral fracture diagnostic methods. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 32(12): 2391–2395. doi: 10.1007/s00198-021-06207-8
74. McKiernan FE (2009) The broadening spectrum of osteoporotic vertebral fracture. *Skeletal Radiology* 38(4): 303–308. doi: 10.1007/s00256-008-0632-3
75. Lentle B, Koromani F, Brown JP et al. (2019) The Radiology of Osteoporotic Vertebral Fractures Revisited. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research* 34(3): 409–418. doi: 10.1002/jbmr.3669
76. Beckmann NM, West OC, Nunez D, JR et al. (2019) ACR Appropriateness Criteria(®) Suspected Spine Trauma. *Journal of the American College of Radiology: JACR* 16(5S): S264-S285. doi: 10.1016/j.jacr.2019.02.002

77. Pinto EM, Neves JR, Teixeira A et al. (2022) Efficacy of Hounsfield Units Measured by Lumbar Computer Tomography on Bone Density Assessment: A Systematic Review. *Spine* 47(9): 702–710. doi: 10.1097/BRS.0000000000004211
78. Scheyerer MJ, Ullrich B, Osterhoff G et al. (2019) Hounsfield units as a measure of bone density-applications in spine surgery („Hounsfield units“ als Maß für die Knochendichte – Anwendungsmöglichkeiten in der Wirbelsäulenchirurgie). *Der Unfallchirurg* 122(8): 654–661. doi: 10.1007/s00113-019-0658-0
79. Pizones J, Izquierdo E, Alvarez P et al. (2011) Impact of magnetic resonance imaging on decision making for thoracolumbar traumatic fracture diagnosis and treatment. *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 20 Suppl 3: 390–396. doi: 10.1007/s00586-011-1913-4
80. Marongiu G, Congia S, Verona M et al. (2018) The impact of magnetic resonance imaging in the diagnostic and classification process of osteoporotic vertebral fractures. *Injury* 49 Suppl 3: S26-S31. doi: 10.1016/j.injury.2018.10.006
81. Mauch JT, Carr CM, Cloft H et al. (2018) Review of the Imaging Features of Benign Osteoporotic and Malignant Vertebral Compression Fractures. *AJNR. American journal of neuroradiology* 39(9): 1584–1592. doi: 10.3174/ajnr.A5528
82. Seo J-Y, Kwon Y-S, Kim K-J et al. (2017) Clinical importance of posterior vertebral height loss on plain radiography when conservatively treating osteoporotic vertebral fractures. *Injury* 48(7): 1503–1509. doi: 10.1016/j.injury.2017.04.057
83. Grant JP, Oxland TR, Dvorak MF (2001) Mapping the structural properties of the lumbosacral vertebral endplates. *Spine* 26(8): 889–896. doi: 10.1097/00007632-200104150-00012
84. Pollintine P, Dolan P, Tobias JH et al. (2004) Intervertebral disc degeneration can lead to "stress-shielding" of the anterior vertebral body: a cause of osteoporotic vertebral fracture? *Spine* 29(7): 774–782 doi: 10.1097/01.brs.0000119401.23006.d2
85. Ferguson SJ, Steffen T (2003) Biomechanics of the aging spine. *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 12 Suppl 2(Suppl 2): S97-S103. doi: 10.1007/s00586-003-0621-0
86. Bäcker HC, Wu CH, Perka C et al. (2021) Dual-Energy Computed Tomography in Spine Fractures: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International journal of spine surgery* 15(3): 525–535. doi: 10.14444/8074
87. Neuhaus V, Lennartz S, Abdullayev N et al. (2018) Bone marrow edema in traumatic vertebral compression fractures: Diagnostic accuracy of dual-layer detector CT using calcium suppressed images. *European journal of radiology* 105: 216–220. doi: 10.1016/j.ejrad.2018.06.009
88. Kaup M, Wichmann JL, Scholtz J-E et al. (2016) Dual-Energy CT-based Display of Bone Marrow Edema in Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: Impact on Diagnostic Accuracy of Radiologists with Varying Levels of Experience in Correlation to MR Imaging. *Radiology* 280(2): 510–519. doi: 10.1148/radiol.2016150472
89. Palmowski Y, Balmer S, Hu Z et al. (2020) Relationship Between the OF Classification and Radiological Outcome of Osteoporotic Vertebral Fractures After Kyphoplasty. *Global spine journal: 2192568220964051*. doi: 10.1177/2192568220964051
90. Zhong W, Liang X, Luo X et al. (2019) Vertebroplasty and vertebroplasty in combination with intermediate bilateral pedicle screw fixation for OF4 in osteoporotic

- vertebral compression fractures: a retrospective single-Centre cohort study. *BMC surgery* 19(1): 178. doi: 10.1186/s12893-019-0646-x
91. Evans SF, Nicholson PH, Haddaway MJ et al. (1993) Vertebral morphometry in women aged 50-81 years. *Bone and mineral* 21(1): 29–40. doi: 10.1016/s0169-6009(08)80118-3
 92. Chen H, Jiang D, Ou Y et al. (2011) Geometry of thoracolumbar vertebral endplates of the human spine. *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 20(11): 1814–1820. doi: 10.1007/s00586-011-1787-5
 93. Abuzayed B, Tutunculer B, Kucukyuruk B et al. (2010) Anatomic basis of anterior and posterior instrumentation of the spine: morphometric study. *Surgical and radiologic anatomy: SRA* 32(1): 75–85. doi: 10.1007/s00276-009-0545-4
 94. Grivas TB, Savvidou O, Binos S et al. (2019) Morphometric characteristics of the thoracolumbar and lumbar vertebrae in the Greek population: a computed tomography-based study on 900 vertebrae-"Hellenic Spine Society (HSS) 2017 Award Winner". *Scoliosis and spinal disorders* 14: 2. doi: 10.1186/s13013-019-0176-4
 95. Rud B, Vestergaard A, Hyldstrup L (2016) Accuracy of densitometric vertebral fracture assessment when performed by DXA technicians - a cross-sectional, multiobserver study. *Osteoporosis international: a journal established as result of cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 27(4): 1451–1458. doi: 10.1007/s00198-015-3395-4
 96. Mostert JM, Romeijn SR, Dibbets-Schneider P et al. (2021) Inter-observer agreement of vertebral fracture assessment with dual-energy x-ray absorptiometry equipment. *Archives of osteoporosis* 17(1): 4. doi: 10.1007/s11657-021-01046-w
 97. Genant HK, Jergas M, Palermo L et al. (1996) Comparison of semiquantitative visual and quantitative morphometric assessment of prevalent and incident vertebral fractures in osteoporosis The Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *Journal of bone and mineral research: the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research* 11(7): 984–996. doi: 10.1002/jbmr.5650110716

Danksagungen

Mein herzlichster Dank gilt Herrn Professor Dr. med. Stefan Piatek. Ganz besonders danke ich ihm für die hilfreiche und unkomplizierte Zusammenarbeit, seinen Rat, seinen Zuspruch und nicht zuletzt für seine Geduld.

Großer Dank gebührt Frau Maria Schönrogge für die wertvollen Ratschläge, ausführlichen Antworten und gute Zusammenarbeit.

Ich bedanke mich bei Frau Dr. rer. nat. Daniela Adolf, M. Sc. Martin Hukauf, B. Sc. Ronny Otto für die statistische Beratung.

Außerdem danke ich Herrn PD Dr. med. Robert Damm für die Unterstützung bei der Osteoporosemessung.

Ein besonderer Dank geht an die Kollegen der Universitätsklinik für Unfallchirurgie in Magdeburg, die als Rater zuverlässig bei der Auswertung der Bilder gearbeitet haben.

Ich danke meiner Familie und besonders meiner Ehefrau Anne-Franziska Weiß, die mich stets bedingungslos unterstützt haben und immer mit Rat und Tat zur Seite standen.

Ehrenerklärung

Ich erkläre, dass ich die der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität zur Promotion eingereichte Dissertation mit dem Titel

Inter- und Intrarater-Reliabilität der OF-Klassifikation für osteoporotische Wirbelkörperfrakturen

in der Klinik für Unfallchirurgie

mit Unterstützung durch Prof. Dr. med. Piatek, Stefan; Frau Schönrogge, Maria

ohne sonstige Hilfe durchgeführt und bei der Abfassung der Dissertation keine anderen als die dort aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Bei der Abfassung der Dissertation sind Rechte Dritter nicht verletzt worden.

Ich habe diese Dissertation bisher an keiner in- oder ausländischen Hochschule zur Promotion eingereicht. Ich übertrage der Medizinischen Fakultät das Recht, weitere Kopien meiner Dissertation herzustellen und zu vertreiben.

Schleiz, den 01.10.2024

Erklärung zur strafrechtlichen Verurteilung

Ich erkläre hiermit, nicht wegen einer Straftat verurteilt worden zu sein, die
Wissenschaftsbezug hat.

Schleiz, den 01.10.2024

Lebenslauf

Vadzim Lahodski

geb. 23.06.1990 in Lida (Belarus)

Berufserfahrung

02/2023 – bis jetzt	Thüringen-Kliniken „Georgius Agricola“ Saalfeld Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie Chefarzt PD Dr. med. M. Schult Arzt in Weiterbildung
06/2020 – 12/2022	Universitätsklinikum Magdeburg A.ö.R. Klinik für Unfallchirurgie Direktor Prof. Dr. med. F. Walcher, 06/2020 – 02/2022 Rotation in die Klinik für Orthopädie Direktor Prof. Dr. med. C.-H. Lohmann, 03/2022 – 12/2022 Arzt in Weiterbildung
08/2017 – 05/2020	DRK Krankenhaus Lichtenstein GmbH Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie Chefarzt Dr. med. U. Lindenberg Arzt in Weiterbildung Hospitation bis zur Approbation am 19.04.2018
08/2014 – 07/2016	Lida Zentrales Kreiskrankenhaus MVZ Chirurgie, Lida, Weißrussland Arzt für Orthopädie und Traumatologie
08/2013 – 07/2014	Städtisches Klinisches Notfallkrankenhaus der Stadt Grodno: Pflichtassistenzzzeit, Grodno, Weißrussland Fachrichtung: Orthopädie und Traumatologie Abschluss: Arzt für Orthopädie und Traumatologie

Hochschulausbildung

2007 - 2013	Studium an der Staatlichen Universität für Medizin der Republik Weißrussland, Minsk, Weißrussland Fachrichtung – Humanmedizin Abschluss: Arzt
-------------	--

Schul Ausbildung

1996 – 2007	Besuch der Grund-, Mittel- und Oberschule in Lida, Weißrussland Abschluss: Allgemeine Hochschulreife Schwerpunkt: Naturwissenschaften
-------------	--

Schleiz, den 01.10.2024

Publikationsliste

1. Lahodski V, Piatek S, Damm R, Hukauf M, Sitte-Zoellner A, Schönrogge M (2022) Inter- und Intraraterreliabilität der Klassifikation für osteoporotische Wirbelkörperfrakturen (OF-Klassifikation). *Osteologie* 31(03): P 32. doi: 10.1055/s-0042-1755890
2. Schönrogge M, Lahodski V, Otto R, Adolf D, Damm R, Sitte-Zöllner A, Piatek S (2022) Inter- and intraobserver reliabilities and critical analysis of the osteoporotic fracture classification of osteoporotic vertebral body fractures. *European Spine Journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 31(9): 2431–2438. doi: 10.1007/s00586-022-07201-2

Anlagen

Anlage 1: Zustimmungende Bewertung der Ethikkommission

**UNIVERSITÄTSKLINIKUM
MAGDEBURG A.Ö.R.**



**OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG**



Ethik-Kommission, Medizinische Fakultät / Universitätsklinikum, Leipziger Str. 44 Haus 28, 39120 Magdeburg

Herrn Prof. Dr. med. Stefan Piatek
Universitätsklinik für Unfallchirurgie
Medizinische Fakultät, Otto-von-Guericke-Universität
Leipziger Straße 44
39120 Magdeburg

Ethik-Kommission der
Otto-von-Guericke-
Universität an der
Medizinischen Fakultät und
am Universitätsklinikum
Magdeburg A.Ö.R.

Univ.-Prof. Dr. med. Christof Huth
Vorsitzender

Dr. med. Norbert Beck
Geschäftsführer

Telefon: +49 391 67-14314
Telefax: +49 391 67-14354
elektr. Fax: +49 391 67-290185
eMail: ethikkommission@ovgu.de

Datum
31.07.2020

93/20

Studie zur Inter- und Intraraterreliabilität der OF-Klassifikation für osteoporotische Wirbelkörperfrakturen (KCHU-01-20)

Sehr geehrter Herr Prof. Piatek,
sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,

die Ethik-Kommission der Otto-von-Guericke-Universität an der Medizinischen Fakultät und am Universitätsklinikum Magdeburg hat die übergebenen Unterlagen zur o. g. Studie überprüft, in der letzten Kommissionssitzung eingehend erörtert und ist zu der Auffassung gekommen, dass gegen die Durchführung keine ethischen Bedenken bestehen.

Diese **zustimmende Bewertung** ergeht unter dem Vorbehalt gleichbleibender Gegebenheiten.

Die Verantwortlichkeit des jeweiligen Prüfwissenschaftlers / behandelnden Prüfarztes bleibt in vollem Umfang erhalten und wird durch diese Entscheidung nicht berührt. Alle zivil- oder haftungsrechtlichen Folgen, die sich ergeben könnten, verbleiben uneingeschränkt beim Projektleiter und seinen Mitarbeitern.

Beim Monitoring sind die Bestimmungen des Bundes- und Landesdatenschutzgesetzes sowie die sich aus der ärztlichen Schweigepflicht ergebenden Einschränkungen zu beachten, was eine Aushändigung kompletter Patientenakten zum Monitoring ausschließt.

Ein Monitoring personen- und studienbezogener Daten wird dadurch nicht beeinträchtigt.

Hinsichtlich der EU-Datenschutzgrundverordnung (DSGVO), welche ab 25.05.2018 Wirksamkeit entfaltet, werden folgende Hinweise gegeben: Datenschutzrechtliche Aspekte von Forschungsvorhaben werden durch die Ethikkommission grundsätzlich nur cursorisch geprüft. Diese Bewertung ersetzt mithin nicht die Konsultation des zuständigen Datenschutzbeauftragten.

Um die Übersendung von studienbezogenen Jahresberichten / Abschlussberichten / Publikationen wird unter Nennung unserer Registrationsnummer gebeten.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr. med. C. Huth
Vorsitzender der Ethik-Kommission

Ethik-Kommission
an der Otto-von-Guericke-Universität an der Medizinischen Fakultät
und am Universitätsklinikum Magdeburg A.Ö.R.
Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. med. C. Huth

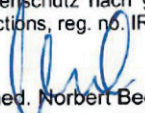
Anlage zum Votum der Studie 93/20 vom 31.07.2020

Zum Zeitpunkt der Bewertung der vorstehenden Studie waren folgende Damen und Herren Mitglied der Ethik-Kommission der Otto-von-Guericke-Universität an der Medizinischen Fakultät und am Universitätsklinikum Magdeburg:

Herr		
Prof. Dr. med. Norbert Bannert	Medizinische Fakultät / Universitätsklinikum,	Pädiater
Frau		
Prof. Dr. phil. Eva Brinkschulte	Medizinische Fakultät / Universitätsklinikum,	Bereich Geschichte, Ethik und Theorie der Medizin
Herr		
Prof. Dr.-Ing. Rolf Findeisen	Fakultät für Elektrotechnik und Informations-	technik, Institut für Automatisierungstechnik
Herr		
Prof. Dr. med. Christof Huth	Medizinische Fakultät / Universitätsklinikum,	Universitätsklinik für Herz- und Thoraxchirurgie
Frau		
Assessorin Ute Klanten	Medizinische Fakultät / Universitätsklinikum,	Stabsstelle Recht
Herr		
Prof. Dr. rer. nat. Siegfried Kropf	Medizinische Fakultät / Universitätsklinikum,	Mathematiker, Biometriker
Herr		
Dr. med. Werner Kuchheuser	Medizinische Fakultät / Universitätsklinikum,	Institut für Rechtsmedizin
Herr		
Prof. Dr. med. Frank Peter Meyer	Medizinische Fakultät / Universitätsklinikum,	Klinischer Pharmakologe
Herr		
Prof. Dr. med. Jens Schreiber	Medizinische Fakultät / Universitätsklinikum,	Universitätsklinik für Pneumologie
Herr		
Prof. Dr.-Ing. Klaus Tönnies	Fakultät für Informatik, Institut für Simulation und	Graphik, AG Bildverarbeitung/Bildverstehen

Mitglieder der Ethik-Kommission, die in eine Studie eingebunden sind, haben für die Votierung der betreffenden Studie kein Stimmrecht.

Die Ethik-Kommission der Otto-von-Guericke-Universität an der Medizinischen Fakultät und am Universitätsklinikum Magdeburg ist unter Beachtung entsprechender internationaler Richtlinien (ICH, GCP) und nationaler Richtlinien (AMG, GCP-V, MPG, MPKPV) tätig, nach Landesrecht (Hochschulmedizingesetz des Landes Sachsen-Anhalt § 25a, Verordnung über Ethik-Kommissionen zur Bewertung klinischer Prüfungen von Arzneimitteln - Ethik-Kom-VO LSA - i. d. akt. Fassung) legitimiert. Weiterhin besteht eine Registrierung der Ethik-Kommission beim Bundesamt für Strahlenschutz nach § 36 Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und beim Office for Human Research Protections, reg. no. IRB00006099, Rockville, MD, U.S.A..


Dr. med. Norbert Beck
Geschäftsführer der Ethik-Kommission

Anlage 2: Schematische Darstellung der 5 OF-Typen der OF-Klassifikation mit Beschreibung

UNIVERSITÄTSKLINIKUM
MAGDEBURG A.ö.R.



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG



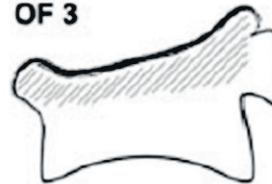
Schematische Darstellung der 5 OF-Typen mit Beschreibung
(nach Schnake KJ et al., Global Spine Journal 2018; 8: 46S-49S)

OF 1



OF 1: Keine Wirbelkörper-Deformation (lediglich Wirbelkörperödem in MRT-STIR). Dieser Typ ist selten. Diese stabile Verletzung ist nur in der MRT-STIR-Sequenz erkennbar. Röntgenaufnahmen und CT-Scan zeigen keine Deformation des Wirbelkörpers.

OF 3



OF 3: Deformation mit deutlicher Beteiligung der hinteren Wand ($>1/5$). Dieser Frakturtyp betrifft nur eine Endplatte, zeigt aber eine deutliche Beteiligung der Vorder- und Hinterwand (inkomplette Berstungsfraktur). Die Fraktur kann instabil sein und der Wirbelkörper mit der Zeit weiter kollabieren.

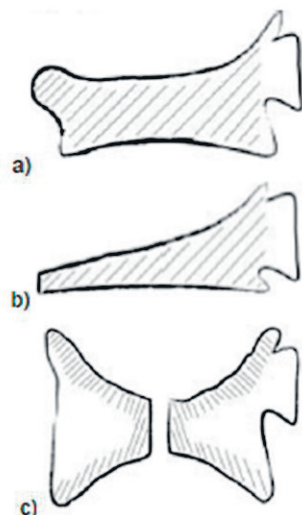
OF 2



OF 2: Deformation ohne oder mit allenfalls nur geringer Beteiligung der hinteren Wand ($<1/5$). Dieser Frakturtyp betrifft nur eine Endplatte (Impressionsfraktur). Die hintere Wand kann beteiligt sein, aber nur geringfügig. Frakturen Typ OF 2 sind stabile Verletzungen.

Schematische Darstellung der 5 OF-Typen mit Beschreibung
(nach Schnake KJ et al., Global Spine Journal 2018; 8: 46S-49S)

OF 4



OF 4: Diese Gruppe umfasst drei verschiedene Frakturtypen: Verlust der Wirbelkörperinnenstruktur (a), Wirbelkörperkollaps (b) oder Kneifzangen-fraktur (c).

- a) Bei einem Verlust der Wirbelkörperinnenstruktur sind beide Endplatten und die hintere Wand betroffen (komplette Berstungsfraktur).
- b) Ein Wirbelkörperkollaps wird typischerweise nach fehlgeschlagener konservativer Behandlung gesehen und kann als sog. Plattwirbel erscheinen.
- c) Kneifzangen-Frakturen betreffen beide Endplatten und können zu einer starken Deformierung des Wirbelkörpers führen.

OF 4-Frakturen sind instabile Frakturen. Oft sind intravertebrale Vakuumphänomene sichtbar.

OF 5



OF 5: Distraktions- oder Rotationsverletzungen.

Diese Gruppe ist selten, zeigt aber eine erhebliche Instabilität. Die Verletzung umfasst nicht nur die vordere Säule, sondern auch den hinteren knöchernen und ligamentären Komplex. OF 5-Verletzungen können entweder direkt durch Trauma oder auch durch fortschreitendes Sintern und Kollabieren eines OF-Typs 4 entstehen.

Anlage 3: Tabellarische Form der OF-Klassifikation

Typ	Beschreibung
OF 1	Keine Deformation (Wirbelkörper- ödem)
OF 2	Deformation mit geringer/ohne Hin- terwandbeteiligung (<1/5)
OF 3	Deformation mit ausgeprägter Hin- terwandbeteiligung (>1/5)
OF 4	Verlust der Rahmenstruktur, Wirbel- körperkollaps oder Kneifzangenfrak- tur
OF 5	Distraktions- und Rotationsverletzun- gen

Anlage 4: Bogen für die Auswertung der OF-Klassifikation

UNIVERSITÄTSKLINIKUM
MAGDEBURG A.Ö.R.



OTTO VON GUERICKE
UNIVERSITÄT
MAGDEBURG



Auswertung OF Klassifikation (Studie zur Inter- und Intraraterreliabilität der OF- Klassifikation für osteoporotische Wirbelkörperfrakturen (KCHU-01-20))

Bitte ausfüllen!

Session Nr. 1 ☐

Session Nr. 2 ☐

Name Viewer:

Name Observer:

Datum:

Uhrzeit Start:

Uhrzeit Ende:

Bitte klassifizieren Sie die Wirbelkörperfraktur nach der OF-Klassifikation und tragen den Wert als Zahl in die entsprechenden Felder ein. Verwenden Sie dazu die Ihnen zur Verfügung gestellten Hilfsmaterialien (OF-Klassifikation als Tabelle und als Schemaabbildung). Die zu klassifizierende Fraktur finden Sie in der Tabelle. Bitte achten Sie darauf, dass einige Patienten auch multiple Frakturen haben können. Bei Unsicherheiten bei der Identifikation des Wirbelkörpers helfen wir gerne weiter.

1. Schauen Sie sich zuerst Röntgenbilder und MRT an und tragen Sie anschließend bitte die von Ihnen ermittelte OF-Klassifikation (z.B. 4) in das entsprechende Feld ein ("OF Klassifikation Röntgen + MRT").

2. Bitte schauen Sie sich den CT Datensatz erst DANACH an. Bitte tragen Sie nun die anhand des zusätzlich zur Verfügung stehenden CT Datensatzes ermittelte OF-Klassifikation in das entsprechende Feld ein ("OF Klassifikation Röntgen+MRT+CT").

Traten Schwierigkeiten auf oder gibt es Anmerkungen, können Sie diese im entsprechenden Feld notieren.

Nr.	Patienten ID (OF Studien Nr.)	zu klassifizierender Wirbelkörper	OF Klassifikation Röntgen + MRT	OF Klassifikation Röntgen + MRT+CT	Anmerkungen
1	ZM11	BWK 11			
2	ZC2	LWK 2			
3	WL1	LWK 1			
4	WH12	BWK 12			
5	WC3	LWK 3			
6	US2	LWK 2			
7	UB12	BWK 12			
8	TD1	LWK 1			
9	SM2	LWK 2			
10	SK1	LWK 1			
11	SI2	LWK2			
12	SE8	BWK 8			
13	SE1	LWK 1			
14	RM12	BWK 12			
15	RM1	LWK 1			
16	RL7	BWK 7			
17	RC2	LWK 2			
18	RB12	BWK 12			
19	PL1	LWK 1			
20	OU2	LWK 2			
21	OR2	LWK 2			
22	OM3	LWK 3			
23	NR12	BWK 12			
24	NA12	BWK 12			
25	Mül1	LWK 4			
26	MI1	LWK 1			
27	LI3	LWK 3			
28	LI1	LWK 1			

29	LE3	LWK 3			
30	LE1	LWK1			
31	LC1	LWK 1			
32	KR3	LWK 3			
33	KL6	BWK6			
34	KI1	LWK1			
35	KE4	LWK 4			
36	KD7	BWK 7			
37	KB12	BWK12			
38	JB12	BWK12			
39	IM1	LWS1			
40	GR1	LWK1			
41	GG1	LWK1			
42	EE12	BWK12			
43	EC1	LWK1			
44	DR9	BWK9			
45	DH2	LWK2			
46	DG11	BWK12			
47	DE1	LWK1			
48	CE12	BWK 12			
49	BM12	BWK 12			
50	BH12	BWK 12			
51	BG3	LWK 3			
52	BE1	LWK 1			
53	BB1	LWK 1			
54	BA1	LWK 1			