

Diplomarbeit

**Evaluierung der abdominellen Radiografie bei Kindern
in Korrelation mit dem klinischen Befund**

eingereicht von

Jan Michael Urban

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)**

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

Klinischen Abteilung für Kinderradiologie

unter der Anleitung von

Univ.-Prof. Priv.-Doz. Dr.med.univ. Dr.scient.med. Sebastian Tschauner

Dr.med.univ. Nikolaus Stranger

Graz, 20. Januar 2026

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Des Weiteren erkläre ich hiermit, dass, sofern bei der Erstellung dieser Arbeit Künstliche Intelligenz (KI) Werkzeuge zur Generierung und/oder Korrektur bestimmter Textpassagen verwendet wurden, dieser Einsatz unter Einhaltung ethischer Grundsätze, akademischer Integrität und den Vorgaben meiner Universität erfolgte, sowie in Folge dies transparent gemacht und in angemessener Weise gekennzeichnet wurde.

Graz, 20. Januar 2026

Jan Michael Urban eh.

Danksagungen

Allen voran bin ich meiner Familie dankbar. Der bedingungslosen Liebe und Unterstützung meiner Eltern bin ich nicht bloß mein gesamtes Studium, sondern all meine Erfolge schuldig. Liebe Mama, lieber Papa: Danke für all die Möglichkeiten, die ihr mir eröffnet habt! Danke auch an Elke, dass du mich immer wieder gezwungen hast, unter Leute zu gehen. Ohne dich hätte ich viele schöne Urlaube verpasst. Ich hab' euch sehr lieb!

Ein großes Dankeschön an Fabian, Fabio, Jakob und Sandro: dafür, dass wir uns das ganze Studium nicht aus den Augen verloren haben und dass ihr mich rausgezerrt habt, wenn ich mal zu lange abgetaucht war. Eine bessere Freundesgruppe hätte ich mir nicht wünschen können, und ich hoffe, wir sitzen auch mit grauen Bärten noch zusammen.

Ich möchte mich auch bei allen Menschen bedanken, die mich durch einen Teil meiner Studienzzeit begleitet haben (ob nur für kurze Momente oder über viele Jahre hinweg). Danke für offene Ohren, fürs Lachen, fürs Motivieren, fürs gemeinsame Feiern und Lernen. Ein besonderes Danke auch an Kyri für die vielen spannenden Diskussionen und dafür, dass du mich immer wieder motiviert hast, noch mehr zu geben.

Ich bin froh, dass es euch gibt! Danke!

Abschließend danke ich ganz herzlich meinen Betreuern, Herrn Univ.-Prof. Priv.-Doz. Dr.med.univ. Dr.scient.med. Sebastian Tschauner und Herrn Dr.med.univ. Nikolaus Stranger, für die Inspiration und die wertvolle Unterstützung bei dieser Arbeit.

Vielen Dank!

Zusammenfassung

Zu dem Vergleich der diagnostischen Aussagekraft zwischen aufrechten abdominellen Projektionen und solchen in Rückenlage liegt bereits eine umfangreiche Studienlage für erwachsene Patient*innen vor. Für den pädiatrischen Kontext wurde diese Fragestellung bisher jedoch kaum untersucht. Ziel dieser Arbeit war es, die diagnostische Relevanz der aufrechten, liegenden und kombinierten Projektion bei unter 18-Jährigen systematisch zu vergleichen und daraus strahlensparende Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Insgesamt wurden 373 Bildserien von Kindern mit abdomineller Fragestellung retrospektiv ausgewertet. Zwei erfahrene Radiolog*innen beurteilten unabhängig zehn vordefinierte radiologische Parameter, darunter die vollständige Abbildung des Abdomens, freie Luft, Ileuszeichen, Pneumatosis intestinalis, Konkremente, Leber-, Nieren-, Milz- und Psoasschatten sowie Obstipation. Für den statistischen Vergleich wurden Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests durchgeführt. Die Interrater-Reliabilität wurde mittels Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) bestimmt. Ergänzend erfolgte eine deskriptive Erfassung klinischer Diagnosen ($n = 78/373$; rund 21%) zur Charakterisierung des Kollektivs.

Bei freier Luft zeigte die aufrechte Projektion die höchste diagnostische Sicherheit. Für Konkremente ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen Kombination und Aufrecht, jedoch eine eingeschränkte Reliabilität in allen Lagerungsformen. Ileuszeichen und Pneumatosis intestinalis wurden in der kombinierten Befundung konsistenter erkannt. Leber- und Milzschatten sowie Obstipation ließen sich in Rückenlage tendenziell verlässlicher beurteilen. Nieren- und Psoasschatten waren in beiden Einzelprojektionen mit der kombinierten Bewertung vergleichbar. Die ICC-Werte variierten deutlich (0,313-0,902), mit exzellenter Reliabilität für freie Luft in aufrechter Projektion, guten Werten für Ileuszeichen, Nieren- und Psoasschatten, moderaten Werten für Pneumatosis intestinalis, Milzschatten und Obstipation und geringer Reliabilität für Konkremente und Leberschatten.

Eine differenzierte Auswahl der Projektion ist im Kindesalter sinnvoll: Die aufrechte Projektion erweist sich insbesondere beim Ausschluss freier Luft als zuverlässig und kann auch für Konkremente isoliert eingesetzt werden. Für Obstipation und Organschatten reicht die Rückenlage aus. Ileuszeichen und seltene Befunde wie Pneumatosis intestinalis profitieren hingegen von einer kombinierten Betrachtung. Insgesamt sprechen diese Ergebnisse für eine fragestellungsorientierte Bildgebungsstrategie, die eine Reduktion der Strahlenbelastung ermöglicht, ohne die diagnostische Aussagekraft zu mindern.

Abstract

Extensive research has compared the diagnostic yield of erect and supine projections in abdominal radiographs in adult patients. In the pediatric setting, however, this question has rarely been examined in detail. The aim of this study was to systematically compare the diagnostic relevance of erect, supine, and combined projections in children and adolescents and to derive recommendations for radiation-sparing imaging strategies.

A total of 373 abdominal radiograph series from children were retrospectively analyzed. Two experienced radiologists independently assessed ten predefined radiological parameters, including complete visualization of the abdomen, free air, bowel obstruction, pneumatosis intestinalis, calcifications, liver, kidney, spleen, and psoas shadows, and constipation, in supine, erect, and combined projections. Statistical comparisons were performed using Wilcoxon signed-rank tests. Interrater reliability was determined using intraclass correlation coefficients (ICC). In addition, a descriptive assessment of clinical diagnoses ($n = 78/373$; about 21%) was performed to characterize the study population.

For free air, the erect projection demonstrated the highest diagnostic reliability. Calcifications showed no significant difference between combined and erect views, although reliability was limited across all projections. Signs of bowel obstruction and pneumatosis intestinalis were identified more consistently in the combined assessment than in single projections. Findings for liver and spleen shadows as well as constipation indicated that supine radiographs tended to yield more reliable results than erect views. Kidney and psoas shadows were comparable between single and combined projections. ICC values varied widely (0.313-0.902), with excellent reliability for free air in erect projection, good agreement for obstruction signs, kidney and psoas shadows, moderate values for pneumatosis intestinalis, liver shadows, and constipation, and poor reliability for calcifications and liver shadows.

A differentiated selection of projections might be advisable in pediatric abdominal imaging. Erect projection is particularly reliable for excluding free air and may also suffice for the detection of calcifications. Supine projection is adequate for diagnosing constipation and assessing organ shadows. In contrast, bowel obstruction and rare findings such as pneumatosis intestinalis benefit from combined evaluation. Overall, these results support a question-oriented imaging approach that reduces radiation exposure without compromising diagnostic performance.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und deren Erklärung.....	1
Abbildungsverzeichnis	2
Tabellenverzeichnis	3
1. Einleitung	4
1.1. Hinführung zum Thema und Fragestellung.....	4
1.2. Relevanz der Untersuchung im Kontext des Strahlenschutzes	4
1.2.1. Grundlagen der Strahlenwirkung und Dosisabschätzung.....	4
1.2.1.1. Dosisbegriffe	7
1.2.2. ALARA-Prinzip	8
1.2.3. Pädiatrische Strahlenempfindlichkeit und organspezifische Risiken	9
1.2.4. Richtlinien und Schutzmaßnahmen	11
1.3. Zielsetzung und Hypothesen	11
1.4. Forschungslücke in der aktuellen Literatur	13
1.4.1. Übersicht bisheriger Studien zur Gleichwertigkeit von Projektionen	13
1.4.2. Fazit	14
1.4.3. Neuheitswert dieser Arbeit	15
1.5. Einschränkungen und Abgrenzungen	16
2. Theoretischer Hintergrund	17
2.1. Technische Grundlagen der konventionellen Radiographie	17
2.2. Standard-Projektionen des Abdomens (Stehen vs. Liegen).....	18
2.3. Bildauswertung und Befundung	20
2.3.1. Anatomisch-diagnostische Besonderheiten des kindlichen Situs.....	25
3. Methodik	28
3.1. Studiendesign	28
3.2. Population und Stichproben.....	28
3.3. Datenerhebung.....	29
3.4. Bewertungsverfahren.....	29
3.4.1. Bewertete Parameter.....	29
3.4.2. Bewertung.....	30
3.4.3. Bewertungsskala.....	31
3.4.4. Bildzuordnung und Verblindung	31
3.4.5. Überprüfung auf Vollständigkeit der Bildgebung.....	32

3.5.	Statistische Analyse	32
3.5.1.	Ziel der Analyse.....	32
3.5.2.	Prüfung auf Normalverteilung.....	33
3.5.3.	Wahl des Testverfahrens	33
3.5.4.	Signifikanzniveau	33
3.5.5.	Bewertung der Interrater-Übereinstimmung	34
3.5.6.	Klinische Zusatzanalyse	35
3.5.7.	Software.....	35
3.6.	Ethik und Datenschutzaspekte.....	36
4.	Ergebnisse	37
4.1.	Demografische Daten der Stichprobe.....	37
4.2.	Grafiken zur Veranschaulichung	38
4.2.1.	Boxplots.....	38
4.2.2.	Histogramme	40
4.3.	Statistische Analyse	44
4.3.1.	Deskriptive Statistik der Bewertungsparameter	44
4.3.2.	Prüfung auf Normalverteilung.....	45
4.3.3.	Signifikanztests (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test)	46
4.4.	Analyse der Interrater-Reliabilität	48
4.5.	Klinische Zusatzanalyse	49
5.	Diskussion.....	51
5.1.	Klinische Aussagekraft der Projektionen	51
5.1.1.	Vergleich kombinierter vs. einzelner Projektionen.....	51
5.1.2.	Klinische Kontextualisierung der Stichprobe.....	53
5.1.3.	Mögliche Strahlenreduktion durch gezielte Auswahl.....	53
5.2.	Interpretation der Ergebnisse im Kontext bisheriger Literatur.....	54
5.3.	kritische Reflexion und Limitationen	55
5.4.	Schlussfolgerung und Ausblick	56
6.	Literaturverzeichnis.....	58

Abkürzungen und deren Erklärung

Abkürzung	Bedeutung
a.p.	anterior-posterior (Strahlengang von vorne nach hinten)
ALARA	„As Low As Reasonably Achievable“ (Strahlenschutzprinzip: so niedrig wie vernünftigerweise erreichbar)
ca.	circa
CT	Computertomographie
DFP	Dosisflächenprodukt (Einheit: mGy·cm ²)
DNA	Desoxyribonukleinsäure
DRW	diagnostische Referenzwerte
Gy	Gray (Maßeinheit für die Energiedosis, 1 Gy = 1 J/kg)
ICC	Intraclass Correlation Coefficient (Maß für Interrater-Übereinstimmung)
keV	Kiloelektronenvolt
kV	Kilovolt (Röhrenspannung)
LNT	Linear-Non-Threshold-Modell (strahlenbiologisches Modell ohne Schwellenwert)
mAs	Milliampere-Sekunden (Produkt aus Röhrenstrom und Belichtungszeit)
mGy	Milligray
mGy cm ²	Milligray mal Quadratzentimeter (Einheit des Dosisflächenprodukts)
mSv	Millisievert (Maßeinheit für die effektive Dosis)
µm	Mikrometer
µGy m	Mikrogray-Meter (Dosis-Flächen-Maß; vereinzelt verwendet)
NEC	nekrotisierende Enterokolitis
PA	posterior-anterior (Strahlengang von hinten nach vorne)
PACS	Picture Archiving and Communication System (Bildarchivierungs- und Kommunikationssystem)
PR	Projektionsradiographie
RIS	Radiologie-Informationssystem
supin	Rückenlage
wR	Strahlungswichtungsfaktor
wT	Gewebewichtungsfaktor

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Diagnostischer Ablauf beim akuten Abdomen (in Anlehnung an Becker et al. 2019, S. 536).....	18
Abbildung 2: Normale Abdomenübersichtsaufnahme in Rückenlage (links) und Stehen (rechts). Regelrecht abgrenzbare Organshatten, vollständig erfasstes Abdomen.	19
Abbildung 3: Abdomenübersichtsaufnahme in Rückenlage (links) und Linksseitenlage (rechts) mit Nachweis deutlicher Luftsichel bei freier Luft.	20
Abbildung 4: Abdomenübersichtsaufnahme in Rückenlage (links) und Stehen (rechts) bei Dünndarmileus mit ausgeprägten Luft-Flüssigkeitsspiegeln.	21
Abbildung 5: Abdomenübersichtsaufnahme in Rückenlage (links) und Stehen (rechts) mit ausgeprägter Koprostase und dilatierten Darmschlingen.	22
Abbildung 6: Abdomenübersichtsaufnahme in Rückenlage (links) und Stehen (rechts) mit Nachweis von intramuraler Luft entsprechend einer Pneumatosis intestinalis.	23
Abbildung 7: Abdomenübersichtsaufnahme in stehender Projektion mit Nachweis eines röntgendichten Fremdkörpers im Unterbauch.	24
Abbildung 8: Abdomenübersichtsaufnahme in stehender Projektion bei Morbus Hirschsprung. Deutlich dilatierte Kolonschlingen mit Kalibersprung zum Rektum. .	26
Abbildung 9: Altersverteilung der Patientinnen und Patient*innen (n=373)	37
Abbildung 10: Geschlechtsverteilung der Patientinnen und Patient*innen (n=373)	37
Abbildung 11: Boxplots - Freie Luft (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).....	38
Abbildung 12: Boxplots - Ileuszeichen (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).....	38
Abbildung 13: Boxplots - Pneumatosis intestinalis (Kombination, Rückenlage, Aufrecht.	38
Abbildung 14: Boxplots - Konkrement (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).....	38
Abbildung 15: Boxplots - Leberschatten (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).	39
Abbildung 16: Boxplots - Nierenschatten (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).....	39
Abbildung 17: Boxplots - Milzschatten (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).....	39
Abbildung 18: Boxplots - Psoasschatten (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).	39
Abbildung 19: Boxplots - Obstipation (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).....	40
Abbildung 20: Populationspyramiden - Freie Luft (Rückenlage, Aufrecht).....	40
Abbildung 21: Populationspyramiden - Ileuszeichen (Rückenlage, Aufrecht)	41
Abbildung 22: Populationspyramiden - Pneumatosis intestinalis (Rückenlage, Aufrecht)	41
Abbildung 23: Populationspyramiden - Konkrement (Rückenlage, Aufrecht)	41
Abbildung 24: Populationspyramiden - Leberschatten (Rückenlage, Aufrecht).....	41
Abbildung 25: Populationspyramiden - Nierenschatten (Rückenlage, Aufrecht)	42
Abbildung 26: Populationspyramiden - Milzschatten (Rückenlage, Aufrecht)	42
Abbildung 27: Populationspyramiden - Psoasschatten (Rückenlage, Aufrecht).....	42
Abbildung 28: Populationspyramiden - Obstipation (Rückenlage, Aufrecht)	42

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Gewebe-Wichtungsfaktoren verschiedener Organe nach Reiser et al. (2017, S. 64).....	8
Tabelle 2: Anzahl, Lage- und Streuungsmaße der untersuchten Parameter getrennt nach Projektion	44
Tabelle 3: Überprüfung der Verteilungsannahmen mittels Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Test.....	45
Tabelle 4: Ergebnisse der Wilcoxon-Tests für die paarweisen Vergleiche zwischen kombinierter und isolierter Projektion.....	47
Tabelle 5: Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) für die Übereinstimmung zwischen zwei Radiologen bei der Beurteilung verschiedener abdomineller Parameter in Rückenlage und Aufrecht. Angaben als ICC (95 %-Konfidenzintervall); Interpretation nach Koo & Li (2016)	48
Tabelle 6: Übersicht der klinischen Diagnosen (n = 78) in Hauptgruppen. Die Analyse erfolgte deskriptiv auf Basis eindeutig zuordenbarer klinischer Fälle.	50

1. Einleitung

1.1. Hinführung zum Thema und Fragestellung

An der Klinischen Abteilung für Kinderradiologie der Medizinischen Universität Graz ist es derzeit üblich, bei abdominellen Fragestellungen wie dem akuten Abdomen jeweils eine Röntgenaufnahme in Rückenlage, sowie eine in stehender-/hängender- Lagerung, beziehungsweise seltener in Seiten-/Bauchlage, anzufertigen. Diese klinische Praxis entspringt aus der Überlegung, dass die kombinierte Befundung von Aufnahmen in unterschiedlichen Lagerungsformen eine verbesserte diagnostische Aussagekraft und höhere Sicherheit bei der Beurteilung pathologischer Befunde bietet. Diese Vorgehensweise hat sich jedoch primär aus praktischer Erfahrung etabliert, ohne dass ihre diagnostische Überlegenheit systematisch untersucht wurde.

Somit ist das Ziel dieser Arbeit hierfür eine wissenschaftliche Grundlage zu schaffen, da vor allem der kindliche Situs nicht durch überflüssige ionisierende Strahlung belastet werden sollte.

1.2. Relevanz der Untersuchung im Kontext des Strahlenschutzes

1.2.1. Grundlagen der Strahlenwirkung und Dosisabschätzung

Ionisierende Strahlung, wie sie bei Röntgenuntersuchungen verwendet wird, wirkt durch Anregung und Ionisation auf biologische Materie. Bei der Anregung werden Elektronen in höhere Energieniveaus gehoben, was biochemische Prozesse beeinflussen kann. Ionisation verändert die elektrische Ladung von Atomen durch Elektronenabgabe oder -aufnahme und kann dadurch direkte Zellschäden verursachen (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 12).

Man unterscheidet dabei direkt ionisierende Strahlung (zum Beispiel geladene Teilchen) von indirekt ionisierender Strahlung wie Röntgen- oder γ -Strahlen, die zunächst Sekundärelektronen erzeugen, welche dann Anregungen oder Ionisationen bewirken (Reiser et al. 2017, S. 22).

Die biologische Wirkung hängt von der Strahlungsart, der Dosis, dem bestrahlten Gewebe und dem sogenannten Linearen Energietransfer ($LET = \text{Energieverlust [keV]} / (\text{Flugstrecke} [\mu\text{m}])$) ab, der die Ionisationsdichte beschreibt (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 12).

Röntgenstrahlung zählt dabei zu den Photonenstrahlungen mit niedriger Ionisationsdichte (niedriger LET). Sie verursacht weniger direkte Ionisation, wird jedoch stärker im Gewebe

gestreut, was auch Zellen außerhalb des Zielgebiets beeinflussen kann (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 13).

Auf molekularer Ebene können durch die Wechselwirkungen mit Wassermolekülen freie Radikale entstehen, die vor allem die DNA schädigen. Dabei entstehen verschiedene Schäden wie Basenveränderungen, Einzel- und Doppelstrangbrüche, Crosslinks sowie komplexe „bulky lesions“, die aus multiplen kombinierten Schäden bestehen und besonders schwer reparierbar sind.

Der Organismus verfügt über mehrere Reparaturmechanismen zur Behebung dieser Schäden, darunter Basen- und Strangexzisionssysteme, homologe Rekombination und End-Joining. Unvollständige oder fehlerhafte Reparaturen können jedoch Mutationen, Zelltod oder Karzinogenese zur Folge haben. Strahleninduzierter Zelltod kann durch unkontrollierte Nekrose oder regulierte Apoptose erfolgen. Letztere dient dem Schutz vor fehlerhafter Zellteilung und wird unter anderem durch das p53-Gen gesteuert (Kauffmann et al. 2011, S. 22–26).

Zur Einschätzung der biologischen Risiken werden stochastische und deterministische Strahlenwirkungen unterschieden. Über stochastische Effekte können bereits geringe Dosen Genmutationen und Zellveränderungen verursachen, die langfristig das Risiko für Krebserkrankungen erhöhen. Für diese Effekte existiert keine untere Schwelle. Dagegen treten deterministische Effekte erst oberhalb definierter Schwellendosen auf und führen zu unmittelbaren Gewebeschäden und Fehlbildungen. In der diagnostischen Radiologie werden sie durch niedrige Dosen in der Regel vermieden (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 13–14; Kauffmann et al. 2011, S. 41).

Genetische Schäden betreffen sowohl somatische als auch Keimzellen. Somatische Mutationen betreffen nur das betroffene Individuum, während Keimzellmutationen das Risiko für nachfolgende Generationen erhöhen können (Kauffmann et al. 2011, S. 41–42). Strahleninduzierte Mutationen können auf verschiedenen Ebenen des Erbguts auftreten. Dabei unterscheidet man Genmutationen (z. B. Punktmutationen, Insertionen, Deletionen), Chromosomenmutationen (z. B. Translokationen, Inversionen) und Genommutationen (z. B. Trisomien) (Reiser et al. 2017, S. 43).

Besonders strahlenempfindlich gelten Organe mit hoher Zellteilungsrate wie Magen-Darm-Trakt, Lunge, Brustdrüse, Knochenmark, Schilddrüse, Speiseröhre, Leber und Niere. Das

individuelle Risiko für strahleninduzierten Krebs wird mit etwa 5 % pro Sv, für Leukämie mit ca. 0,5 % pro Sv beziffert (Kauffmann et al. 2011, S. 46–47).

In der diagnostischen Radiologie sind deterministische Schäden bei Einhaltung der Dosisgrenzwerte nahezu ausgeschlossen. Dennoch spielen Faktoren wie das bestrahlte Volumen, die Strahlenqualität, individuelle Merkmale und Begleiterkrankungen eine Rolle bei der individuellen Strahlenempfindlichkeit (Kauffmann et al. 2011, S. 49).

Die Strahlenexposition des Menschen setzt sich aus natürlicher und zivilisatorisch bedingter Belastung zusammen. In Deutschland beträgt die durchschnittliche Gesamtexposition etwa 4,5 mSv pro Jahr, davon etwa zur Hälfte medizinisch bedingt (Kauffmann et al. 2011, S. 287).

Kinder benötigen für Röntgenuntersuchungen teilweise altersabhängig höhere Dosen, da ihr Gewebe durch den hohen Wassergehalt mehr Strahlung absorbiert und streut (Alzen & Benz-Bohm 2011). Beispielhafte Messungen zeigen für Abdomenaufnahmen folgende Dosisflächenprodukte (DFP): Im ersten Lebensjahr ca. 0,3 μGym^2 , zwischen 3-7 Jahren ca. 0,2 μGym^2 (Referenzwerte bis 50 μGym^2) und im Alter von 8-12 Jahren ca. 0,6 μGym^2 (Referenzwerte bis 60 μGym^2) (Alzen & Benz-Bohm 2011, tbl. 2).

Die Mutationsverdoppelungsdosis - also die Dosis, die die spontane Mutationsrate verdoppelt - liegt beim Menschen bei ca. 0,6 Gy. Daraus wurde ursprünglich ein Grenzwert von 0,05 Sv/Jahr für die Allgemeinbevölkerung berechnet (bezogen auf die 12 Jahre durchschnittlicher reproduktiver Lebenszeit bei Frauen). Im Jahr 2001 wurde dieser Wert auf 1 mSv pro Jahr (0,001 Sv/Jahr) gesenkt, um ihn an andere industrielle Risiken anzugleichen (Kauffmann et al. 2011, S. 41–42).

In pädiatrischen Kollektiven werden für abdominelle Röntgenaufnahmen je nach Gewichtsklasse effektive Dosen zwischen etwa 0,01 mSv bei Kleinkindern und bis zu etwa 0,3 mSv bei Jugendlichen beschrieben (Earl et al. 2023). Zum Vergleich: Die effektive Dosis bei ausgewachsenen Patienten beträgt laut österreichischen Daten etwa 0,8-1 mSv, was ungefähr 50 Thoraxaufnahmen oder ca. 5 Monaten natürlicher Hintergrundstrahlung entspricht. CT-Untersuchungen des Abdomens verursachen hingegen deutlich höhere Dosen von etwa 10 mSv, entsprechend ungefähr 4 Jahren natürlicher Exposition. Die Effektivdosis eines Transatlantikfluges beträgt im Vergleich rund 0,1 mSv (Bundesfachgruppe Radiologie, Österreichische Ärztekammer 2021, S. 20; Wachabauer et al. 2022, S. 10).

Kinder stellen in der radiologischen Diagnostik eine besonders vulnerable Patientengruppe dar. Neben biologisch erhöhten Risiken durch schnelles Zellwachstum und lange Lebenszeit ergeben sich auch praktische Herausforderungen bei der Durchführung: Gerade bei kleinen Kindern kann mangelnde Kooperation zusätzliche Maßnahmen wie körperliche Fixierung oder Sedierung erforderlich machen. Dabei sind fixierende Begleitpersonen, häufig Eltern, einer gewissen Streustrahlung ausgesetzt, die trotz adäquater Schutzmaßnahmen so gering wie möglich gehalten werden muss (Fotter, Richard et al. 2010, S. 3).

Die Häufigkeit pädiatrischer Abdomenaufnahmen ist insbesondere im ersten Lebensjahr relativ hoch. Die Entwicklung und konsequente Umsetzung altersadaptiert standardisierter Bildaufnahmeprotokolle bleibt ein wesentliches Ziel des Strahlenschutzes in der pädiatrischen Radiologie (Alzen & Benz-Bohm 2011).

1.2.1.1. Dosisbegriffe

Zur Beschreibung der Strahlenexposition in der medizinischen Bildgebung werden verschiedene Dosisgrößen verwendet, die physikalische Parameter mit biologischer Relevanz verknüpfen. Die Energiedosis (Gray, Gy) beschreibt die absorbierte Strahlungsenergie pro Masseneinheit und ist die Basisgröße der Dosimetrie. Da unterschiedliche Strahlenarten bei gleicher Energiedosis eine unterschiedliche biologische Wirkung entfalten, wird zur Risikoabschätzung die Organ-Äquivalentdosis (=Organdosis) (Sievert, Sv) herangezogen. Sie ergibt sich durch Multiplikation der Energiedosis mit einem strahlungsspezifischen Wichtungsfaktor (w_R), der zum Beispiel bei Röntgenstrahlung den Wert 1 aufweist. Der Strahlungswichtungsfaktor w_R steigt mit zunehmendem linearem Energietransfer (LET) (Kauffmann et al. 2011, S. 16–17; Reiser et al. 2017, S. 28, 63).

Für eine organspezifische Risikobewertung wird zusätzlich die effektive Dosis berechnet. Diese berücksichtigt die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit verschiedener Gewebe anhand festgelegter Gewebewichtungsfaktoren (w_T) und ergibt sich aus dem Produkt aus Organdosis und w_T (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 19–20; Kauffmann et al. 2011, S. 17).

Tabelle 1: Gewebe-Wichtungsfaktoren verschiedener Organe nach Reiser et al. (2017, S. 64)

Keimdrüsen	0,20
Dickdarm und Magen	0,12
Leber und Blase	0,04
Haut und Knochenoberfläche	0,01
andere Organe oder Gewebe: Nieren, Nebennieren, Dünndarm, Muskel, Milz, Bauchspeicheldrüse, Gebärmutter	0,12

In der konventionellen Projektionsradiographie dient das DFP als praxisnahe Messgröße. Es ergibt sich aus der absorbierten Dosis multipliziert mit der bestrahlten Fläche und wird typischerweise in $\mu\text{Gy m}^2$ angegeben. Es ist abstandsunabhängig und kann mittels Konversionsfaktoren in eine effektive Dosis überführt werden. (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 20).

1.2.2. ALARA-Prinzip

Das grundlegende Prinzip des medizinischen Strahlenschutzes basiert auf dem Linear-Non-Threshold-Modell (LNT), das davon ausgeht, dass bereits geringste Strahlendosen ein erhöhtes Krebsrisiko verursachen können und somit keine sichere Schwelle existiert. Das Risiko steigt dabei linear mit der applizierten Dosis. Hieraus leitet sich das ALARA-Prinzip ("As Low As Reasonably Achievable") ab, das fordert, jede unnötige Strahlenexposition strikt zu vermeiden (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 18–19).

Zentraler Bestandteil des ALARA-Prinzips ist die strenge Nutzen-Risiko-Abwägung. Jede radiologische Untersuchung muss durch eine sogenannte „rechtfertigende Indikation“ begründet sein, bei der der diagnostische Nutzen die potentiellen Risiken klar überwiegt. Existieren gleichwertige strahlungsfreie Alternativen, wie Ultraschall oder MRT, sind diese bevorzugt einzusetzen. Diese Entscheidung darf gemäß geltenden strahlenschutzrechtlichen Vorgaben ausschließlich von einem fachkundigen Arzt getroffen werden (Kauffmann et al. 2011, S. 288–289).

Die Umsetzung des ALARA-Prinzips erfordert dabei nicht nur technische Optimierungen wie korrekte Geräteeinstellungen, Einsatz von Filtern, enger Kollimation und dosissparenden digitalen Detektoren, sondern auch organisatorische Maßnahmen.

Dazu zählen sorgfältige Anamneseerhebung, interdisziplinäre Abstimmungen, Nutzung bereits vorhandener Bilddaten sowie die Vermeidung unnötiger Wiederholungsuntersuchungen und „Absicherungsaufnahmen“. Die Indikation für Röntgenuntersuchungen bei Kindern unterliegt besonders strengen Anforderungen an die Nutzen-Risiko-Abwägung, da durch häufige Bildgebungen im Kindesalter ein relevanter Beitrag zur kollektiven Bevölkerungsdosis entsteht (Bundesfachgruppe Radiologie, Österreichische Ärztekammer 2021, S. 15–16, 19; Kauffmann et al. 2011, S. 292–293).

Zur praktischen Umsetzung des ALARA-Prinzips tragen auch technische Maßnahmen bei: Eine kurze Aufenthaltszeit im Strahlenfeld, geeignete Abschirmung, ausreichender Fokus-Objekt-Abstand sowie eine präzise Einblendung. Durch geeignete Röhrenspannung und Filterung kann der Anteil niederenergetischer Strahlung reduziert werden, die bevorzugt im Oberflächengewebe absorbiert wird und keinen diagnostischen Mehrwert liefert (Reiser et al. 2017, S. 68; Zechmann et al. 2019, S. 2).

1.2.3. Pädiatrische Strahlenempfindlichkeit und organspezifische Risiken

Kinder sind aufgrund ihres raschen Wachstums, hoher Mitoseraten und langer verbleibender Lebenszeit besonders empfindlich gegenüber ionisierender Strahlung. Beim Neugeborenen liegt die Strahlenempfindlichkeit etwa zehnfach höher als beim Erwachsenen (Alzen & Benz-Bohm 2011; Reiser et al. 2017, S. 730).

Die Organsensitivität variiert altersabhängig. Besonders vulnerabel sind Gehirn, Sehorgane, Zahnanlagen, Brustdrüse und das hämatopoetische System. Mit zunehmendem Alter nimmt die Strahlenempfindlichkeit graduell ab, bleibt jedoch bei bestimmten Organen, die zeitlebens Zellproliferation zeigen, weiterhin erhöht (Kauffmann et al. 2011, S. 43–45).

Die Strahlenempfindlichkeit variiert je nach Zellzyklusphase: Am höchsten in Mitose und G2, am geringsten in später S- und G1-Phasen. Diese Phasenabhängigkeit verstärkt das Risiko bei Geweben mit hoher Proliferation wie sie bei Kindern häufig vorliegen (Reiser et al. 2017, S. 41).

Das kindliche Körperprofil mit kurzem, breitem Rumpf führt dazu, dass bei Abdomenaufnahmen häufig größere angrenzende Areale miterfasst werden. Aus diesem Grund werden bei identischen Projektionen größere Anteile empfindlicher Gewebe bestrahlt.

Besonders relevant ist der hohe Anteil hämatopoetischen Knochenmarks in der Peripherie: Bei Neugeborenen befinden sich bis zu 35 % des Knochenmarks in den Extremitäten, während es bei Erwachsenen lediglich 9 % sind. Das wachsende Skelett gehört somit zu den besonders strahlensensiblen Strukturen (Alzen & Benz-Bohm 2011).

Auch die kindlichen Keimdrüsen weisen abhängig vom Entwicklungsstadium eine besonders hohe Strahlenempfindlichkeit auf. Insbesondere in der Pubertät gelten sie als etwa zehnmal sensibler als jene von Erwachsenen und bedürfen daher eines besonderen Schutzes (Reiser et al. 2017, S. 55).

Die Latenzzeiten strahleninduzierter Malignome sind teils erheblich. Leukämien treten bevorzugt innerhalb der ersten zwei Jahrzehnte auf, während solide Tumoren wie Brustkrebs (insbesondere bei Exposition im Alter von 10-19 Jahren), Schilddrüsenkarzinome, Lungen- und Weichteiltumoren später manifest werden (Alzen & Benz-Bohm 2011; Dresing et al. 2021, S. 1; Kauffmann et al. 2011, S. 47).

Erkenntnisse aus den Atombombenüberlebenden von Hiroshima und Nagasaki verdeutlichen diese Risiken: Mit steigender Dosis wurden signifikante Anstiege von Leukämien, Mammakarzinomen, Schilddrüsen- und Lungentumoren dokumentiert. Zudem zeigte sich bei Kindern ein vermehrtes Auftreten von Katarakten, Mikrozephalien, Chromosomenaberrationen und Wachstumsstörungen (Kauffmann et al. 2011, S. 48–49).

Deterministische Effekte sind erst bei viel höheren Dosen möglich: Ab ca. 20Gy können bei Kindern Wachstumsstörungen durch Epiphysenfugenschäden auftreten. Bei Erwachsenen treten vergleichbare Knochenschäden erst ab etwa 60 Gy auf (Reiser et al. 2017, S. 55).

Die diagnostischen Referenzwerte weisen für pädiatrische Abdomenaufnahmen deutlich niedrigere Dosisflächenprodukte (DFP) auf als jene für Erwachsene. Für Kinder im Alter von 0 bis 15 Jahren sind DFP-Werte von 6 bis 70 cGy cm² für Abdomenaufnahmen in anterior-posteriorer Projektion zulässig (je nach Altersgruppe). Im Vergleich dazu beträgt der Referenzwert für Erwachsene 300 cGy cm², was eine bis zu 50-fache Reduktion im Kindesalter bedeutet (Bundesministerin für Gesundheit 2010, Anlage 1 Tab. 1 und 7).

1.2.4. Richtlinien und Schutzmaßnahmen

Kinder sind aufgrund der noch wachsenden Gewebe insgesamt strahlenempfindlicher als Erwachsene und bedürfen daher besonderer Schutzmaßnahmen (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 30).

Der Gesetzgeber hat hierfür diagnostische Referenzwerte (DRW) für Kinder und Erwachsene festgelegt. Diese Werte definieren keine harten Grenzwerte pro Untersuchung, sondern dienen der Qualitätssicherung innerhalb radiologischer Einrichtungen. Werden DRW regelmäßig überschritten, sind die Ursachen zu prüfen und entsprechende Korrekturmaßnahmen einzuleiten (Reiser et al. 2017, S. 102).

Zu den wichtigsten Maßnahmen gehören die Anwendung altersangepasster Röhrenspannungen von meist 60 bis 80 kV, möglichst kurze Belichtungszeiten, der Einsatz hochempfindlicher Detektorsysteme sowie Zusatzfilter zur Dosisreduktion. Streustrahlenraster sollen bei kleinen Kindern vermieden werden. Die Einblendung erfolgt streng angepasst an die anatomischen Proportionen des Kindes sowie an die Lage strahlenempfindlicher Organe und die jeweilige Fragestellung. Bewegungsartefakte werden durch Immobilisationsvorrichtungen minimiert. Begleitpersonen, die Kinder während der Aufnahme fixieren, werden mit Rundum-Bleischürzen geschützt. Bevorzugt sollen Angehörige und nicht beruflich strahlenexponierte Personen diese Aufgabe übernehmen. Gonadenschutz wird bei Knaben eingesetzt; zur Reduktion der Dosisbelastung des Mammagewebes werden insbesondere bei Wirbelsäulen- und Thoraxaufnahmen p.a.-Projektionen und Thorax-Abdeckungen verwendet (Arbeitsgruppe Patientendosis (VMSÖ) 2007, S. 11; Fotter, Richard et al. 2010, S. 3–6).

1.3. Zielsetzung und Hypothesen

Ziel dieser Arbeit ist es, den diagnostischen Informationswert aufrechter Abdomenaufnahmen und jenen in Rückenlage bei Kindern vergleichend zu analysieren, um potenzielle Vorteile einzelner Projektionen herauszuarbeiten. Aus klinischer Erfahrung besteht die Annahme, dass eine aufrechte Projektion für die meisten Fragestellungen ausreichend ist. Die Untersuchung soll daher eine wissenschaftliche Grundlage für eine mögliche Reduktion auf einzelne Projektionsarten liefern.

Der statistischen Analyse liegt die Nullhypothese zugrunde, dass sich die diagnostische Erkennbarkeit der erhobenen Parameter zwischen den Projektionsarten (aufrecht,

Rückenlage oder kombiniert) nicht signifikant unterscheidet. Eine signifikante Abweichung würde hingegen auf unterschiedliche diagnostische Aussagekraft der jeweiligen Projektionen hinweisen und die Nullhypothese müsste verworfen werden.

Ergänzend wurde eine deskriptive Analyse der verfügbaren klinischen Daten durchgeführt, um das Untersuchungskollektiv im Hinblick auf die zugrundeliegenden Erkrankungen einzuordnen.

1.4. Forschungslücke in der aktuellen Literatur

1.4.1. Übersicht bisheriger Studien zur Gleichwertigkeit von Projektionen

In der bisherigen Literatur finden sich zahlreiche Studien zur Frage, ob die aufrechte abdominale Projektion einen diagnostischen Mehrwert gegenüber der Aufnahme in Rückenlage bietet. Die Ergebnisse sind uneinheitlich und spiegeln vor allem die Heterogenität der Studiendesigns, Patientenkollektive und Referenzstandards wider.

Simpson et al. (1985) untersuchten 100 Patient*innen mit Verdacht auf Darmverschluss. Die zusätzliche aufrechte Aufnahme erhöhte die diagnostische Genauigkeit lediglich von 69 % auf 76 %, wobei dieser Zugewinn statistisch nicht signifikant war. Die Autor*innen betonten, dass sich dieser geringe Mehrwert bei Vorliegen einer klinischen Anamnese und körperlichen Untersuchung weiter relativiere.

Field et al. (1985) konnten in einer prospektiven Studie an 102 Patient*innen keinen relevanten zusätzlichen Nutzen der aufrechten Projektion nachweisen. Die Studie kam zu dem Schluss, dass die Kombination aus einer liegenden Abdomenaufnahme und einer zusätzlichen aufrechten Thoraxaufnahme, also zwei getrennten Projektionen des gesamten Körperstamms, in der Regel ausreichend ist.

In der Studie von Mirvis et al. (1986) an 252 Patient*innen zeigte sich ebenfalls, dass die Kombination aus Abdomenaufnahme in Rückenlage und aufrechter Thoraxaufnahme nahezu alle relevanten Befunde bei Ileus und Pneumoperitoneum abdeckte. Nur bei vereinzelt Fällen (wie bei Abszessen im rechten Oberbauch) lieferte die aufrechte Projektion zusätzliche Hinweise. Ähnlich zurückhaltend bewerteten auch Ukrisana & Yenarkarn (2002) den Zusatznutzen.

Auch Hoffstetter et al. (2011) mit 2.148 untersuchten Patient*innen kamen zu dem Ergebnis, dass die zusätzliche Projektion in Rückenlage in Kombination mit aufrechter oder decubitärer (seitlicher) Sicht zwar in 5,8 % der Fälle mehr anatomische Details zeigte, jedoch keinen relevanten diagnostischen Zugewinn brachte.

Tie & Edwin (2016) konnten jedoch mithilfe einer prospektiven Untersuchung bei Patient*innen mit Verdacht auf Dünndarmobstruktion feststellen, dass die kombinierte Anwendung beider Projektionen die Sensitivität von 88,5% (Rückenlage) beziehungsweise 84,6% (Aufrecht) auf 96,2% steigert. Die Spezifität betrug in der Projektion in Rückenlage 95,0%, in der aufrechten hingegen nur 88,4%. Die Objektivierung der Diagnose erfolgte dabei sowohl durch CT als auch durch klinische Kriterien.

Die Autoren betonten, dass insbesondere Luft-Flüssigkeitsspiegel in der aufrechten Projektion eine differenziertere Beurteilung der Obstruktionsschwere ermöglichen können.

Geng et al. (2018) führten eine retrospektive Studie an 40 erwachsenen Patient*innen mit Verdacht auf mechanischen Ileus oder paralytischen Subileus unter Verwendung von CT als Referenzstandard durch. Die zusätzliche aufrechte Projektion ergab dabei keine signifikant höhere diagnostische Aussagekraft im Vergleich zur alleinigen Projektion in Rückenlage. Zwar zeigte sich eine leichte Verbesserung der Intra-Rater- und Inter-Rater-Zuverlässigkeit, doch der klinische Nutzen blieb begrenzt.

In einer retrospektiven Analyse von über 1.000 Fällen akuten Abdomens verglichen Lee & Chen (2022) die diagnostische Aussagekraft von Aufnahmen in Rückenlage und in aufrechter Position mit Objektivierung durch CT-Befunde und klinische Daten. Die Gesamtsensitivität konventioneller Abdomenübersichtsaufnahmen lag bei 43,7 %. Bei Darmobstruktionen zeigte die aufrechte Projektion eine signifikant höhere Sensitivität als die liegende (100 % vs. 87,2 %), während bei anderen Entitäten wie freier Luft kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte.

Der pädiatrische Kontext ist in der Literatur bislang unterrepräsentiert. Hughes et al. (2002) untersuchten in einer multizentrischen Studie mit 72 Kindern die diagnostische Aussagekraft einer zusätzlichen aufrechten Aufnahme zur Projektion in Rückenlage bei Verdacht auf Darmobstruktion. Die Genauigkeit stieg durch die zusätzliche Projektion von 70 % auf 76 %, die Sensitivität von 66 % auf 78 %, und die Spezifität von 72 % auf 75 %. Der Zugewinn war damit gering, bei gleichzeitig höherer Strahlenbelastung: Eine aufrechte Aufnahme entsprach - je nach Alter - einer Strahlendosis von bis zu 20 Thoraxaufnahmen. Die Autor*innen empfehlen eine zweite Aufnahme nur bei anhaltender diagnostischer Unsicherheit.

1.4.2. Fazit

Mehrere Studien, darunter Field et al. (1985); Geng et al.(2018); Mirvis et al. (1986); Simpson et al. (1985), kamen übereinstimmend zum Schluss, dass die zusätzliche aufrechte abdominale Aufnahme bei Verdacht auf Ileus oder mechanischen Darmverschluss in der Regel keine signifikante Verbesserung der diagnostischen Genauigkeit bietet. Stattdessen wird vielfach eine Kombination aus liegender abdomineller und aufrechter Thoraxaufnahme als ausreichend bewertet - insbesondere zur Beurteilung von freier Luft.

Diese Kombination reduziere nicht nur Strahlenexposition und logistischen Aufwand, sondern ermögliche zusätzlich die Erfassung thorakaler Pathologien, die beim akuten Abdomen eine relevante Differenzialdiagnose darstellen und könne zugleich eine wertvolle Referenz für die postoperative Verlaufskontrolle bieten (wie von Field et al. (1985) betont).

Demgegenüber zeigten einzelne Arbeiten, insbesondere von Lee & Chen (2022) sowie Tie & Edwin (2016), dass bei Verdacht auf eine Obstruktion die aufrechte Projektion durch Nachweis von Luft-Flüssigkeitsspiegeln zu einer differenzierteren Beurteilung der Obstruktionsschwere beitragen kann. Letztere berichteten eine Sensitivitätssteigerung von 88,5% (Rückenlage) auf 96,2% (Rückenlage + Aufrecht). Allerdings betonten frühere Arbeiten wie die von Simpson et al. (1985), dass dieser Zugewinn an Sensitivität statistisch nicht signifikant sei.

Keine der ausgewerteten Studien betrachtete die aufrechte abdominelle Projektion als erforderlichen Bestandteil der Routinediagnostik.

1.4.3. Neuheitswert dieser Arbeit

Die bisherige Studienlage zur diagnostischen Wertigkeit aufrechter abdominaler Röntgenaufnahmen fokussiert nahezu ausschließlich auf erwachsene Patient*innen. Eine gezielte Analyse der Thematik im pädiatrischen Kontext ist bislang kaum dokumentiert. Die einzige im Rahmen dieser Arbeit identifizierte Studie mit pädiatrischer Fallserie zeigt zwar einen moderaten Anstieg der diagnostischen Genauigkeit durch eine Zweitaufnahme, erlaubt jedoch keine differenzierte Aussage über den isolierten Nutzen der aufrechten abdominalen Projektion (Hughes et al. 2002).

Die besondere Strahlenempfindlichkeit kindlicher Organe sowie die technischen Herausforderungen der Positionierung bei Kindern unterstreichen jedoch die Notwendigkeit einer eigenständigen Betrachtung dieser Fragestellung.

Die vorliegende Arbeit stellt damit eine der ersten systematischen Untersuchungen dar, die die diagnostische Relevanz aufrechter abdominaler Projektionen bei Kindern anhand vordefinierter radiologischer Parameter und unter kontrollierten Auswertungsbedingungen analysiert. Die getrennte sowie kombinierte Bewertung durch zwei erfahrene Radiolog*innen fördert zusätzlich eine objektivierbare Einschätzung.

1.5. Einschränkungen und Abgrenzungen

Der Fokus liegt auf konventionellen Röntgenaufnahmen ohne Kontrastmittel im Rahmen abdomineller Fragestellungen. Berücksichtigt werden ausschließlich Patient*innen im Alter von 0 bis 17 Jahren, bei denen sowohl eine liegende als auch eine der zusammengefassten aufrechten Projektionen (Bauch-, Linksseiten-, Steh- oder Hängelage) im Rahmen derselben diagnostischen Episode vorlagen. Bilddaten aus CT, MRT oder Sonografie, ebenso wie Laborparameter oder therapeutische Konsequenzen wurden nicht in die Analyse einbezogen.

Klinische Diagnosen wurden zunächst nicht berücksichtigt, jedoch im Zuge einer ergänzenden Unteranalyse in ihrer Verteilung deskriptiv erhoben.

Eine Auswertung nach Altersgruppen erfolgte nicht. Die Studie beschränkt sich auf die bildbasierte Bewertung von zehn vordefinierten radiologischen Parametern durch zwei befundende Radiolog*innen, ohne externe Goldstandard-Referenz.

Die konkreten Ein- und Ausschlusskriterien werden in Abschnitt 3.2 detailliert dargestellt.

2. Theoretischer Hintergrund

2.1. Technische Grundlagen der konventionellen Radiographie

Das Grundprinzip der Röntgendiagnostik beruht auf der Erzeugung von elektromagnetischer Strahlung durch Beschleunigung von Elektronen gegen eine Anode. Die dafür benötigten Elektronen entstehen durch thermische Emission an einer geheizten Kathode. Je nach angelegter Hochspannung zwischen Kathode und Anode (typischerweise 30-150 kV) wird die Energie der entstehenden Röntgenstrahlung reguliert. Höherenergetische Strahlung besitzt eine geringere Wellenlänge und kann dichtere Gewebe besser durchdringen (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 27; Kauffmann et al. 2011, S. 57–58).

Beim Durchtritt durch den Körper wird die Strahlung unterschiedlich stark abgeschwächt. Diese hängt von Materialdicke, Ordnungszahl und der Photonenenergie ab und erfolgt durch Absorption und Streuung. Die Kontraste beruhen auf Dichteunterschieden der verschiedenen Gewebe. So erzeugt Luft durch geringe Absorption eine hohe Bildschwärzung, während Knochen durch den hohen Kalziumgehalt stärker absorbiert und entsprechend hell erscheint. In der Nativdiagnostik ohne Kontrastmittel werden diese natürlichen Dichteunterschiede zur Bildgebung genutzt; gegebenenfalls kann zur weiteren Differenzierung Kontrastmittel eingesetzt werden. Ein Maß für die Schwächung der Strahlung ist die Halbwertsdicke: jene Dicke eines Materials, bei der die Strahlenintensität auf die Hälfte reduziert wird (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 8; Kauffmann et al. 2011, S. 97).

Die Abdomenübersichtsaufnahme in Rücken- und Linksseitenlage stellt die Basisdiagnostik beim akuten Abdomen dar. Sie ermöglicht die Darstellung freier Luft (bei Perforation), pathologischer Darmgasverteilung (wie beim Ileus) sowie röntgendichter Konkremente. Bei unklaren Befunden werden häufig weiterführende Verfahren wie CT, Kontrastmitteleinlauf oder Ausscheidungsurografie erforderlich (Reiser et al. 2017, S. 83).

Technisch bestehen moderne Röntgeneinheiten aus Röntgenstrahler, Generator, Hochspannungstransformator, Gleichrichter und Schalttisch zur Steuerung von kV und mAs. Digitale Flachdetektoren haben klassische Film-Folien-Systeme weitgehend ersetzt. Sie ermöglichen nicht nur höhere Bildauflösungen (bis zu 9 Millionen Pixel), sondern auch eine Reduktion der Strahlendosis um bis zu 30-50 % (Kauffmann et al. 2011, S. 57–58).

Zur Optimierung der Bildqualität werden Röhrenspannung, Röhrenstrom und Belichtungszeit an diagnostische Anforderungen angepasst, wobei kurze Belichtungszeiten Bewegungsunschärfe vermeiden sollen (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 28).

2.2. Standard-Projektionen des Abdomens (Stehen vs. Liegen)

Die Abdomenleeraufnahme stellt einen zentralen Bestandteil der Basisdiagnostik bei akuten abdominellen Beschwerden dar. Obwohl bei unklaren Beschwerden häufig primär die Sonografie eingesetzt wird, bietet die Röntgenübersicht (beispielsweise bei Ileus, Hohlorganperforation, ausgeprägter Gasansammlung oder Stuhlverhalt) eine wertvolle Zusatzdiagnostik (Becker et al. 2019; Börner et al. 2025; Reiser et al. 2017, S. 754; Zechmann et al. 2019, S. 19).

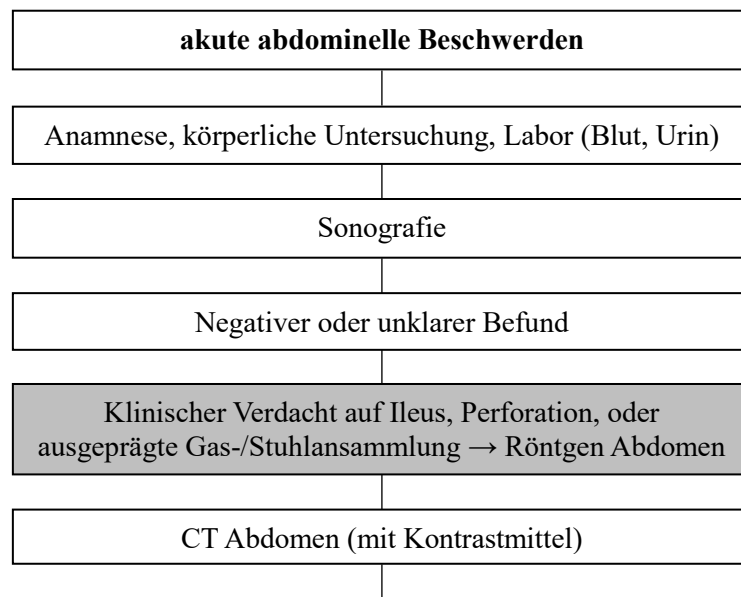


Abbildung 1: Diagnostischer Ablauf beim akuten Abdomen (in Anlehnung an Becker et al. 2019, S. 536).

Die Standardaufnahmen erfolgen meist in Rückenlage (a.p.-Projektion) sowie ergänzend in Linksseitenlage (p.a.-Projektion), wobei Letztere insbesondere bei bettlägerigen Patient*innen den Nachweis freier Luft neben der Leber ermöglicht. Eine ergänzende Aufnahme im Stehen erlaubt die Darstellung subdiaphragmaler freier Luft, die sich bei Organperforationen unter dem Zwerchfell sammelt (Kauffmann et al. 2011, S. 151–152; Reiser et al. 2017, S. 468; Zechmann et al. 2019, S. 19).

Abbildung 2 zeigt eine typische Abdomenübersichtsaufnahme ohne pathologische Auffälligkeiten in Rückenlage (links) und in stehender Position (rechts).

Wichtig ist, dass der Bildausschnitt stets das Abdomen vom Zwerchfell bis zum Beckenboden umfasst, da pathologische Befunde auch an den abgrenzenden Strukturen auftreten können. Beurteilt werden insbesondere die Gasverteilung, Luft-Flüssigkeitsspiegel, Fremdkörper, Verkalkungen sowie Spiegelbildungen bei Ileusformen.

Während Luft im Dünndarm beim Erwachsenen pathologisch ist, gilt sie beim Kleinkind aufgrund vermehrter Aerophagie als physiologischer Befund (Kauffmann et al. 2011, S. 151–152; Zechmann et al. 2019, S. 19).

Ergänzend sind je nach Fragestellung auch Lagerungen in Bauch- oder Rechtsseitenlage sowie gezielte Einzelaufnahmen möglich (Reiser et al. 2017, S. 468). Bestimmte Pathologien wie die Malrotation des Darms können auf der Abdomenübersichtsaufnahme unauffällig erscheinen, mitunter lassen sich jedoch indirekte Hinweise wie das sogenannte „Double-Bubble“-Zeichen bei funktioneller Obstruktion erkennen (Staatz et al. 2007, S. 108).

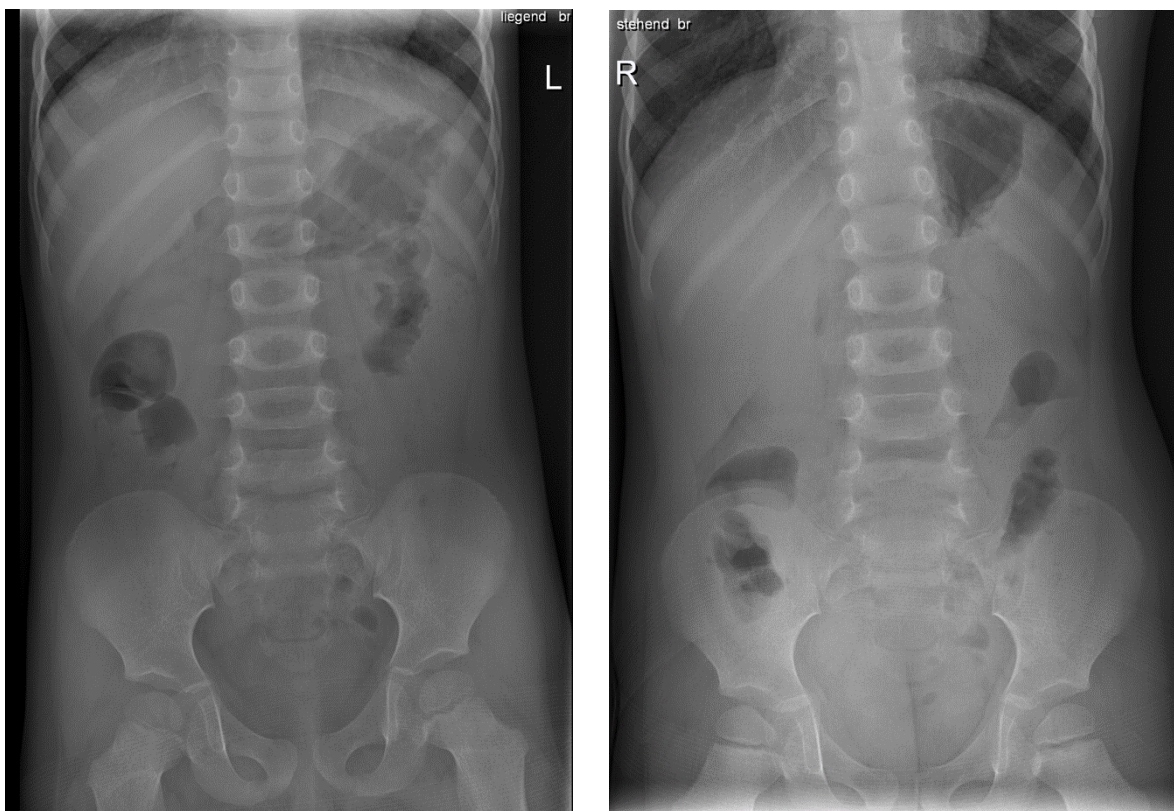


Abbildung 2: Normale Abdomenübersichtsaufnahme in Rückenlage (links) und Stehen (rechts). Regelrecht abgrenzbare Organschatten, vollständig erfasstes Abdomen.¹

¹ Alle klinischen Aufnahmen stammen aus anonymisierten Fallbeispielen des Instituts für Kinderradiologie, LKH-Universitätsklinikum Graz (mit freundlicher Genehmigung)

2.3. Bildauswertung und Befundung

Trotz begrenzter Weichteildarstellung kann die konventionelle Abdomenleeraufnahme insbesondere beim Verdacht auf freie Luft einen relevanten Beitrag zur Erkennung intraabdomineller Verletzungen leisten - vor allem, wenn keine Schnittbildverfahren wie CT verfügbar sind.

Freie intraabdominelle Luft zeigt sich im Stehen typischerweise sichelförmig unter dem Zwerchfell oder in Linksseitenlage zwischen Leber, Zwerchfell und lateraler Bauchwand und spricht für eine Perforation eines Hohlorgans (beispielsweise bei Ulcus, Divertikulitis oder nach Trauma). Auf der in Rückenlage angefertigten Aufnahme ist sie jedoch häufig nicht sicher nachweisbar, da sie sich ventral an der Bauchwand verteilt. Abbildung 3 zeigt diesen Unterschied beispielhaft: Während sich in Linksseitenlage eine deutliche Luftsichel nachweisen lässt, ist in Rückenlage kein eindeutiger Befund erkennbar.

Retroperitoneale Luft erscheint als streifige Aufhellung entlang des Psoasrands (Zechmann et al. 2019, S. 19).

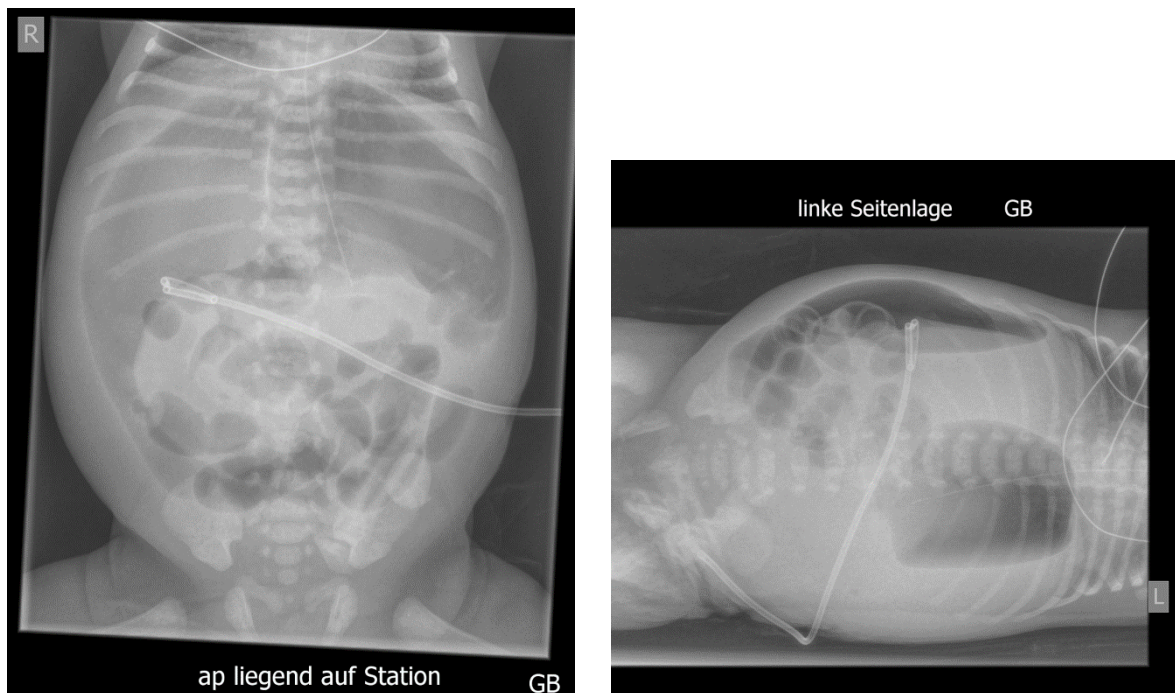


Abbildung 3: Abdomenübersichtsaufnahme in Rückenlage (links) und Linksseitenlage (rechts) mit Nachweis deutlicher Luftsichel bei freier Luft.

Geblähte Darmschlingen, kombiniert mit Luft-Flüssigkeits-Spiegeln, sind ein diagnostischer Hinweis auf eine Darmobstruktion. Beim Dünndarmileus zeigt sich typischerweise zentral gelegene, gasgefüllte Darmschlingen mit Spiegelbildungen, während beim Dickdarmileus das Kolon dilatiert erscheint und das Rektum luftleer ist.

Abbildung 4 veranschaulicht diese typischen Ileuszeichen mit deutlich geblähten, zentral gelegenen Dünndarmschlingen und multiplen Spiegelbildungen. Der paralytische Ileus hingegen betrifft meist alle drei Kompartimente (Magen, Dünn- und Dickdarm) mit durchgehenden Zeichen der Gasfüllung und Spiegelbildungen. Ursachen sind häufig Schock, Peritonitis, Infarkte oder Medikamente (Kauffmann et al. 2011, S. 152, 155–157).

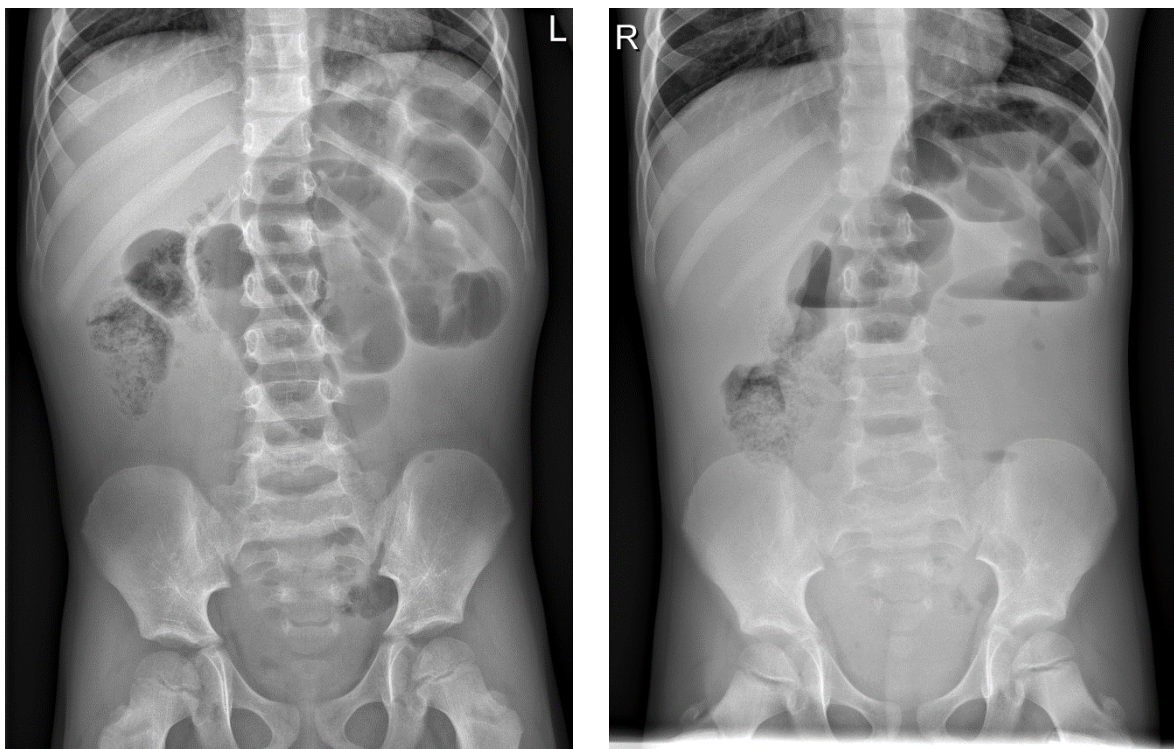


Abbildung 4: Abdomenübersichtsaufnahme in Rückenlage (links) und Stehen (rechts) bei Dünndarmileus mit ausgeprägten Luft-Flüssigkeitsspiegeln.

Ein Dickdarmileus kann außerdem im Rahmen eines Morbus Hirschsprung auftreten. Bei älteren Kindern zeigt die Abdomenübersichtsaufnahme dabei häufig ein dilatiertes Kolon mit ausgeprägter Koprostase, während das Rektum gas- und stuhllarm erscheint (Staatz et al. 2007, S. 128).

Abbildung 5 zeigt eine solche Stuhlüberlagerung mit deutlicher Füllung der Kolonschlingen, wie sie im Rahmen chronischer Entleerungsstörungen oder funktioneller Obstruktion vorkommen kann.

Dilatierte Dün- und Dickdarmschlingen zeigen sich auch beim Mekoniumpfropfsyndrom, wobei insbesondere das Colon ascendens und transversum mit Mekonium gefüllt erscheinen (Staatz et al. 2007, S. 103).

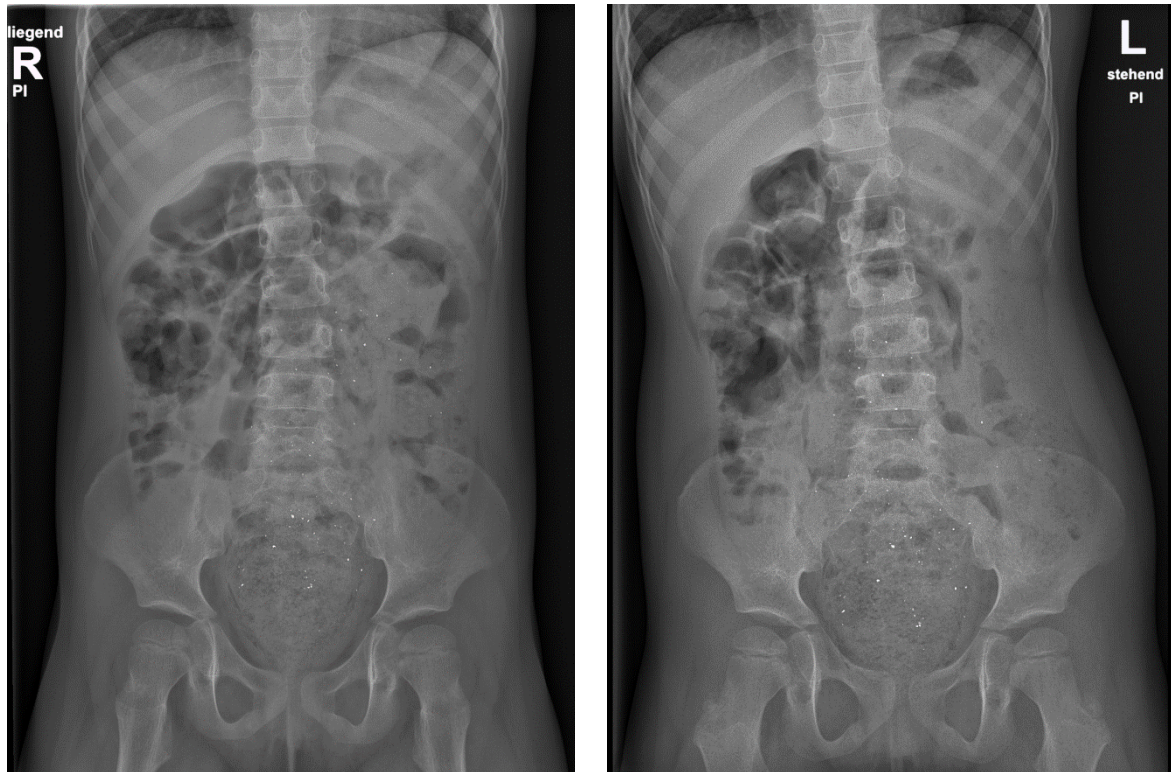


Abbildung 5: Abdomenübersichtsaufnahme in Rückenlage (links) und Stehen (rechts) mit ausgeprägter Koprostase und dilatierten Darmschlingen.

Eine Besonderheit stellen Gasansammlungen in den Weichteilen dar, die verschiedene Ursachen haben können: von Luftverlagerungen durch Hernien, über postoperative Emphyseme, bis hin zu Infektionen mit gasbildenden Erregern. Diese lassen sich im Röntgenbild als Aufhellungen mit unregelmäßiger Ausdehnung nachweisen und müssen von intraluminaler Luft differenziert werden (Reiser et al. 2017, S. 347).

Neben extraluminalen Gasansammlungen kann Luft auch intramural auftreten. Ein hochspezifisches Zeichen für ischämische oder entzündliche Darmschäden ist dabei die Pneumatosis intestinalis, also das Vorhandensein von Luft in der Darmwand.

In der konventionellen PR zeigt sich dies durch eine Doppelkonturierung der Darmwand, wie in Abbildung 6 zu sehen ist. Es tritt insbesondere bei nekrotisierender Enterokolitis (NEC), aber auch im Kontext von Volvulus, Invagination oder posttraumatisch auf (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 312; Zechmann et al. 2019, S. 19).

Im fortgeschrittenen Stadium der NEC können zusätzlich freie Luft subphrenisch oder prähepatisch, Luft in der Pfortader (Pneumoportogramm) sowie ein sichtbar werdendes Ligamentum falciforme auftreten - allesamt Zeichen für schwerwiegende Darmschädigungen bei Neugeborenen (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 312).

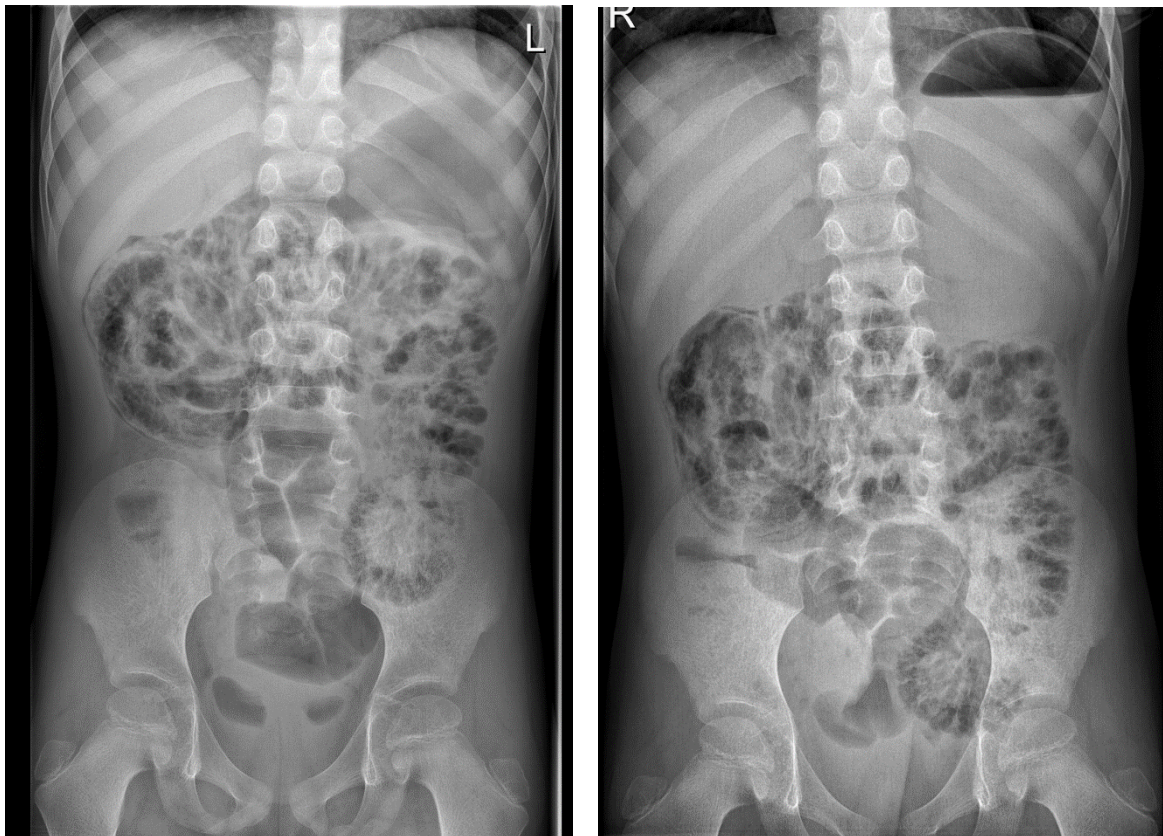


Abbildung 6: Abdomenübersichtsaufnahme in Rückenlage (links) und Stehen (rechts) mit Nachweis von intramuraler Luft entsprechend einer Pneumatosis intestinalis.

Verkalkungen im Abdomen treten in vielfältiger Form auf: Sie können vaskulären Ursprungs sein (beispielsweise Arteriosklerose), auf Stoffwechselerkrankungen (Hyperkalzämie), Traumata oder Infektionen wie Tuberkulose zurückgehen. Auch heterotope Ossifikationen, etwa bei Myositis ossificans, lassen sich durch dichte, strukturiert erscheinende Weichteilveränderungen erfassen (Reiser et al. 2017, S. 348).

Schließlich ist auch die Detektion von Verkalkungen im Nebennierenbereich als Spätfolge einer Nebennierenblutung möglich (Staatz et al. 2007, S. 195).

Röntgendichte Konkremente wie Gallensteine, Appendikolithe und Harnsteine können auf nativen Abdomenaufnahmen sichtbar werden, sofern sie ausreichend kalziumhaltig sind. Gallensteine finden sich meist im rechten Oberbauch, Appendikolithe als rundliche Verkalkungen im rechten Unterbauch. Harnsteine lassen sich abhängig von ihrer Zusammensetzung darstellen, werden jedoch häufig durch „Low-dose-CT-Urografie“ ergänzt (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 182; Reiser et al. 2017, S. 743; Zechmann et al. 2019, S. 24).

Die Projektionsradiographie (PR) ermöglicht auch den Nachweis röntgendichter Fremdkörper wie chirurgischem Material, Clips oder Cerclagen sowie die Lagekontrolle eingelegter medizinischer Materialien (Kauffmann et al. 2011, S. 158; Reiser et al. 2017, S. 468).

Abbildung 7 zeigt ein Beispiel einer Aufnahme mit Nachweis eines solchen Fremdkörpers.



Abbildung 7: Abdomenübersichtsaufnahme in stehender Projektion mit Nachweis eines röntgendichten Fremdkörpers im Unterbauch.

Ein charakteristisches radiologisches Muster ist das sogenannte „Double-Bubble“-Zeichen, bei dem zwei Luftblasen - eine im Magen, eine im Duodenum - zu erkennen sind. Es gilt als klassisches Zeichen für eine Duodenalatresie, tritt jedoch auch bei anderen funktionellen Passagestörungen oder Malrotationen auf (Kahl-Scholz & Vockelmann 2024, S. 312–313; Staatz et al. 2007, S. 108).

Ein weiteres zentrales Zeichen bei mechanischer Obstruktion ist das „Coffee-bean-sign“, welches typischerweise beim Sigmavolvulus auftritt. Die stark überblähte Darmstruktur mit zentraler Einschnürung ist für diese Pathologie charakteristisch. Zusätzlich kann beim Zökumvolvulus das sogenannte „Kidney-bean-sign“ beobachtet werden. Beim Dünndarmvolvulus fällt zudem häufig eine abnorm hohe Lage des Zökums auf (Reiser et al. 2017, S. 504–505; Staatz et al. 2007, S. 112).

Bei Appendizitis kann im konventionellen Röntgenbild ein verstrichener rechter Psoas-Schatten auftreten. In seltenen Fällen deutet die Bildung von Luft-Flüssigkeits-Spiegeln auf eine Abszessbildung hin. Kommt es zu einer Peritonitis, können zusätzlich Zeichen eines paralytischen Ileus beobachtet werden (Staatz et al. 2007, S. 135).

Die Beurteilung des Retroperitoneums mittels PR ist aufgrund fehlender natürlicher Kontrastunterschiede nur eingeschränkt möglich. Dennoch kann die Abdomenleeraufnahme indirekte Hinweise liefern: etwa durch abnorme Luftverteilungen, das Auftreten von Konkrementen oder das Erkennen röntgendichter Fremdkörper. Eine freie Luft im Retroperitoneum weist typischerweise auf eine Hohlorganperforation hin. Die diagnostische Abklärung retroperitonealer Gefäßprozesse, wie eines Aortenaneurysmas, erfordert hingegen Schnittbildverfahren wie CT oder MRT (Kauffmann et al. 2011, S. 149).

2.3.1. Anatomisch-diagnostische Besonderheiten des kindlichen Situs

Die Anatomie des Kindes verändert sich dynamisch mit dem Wachstum. Bauchorgane liegen altersabhängig dichter zusammen, das Zwerchfell steht höher, und die Gasverteilung variiert stark. Insbesondere in der Neonatalperiode ist die sichere Einblendung auf 1-2cm oberhalb der interessierenden Strukturen begrenzt (Fotter, Richard et al. 2010, S. 3–4).

Bei Neugeborenen erschwert die unreife Darmstruktur die Bildinterpretation: Die typische Haustrierung des Kolons ist noch nicht vollständig entwickelt, sodass eine Unterscheidung zwischen Dünn- und Dickdarm oft schwierig ist.

Mekoniumpfropfe mit Lufteinschlüssen dürfen zudem nicht fälschlich als Pneumatisis intestinalis interpretiert werden (Staatz et al. 2007, S. 104).

Auch die Pathologie zeigt kindliche Besonderheiten. Bei der Invagination stülpt sich ein Darmabschnitt in das nachfolgende Lumen ein, was meist idiopathisch und bevorzugt in der Ileozökalregion vorkommt. Erwachsene sind deutlich seltener als Kinder betroffen (Reiser et al. 2017, S. 505).

Der Morbus Hirschsprung zeigt sich radiologisch durch einen typischen Kalibersprung am Übergang von Rektum zu Sigma, wobei proximal davon ein funktionelles Megakolon entsteht (Staatz et al. 2007, S. 121).

Abbildung 8 zeigt die typischen stark dilatierten Kolonschlingen mit gasleerem Rektum.

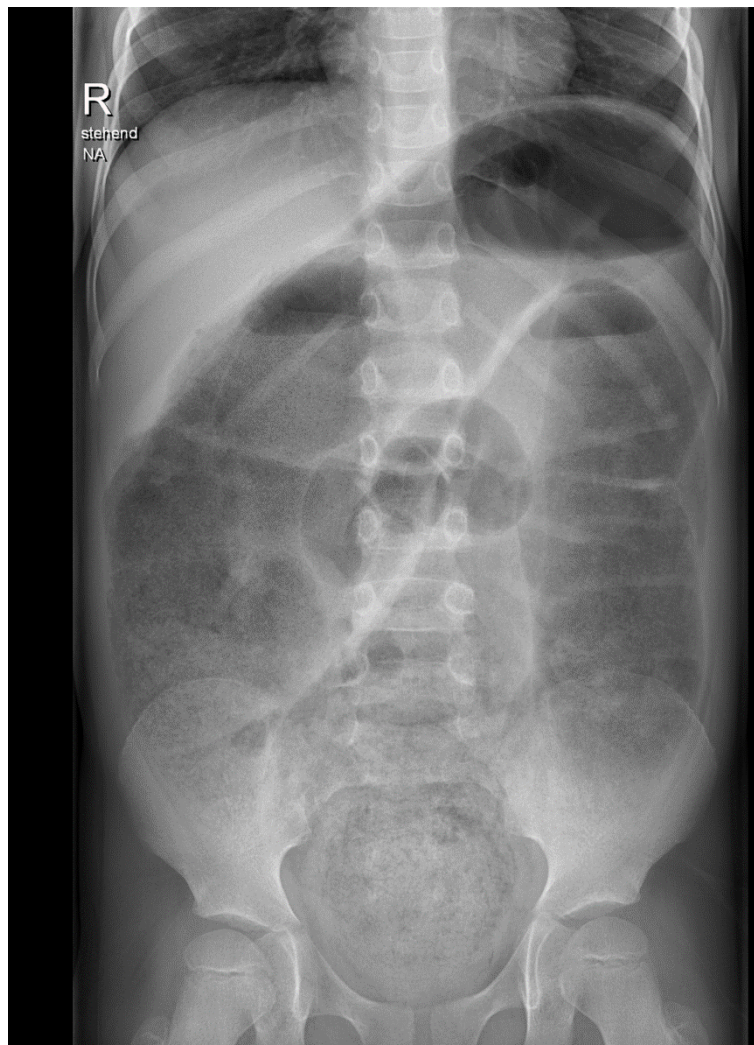


Abbildung 8: Abdomenübersichtsaufnahme in stehender Projektion bei Morbus Hirschsprung. Deutlich dilatierte Kolonschlingen mit Kalibersprung zum Rektum.

Im Kontext stumpfer Bauchtraumata ist die kindliche Anatomie ebenfalls prädisponierend. Aufgrund der geringen subkutanen Fettschicht, der flüssigkeitsreichen Organstruktur und fehlender muskulärer Protektion sind insbesondere Milz, Niere, Leber und Pankreas verletzungsgefährdet. Das Röntgen dient in solchen Fällen - insbesondere bei fehlender CT-Diagnostik - dem Ausschluss von Darmperforationen mittels Nachweises freier Luft (Staatz et al. 2007, S. 162).

3. Methodik

3.1. Studiendesign

Die vorliegende Studie wurde als retrospektive, quantitative Beobachtungsstudie konzipiert. Ziel war es, den diagnostischen Informationswert abdomineller Röntgenaufnahmen in Rückenlage und in aufrechter Projektion zu vergleichen. Die Analyse basiert auf bereits im klinischen Routinebetrieb erhobenen Bilddaten und stellt somit eine Sekundärdatenanalyse dar. Im Anschluss erfolgte ergänzend eine deskriptive Auswertung klinischer Diagnosen, um die Repräsentativität des Patientenkollektivs zu prüfen. Die Untersuchung wurde ohne Einflussnahme auf den ursprünglichen Untersuchungsablauf durchgeführt. Somit kamen keine zusätzlichen Expositionen oder Interventionen zum Einsatz.

3.2. Population und Stichproben

In die Auswertung wurden insgesamt 373 Patient*innen eingeschlossen, die sich im Untersuchungszeitraum im Rahmen einer abdominellen Fragestellung einer Bildgebung mittels PR unterzogen hatten und die zum Untersuchungszeitpunkt ein Alter zwischen 0 bis 17 Jahren hatten. Ein weiteres Einschlusskriterium war das Vorliegen von je einer Aufnahme in Rückenlage und aufrechter (a.p.-Strahlengang) Projektion im Rahmen derselben diagnostischen Episode.

Auf eine Analyse der klinischen Diagnosen der Patient*innen wurde im Hauptteil der Untersuchung aufgrund mangelnder Objektivierbarkeit verzichtet. Im Rahmen einer ergänzenden Unteranalyse wurden jedoch jene Fälle erfasst, für die klinische Diagnosen, Operationsberichte oder Entlassungsbefunde vorlagen, um diese deskriptiv zu erfassen (n = 78).

Aufgrund der geringen verfügbaren Anzahl an Patient*innen die im Anschluss eine CT-Untersuchung erhielten, wurde auch hier gegen ein Einschlusskriterium zur Objektivierung entschieden. Somit war das Vorhandensein definitiver Diagnosen weder Ein- noch Ausschlusskriterium.

Fallserien, bei denen die Patient*innen eine Kontrastmittel-Untersuchung erhielten, wurden ausgeschlossen.

Zur Absicherung der Fallzahl wurde eine a-priori Poweranalyse mit G*Power durchgeführt: Unter Annahme eines moderaten Effekts von $d_z = 0,30$ sowie einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ und einer gewünschten Teststärke von $1-\beta = 0,80$, ergab sich eine erforderliche Stichprobengröße von $n = 90$ gepaarten Fällen.

Mit den letztlich eingeschlossenen 373 Fällen wurde diese Zielgröße deutlich überschritten, was auch die Aussagekraft bei der Analyse seltener Befundkonstellationen erhöht.

3.3. Datenerhebung

Eine initiale Anfrage an die zuständigen Stellen für Statistik und Datenabfrage innerhalb der KAGes führte zu weniger als 80 potenziell verwertbaren Fällen. Aufgrund der geringen Fallzahl und der damit einhergehenden limitierten statistischen Aussagekraft wurde eine umfassende manuelle Sichtung der Patient*innenfälle der letzten 12 Jahre vorgenommen.

Die Identifikation der geeigneten Untersuchungen erfolgte retrospektiv über das Radiologie-Informationssystem (RIS) sowie das Bildarchivierungs- und Kommunikationssystem (PACS) der KAGes.

Insgesamt konnten auf diese Weise 373 Röntgenuntersuchungen mit jeweils zwei Einzelprojektionen (in Rückenlage und aufrecht) ermittelt werden. Die Rohbilddaten wurden aus dem PACS-System extrahiert und für die weitere Auswertung vollständig anonymisiert.

Somit liegt keine Zufallsstichprobe, sondern eine konsekutiv erhobene klinische Kohorte vor. Rückschlüsse auf die Grundgesamtheit aller pädiatrischen Patient*innen mit abdominellen Fragestellungen sind daher nur eingeschränkt möglich. Dennoch ermöglicht diese Vorgehensweise eine praxisnahe Abbildung des klinischen Alltags und eine valide Grundlage für den Vergleich der unterschiedlichen Projektionsformen.

3.4. Bewertungsverfahren

3.4.1. Bewertete Parameter

Im Rahmen der Beurteilung wurden mehrere vordefinierte radiologische Parameter hinsichtlich ihrer Erkennbarkeit bewertet:

- *Vollständigkeit der Abbildung (bild_vollstaendig)*
- *Freie Luft*
- *Ileuszeichen*
- *Pneumatisis intestinalis*
- *Konkremente*
- *Leberschatten*
- *Nierenschatten*
- *Milzschatten*
- *Psoasschatten*
- *Obstipation*

Die Auswahl der Faktoren basierte auf radiologischen Standardwerken und klinischer Relevanz. Für Abdomenaufnahmen bei Kindern gelten spezifische Bildqualitätskriterien. Der Bildausschnitt soll den Bereich vom Zwerchfell bis zum Tuber ossis ischii einschließlich der lateralen Bauchwand vollständig darstellen. Zusätzlich soll der properitoneale Fettstreifen (das Fettgewebe hinter der Fascia transversalis, welches sich lateral als Streifen darstellt) altersentsprechend erkennbar sein, auch wenn eine klare Abgrenzung nicht zwingend erforderlich ist. Zusätzlich sollen die Nierenaußenkonturen und der Psoasbegleitstreifen abhängig vom Alter des Kindes und der vorhandenen Darmgasverteilung erkennbar sein (Fotter, Richard et al. 2010, S. 19).

3.4.2. Bewertung

Die Auswertung der unterschiedlichen Modalitäten erfolgte zeitlich versetzt: In einem ersten Schritt wurden erst aufrechte Projektion und jene in Rückenlage getrennt voneinander und nicht zueinander korrelierbar zu jedem der 10 Faktoren, von zwei Radiologen mit mindestens dreijähriger Berufserfahrung in der allgemeinen Radiologie, bewertet. Nach einem zeitlichen Abstand von vier Monaten erfolgte eine kombinierte Bewertung beider Aufnahmen derselben Patient*innen, wiederum durch dieselben Radiologen, jedoch ohne Kenntnis der vorangegangenen Einzelbewertungen. Die Wahl dieser Zeitspanne, entspringt der Notwendigkeit genug Zeit zu gewährleisten, um sicherzustellen, dass die Bilder der ersten und zweiten Untersuchung nicht zueinander korreliert werden können.

3.4.3. Bewertungsskala

Jeder Parameter wurde auf einer kontinuierlichen numerischen Skala von 0 bis 100 beurteilt. Ein Wert von 0 entsprach dabei einer völligen Nichterkennbarkeit des Merkmals, während ein Wert von 100 eine maximale diagnostische Klarheit darstellte. Die Wahl dieser Skala diente einer möglichst genauen Aufschlüsselung jedes Faktors, ohne die Daten unnötig zu verwaschen: Eine feinere Skalierung (zum Beispiel 0-1000) würde die Streuung ohne Zuwachs an inhaltlicher Aussagekraft steigern und könnte damit Effektgrößen verfälschen oder vorhandene Zusammenhänge verschleiern. Zu grobe Skalen (zum Beispiel 0-10) führen häufiger zu künstlichen Rangbindungen, was die Power nichtparametrischer Tests senkt und fälschliche Zusammenhänge suggerieren könnte.

Obwohl unterschiedliche Skalierungen möglicherweise intuitiv äquivalent erscheinen, beeinflussen sie also nichtparametrische Tests wie den Wilcoxon-Test.

Zwar heben Preston und Colman (2000) die hohe Reliabilität und Validität von Skalen mit 7 bis 10 Stufen hervor, jedoch legen sowohl sie als auch Cicchetti et al. (1985) nahe, dass auch 100-Punkte-Skalen vergleichbare Gütekriterien aufweisen können.

Die Skala wurde als metrisch interpretiert, womit statistische Auswertungen sowohl mit parametrischen als auch nichtparametrischen Verfahren, abhängig von der Verteilungsform der Differenzen, möglich waren.

3.4.4. Bildzuordnung und Verblindung

Für die Auswertung wurden allen Bildserien eindeutige Identifikationsnummern zugewiesen. Dabei erhielten die Aufnahmen, die im Rahmen der getrennten Einzelbewertungen (aufrecht beziehungsweise in Rückenlage) beurteilt wurden, eigene Sub-IDs², die anhand der Haltungsform, des Untersuchungszeitpunkts sowie der ursprünglichen internen Kennung generiert wurden. Die Zuordnung dieser Sub-IDs zur jeweils kombinierten Projektion erfolgte erst in der statistischen Auswertung. Somit war es den Radiologen während der Einzelbewertungen nicht möglich, die Aufnahmen verschiedener

² Die Sub-IDs wurden automatisiert auf Basis der Kombination von Lagekodierung (Haltungsform), Zeitstempel der Untersuchung und einer vorher erzeugten SERIES_ID (vgl. Abschnitt 3.6 Ethik und Datenschutz) berechnet. Die Verknüpfung zu den kombinierten Bewertungen erfolgte über Lookup-Funktionen in einer separaten Tabelle.

Zeitpunkte oder Lagen miteinander zu verknüpfen, wodurch eine systematische Beurteilungsverzerrung (Recall Bias) minimiert wurde.

Zudem erfolgte die kombinierte Bewertung erst nach einem zeitlichen Abstand zur Einzelbeurteilung. Die Radiologen hatten während der kombinierten Bewertung keinen Zugang zu den zuvor vergebenen Einzelwerten oder IDs. Eine Verblindung gegenüber der jeweiligen Projektionsart war im kombinierten Setting nicht gegeben, jedoch war die zeitliche Distanz geeignet, bewusste Wiedererkennungseffekte zu reduzieren.

3.4.5. Überprüfung auf Vollständigkeit der Bildgebung

Zusätzlich zur inhaltlichen Bewertung der zehn diagnostischen Parameter wurde im Rahmen der radiologischen Beurteilung auch die Einsehbarkeit des gesamten Abdomens als Qualitätsmerkmal erfasst. Dabei wurde für jede Einzelaufnahme von beiden Radiolog*innen beurteilt, ob das Abdomen im Bild vollständig dargestellt war (binäre Bewertung: TRUE/FALSE).

In 68 der insgesamt 373 Bildpaare (18,2%) wurde zumindest eine Aufnahme (stehend oder liegend) von mindestens einem der beiden Beurteilenden als nicht vollständig einsehbar gewertet. Die verbleibenden 305 Aufnahmen (81,8%) erfüllten das Kriterium der vollständigen Einsehbarkeit in beiden Projektionen konsistent.

Diese zusätzliche Erhebung diente der Validierung der Bildqualität im Hinblick auf technische und lagerungsbedingte Einschränkungen und erlaubte eine grobe Einschätzung möglicher Einflussfaktoren auf die diagnostische Bewertung. Eine systematische Analyse des Zusammenhangs zwischen diagnostischer Aussagekraft und Bild-Einsehbarkeit war jedoch nicht Teil der vorliegenden Arbeit, könnte aber in zukünftigen Studien mit erweitertem Fokus auf technische Bildqualität von Relevanz sein.

3.5. Statistische Analyse

3.5.1. Ziel der Analyse

Ziel der Analyse war es, zu ermitteln, ob die kombinierte Bewertung (aufrecht + in Rückenlage) einen signifikant höheren diagnostischen Wert aufweist als die Einzelprojektionen oder ob bestimmte Einzelprojektionen der kombinierten Betrachtung unter Umständen sogar überlegen sind.

3.5.2. Prüfung auf Normalverteilung

Vor Anwendung der statistischen Tests wurden die Mittelwerte jeder Projektion jedes Parameters auf Normalverteilung geprüft. Für die Interpretation der Ergebnisse wurde aufgrund der überschaubaren Stichprobenanzahl ($n=373$) insbesondere der Shapiro-Wilk-Test herangezogen. Je nach Ergebnis wurden anschließend die entsprechenden geeigneten statistischen Testverfahren ausgewählt.

3.5.3. Wahl des Testverfahrens

Da es sich bei der Fragestellung um den Vergleich diagnostischer Bewertungen desselben Faktors in unterschiedlichen Projektionsarten bei derselben Patientin beziehungsweise demselben Patienten handelt, liegen verbundene (gepaarte) Stichproben vor. Für jeden Faktor wurden die Einzelbewertungen (in Rückenlage beziehungsweise in aufrechter Projektion) jeweils mit der kombinierten Bewertung verglichen. Pro Radiolog*in ergaben sich somit paarweise zugeordnete Messwerte für jeden Patientenfall.

Abhängig vom Ergebnis der Prüfung auf Normalverteilung kamen folgende statistische Verfahren zum Einsatz:

- Bei Vorliegen einer annähernden Normalverteilung der Differenzen wurde der t-Test für verbundene Stichproben angewendet.
- Wenn keine Normalverteilung festgestellt wurde, erfolgte die Analyse mittels des Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests, einem nichtparametrischen Verfahren zur Analyse gepaarter Daten.

Alle Tests wurden zweiseitig durchgeführt, da sowohl eine Über- als auch eine Unterlegenheit einzelner Projektionsarten gegenüber der kombinierten Betrachtung von Interesse war.

3.5.4. Signifikanzniveau

Als Signifikanzniveau wurde ein zweiseitiger p-Wert von $<0,05$ ($\alpha = 5\%$) definiert.

Die Nullhypothese (H_0) besagte, dass die Median-Differenz zwischen den beiden gepaarten Gruppen 0 beträgt, also kein signifikanter Unterschied zwischen den Verteilungen vorliegt. Die Alternativhypothese (H_1) ging hingegen von einem systematischen Unterschied in den Medianen aus (positiv oder negativ, je nach Test-Richtung).

Interpretation bei $\alpha = 0,05$:

- $p < 0,05$: H_0 wurde verworfen \rightarrow es lag ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Lagerungsformen für diesen Parameter vor. Die kombinierte Auswertung führte also zu systematisch anderen Ergebnissen als die Einzelaufnahme.
- $p \geq 0,05$: H_0 konnte nicht verworfen werden \rightarrow es zeigte sich kein statistisch signifikanter Unterschied. Die kombinierte und die Einzelaufnahme führen im Median also zu vergleichbaren Bewertungen.

Statistisch signifikante Unterschiede wurden hinsichtlich ihrer praktischen Relevanz im Ergebnis- und Diskussionsteil zusätzlich grafisch dargestellt und interpretiert.

3.5.5. Bewertung der Interrater-Übereinstimmung

Die Übereinstimmung zwischen den beiden Radiologen wurde anhand des Intraclass Correlation Coefficient (ICC) bewertet, da dieser die Konsistenz der Werte auf Intervall- oder Ordinalskalenniveau erfasst und für zwei Beurteiler abbildet. Eine alternative Option wäre der Kendall-W-Konkordanz-Koeffizient gewesen; dieser basiert jedoch ausschließlich auf der Übereinstimmung der Rangordnung und wurde daher nicht weiter berücksichtigt.

Für die qualitative Interpretation der ICC-Werte existieren verschiedene Einteilungssysteme. Cicchetti (1994) schlägt für klinische und psychologische Forschung folgende Klassifikation vor: $< 0,40$ = schlecht, $0,40-0,59$ = befriedigend, $0,60-0,74$ = gut, $\geq 0,75$ = exzellent. Koo & Li (2016) bieten eine modernisierte und für biomedizinische Forschung spezifischere Interpretation. Gemäß dieser Klassifikation werden ICC-Werte $< 0,50$ als schlecht, $0,50-0,75$ als moderat, $0,75-0,90$ als gut und $> 0,90$ als exzellent angesehen. Sie erlaubt eine feinere Abstufung im oberen Bereich und ist daher in aktuellen klinischen Studien, insbesondere in der medizinischen Bildgebung, weit verbreitet. Aus diesen Gründen wurde in der vorliegenden Arbeit die Interpretation nach Koo & Li (2016) angewendet.

Der ICC_single beschreibt die Übereinstimmung zwischen den beiden Radiologen, wenn jeweils nur eine Einzelbewertung betrachtet wird. Der ICC_average hingegen gibt an, wie zuverlässig das Ergebnis wäre, wenn der Mittelwert beider Bewertungen als gemeinsames Resultat herangezogen würde. Dieser Wert fällt erwartungsgemäß höher aus, da sich zufällige Unterschiede zwischen den Beurteilern teilweise ausgleichen. Der ICC_average entspricht in dieser Analyse mathematisch dem Cronbachs Alpha und wird im Folgenden stellvertretend berichtet.

3.5.6. Klinische Zusatzanalyse

Zusätzlich zur radiologischen Auswertung wurde eine Analyse der entsprechenden klinischen Daten durchgeführt, mit dem Ziel, diese vergleichend zu betrachten. Diese klinischen Daten wurden aus Operationsberichten, Entlassungsdiagnosen und ärztlichen Dokumentationen entnommen.

Da es sich um eine retrospektive Analyse über mehrere Jahre handelt, waren die Diagnosen jedoch lückenhaft und heterogen dokumentiert. Zahlreiche Fälle wurden konservativ behandelt, sodass weder ein operativer Befund noch eine gesicherte Entlassungsdiagnose vorlag. Aufgrund zusätzlich erschwerter Episodenverknüpfung (mehrere Serien je Patient; fehlende eindeutige Fall-IDs; externes Follow-up) wurden daher nur Fälle mit zweifelsfreier Referenzdiagnose eingeschlossen ($n = 78/373$).

Unter diesen Kriterien war lediglich eine deskriptive Darstellung möglich. Die Diagnosen wurden in Hauptgruppen zusammengefasst und tabellarisch dargestellt. Auf eine statistische Korrelation zu den radiologischen Befunden wurde aufgrund unzureichender Subgruppengröße verzichtet.

Diese Unteranalyse dient somit vorrangig der Kontextualisierung der diagnostischen Ausgangslage.

3.5.7. Software

Die Datenerhebung, Aufbereitung sowie die Erstellung der Tabellen und der Grafiken zur Alters- und Geschlechtsverteilung erfolgten mit Microsoft Excel Professional Pro Plus 2019.

Die statistische Analyse erfolgte mit IBM SPSS Statistics, Version 28 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

Die Power-Analysen wurden mit der Software G*Power, Version 3.1.9.7 (Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A.-G. 2009), durchgeführt.

Zur sprachlichen Vereinheitlichung und Textoptimierung wurde das KI-gestützte Werkzeug ChatGPT (Version GPT-5, OpenAI) unterstützend eingesetzt. Alle inhaltlichen Entscheidungen und Überprüfungen erfolgten manuell.

3.5.8. Ethik und Datenschutzaspekte

Die retrospektive Datenauswertung fand unter den vorliegenden Voten der Ethikkommission der Medizinischen Universität Graz (EK 31-108 ex 18/19 und EK 1052/2025) statt.

Die Röntgenaufnahmen wurden im Rahmen der regulären klinischen Diagnostik erstellt und im Anschluss vollständig von personenbezogenen Informationen getrennt.

Zur Anonymisierung der Datensätze wurde zunächst eine interne Identifikationsnummer (SERIES_ID) erstellt, die sich aus Patientenkürzel, Bildaufnahmedatum und gerundeter Aufnahmezeit zusammensetzte. Diese diente anschließend als Zuordnungsschlüssel für eine zufällig erzeugte Identifikationsnummer (RAND_ID), mit der die Datensätze in einer separaten Tabelle verknüpft wurden³. Die RAND_ID wurde in der Auswertung als einzige Kennung verwendet. Die Verbindung zwischen Originalkennung und anonymisierter ID war ausschließlich lokal und zeitlich begrenzt verfügbar und wurde nach Abschluss der Datenaufbereitung gelöscht. Eine Rückverfolgbarkeit der Patient*innen war somit zu keinem Zeitpunkt möglich.

Die Studie erfüllt damit die Voraussetzungen für eine Sekundärdatenanalyse im Sinne der datenschutzrechtlichen Bestimmungen. Alle erhobenen Daten wurden ausschließlich zu wissenschaftlichen Zwecken verwendet und in aggregierter Form ausgewertet.

³ Die Verknüpfung erfolgte in Excel über eine SVERWEIS-Funktion zwischen SERIES_ID und einer separaten Tabelle mit randomisiert erzeugten RAND_IDs. Die zugrunde liegende Formel beruhte auf einer Kombination von patid, acquisdate und gerundeter acqistime. Die Zuordnung wurde nach abgeschlossener Anonymisierung vollständig entfernt.

4. Ergebnisse

4.1. Demografische Daten der Stichprobe

Da keine Stratifizierung nach Alter und Geschlecht geplant war, wurde primär auf eine möglichst hohe Fallzahl Wert gelegt. Dies führte zu einer inhomogenen Altersverteilung (Abbildung 9). Diese ungleiche Verteilung stellt eine potenzielle Verzerrung dar, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden sollte.

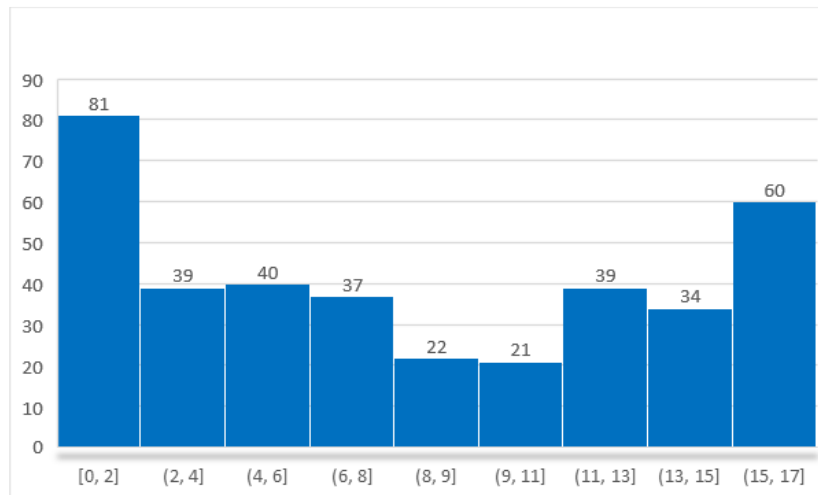


Abbildung 9: Altersverteilung der Patientinnen und Patient*innen (n=373)

Analog zur Altersverteilung zeigt sich auch bei der Geschlechtsverteilung eine Ungleichheit, mit 142 weiblichen und 231 männlichen Patient*innen im Kollektiv (Abbildung 10). Diese Asymmetrie sollte bei der Interpretation der Studienergebnisse ebenfalls berücksichtigt werden.

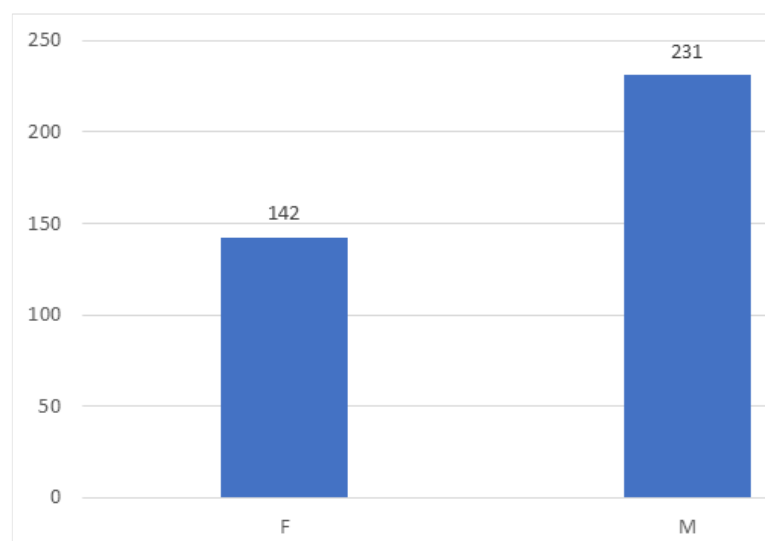


Abbildung 10: Geschlechtsverteilung der Patientinnen und Patient*innen (n=373)

4.2. Grafiken zur Veranschaulichung

4.2.1. Boxplots

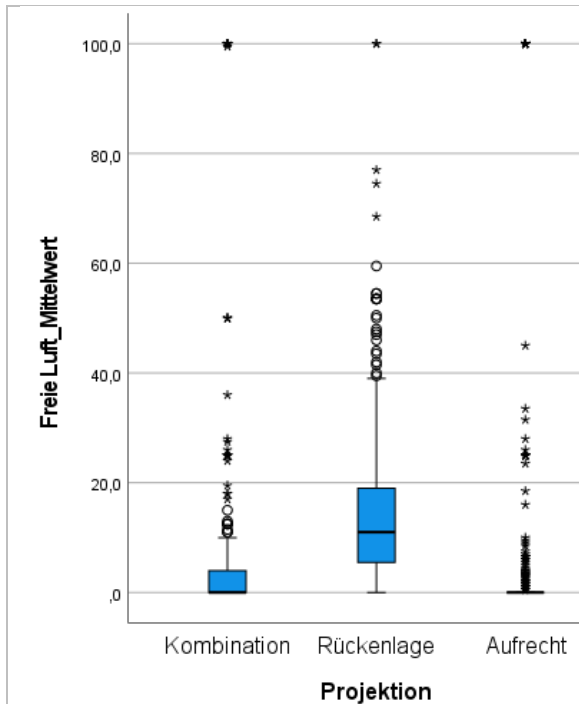


Abbildung 11: Boxplots - Freie Luft (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).

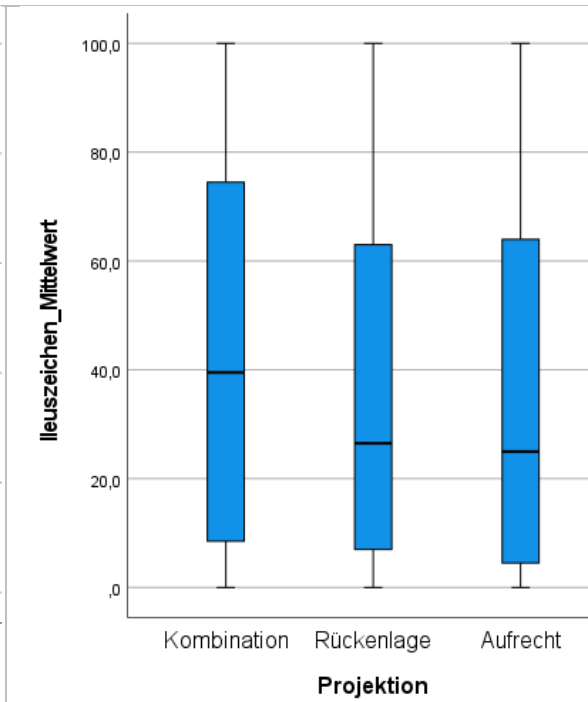


Abbildung 12: Boxplots - Ileuszeichen (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).

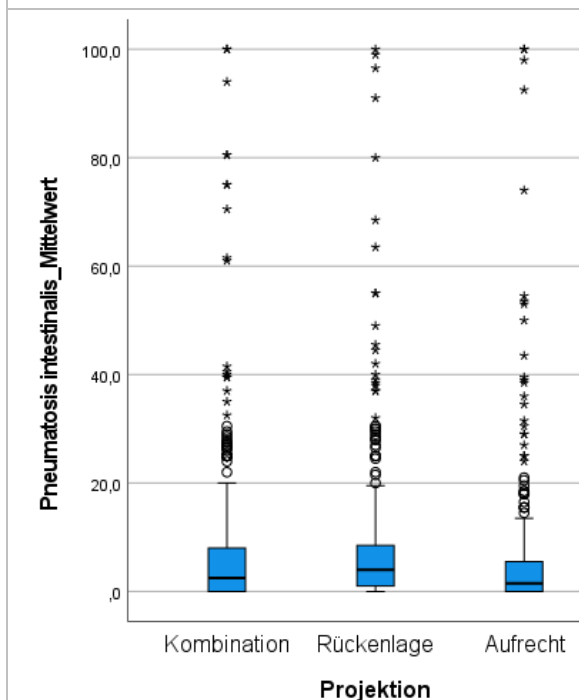


Abbildung 13: Boxplots - Pneumatoxis intestinalis (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).

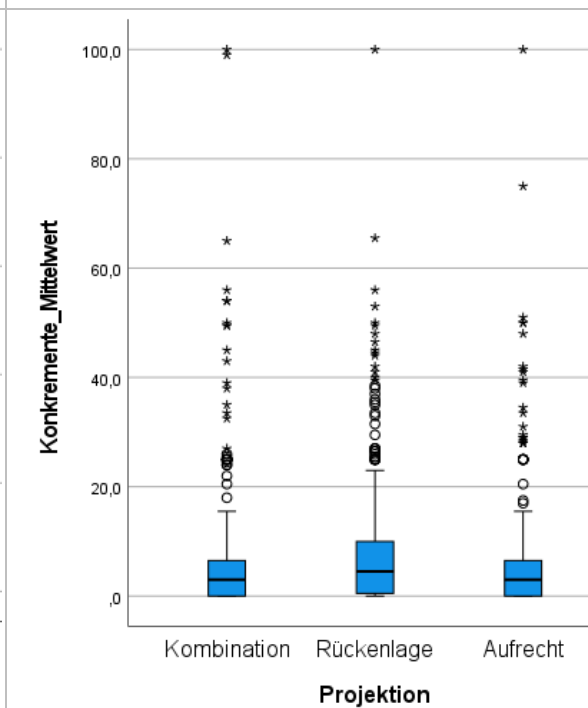


Abbildung 14: Boxplots - Konkremente (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).

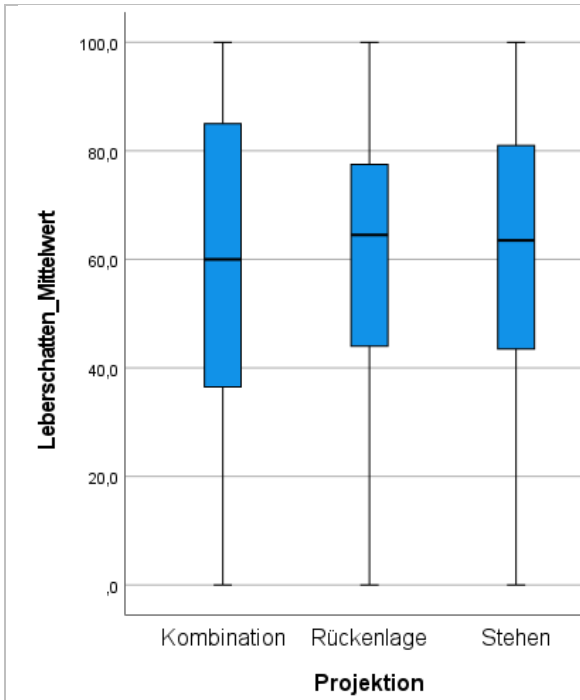


Abbildung 15: Boxplots - Leberschatten (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).

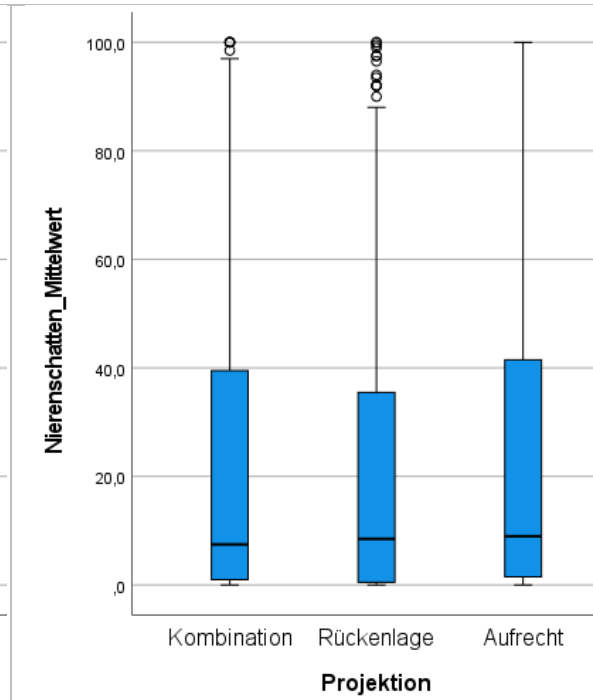


Abbildung 16: Boxplots - Nierenschatten (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).

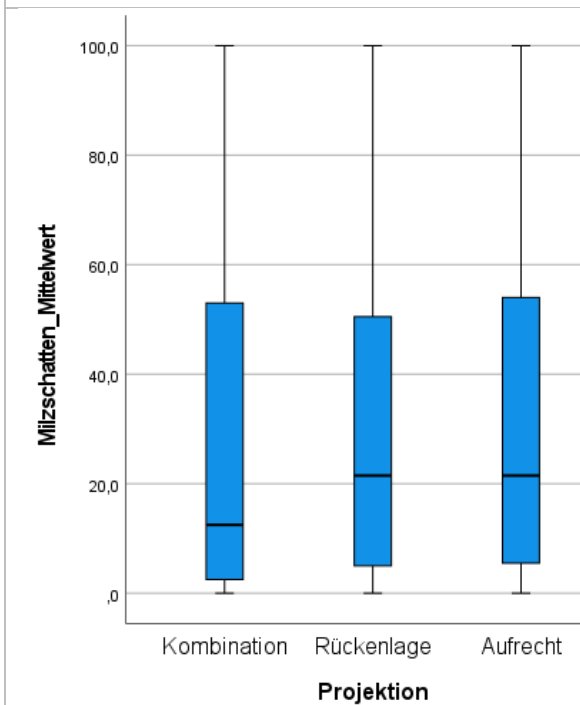


Abbildung 17: Boxplots - Milzschatten (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).

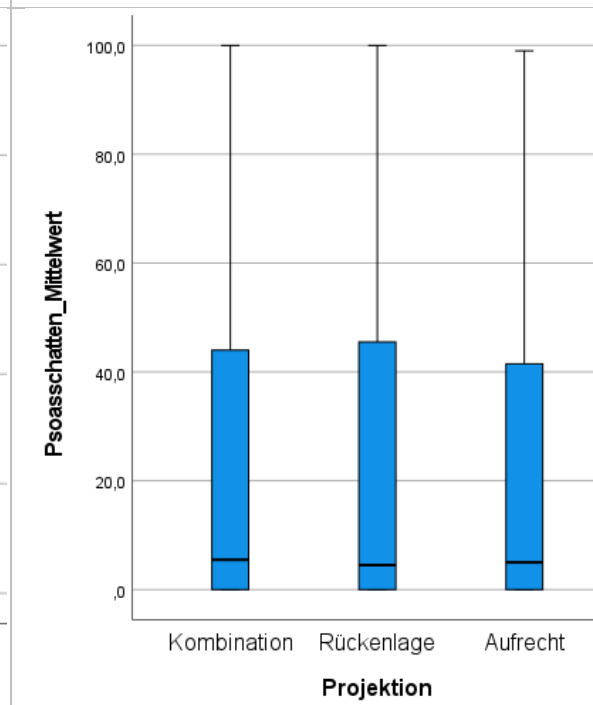
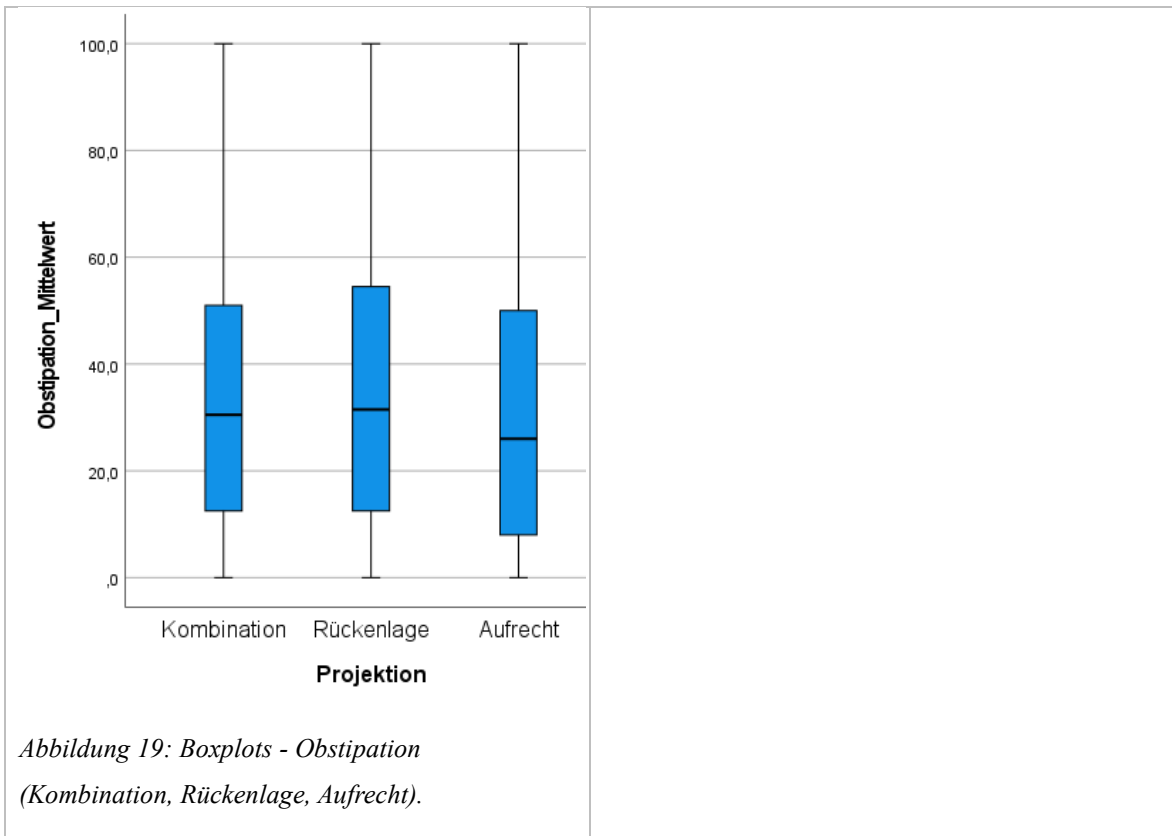
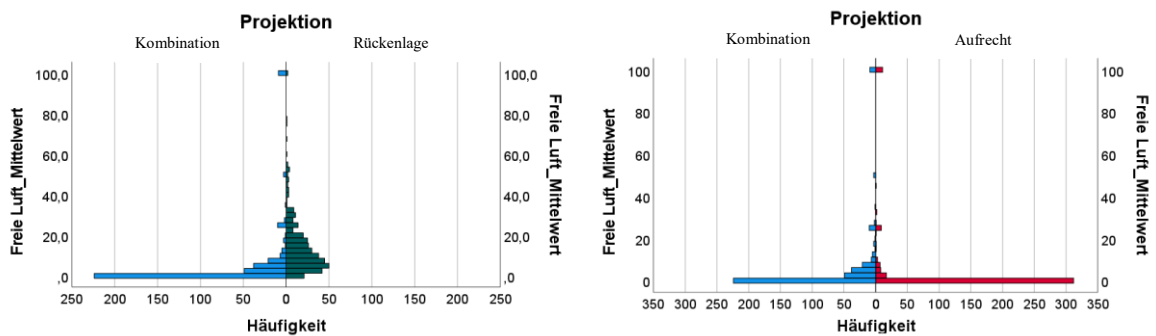


Abbildung 18: Boxplots - Psoasschatten (Kombination, Rückenlage, Aufrecht).



4.2.2. Histogramme

Neben der statistischen Darstellung in Boxplots werden im folgenden Abschnitt zusätzlich Populationspyramiden eingefügt, um Unterschiede in den Verteilungsmustern anschaulich darzustellen.



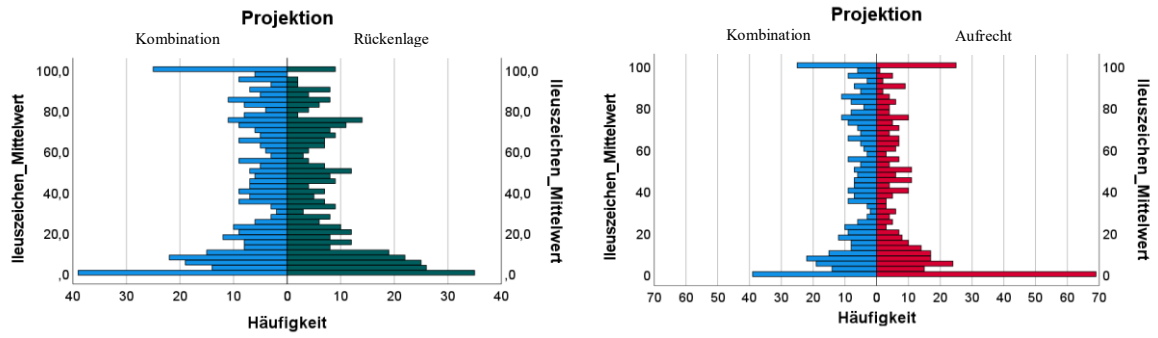


Abbildung 21: Populationspyramiden - Ileuszeichen (Rückenlage, Aufrecht)

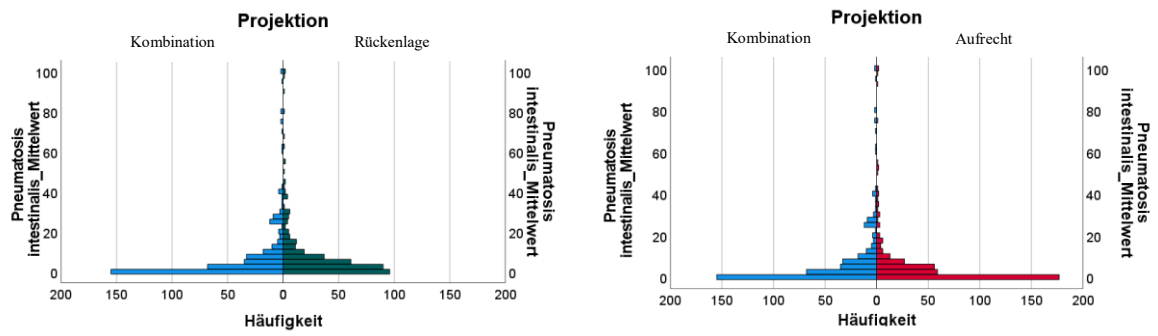


Abbildung 22: Populationspyramiden - Pneumatosis intestinalis (Rückenlage, Aufrecht)

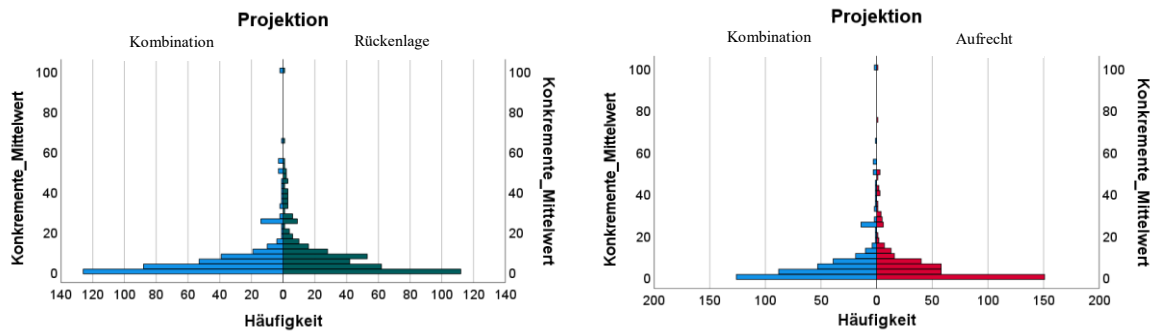


Abbildung 23: Populationspyramiden - Konkremete (Rückenlage, Aufrecht)

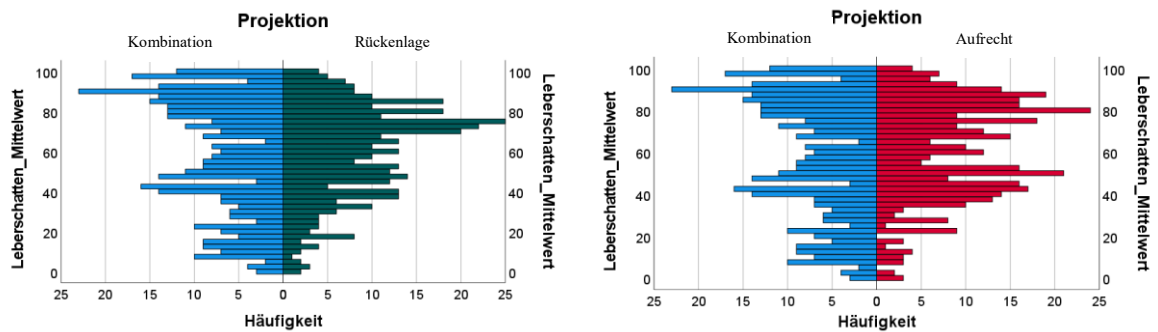


Abbildung 24: Populationspyramiden - Leberschatten (Rückenlage, Aufrecht)

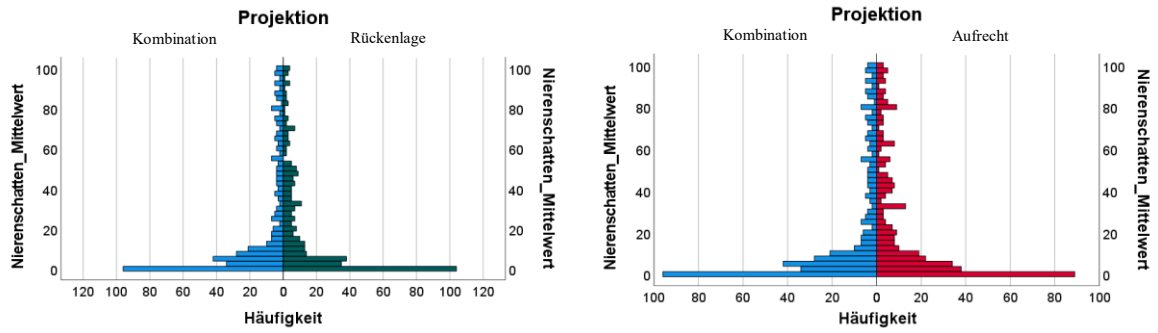


Abbildung 25: Populationspyramiden - Nierenschatten (Rückenlage, Aufrecht)

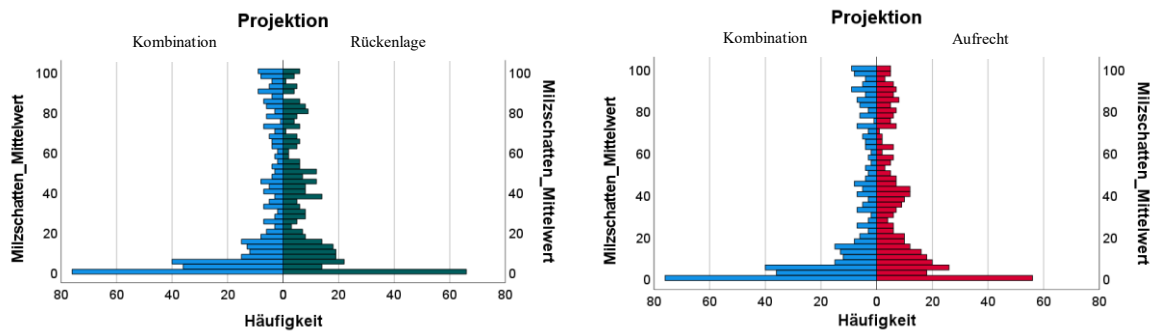


Abbildung 26: Populationspyramiden - Milzschatten (Rückenlage, Aufrecht)

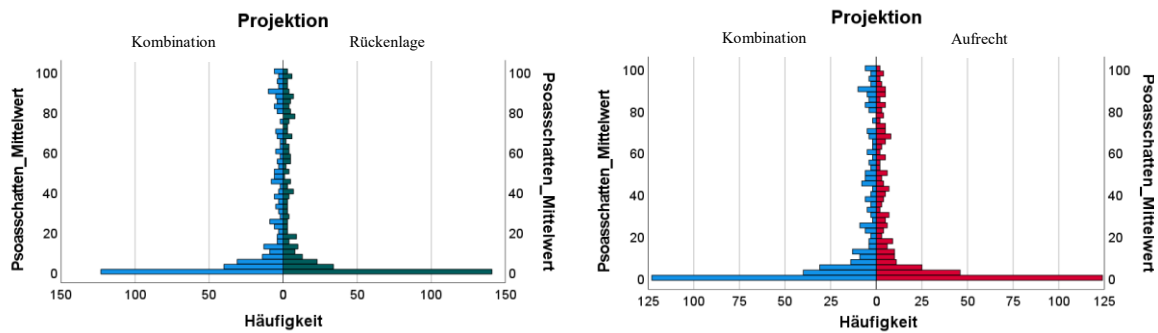


Abbildung 27: Populationspyramiden - Psoasschatten (Rückenlage, Aufrecht)

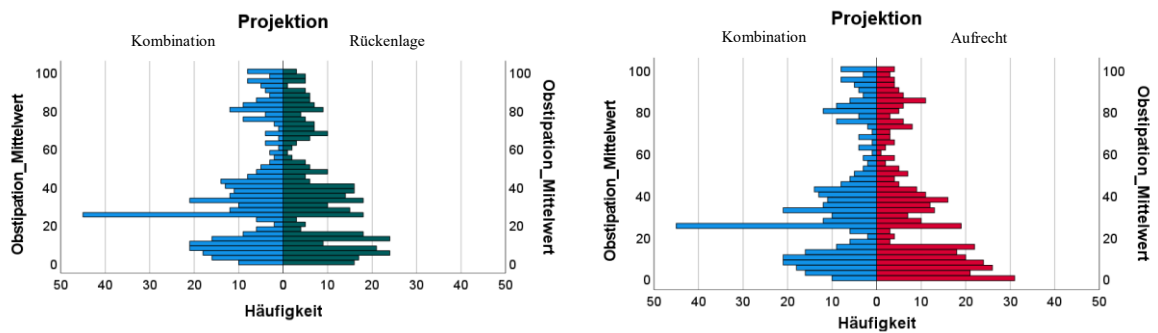


Abbildung 28: Populationspyramiden - Obstipation (Rückenlage, Aufrecht)

Die grafischen Darstellungen mittels Boxplots und Populationspyramiden zeigen bereits deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Parametern und Projektionen.

Vor allem für freie Luft, pneumatosis intestinalis und Konkremente fällt auf, dass sich die Werte um den unteren Bereich der Skala konzentrieren, was auf eine insgesamt geringe Häufigkeit positiver Bewertungen dieser Parameter hinweist.

Bei der Beurteilung freier abdomineller Luft zeigt sich außerdem eine Abstufung, bei der in Rückenlage am häufigsten ein positiver Befund dokumentiert wurde, gefolgt von der kombinierten Beurteilung, während die aufrechte Projektion die niedrigsten Werte aufweist.

Für Ileuszeichen zeigen sich tendenziell höhere Werte in der kombinierten Beurteilung. Außerdem scheinen die Verteilungen der Rückenlage und der aufrechten Projektion enger beieinanderzuliegen.

Bei Pneumatosis intestinalis, Konkrementen, Nierenschatten, Psoasschatten sowie Obstipation zeigen die Boxplots und Populationspyramiden weitgehend ähnliche Verteilungen, ohne dass sich eine deutliche Differenz zwischen den Projektionen abzeichnet.

Beim Leberschatten sind die Medianwerte zwischen den drei Projektionen vergleichbar, jedoch erscheint die Spannweite in den isolierten Beurteilungen enger als in der kombinierten Befundung.

Für den Milzschatten fällt auf, dass die Medianwerte in den isolierten Projektionen (Rückenlage und aufrecht) höher liegen als in der kombinierten Beurteilung.

Insgesamt lassen sich aus den grafischen Darstellungen erste Unterschiede in der Verteilung der Befunde zwischen den Lagerungsformen erkennen. Ob diese Unterschiede statistisch signifikant sind, wird in den nachfolgenden Tests geprüft.

4.3. Statistische Analyse

4.3.1. Deskriptive Statistik der Bewertungsparameter

Die nachfolgende Tabelle fasst die deskriptiven Kennwerte (Mittelwert, Median, 25.- und 75.-Perzentile) als Ergänzung der grafischen Darstellungen für alle Bewertungsparameter zusammen.

Tabelle 2: Anzahl, Lage- und Streuungsmaße der untersuchten Parameter getrennt nach Projektion

Parameter - Mittelwert	Projektion	Anzahl	25. Perzentil	Median	75. Perzentil
Freie Luft - Mittelwert	Kombination	373	0,0	0,0	4,0
	Rückenlage	373	5,5	11,0	19,0
	Aufrecht	373	0,0	0,0	0,0
Ileuszeichen - Mittelwert	Kombination	373	8,5	39,5	74,5
	Rückenlage	373	7,0	26,5	63,0
	Aufrecht	373	4,5	25,0	64,0
Pneumotosis intestinalis - Mittelwert	Kombination	373	0,0	2,5	8,0
	Rückenlage	373	1,0	4,0	8,5
	Aufrecht	373	0,0	1,5	5,5
Konkremente - Mittelwert	Kombination	373	0,0	3,0	6,5
	Rückenlage	373	0,5	4,5	10,0
	Aufrecht	373	0,0	3,0	6,5
Leberschatten - Mittelwert	Kombination	373	36,5	60,0	85,0
	Rückenlage	373	44,0	64,5	77,5
	Aufrecht	373	43,5	63,5	81,0
Nierenschatten - Mittelwert	Kombination	373	1,0	7,5	39,5
	Rückenlage	373	0,5	8,5	35,5
	Aufrecht	373	1,5	9,0	41,5
Milzschatten - Mittelwert	Kombination	373	2,5	12,5	53,0
	Rückenlage	373	5,0	21,5	50,5
	Aufrecht	373	5,5	21,5	54,0
Psoasschatten - Mittelwert	Kombination	373	0,0	5,5	44,0
	Rückenlage	373	0,0	4,5	45,5
	Aufrecht	373	0,0	5,0	41,5
Obstipation - Mittelwert	Kombination	373	12,5	30,5	51,0
	Rückenlage	373	12,5	31,5	54,5
	Aufrecht	373	8,0	26,0	50,0

4.3.2. Prüfung auf Normalverteilung

Im Folgenden wurde die Normalverteilung der Variablen mittels Shapiro-Wilk-Test (sowie ergänzend mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test) überprüft.

Tabelle 3: Überprüfung der Verteilungsannahmen mittels Kolmogorov-Smirnov- und Shapiro-Wilk-Test

		Tests auf Normalverteilung					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Projektion	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Freie Luft - Mittelwert	Kombination	,367	373	<,001	,352	373	<,001
	Rückenlage	,152	373	<,001	,787	373	<,001
	Stehen	,419	373	<,001	,272	373	<,001
Ileuszeichen - Mittelwert	Kombination	,129	373	<,001	,899	373	<,001
	Rückenlage	,134	373	<,001	,899	373	<,001
	Stehen	,171	373	<,001	,872	373	<,001
Pneumotosis Intestinalis - Mittelwert	Kombination	,304	373	<,001	,540	373	<,001
	Rückenlage	,279	373	<,001	,564	373	<,001
	Stehen	,330	373	<,001	,453	373	<,001
Konkremente - Mittelwert	Kombination	,295	373	<,001	,531	373	<,001
	Rückenlage	,244	373	<,001	,675	373	<,001
	Stehen	,288	373	<,001	,564	373	<,001
Leberschatten - Mittelwert	Kombination	,110	373	<,001	,938	373	<,001
	Rückenlage	,093	373	<,001	,967	373	<,001
	Stehen	,091	373	<,001	,963	373	<,001
Nierenschatten - Mittelwert	Kombination	,248	373	<,001	,762	373	<,001
	Rückenlage	,211	373	<,001	,792	373	<,001
	Aufrecht	,215	373	<,001	,794	373	<,001
Milzschatten - Mittelwert	Kombination	,209	373	<,001	,807	373	<,001
	Rückenlage	,157	373	<,001	,884	373	<,001
	Aufrecht	,152	373	<,001	,875	373	<,001
Psoasschatten - Mittelwert	Kombination	,244	373	<,001	,755	373	<,001
	Rückenlage	,250	373	<,001	,751	373	<,001
	Aufrecht	,238	373	<,001	,762	373	<,001
Obstipation - Mittelwert	Kombination	,120	373	<,001	,900	373	<,001
	Rückenlage	,107	373	<,001	,919	373	<,001
	Aufrecht	,154	373	<,001	,884	373	<,001

a. Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

Für alle Variablen ergab sich in beiden Tests ein Signifikanzniveau von $p < 0,001$, sodass die Nullhypothese einer Normalverteilung verworfen werden musste. Die nachfolgenden statistischen Analysen wurden daher unter Verwendung nichtparametrischer Verfahren durchgeführt.

4.3.3. Signifikanztests (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test)

Für die Tabelle 4 wurde für jede Lagerungsform (aufrecht, Rückenlage, kombiniert) und jeden Parameter der Mittelwert der Bewertungen der beiden bewertenden Radiolog*innen errechnet.

Im Anschluss erfolgten für die Mittelwerte je zwei Wilcoxon-Tests: einmal im Vergleich: „Kombinierte Bewertung vs. Bewertung in Rückenlage“ und einmal im Vergleich: „Kombinierte Bewertung vs. Bewertung aufrechter Projektion“.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Bei der Beurteilung freier Luft, Ileuszeichen und Pneumatosis intestinalis zeigten sich sowohl im Vergleich „Kombination vs. Rückenlage“ als auch „Kombination vs. Aufrecht“ signifikante Unterschiede.
- Für Konkremente zeigte sich ein signifikanter Unterschied im Vergleich „Kombination vs. Rückenlage“, während im Vergleich „Kombination vs. Aufrecht“ kein signifikanter Unterschied bestand.
- Bei Leberschatten, Milzschatten und Obstipation ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen kombinierter Befundung und Rückenlage, jedoch ein signifikanter Unterschied zur aufrechten Projektion.
- Für den Nierenschatten und den Psoasschatten konnten in beiden Vergleichen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Tabelle 4: Ergebnisse der Wilcoxon-Tests für die paarweisen Vergleiche zwischen kombinierter und isolierter Projektion

Parameter	Vergleich	Z-Wert	p-Wert	Δ	Md(Vgl.)	Trend
Freie Luft - Mittelwert	K vs. R	-12,988 ^b	<0,001	sig. $\rightarrow H_1$	K: 0 / R: 11	↓
	K vs. A	-5,620 ^c	<0,001	sig. $\rightarrow H_1$	K: 0 / A: 0	≈
Ileuszeichen - Mittelwert	K vs. R	-3,985 ^c	<0,001	sig. $\rightarrow H_1$	K: 40 / R: 27	↑
	K vs. A	-5,820 ^c	<0,001	sig. $\rightarrow H_1$	K: 40 / A: 25	↑
Pneumotosis intestinalis - Mittelwert	K vs. R	-2,727 ^b	0,006	sig. $\rightarrow H_1$	K: 3 / R: 4	↓
	K vs. A	-3,314 ^c	<0,001	sig. $\rightarrow H_1$	K: 3 / A: 2	↑
Konkremente - Mittelwert	K vs. R	-3,835 ^b	<0,001	sig. $\rightarrow H_1$	K: 3 / R: 5	↓
	K vs. A	-0,367 ^c	0,713	$\emptyset \rightarrow H_0$	K: 3 / A: 3	≈
Leber- schatten - Mittelwert	K vs. R	-1,366 ^b	0,172	$\emptyset \rightarrow H_0$	K: 60 / R: 65	≈
	K vs. A	-2,244 ^b	0,025	sig. $\rightarrow H_1$	K: 60 / A: 64	↓
Nieren- schatten - Mittelwert	K vs. R	-1,956 ^c	0,051	$\emptyset \rightarrow H_0$	K: 8 / R: 9	≈
	K vs. A	-1,636 ^b	0,102	$\emptyset \rightarrow H_0$	K: 8 / A: 9	≈
Milz- schatten - Mittelwert	K vs. R	-1,881 ^b	0,060	$\emptyset \rightarrow H_0$	K: 13 / R: 22	↓
	K vs. A	-3,968 ^b	<0,001	sig. $\rightarrow H_1$	K: 13 / A: 22	↓
Psoas- schatten - Mittelwert	K vs. R	-0,313 ^c	0,754	$\emptyset \rightarrow H_0$	K: 6 / R: 5	≈
	K vs. A	-0,653 ^c	0,514	$\emptyset \rightarrow H_0$	K: 6 / A: 5	≈
Obstipation - Mittelwert	K vs. R	-1,007 ^c	0,314	$\emptyset \rightarrow H_0$	K: 31 / R: 32	≈
	K vs. A	-4,357 ^c	<0,001	sig. $\rightarrow H_1$	K: 31 / A: 26	↑

A = Aufrecht; R = Rückenlage; K = Kombiniert;

Z-Wert = standardisierte Prüfgröße des Wilcoxon-Test.;

p-Wert = Irrtumswahrscheinlichkeit; $p < 0,05 \rightarrow$ signifikanter Unterschied, $p \geq 0,05 \rightarrow$ kein signifikanter Unterschied;

b = basiert auf negativen Rängen; c = basiert auf positiven Rängen;

Δ = Ergebnis des Wilcoxon-Tests (sig. = signifikanter Unterschied, \emptyset = nicht signifikant);

H_0 = Nullhypothese (Median-Differenz = 0);

H_1 = Alternativhypothese (Median-Differenz $\neq 0$). Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$.

Md(Vgl.) = Medianwerte der beiden verglichenen Projektionen

Trend = Richtung der Medianunterschiede (\uparrow = Median(K) > Median(Vergleich), \downarrow = Median(K) < Median(Vergleich), \approx = kein Unterschied);

4.4. Analyse der Interrater-Reliabilität

Tabelle 5: Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICC) für die Übereinstimmung zwischen zwei Radiologen bei der Beurteilung verschiedener abdomineller Parameter in Rückenlage und Aufrecht. Angaben als ICC (95 %-Konfidenzintervall); Interpretation nach Koo & Li (2016)

Befund-kategorie	Lagerungs-form	ICC-single	ICC-avg	95%-KI (u / o)	Sig.	Interp. Koo & Li
Freie Luft	Kombination	0,742	0,852	0,818 / 0,879	<0,001	Gut
	Rückenlage	0,365	0,535	0,430 / 0,621	<0,001	Moderat
	Aufrecht	0,822	0,902	0,880 / 0,920	<0,001	Exzellent
Ileuszeichen	Kombination	0,689	0,816	0,774 / 0,850	<0,001	Gut
	Rückenlage	0,652	0,789	0,741 / 0,828	<0,001	Gut
	Aufrecht	0,663	0,797	0,752 / 0,835	<0,001	Gut
Pneumatoxis intestinalis	Kombination	0,532	0,695	0,626 / 0,751	<0,001	Moderat
	Rückenlage	0,528	0,691	0,622 / 0,748	<0,001	Moderat
	Aufrecht	0,521	0,685	0,614 / 0,743	<0,001	Moderat
Konkremente	Kombination	0,204	0,338	0,189 / 0,460	<0,001	Schlecht
	Rückenlage	0,185	0,313	0,158 / 0,439	<0,001	Schlecht
	Aufrecht	0,266	0,420	0,289 / 0,527	<0,001	Schlecht
Leberschatten	Kombination	0,581	0,735	0,675 / 0,784	<0,001	Moderat
	Rückenlage	0,304	0,467	0,346 / 0,565	<0,001	Schlecht
	Aufrecht	0,278	0,435	0,307 / 0,539	<0,001	Schlecht
Nierenschatten	Kombination	0,738	0,849	0,816 / 0,877	<0,001	Gut
	Rückenlage	0,638	0,779	0,729 / 0,819	<0,001	Gut
	Aufrecht	0,685	0,813	0,771 / 0,848	<0,001	Gut
Milzschatten	Kombination	0,701	0,825	0,785 / 0,857	<0,001	Gut
	Rückenlage	0,484	0,653	0,574 / 0,716	<0,001	Moderat
	Aufrecht	0,533	0,696	0,627 / 0,752	<0,001	Moderat
Psoaschatten	Kombination	0,700	0,824	0,784 / 0,856	<0,001	Gut
	Rückenlage	0,746	0,855	0,822 / 0,881	<0,001	Gut
	Aufrecht	0,732	0,846	0,811 / 0,874	<0,001	Gut
Obstipation	Kombination	0,503	0,669	0,595 / 0,730	<0,001	Moderat
	Rückenlage	0,577	0,732	0,671 / 0,781	<0,001	Moderat
	Aufrecht	0,585	0,738	0,679 / 0,787	<0,001	Moderat

Tabelle 5 (Fortsetzung):

ICC-single = Intraklassen-Korrelationskoeffizient für einzelne Maße;

ICC-avg = Intraklassen-Korrelationskoeffizient für durchschnittliche Maße $\hat{=}$ Cronbachs Alpha;

95%-KI (u / o) = 95%-Konfidenzintervall (Untergrenze / Obergrenze);

Sig. = p-Wert (Signifikanzwert) des F-Tests;

Interp. Koo & Li = Interpretation der Reliabilität nach Koo & Li (2016).

Unter „Sig.“ ist der p-Wert des F-Tests angegeben, mit dem überprüft wird, ob der berechnete ICC signifikant größer als 0 ist. Ein p-Wert kleiner als dem festgelegten Signifikanzniveau (in dieser Arbeit $\alpha = 0,05$) weist darauf hin, dass die Übereinstimmung zwischen den Ratern statistisch signifikant ist. In der vorliegenden Analyse lagen alle p-Werte unter 0,001 und sind somit hochsignifikant.

Die ICC-Werte zeigten insgesamt eine deutliche Spannweite zwischen den verschiedenen Parametern (ICC_avg 0,313–0,902). Während sich für die Beurteilung freier Luft in aufrechter Projektion eine exzellente Reliabilität fand, war die Übereinstimmung bei der Detektion von Konkrementen in allen Projektionen schlecht. Auffällig ist zudem, dass die Rückenlage für freie Luft deutlich schlechter abschnitt (ICC_avg = 0,535) als die Kombination (0,852) oder die aufrechte Projektion (0,902).

Parameter wie Ileuszeichen, Nieren- und Psoasschatten erreichten konsistent gute Reliabilitätswerte (ICC_avg 0,779–0,855), wohingegen Pneumatosis intestinalis, Milzschatten und Obstipation meist nur moderate Übereinstimmung zeigten.

Insbesondere für Leber- und Milzschatten waren die Einzelprojektionen weniger reliabel als die kombinierte Bewertung.

4.5. Klinische Zusatzanalyse

Für 78 von 373 Fallserien lagen ergänzende klinische Diagnosen vor. Diese Diagnosen wurden in 13 Hauptgruppen zusammengefasst und in Tabelle 6 deskriptiv dargestellt.

Am häufigsten war die Appendizitis bzw. Appendektomie (17 %) vertreten, gefolgt von mechanischen oder adhäsionsbedingten Ileusformen (14 %). Ebenfalls häufig waren funktionelle Störungen (9 %), nekrotisierende Enterokolitis (9 %), Volvulus oder Malrotation (8 %), sowie Perforationen (8 %). Seltener traten beispielsweise kongenitale Atresien, Mekonium-Störungen, Fremdkörper und Hernien auf.

Insgesamt spiegelt die Verteilung das klassische Erkrankungsspektrum wider, welches zur Durchführung einer Abdomenübersichtsaufnahme Anlass geben könnte.

Tabelle 6: Übersicht der klinischen Diagnosen (n = 78) in Hauptgruppen. Die Analyse erfolgte deskriptiv auf Basis eindeutig zuordenbarer klinischer Fälle.

Diagnosegruppe	Anzahl	Anteil (%)
Appendizitis / Appendektomie	13	17%
Mechanischer/Adhäsions-Ileus	11	14%
Sonstige/unspezifisch	10	13%
Nekrotisierende Enterokolitis (NEC)	7	9%
Funktionelle Störung (Obstipation, Reflux)	7	9%
Perforationen (Darm, Appendix, Magen)	6	8%
Volvulus / Malrotation	6	8%
Atresien / Pylorusstenosen	5	6%
Mekonium-Spektrum	5	6%
Morbus Hirschsprung	2	3%
Fremdkörper	2	3%
Invagination	2	3%
Hernien / Wanddefekte	2	3%
Gesamtergebnis	78	100%

5. Diskussion

5.1. Klinische Aussagekraft der Projektionen

5.1.1. Vergleich kombinierter vs. einzelner Projektionen

Die vorliegende Analyse zeigt, dass die diagnostische Aussagekraft der Einzelprojektionen im Vergleich zur kombinierten Bewertung je nach Parameter unterschiedlich ist.

Freie Luft:

Hier wird für beide isolierten Projektionen ein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt. Grafisch ergibt sich auf den ersten Blick eine unerwartete Tendenz zugunsten der Rückenlage, da hier häufiger ein positiver Befund vermutet wurde als in der kombinierten Befundung oder der Befundung in aufrechter Projektion. Diese Beobachtung ist jedoch eher als Ausdruck einer höheren Unsicherheit beziehungsweise geringeren Spezifität der Rückenlage zu werten. Dieser Umstand wird auch durch die Reliabilitätstests bestätigt. Somit spricht die kombinierte Befundung für eine höhere diagnostische Sicherheit im Ausschluss freier Luft, während die isolierte Betrachtung der aufrechten Projektion in diesem Aspekt sogar überlegen erscheint.

Ileuszeichen:

Hier bestätigt sowohl die grafische als auch die statistische Auswertung eine leichte Überlegenheit der kombinierten Bewertung gegenüber den Einzelprojektionen. Dies spricht für einen Nutzen der Mehrfachprojektion bei dieser Fragestellung.

Pneumatis intestinalis:

Beide Einzelprojektionen zeigten signifikante Unterschiede zur kombinierten Bewertung. Deskriptiv lieferte die Rückenlage tendenziell höhere Werte als die kombinierte Auswertung, was auf eine Überbewertung hinweisen könnte, während die Aufrecht-Projektion niedrigere Werte zeigte. Dies deutet darauf hin, dass in Einzelfällen eine isolierte Projektion höhere oder niedrigere Befunde liefern kann, die kombinierte Bewertung jedoch eine robustere Mittelwert-Betrachtung darstellt.

Obwohl sich grafisch eine ähnliche (jedoch weniger ausgeprägte) Konstellation wie bei freier Luft ergibt, verhindert die insgesamt geringe Reliabilität eine klare Empfehlung für die isolierte Aufnahmetechnik.

Konkremente:

Die Rückenlage zeigte signifikant höhere Werte als die kombinierte Bewertung, während die aufrechte Projektion keinen signifikanten Unterschied aufwies. Die insgesamt niedrigen ICC-Werte sind vermutlich auf die hohe Anzahl an Patient*innen ohne oder mit nur wenigen Konkrementen zurückzuführen. Da die Bewertung nur auf wenigen positiven Fällen basierte, konnten bereits kleine Unterschiede zwischen den Radiologen einen überproportional starken Einfluss auf den ICC ausüben. Im Gegensatz zur freien Luft, die trotz niedriger Fallzahl konsistent erkannt wurde, blieb die Reliabilität bei Konkrementen in allen Projektionen eingeschränkt.

Leberschatten, Milzschatten und Obstipation:

Im Kontrast zu Konkrementen, scheint hier die isolierte Projektion in Rückenlage ausreichend zu sein. Grafisch fällt beim Leberschatten auf, dass die isolierten Befundungen eine geringere Spannweite als die kombinierte Befundung nahelegen. Dies könnte - bei ähnlichen Medianen - sogar auf mehr Konsistenz in den Einzelprojektionen hinweisen.

Die niedrigen ICC-Werte beim Leberschatten sind vermutlich durch die eingeschränkte radiologische Nachweisbarkeit dieser Strukturen im PR erklärbar und als inhärente Limitation dieser Modalität zu interpretieren.

Nieren- und Psoasschatten:

Für diese beiden Parameter ließ sich weder grafisch noch statistisch ein signifikanter Unterschied zwischen den Einzelprojektionen und der kombinierten Bewertung feststellen. Diese Ergebnisse werden durch die konsistent hohen Reliabilitätswerte gestützt.

5.1.2. Klinische Kontextualisierung der Stichprobe

Ergänzend zur radiologischen Auswertung zeigte die klinische Zusatzanalyse, dass das Untersuchungskollektiv ein breites Spektrum an pädiatrischen Erkrankungen abbildet und somit eine klinisch repräsentative Patientengruppe darstellt. Sie unterstützt die Annahme, dass die unterschiedlichen Häufigkeitsverteilungen der verschiedenen Parameter nicht durch eine einseitige Fallauswahl verzerrt wurden.

5.1.3. Mögliche Strahlenreduktion durch gezielte Auswahl

Statt standardisiert beide Projektionen anzufertigen, könnte eine fragestellungsorientierte Strategie verfolgt werden:

Für Ileuszeichen und Pneumatosis intestinalis zeigte keine der Einzelprojektionen eine gleichwertige diagnostische Aussagekraft im Vergleich zur kombinierten Betrachtung. Aufgrund der robusteren Mittelwert-Betrachtung und der damit verbundenen höheren diagnostischen Sicherheit sollte in diesen Fällen weiterhin die kombinierte Projektion bevorzugt eingesetzt werden.

Bei Parametern mit niedriger Befundhäufigkeit und/oder eingeschränkter Reliabilität (beispielsweise Pneumatosis intestinalis, Konkremente und Leberschatten) kann die Kombination der Projektionen zufällige Unterschiede zwischen den Befundenden besser ausgleichen. Empfehlungen zu Einzelprojektionen sollten daher in diesen Fällen nur mit methodischer Zurückhaltung ausgesprochen werden.

Für die Beurteilung von freier Luft, Konkrementen sowie Nieren- und Psoasschatten erscheint die aufrechte Projektion als statistisch ausreichend. Die Rückenlage liefert hingegen bei Leberschatten, Obstipation sowie Milz-, Nieren- und Psoasschatten häufig verlässlichere Ergebnisse.

Als orientierende Handlungsempfehlung ergibt sich daraus folgendes Bild:

- Nur aufrechte Projektion bei Verdacht auf freie Luft oder Konkremente⁴.
- Nur Rückenlage bei Fragestellungen zur Obstipation.
- Gezielte Kombination bei Ileusverdacht oder Pneumatosis intestinalis

⁴ Auch für die Bewertung von Konkrementen zeigte sich kein signifikanter Unterschied zur kombinierten Projektion. Trotz der geringen Befundhäufigkeit und eingeschränkten Interrater-Reliabilität erscheint eine Einzelaufnahme in aufrechter Projektion als pragmatische Alternative - jedoch nur bei klarer klinischer Fragestellung und unter methodischer Zurückhaltung.

Weichteilschatten wie Psoas- oder Nierenschatten gelten primär als Parameter zur Einschätzung der Bildqualität und waren in beiden Projektionen grundsätzlich beurteilbar. Bei Milz- und Leberschatten zeigten sich jedoch signifikante Unterschiede in der aufrechten Projektion, weshalb bei isolierter Bildgebung die Rückenlage zur verlässlicheren Darstellung dieser Strukturen besser geeignet ist.

5.2. Interpretation der Ergebnisse im Kontext bisheriger Literatur

Im Vergleich zur Literatur zu erwachsenen Patient*innen zeigt sich ein teilweise ähnliches, teilweise abweichendes Bild, welches die besondere Relevanz einer eigenständigen Betrachtung des pädiatrischen Kollektivs verdeutlicht.

Mehrere frühere Studien (Field et al. 1985; Geng et al. 2018; Mirvis et al. 1986; Simpson et al. 1985) fanden keinen signifikanten Zusatznutzen der aufrechten Abdomenaufnahme und empfehlen stattdessen häufig die Kombination aus Abdomen in Rückenlage und aufrechter Thoraxaufnahme. Unsere Daten zeigen, dass eine aufrechte Sicht beim Nachweis freier Luft im Kindesalter leistungsfähig sein kann. Dies stützt zwar die grundsätzliche Idee einer aufrechten Projektion, ersetzt aber die genannte Strategie nicht - ein direkter Vergleich mit der aufrechten Thoraxaufnahme erfolgte hier nicht.

Demgegenüber weisen jüngere Arbeiten wie Tie & Edwin (2016) und Lee & Chen (2022) auf eine Sensitivitätssteigerung bei Darmobstruktionen hin, wenn beide Projektionen kombiniert werden. Diese Ergebnisse decken sich mit den hier erhobenen Daten, die eine konsistentere Erfassung von Ileuszeichen und Pneumatosis intestinalis durch die kombinierte Befundung zeigen.

Allerdings blieb die Reliabilität insbesondere bei seltenen Parametern wie Pneumatosis intestinalis oder Konkrementen eingeschränkt, was die Aussagekraft relativiert.

Besonders relevant ist der pädiatrische Kontext, der bislang in der Literatur nur vereinzelt berücksichtigt wurde. Hughes et al. (2002) berichteten in einer multizentrischen Studie mit 72 Kindern über einen geringen diagnostischen Zugewinn durch eine zweite Aufnahme, verbunden mit einer deutlichen zusätzlichen Strahlenbelastung. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den hier vorgestellten Daten, die ebenfalls nur in ausgewählten Szenarien einen Mehrwert der kombinierten Projektion erkennen lassen.

Ein wesentlicher Unterschied zum erwachsenen Kollektiv betrifft die Organshatten. Während diese in der Erwachsenenliteratur kaum Beachtung fanden, deuten die vorliegenden Resultate darauf hin, dass sie im Kindesalter in Rückenlage verlässlicher beurteilt werden können.

In Anbetracht der teilweise begrenzten Sensitivität nativer Aufnahmen stellen einige Studien den zukünftigen Stellenwert der PR grundsätzlich infrage.⁵

5.3. kritische Reflexion und Limitationen

Die vorliegende Studie weist trotz methodischer Sorgfalt mehrere Limitationen auf. Besonders ins Gewicht fällt die geringe Zahl an befundenden Radiolog*innen. Zwei unabhängige Bewertungen liefern zwar wertvolle Einschätzungen, reichen jedoch nicht für eine belastbare Generalisierbarkeit. Die beobachtete Interrater-Übereinstimmung (ICC) war entsprechend teils nur mäßig, was auf die Subjektivität der Einschätzung und den Bedarf an einer breiteren, standardisierten Evaluatorengruppe hinweist. Eine vorherige Kalibrierung oder Trainingsphase fanden nicht statt. Zwar entspricht dies der klinischen Realität, könnte aber zu zusätzlichen Abweichungen beigetragen haben. Durch die zeitliche Trennung und die methodische Verblindung wurde dieses Risiko jedoch teilweise abgedeckt.

Die retrospektive Auswahl auf Fälle mit aufrechten Projektionen und solchen in Rückenlage schränkt die Übertragbarkeit der Ergebnisse ein. Wahrscheinlich sind dadurch einfachere Befunde, die auch in Einzelprojektion klar erkennbar gewesen wären, unterrepräsentiert. So kann der Eindruck entstehen, dass eine kombinierte Projektion häufiger notwendig ist, als es im Gesamtkollektiv tatsächlich der Fall wäre. Zusätzlich bleibt trotz der soliden Fallzahl von 373 Bildserien unklar, ob diese ausreicht, um kleinere, aber klinisch relevante Unterschiede zuverlässig zu detektieren. Gerade bei seltenen Befunden wie Konkrementen basiert die statistische Auswertung auf sehr wenigen positiven Fällen. Hier wären größere Kollektive erforderlich, um robustere Aussagen zu ermöglichen.

Hinzu kommt, dass keine durchgehenden klinischen Referenzdaten wie CT-Befunde oder Operationsberichte vorlagen. Die Analyse stützte sich ausschließlich auf der Bildqualität und der Sichtbarkeit vordefinierter radiologischer Merkmale. Damit bleibt offen, wie bedeutsam

⁵ Siehe z. B. Nguyen et al. (2012), die bei einer durchschnittlichen Dosis von 2–3 mSv den Einsatz von Low-Dose-CT als mögliche One-Stop-Diagnostik bei akutem Abdomen diskutieren. Lee et al. (2022) berichten, dass die Gesamtsensitivität nativer Abdominalaufnahmen zur Detektion CT-validierter Diagnosen bei lediglich 43,7 % liegt.

die Unterschiede letztlich im klinischen Alltag wirklich sind. Auch weiterführende Verfahren wie ROC-Analysen waren unter diesen Bedingungen nicht möglich.

Eine weitere Limitation der Studie liegt in der ungleichen Altersverteilung des Kollektivs. Die fehlende Stratifizierung nach Alter und Geschlecht begrenzt somit die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf die gesamte pädiatrische Population. Zudem handelt es sich um eine konsekutiv erhobene Kohorte aus einem einzelnen Zentrum, wodurch eine gewisse Selektionsverzerrung nicht auszuschließen ist.

Außerdem war in 68 Fällen das Abdomen laut mindestens einer Bewertung nicht vollständig einsehbar, was potenziell die Beurteilbarkeit einzelner Parameter beeinflusst haben könnte.

Schließlich war die klinische Zusatzanalyse aufgrund fehlender Befund-Heterogenität auf 78 Fälle limitiert. Eine statistische Korrelation zwischen radiologischen Befunden und klinischen Daten war somit nicht möglich.

5.4. Schlussfolgerung und Ausblick

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass eine differenzierte Auswahl der Projektionsform bei abdominellen Fragestellungen im Kindesalter sinnvoll ist. Einzelprojektionen können für bestimmte Fragestellungen - insbesondere freier Luft, Konkrementen und retroperitonealen Strukturen - eine zuverlässige diagnostische Aussagekraft bieten. In schwer beurteilbaren Situationen, etwa bei Ileuszeichen oder Pneumatosis intestinalis, erweist sich hingegen die kombinierte Bildauswertung als überlegen. Für die klinische Praxis ergibt sich daraus die Möglichkeit, Bildgebungsstrategien zielgerichteter und strahlenschonender zu gestalten.

Für die zukünftige Forschung ist die Einbindung einer größeren Zahl an Befundenden essenziell, um die Reliabilität der Bewertungen zu erhöhen und eine Generalisierbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen.

Darüber hinaus sollten zukünftige Studien idealerweise multizentrisch angelegt, altersstratifiziert durchgeführt und mit Referenzdaten (zum Beispiel CT, OP-Befunde) ergänzt werden, um die klinische Relevanz der radiologischen Beurteilungen objektiver einordnen zu können.

Die ergänzende klinische Auswertung zeigte zugleich die Grenzen retrospektiver Datenanalysen und kann als Ausgangspunkt für zukünftige prospektive Untersuchungen dienen, in denen radiologische und klinische Befunde zusammengeführt werden.

Klinische Diagnosen sollten künftig bereits bei der Fallselektion berücksichtigt werden, um eine ausgeglichene Verteilung der Befunde sicherzustellen.

Insgesamt zeigt die vorliegende Arbeit, dass durch eine differenzierte Bildgebungsstrategie eine strahlensparende und zugleich diagnostisch fundierte Versorgung im pädiatrischen Setting realisierbar ist.

6. Literaturverzeichnis

Alzen, G. & G. Benz-Bohm (2011):

Radiation Protection in Pediatric Radiology. *Deutsches Ärzteblatt International*, 2011, 108 (24), S. 407–414.

Arbeitsgruppe Patientendosis (VMSÖ) (2007):

Leitfaden Patientendosis und Arbeitsanweisungen in der Röntgendiagnostik. Leitfaden / Arbeitsanweisung., Wien: Verein für medizinischen Strahlenschutz in Österreich (VMSÖ).

Becker, P., K.A. Böttcher & D. Schilling (2019):

Das akute Abdomen. *Allgemein- und Viszeralchirurgie up2date*, 2019, 13 (06), S. 535–544.

Börner, N., A.-S. Kappenberger, S. Weber, F. Scholz, P. Kazmierczak & J. Werner (2025):

Akutes Abdomen. *Deutsches Ärzteblatt*, 2025.

Bundesfachgruppe Radiologie, Österreichische Ärztekammer (2021):

Austrian iGuide – Radiologie und Nuklearmedizin Orientierungshilfe. Broschüre / Orientierungshilfe., Wien: Österreichische Ärztekammer.

Bundesministerin für Gesundheit (2010):

Verordnung des Bundesministers für Gesundheit, mit der die Medizinische Strahlenschutzverordnung geändert wird.

Cicchetti, D.V. (1994):

Guidelines, Criteria, and Rules of Thumb for Evaluating Normed and Standardized Assessment Instrument in Psychology. *Psychological Assessment*, 1994.

Cicchetti, D.V., D. Shoinralter & P.J. Tyrer (1985):

The Effect of Number of Rating Scale Categories on Levels of Interrater Reliability : A Monte Carlo Investigation. *Applied Psychological Measurement*, 1985, 9 (1), S. 31–36.

Dresing, K., F. Fernández, P. Strohm, P. Schmittenbecher & R. Kraus (2021):
Röntgendiagnostik bei Frakturen im Kindes- und Jugendalter – Konsensusbericht des
Wissenschaftlichen Arbeitskreises der Sektion Kindertraumatologie der DGU. *Der
Unfallchirurg*, 2021, 124 (5), S. 427–430.

Earl, V.J., A.O.G. Potter & A.A. Perdomo (2023):
Effective doses for common paediatric diagnostic general radiography examinations at a
major Australian paediatric hospital and the communication of associated radiation risks.
Journal of Medical Radiation Sciences, 2023, 70 (1), S. 30–39.

Field, S., P.J. Guy, S.M. Upsdell & A.E. Scourfield (1985):
The erect abdominal radiograph in the acute abdomen: should its routine use be
abandoned? *British Medical Journal (Clinical Research Ed.)*, 1985, 290 (6486), S. 1934–
1936.

Fotter, Richard, Sinzig, Maria, Jost, Günther, Unterweger, Oliver, Weissensteiner, Sabine,
& Ditto, Manfred (2010):
*Qualitätskriterien für Röntgenaufnahmen bei Kindern – Ein Leitfaden der AG
Kinderradiologie. Leitfaden / Arbeitsanweisung.*, Wien: Österreichische Ärztekammer,
Arbeitsgruppe Kinderradiologie.

Geng, W.Z.M., M. Fuller, B. Osborne & K. Thoires (2018):
The value of the erect abdominal radiograph for the diagnosis of mechanical bowel
obstruction and paralytic ileus in adults presenting with acute abdominal pain. *Journal of
Medical Radiation Sciences*, 2018, 65 (4), S. 259–266.

Hoffstetter, P., S. Schleder, E.M. Jung, A. Götz, W. Uller, R. Müller-Wille et al. (2011):
[Plain abdominal radiograph - is there any additional clinical value based on the supine
projection?]. *Deutsche Medizinische Wochenschrift (1946)*, 2011, 136 (50), S. 2589–2593.

Hughes, U.M., K.E. Thomas, B. Shuckett, A. Daneman & D. Stephens (2002):
The abdominal radiographic series in children with suspected bowel obstruction--should

the second view be abandoned? *Pediatric Radiology*, 2002, 32 (8), S. 556–560.

Kahl-Scholz, M. & C. Vockelmann (2024):

Basiswissen Radiologie: Nuklearmedizin und Strahlentherapie, 2. Aufl. 2023., Berlin, Heidelberg.

Kauffmann, G.W., R. Sauer & M.P. Béhé (2011):

Radiologie: bildgebende Verfahren, Strahlentherapie, Nuklearmedizin und Strahlenschutz, 4., völlig überarbeitete Auflage., München.

Koo, T.K. & M.Y. Li (2016):

A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 2016, 15 (2), S. 155–163.

Lee, C.-Y. & J.-D. Chen (2022):

Diagnostic values of supine and erect abdominal radiographs for patients with acute abdomen: which is better for decision making? *Journal of the Chinese Medical Association: JCMA*, 2022, 85 (6), S. 709–716.

Mirvis, S.E., J.W. Young, B. Keramati, E.S. McCrea & R. Tarr (1986):

Plain film evaluation of patients with abdominal pain: are three radiographs necessary? *AJR. American journal of roentgenology*, 1986, 147 (3), S. 501–503.

Nguyen, L.K., D.D. Wong, D.M. Fatovich, J.M. Yeung, J. Persaud, C.J. Wood et al. (2012):

Low-dose computed tomography versus plain abdominal radiography in the investigation of an acute abdomen. *ANZ journal of surgery*, 2012, 82 (1–2), S. 36–41.

Preston, C.C. & A.M. Colman (2000):

Optimal number of response categories in rating scales: reliability, validity, discriminating power, and respondent preferences. *Acta Psychologica*, 2000, 104 (1), S. 1–15.

Reiser, M., F.-P. Kuhn & J. Debus (2017):

Duale Reihe Radiologie (Duale Reihe), 4. Auflage., Stuttgart.

Simpson, A., D. Sandeman, S.J. Nixon, I.A. Goulbourne, D.C. Grieve & I.M. Macintyre (1985):

The value of an erect abdominal radiograph in the diagnosis of intestinal obstruction. *Clinical Radiology*, 1985, 36 (1), S. 41–42.

Staatz, G., D. Honnef, W. Piroth & T. Radkow (2007):

Kinderradiologie (Pareto-Reihe Radiologie), Stuttgart.

Tie, H. & P. Edwin (2016):

The Role of Plain Erect Abdominal Radiography in the Diagnosis of Small Bowel Obstruction [13.10.2016], <https://epos.myesr.org/poster/esr/ranzcr2016/R-0080> [02.07.2025]., Text, .

Ukrisana, P. & P. Yenarkarn (2002):

Evaluation of the necessity of the three-film abdominal series in the diagnosis of abdominal pain. *Journal of the Medical Association of Thailand = Chotmaihet Thangphaet*, 2002, 85 (9), S. 998–1002.

Wachabauer, D., Röthlin, Florian, & Mathis-Edenhofer, Stefan (2022):

Häufigkeiten medizinischer Anwendungen ionisierender Strahlung und Abschätzung der Bevölkerungsdosis für Österreich. Bericht / Factsheet., Wien: Gesundheit Österreich GmbH (GÖG).

Zechmann, C., S. Biedenstein, F.L. Giesel, M. Wetzke & C. Happle (2019):

BASICS Bildgebende Verfahren (Basics), 5. Auflage., München.