

Diplomarbeit

**Stellenwert der Sonographie in der Diagnostik des
akuten Abdomens im Kindesalter**

eingereicht von

Alisa Sophia Merz

zur Erlangung des akademischen Grades

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

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Kinder und Jugendheilkunde Graz,
Klinischen Abteilung für Allgemeine Pädiatrie**

unter der Anleitung von

Ao.Univ.-Prof. Dr.med. univ. Siegfried Gallistl

Graz, 19.07.2024

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.

Graz, am 19.07.2024

Alisa Sophia Merz eh.

Danksagung

Zunächst möchte ich mich von Herzen bei meinem Freund Daniel bedanken, der während der Höhen und Tiefen meines Studiums für mich da war, mich emotional unterstützt und immer wieder aufgefangen hat.

Besonders meiner Familie möchte ich danken, die immer an mich geglaubt und mir in jeder Lage Rückhalt gegeben hat. Meinen Eltern möchte ich vor allem dafür danken, dass sie mir das Studium ermöglicht und mich auf meinem Weg stets ermutigt haben. Meinen Schwestern möchte ich dafür danken, dass sie mich emotional unterstützt und mich in vielen Belangen entlastet haben.

Ein besonderer Dank gilt Bennet und Alissa für ihre wertvollen Korrekturarbeiten an dieser Arbeit, ohne die so manche Rechtschreibfehler, Wortverdreher oder unverständliche Formulierungen vorhanden wären.

Abschließend möchte ich herzlich Ao.Univ.-Prof. Dr.med.univ. Gallistl Siegfried für seine unkomplizierte Zusammenarbeit, fachliche Betreuung sowie Hilfestellung während dieser Arbeit danken.

Zusammenfassung

Einleitung: Das akute Abdomen bei Kindern ist ein medizinischer Notfall und erfordert eine unverzügliche Behandlung. Aufgrund der verschiedenen möglichen Ursachen eines akuten Abdomens, gestaltet sich die Diagnosefindung herausfordernd. Eine unmittelbare und präzise Diagnostik ist entscheidend, um sinnvolle therapeutische Maßnahmen einzuleiten. Mit dem Ultraschall bietet sich eine strahlenfreie und ubiquitär verfügbare bildgebende Untersuchungsmethode. Ziel dieser Arbeit ist es, die Genauigkeit des Ultraschalls in der Diagnostik des akuten Abdomens bei Kindern zu analysieren und seinen diagnostischen Wert zu beurteilen.

Material und Methode: Zur Beantwortung der Fragestellung erfolgte eine Literaturrecherche. Hierfür wurde in Datenbanken wie Pubmed, Google Scholar sowie UpToDate nach relevanten Studien gesucht. Der Fokus lag auf der Bewertung des Ultraschalls in der Diagnostik von fünf möglichen Ursachen des akuten Abdomens: Malrotation und Volvulus, Invagination, Appendizitis, Hodentorsion, Ovarialtorsion.

Ergebnis: Insgesamt konnten 23 Studien zur Beurteilung des diagnostischen Werts des Ultraschalls für fünf ausgewählte Krankheitsbilder eingeschlossen werden. Fünf Studien beziehen sich auf die Malrotation und Volvulus, wobei die Spannweite der Sensitivität der Studien von 86,5 % - 100 % reicht und die Spezifität von 74,7 % - 100 % variiert. Zur Beurteilung der Invagination wurden sieben Studien inkludiert mit einer Sensitivität von 85 % - 100 % und einer Spezifität von 50 % - 99 %. Für die Appendizitis konnten fünf Studien gefunden werden, die eine Sensitivität von 72,5 % - 94,2 % sowie eine Spezifität von 78 % - 97,5 % bieten. Bei der Betrachtung der Hodentorsion können vier Studien eine Sensitivität von 91 % - 100 % und eine Spezifität von 87 % - 99,1 % darlegen. Zwei Studien zum Krankheitsbild der Ovarialtorsion weisen eine Sensitivität von 90,9 % und 94,1 % sowie eine Spezifität von 68,7 % und 100 % auf.

Conclusio: Die Ergebnisse zeigen, dass die diagnostische Genauigkeit des Ultraschalls je nach Krankheitsbild variiert. Einige Erkrankungen, insbesondere die Invagination und Hodentorsion, können mithilfe des Ultraschalls präzise erfasst werden. Bei anderen Erkrankungen, wie der Ovarialtorsion besteht weiterer Forschungsbedarf. Insgesamt stellt der Ultraschall eine etablierte Untersuchungsmethode dar und erweist sich in vielen Fällen als hilfreich. Zukünftige technologische Innovationen können den Stellenwert des Ultraschalls in der Diagnostik weiter verbessern und dessen Anwendungsspektrum erweitern.

Abstract

Introduction: Acute abdomen in pediatric patients is a medical emergency that requires immediate treatment. Due to the various potential causes of acute abdomen, determining the correct diagnosis can be challenging. Rapid and accurate diagnostics are crucial to initiate appropriate therapeutic measures. Ultrasound is a radiation-free and widely available imaging method, making it an important diagnostic tool for children. This paper aims to analyze the accuracy of ultrasound in diagnosing acute abdomen in children and assess its diagnostic value.

Material and Methods: A literature review was conducted to answer the research question. Relevant scientific studies were identified using databases such as Pubmed, Google Scholar and UpToDate. The focus was on evaluating the accuracy of ultrasound in diagnosing five potential causes of acute abdomen: malrotation and volvulus, intussusception, appendicitis, testicular torsion and ovarian torsion.

Results: A total of 23 studies were included to assess the diagnostic value of ultrasound for five selected disease patterns. Five studies on malrotation and volvulus showed sensitivities ranging from 86, 5 % to 100 % and specificities from 74,7 % to 100 %. For the assessment of intussusception, seven studies were included with a sensitivity of 85 % - 100 % and a specificity of 50 % - 99 %. Five studies on appendicitis reported sensitivities ranging from 72,5 % - 94,2 % and specificities from 78 % - 97,5 %. When considering testicular torsion, four studies demonstrated a sensitivity of 91 % - 100 % and a specificity of 87 % - 99,1 %. For ovarian torsion, two studies showed sensitivities of 90,9 % and 94,1 % and specificities of 68,7 % and 100 %.

Conclusion: The results indicate that the diagnostic accuracy of ultrasound varies depending on the respective disease patterns. While some diseases - especially intussusception and testicular torsion - can be accurately detected using ultrasound, others - like ovarian torsion - may require further research. Overall, ultrasound is a well-established diagnostic method, valued for its lack of radiation and widespread availability and has proven to be helpful in numerous cases. Future technological innovations have the potential to enhance the role of ultrasound in diagnostics and expand its range of applications.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	III
Zusammenfassung	IV
Abstract	V
Inhaltsverzeichnis	VI
Abkürzung und deren Erläuterung	VIII
Abbildungsverzeichnis	IX
Tabellenverzeichnis	X
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 Das akute Abdomen	3
2.2 Grundlagen der Funktionsweise des Ultraschalls.....	5
3 Material und Methode	9
4 Ergebnisse	11
4.1 Malrotation und Volvulus.....	11
4.1.1 Allgemeines	11
4.1.2 Ätiologie und Pathogenese	13
4.1.3 Klinik und Komplikationen	13
4.1.4 Allgemeine Diagnostik	14
4.1.5 Berücksichtigte Studien zum Thema „Ultraschall in der Diagnostik der Malrotation und Volvulus“	15
4.2 Invagination	20
4.2.1 Allgemeines	20
4.2.2 Ätiologie und Pathogenese	21
4.2.3 Klinik und Komplikationen	22
4.2.4 Allgemeine Diagnostik	22
4.2.5 Berücksichtigte Studien zum Thema „Ultraschall in der Diagnostik der Invagination“	24
4.3 Appendizitis.....	31
4.3.1 Allgemeines	31
4.3.2 Ätiologie und Pathogenese	32
4.3.3 Klinik und Komplikationen	33
4.3.4 Allgemeine Diagnostik	33

4.3.5	Berücksichtigte Studien zum Thema „Ultraschall in der Diagnostik der akuten Appendizitis“	35
4.4	Hodentorsion	41
4.4.1	Allgemeines	41
4.4.2	Ätiologie und Pathogenese	41
4.4.3	Klinik und Komplikationen	42
4.4.4	Allgemeine Diagnostik	42
4.4.5	Berücksichtigte Studien zum Thema „Ultraschall in der Diagnostik der Hodentorsion“	44
4.5	Ovarialtorsion	49
4.5.1	Allgemeines	49
4.5.2	Ätiologie und Pathogenese	49
4.5.3	Klinik und Komplikationen	50
4.5.4	Allgemeine Diagnostik	50
4.5.5	Berücksichtigte Studien zum Thema „Ultraschall in der Diagnostik der Ovarialtorsion“	52
5	Diskussion.....	55
6	Ausblick	61
	Literaturverzeichnis	62

Abkürzung und deren Erläuterung

AMI	<i>Arteria mesenterica inferior</i>
AMS	<i>Arteria mesenterica superior</i>
CEUS	<i>kontrastmittel-verstärkter Ultraschall</i>
cm	<i>Zentimeter</i>
CT	<i>Computertomographie</i>
CW	<i>continuous wave</i>
FKDS	<i>Farbkodierte Dopplersonographie</i>
h	<i>Stunde</i>
Hz	<i>Hertz</i>
k.A.	<i>keine Angabe</i>
MDP	<i>obere Magen-Darm-Passage mit Kontrastmittel</i>
MHz	<i>Mega-Hertz</i>
mm	<i>Millimeter</i>
MRT	<i>Magnetresonanztomographie</i>
NPV	<i>negativer prädiktiver Wert</i>
PEM-P	<i>“pediatric emergency medicine physician“</i>
POCUS	<i>Point-of-Care-Ultraschall</i>
PPV	<i>positiver prädiktiver Wert</i>
PW	<i>puls wave</i>
RADUS	<i>Ultraschalluntersuchung durch Radiolog*innen</i>
S	<i>Sekunde</i>
u.a.	<i>unter anderem</i>
UfD	<i>Ultrafast-Doppler</i>
US	<i>Ultraschall</i>
v.a.	<i>vor allem</i>
VMS	<i>Vena mesenterica superior</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung eines Ultraschallgeräts aus gesundheitsinformation.de (2020) ...	6
Abbildung 2: Darstellung einer Malrotation und eines Volvulus aus Shalaby et al., 2013.	12
Abbildung 3: Darstellung einer Malrotation mit Volvulus aus Garel et al. (2016).....	15
Abbildung 4: Sonographische Zeichen einer Invagination aus Williams (2008).....	24
Abbildung 5: Gesunder Appendix aus Gongidi & Bellah (2017)	34
Abbildung 6: Darstellung einer akuten Appendizitis aus Sargar & Siegel (2014).....	35
Abbildung 7: Normaler Ultraschall eines Hoden aus Deleney und Karmazyn (2013)	43
Abbildung 8: Zeichen einer Hodentorsion aus Lin et al. (2007).....	44
Abbildung 9: Darstellung einer Ovarialtorsion eines präpubertären Mädchens aus Riccabona et al. (2017).....	51

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ursachen des akuten Abdomens je nach Alter, zusammengetragen aus Hörmann et al. (2002) sowie Sekyra und Maier-Hiebl (2014).....	5
Tabelle 2: Übersicht der verschiedenen Schallköpfe zusammengefasst aus Hofer (2018)...	7
Tabelle 3: Darstellung der verwendeten Suchbegriffe	9
Tabelle 4: Übersicht der inkludierten Studien mit Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls bei der Diagnostik der Malrotation und Volvulus.....	15
Tabelle 5: Übersicht der Studiendaten aus Binu et al. (2021)	16
Tabelle 6: Übersicht der Studiendaten aus Karaman et al. (2018)	17
Tabelle 7: Übersicht der Studiendaten aus Zhang et al. (2017).....	18
Tabelle 8: Übersicht der Studiendaten aus Zhou et al. (2015)	19
Tabelle 9: Übersicht der Studiendaten aus Orzech et al. (2006)	20
Tabelle 10: Mögliche sonographische Zeichen einer Invagination adaptiert aus Sorantin & Lindbichler (2004).....	23
Tabelle 11: Übersicht der inkludierten Studien mit Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls bei der Diagnostik der Invagination	24
Tabelle 12: Übersicht der Studiendaten aus Hryhorczuk & Strouse (2009)	25
Tabelle 13: Übersicht der Studiendaten aus Justice et al. (2007).....	26
Tabelle 14: Übersicht der Studiendaten aus Riera et al. (2012)	27
Tabelle 15: Übersicht der Studiendaten aus Arroyo et al. (2021)	28
Tabelle 16: Übersicht der Studiendaten aus Lam et al. (2014)	29
Tabelle 17: Übersicht der Studiendaten aus Trigylidas et al. (2019)	30
Tabelle 18: Übersicht der Studiendaten aus Usang et al. (2013).....	31
Tabelle 19: Zusammenfassung der sonographischen Zeichen einer Appendizitis nach Gongidi & Bellah (2017), Reddan et al. (2016) und Sargar & Siegel (2014).....	34
Tabelle 20: Übersicht der inkludierten Studien mit Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls bei der Diagnostik der akuten Appendizitis	35
Tabelle 21: Übersicht der Studiendaten aus Thirumoorhi et al. (2012)	36
Tabelle 22: Übersicht der Studiendaten aus Ghani et al. (2022).....	37
Tabelle 23: Übersicht der Studiendaten aus Mittal et al. (2013).....	38
Tabelle 25: Übersicht der Studiendaten aus Thieme et al. (2014).....	39
Tabelle 26: Übersicht der Studiendaten aus Pastore et al. (2014).....	40

Tabelle 27: Übersicht der inkludierten Studien mit Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls bei der Diagnostik der Hodentorsion.....	45
Tabelle 28: Übersicht der Studiendaten aus Friedman et al. (2019)	45
Tabelle 29: Übersicht der Studiendaten aus Boettcher et al. (2013)	46
Tabelle 30: Übersicht der Studiendaten aus Liang et al. (2013)	47
Tabelle 31: Übersicht der Studiendaten aus Buch Kjeldgaard et al. (2024).....	48
Tabelle 32: Mögliche sonographische Zeichen einer Ovarialtorsion.....	51
Tabelle 33: Übersicht der inkludierten Studien mit Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls bei der Diagnostik der Ovarialtorsion	52
Tabelle 34: Übersicht der Studiendaten aus Jourjon et al. (2017).....	52
Tabelle 35: Übersicht der Studiendaten aus Trinci et al. (2021).....	53

1 Einleitung

Die Behandlung von Kindern mit akuten Bauchschmerzen stellt im klinischen Alltag in vielen Situationen eine Herausforderung dar. Obwohl in vielen Fällen keine schwerwiegende Erkrankung zugrunde liegt, können akute Bauchschmerzen dennoch auf einen medizinischen Notfall, wie beispielsweise das akute Abdomen, hinweisen. (Leung & Sigalet, 2003)

Die Untersuchung des akuten Abdomens bei Kindern, insbesondere bei Kleinkindern, wird durch die eingeschränkte Kommunikation zusätzlich erschwert (Lochbühler et al., 2023). In solchen Situationen ist es entscheidend, eine schnelle und genaue Diagnose zu stellen, um eine rasche Behandlung einzuleiten und schwerwiegende Komplikationen zu vermeiden (Leung & Sigalet, 2003). Bei der diagnostischen Herangehensweise spielt die Bildgebung eine wichtige Rolle (Lochbühler et al., 2023).

Eine mögliche Methode der Bildgebung ist die Sonographie. Durch die stetigen technischen Innovationen hat sich auch die Diagnostik mittels Ultraschalls zunehmend verbessert.

Gillman und Kirkpatrick (2012) bezeichnen den Ultraschall als visuelles Stethoskop des 21. Jahrhunderts, was unter anderem auf die vermehrte Anwendung durch eine neue Generation an Ärzt*innen sowie auf die Verbesserungen in Bezug auf Kosten und Größe der Ultraschallgeräte zurückzuführen ist.

In der Pädiatrie ist die Sonographie eines der wichtigsten bildgebenden Verfahren, da er keine schädigende ionisierende Strahlung abgibt, in den meisten Fällen nicht invasiv ist und ohne Sedierung durchgeführt werden kann. Des Weiteren ist er am Krankenbett oder in der Notaufnahme leicht verfügbar und kann wiederholt angewendet werden ohne den*die Patient*in einer belastenden Strahlung auszusetzen. (Riccabona, 2014)

Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Beurteilung der diagnostischen Genauigkeit und des Stellenwerts des Ultraschalls als Untersuchungsmethode bei Kindern mit akuten Abdomen. Durch eine Literaturrecherche werden Studien identifiziert und analysiert, welche die Genauigkeit des Ultraschalls zur Diagnostik dieser Erkrankungen untersuchen. Die Inhalte dieser Arbeit sollen dazu beitragen, die Rolle des Ultraschalls bei der Diagnostik des akuten Abdomens im Kindesalter besser zu verstehen und Anregungen für die praktische Anwendung zu formulieren.

Zunächst werden in Kapitel 2 die Grundlagen zum akuten Abdomen und zur Funktionsweise des Ultraschalls dargestellt. Dabei wird der Begriff des akuten Abdomens analysiert und verschiedene Definitionen erläutert. Im Anschluss daran wird auf die klinische Präsentation sowie auf die zugrundeliegenden Erkrankungen eingegangen. Die technischen Grundlagen des Ultraschalls werden vermittelt und auf spezielle Aspekte des Kinderultraschalls wird eingegangen. Im Hauptteil der Arbeit werden ausgewählte Krankheitsbilder vorgestellt, die zu einem akuten Abdomen führen können. Hierbei wird detailliert auf allgemeine Aspekte, Ätiologie und Pathogenese eingegangen. Darüber hinaus werden die klinische Präsentation, Komplikationen sowie die allgemeine Diagnostik beschrieben. Ein wesentlicher Schwerpunkt liegt auf der Darstellung der identifizierten Studien zur diagnostischen Genauigkeit des Ultraschalls. Im Diskussionsteil erfolgt eine Auseinandersetzung mit den Ergebnissen der Studien sowie deren Aussagekraft. Den Abschluss dieser Arbeit bildet ein Ausblick auf mögliche zukünftige Verwendungen des Ultraschalls.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel wird der Begriff des akuten Abdomens genauer betrachtet und seine Bedeutung diskutiert. Dabei werden die klinische Präsentation sowie mögliche Ursachen zusammengetragen und beschrieben. Zudem werden die Grundlagen der Funktionsweise des Ultraschalls beleuchtet, da dieser eine zentrale Rolle in der vorliegenden Arbeit einnimmt. Diese Ausführungen sollen ein grundlegendes Verständnis für die Anwendung in der Diagnostik des akuten Abdomens bei Kindern vermitteln.

2.1 Das akute Abdomen

Die wörtliche Übersetzung der Begriffe „akut“ und „Abdomen“ lautet „dringlich“ und „Bauch“. Doch was genau heißt es, wenn von einem akuten Abdomen die Rede ist? Die Bedeutung des Begriffes ist in den verschiedenen Fachgebieten nicht immer einheitlich und eine präzise Definition gestaltet sich schwierig. Im Jahr 1952 erfasst Dick den Begriff folgendermaßen: *„Der Begriff a.A. [akutes Abdomen] ist also eine durch Zeitnot diktierte vorläufige Bezeichnung für eine bestimmte Gruppe von Krankheitsfällen bis zu deren sicheren ätiologischen Klärung“ (Zur Entstehung des Begriffes „akutes Abdomen“, Abs. 1).* Dick verdeutlicht, dass es sich bei dem akuten Abdomen nicht um ein eigenständiges Krankheitsbild handelt, sondern vielmehr als Syndrom zu verstehen ist. Dabei ist maßgebend, ob bei akuten Baucherkrankungen ein unmittelbares chirurgisches Eingreifen notwendig ist.

Grundmann et al. (2010) beschreiben das akute Abdomen als einen ernsthaften Bauchbefund *„charakterisiert durch plötzlichen Beginn, Schmerz, Abwehrspannung und muskuläre Rigidität“ (S. 697).* Für gewöhnlich erfordert das akute Abdomen eine Notfalloperation, was zum Gebrauch des Begriffes „chirurgisches Abdomen“ geführt hat. Im Weiteren heben die Autor*innen die oft unscharfe Verwendung des Begriffes in der deutschsprachigen Literatur hervor, wodurch häufig alle Fälle mit „akutem Bauchschmerz“ unter dem „akuten Abdomen“ zusammengefasst werden. (Grundmann et al., 2010)

Eine andere Definition findet sich bei Balachandran et al. (2013), die das akute Abdomen als medizinischen Notfall beschreiben, bei dem ein plötzlicher und heftiger Schmerz im Abdomen auftritt und der von weiteren Symptomen begleitet wird, die auf eine abdominelle Ursache hindeuten.

Im Jahr 2022 beschreiben Raymond et al. das akute Abdomen als einen nicht-traumatischen Schmerz, der eine schnelle Behandlung, Diagnose und in einigen Fällen einen chirurgischen Eingriff erfordert.

Zusammenfassend lässt sich feststellen: Es gibt keine einheitliche präzise Definition des akuten Abdomens. Unterschiede bestehen vor allem bei Eingrenzungen sowie der Art der Intervention. Im Englischen findet zudem häufig der Begriff „abdominal pain“ statt „acute abdomen“ Verwendung. Eine häufig zu findende Gemeinsamkeit besteht darin, dass es sich um eine akute Baucherkrankung handelt, die traumatisch oder atraumatisch bedingt sein kann und einer schnellen Abklärung und Intervention bedarf.

Dick (1951) fasst drei Leitsymptome zusammen, die in Intensität und Reihenfolge ihres Auftretens variieren können: Spontan- oder Druckschmerz, Bauchdeckenspannung und akute Störung der Peristaltik. Zudem sind in der Regel nach kurzer Zeit Kreislauf und Allgemeinbefinden beeinträchtigt.

Diese Leitsymptome sind in Mayr & Fasching (2018a) um folgende Begriffe ergänzt: Bauchschmerzen, Schmerzen bei Palpation, Erschütterungsschmerz sowie gegebenenfalls Zunahme des Bauchumfanges.

Da das Syndrom des akuten Abdomens durch unterschiedliche Grunderkrankungen verursacht wird, können die Begleitsymptome variieren. Häufige Begleitsymptome umfassen jedoch Übelkeit, Erbrechen, Fieber, Blutdruckabfall, Tachykardie sowie Tachypnoe (Hauser, 2016).

In der nachfolgenden Arbeit werden gezielt einige der Grunderkrankungen beleuchtet und die dazugehörigen Begleitsymptome weiter ausgeführt. Grundsätzlich ist zu beachten, dass das akute Abdomen bei Neonaten und Säuglingen typischerweise durch Nahrungsverweigerung und Schmerzäußerungen erkennbar wird, da eine gezielte Äußerung noch nicht möglich ist (Mayr & Fasching, 2018a).

Eine präzise Abgrenzung des Krankheitsspektrums des akuten Abdomens gestaltet sich ebenso schwierig wie die Definition des Begriffs. Verschiedene wissenschaftliche Werke in der Literatur identifizieren teilweise unterschiedliche Erkrankungen als Ursache. Ein wichtiger Punkt bei der Erstellung differentialdiagnostischer Überlegungen ist das Alter der jungen Patient*innen, da bestimmte Grunderkrankungen auf spezifische Altersgruppen beschränkt sind oder in ihnen vermehrt auftreten. Die zugrunde liegenden Krankheitsbilder können sowohl intraabdominelle, extraabdominelle oder systemische als auch gynäkologische Ursprünge haben (Egger et al., 2010). Tabelle 1 bietet eine umfassende Übersicht der Ursachen des akuten Abdomens, differenziert nach Altersgruppe.

Tabelle 1: Ursachen des akuten Abdomens je nach Alter, zusammengetragen aus Hörmann et al. (2002) sowie Sekyra und Maier-Hiebl (2014)

Neugeborene	Säuglinge und Kleinkinder	Schulkinder
Stenosen, Atresie	Pylorushypertrophie	Appendizitis
Mekoniumsileus	Invagination	Entzündliche DE
Volvulus, Malrotation	Gastroenteritis	Ovarialtorsion
Nekrotisierende Enterokolitis	Duplikaturen	Hodentorsion
Morbus Hirschsprung	Fremdkörperingestion	Trauma
Gallenwegserkrankungen	Lymphadenitis mesenterica	Cholezystitis
Gastroenteritis	Meckelsches Divertikel	Pankreatitis
Tumore	Raumforderung	Gastroenteritis
Inkarzerierte Hernie		

2.2 Grundlagen der Funktionsweise des Ultraschalls

Mithilfe des Ultraschalls ist es möglich, Informationen aus dem Körperinneren durch die Erzeugung eines Bildes zu visualisieren. Dafür werden Schallwellen im Ultraschallbereich generiert, die Frequenzen oberhalb des menschlichen Hörbereichs (25 Hz - 20.000 Hz) aufweisen (Steffgen, 2024a). Ein typischer Frequenzbereich für Ultraschallwellen liegt zwischen 2 - 10 Mhz¹ (Aldrich, 2007). Für spezielle Fragestellungen in der Medizin können jedoch auch andere Frequenzbereiche zur Anwendung kommen. Beispielsweise werden in der Dermatologie höhere Frequenzen von bis zu 100 MHz zur Darstellung der Haut verwendet (Mlosek et al., 2021).

Ein typisches Aussehen mit Funktionsweise eines Ultraschallgeräts bietet Abbildung 1.

¹ 1MHz = 1.000.000 Schwingungen/s

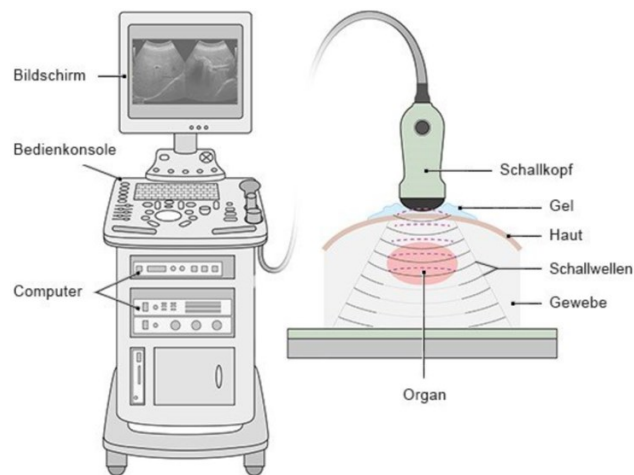


Abbildung 1: Darstellung eines Ultraschallgeräts aus gesundheitsinformation.de (2020)

Neben den großen Ultraschallgeräten, die häufig für umfangreiche diagnostische Untersuchungen eingesetzt werden, gewinnen zunehmend kleinere, ubiquitär verfügbare, portable Geräte an Bedeutung. Diese Geräte ermöglichen eine unmittelbare Ultraschall-Untersuchung am Patient*innenbett (Bedside-Ultraschall). Dabei kann ein sogenannter Point-of-Care-Ultraschall (POCUS) zur Beantwortung zielgerichteter Fragestellungen und schneller Diagnosefindung durchgeführt werden, was eine frühzeitige Therapieentscheidung begünstigt. In vielen Fällen führt der*die behandelnde Ärzt*in die Untersuchung direkt am Patient*innenbett eigenständig durch, ohne dass zunächst eine Konsultation eines Spezialisten erforderlich ist. (Schmid & Dodt, 2018)

Zur Erzeugung der Schallwellen werden im Schallkopf integrierte spezielle Kristalle, sogenannte Piezoelemente, durch eine hochfrequente Wechselspannung verformt und in Schwingung versetzt (umgekehrter Piezo-Effekt). Diese mechanisch erzeugten Schwingungen werden an die zu untersuchende Körperregion abgegeben und breiten sich als Schallwellen in Körper aus. (Bleck, 2012; Einhaus & Greim, 2015) Dort werden sie an unterschiedlichen akustischen Grenzflächen teilweise reflektiert und wieder von dem gleichen Schallkopf empfangen, in Strom umgewandelt und als elektrisches Signal registriert (Piezo-Effekt) (Bleck, 2012).

Eine grundlegende Voraussetzung für die Reflexion der Schallwellen sind Impedanzsprünge. Diese kommen an den Grenzflächen zweier Gewebsschichten vor (Hofer, 2018). Die Impedanz ergibt sich gemeinsam aus der Schallgeschwindigkeit und der Dichte eines Gewebes. Die Signalstärke eines reflektierten Echos (Schallwelle) ist umso höher, je größer die Impedanzdifferenz an der Grenzfläche ist. (Steffgen, 2024c)

Die Lokalisation beziehungsweise Entfernung einer Grenzfläche kann anhand der Dauer errechnet werden, die ein Echo von der Reflektion einer Grenzfläche bis zur Ankunft am Schallkopf benötigt. Im diagnostischen Ultraschall gibt es verschiedene Abbildungsmethoden: Die wichtigsten sind der A-Mode (Amplituden-Modus), der B-Mode (Brightness-Mode) sowie der M-Mode (Motion-Mode, Time-Motion-Darstellung). Weitere Untersuchungstechniken stellen unter anderem der CW-Doppler (continuous wave), der PW-Doppler (puls wave) und die Duplexsonographie dar. Die Farbdopplersonographie ist eine Kombination aus B-Mode mit Doppler sowie farblicher Kodierung. (Stein & Martin, 2008)

Wie zuvor erwähnt, erzeugt ein Schallkopf, auch Sonde genannt, die Schallwellen. Verwendet werden unterschiedliche Arten von Schallköpfen, je nach Fragestellung und Untersuchungsgebiet. An dieser Stelle wird nur auf die drei gebräuchlichsten Typen eingegangen (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Übersicht der verschiedenen Schallköpfe zusammengefasst aus Hofer (2018)

Linear-Schallkopf	Sektor-Schallkopf	Konvex-Schallkopf
rechteckiges Bild	fächerförmiges Bild	gefächertes Bild
5 - 10 MHz	2 - 3 MHz	2,5 - 5 MHz
v.a. Weichteile und Schilddrüse	v.a. Kardiologie	v.a. Abdomen
		(Mischtyp aus Linear- und Sektorschallkopf)

Generell gilt: Je höher die Frequenz der Schallwellen, desto höher ist auch das räumliche Auflösungsvermögen. Jedoch werden hohe Frequenzen schneller als niedrigere Frequenzen absorbiert. Daraus ergibt sich, dass Schallwellen mit hohen Sendefrequenzen weniger tief in den Körper eindringen, dafür aber eine bessere Auflösung bieten. Umgekehrt dringen Schallwellen mit niedriger Frequenz tiefer ein, weisen allerdings eine geringere Auflösung auf. Für eine reibungslose Schallweiterleitung braucht es ein Kontaktmedium zwischen dem Körper und dem Schallkopf. Mittels Ultraschallgel wird eine verlustfreie Übertragung der Schallwellen in die zu untersuchende Region gewährleistet. Andernfalls ist es nicht möglich, ein verwertbares Bild zu generieren, da durch die vorhandene Luft zwischen Schallkopf und Körperoberfläche bei der Überleitung zu viel Energie verloren geht. (Steffgen, 2024b)

Die Bildqualität der Sonographie ist bei Kindern in der Regel besser im Vergleich zu erwachsenen Personen, die eine höhere Körpermasse aufweisen. Dies ist darauf

zurückzuführen, dass bei geringerer Körpermasse höhere Frequenzen mit besserer Auflösung verwendet werden können. (Wunsch & Wunsch, 2014)

Ein linearer Schallkopf mit einer Frequenz von 10 MHz eignet sich für die Beurteilung des Gastrointestinaltraktes. Für die Untersuchung parenchymatöser Organe empfiehlt sich ein Konvexschallkopf mit einer Frequenz von 7 MHz. (Hörmann et al., 2002)

3 Material und Methode

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit basieren auf einer Literaturrecherche. Hierfür wurden Datenbanken wie Pubmed, Google Scholar sowie UpToDate nach relevanten medizinischen Fachartikeln durchsucht. Ermittelt wurden Studien, welche die diagnostische Genauigkeit des Ultraschalls in Zusammenhang mit den ausgewählten Krankheitsbildern beurteilen. Als Einschlusskriterien wurden folgende Punkte definiert:

1. Ultraschall als diagnostische Untersuchungsmethode der betreffenden Erkrankung (Malrotation und Volvulus, Invagination, Appendizitis, Hodentorsion, Ovarialtorsion)
2. Angabe der Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls
3. Alter der Proband*innen bis einschließlich 18 Jahre
4. Datenerhebung von 2000 - 2024
5. Deutsch- oder englischsprachige Literatur

Für die Literatursuche wurden bestimmte Suchbegriffe verwendet und mithilfe von Bool'schen Operatoren wie AND, OR und NOT miteinander verknüpft. Zusätzlich wurden Trunkierungen verwendet, um verschiedene Varianten der Begriffe zu erfassen und dadurch die Effizienz der Datenabfrage zu erhöhen. Eine Freitextsuche in deutscher und englischer Sprache wurde ausgeführt und durch die Sichtung von Präferenzlisten relevanter Studien ergänzt. Tabelle 3 bietet einen Überblick der verwendeten Suchbegriffe je nach Krankheitsbild.

Tabelle 3: Darstellung der verwendeten Suchbegriffe

Krankheitsbilder	Verwendete Stichwörter
Malrotation und Volvulus	"Intestinal Volvulus"[Mesh], "intestinal volvulus"[tw], Volvulus[tw], malrotation[tw]
Invagination	"Intussusception"[Mesh], "intestinal invagination"[tw], "bowel intussusception"[tw], invagination[tw]
Appendizitis	appendicitis[tw], "appendiceal inflammation"[tw], "inflamed appendix"[tw], "Appendicitis"[Mesh], appendizitis[tw], Blinddarmrentzündung[tw]
Hodentorsion	"Testicular torsion"[tw], "Spermatic Cord Torsion"[Mesh], Hodentorsion[tw]
Ovarialtorsion	"Ovarian Torsion"[Mesh], "ovarian torsion"[tw], "adnexal torsion"[tw], ovarialtorsion[tw]

Krankheitsbilder	Verwendete Stichwörter
Bei allen Krankheitsbildern	child*[tw], pediatric*[tw], "Child"[Mesh], "Adolescent"[Mesh], "Child, Preschool"[Mesh], kind*[tw], sonography[tw], ultrasonography[tw], ultrasound[tw], "diagnostic imaging"[tw], "diagnostic tool", imaging[tw], "Ultrasonography"[Mesh], "Diagnostic Imaging"[Mesh], ultraschall[tw], sonographie[tw] ("2000/01/01"[Date - Publication] : "3000"[Date - Publication])

Im Rahmen der Suche wurden zunächst die Titel und Abstracts der gefundenen Studien beurteilt. Studien, die aufgrund ihres Titels und Abstracts als relevant erschienen, wurden im Anschluss auf das Vorhandensein der Einschlusskriterien analysiert.

Angesichts der Vielfalt möglicher Ursachen für das akute Abdomen werden in dieser Arbeit gezielt nur einige Krankheitsbilder behandelt, da der Umfang der Arbeit keine umfassende Abdeckung zulässt. Dabei wird anhand der Einteilung aus Tabelle 1 im Kapitel 2 aus jeder Altersgruppe eine Erkrankung beleuchtet. Zusätzlich werden zwei geschlechterspezifische Krankheitsbilder beschrieben, um Unterschiede zwischen Jungen und Mädchen zu verdeutlichen. An dieser Stelle soll nochmals festgehalten werden, dass diese Einteilung der Erkrankungen nach Alter kein starres Konstrukt darstellt. Die einzelnen Krankheitsbilder können in jedem Alter auftreten, kommen jedoch vermehrt in der ihr zugeordneten Altersgruppe vor.

Aufgrund des technologischen Fortschrittes der Ultraschalldiagnostik in den letzten Jahren wurde als Einschlusskriterium eine Datenerhebung von 2000 bis 2024 festgelegt, um aktuelle Studien zu diesem Thema zu berücksichtigen.

Für die ergänzenden literarischen Informationen wurden Fachbücher, medizinische Fachzeitschriften und Leitlinien sowie Publikationen in deutscher und englischer Sprache herangezogen.

4 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden verschiedene Erkrankungen, die ein akutes Abdomen im Kindes- und Jugendalter verursachen können, hinsichtlich ihrer charakteristischen Merkmale dargestellt. Dabei wird genauer auf ihr Vorkommen, die Ätiologie und Entstehung sowie klinische Präsentation und Komplikationen eingegangen. Die allgemeine Diagnostik, mit besonderem Fokus auf der bildgebenden Untersuchungsmethode des Ultraschalls, wird beschrieben. Zudem werden Studien vorgestellt, welche die diagnostische Genauigkeit des Ultraschalls untersuchen.

Berücksichtigte Krankheitsbilder aus der Gruppe der Neugeborenen ist die Malrotation mit Volvulus, aus der Gruppe der Säuglinge die Invagination und bei Schulkindern die Appendizitis. Zur Darstellung geschlechterspezifischer Unterschiede werden die Ovarial- sowie Hodentorsion abgebildet.

Die ausgewählten Studien wurden anhand der aus Kapitel 3 erläuterten Einschlusskriterien sowie Suchstrategie identifiziert. In einem gesonderten Unterkapitel werden diese Studien kurz vorgestellt und hinsichtlich des diagnostischen Wertes des Ultraschalls beschrieben.

4.1 Malrotation und Volvulus

4.1.1 Allgemeines

Bei einer Malrotation handelt es sich um eine Lageanomalie des Darms, die durch eine embryonale Fehlentwicklung beziehungsweise Fehldrehung entsteht. Die inkorrekte Anlage führt zu einer erhöhten Mobilität des Darms, was eine Verdrehung des Darms um das Mesenterium mitsamt seinen Gefäßen zur Folge haben kann. Dieser Vorgang wird als Volvulus bezeichnet und ist in vielen Fällen mit Darmlageanomalien assoziiert. (Kosch & Schmittenbecher, 2021)

Der gesamte Darmtrakt liegt im Abdomen und besteht aus dem Dünndarm sowie dem Dickdarm. Je nach Abschnitt kann der Dünndarm in das Duodenum, Jejunum und Ileum unterteilt werden (Anderhuber et al., 2012d). Der Dickdarm setzt sich aus dem Caecum mit Appendix vermiformis, dem Colon ascendens, dem Colon transversum, dem Colon descendens und dem Colon sigmoideum zusammen. Am Übergang des terminalen Ileums zum Caecum besteht eine Verbindung des Dün- und Dickdarms über die Bauhin-Klappe (Valva ileocaecalis). (ebd., 575f.)

Einige Abschnitte des Darmtrakts liegen retroperitoneal, unter anderem Teile des Duodenums sowie Colon ascendens und Colon descendens. Der Großteil des Darms befindet sich jedoch intraperitoneal, was den restlichen Dünndarm, das Caecum mit Appendix vermiformis, das Colon transversum und das Sigma einschließt. Insbesondere die intraperitoneal gelegenen Organe zeichnen sich durch eine gute Beweglichkeit aus und sind in ihrer Größe veränderlich. (Anderhuber et al., 2012a)

Beginnend mit dem Übergang des Duodenums in das Jejunum (Flexura duodenojejunalis) bis hin zur Einmündung des Dünndarms in den Dickdarm, ist der gesamte freie Abschnitt des Dünndarms an dem Mesenterium (große Bauchfellduplikatur) aufgehängt (ebd., S.565). Mithilfe der Tunica muscularis in der Darmwand werden verschiedene Bewegungen wie Pendelbewegungen, Segmentationsbewegungen und Wellenbewegungen (Peristaltik) ermöglicht. Die Gefäßversorgung erfolgt beim Dünndarm überwiegend durch die Arteria mesenterica superior (AMS). (ebd., S. 573f.)

Auch Teile des Dickdarms, wie das Caecum, das Colon ascendens sowie das Colon transversum werden durch die AMS gespeist. Das Colon descendens, das Sigmoidum und der überwiegende Teil des Rectum hingegen werden von der Arteria mesenterica inferior (AMI) versorgt. Die Venen verlaufen zusammen mit den jeweiligen Arterien. (ebd., 577f.)
Abbildung 2 veranschaulicht schematisch ein mögliches Erscheinungsbild einer Malrotation sowie eines Volvulus aus Shalaby et al. (2013).

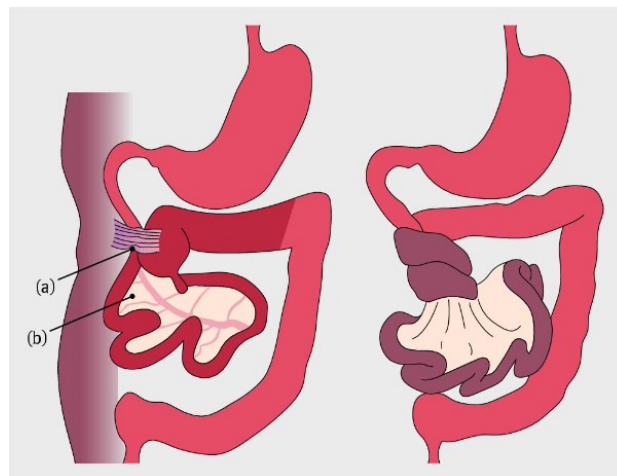


Abbildung 2: Darstellung einer Malrotation und eines Volvulus aus Shalaby et al., 2013

Links: intestinale Malrotation mit abnormaler duodener Fixation. a) Ladd-Band über dem Duodenum; b) schmale Basis des Mesenteriums; Rechts: Dünndarmvolvulus mit sekundärer Ischämie des Mitteldarms

Salehi Karlslätt et al. (2024) geben in ihrer Arbeit einen Überblick der epidemiologischen Daten zur Malrotation gesammelt aus mehreren literarischen Werken. Es zeigt sich, dass

eine intestinale Malrotation bei 0,2 % der Bevölkerung vorkommt, sich jedoch nur bei einem von 2500 - 6000 Säuglingen symptomatisch äußert.

Davon treten knapp 60 % vor dem ersten Geburtstag und 75 % vor dem Alter von fünf Jahren auf. Bei Kindern im ersten Lebensmonat kommt die symptomatische Malrotation am häufigsten vor (30 %). Nach diesem Zeitpunkt kommt es zu einem steilen Rückgang bis zum Ende des dritten Lebensmonat (10 %). (Aboagye et al., 2014)

4.1.2 Ätiologie und Pathogenese

Die Malrotation zählt zu den wichtigsten Anlagestörungen im Kindesalter und wird durch eine embryonale Fehlentwicklung ausgelöst (Hörmann et al., 2002). Die Entwicklung des embryonalen Darms erfolgt durch komplexe Bewegungen in und außerhalb der Bauchhöhle sowie verschiedener Drehungen. An dieser Stelle soll aufgrund der Komplexität der Thematik nur ein kurzer Überblick geschaffen werden.

Strouse (2004) bietet in seiner Arbeit eine detaillierte Beschreibung der embryonalen Darmentwicklung, die hier in wenigen Sätzen skizziert wird: In mehreren Schritten über Wochen hinweg erfolgt eine Drehung des Darms von insgesamt 270° gegen den Uhrzeigersinn. Am Ende dieser Vorgänge kommt das Zökum im rechten Unterbauch zum Liegen und wird dort verankert. Die duodenojejunale Verbindung wird mittels des Treitzbandes befestigt und ein breites Mesenterium fixiert den Dünndarm von der duodenojejunalen Verbindung im linken Oberbauch bis hin zur Ileozäkalklappe im rechten Unterbauch. Die breite Basis des Mesenteriums stabilisiert die Lage des Dünndarms und verhindert die Entstehung eines Volvulus. Zu einer Malrotation kommt es, wenn eine Störung der normalen Drehung des Darms während seiner Entwicklung auftritt.

Dabei kann der Mesenterialansatz, insbesondere von der duodenojejunalen Verbindung bis zum Zökum, abnorm kurz sein und eine erhöhte Mobilität des Darms verursachen. Dieser Zustand steigert das Risiko für die Entstehung eines Volvulus. (Applegate et al., 2006; Mayr & Fasching, 2018e)

In vielen Fällen tritt die Malrotation als Begleitanomalie bei anderen Erkrankungen auf, wie etwa bei Gastroschisis, bei bestimmten Herzfehlern sowie bei angeborener Zwerchfellhernie oder Organheterotaxien (Hörmann et al., 2002).

4.1.3 Klinik und Komplikationen

Die intestinale Malrotation mit bestehenden akutem Volvulus äußert sich oftmals durch plötzlich einsetzende Bauchschmerzen mit galligem Erbrechen. Zusätzlich können Zeichen

einer akuten Obstruktion des Duodenums sowie Schocksymptome auftreten. Das Abdomen kann sich druckempfindlich zeigen und der*die Patient*in sich kardio-respiratorisch instabil präsentieren. (Mayr & Fasching, 2018d)

Bei Kindern bis zu einem Alter von fünf Jahren stellt Erbrechen das häufigste Symptom dar. Ab einem Alter von sechs Jahren dominieren Bauchschmerzen als Hauptsymptom. (Salehi Karlslätt et al., 2024)

In einer Studie von Anand et al. (2018) zeigt sich, dass galliges Erbrechen bei Säuglingen signifikant häufiger auftritt als bei Kindern und Erwachsenen. Zudem wiesen alle Säuglinge eine akute Symptomatik auf, während sich Kinder und Erwachsene eher mit subakuten und chronischen Symptomen präsentieren.

Um Komplikationen wie eine Darmnekrose, das Kurzdarmsyndrom oder eine hohe Sterblichkeit zu verhindern, ist eine schnelle Diagnose und Behandlung von entscheidender Bedeutung (Applegate et al., 2006).

4.1.4 Allgemeine Diagnostik

Zur Diagnose der Malrotation und Volvulus ist die Klinik und eine schnelle Bildgebung mittels oberer Magen-Darm-Passage mit Kontrastmittel oder Ultraschall wichtig. Im Labor kann vor allem bei Volvulus eine schwere metabolische Azidose mit Laktatanstieg (Hsiao & Langer, 2012) und eine Leukozytose beobachtet werden. Bei langem Bestehen des Zustands kann sich der Urin aufgrund einer Hämoglobinfreisetzung rot färben. (Mayr & Fasching, 2018f)

An dieser Stelle und für alle nachfolgenden Kapitel zum Thema der allgemeinen Diagnostik wird lediglich auf den Ultraschall genauer eingegangen, da diese Untersuchungsmethode den Hauptbestandteil dieser Arbeit bildet.

Für die Ultraschalluntersuchung kann bei Säuglingen und kleineren Kindern ein hochfrequenter Linear-Schallkopf verwendet werden. Bei größeren Kindern und Erwachsenen kommt ein niedrigfrequenter Konvex-Schallkopf zum Einsatz. (Nguyen et al., 2021)

Sonographische Hinweise einer Malrotation und Volvulus können laut Haber und Hofmann (2014) unter anderem sein:

1. Erweitertes und flüssigkeitsgefülltes Duodenum mit Zeichen der Hyperperistaltik bei vorhandener Obstruktion durch Ladd-Bänder

2. Möglicher atypischer Verlauf der oberen Mesenterialgefäße (AMS, VMS) mit links oder ventral der Arterie verlaufender Vene
3. „Whirlpool-Sign“ bei Volvulus durch Windung des Dams mitsamt des Mesenterium sowie der VMS um die stark pulsierende AMS
4. ödematös wandverdickter, flüssigkeitsgefüllter oder kollabierter Darmabschnitt aboral der Obstruktion
5. Intraperitoneale Flüssigkeit

Abbildung 3 zeigt exemplarisch, wie die Inversion der AMS und VMS sowie das „Whirlpool-Sign“ im Ultraschall aussehen können.

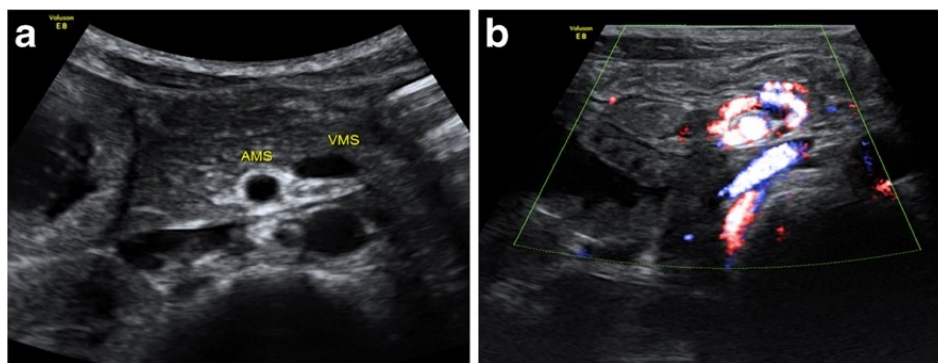


Abbildung 3: Darstellung einer Malrotation mit Volvulus aus Garel et al. (2016)

- a) abnorme Lagebeziehung der AMS zur VMS. VMS liegt links der AMS
- b) „Whirlpool-Sign“ im Farbdoppler-Ultraschall

4.1.5 Berücksichtigte Studien zum Thema „Ultraschall in der Diagnostik der Malrotation und Volvulus“

In diesem Kapitel werden die Studien zum Thema der diagnostischen Genauigkeit des Ultraschalls im Rahmen der Malrotation und Volvulus dargestellt. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die inkludierten Studien mit ihrer jeweiligen Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls.

Tabelle 4: Übersicht der inkludierten Studien mit Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls bei der Diagnostik der Malrotation und Volvulus

	Autor*innen	Patient*innen	Sensitivität	Spezifität
I	Binu et al. (2021)	539	100 %	100 %
II	Karaman et al. (2018)	82	93,8 %	100 %
III	Zhang et al. (2017)	83	100 % * 95,2 % **	100 % * 88,9 % **

	Autor*innen	Patient*innen	Sensitivität	Spezifität
IV	Zhou et al. (2015)	70	100 % 100 %* 95,6 % **	97,9 % 97,5 % * 95,7 % **
V	Orzech et al. (2006)	211	86,5 % 71,4 % * 45,4 % **	74,7 % 89,0 % * 99 % **

* AMS/VMS-Inversion; **, „Whirpool-Sign“

I. Binu et al. (2021)

Binu, V., Nicholson, C., Cundy, T., Gent, R., Piotto, L., Taranath, A., & Goh, D. W. (2021). Ultrasound imaging as the first line of investigation to diagnose intestinal malrotation in children: Safety and efficacy. *J Pediatr Surg*, 56(12), 2224-2228.

Tabelle 5: Übersicht der Studiendaten aus Binu et al. (2021)

Setting	Women's and Children's Hospital, Australien
Fragestellung	Wirksamkeit und Sicherheit von Ultraschall bei der Diagnose von Darmmalrotationen
Zielpopulation	N = 539, Mittleres Alter = 1,3 Jahre, Altersspanne = 1 Tag - 16 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2012 - 2019

Bei dieser Studie handelt es sich um eine retrospektive Analyse einer prospektiv erhobenen Datenkollektion. Kinder mit Verdacht auf eine Malrotation erhielten als primäre diagnostische Untersuchungsmethode einen Ultraschall mit Wasser als Kontrastmittel. Insgesamt wurden 539 Kinder in die Studie eingeschlossen, von denen 17 Patient*innen einen positiven Ultraschall für eine Malrotation aufwiesen. Bei fünf dieser Kinder wurde zusätzlich ein Volvulus festgestellt. Mittels Operation konnten die Ergebnisse des Ultraschalls bestätigt werden. Der Ultraschall lieferte zwölf uneindeutige Befunde. Die betroffenen Kinder erhielten eine obere Magen-Darm-Passage mit Kontrastmittel (MDP), die keine Hinweise auf eine Malrotation oder Volvulus ergab. Es zeigten sich keine falsch positiven oder falsch negativen Befunde. Die Sensitivität und Spezifität betrugen je 100 %. Die Autor*innen sind der Ansicht, dass die Ergebnisse trotz der kleinen Studienkohorte vielversprechend sind. Der Ultraschall stellt ein sicheres und wirksames Untersuchungstool zur Diagnose einer Malrotation dar. Zusätzlich ist er hilfreich, um die Strahlenbelastung zu verringern, indem die MDP nur bei Patient*innen mit mehrdeutigem Befund durchgeführt wird.

II. Karaman et al. (2018)

Karaman, İ., Karaman, A., Çınar, H. G., Ertürk, A., Erdoğan, D., & Özgüner İ, F. (2018). Is color Doppler a reliable method for the diagnosis of malrotation? *J Med Ultrason* (2001), 45(1), 59-64.

Tabelle 6: Übersicht der Studiendaten aus Karaman et al. (2018)

Setting	Dr. Sami Ulus Childrens Hospital, Türkei
Fragestellung	Beurteilung der Farbkodierten-Dopplersonographie (FKDS) für die Diagnose einer Malrotation bei Kindern
Zielpopulation	N = 82, Mittleres Alter = 1,2 Jahre, Altersspanne = 1 Tag - 15,6 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2007 - 2014

In dieser Studie von Karaman et al. (2018) wurde der Wert der FKDS für die Diagnose einer Malrotation analysiert. Kinder mit Verdacht auf eine Malrotation, sowohl mit als auch ohne Volvulus, erhielten eine bildgebende Untersuchung mittels FKDS, MDP und in einigen Fällen mit Kolonkontrasteinlauf. Im Ultraschall wurde auf die Lagebeziehung der AMS zur VMS sowie auf das „Whirpool-Sign“ geachtet. Die Sensitivität der US-Untersuchung betrug 93,8 % und die Spezifität 100 %. Der positive prädiktive Wert (PPV) lag bei 100 % und der negative prädiktive Wert (NPV) bei 97,9 %. Im Vergleich dazu betrugen die Sensitivität und Spezifität der MDP 91,7 % und 98,4 %.

Zusammenfassend zeigt diese Studie nach Ansicht der Autor*innen, dass obwohl die MDP seit Jahren als Goldstandard in der Diagnose der Malrotation anerkannt ist, es zu einer signifikanten Quote falsch negativer Ergebnisse kommt. Auch wenn die FKDS sich in dieser Studie als zuverlässige Untersuchungsmethode präsentierte, müssen dennoch ihre Einschränkungen berücksichtigt werden. Beispielsweise führen Gasartefakte zu einer erheblich erschwerten Beurteilung. Aus diesem Grund befürworten die Autor*innen weitere prospektive Studien zu diesem Thema.

III. Zhang et al. (2017)

Zhang, W., Sun, H., & Luo, F. (2017). The efficiency of sonography in diagnosing volvulus in neonates with suspected intestinal malrotation. *Medicine (Baltimore)*, 96(42), e8287.

Tabelle 7: Übersicht der Studiendaten aus Zhang et al. (2017)

Setting	Qianfoshan-Krankenhaus der Shan-Dong-Universität, China
Fragestellung	Beurteilung der Effizienz der Sonographie bei der Diagnose von Malrotation und Volvulus bei Neugeborenen
Zielpopulation	N = 83, Mittleres Alter = K.A., Altersspanne = 1 Tag - 31 Tage
Studiendesign	Prospektive Studie
Datenerfassung	2013 - 2016

Das Ziel dieser prospektiven Studie bestand in der Beurteilung des diagnostischen Wertes der Sonographie bei der Erkennung einer Malrotation oder Volvulus bei Neugeborenen. Zusätzlich wurde untersucht, ob eine Darmnekrose anhand des Rotationsgrades der oberen Mesenterialgefäße (AMS, VMS) vorhersagbar ist. 83 Neugeborene mit Verdacht auf eine Malrotation erhielten einen Ultraschall mit Wassergabe über eine nasogastrale Sonde und eine MDP. Im Ultraschall wurde die Lage der AMS zur VMS, ein Kollaps der Darmschlingen und das Vorhandensein eines „Whirpool-Signs“ beurteilt. Die Bestätigung der Diagnose einer Malrotation mit oder ohne Volvulus erfolgte operativ, wobei die intestinale Nekrose anhand des Grades der Drehung der VMS um die AMS abgeschätzt wurde. Die Sensitivität und Spezifität der VMS und AMS-Inversion im Ultraschall betrugen je 100 %. Im Vergleich dazu lag die Sensitivität der MDP bei 92,3 % und die Spezifität bei 100 %. Das „Whirpool-Sign“ im Ultraschall hatte eine Sensitivität, Spezifität, PPV, NPV und eine Genauigkeit von 95,2 %, 88,9 %, 90,9 %, 94,1 %, 92,3 %. Der Ultraschall ermöglichte eine genaue Abschätzung der Anzahl der Verdrehungen der VMS, konnte jedoch keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem Grad der Rotation und einer Darmnekrose nachweisen.

Im Gesamten sind die Autor*innen der Meinung, dass die Sonographie für die genaue Diagnose einer Malrotation wertvoller sein kann als die MDP. Darüber hinaus kann das „Whirpool-Sign“ zur Beurteilung des Rotationsgrades verwendet werden.

IV. Zhou et al. (2015)

Zhou, L. Y., Li, S. R., Wang, W., Shan, Q. Y., Pan, F. S., Liu, J. C., & Xie, X. Y. (2015). Usefulness of Sonography in Evaluating Children Suspected of Malrotation: Comparison With an Upper Gastrointestinal Contrast Study. *J Ultrasound Med*, 34(10), 1825-1832.

Tabelle 8: Übersicht der Studiendaten aus Zhou et al. (2015)

Setting	First Affiliated Hospital, China
Fragestellung	Evaluation des Nutzens der Sonographie in der Diagnostik der Malrotation und Volvulus bei Kindern
Zielpopulation	N = 70, Mittleres Alter = 31 Tage, Altersspanne = 2 Tage - 13 Jahre
Studiendesign	Prospektive Studie
Datenerfassung	2010 - 2013

Zhou et al. (2015) untersuchten in ihrer prospektiven Studie den potenziellen Wert der Sonographie in der Abklärung einer Malrotation auf Grundlage spezieller sonographischer Zeichen im Vergleich mit einer MDP. Im Ultraschall wurde eine Malrotation diagnostiziert, wenn eine Inversion der VMS und AMS, ein „Whirpool-Sign“ oder ein intraperitoneal-transversales Duodenum abgebildet werden konnte. Eine Operation oder klinische Nachuntersuchungen wurden als Referenzstandard herangezogen. Im Gesamten erreichte der Ultraschall eine Sensitivität von 100 % und eine Spezifität von 97,9 %. Der PPV lag bei 95,8 %, der NPV bei 100 %. Die diagnostische Genauigkeit wurde mit 98,6 % berechnet. Bei Betrachtung der einzelnen sonographischen Zeichen konnte die Inversion der VMS zur AMS eine Sensitivität von 100 % und eine Spezifität von 97,5 % erzielen. Das „Whirpool-Sign“ ergab eine Sensitivität von 95,6 % und eine Spezifität von 95,7 %. Ein intraperitoneal transverses Duodenum zeigte eine Sensitivität von 56,5 % und eine Spezifität von 100 % auf. Einige Patient*innen erhielten zusätzlich eine MDP. Hier betrug die Sensitivität, Spezifität, der PPV und NPV der oberen Gastrointestinalen-Untersuchung 40 %, 64,3 %, 80 % und 71,4 %. Die diagnostische Genauigkeit der Diagnose einer Malrotation zwischen der Sonographie und der MDP zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied (98,6 % gegenüber 56,5 %).

Die Autor*innen kommen zum Schluss, dass die Sonographie mit kombinierten Zeichen aus Inversion der Mesenterialgefäße, dem „Whirpool-Sign“ und der Betrachtung der Lage des Duodenums der MDP als Untersuchungsmethode überlegen ist, um Patient*innen mit Verdacht auf Malrotation zu evaluieren.

V. Orzech et al. (2006)

Orzech, N., Navarro, O. M., & Langer, J. C. (2006). Is ultrasonography a good screening test for intestinal malrotation? J Pediatr Surg, 41(5), 1005-1009.

Tabelle 9: Übersicht der Studiendaten aus Orzech et al. (2006)

Setting	Hospital for Sick Children, Canada
Fragestellung	Beurteilung des Ultraschalls als Screening-Test für eine intestinale Malrotation bei Kindern
Zielpopulation	N = 211, Mittleres Alter = 3,7 (US), 3,8 (MDP) Tage, Altersspanne = Neugeborene - 17 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2001 - 2004

In einem retrospektiven Design wurden in dieser Studie die Daten von Kindern mit einer MDP und Ultraschall-Untersuchung zum Ausschluss einer Malrotation untersucht. Im Ultraschall wurde besonders auf die Position der VMS zur AMS sowie auf das Vorhandensein eines „Whirpool-Signs“ geachtet. 211 Kinder von Neugeborenen bis zu einem Alter von 17 Jahren wurden in die Studie eingeschlossen. Das mittlere Alter zum Zeitpunkt der Ultraschalluntersuchungen betrug 3,7 Jahre, zum Zeitpunkt der MDP 3,8 Jahre. Die Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls betrugen 86,5 % und 74,7 %. Der PPV lag bei 42,1 %, der NPV bei 96,3 %. Zusätzlich wurden die einzelnen sonographischen Zeichen hinsichtlich der diagnostischen Genauigkeit betrachtet. Die Inversion der VMS zur AMS ergab eine Sensitivität und Spezifität von 71,4 % und 89,0 %. Der PPV und NPV waren 41,7% und 96,6%. Das „Whirpool-Sign“ erreichte eine Sensitivität von 45,4% sowie eine Spezifität von 99%. Der PPV lag bei 71,4% und der NPV bei 97,1%.

Mit diesen Ergebnissen befinden die Autor*innen den Ultraschall als ein gutes Screening-Instrument um eine Malrotation mit Volvulus-Risiko wirksam auszuschließen. Bei einem auffälligen Befund sollte jedoch je nach klinischem Bild eine MDP oder Operation durchgeführt werden.

4.2 Invagination

4.2.1 Allgemeines

Bei einer Darminvagination stülpt sich ein Teil eines Darms in einen anderen, meist aboral liegenden, Darmabschnitt (Schmidt, 2021a). In der englischen Fachsprache wird dieser Vorgang als „Intussusception“ bezeichnet. An dieser Stelle sei auf die Grundzüge der Anatomie des Verdauungstraktes im Kapitel 4.1.1 verwiesen.

Bei einer Darminvagination gibt es verschiedene Formen, je nach Lokalisation der betroffenen Darmabschnitte. Mit bis zu 80 % treten besonders häufig ileokolische (Ileum und Colon ascendens) sowie ileozökale (Ileum und Caecum) Einstülpungen auf. Auch ileoileale Invaginationen, die nur den Dünndarm betreffen, sowie postoperative Einstülpungen an Darmanastomosen können vorkommen. (Fasching & Mayr, 2018b; Schmidt, 2021b)

Im Säuglings- und Kleinkindalter zählt die Invagination zu den häufigsten Ursachen eines akuten Abdomens und gilt als intestinaler Notfall (Gfroerer et al., 2009). Jenke et al. (2011) berechneten in ihrer Studie eine abgeleitete Inzidenz der Invagination mit 60,4 / 100.000 bei Kindern unter einem Jahr. Auch Jiang et al. (2013) präsentierten eine ähnliche mittlere Inzidenz von 74 / 100.00 in dieser Altersgruppe. Die höchste Inzidenz zeigte sich bei Säuglingen im Alter von 5 - 7 Monaten. Während die Inzidenz in der Mehrheit (83%) der Studien bei < 100 / 100.00 lag, konnten dennoch einige Schwankungen (9 - 328 / 100.000) der Inzidenz zwischen verschiedenen Regionen beobachtet werden. (Jiang et al., 2013)

In ihrer Übersichtsarbeit zeigen Huppertz et al. (2006) eine Inzidenz zwischen 0,66 und 2,24 pro 1000 Kindern im stationären Umfeld, basierend auf einem Vergleich mehrerer Studien. Auch in dieser Untersuchung wurde die höchste Inzidenz bei Kindern im Alter von 3 - 9 Monaten festgestellt.

4.2.2 Ätiologie und Pathogenese

In 90 % der Fälle bleibt die genaue Ursache einer Invagination ungeklärt. Lediglich 3 - 5 % lassen sich auf spezifische Ursachen zurückführen, darunter Polypen, ein Meckel-Divertikel oder Darmwandverdickungen verschiedener Ursachen ebenso wie Lymphknoten im Mesenterium des Dünndarms oder tumoröse Veränderungen des Darms. (Schmidt, 2021a) Assoziationen bestehen mit Virusinfektionen, unter anderem Adenoviren oder Humane Herpesviren-6 (Burnett et al., 2020), sowie vorhergehender Rotavirusimpfungen (Escolano et al., 2020). Invaginationen können auch in Zusammenhang mit Erkrankungen wie Purpura-Schönlein-Henoch oder Peutz-Jeghers-Syndrom auftreten (Fasching & Mayr, 2018b).

Wie bereits beschrieben, kommt es bei einer Darminvagination zu einer Einstülpung eines Teils des Darms in einen distal gelegenen Darmabschnittes, gefolgt von dessen Weitertransport mittels peristaltischer Bewegung (Fasching & Mayr, 2018b). Bei diesem Vorgang wird das Mesenterium des betroffenen Darmabschnitts, einschließlich seiner zu- und abführenden Gefäße, regelrecht zwischen den beiden Darmabschnitten eingeklemmt. Dies resultiert in einer Beeinträchtigung des venösen Rückflusses mit folgendem

Darmwandödem sowie einer durch die Stauung bedingten Blutung in das Darmlumen. Bei anhaltender Invagination führt der zunehmende Druck zusätzlich zu einer Unterbrechung der arteriellen Durchblutung. Durch die fehlende Versorgung mit sauerstoffreichem Blut kommt es zu einer Darmwandischämie mit möglicher Darmnekrose und Perforation. (Rohrschneider, 1997)

4.2.3 Klinik und Komplikationen

In nur 25 % der Fälle präsentieren sich Patient*innen mit einer klassischen Symptom-Triade bestehend aus plötzlich einsetzenden, krampfartigen Bauchschmerzen, einer palpablen walzenförmigen Struktur sowie ein himbeergelee-artiger Stuhlabgang als Spätsymptom (Ellerkamp & Nagel, 2021). Gfroerer et al. (2009) ergänzen zusätzlich zu den genannten Punkten folgende Symptome: Die Bauchschmerzen präsentieren sich kolikartig, bei denen der*die Patient*in charakteristisch die Beine anzieht. In der Frühphase kann der*die Patient*in noch einen guten Allgemeinzustand aufweisen, im weiteren Verlauf ist es jedoch möglich, dass der*die Patient*in blass und lethargisch wird. Durch die intestinale Obstruktion kommt es zu Erbrechen, welches sich gallig präsentieren kann. In bis zu 30 % der Fälle besteht eine begleitende Diarrhoe, weshalb oftmals fälschlicherweise eine Gastroenteritis diagnostiziert wird. Einige Patient*innen weisen keine deutlichen Bauchschmerzen auf, sondern zeigen Anzeichen von Apathie sowie Lethargie.

Bei anhaltender Invagination, insbesondere durch eine verzögerte Vorstellung oder langer Dauer bis zur Diagnose, können Komplikationen wie eine Darmperforation oder eine Peritonitis auftreten. Ist der Befund sehr ausgeprägt, muss in manchen Fällen eine ausgedehnte Darmresektion durchgeführt werden. (Schmidt, 2021d)

4.2.4 Allgemeine Diagnostik

Die Diagnose einer Invagination allein aufgrund der klinischen Präsentation ist schwierig. Die Symptome sind nicht spezifisch für die Invagination, sondern kommen bei zahlreichen anderen Erkrankungen vor. Zusätzlich ist die Anamnese gerade in der häufig betroffenen Altersgruppe (unter einem Jahr) durch die fehlende Kommunikationsmöglichkeit eingeschränkt. Für eine genaue Diagnose kann daher die Bildgebung hilfreich sein. (Edwards et al., 2017)

Mögliche bildgebende Verfahren sind unter anderem der Ultraschall, eine Abdomen-Übersichtsaufnahme im Röntgen, ein Kolon-Kontrasteinlauf oder eine

Computertomographie (CT) sowie eine Magnetresonanztomographie (MRT) (Schmidt, 2021b).

Für die Untersuchung des Verdauungstraktes mittels Ultraschalls, kann für einen ersten orientierenden Blick ein 3,5 - 5,0 MHz Sektor- oder Konvexschallkopf verwendet werden. Zur besseren Beurteilung der Darmwand empfiehlt sich der Einsatz eines höherfrequenten Linearschallkopfes mit bis zu 10 MHz. (Altmann & Staatz, 2024b)

Sorantin und Lindbichler (2004) bieten in ihrer Arbeit einen Überblick über die sonographischen Charakteristika einer Invagination, wie sie in der Literatur beschrieben werden. Im Querschnitt zeigt sich eine Weichteilmasse mit einem Durchmesser zwischen 2,5 und 5,0 cm. Tabelle 10 gibt einen Überblick der sonographischen Merkmale im Quer- und Längsschnitt aus Sorantin und Lindbichler (2004).

Tabelle 10: Mögliche sonographische Zeichen einer Invagination adaptiert aus Sorantin & Lindbichler (2004)

Zeichen im Querschnitt		Zeichen im Längsschnitt	
Doughnut-Sign	dicker an/hypoechogener Rand mit hyperechogenem Zentrum	Pseudokidney-Sign	nierenähnliches Aussehen mit hypoechogenem Rand und hyperechogenem Zentrum
Target-Sign	Variante des Doughnut-Sign. Innerhalb des zentralen echogenen Bereichs zusätzliche anechogene Fläche	Sandwich-Sign	drei parallele hypoechogene Bänder, die von zwei echogenen Bändern getrennt sind
Multiple-concentric ring-Sign	Multiple konzentrische Ringe	Hayfork-Sign	Variation des Sandwich-Sign. Drei hypoechogene Bänder bilden die Zinken einer Heugabel
Crescent-in-doughnut-Sign	Kombination aus hypoechogenem peripheren Ring mit hyperechogenem halbmondförmigen Zentrum		

Abbildung 4 zeigt das „Target-Sign“ im Querschnitt sowie das „Pseudokidney-Sign“ im Längsschnitt aus Williams (2008).

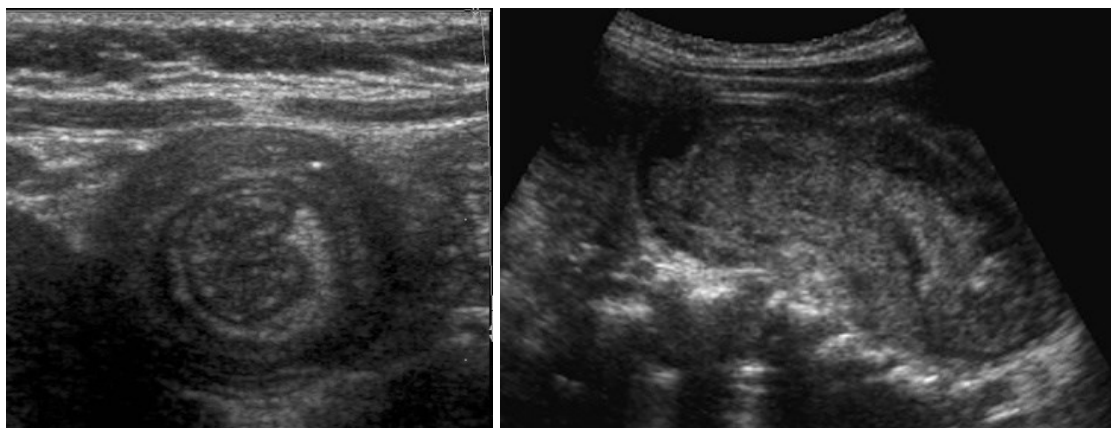


Abbildung 4: Sonographische Zeichen einer Invagination aus Williams (2008)

Links: Target-Sign; Rechts Pseudokidney-Sign

4.2.5 Berücksichtigte Studien zum Thema „Ultraschall in der Diagnostik der Invagination“

Im folgenden Abschnitt werden die eingeschlossenen Studien zum Thema der diagnostischen Genauigkeit des Ultraschalls im Rahmen der Invagination beschrieben. Tabelle 11 listet die Studien mit ihrer jeweiligen Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls.

Tabelle 11: Übersicht der inkludierten Studien mit Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls bei der Diagnostik der Invagination

	Autor*innen	Patient*innen	Sensitivität	Spezifität
I	Hryhorczuk & Strouse (2009)	812	97,9 %	97,8 %
II	Justice et al. (2007)	640	97,5 %	99 %
III	Riera et al. (2012)	82	85 %	97 %
IV	Arroyo et al. (2021)	100	89 %	98 %
V	Lam et al. (2014)	44	100 %	94 %
VI	Trigylidas et al. (2019)	101	96 %	92,6 %
VII	Usang et al. (2013)	25	87 %	50 %

I. Hryhorczuk & Strouse (2009)

Hryhorczuk, A. L., & Strouse, P. J. (2009). Validation of US as a first-line diagnostic test for assessment of pediatric ileocolic intussusception. *Pediatr Radiol*, 39(10), 1075-1079.

Tabelle 12: Übersicht der Studiendaten aus Hryhorczuk & Strouse (2009)

Setting	University of Michigan Health System, USA
Fragestellung	Evaluation des Ultraschalls als diagnostischer „First-line“-Test zur Diagnostik der Invagination bei Kindern
Zielpopulation	N = 814, Mittleres Alter = k.A., Altersspanne = < 10 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2001 - 2007

In dieser Studie wurde nach Implementation eines Ultraschall-Trainings-Programmes Screening-Untersuchungen auf Darminvaginationen bei Kindern unter zehn Jahren durchgeführt. Die klinischen Aufzeichnungen und radiologischen Befunde aus den Jahren zwischen 2001 bis 2007 wurden für jede*n Patient*in analysiert und die Untersuchung als wahr-positiv, wahr-negativ, falsch-positiv oder falsch-negativ sowie als nicht-diagnostisch eingestuft. Bestätigt wurde die Diagnose mittels Einlaufs oder Operation. Insgesamt wurde bei 814 Kindern ein Ultraschall durchgeführt. Bei 112 Kindern zeigte sich die Diagnose einer Darminvagination. Die Sensitivität des Ultraschalls betrug 97,9 % und die Spezifität 97,8 %. Der PPV lag bei 86,6 % und der NPV bei 99,7 %. Innerhalb der sieben Jahre, in denen die Daten der Ultraschalluntersuchungen analysiert wurden, stieg die Nutzung des US als Screening-Test für Darminvagination von 55 / Jahr auf 176 / Jahr an.

Die Autor*innen sind der Ansicht, dass der US ein sensitives und spezifisches Verfahren zur Diagnostik der Darminvagination bei Kindern ist. Die Ergebnisse der Studie bestätigen die Verwendung des US als primäre Untersuchungsmethode zur Beurteilung pädiatrischer Invaginationen.

II. Justice et al. (2007)

Justice, F. A., de Campo, M., Liem, N. T., Son, T. N., Ninh, T. P., & Bines, J. E. (2007). Accuracy of ultrasonography for the diagnosis of intussusception in infants in Vietnam. *Pediatr Radiol*, 37(2), 195-199.

Tabelle 13: Übersicht der Studiendaten aus Justice et al. (2007)

Setting	National Hospital for Paediatrics (NHP), Vietnam
Fragestellung	Bewertung der diagnostischen Genauigkeit des Ultraschalls bei der Erkennung von Invaginationen bei Säuglingen unter <2 Jahren in Vietnam
Zielpopulation	N = 640, Mittleres Alter = 9,3 Monate, Altersspanne = < 2 Jahre
Studiendesign	Prospektive Studie
Datenerfassung	2002 - 2003

Justice et al. (2007) haben in ihrer prospektiven Studie die Genauigkeit der Ultraschalluntersuchung bei der Diagnose von Invaginationen bei Säuglingen unter zwei Jahren an einem Kinderkrankenhaus in Vietnam untersucht. Patient*innen mit Verdacht auf eine Invagination erhielten eine Ultraschalluntersuchung durch pädiatrische Ultraschalldiagnostiker mit mehr als acht Jahren Erfahrung und einer geschätzten Arbeitsbelastung von 500 Invaginationsfällen pro Jahr. Die finale Diagnose wurde durch pneumatische Desinvagination oder Operation bestätigt. Zusätzlich wurden die Ultraschallbilder retrospektiv von einem unabhängigen, verblindeten Radiologen beurteilt. Insgesamt erhielten 640 Kinder eine Ultraschalluntersuchung, von denen 533 Patient*innen eine Invagination aufwiesen. Das mittlere Alter der Patient*innen mit Invagination betrug 9,3 Monate. Die erhobene Sensitivität des Ultraschalls lag bei 97,5 % und die Spezifität bei 99 %. Mit 99,7 % und 90 % wurden der PPV und NPV berechnet.

Durch ihre groß angelegte prospektive Studie sind die Autor*innen der Meinung, dass die Ultraschalluntersuchung bei der Diagnose der Invagination bei Kindern unter zwei Jahren sensitiv und spezifisch ist. Die Studie bestätigt die Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Ultraschalls als wichtiges Untersuchungsinstrument in Vietnam.

III. Riera et al. (2012)

**Riera, A., Hsiao, A. L., Langan, M. L., Goodman, T. R., & Chen, L. (2012).
Diagnosis of intussusception by physician novice sonographers in the emergency
department. *Ann Emerg Med*, 60(3), 264-268.**

Tabelle 14: Übersicht der Studiendaten aus Riera et al. (2012)

Setting	Yale Universität for Medicine, USA
Fragestellung	Beurteilung der Genauigkeit des Bedside-Ultraschalls von Darminvaginationen bei Kindern durch pädiatrische Notfallmediziner*innen mit begrenzter Erfahrung
Zielpopulation	N = 82, Mittleres Alter = 25 Monate, Altersspanne = 3 - 127 Monate
Studiendesign	Prospektive Studie
Datenerfassung	2008 - 2011

Diese prospektive Studie von Riera et al. (2012) beschäftigt sich mit der Frage, ob unerfahrene Ultraschall-Untersucher*innen mittels Bedside-Ultraschalls eine Darminvagination bei Kindern diagnostizieren können. Sechs ausgewählte pädiatrische Notfallmediziner*innen erhielten eine einstündige fokussierte Schulung durch einen Kinderradiologen. Nach dem Bedside-US wurde zusätzlich ein diagnostischer US in der Radiologie durchgeführt. Hierbei hatten die Radiolog*innen keine Kenntnisse der Befunde des Bedside-US. In die Studie wurden 82 Kinder im Alter von 3 - 127 Monaten mit Verdacht auf eine Darminvagination eingeschlossen. Insgesamt zeigte sich bei 13 Kindern eine Darminvagination. Der Bedside-US ergab elf richtig positive und zwei falsch negative Befunde. Von den restlichen 69 Patient*innen ohne Zeichen einer Darminvagination erzielte der Bedside-Ultraschall 67 richtig negative und zwei falsch positive Ergebnisse. Hieraus ergaben sich eine Sensitivität von 85 % und eine Spezifität von 97 %. Der PPV und NPV lagen bei 85 % und 97 %.

Zusammenfassend befinden die Autor*innen, dass der Bedside-US zur Erkennung von Darminvaginationen durch pädiatrische Notärzt*innen nach einer gezielten Schulung schnell erlernt und präzise durchgeführt werden kann. Dies ermöglicht eine genaue Diagnose von Invaginationen bei Kindern.

IV. Arroyo et al. (2021)

Arroyo, A. C., Zerzan, J., Vazquez, H., Dickman, E., Likourezos, A., Hossain, R., & Bonadio, W. (2021). Diagnostic Accuracy of Point-Of-Care Ultrasound for Intussusception Performed by Pediatric Emergency Medicine Physicians. *J Emerg Med*, 60(5), 626-632.

Tabelle 15: Übersicht der Studiendaten aus Arroyo et al. (2021)

Setting	Maimonides Medical Center, USA
Fragestellung	Bestimmung der diagnostischen Genauigkeit des Point-of-Care-Ultraschalls (POCUS) bei der Erkennung von pädiatrischen Darminvagination durch unerfahrene Ultraschall-Untersucher*innen
Zielpopulation	N = 100, Mittleres Alter = 24 Monate, Altersspanne = 3 - 76 Monate
Studiendesign	Prospektive Studie
Datenerfassung	2010 - 2012

Das Ziel dieser Studie bestand in der Beurteilung der diagnostischen Genauigkeit der POCUS Untersuchung bei Kindern mit Verdacht auf Invagination durch unerfahrene Untersucher*innen aus der Reihe der „pediatric emergency medicine physician“ (PEM-P) im Vergleich zu erfahrenen Radiolog*innen. Alle PEM-P erhielten vorab eine einmonatige Ultraschall Grundausbildung und eine zweistündige Schulung zu den Grundlagen des Ultraschalls sowie der sonographischen Diagnose der Invagination. Bei 100 Kindern im Alter von 3 - 76 Monaten mit Verdacht auf eine Invagination wurde im ersten Schritt eine POCUS Untersuchung durch einen PEM-P durchgeführt. Im Anschluss fand eine Beurteilung durch Kinderradiolog*innen statt. Im Gesamten zeigte sich eine diagnostische Übereinstimmung zwischen PEM-P Befunden und radiologischen Befunden in 97 von 100 Fällen. Von neun Patient*innen mit radiologisch diagnostizierter Invagination konnten acht durch eine POCUS Untersuchung erkannt werden (ein falsch negatives Ergebnis). 91 Patient*innen zeigten keine Anzeichen einer Invagination, von denen 89 Fälle durch den POCUS richtig negativ beurteilt wurden (zwei falsch-positive Ergebnisse). Hieraus ergab sich eine Sensitivität von 89 %, eine Spezifität von 98 % und ein PPV von 80 % sowie ein NPV von 99 %.

Die Autor*innen sind der Ansicht, dass mit einer gezielten Schulung unerfahrene Ultraschalluntersucher*innen mit Hilfe des POCUS Kinder mit Verdacht auf eine Invagination schnell und präzise untersuchen können. Darüber hinaus weist diese eine hohe diagnostische Übereinstimmung mit der durch Radiolog*innen durchgeführten Ultraschalluntersuchung auf.

V. Lam et al. (2014)

Lam, S. H., Wise, A., & Yenter, C. (2014). Emergency bedside ultrasound for the diagnosis of pediatric intussusception: a retrospective review. *World J Emerg Med*, 5(4), 255-258.

Tabelle 16: Übersicht der Studiendaten aus Lam et al. (2014)

Setting	Advocate Christ Medical Center, USA
Fragestellung	Beurteilung des Bedside-Ultraschalls zur Erkennung der Invagination bei Kindern durch pädiatrische Notärzt*innen im Vergleich mit den Ergebnissen des radiologischen Ultraschalls
Zielpopulation	N = 44, Mittleres Alter = 31 Monate, Altersspanne = 0 - 18 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2009 - 2012

In dieser retrospektiven Studie wurden die Ergebnisse des Bedside-US zur Diagnose einer Invagination bei Kindern mit den Ergebnissen aus der radiologischen Abteilung verglichen. Es erfolgte eine Sichtung der Krankenakten von insgesamt 1631 Kindern, wobei 44 Kinder in die Studie inkludiert wurden. Zu den Einschlusskriterien zählten unter anderem ein Alter von 0 - 18 Jahren, ein klinischer Verdacht auf eine Invagination sowie Befunde des Bedside-Ultraschalls und Ergebnisse der diagnostischen radiologischen Untersuchung (CT, US, Bariumeinlauf). Die pädiatrischen Notfallmediziner*innen, welche die Bedside-Ultraschall-Untersuchungen durchführten, absolvierten eine mindestens einstündige didaktische Schulung. Bei zwölf Kindern wurde der Bedside-Ultraschall als positiv für eine Invagination interpretiert, während 32 Kinder einen Negativbefund aufwiesen. Im Gesamten wurden durch den Bedside-Ultraschall zwei falsch positive, jedoch kein falsch negatives Ergebnis erzielt. Daraus ergaben sich eine Sensitivität mit 100 %, eine Spezifität mit 94 %, ein PPV mit 82 % und ein NPV mit 100 %.

Die Autor*innen befinden den Ultraschall als genaue bildgebende Untersuchung zur Diagnostik der Invagination bei Kindern, auch bei Untersucher*innen mit begrenzter sonographischer Ausbildung. Neben dem klinischen Verdacht können, laut Autor*innen, Behandlungsentscheidungen auf Grundlage negativer oder positiver Bedside-Ultraschallbefunde erleichtert werden.

VI. Trigylidas et al. (2019)

Trigylidas, T. E., Hegenbarth, M. A., Patel, L., Kennedy, C., O'Rourke, K., & Kelly, J. C. (2019). Pediatric Emergency Medicine Point-of-Care Ultrasound for the Diagnosis of Intussusception. *J Emerg Med*, 57(3), 367-374.

Tabelle 17: Übersicht der Studiendaten aus Trigylidas et al. (2019)

Setting	Children's Mercy Hospital, USA
Fragestellung	Bewertung der Genauigkeit des Point-of-Care-Ultraschalls (POCUS) bei der Erkennung von ileokolischen Invaginationen bei Kindern
Zielpopulation	N = 101, Mittleres Alter = 22 Monate, Altersspanne = 2 - 88 Monate
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2001 - 2015

Trigylidas et al. (2019) untersuchten in einem retrospektiven Setting unter anderem die diagnostische Genauigkeit des POCUS zur Erkennung von ileokolischen Invaginationen bei Kindern. 102 POCUS Befunde von 101 Patient*innen wurden in die Studie inkludiert. Eine Bestätigung der Diagnose und somit der POCUS-Bilder fand entweder anhand einer gleichzeitigen POCUS-Bildüberprüfung durch eine*n Radiolog*in, durch einen eigenständigen Ultraschall in der radiologischen Abteilung oder durch einen Luftkontrast-Einlauf statt. Die POCUS-Untersucher*innen verfügten über Erfahrung im Umgang mit Ultraschall und absolvierten ein gezieltes Training. Von den 101 Patient*innen wiesen 75 Kinder eine iliokolische Invagination auf. Mittels POCUS konnten 72 Fälle als richtig positiv und zwei als falsch positiv identifiziert werden. 25 Ergebnisse wurden als richtig negativ und drei als falsch negativ erkannt. Somit ergab sich eine Sensitivität von 96 % und eine Spezifität von 92,6 %. Der PPV lag bei 97,3 % und der NPV bei 89,3 %.

Die Autor*innen sind der Meinung, dass mithilfe von POCUS eine ileokolische Invagination genau diagnostiziert werden kann.

VII. Usang et al. (2013)

Usang, U. E., Inah, G. B., Inyang, A. W., & Ekabua, A. T. (2013). Intussusception in children: Comparison between ultrasound diagnosis and operation findings in a tropical developing country. *Afr J Paediatr Surg*, 10(2), 87-90.

Tabelle 18: Übersicht der Studiendaten aus Usang et al. (2013)

Setting	University of Calabar Teaching Hospital, Nigeria
Fragestellung	Beurteilung der Genauigkeit der Ultraschalluntersuchung bei Verdacht auf Darminvagination im Kindesalter in einem tropischen Entwicklungsland
Zielpopulation	N = 25, Mittleres Alter = 6,0 ($\pm$ 5,57) Monate, Altersspanne = 3 Monate - 7 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2004 - 2011

Die retrospektive Studie von Usang et al. (2013) befasst sich mit der Frage nach der diagnostischen Genauigkeit des Ultraschalls zur Untersuchung einer Invagination bei Kindern in einem tropischen Entwicklungsland. Dafür wurde die Krankenakte von 41 Kindern mit Verdacht auf eine Darminvagination analysiert und 25 davon in die Studie eingeschlossen. Die Ergebnisse des Ultraschalls wurden mit den operativen Befunden verglichen. In diesem Zusammenhang zeigte sich eine Gesamtgenauigkeit der US-Untersuchung von 84 %, während die Sensitivität und Spezifität 87 % und 50 % betrugen. Der PPV lag bei 95,2 % und der NPV bei 25 %.

Die Autor*innen sind der Ansicht, dass die Genauigkeit der US-Untersuchung bei Kindern mit Verdacht auf Darminvagination in erfahrenen Händen hoch sei und die Diagnosesicherheit dadurch verbessert werden kann. Die niedrige Spezifität wird auf die Vermutung zurückgeführt, dass einige Patient*innen an das Krankenhaus überwiesen wurden, die nicht für die Studie identifiziert wurden oder auf die Unerfahrenheit einiger Ultraschall-Untersucher*innen. Wenn nach der US-Diagnose noch Zweifel bestehen, empfehlen die Autor*innen einen Kontrast-Einlauf.

4.3 Appendizitis

4.3.1 Allgemeines

Der Appendix vermiformis, auch bekannt als Wurmfortsatz, ist ein kleiner blind endender Sack am Caecum. Er weist eine hohe Variabilität in Bezug auf seine Form, Größe und Lage auf. Anatomisch betrachtet, befindet er sich intraperitoneal und geht dorsal-medial vom Caecum ab. Mit Blick auf die vordere Bauchwand lässt sich der Appendix auf den rechten

Unterbauch projizieren. Aufgrund der anatomischen Vielfalt gestaltet sich die exakte Lokalisierung des Appendix schwierig. Unter anderem kann sich der Appendix in der Retrozäkalposition (hinter dem Caecum nach kranial gebogen), in der Kaudalposition (in Richtung kleines Becken) sowie der Medialposition (mediale Lage mit Position vor oder hinter den Dünndarmschlingen) und der Lateralposition (zwischen Caecum und lateraler Bauchwand) befinden. Auch die Länge kann stark zwischen 2 - 20 cm variieren. Im Durchschnitt beträgt die Länge 10 cm und die Dicke 6 mm. Das Lumen ist mit circa 2 mm sehr schmal und meist verschlossen. Es kann Schleim oder Darminhalt enthalten. (Anderhuber et al., 2012b)

Kommt es zu einer Entzündung des Appendix, wird dies als Appendizitis bezeichnet. In der Literatur variieren die Angaben zur Inzidenz der Appendizitis bei Kindern. Im Gesamten zeigt sich, dass sie eine verbreitete Erkrankung im Kindesalter darstellt. Laut Fasching & Mayr (2018a) ist die Appendizitis die am häufigsten vorkommende Abdominalerkrankung im Alter von 5 - 12 Jahren. Laut den Autoren liegt die Inzidenz bis zum vierten Lebensjahr bei 1 - 2 pro 10.000 Kindern. Vor allem bei den älteren Kindern (4 - 14 Jahren) steigt sie auf 19 - 28 pro 10.000 Kindern an.

Addiss et al. (1990) beschreiben die Inzidenz einer Appendizitis am höchsten bei Jungen im Alter von 10 - 14 Jahren (27,6 pro 10.000) und bei Mädchen im Alter von 15 - 19 Jahren (20,5 pro 10.000) .

Die Daten zeigen, dass gerade bei Schulkindern ein erhöhtes Risiko für das Auftreten einer Appendizitis besteht. Dennoch ist es wichtig zu beachten, dass eine Entzündung des Appendix in jedem Alter möglich ist. Die akute Appendizitis stellt nicht nur den häufigsten Grund für einen chirurgischen abdominalen Eingriff bei Kindern dar, sondern ist auch die am meisten durchgeführte Notfalloperation in dieser Altersgruppe (Rolle & Maneck, 2016; Stringer, 2017).

4.3.2 Ätiologie und Pathogenese

Wie genau es zu einer Appendizitis kommt, ist bisher noch nicht eindeutig geklärt. Wahrscheinliche Ursachen sind unter anderem Koprolithen, unvollständig verdaute Speisereste, lymphatische Hyperplasie oder auch Vernarbungen im Lumen sowie Neoplasien. Des Weiteren können Bakterien, Viren und entzündliche Darmerkrankungen eine Appendizitis auslösen. Ein möglicher wichtiger Schritt in der Entstehung der Appendizitis ist die Obstruktion des Lumens. Durch die Obstruktion kommt es zu einem Sekretstau mit nachfolgender bakterieller Vermehrung und Druckerhöhung. Im weiteren

Prozess wird der Fluss von Lymphe und Blut gehemmt, was zu einer vaskulären Thrombose und ischämischer Nekrose mit Perforation führen kann. (Jacobs, 2022; Stringer, 2017)

4.3.3 Klinik und Komplikationen

Eine allgemeine Beschreibung klassischer Symptome findet sich bei Mirow und Schiedeck (2008). Das Leitsymptom ist der Abdominalschmerz, dabei handelt es sich häufig um einen Schmerz, der meist kolikartig im Epigastrium beginnt und innerhalb weniger Stunden in den rechten Unterbauch wandert. Im Verlauf manifestiert sich aus dem kolikartigen Schmerz ein Dauerschmerz. Begleitend können Appetitlosigkeit, Übelkeit, rezidivierendes Erbrechen sowie Fieber auftreten.

Dennoch können die Symptome von den oben beschriebenen „klassischen“ Anzeichen abweichen. Liegt der Appendix beispielsweise retrozökal, kann diese Position Flankenschmerzen oder Oberbauchschmerzen auf der rechten Seite auslösen. Befindet sich der Appendix über dem Ureter, ist eine Schmerzausstrahlung nach iliakal möglich. (Schmidt, 2021c)

Bei pädiatrischen Patient*innen ist die Appendizitis besonders schwierig zu diagnostizieren, da Kinder sich meist mit verschiedenen atypischen Symptomen präsentieren (Becker et al., 2007). Des Weiteren ist die Abklärung von Schmerzen im Abdomen stark vom Alter der Patient*innen abhängig. Während ältere Kinder und Jugendliche selbst Auskunft über ihre Beschwerden geben können, sind bei Kleinkindern und Säuglingen die Angaben von anwesenden Eltern oder Bezugspersonen wichtig. Zusätzlich lassen sich wertvolle Informationen, insbesondere bei präverbalen Kindern, aus Ess- und Trinkverhalten, Schlaf, Aktivitätslevel sowie Stuhlgang ableiten. (Bundy et al., 2007)

Eine rasche Diagnosestellung und Therapieeinleitung sind von entscheidender Bedeutung, um schwerwiegende Komplikationen wie Perforation, Abszessbildung sowie einen Darmverschluss zu verhindern. Darüber hinaus kann es zu einer Peritonitis, Sepsis und im schlimmsten Fall zum Tod führen. (Sivit et al., 2001)

4.3.4 Allgemeine Diagnostik

Die Diagnostik der Appendizitis umfasst die klinische Untersuchung in Kombination mit der Interpretation der Laborparameter sowie der Verwendung von bildgebenden Verfahren. Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, kann die klinische Präsentation der Appendizitis variieren, was eine genaue Diagnose erschwert. Auch mittels der Laborparameter ist eine sichere Bestätigung der Appendizitis nicht möglich. Parameter wie die weißen

Blutkörperchen oder das C-reaktive Protein (CRP) sind nur begrenzt in der Lage zwischen einer Appendizitis und anderen entzündlichen Geschehen zu differenzieren. (Gil et al., 2023)

Zur weiteren Abklärung werden bildgebende Verfahren verwendet. Neben der Ultraschalluntersuchung werden das CT und in seltenen Fällen das MRT zur Diagnostik eingesetzt.

Ein gesunder Appendix präsentiert sich im US als komprimierbare, blind endende tubuläre Struktur. Der Durchmesser liegt klassischerweise unter 6 mm. Die Wandstruktur besteht aus fünf verschiedenen Schichten (Abbildung 5). (Gongidi & Bellah, 2017)

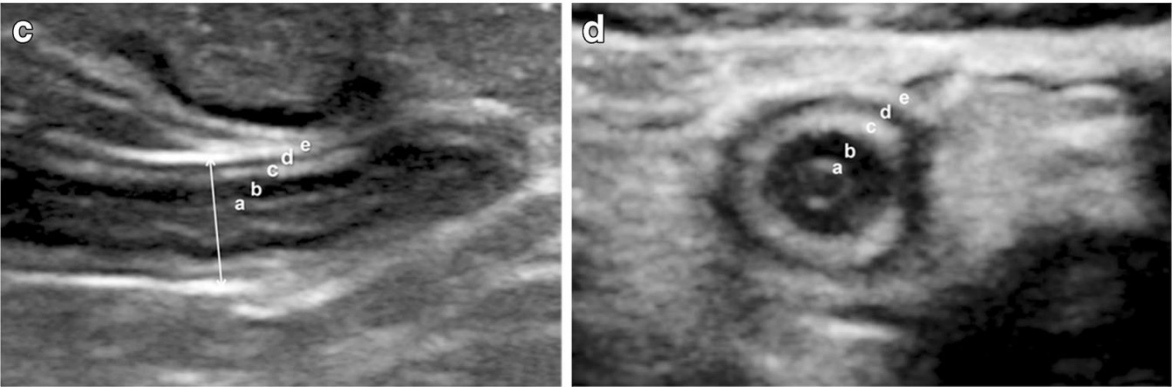


Abbildung 5: Gesunder Appendix aus Gongidi & Bellah (2017)

(a) echogene Mukosa, (b) hypoechoische Muscularis mucosa, (c) echogene Submukosa, (d) hypoechoische Muscularis propria, (e) echogene Serosa

Kommt es zu einer Entzündung des Appendix, können einige sonographische Zeichen hinweisend sein. Gongidi & Bellah (2017) , Reddan et al. (2016) sowie Sargar & Siegel (2014) haben in ihren Arbeiten die wichtigsten Parameter aus der Literatur zusammengetragen und zusammengefasst (Tabelle 19).

Tabelle 19: Zusammenfassung der sonographischen Zeichen einer Appendizitis nach Gongidi & Bellah (2017), Reddan et al. (2016) und Sargar & Siegel (2014)

Primäre Zeichen	Sekundäre Zeichen
Außendurchmesser > 6mm (MOD)	Echoreiches mesenteriales Fettgewebe
Fehlende Komprimierbarkeit der Appendix	Freie Flüssigkeit um den Appendix und rechter unterer Quadrant
Nachweis von Fäkolithen	Vergrößerte mesenteriale Lymphknoten
Erhöhter/verminderter Farbdopplerfluss innerhalb der Appendixwand	Verdickung angrenzender Darmwände
Verbreiterte hypoechogene Appendixwand	echogener Slugde in der Harnblase

Abbildung 6 zeigt das Bild einer akuten Appendizitis im Ultraschall aus Sargar und Siegel (2014).

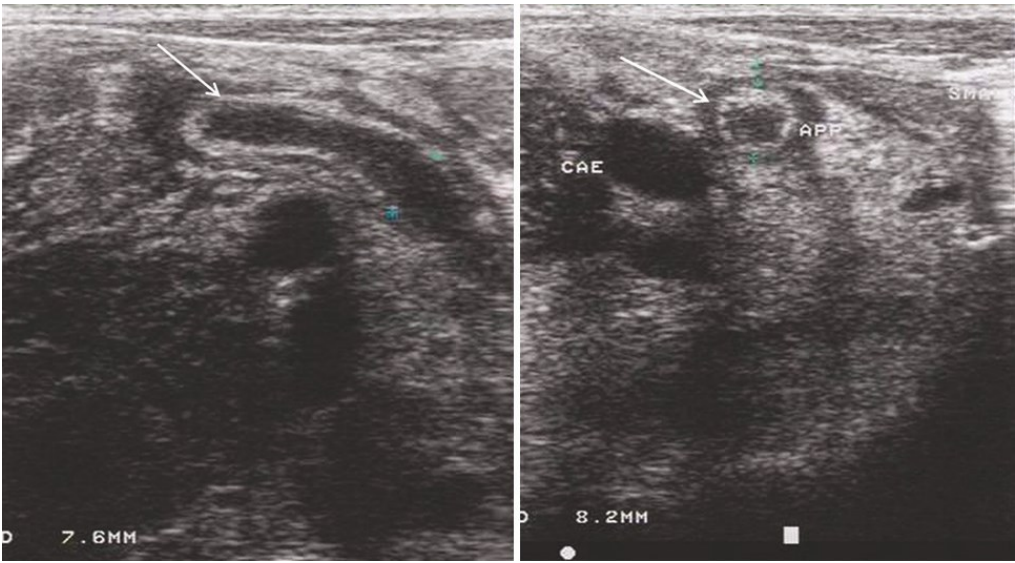


Abbildung 6: Darstellung einer akuten Appendizitis aus Sargar & Siegel (2014)
 (Links) Längsachse: Fehlende Komprimierbarkeit, vergrößerter, flüssigkeitsgefüllter Appendix (Pfeil)
 (Rechts) Kurze Achse: Zielscheibenartiges Aussehen mit flüssigkeitsgefülltem Zentrum, hyperechogene Mukosa und äußerer hypoechogener Muskulatur (Pfeil)

4.3.5 Berücksichtigte Studien zum Thema „Ultraschall in der Diagnostik der akuten Appendizitis“

Im folgenden Abschnitt werden die bei der Literaturrecherche identifizierten Studien bezüglich der Genauigkeit und Wirksamkeit von Ultraschall in der Diagnostik der akuten Appendizitis bei Kindern beschrieben. Tabelle 20 bietet einen Überblick der Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls der berücksichtigten Studien.

Tabelle 20: Übersicht der inkludierten Studien mit Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls bei der Diagnostik der akuten Appendizitis

	Autor*innen	Patient*innen	Sensitivität	Spezifität
I	Thirumoorthi et al. (2012)	802	94,2 %	97,5 %
II	Ghani et al. (2022)	100	74 %	92 %
III	Mittal et al. (2013)	965	72,5 %	97 %
IV	Thieme et al. (2014)	104	76 %	89 %
V	Pastore et al. (2014)	480	79 %	78 %

I. Thirumoorthi et al. (2012)

Thirumoorthi, A. S., Fefferman, N. R., Ginsburg, H. B., Kuenzler, K. A., & Tomita, S. S. (2012). Managing radiation exposure in children--reexamining the role of ultrasound in the diagnosis of appendicitis. *J Pediatr Surg*, 47(12), 2268-2272.

Tabelle 21: Übersicht der Studiendaten aus Thirumoorthi et al. (2012)

Setting	New York University Medical Center, USA
Fragestellung	Effizienz und Genauigkeit des Ultraschalls mit selektiver CT-Untersuchung in der Diagnose bei Kindern mit akuter Appendizitis
Zielpopulation	N = 802, Mittleres Alter = 10,9 ($\pm$ 4,1) Jahre, Altersspanne = 0 - 18 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2003 - 2010

Die Studie untersucht die Effizienz und Genauigkeit von Ultraschalluntersuchungen sowie die der zusätzlichen selektiven CT-Untersuchung bei der Diagnose einer akuten Appendizitis bei Kindern. In einem retrospektiven Studiendesign wurde in einem Zeitraum über sieben Jahre die Ultraschalluntersuchungen von 802 Kinder im Alter zwischen 0 - 18 Jahren mit Verdacht auf eine Appendizitis evaluiert. Es wurde ein Diagnoseprotokoll implementiert, um die Strahlenbelastung zu reduzieren, hierbei wurde Ultraschall als initiales bildgebendes Verfahren verwendet. Wurde im Ultraschall bei unklarer klinischer Präsentation keine eindeutigen Ergebnisse gefunden, folgte selektiv eine CT-Untersuchung. Die Sensitivität des Diagnoseprotokolls betrug 94,2 %, die Spezifität 97,5 % und der PPV 95,2 %. Die negative Appendektomie rate lag bei 1,82 %. In 630 von 802 Patient*innen (78,6 %) war der US die einzige verwendete bildgebende Methode.

Die Autor*innen kommen zum Schluss, dass der US gefolgt von einer selektiven CT-Untersuchung ein nützliches und genaues Untersuchungstool zur Erkennung von Appendizitiden im Kindesalter darstellt. Diese Vorgehensweise hat wichtige Auswirkungen auf die Reduktion der Strahlenexposition bei Kindern.

II. Ghani et al. (2022)

Ghani, R., O'Connor, A., Sajid, I., Johnson, G., & Ullah, S. (2022). Diagnostic accuracy of ultrasound in the paediatric population with acute right iliac fossa pain, our District General Hospital experience. *Ulster Med J*, 91(1), 26-29.

Tabelle 22: Übersicht der Studiendaten aus Ghani et al. (2022)

Setting	Tameside and Glossop Integrated Care NHS Foundation Trust, Vereinigtes Königreich
Fragestellung	Rolle des Ultraschalls in der Diagnostik bei Kindern mit Schmerzen im rechten Unterbauch und Verdacht auf Appendizitis
Zielpopulation	N = 100, Mittleres Alter = 14 Jahre, Altersspanne = 4 - 18 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	Januar 2019 - Dezember 2019

In dieser retrospektiven Studie wurde die Rolle des Ultraschalls in der Diagnostik bei Schmerzen im rechten Unterbauch mit Verdacht auf Appendizitis analysiert. Die Untersuchung konzentriert sich auf eine Zielgruppe von 100 Kindern im Alter von 4 - 18 Jahren, bei denen das Risiko einer Appendizitis als gering bis moderat eingestuft wurde. Bei den Patient*innen fand eine Ultraschalluntersuchung durch eine*n Radiolog*in oder eine*n speziell auf Kinderultraschall spezialisierte*n Untersucher*in statt. Die Befunde des Ultraschalls wurden im weiteren Verlauf durch eine abschließende histologische Untersuchung verifiziert, um ihre Genauigkeit zu bestätigen. In dieser Studie wurde bei 20 Kindern eine Appendizitis anhand histologischer Ergebnisse bestätigt. 16 davon konnten durch den Ultraschall präoperativ diagnostiziert werden. Somit ergab sich eine Sensitivität von 74 %. 62 Patient*innen mit unauffälligem Ultraschall benötigten keine Intervention und zeigten im Follow-up keine Hinweise auf eine Pathologie, was zu einer Spezifität von 92 % führte.

Zusammenfassend befinden die Autor*innen den Ultraschall als Untersuchungsmodalität zur Abklärung einer Appendizitis als hilfreich, insbesondere beim Ausschluss dieser Pathologie bei geringer bis moderater Klinik.

III. Mittal et al. (2013)

Mittal, M. K., Dayan, P. S., Macias, C. G., Bachur, R. G., Bennett, J., Dudley, N. C., Bajaj, L., Sinclair, K., Stevenson, M. D., & Kharbanda, A. B. (2013). Performance of ultrasound in the diagnosis of appendicitis in children in a multicenter cohort. *Acad Emerg Med*, 20(7), 697-702.

Tabelle 23: Übersicht der Studiendaten aus Mittal et al. (2013)

Setting	u.a. The Children's Hospital of Philadelphia, USA
Fragestellung	Genauigkeit von Ultraschall bei Kindern mit rechten Unterbauchschmerzen und Verdacht auf Appendizitis
Zielpopulation	N = 964, Mittleres Alter = 11 ($\pm$ 3,7), Altersspanne = 3 - 18 Jahre
Studiendesign	Multicenter-Kohortenstudien
Datenerfassung	2009 - 2010

Daten aus acht verschiedenen pädiatrischen Notaufnahmen wurden in dieser Studie für eine Sekundäranalyse einer prospektiven Beobachtungsstudie bei Kindern mit Verdacht auf Appendizitis verwendet. Inkludiert wurden Kinder im Alter von 3 - 18 Jahren, die sich mit akuten Bauchschmerzen und Verdacht auf eine Appendizitis präsentierten. Die vorhandenen Ultraschallberichte wurden für die Analyse verwendet, wobei Testkriterien wie Sensitivität, Spezifität und PPV sowohl für die Gesamtkohorte als auch für einzelne Standorte berechnet wurden. Für die gesamte Gruppe betrug die Sensitivität 72,5 %, die Spezifität 97 % und der PPV 92,5 %. Bei der Berechnung der einzelnen Standorte variierten die Werte für die Sensitivität zwischen 35 % - 86 % und die Spezifität zwischen 96 % - 99 %. Die Autor*innen erklären die Variabilität der Ergebnisse der Sensitivität durch die unterschiedliche Häufigkeit, mit welcher der Ultraschall an den verschiedenen Standorten angewendet wird. Des Weiteren führten die Autor*innen eine Analyse durch, in der ausschließlich Fälle verwendet wurden, bei denen der Appendix spezifisch identifiziert und als normal oder abnormal klassifiziert wurde. Daraus ergaben sich eine Gesamtsensitivität von 97,9 % und eine Spezifität von 91,7 %.

Zusammenfassend wurde in dieser Studie gezeigt, dass die Ergebnisse des Ultraschalls zwischen den teilnehmenden Studienorten variiert. Bei allen Zentren wurde jedoch hohe Testkriterien erzielt, wenn der Appendix klar visualisiert werden konnte. Die Autor*innen empfehlen, weitere diagnostische Modalitäten in Betracht zu ziehen, wenn eine eindeutige Identifikation des Appendix nicht möglich ist.

IV. Thieme et al. (2014)

Thieme, M. E., Leeuwenburgh, M. M., Valdehueza, Z. D., Bouman, D. E., de Bruin, I. G., Schreurs, W. H., Houdijk, A. P., Stoker, J., & Wiarda, B. M. (2014). Diagnostic accuracy and patient acceptance of MRI in children with suspected appendicitis. *Eur Radiol*, 24(3), 630-637.

Tabelle 24: Übersicht der Studiendaten aus Thieme et al. (2014)

Setting	Alkmaar Medical Centre, Niederlande
Fragestellung	Vergleich von MRT und Ultraschall bei Kindern mit Verdacht auf eine Appendizitis
Zielpopulation	N = 104, Mittleres Alter = 12 Jahre, Altersspanne = 4 - 18 Jahre
Studiendesign	Single-Center Studie
Datenerfassung	April 2009 - Dezember 2009

Thieme et al. (2014) untersuchten in ihrer prospektiven Studie die Genauigkeit und Akzeptanz einer MRT-Untersuchung im Vergleich zur Ultraschalluntersuchung bei Kindern mit Verdacht auf eine Appendizitis. Dabei wurden die Sensitivität und Spezifität von drei verschiedenen bildgebenden Herangehensweisen (nur US, MRT nach negativem oder unklarem US, nur MRT) analysiert. 104 Kinder im Alter zwischen 4 - 18 Jahren sind in die Studie inkludiert worden. Davon hatten 58 Patient*innen eine histologisch bestätigte Appendizitis. Mit dem Ultraschall konnte bei 44 der 56 Patient*innen eine Appendizitis richtig diagnostiziert werden. Somit ergibt sich eine Sensitivität für den Ultraschall von 76 %. Für das zusätzliche MRT nach Ultraschall und für die Untersuchung nur mit MRT ergab sich eine Sensitivität von 100 %. Die Spezifität aller drei Strategien war vergleichbar (US 89 %, MRT nach US 80 %, nur MRT 89 %). Der PPV des Ultraschalls ist mit dem der MRT vergleichbar. Darüber hinaus fand eine Analyse der Akzeptanz der Untersuchungsmethoden mithilfe eines Fragebogens statt. Die Patient*innen empfanden die Untersuchungsdauer beim MRT länger als bei der US-Untersuchung. Das längere Liegen im MRT wurde aber nicht als belastend wahrgenommen, zugleich wurde der Ultraschall als schmerzhafter erachtet. Beide Untersuchungsmethoden wurden gleichermaßen toleriert.

Zusammenfassend kommen die Autor*innen zum Ergebnis, dass ein diagnostisches Vorgehen mit US als erste Untersuchungsmethode sinnvoll sei. Bei negativen oder unklaren Befunden sollte ein MRT im Anschluss erfolgen.

V. Pastore et al. (2014)

Pastore, V., Cocomazzi, R., Basile, A., Pastore, M., & Bartoli, F. (2014). Limits and advantages of abdominal ultrasonography in children with acute appendicitis syndrome. *Afr J Paediatr Surg*, 11(4), 293-296.

Tabelle 25: Übersicht der Studiendaten aus Pastore et al. (2014)

Setting	Universität Foggia, Italien
Fragestellung	Evaluation des Ultraschalls in der Diagnose der akuten Appendizitis bei Kindern
Zielpopulation	N = 480, Mittleres Alter (operiert = 10,6 ($\pm$ 4,2) Jahre), (nicht operiert = 10,2 ($\pm$ 5,4) Jahre), Altersspanne = 1 - 16 Jahre
Studiendesign	Prospektive Studie
Datenerfassung	2010 - 2013

Das Ziel dieser Studie bestand in der Evaluation des Ultraschalls zur Diagnostik einer akuten Appendizitis bei Kindern. Prospektiv wurden 480 Kinder im Alter zwischen 1 - 16 Jahren analysiert, die sich mit Verdacht auf eine Appendizitis in der Notaufnahme vorstellten. Bei allen Kindern wurde ein Ultraschall mittels gradueller Kompressionstechnik nach Puylaert und Hoch-Frequenzschallkopf durchgeführt. Die Patient*innen wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Die erste Gruppe umfasste Patient*innen, welche aufgrund einer Appendizitis operiert werden mussten. In die zweite Gruppe wurden Kinder ohne Operation zugeordnet. Die endgültige Diagnose basiert in der ersten Gruppe aufgrund histopathologischer Befunde, während in der zweiten Gruppe Telefoninterviews über einen Zeitraum von drei Monaten zur Nachverfolgung durchgeführt wurden. Hierdurch ergaben sich eine Sensitivität der Ultraschalluntersuchung von 79 %, eine Spezifität von 78 % sowie ein PPV von 95 %.

Zusammenfassend betrachten die Autor*innen die vorliegenden Ergebnisse als ermutigend und unterstützen das diagnostische Vorgehen, bei dem Ultraschall routinemäßig bei allen Kindern mit Verdacht auf Appendizitis durchgeführt werden soll. Zudem sollte bei einer negativen US-Untersuchung zunächst keine anschließende CT-Untersuchung erfolgen. Empfohlen werden eine erneute klinische Untersuchung sowie die Durchführung eines zweiten Ultraschalls. In dieser Studie wurde bei sechs von zehn Patient*innen mit einer zweiten Ultraschall-Untersuchung Zeichen einer Appendizitis gefunden und eine Operation eingeleitet.

4.4 Hodentorsion

4.4.1 Allgemeines

Bei einer Hodentorsion kommt es zu einer plötzlich auftretenden Drehung eines Hodens um seine Achse, die zu einer Verdrehung des Samenstranges führt (Günther & Rübben, 2012). Die beiden Hoden befinden sich im Hodensack. Dieser ist geteilt und jede Seite beherbergt einen Hoden, einen Nebenhoden sowie Anteile je eines Samenstranges. Die beiden Hoden sind die männlichen Keimdrüsen und produzieren Samenzellen, Spermatozyten sowie Hormone. Der Nebenhoden befindet sich dorsomedial des Hoden. Eine Verbindung der beiden besteht über den Ductus Epididymidis. Von dem Nebenhoden geht der Samenleiter (Ductus deferens) ab und verläuft zusammen mit Gefäßen und Nerven im Samenstrang (Funikulus spermaticus). Der Hoden und Samenstrang sind von mehreren Hüllen umgeben. Von außen nach innen werden in Anderhuber et al. (2012c) die Fascia spermatica externa, die Fascia cremasterica mit M. cremaster und die Fascia spermatica interna gelistet. Die innerste Hülle wird als Tunica vaginalis, bestehend aus der Lamina visceralis und Lamina parietalis, beschrieben.

Je nach Lokalisation kann bei der Hodentorsion zwischen einer intravaginalen, extravaginalen und mesorochialen Form unterschieden werden. Für die Akutsituation hat die Form der Torsion jedoch keine Relevanz, weshalb in dieser Arbeit nicht näher darauf eingegangen wird. (Matthies & Wagner, 2014)

Die Hodentorsion zeigt zwei Altersgipfel und tritt gehäuft im ersten Lebensjahr sowie während der Pubertät, insbesondere im Alter von 13 - 14 Jahren auf (Pogorelić et al., 2013; Yang et al., 2011). Die Inzidenz der Hodentorsion beträgt ungefähr 1 / 4000 Jungen zwischen 0 - 15 Jahren (Günther & Schenk, 2006).

4.4.2 Ätiologie und Pathogenese

Zu einer Verdrehung des Samenstranges kann es kommen, wenn eine abnorme Beweglichkeit des Hodens innerhalb seiner umhüllenden Strukturen und seiner Befestigung vorhanden ist. Besonders anfällig sind hochstehende oder verspätet descendierte Hoden. (Boehm, 2013)

Auch kleinere Traumata, wie beispielsweise Fahrradfahren oder sportliche Aktivität, können eine Hodentorsion auslösen. Bei Jugendlichen kommt überwiegend die intravaginale Torsion vor, deren Ursache in einer unausgereiften Tunica vaginalis liegt. Im Säuglingsalter tritt häufiger die supravaginale Torsion auf, bei der eine unvollständige Verankerung des

Samenstranges vermutet wird. Durch die Strangulation der Gefäße, die im Samenstrang verlaufen, kommt es zu einer konsekutiven Ischämie des Hodenparenchyms. (Günther & Schenk, 2006)

Der venöse Rückstrom wird unterbunden und die arterielle sauerstoffreiche Durchblutung wird reduziert, was folgend zu einem hämorrhagischen Infarkt des Gewebes führt (Günther & Rübber, 2012).

4.4.3 Klinik und Komplikationen

Klinisch kann sich eine Hodentorsion durch einen akut einsetzenden, heftigen Schmerz, eine schmerzhafteste Hodenverhärtung oder eine akut aufgetretene Hodenvergrößerung bemerkbar machen. Weitere Zeichen können ein Hodenhochstand auf der betroffenen Seite oder Verfärbungen der Skrotalhaut sein. (Matthies & Wagner, 2014; Mayr & Fasching, 2018c)

Oftmals präsentieren sich die Patienten auch mit einem akuten Bauchschmerz und einer Schonhaltung in Seitenlage. Zusätzlich kann es durch eine peritoneale Reizung sowie Ischämieschmerzen zu einer vegetativen Begleitsymptomatik mit Übelkeit, Erbrechen und Kältschweißigkeit kommen. (Theilen & Rolle, 2023)

In manchen Fällen kann sich eine Hodentorsion einzig durch akute Bauchschmerzen äußern. Aus diesem Grund sollten Patienten mit einem akuten Abdomen zusätzlich immer urogenital untersucht werden. (Pogorelić et al., 2013)

Wird die Hodentorsion zu spät erkannt oder nicht richtig behandelt, kann es zu einem Verlust des betroffenen Hodens führen (Boettcher et al., 2012). Schon nach 4 - 6 h tritt eine Ischämie sowie ein irreversibler Schaden am Keimepithel ein (Matthies & Wagner, 2014).

Neben anderen Erkrankungen wie der Hydatidentorsion, Orchitis oder Epididymitis zählt die Hodentorsion aufgrund ihrer klinischen Präsentation auch zu den Differentialdiagnosen des akuten Skrotums. Sein charakteristisches Erscheinungsbild zeigt sich durch plötzlich auftretende Schmerzen mit Druckempfindlichkeit im Skrotum sowie Rötung und Schwellung. Das akute Skrotum präsentiert sich vielen Fällen als Notfall. (Sachwitz et al., 2014)

4.4.4 Allgemeine Diagnostik

Bei der Diagnose der Hodentorsion sind eine detaillierte Anamnese sowie eine klinische Untersuchung wichtig. Bei Verdacht auf eine Verdrehung spielt die Bildgebung eine zentrale Rolle, während verschiedene Laborparameter keine Differenzierung zwischen

entzündlichen Erkrankungen und Hodentorsion ermöglichen. Als bildgebende Verfahren kommen der Ultraschall oder das MRT in Frage. (Günther & Schenk, 2006)

Beim Ultraschall werden hochfrequente Linearschallköpfe mit einem Frequenzspektrum von 10 - 14 MHz verwendet (Lin et al., 2007).

Im Längsschnitt des Ultraschalls präsentiert sich der normale Hoden als ovaläre Struktur, im Querschnitt rund. Die feine Echostruktur ist homogen und weist ein altersabhängiges Volumen auf. Der Nebenhoden liegt im Längsschnitt kappenartig am oberen Pol des Hodens, im Querschnitt ist er posterolateral zu finden. Seine Echogenität ist der des Hodens ähnlich bis geringgradig erhöht. (Hofmann & Deeg, 2014a)

Bei Neugeborenen erscheint der Hoden noch rundlicher, in der Pubertät nimmt er eine ovale Form an (Delaney & Karmazyn, 2013). In Abbildung 7 ist exemplarisch ein gesunder Hoden eines vier Monate alten Kindes und eines 15-jährigen Jungen aus Delaney und Karmazyn (2013) dargestellt.

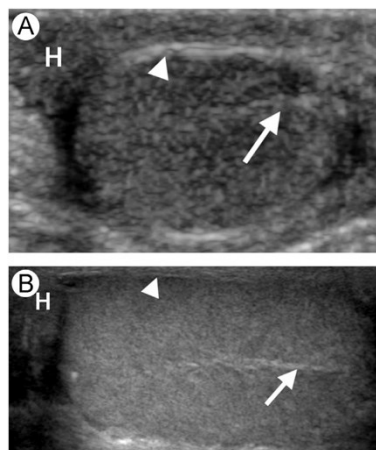


Abbildung 7: Normaler Ultraschall eines Hodens aus Delaney und Karmazyn (2013)

(A) Vier Monate alten Kindes mit rundlichem Aussehen des Hodens

(B) 15-jähriger Junge mit ovoidem Aussehen und mehr Echogenität des Hodens

Delaney und Karmazyn (2013) fassen in ihrer Übersichtsarbeit sonographische Zeichen einer Hodentorsion zusammen: Der sonographische Befund bei einer Hodentorsion hängt von dem Grad der Samenstrangverdrehung und der Dauer der Symptome ab. In den ersten Stunden nach der Verdrehung kann der Hoden zunächst unauffällig erscheinen. Später, mit fortschreitender Hypoxie, kann sich der Hoden vergrößert mit diffuser Hypoechogenität präsentieren. Eine heterogene Hodenechogenität stellt ein prognostisch schlechtes Zeichen dar und weist in der Regel auf einen nicht rettungsfähigen Hoden hin. Wenn die Verdrehung jedoch chronisch wird, kann es zu einer Atrophie des Hoden sowie einer Verkalkung der Tunika albuginea kommen. Hodenkapselgefäße in der Peripherie können einen vermehrten

Blutfluss aufweisen und möglicherweise einen irreführenden Eindruck einer ausreichenden Hodenperfusion vermitteln. Zu beachten ist, dass die Perfusion des symptomatischen Hoden mit derjenigen der asymptomatischen Seite verglichen werden muss. Eine Verdrehung des Samenstrangs kann in einigen Fällen das einzige sonographische Zeichen einer Hodentorsion sein. Sie präsentiert sich als sogenanntes „Snail sign“. Hierbei erscheint am oberen Pol des Skrotums eine runde Masse mit konzentrischen Schichten. Nebenbefundlich kann es zu einer reaktiven Hydrozele sowie Schwellung des Nebenhodens und der Skrotalhaut kommen.

Hofmann und Deeg (2014a) ergänzen diese Zeichen noch um zwei weitere Kriterien: Einen Hoden, der am oberen Skrotalpol liegt sowie einer Verdickung des Samenstranges.

Abbildung 8 zeigt beispielhaft die sonographischen Zeichen einer Hodentorsion, einschließlich einer fehlenden Durchblutung, einer Vergrößerung des Hodens sowie einer heterogenen Echogenität aus Lin et al. (2007).

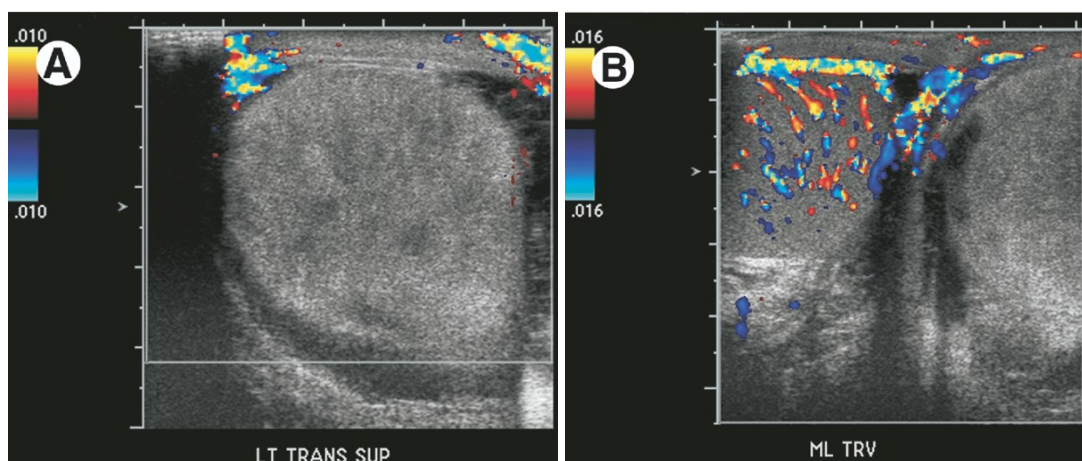


Abbildung 8: Zeichen einer Hodentorsion aus Lin et al. (2007)

A) Farbdoppler Untersuchung: Fehlender intertesticulärer Blutfluss. Vergrößerter Hoden und heterogene Echogenität
B) Schnittbild mit beiden Hoden. Fehlender Blutfluss im linken Hoden.

4.4.5 Berücksichtigte Studien zum Thema „Ultraschall in der Diagnostik der Hodentorsion“

Im folgenden Abschnitt werden die eingeschlossenen Studien zur Thematik des Ultraschalls in der Diagnostik der Hodentorsion beleuchtet. Tabelle 27 bietet eine Übersicht der Studien mit ihrer Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls.

Tabelle 26: Übersicht der inkludierten Studien mit Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls bei der Diagnostik der Hodentorsion

	Autor*innen	Patienten	Sensitivität	Spezifität
I	Friedman et al. (2019)	120	100 %	99,1 %
II	Boettcher et al. (2013)	104	91 %	87 %
III	Liang et al. (2013)	342	100 %	98,1 %
IV	Buch Kjeldgaard et al. (2024)	1566	95,4 %	95,6 %

I. Friedman et al. (2019)

Friedman, N., Pancer, Z., Savic, R., Tseng, F., Lee, M. S., McLean, L., Bagli, D. J., & Tessaro, M. O. (2019). Accuracy of point-of-care ultrasound by pediatric emergency physicians for testicular torsion. J Pediatr Urol, 15(6), 608.e601-608.e606.

Tabelle 27: Übersicht der Studiendaten aus Friedman et al. (2019)

Setting	The Hospital for Sick Children, Kanada
Fragestellung	Genauigkeit der Point-of-care (POCUS) Ultraschalluntersuchung bei Kindern mit Hodentorsion
Zielpopulation	N = 120, Mittleres Alter = 10 Jahre, Altersspanne = 0 - 18 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2015 - 2018

In dieser retrospektiven Studie wurde die Genauigkeit der POCUS-Untersuchung durch pädiatrische Notärzt*innen bei Kindern mit akutem Skrotum und Verdacht auf Hodentorsion untersucht. Es wurden 120 Patienten im Alter von 0 - 18 Jahren inkludiert, von denen zwölf Kinder eine Hodentorsion aufwiesen. Berechnet wurden die Sensitivität mit 100 %, die Spezifität mit 99,1 % sowie der PPV mit 92,3 %. Der NPV lag bei 100 %. Weitere Analysen wurden bezüglich der verschiedenen Differentialdiagnosen neben der Hodentorsion durchgeführt. Zudem wurde die Erfahrung mit Ultraschall der einzelnen Untersucher*innen verglichen. In einigen Fällen wurde zusätzlich zur POCUS-Untersuchung eine Ultraschalluntersuchung durch Radiolog*innen (RADUS) durchgeführt. Dabei wurde der Zeitunterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Untersuchungen evaluiert. Es zeigte sich, dass die POCUS-Übereinstimmung mit der endgültigen Diagnose je nach Erfahrungstand der POCUS-Anwender*innen variierte. Die POCUS-Untersuchung wies auch Unterschiede bei der Enddiagnose auf, wobei die Hodentorsion durch POCUS zu 100 % mit der finalen Diagnose übereinstimmte. Der POCUS konnte schneller Ergebnisse liefern

als der RADUS. Die Autor*innen weisen darauf hin, dass diese Ergebnisse die Zeit bis zur Operation in einigen Fällen verkürzen könnte.

Zusammengefasst sind die Autor*innen der Ansicht, dass der POCUS ein präzises Instrument für die Diagnose der Hodentorsion darstellt.

II. Boettcher et al. (2013)

Boettcher, M., Krebs, T., Bergholz, R., Wenke, K., Aronson, D., & Reinshagen, K. (2013). Clinical and sonographic features predict testicular torsion in children: a prospective study. *BJU Int*, 112(8), 1201-1206.

Tabelle 28: Übersicht der Studiendaten aus Boettcher et al. (2013)

Setting	Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Kinderkrankenhaus Altona, Deutschland
Fragestellung	Evaluation der klinischen und sonographischen Prädiktoren für die Hodentorsion bei Kindern mit akutem Skrotum
Zielpopulation	N = 104, Mittleres Alter = 10 Jahre, Altersspanne = 0 - 16 Jahre
Studiendesign	Prospektive Studie
Datenerfassung	2011 - 2012

Boettcher et al. (2013) analysieren in ihrer prospektiven Studie klinische und sonographische Prädiktoren bei der Diagnostik der Hodentorsion im Kindesalter. 104 Patienten im Alter von 0 - 16 Jahren, die sich mit einem akuten Skrotum in der Notaufnahme vorstellten, wurden mittels eines klinischen Scores und, wenn möglich, mit einem Ultraschall untersucht. Bei allen Patienten wurde eine operative Exploration durchgeführt. Von den 104 Patienten hatten zwölf Kinder eine Hodentorsion. Die Sensitivität, die Spezifität sowie der PPV wurden für die Ultraschalluntersuchung sowie für den klinischen Score erfasst. Wären die Patienten nur mit dem Ultraschall untersucht worden, wäre ein Patient mit Hodentorsion übersehen worden. Die Sensitivität des Ultraschalls lag bei 91 %, die Spezifität bei 87 % und die Genauigkeit bei 90 %. Der klinische Score wies eine Sensitivität von 100 %, eine Spezifität von 63 % und eine Genauigkeit von 66 % auf. Durch eine Kombination des klinischen Scores mit einer Duplex-Ultraschalluntersuchung könnte die negative Explorationsrate um 51 % reduziert werden. Deren Sensitivität lag bei 100 %, die Spezifität bei 57 % und die Genauigkeit bei 61 %.

Die Autor*innen fassen zusammen, dass der Ultraschall in erfahrenen Händen ein nützliches Instrument für die Diagnostik darstellt. Dennoch zeigen ihre Ergebnisse zur Sensitivität auf, dass keine zuverlässige Diagnose allein auf Grund der US-Untersuchung gestellt werden

kann. Nach Ansicht der Autor*innen soll bei einem positiven klinischen Score auf eine US-Untersuchung verzichtet werden, um so die Zeit bis zur Operation zu verkürzen und Kosten zu senken. Bei einem negativen Score sei der Ultraschall ein gutes Werkzeug zur weiteren Diagnosesicherung. Bei einer bestehenden Diskrepanz zwischen dem klinischen Score und dem Ultraschall-Befund sollten die Patienten einer chirurgischen Exploration unterzogen werden.

III. Liang et al. (2013)

Liang, T., Metcalfe, P., Sevcik, W., & Noga, M. (2013). Retrospective review of diagnosis and treatment in children presenting to the pediatric department with acute scrotum. *AJR Am J Roentgenol*, 200(5), W444-449.

Tabelle 29: Übersicht der Studiendaten aus Liang et al. (2013)

Setting	Stollery Children's Hospital (SCH), Kanada
Fragestellung	Bewertung der Genauigkeit des Ultraschalls und klinischer Prädiktoren bei Jungen mit Hodentorsion
Zielpopulation	N = 342, Mittleres Alter = 12,2 Jahre, Altersspanne = 1 Monat - 17 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2008 - 2011

Das Ziel dieser Studie lag in der Untersuchung der Genauigkeit von Ultraschalluntersuchungen sowie klinischer Prädiktoren im Rahmen einer Hodentorsion bei Kindern. In einer retrospektiven Analyse wurden bei 342 Jungen, die sich mit einem akuten Skrotum und Verdacht auf Hodentorsion im Krankenhaus vorstellten, die Ultraschallergebnisse, klinische Symptome und chirurgische Befunde evaluiert. Von den 342 Kindern im Alter zwischen 1 Monat bis 17 Jahren wiesen 35 Jungen eine Hodentorsion auf. Die Ultraschalluntersuchung zeigte eine Sensitivität von 100 %, eine Spezifität von 97,9 % und eine diagnostische Genauigkeit von 98,1 %. Der PPV lag bei 85,3 % und der NPV bei 100 %. Die FKDS-Untersuchung lieferte fünf falsch-positive Ergebnisse (1,9 %), jedoch kein falsch-negatives Resultat. In dieser Studie zeigte sich, dass ein fehlender Blutfluss in den Hoden für Torsionspatienten charakteristisch ist. Zudem konnte im Ultraschall eine verminderte und heterogene Echogenität sowie ein vergrößerter Skrotalumfang festgestellt werden. Darüber hinaus beobachteten die Autor*innen eine signifikant höhere Inzidenz eines verminderten Flusses im Nebenhoden bei Hodentorsionen. Zu den untersuchten klinischen Prädiktoren einer Hodentorsion gehören unter anderem ein akuter

Schmerzbeginn, Übelkeit, eine abnorme Lage des Hodens sowie ein Verlust des ipsilateraler Kremasterreflexes.

Die Autor*innen schließen aus ihren Ergebnissen, dass die FKDS-Untersuchung ein genaues Instrument zur Detektion einer Hodentorsion bei Jungen mit akutem Skrotum ist.

IV. Buch Kjeldgaard et al. (2024)

Buch Kjeldgaard, A., Kinder-Klausen, M. S., Nerstrøm, M., Cohen, J., Henriksen, B. M., & Thorup, J. M. (2024). The impact of ultrasound on testicular loss in cases of testicular torsion in children. *Pediatr Surg Int*, 40(1), 83.

Tabelle 30: Übersicht der Studiendaten aus Buch Kjeldgaard et al. (2024)

Setting	Copenhagen University Hospital, Dänemark
Fragestellung	Bewertung des Ultraschalls in der Diagnostik der Hodentorsion sowie dessen Einfluss auf die Rate der Orchiektomien
Zielpopulation	N = 1566, Mittleres Alter = 9,0 (± 4,5) Jahre, Altersspanne = 0 - 15 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2015 - 2019

In dieser Studie wurde anhand einer retrospektiven Analyse die Genauigkeit des Ultraschalls in der Diagnostik von Hodentorsionen sowie die Auswirkung des häufigen Einsatzes auf die Rate der Orchiektomien untersucht. Von den 1566 Jungen, die einen skrotalen Ultraschall erhielten, bestand bei 158 Patienten der Verdacht auf Hodentorsion. Bei passender Klinik erfolgte eine sofortige Operation. Waren die klinisch-pathologischen Befunde nicht eindeutig, wurde vorerst auf eine Operation verzichtet und die Patienten zu einem späteren Zeitpunkt reevaluiert. Die Ultraschalluntersuchung übersah bei vier Jungen die Hodentorsion und führte zu einer Fehldiagnose. Im Gesamten zeigte sich für den Ultraschall eine Sensitivität von 95,4 % und eine Spezifität von 95,6 %. Bezüglich der Auswirkung auf die Rate der Orchiektomien konnte kein signifikant erhöhter Hodenverlust verzeichnet werden. Die Ultraschalluntersuchung wirkte sich weder positiv noch negativ auf die anschließende Vorbereitungszeit für die Operation aus.

Die Autor*innen kommen überein, dass die Anwendung von Ultraschall bei Patienten mit Hodenschmerzen im klinischen Umfeld eingesetzt werden kann, ohne dass die Rate der Orchiektomien aufgrund einer Hodentorsion steigt. Mit diesem Vorgehen könnte einigen Patienten eine unnötige Operation erspart bleiben. Jedoch darf der Ultraschall die klinische Untersuchung in der Diagnostik der Hodentorsion nicht ersetzen.

4.5 Ovarialtorsion

4.5.1 Allgemeines

Die Eierstöcke (Ovarien) zählen zusammen mit den Eileitern (Tuba uterina, Salpinx) sowie der Gebärmutter (Uterus) und der Scheide (Vagina) zu den inneren Geschlechtsorganen der Frau. Sowohl die Eierstöcke als auch die Eileiter sind paarig angelegte Organe und werden gemeinsam als Adnexe des Uterus bezeichnet. Als weibliche Keimdrüse beinhaltet der Eierstock Follikel mit Eizellen und produziert verschiedene Hormone. Das Ovar liegt intraperitoneal seitlich der Beckenwand und zeigt ein abgeplattetes, länglich ovales Aussehen. Je nach Alter und Funktionszustand kann die Größe und Form variieren. Vor Eintritt der Pubertät ist das Ovar klein und weist eine glatte Oberfläche auf. Während der Pubertät bis hin zum Klimakterium wird der Eierstock größer und bekommt annähernd eine Länge von 3 - 4 cm, einer Breite von 1,5 - 2 cm und einer Dicke von 1 - 1,5 cm. Sein Gewicht kann bis zu 7 - 14 g betragen und er durchläuft verschiedene hormonabhängige Funktionsstadien. Ab der Menopause ist das Ovar wieder klein mit einer narbigen Oberfläche. Der Eileiter verbindet das Ovar mit dem Uterus und ist ungefähr 10 - 15 cm lang und 2 - 5 mm dick. (Anderhuber et al., 2012e)

Bei einer Ovarialtorsion kommt es zu einer vollständigen oder partiellen Verdrehung des Eierstockes an seinem Bandapparat. Verdreht sich der Eierstock zusammen mit dem Eileiter, ist die Rede von einer Adnextorsion. In seltenen Fällen kann es zu einer isolierten tubaren Torsion kommen. (Riccabona et al., 2017)

Die Ovarialtorsion ist ein eher seltenes Krankheitsbild in der Altersgruppe der Kinder. Im Jahr 2006 hat eine nationale US-amerikanische Kohortenstudie die Inzidenz auf 4,9 pro 100.000 geschätzt. (Guthrie et al., 2010)

Eine Ovarialtorsion kann in jedem Lebensalter auftreten, kommt jedoch häufiger nach der Menarche vor (Riccabona et al., 2017).

4.5.2 Ätiologie und Pathogenese

Die Ursache, beziehungsweise der Mechanismus, ist bisher noch nicht genau bekannt. Als Prädisposition für eine Torsion gilt ein beweglicher und vergrößerter Eierstock. Ein verlängertes Ovarialband bei prämenarchalen Mädchen, welches eine übermäßige Beweglichkeit ermöglicht, wird derzeit nur hypothetisch als Ursprung einer Torsion vermutet. Bekannte Risikofaktoren sind unter anderem Ovarialmassen und -zysten, das reproduktive Alter sowie eine Schwangerschaft oder frühere Ovarialtorsionen. Eine

Verdrehung des Ovars wird häufiger auf der rechten Seite beobachtet. Ein möglicher Grund dafür könnte sein, dass dort aufgrund des beweglichen Caecums und Ileums mehr Platz vorhanden ist. Im Gegensatz dazu ist auf der linken Seite das Sigma, welches fest und oft gefüllt ist. (Riccabona et al., 2017)

Durch die Verdrehung erfolgt zunächst eine mechanische Kompression der venösen Blutversorgung, was zu einem Ovarialödem und somit zu einer Vergrößerung des Eierstockes führt. Besteht die Torsion weiter, wird auch der arterielle Blutfluss beeinträchtigt. Dies führt schlussendlich zu einer Ischämie und Nekrose des Adnexgewebes. (Lourenco et al., 2014; Tasset et al., 2019)

4.5.3 Klinik und Komplikationen

Klinisch kann sich eine Ovarialtorsion durch ein akutes Auftreten von starken intermittierenden Unterbauchschmerzen präsentieren. Symptome wie Übelkeit und Erbrechen sowie eine Druckempfindlichkeit im Unterleib können begleitend auftreten. (Nur Azurah et al., 2015; Rossi et al., 2012)

Dennoch bleibt die Diagnose der Ovarialtorsion eine große Herausforderung, da sie sich mit unspezifischen Symptomen präsentiert. Sie ist schwer von anderen Erkrankungen wie einer akuten Appendizitis, einer rupturierten Ovarialzyste sowie einer Nierenkolik oder Gastroenteritis zu unterscheiden. (Nur Azurah et al., 2015)

Bei ausgeprägten Befunden kann es bis hin zu einem Schock oder einer Peritonitis kommen (Mayr & Fasching, 2018b). Im schlimmsten Fall kommt es zu einem Verlust der Adnexe (Lourenco et al., 2014; Tasset et al., 2019). Im Vergleich zur Hodentorsion dauert es bei der Ovarial- und Adnextorsion wesentlich länger, bis sie sich klinisch präsentiert und letztendlich diagnostiziert wird. Dies führt zusätzlich zu einer Verzögerung und erschwert die Behandlung. (Riccabona et al., 2017)

4.5.4 Allgemeine Diagnostik

Nur Azurah et al. (2015) bieten in ihrer Arbeit einen Überblick über die diagnostischen Möglichkeiten bei Verdacht auf eine Ovarialtorsion. Ein wichtiger Aspekt ist die Anamnese und klinische Untersuchung zur Evaluation der Symptome. Zur weiteren Differenzierung kann der Ultraschall verwendet werden. Laborparameter wie Urintest, Schwangerschaftstest und Blutbild können hilfreich beim Ausschluss anderer Erkrankungen sein. Besteht der Verdacht auf eine Tumorerkrankung ist die Bestimmung von Tumormarkern wie Alpha-

Fetoprotein (α FP), Beta- humanes Choriongonadotropin (β -HCG) sowie Cancer-Antigen (CA) 125 und CA19-9 indiziert. (Nur Azurah et al., 2015)

Für die Ultraschall-Untersuchung sollte ein Schallkopf mit möglichst hohen Frequenzen verwendet werden. Bei Neugeborenen eignet sich ein Frequenzspektrum von 10 - 18 MHz, bei Säuglingen 5 - 12 MHz und bei älteren Mädchen 2 - 8 MHz. Eine ausreichend gefüllte Blase kann hilfreich sein, wenn die Eierstöcke nicht gut darstellbar sind. (Riccabona et al., 2017)

Tabelle 32 gibt einen Überblick über mögliche sonographische Hinweise auf eine Ovarialtorsion, wie sie in der Literatur beschrieben werden.

Tabelle 31: Mögliche sonographische Zeichen einer Ovarialtorsion

Mögliche sonographische Zeichen einer Ovarialtorsion	
Vergrößertes Ovar	(Altmann & Staatz, 2024a; Hofmann et al., 2014; Riccabona et al., 2017; Servaes et al., 2007)
Erhöhte Echogenität des Ovars	(Riccabona et al., 2017)
Periphere kleine Zysten / Follikel	(Altmann & Staatz, 2024a; Riccabona et al., 2017)
Whirpool- / Spiral Sign	(Riccabona et al., 2017; Vijayaraghavan, 2004)
Freie Flüssigkeit um das Ovar oder im Douglas-Raum	(Hofmann et al., 2014; Riccabona et al., 2017)
Ggf. ovarielle oder paraovarielle Raumforderung	(Riccabona et al., 2017; Servaes et al., 2007)
Mediane Lage des Ovars	(Altmann & Staatz, 2024a; Hofmann et al., 2014)

Abbildungen 9 bildet ein mögliches sonographisches Aussehen einer Ovarialtorsion aus Riccabona et al. (2017) ab.

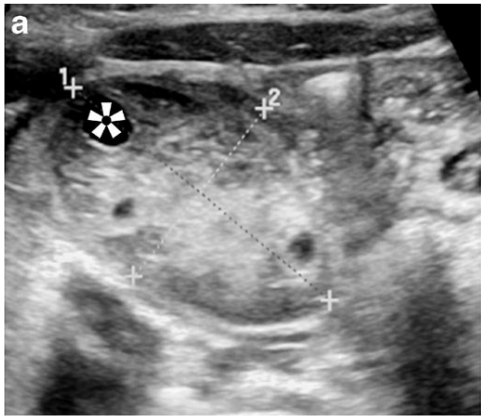


Abbildung 9: Darstellung einer Ovarialtorsion eines präpubertären Mädchens aus Riccabona et al. (2017)
Vergrößertes Ovar mit peripheren Follikeln (*)

4.5.5 Berücksichtigte Studien zum Thema „Ultraschall in der Diagnostik der Ovarialtorsion“

Dieser Abschnitt präsentiert die Ergebnisse und Studien zur Diagnostik der Ovarialtorsion anhand der Ultraschalluntersuchung. In Tabelle 33 sind die verwendeten Studien mit der jeweiligen Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls abgebildet.

Tabelle 32: Übersicht der inkludierten Studien mit Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls bei der Diagnostik der Ovarialtorsion

	Autor*innen	Patientinnen	Sensitivität	Spezifität
I	Jourjon et al. (2017)	65	90,9 %	68,7 %
II	Trinci et al. (2021)	20	94,1 % *	100 % *

*kontrastmittel-verstärkter Ultraschall (CEUS)

I. Jourjon et al. (2017)

Jourjon, R., Morel, B., Irtan, S., Audureau, E., Coulomb-L'Herminé, A., Larroquet, M., Ducou le Pointe, H., & Blondiaux, E. (2017). Analysis of Clinical and Ultrasound Determinants of Adnexal Torsion in Children and Adolescents. *J Pediatr Adolesc Gynecol*, 30(5), 582-590.

Tabelle 33: Übersicht der Studiendaten aus Jourjon et al. (2017)

Setting	Hospital Trousseau, Frankreich
Fragestellung	Bewertung des transabdominalen Ultraschalls für die Diagnose der Adnextorsion bei Kindern und Jugendlichen
Zielpopulation	N = 65, Mittleres Alter = 11,75 ($\pm$ 4,49) Jahre, Altersspanne = 3 Monate - 18 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2004 - 2014

Jourjon et al. (2017) haben in ihrer Studie die Ergebnisse der transabdominellen Ultraschalluntersuchung bei Kindern und Jugendlichen mit Verdacht auf eine Adnextorsion untersucht. Die Ultraschallbilder wurden retrospektiv von zwei erfahrenen Radiolog*innen beurteilt, die gegenüber den chirurgischen und pathologischen Daten verblindet waren. In die Studie wurden 65 Mädchen zwischen 3 Monaten und 18 Jahren inkludiert. Von den 65 Patientinnen wurde bei 33 eine Verdrehung der Adnexe beobachtet. Die Sonographie zeigte eine Genauigkeit von 80 %. Die Sensitivität betrug 90,9 %, die Spezifität 68,7 % und der PPV 75 %. Der NPV lag bei 88 %. Mithilfe des Ultraschalls konnte bei 30 von 33 Patientinnen eine Adnextorsion nachgewiesen werden. Bei 22 von 32 Mädchen konnte der

Ultraschall eine Verdrehung der Adnexe korrekt ausschließen. Die Evaluation der Ultraschall-Bilder lieferte zehn falsch-positive Fälle und drei falsch-negative Ergebnisse. Aussagekräftige Befund im Ultraschall waren ein ödematöses Stroma der Eierstöcke mit einer peripheren Verteilung von Follikeln sowie ein vergrößertes Ovar. Neben dem Ultraschall analysierte die Studie die klinischen Prädiktoren für eine Adnextorsion. Hierbei ergab sich, dass Erbrechen der einzige signifikante klinische Faktor zur Vorhersage einer Verdrehung der Adnexe ist. Ein plötzlicher Schmerzbeginn, Fieber sowie Entzündungszeichen sind laut Ergebnisse dieser Studie keine Prädiktoren für eine Adnextorsion.

Zusammenfassend sind die Autor*innen der Meinung, dass die Diagnose der Adnextorsion bei Kindern und Jugendlichen komplex ist. Der Ultraschall weist in ihrer Studie eine hohe Sensitivität, jedoch eine geringe Spezifität auf.

II. Trinci et al. (2021)

Trinci, M., Danti, G., Di Maurizio, M., Tursini, S., Briganti, V., Galluzzo, M., & Miele, V. (2021). Can contrast enhanced ultrasound (CEUS) be useful in the diagnosis of ovarian torsion in pediatric females? A preliminary monocentric experience. *J Ultrasound*, 24(4), 505-514.

Tabelle 34: Übersicht der Studiendaten aus Trinci et al. (2021)

Setting	San Camillo Forlanini Hospital, Italien
Fragestellung	Evaluation des diagnostischen Potentials des kontrastmittelverstärkten Ultraschalles kombiniert mit normalem Ultraschall und FKDS in der Diagnose der Ovarialtorsion bei Kindern
Zielpopulation	N = 20, Mittleres Alter = 12 Jahre, Altersspanne = 8 - 13 Jahre
Studiendesign	Retrospektive Studie
Datenerfassung	2018 - 2020

In der retrospektiven Studie von Trinci et al. (2021) wurde untersucht, ob eine Kombination aus konventionellem Ultraschall, FKDS und ergänzendem kontrastmittel-verstärkten Ultraschall (contrast enhanced ultrasound, CEUS) eine korrekte präoperative Diagnose einer Ovarialtorsion bei Kindern ermöglichen kann. Es wurden insbesondere die zusätzlichen diagnostischen Möglichkeiten des CEUS und dessen Limitationen in der Notfallsituation beleuchtet. Hierfür wurden 20 Mädchen im Alter zwischen 8 - 13 Jahren in die Studie inkludiert, die bei Verdacht einer Ovarialtorsion explorativ operiert wurden und zuvor mittels konventionellen Ultraschalls, FKDS sowie CEUS untersucht worden waren. Die

Ultraschalluntersuchungen wurden von zwei Radiolog*innen mit zehn-jähriger Erfahrung in Notfallultraschall sowie Ultraschall des Beckens durchgeführt. Die explorative Operation ergab bei 17 der 20 Mädchen die Diagnose einer Ovarialtorsion. Der Vergleich der chirurgischen Befunde mit den Resultaten der CEUS offenbarte 16 richtig positive, ein falsch negatives, null falsch positives und drei richtig negatives Ergebnis. Daraus ergab sich eine Sensitivität von 94,1 %, eine Spezifität von 100 % und eine Gesamtgenauigkeit von 95 %.

Die Autor*innen sind der Ansicht, dass eine kombinierte Diagnosestrategie aus US, CDUS sowie CEUS eine gute diagnostische Genauigkeit zum Ausschluss oder zur Bestätigung einer Ovarialtorsion in Zusammenschau der Klinik bietet. Insbesondere die CEUS hat gezeigt, dass sie die Diagnosesicherheit in der Notfallsituation erhöht kann.

5 Diskussion

Anhand einer Literaturrecherche wurden 23 Studien identifiziert, welche die Genauigkeit des Ultraschalls für ausgewählte Differentialdiagnosen des akuten Abdomens bei Kindern untersuchen und, soweit möglich, mit anderen bildgebenden Verfahren vergleichen. Im Folgenden werden die Ergebnisse präsentiert, diskutiert und abschließend zusammengefasst. Ziel ist es, die Eignung des Ultraschalls als primäre diagnostische Methode bei pädiatrischen Patient*innen mit akutem Abdomen zu beurteilen und Anregungen für den zukünftigen Einsatz zu geben.

Malrotation und Volvulus

Seit Langem zählt die MDP als Goldstandard in der Diagnostik der Malrotation und Volvulus (Stephens et al., 2012). Doch mit dem Fortschritt in der Ultraschalltechnologie stellt sich die Frage, ob die Ultraschalluntersuchung die MDP als bevorzugte diagnostische Methode ablösen kann. Zur Beantwortung dieser Frage und zur Erfassung der diagnostischen Genauigkeit des Ultraschalls wurden fünf Studien, davon drei retrospektive und zwei prospektive Studien, in diese Arbeit eingeschlossen und analysiert. Die Werte zu Sensitivität und Spezifität der Studien variieren von 86,5 % - 100 % sowie von 74,7 % - 100 %. Die Ergebnisse zeigen, dass eine gewisse Schwankung der diagnostischen Genauigkeit des Ultraschalls zur Evaluation einer Malrotation und Volvulus bei Kindern vorliegt. Wird die Studie von Orzech et al. (2006) ausgeklammert, so verbessert sich die Reichweite der Sensitivität auf 93,8 % - 100 % und die Spezifität auf 88,9 % - 100 %. Ein möglicher Grund für die geringere diagnostische Genauigkeit in der Studie von Orzech et al. (2006) mit einer Sensitivität von 86,5 % und Spezifität von 74,7 % könnte darin liegen, dass der Ultraschall als Screening Methode verwendet wurde, bei der auch asymptomatische Patient*innen mit auffälliger Lage der VMS zur AMS eingeschlossen wurden. Binu et al. (2021) und Karaman et al. (2018) zeigen mit einer Sensitivität von 100 % und 93,8 % sowie einer Spezifität von je 100 % sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der diagnostischen Genauigkeit des Ultraschalls. Besonders bei Karaman et al. (2018) wird deutlich, dass die MDP eine signifikante Anzahl an falschen Ergebnissen liefert, was die Verwendung des Ultraschalls zusätzlich unterstützt. Auch Zouh et al. (2015) weisen mit ihrer prospektiven Studie eine hervorragende diagnostische Genauigkeit des Ultraschalls mit einer Sensitivität von 100 % und einer Spezifität von 97,9 % auf. Die Studie von Zhang et al. (2017) betrachtet spezifisch einzelne sonographischen Zeichen einer Malrotation und Volvulus und beschreiben eine

hervorragende Sensitivität und Spezifität für die VMS / AMS-Inversion (100 %, 100 %) sowie eine hohe Sensitivität und Spezifität des „Whirpool-Sign“ (95,2 %, 88,9 %). Dabei ist das „Whirpool-Sign“ etwas weniger präzise als die Darstellung einer VMS / AMS-Inversion. Es ist wichtig anzumerken, dass die Ergebnisse dieser Untersuchung nur für Säuglinge anwendbar sind, da die Studienpopulation auf diese Altersgruppe beschränkt wurde. Die ausgezeichneten Werte zur Sensitivität und Spezifität der VMS / AMS-Inversion (100 % und 97,5 %) und des „Whirpool-Sign“ (95,6 % und 95,7 %) bei Zouh et al. (2015) deuten zusätzlich auf eine sichere Anwendbarkeit des Ultraschalls hin. Im Gegensatz dazu fallen die Sensitivität und Spezifität der beiden sonographischen Zeichen bei Orzech et al. (2006) niedriger aus. Die VMS / AMS-Inversion weist lediglich eine Sensitivität von 71,4 % und eine Spezifität von 89 % auf. Das „Whirpool-Sign“ ist auf der einen Seite mit einer Spezifität von 99 % gut geeignet, um eine Malrotation mit Volvulus auszuschließen, auf der anderen Seite liegt die Sensitivität jedoch lediglich bei 45,5 %. Trotz der Ergebnisse aus der Studie von Orzech et al. (2006) kann dennoch festgehalten werden, dass die eingeschlossenen Studien eine positive Tendenz bezüglich der Ultraschallanwendung aufzeigen.

Generell ist zu beachten, dass das retrospektive Design einiger Studien zu einem gewissen Grad einen Bias verursachen kann. Des Weiteren ist durch die geringe Anzahl an Proband*innen in allen Studien die Generalisierbarkeit der Resultate einschränkt. Dennoch zeichnet sich ab, dass der Ultraschall zunehmend als sicheres und genaues Instrument zur Erfassung einer Malrotation und Volvulus verwendet werden kann. Zur besseren Beurteilung, vor allem der einzelnen sonographischen Zeichen, sind weitere groß angelegte prospektive Studien von Nutzen.

Invagination

Für die Beurteilung des Ultraschalls zur Diagnostik der Invagination bei Kindern wurden sieben Studien berücksichtigt. Drei der Studien weisen ein prospektives und vier der Studien ein retrospektives Studiendesign auf. Die Sensitivität des Ultraschalls variiert zwischen 85 % - 100 %, während die Reichweite der Spezifität bei 50 % - 99 % liegt. Die drei retrospektiven Studien von Hryhorczuk & Strouse (2009), Lam et al. (2014) und Trigylidas et al. (2019) bieten alle hervorragende Werte zur Sensitivität (97,9 %, 100 %, 96 %) und Spezifität (97,8 %, 94 %, 92,6 %). Lam et al. (2014) und Trigylidas et al. (2019) zeigen zudem, dass der Ultraschall auch bei Anwendung unerfahrener Untersucher*innen ein sicheres und genaues Instrument zur Erfassung einer Invagination darstellt. In der Studie von Hryhorczuk & Strouse (2009) konnte nicht nur eine hohe diagnostische Genauigkeit des

Ultraschalls nachgewiesen werden, sondern auch dessen Fähigkeit, andere Ursachen jenseits einer Invagination zu identifizieren. Niedrigere Werte zur Sensitivität (87 %) und Spezifität (50 %) finden sich in der retrospektiven Studie von Usang et al. (2013). Als mögliche Ursache vermuten die Autor*innen, dass einige Ultraschalluntersuchungen von unerfahrenen Untersucher*innen durchgeführt wurden. Die Studie zeichnet sich zudem durch eine sehr geringe Stichprobengröße aus und enthält keine Informationen zu den verwendeten Ultraschallgeräten, die in einem Entwicklungsland möglicherweise nicht den hier vorhandenen Standards entsprechen. Im Gegensatz dazu weisen die drei prospektiven Studien von Justice et al. (2007), Riera et al. (2012) und Arroyo et al. (2021) eine hohe Sensitivität (97,5 %, 85 %, 89 %) und Spezifität (99 %, 97 %, 98 %) auf. Die großangelegte Studie von Justice et al. (2007) zeigt eine gute Generalisierbarkeit für Kinder unter 2 Jahren mit Verdacht auf Invagination und verdeutlicht, dass erfahrene Untersucher*innen hervorragend eine Invagination mithilfe des Ultraschalls diagnostizieren können. Riera et al. (2012) und Arroyo et al. (2021) erzielen hohe Werte zur Sensitivität und Spezifität und zeigen dabei, dass auch unerfahrene Untersucher*innen eine Invagination bei Kindern anhand eines Ultraschalls sicher und genau erfassen können.

Die Ergebnisse der eingeschlossenen Studien bezüglich der Ultraschalldiagnostik der Invagination im Kindesalter unterstreichen die Bedeutung des Ultraschalls als eine wertvolle und zuverlässige Untersuchungsmethode. Insgesamt zeigen die Studien, dass der Ultraschall sowohl in der radiologischen Abteilung als auch direkt am Krankenbett, selbst bei weniger erfahrenen Untersucher*innen, die Entscheidungsfindung erheblich erleichtern und als erste bildgebende Maßnahme eingesetzt werden kann.

Appendizitis

Insgesamt erfüllen fünf Studien die Einschlusskriterien zur Erfassung der diagnostischen Genauigkeit des Ultraschalls bei Kindern mit Verdacht auf eine Appendizitis. Die Sensitivität der zwei retrospektiven und drei prospektiven Studien liegt im Bereich von 72,5 % - 94,2 %, die Werte der Spezifität variieren zwischen 78 % - 97,5 %. Sowohl bei der Sensitivität als auch bei der Spezifität der einzelnen Studien ist eine gewisse Schwankung erkennbar. Thirumoorathi et al. (2012) erfassen in ihrer Arbeit hervorragende Werte zur Sensitivität (94,2 %) und Spezifität (97,5 %). Es muss jedoch beachtet werden, dass hier der Ultraschall als erste Untersuchungsmethode eingesetzt wurde, gefolgt von einer selektiven CT-Untersuchung bei unklaren US-Befunden. Auf der einen Seite erklärt diese Vorgehensweise die hohen Werte zur Sensitivität und Spezifität, auf der anderen Seite ist zu

betonen, dass bei 80 % die Diagnose allein durch den Ultraschall gestellt werden konnte. Ghani et al. (2022) und Mittal et al. (2013) berichten über ähnliche Werte zur Sensitivität (74 %, 72,5 %) und Spezifität (92 %, 97 %) in ihren jeweiligen Arbeiten. In beiden Studien ist die Sensitivität im Verhältnis niedrig, während die Spezifität als ausgezeichnet bewertet werden kann. Bei Ghani et al. (2022) sind ausschließlich Kinder mit einem geringen bis moderaten Risiko für eine Appendizitis in die Studie inkludiert worden, was möglicherweise zu der festgestellten niedrigen Sensitivität beiträgt. Mittal et al. (2013) haben in Ihrer Arbeit mehrere Standorte für die Bewertung des Ultraschalls berücksichtigt. Obwohl die durchschnittliche Sensitivität aller Standorte insgesamt niedriger ausfiel, zeigte sich bei der individuellen Betrachtung der einzelnen Standorte, dass die Sensitivität je nach Häufigkeit der Anwendung und Erfahrung der Untersucher*innen zunimmt. Zudem stieg die Sensitivität bei spezifischer Darstellung des normalen oder pathologischen Appendix stark an. Beide Studien weisen eine exzellente Spezifität auf, wodurch eine zuverlässige Ausschlussdiagnostik der Appendizitis ermöglicht werden kann. In der Studie von Thieme et al. (2012) wird neben dem Ultraschall auch die Verwendung des MRTs analysiert. Im Vergleich verbessert sich die Sensitivität von 76 % bei alleiniger US-Untersuchung auf 100 %, wenn der Ultraschall mit einer nachfolgenden MRT-Untersuchung kombiniert wird. Die Studie konnte zudem zeigen, dass das MRT die Compliance der Patient*innen nicht beeinträchtigt. Dennoch bleiben die Fragen der Kosteneffizienz und der Notwendigkeit eines*einer erfahrenen Radiolog*in für die Auswertung bestehen. Potenzielle technologische Innovationen, eine Verkürzung der Untersuchungsdauer sowie eine kosteneffizientere Nutzung könnten in Zukunft die Rolle des MRTs in der Diagnostik der Appendizitis verändern. Ob solche technischen Fortschritte realisiert werden können, bleibt abzuwarten und erfordert weitere umfangreiche prospektive Studien.

Die Sensitivität und Spezifität des Ultraschalls in der Studie von Pastore et al. (2014) wurde mit 79 % und 78 % niedriger bewertet. Es zeigt sich jedoch, dass bei einer zweiten nachfolgenden Ultraschalluntersuchung bei sechs von zehn Kindern eine Appendizitis festgestellt werden konnte.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die Anwendung des Ultraschalls zur Diagnostik einer Appendizitis Erfahrung erfordert. Der Ultraschall kann als primäre bildgebende Untersuchungsmethode eingesetzt werden, sollte jedoch bei unklaren Befunden durch eine zweite Ultraschall-Untersuchung oder eine CT-Untersuchung ergänzt werden.

Hodentorsion

Die Ultraschalldiagnostik wird derzeit als Goldstandard zur Abklärung einer Hodentorsion im Kindesalter angesehen, da sie unter anderem kostengünstig und schnell verfügbar ist (Boettcher & Reinshagen, 2013). Zur Beurteilung des Stellenwertes des Ultraschalls und zur Bestätigung seiner Verwendung als Goldstandard wurden insgesamt vier Studien eingeschlossen, darunter drei retrospektive und eine prospektive Studie. Die Sensitivität der Studien liegt im Bereich von 91 % - 100 % und die Spezifität variiert zwischen 87 % - 99,1 %. Die drei retrospektiven Studien von Friedman et al. (2019), Liang et al. (2013) und Buch Kjeldgaard et al. (2024) weisen alle exzellente Werte zur Sensitivität (100 %, 100 %, 95,4 %) und Spezifität (99,1 %, 98,1 %, 95,6 %) auf. Friedmann et al. (2019) verdeutlichen in ihrer Arbeit, dass die Durchführung des POCUS eine vergleichbare Genauigkeit und Sicherheit liefert, wie die Anwendung des Ultraschalls in der radiologischen Abteilung. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass durch den Einsatz des Ultraschalls direkt am Krankenbett nicht nur wertvolle Zeit gespart werden kann, sondern auch sichere Resultate erzielt werden können. In der Studie von Buch Kjeldgaard et al. (2024) ist zudem erkennbar, dass der Einsatz von Ultraschall die Rate an Orchiektomien nicht erhöht. Boettcher et al. (2013) weisen in ihrer Arbeit hohe Werte zur Sensitivität (91 %) und Spezifität (87 %) auf, die jedoch im Vergleich mit den anderen drei Studien etwas niedriger ausfallen. Diese Ergebnisse könnten möglicherweise durch die kleine Studienpopulation beeinflusst worden sein.

In Zusammenschau der Ergebnisse zeigt sich, dass der Ultraschall eine wesentliche Rolle in der Diagnostik der Hodentorsion bei Kindern spielt. Er erweist sich als sichere und präzise Untersuchungsmethode und bietet den Vorteil, direkt am Krankenbett angewendet werden zu können.

Ovarialtorsion

Die diagnostische Genauigkeit des Ultraschalls wurde anhand der zwei retrospektiven Studien von Jourjon et al. (2017) und Trinci et al. (2021) untersucht, welche eine Sensitivität von 90,9 % und 94,1 % sowie einer Spezifität von 68,7 % und 100 % aufweisen. In der Studie von Jourjon et al. (2017) wird einerseits eine hohe Sensitivität festgestellt, während andererseits die Spezifität sehr niedrig ausfällt. Dies verdeutlicht die Komplexität in der Diagnose der Ovarialtorsion mittels Ultraschalls, da Kinder mit vorhandener Ovarialtorsion durchaus erkannt werden können, eine Ovarialtorsion jedoch nicht sicher ausgeschlossen werden kann. Im Gegensatz dazu präsentieren Trinci et al. (2021) hervorragende Werte

hinsichtlich der Sensitivität und Spezifität. Diese Ergebnisse lassen sich möglicherweise auf die kombinierte Verwendung von konventionellem Ultraschall, FKDS und ergänzendem kontrastmittel-verstärkten Ultraschall zurückführen.

Beide Studien weisen eine sehr kleine Studienpopulation auf, was zu einer fehlenden Repräsentation für die Allgemeinheit führt. Das retrospektive Design birgt zudem ein gewisses Risiko für einen Bias. Mit lediglich zwei Studien, die den definierten Einschlusskriterien entsprechen, ist es schwierig, eine verlässliche Aussage über die diagnostische Genauigkeit des Ultraschalls zu treffen. Darüber hinaus wurden ausschließlich Studien berücksichtigt, die den transabdominellen Ultraschall untersuchen, sodass die Genauigkeit des transvaginalen Ultraschalls nicht analysiert werden konnte. In der Arbeit von Trinci et al. (2021) zeigt sich der kontrastmittel-verstärkte Ultraschall als vielversprechend zur Diagnostik der Ovarialtorsion. Zukünftige großangelegte prospektive Studien könnten einen weiteren Beitrag zur Verbesserung der Diagnostik der Ovarialtorsion liefern. Für den transabdominellen Ultraschall ist weitere Forschung erforderlich, um seine diagnostische Genauigkeit umfassend zu evaluieren.

Abschließend zeigen die Ergebnisse, dass der Ultraschall bei der Diagnostik bestimmten Krankheitsbildern, wie beispielsweise der Invagination, eine hervorragende Sicherheit und Genauigkeit aufweist. Im Gegensatz dazu erfordert die Anwendung des Ultraschalls bei anderen Erkrankungen, wie der Ovarialtorsion, noch weitere Forschung zur qualitativen Evaluation.

Limitation

Die vorliegende Arbeit weist einige Limitationen auf. Aufgrund der eingeschränkten Zugänglichkeit und begrenzter Ressourcen konnten mehrere Studien nicht in Beurteilung einbezogen werden. Durch die vorgegebenen Rahmenbedingungen dieser Diplomarbeit erfolgte eine Fokussierung auf fünf spezifische Krankheitsbilder, wodurch nicht alle potenziellen Ursachen des akuten Abdomens berücksichtigt werden konnten. Diese genannten Punkte bedingen, dass eine vollständige Betrachtung der Thematik nicht gewährleistet werden kann und die Aussagekraft bezüglich des Stellenwerts des Ultraschalls in der Diagnostik des akuten Abdomens eingeschränkt ist. Über nicht behandelten Erkrankungen kann daher keine Aussage getroffen werden. Des Weiteren erfüllen einige Studien nicht die spezifischen Einschlusskriterien dieser Arbeit, dennoch existieren weitere aktuelle Studien zu diesem Thema, auf die jedoch nicht eingegangen werden konnte.

6 Ausblick

Wie bereits einleitend erwähnt, stellt der Ultraschall insbesondere bei Kindern eine leicht verfügbare sowie strahlenfreie Untersuchungsmethode dar (Riccabona, 2014). Diese Vorteile machen den Ultraschall sehr attraktiv für die Diagnostik unterschiedlicher Erkrankungen. Daher ist und bleibt der Ultraschall auch zukünftig eine wichtige Untersuchungsmethode in der Pädiatrie. Für die Diagnostik des akuten Abdomens bei Kindern zeichnet sich bereits jetzt ein positiver Trend zur verstärkten Verwendung des Ultraschalls ab.

Zukünftige Forschungsarbeiten sollten sich weiterhin mit dieser Thematik auseinandersetzen und die Optimierung der Ultraschalldiagnostik vorantreiben. Die Verwendung des Ultraschalls über seine Standardverfahren hinaus, kann vielfältige Vorteile mit sich bringen. Die Arbeit von Hwang et al. (2019) bietet einen Überblick über die neuesten Fortschritte in der anatomischen und funktionellen Ultraschalltechnik. Diese Entwicklungen können maßgeblich zu einer Erweiterung des diagnostischen und therapeutischen Potentials der Sonographie beitragen. Neben dem CEUS werden in diesem Artikel die Elastographie sowie die Anwendung des 3D- und 4D-Ultraschalls behandelt. Ebenso werden der Ultrafast-Doppler (UfD) und der Hochfrequenz-Ultraschall betrachtet. Solche innovativen Ansätze könnten die diagnostische Präzision weiter erhöhen und den klinischen Nutzen des Ultraschalls erweitern.

Durch die kontinuierliche Durchführung wissenschaftlicher Studien sowie durch die Verbesserung technischer Möglichkeiten, kann der Einsatz des Ultraschalls optimiert und seine Rolle in der klinischen Praxis gestärkt werden.

Literaturverzeichnis

- Aboagye, J., Goldstein, S. D., Salazar, J. H., Papandria, D., Okoye, M. T., Al-Omar, K., Stewart, D., Lukish, J., & Abdullah, F. (2014). Age at presentation of common pediatric surgical conditions: Reexamining dogma. *J Pediatr Surg*, 49(6), 995-999. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2014.01.039>
- Addiss, D. G., Shaffer, N., Fowler, B. S., & Tauxe, R. V. (1990). The epidemiology of appendicitis and appendectomy in the United States. *Am J Epidemiol*, 132(5), 910-925. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a115734>
- Aldrich, J. E. (2007). Basic physics of ultrasound imaging. *Crit Care Med*, 35(5 Suppl), S131-137. <https://doi.org/10.1097/01.Ccm.0000260624.99430.22>
- Altmann, S., & Staatz, G. (2024a). Pädiatrische Sonographie. In T. Fischer & C. Jenssen (Eds.), *Ultraschalldiagnostik. Kompendium und Atlas* (5 ed., pp. 115). begründet von Braun, B., Schwark, W. B., Günther, R. ecomed Medizin.
- Altmann, S., & Staatz, G. (2024b). Pädiatrische Sonographie. In T. Fischer & C. Jenssen (Eds.), *Ultraschalldiagnostik. Kompendium und Atlas* (5 ed., pp. 72). begründet von Braun, B., Schwark, W. B., Günther, R. ecomed Medizin.
- Anand, U., Kumar, R., Priyadarshi, R. N., Kumar, B., Kumar, S., & Singh, V. P. (2018). Comparative study of intestinal malrotation in infant, children, and adult in a tertiary care center in India. *Indian J Gastroenterol*, 37(6), 545-549. <https://doi.org/10.1007/s12664-018-0914-1>
- Anderhuber, F., Filler, J. T., Pera, F., & Peuker, T. E. (2012a). 5 Innere Organe in Thorax, Abdomen und Becken. In F. Anderhuber, F. Pera, & J. Streicher (Eds.), *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band* (19 ed., pp. 512). De Gruyter.
- Anderhuber, F., Filler, J. T., Pera, F., & Peuker, T. E. (2012b). 5 Innere Organe in Thorax, Abdomen und Becken. In F. Anderhuber, F. Pera, & J. Streicher (Eds.), *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band* (19 ed., pp. 580). De Gruyter.
- Anderhuber, F., Filler, J. T., Pera, F., & Peuker, T. E. (2012c). 5 Innere Organe in Thorax, Abdomen und Becken. In F. Anderhuber, F. Pera, & J. Streicher (Eds.), *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band* (19 ed., pp. 680-682). De Gruyter.
- Anderhuber, F., Filler, J. T., Pera, F., & Peuker, T. E. (2012d). 5 Innere Organe in Thorax, Abdomen und Becken. In F. Anderhuber, F. Pera, & J. Streicher (Eds.), *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band* (19 ed., pp. 570). De Gruyter.
- Anderhuber, F., Filler, J. T., Pera, F., & Peuker, T. E. (2012e). 5 Innere Organe in Thorax, Abdomen und Becken. In F. Anderhuber, F. Pera, & J. Streicher (Eds.), *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band* (19 ed., pp. 635, 639-641). De Gruyter.
- Applegate, K. E., Anderson, J. M., & Klatte, E. C. (2006). Intestinal malrotation in children: a problem-solving approach to the upper gastrointestinal series. *Radiographics*, 26(5), 1485-1500. <https://doi.org/10.1148/rg.265055167>
- Arroyo, A. C., Zerzan, J., Vazquez, H., Dickman, E., Likourezos, A., Hossain, R., & Bonadio, W. (2021). Diagnostic Accuracy of Point-Of-Care Ultrasound for Intussusception Performed by Pediatric Emergency Medicine Physicians. *J Emerg Med*, 60(5), 626-632. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2020.11.030>

- Balachandran, B., Singhi, S., & Lal, S. (2013). Emergency management of acute abdomen in children. *Indian J Pediatr*, 80(3), 226-234. <https://doi.org/10.1007/s12098-013-0991-1>
- Becker, T., Kharbanda, A., & Bachur, R. (2007). Atypical clinical features of pediatric appendicitis. *Acad Emerg Med*, 14(2), 124-129. <https://doi.org/10.1197/j.aem.2006.08.009>
- Binu, V., Nicholson, C., Cundy, T., Gent, R., Piotto, L., Taranath, A., & Goh, D. W. (2021). Ultrasound imaging as the first line of investigation to diagnose intestinal malrotation in children: Safety and efficacy. *J Pediatr Surg*, 56(12), 2224-2228. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2021.04.009>
- Bleck, J. S. (2012). Grundlagen der Sonographie und deren Relevanz für die Innere Medizin. *Internist (Berl)*, 53(3), 251-260. <https://doi.org/10.1007/s00108-011-2955-8>
- Boehm, R. (2013). Leistenhernie, Hodenhochstand und Hodentorsion. In K.-W. Jauch, W. Mutschler, J. N. Hoffmann, & K.-G. Kanz (Eds.), *Chirurgie Basisweiterbildung. In 100 Schritten durch den Common Trunk* (2 ed., pp. 329). Springer Verlag.
- Boettcher, M., Bergholz, R., Krebs, T. F., Wenke, K., & Aronson, D. C. (2012). Clinical predictors of testicular torsion in children. *Urology*, 79(3), 670-674. <https://doi.org/10.1016/j.urology.2011.10.041>
- Boettcher, M., Krebs, T., Bergholz, R., Wenke, K., Aronson, D., & Reinshagen, K. (2013). Clinical and sonographic features predict testicular torsion in children: a prospective study. *BJU Int*, 112(8), 1201-1206. <https://doi.org/10.1111/bju.12229>
- Boettcher, M., & Reinshagen, K. (2013). Akutes Skrotum bei Kindern. *Padiatrische Praxis*, 81.
- Buch Kjelgaard, A., Kinder-Klausen, M. S., Nerstrøm, M., Cohen, J., Henriksen, B. M., & Thorup, J. M. (2024). The impact of ultrasound on testicular loss in cases of testicular torsion in children. *Pediatr Surg Int*, 40(1), 83. <https://doi.org/10.1007/s00383-024-05663-7>
- Bundy, D. G., Byerley, J. S., Liles, E. A., Perrin, E. M., Katznelson, J., & Rice, H. E. (2007). Does this child have appendicitis? *Jama*, 298(4), 438-451. <https://doi.org/10.1001/jama.298.4.438>
- Burnett, E., Kabir, F., Van Trang, N., Rayamajhi, A., Satter, S. M., Liu, J., Yousafzai, M. T., Anh, D. D., Basnet, A. T., Flora, M. S., Hought, E., Qazi, S. H., Canh, T. M., Rayamajhi, A. K., Saha, B. K., Saddal, N. S., Muneer, S., Hung, P. H., Islam, T., . . . Parashar, U. D. (2020). Infectious Etiologies of Intussusception Among Children <2 Years Old in 4 Asian Countries. *J Infect Dis*, 221(9), 1499-1505. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiz621>
- Delaney, L. R., & Karmazyn, B. (2013). Ultrasound of the pediatric scrotum. *Semin Ultrasound CT MR*, 34(3), 248-256. <https://doi.org/10.1053/j.sult.2012.11.010>
- Dick, W. (1952). Über den Begriff „Akutes Abdomen“. *Dtsch Med Wochenschr*, 77(9), 257-259. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1115930>
- Edwards, E. A., Pigg, N., Courtier, J., Zapala, M. A., MacKenzie, J. D., & Phelps, A. S. (2017). Intussusception: past, present and future. *Pediatr Radiol*, 47(9), 1101-1108. <https://doi.org/10.1007/s00247-017-3878-x>
- Egger, S., Heinz-Erian, P., Fankhauser, M., & Müller, T. (2010). Akutes Abdomen aus pädiatrischer Sicht. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 158(7), 695-704.
- Einhaus, F., & Greim, C. A. (2015). Allgemeine Grundlagen der Sonographie, Teil 1. Physikalische Prinzipien, bildgebende und Dopplerverfahren. *Anaesthesist*, 64(10), 795-806. <https://doi.org/10.1007/s00101-015-0096-5>

- Ellerkamp, V., & Nagel, C. (2021). *Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Kinderchirurgie: Invagination (S I- Leitlinie)*. AWMF online. Retrieved 17.05.2024 from https://register.awmf.org/assets/guidelines/006-0271_S1_Invagination_2021-12.pdf
- Escolano, S., Mueller, J. E., & Tubert-Bitter, P. (2020). Accounting for indirect protection in the benefit-risk ratio estimation of rotavirus vaccination in children under the age of 5 years, France, 2018. *Euro Surveill*, 25(33). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.Es.2020.25.33.1900538>
- Fasching, G., & Mayr, J. (2018a). Akute Appendizitis. In J. Mayr & G. Fasching (Eds.), *Akutes Abdomen im Kindes- und Jugendalter. Grundlagen - Diagnose - Erstversorgung - Therapie* (pp. 180). Springer-Verlag.
- Fasching, G., & Mayr, J. (2018b). Invagination. In J. Mayr & G. Fasching (Eds.), *Akutes Abdomen im Kindes- und Jugendalter. Grundlagen - Diagnose - Erstversorgung - Therapie* (pp. 170). Springer-Verlag.
- Friedman, N., Pancer, Z., Savic, R., Tseng, F., Lee, M. S., McLean, L., Bagli, D. J., & Tessaro, M. O. (2019). Accuracy of point-of-care ultrasound by pediatric emergency physicians for testicular torsion. *J Pediatr Urol*, 15(6), 608.e601-608.e606. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2019.07.003>
- Garel, C., Blouet, M., Belloy, F., Petit, T., & Pelage, J. P. (2016). Diagnosis of pediatric gastric, small-bowel and colonic volvulus. *Pediatr Radiol*, 46(1), 130-138. <https://doi.org/10.1007/s00247-015-3445-2>
- gesundheitsinformation.de. (2020). *Wie funktioniert eine Ultraschalluntersuchung?* Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen (IQWiG). Retrieved 05.03.2024 from <https://www.gesundheitsinformation.de/wie-funktioniert-eine-ultraschalluntersuchung.html>
- Gfroerer, S., Fiegel, H., & Rolle, U. (2009). Invagination. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 157, 917-924. <https://doi.org/10.1007/s00112-009-2048-0>
- Ghani, R., O'Connor, A., Sajid, I., Johnson, G., & Ullah, S. (2022). Diagnostic accuracy of ultrasound in the paediatric population with acute right iliac fossa pain, our District General Hospital experience. *Ulster Med J*, 91(1), 26-29. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8835414/pdf/umj-91-01-26.pdf>
- Gil, L. A., Deans, K. J., & Minneci, P. C. (2023). Appendicitis in Children. *Adv Pediatr*, 70(1), 105-122. <https://doi.org/10.1016/j.yapd.2023.03.003>
- Gillman, L. M., & Kirkpatrick, A. W. (2012). Portable bedside ultrasound: the visual stethoscope of the 21st century. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 20(1), 18. <https://doi.org/10.1186/1757-7241-20-18>
- Gongidi, P., & Bellah, R. D. (2017). Ultrasound of the pediatric appendix. *Pediatr Radiol*, 47(9), 1091-1100. <https://doi.org/10.1007/s00247-017-3928-4>
- Grundmann, R. T., Petersen, M., Lippert, H., & Meyer, F. (2010). Das akute (chirurgische) Abdomen - Epidemiologie, Diagnostik und allgemeine Prinzipien des Managements. *Z Gastroenterol*, 48(6), 696-706. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1245303>
- Günther, P., & Rübben, I. (2012). The acute scrotum in childhood and adolescence. *Dtsch Arztebl Int*, 109(25), 449-457; quiz 458. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2012.0449>
- Günther, P., & Schenk, J. P. (2006). Hodentorsion: Diagnose, Differenzialdiagnose und Therapie im Kindesalter. *Radiologe*, 46(7), 590-595. <https://doi.org/10.1007/s00117-005-1256-4> (Hodentorsion: Diagnose, Differenzialdiagnose und Therapie im Kindesalter.)

- Guthrie, B. D., Adler, M. D., & Powell, E. C. (2010). Incidence and trends of pediatric ovarian torsion hospitalizations in the United States, 2000-2006. *Pediatrics*, 125(3), 532-538. <https://doi.org/10.1542/peds.2009-1360>
- Haber, P., & Hofmann, V. (2014). 12 Magen-Darm-Trakt. In K.-H. Deeg, V. Hofmann, & P. F. Hoyer (Eds.), *Ultraschalldiagnostik in Pädiatrie und Kinderchirurgie. Lehrbuch und Atlas* (4 ed., pp. 769 & 772). Thieme Verlag.
- Hauser, H. (2016). Definition des akuten Abdomens. In H. Hauser, H. J. Buhr, & H.-J. Mischinger (Eds.), *Akutes Abdomen: Diagnose - Differenzialdiagnose - Erstversorgung - Therapie* (pp. 4). Springer-Verlag.
- Hofer, M. (2018). *Sono Grundkurs. Ein Arbeitsbuch für den Einstieg* (9 ed.). Thieme Verlag.
- Hofmann, V., & Deeg, K.-H. (2014a). 19 Männliche Genitale. In K.-H. Deeg, V. Hofmann, & P. F. Hoyer (Eds.), *Ultraschalldiagnostik in Pädiatrie und Kinderchirurgie. Lehrbuch und Atlas* (4 ed., pp. 1045-1047). Thieme Verlag.
- Hofmann, V., & Deeg, K.-H. (2014b). 19 Männliche Genitale. In K.-H. Deeg, V. Hofmann, & P. F. Hoyer (Eds.), *Ultraschalldiagnostik in Pädiatrie und Kinderchirurgie. Lehrbuch und Atlas* (4 ed., pp. 1060). Thieme Verlag.
- Hofmann, V., Haber, P., & Gaßner, I. (2014). 18 Weibliches Genitale. In K.-H. Deeg, V. Hofmann, & P. F. Hoyer (Eds.), *Ultraschalldiagnostik in Pädiatrie und Kinderchirurgie. Lehrbuch und Atlas* (4 ed., pp. 1030-1032). Thieme Verlag.
- Hörmann, M., Scharitzer, M., & Puig, S. (2002). Das akute Abdomen beim Kind. *Radiologe*, 42(3), 162-170. <https://doi.org/10.1007/s00117-001-0705-y>
- Hryhorczuk, A. L., & Strouse, P. J. (2009). Validation of US as a first-line diagnostic test for assessment of pediatric ileocolic intussusception. *Pediatr Radiol*, 39(10), 1075-1079. <https://doi.org/10.1007/s00247-009-1353-z>
- Hsiao, M., & Langer, J. C. (2012). Surgery for suspected rotation abnormality: selection of open vs laparoscopic surgery using a rational approach. *J Pediatr Surg*, 47(5), 904-910. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2012.01.042>
- Huppertz, H. I., Soriano-Gabarró, M., Grimprel, E., Franco, E., Mezner, Z., Desselberger, U., Smit, Y., Wolleswinkel-van den Bosch, J., De Vos, B., & Giaquinto, C. (2006). Intussusception among young children in Europe. *Pediatr Infect Dis J*, 25(1 Suppl), S22-29. <https://doi.org/10.1097/01.inf.0000197713.32880.46>
- Hwang, M., Piskunowicz, M., & Darge, K. (2019). Advanced Ultrasound Techniques for Pediatric Imaging. *Pediatrics*, 143(3). <https://doi.org/10.1542/peds.2018-2609>
- Jacobs, O. D. (2022). Acute Appendicitis and Peritonitis. In J. Loscalzo, A. Fauci, D. Kasper, S. Hauser, D. Longo, & J. L. Jameson (Eds.), *Harrison's Principles of Internal Medicine, 21e* (Vol. 2, pp. 2513). McGraw-Hill Education.
- Jenke, A. C., Klaassen-Mielke, R., Zilbauer, M., Heininger, U., Trampisch, H., & Wirth, S. (2011). Intussusception: incidence and treatment-insights from the nationwide German surveillance. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 52(4), 446-451. <https://doi.org/10.1097/MPG.0b013e31820e1bec>
- Jiang, J., Jiang, B., Parashar, U., Nguyen, T., Bines, J., & Patel, M. M. (2013). Childhood intussusception: a literature review. *PLoS One*, 8(7), e68482. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0068482>
- Jourjon, R., Morel, B., Irtan, S., Audureau, E., Coulomb-L'Herminé, A., Larroquet, M., Ducou le Pointe, H., & Blondiaux, E. (2017). Analysis of Clinical and Ultrasound Determinants of Adnexal Torsion in Children and Adolescents. *J Pediatr Adolesc Gynecol*, 30(5), 582-590. <https://doi.org/10.1016/j.jpag.2017.03.142>
- Justice, F. A., de Campo, M., Liem, N. T., Son, T. N., Ninh, T. P., & Bines, J. E. (2007). Accuracy of ultrasonography for the diagnosis of intussusception in infants in

- Vietnam. *Pediatr Radiol*, 37(2), 195-199. <https://doi.org/10.1007/s00247-006-0381-1>
- Karaman, İ., Karaman, A., Çınar, H. G., Ertürk, A., Erdoğan, D., & Özgüner İ, F. (2018). Is color Doppler a reliable method for the diagnosis of malrotation? *J Med Ultrason* (2001), 45(1), 59-64. <https://doi.org/10.1007/s10396-017-0794-5>
- Kosch, F., & Schmittenbecher, P. P. (2021). Abdomen Neonatal. In P. P. Schmittenbecher (Ed.), *Pädiatrische Chirurgie* (2 ed., pp. 90-92). Elsevier GmbH.
- Lam, S. H., Wise, A., & Yenter, C. (2014). Emergency bedside ultrasound for the diagnosis of pediatric intussusception: a retrospective review. *World J Emerg Med*, 5(4), 255-258. <https://doi.org/10.5847/wjem.j.issn.1920-8642.2014.04.002>
- Leung, A. K., & Sigalet, D. L. (2003). Acute abdominal pain in children. *Am Fam Physician*, 67(11), 2321-2326. <https://www.aafp.org/pubs/afp/issues/2003/0601/p2321.html>
- Liang, T., Metcalfe, P., Sevcik, W., & Noga, M. (2013). Retrospective review of diagnosis and treatment in children presenting to the pediatric department with acute scrotum. *AJR Am J Roentgenol*, 200(5), W444-449. <https://doi.org/10.2214/ajr.12.10036>
- Lin, E. P., Bhatt, S., Rubens, D. J., & Dogra, V. S. (2007). Testicular torsion: twists and turns. *Semin Ultrasound CT MR*, 28(4), 317-328. <https://doi.org/10.1053/j.sult.2007.05.008>
- Lochbühler, N., Bölle, P., & Müller-Abt, P. (2023). Acute abdomen in pediatric radiology [Das akute Abdomen in der Kinderradiologie]. *Rofo*, 196(05), 451-462. <https://doi.org/10.1055/a-2193-0205>
- Lourenco, A. P., Swenson, D., Tubbs, R. J., & Lazarus, E. (2014). Ovarian and tubal torsion: imaging findings on US, CT, and MRI. *Emerg Radiol*, 21(2), 179-187. <https://doi.org/10.1007/s10140-013-1163-3>
- Matthies, C., & Wagner, W. (2014). Notfälle. In H.-U. Schmelz, C. Sparwasser, & W. Weidner (Eds.), *Facharztwissen Urologie. Differenzierte Diagnostik und Therapie* (3 ed., pp. 668). Springer Verlag.
- Mayr, J., & Fasching, G. (2018a). Grundlagen des akuten Abdomens bei Kindern. In J. Mayr & G. Fasching (Eds.), *Akutes Abdomen im Kindes- und Jugendalter. Grundlagen - Diagnose - Erstversorgung - Therapie* (pp. 128). Springer-Verlag.
- Mayr, J., & Fasching, G. (2018b). Inkarzerierte Hernien, Hodentorsion- und Adnextumoren. In J. Mayr & G. Fasching (Eds.), *Akutes Abdomen im Kindes- und Jugendalter. Grundlagen - Diagnose - Erstversorgung - Therapie* (pp. 210). Springer-Verlag.
- Mayr, J., & Fasching, G. (2018c). Inkarzerierte Hernien, Hodentorsion- und Adnextumoren. In J. Mayr & G. Fasching (Eds.), *Akutes Abdomen im Kindes- und Jugendalter. Grundlagen - Diagnose - Erstversorgung - Therapie* (pp. 209-210). Springer-Verlag.
- Mayr, J., & Fasching, G. (2018d). Malrotation und Volvulus. In J. Mayr & G. Fasching (Eds.), *Akutes Abdomen im Kindes- und Jugendalter. Grundlagen - Diagnose - Erstversorgung - Therapie* (pp. 153). Springer-Verlag.
- Mayr, J., & Fasching, G. (2018e). Malrotation und Volvulus. In J. Mayr & G. Fasching (Eds.), *Akutes Abdomen im Kindes- und Jugendalter. Grundlagen - Diagnose - Erstversorgung - Therapie* (pp. 152). Springer-Verlag.
- Mayr, J., & Fasching, G. (2018f). Malrotation und Volvulus. In J. Mayr & G. Fasching (Eds.), *Akutes Abdomen im Kindes- und Jugendalter. Grundlagen - Diagnose - Erstversorgung - Therapie* (pp. 153-154). Springer-Verlag.
- Mirow, L., & Schiedeck, T. H. K. (2008). Kolon, Appendix, Rektum und Anus. In H.-P. Bruch & O. Trentz (Eds.), *Berchold Chirurgie* (6 ed., pp. 844). Elsevier.

- Mittal, M. K., Dayan, P. S., Macias, C. G., Bachur, R. G., Bennett, J., Dudley, N. C., Bajaj, L., Sinclair, K., Stevenson, M. D., & Kharbanda, A. B. (2013). Performance of ultrasound in the diagnosis of appendicitis in children in a multicenter cohort. *Acad Emerg Med*, 20(7), 697-702. <https://doi.org/10.1111/acem.12161>
- Mlosek, R. K., Migda, B., & Migda, M. (2021). High-frequency ultrasound in the 21(st) century. *J Ultrason*, 20(83), e233-e241. <https://doi.org/10.15557/JoU.2020.0042>
- Nguyen, H. N., Navarro, O. M., Guillerman, R. P., Silva, C. T., & Sammer, M. B. K. (2021). Untwisting the complexity of midgut malrotation and volvulus ultrasound. *Pediatr Radiol*, 51(4), 658-668. <https://doi.org/10.1007/s00247-020-04876-x>
- Nur Azurah, A. G., Zainol, Z. W., Zainuddin, A. A., Lim, P. S., Sulaiman, A. S., & Ng, B. K. (2015). Update on the management of ovarian torsion in children and adolescents. *World J Pediatr*, 11(1), 35-40. <https://doi.org/10.1007/s12519-014-0536-3>
- Orzech, N., Navarro, O. M., & Langer, J. C. (2006). Is ultrasonography a good screening test for intestinal malrotation? *J Pediatr Surg*, 41(5), 1005-1009. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2005.12.070>
- Pastore, V., Cocomazzi, R., Basile, A., Pastore, M., & Bartoli, F. (2014). Limits and advantages of abdominal ultrasonography in children with acute appendicitis syndrome. *Afr J Paediatr Surg*, 11(4), 293-296. <https://doi.org/10.4103/0189-6725.143130>
- Pogorelić, Z., Mrklič, I., & Jurić, I. (2013). Do not forget to include testicular torsion in differential diagnosis of lower acute abdominal pain in young males. *J Pediatr Urol*, 9(6 Pt B), 1161-1165. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2013.04.018>
- Raymond, M., Marsicovetere, P., & DeShaney, K. (2022). Diagnosing and managing acute abdominal pain in children. *JAAPA*, 35(1), 16-20. <https://doi.org/10.1097/01.JAA.0000803624.08871.5f>
- Reddan, T., Corness, J., Mengersen, K., & Harden, F. (2016). Ultrasound of paediatric appendicitis and its secondary sonographic signs: providing a more meaningful finding. *J Med Radiat Sci*, 63(1), 59-66. <https://doi.org/10.1002/jmrs.154>
- Riccabona, M. (2014). Basics, principles, techniques and modern methods in paediatric ultrasonography. *Eur J Radiol*, 83(9), 1487-1494. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2014.04.032>
- Riccabona, M., Lobo, M. L., Ording-Muller, L. S., Thomas Augdal, A., Fred Avni, E., Blickman, J., Bruno, C., Damasio, B., Darge, K., Ntoulia, A., Papadopoulou, F., & Vivier, P. H. (2017). European Society of Paediatric Radiology abdominal imaging task force recommendations in paediatric urology, part IX: Imaging in anorectal and cloacal malformation, imaging in childhood ovarian torsion, and efforts in standardising paediatric urology terminology. *Pediatr Radiol*, 47(10), 1369-1380. <https://doi.org/10.1007/s00247-017-3837-6>
- Riera, A., Hsiao, A. L., Langan, M. L., Goodman, T. R., & Chen, L. (2012). Diagnosis of intussusception by physician novice sonographers in the emergency department. *Ann Emerg Med*, 60(3), 264-268. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2012.02.007>
- Rohrschneider, W. (1997). Invagination. *Radiologe*, 37(6), 446-453. <https://doi.org/10.1007/s001170050237> (Invagination.)
- Rolle, U., & Maneck, M. (2016). Versorgungstrends, regionale Variation und Qualität der Versorgung bei Appendektomien. In J. Klauber, C. Günster, B. Gerste, B.-P. Robra, & N. Schmacke (Eds.), *Versorgungsreport 2015/2016* (pp. 217-238). Schattauer.

- Rossi, B. V., Ference, E. H., Zurakowski, D., Scholz, S., Feins, N. R., Chow, J. S., & Laufer, M. R. (2012). The clinical presentation and surgical management of adnexal torsion in the pediatric and adolescent population. *J Pediatr Adolesc Gynecol*, 25(2), 109-113. <https://doi.org/10.1016/j.jpbg.2011.10.006>
- Sachwitz, D., Haß, H. J., Kroker, S., Meyer, F., & Krause, H. (2014). Akutes Skrotum im Kindesalter [Acute Scrotum in Childhood]. *Zentralbl Chir*, 139(06), 621-626. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1315189>
- Salehi Karlsrußt, K., Husberg, B., Ullberg, U., Nordenskjöld, A., & Wester, T. (2024). Intestinal Malrotation in Children: Clinical Presentation and Outcomes. *Eur J Pediatr Surg*, 34(3), 228-235. <https://doi.org/10.1055/s-0043-1764239>
- Sargar, K. M., & Siegel, M. J. (2014). Sonography of acute appendicitis and its mimics in children. *Indian J Radiol Imaging*, 24(2), 163-170. <https://doi.org/10.4103/0971-3026.134404>
- Schmid, M., & Dodt, C. (2018). Point-of-Care Ultraschall in Notfallzentren. *Zielgerichtete Diagnostik zur raschen Therapieentscheidung*, 47(12), 572-577. <https://doi.org/10.1055/a-0803-8639>
- Schmidt, A. (2021a). Abdomen Kind. In P. P. Schmittenbecher (Ed.), *Pädiatrische Chirurgie* (2 ed., pp. 122). Elsevier GmbH.
- Schmidt, A. (2021b). Abdomen Kind. In P. P. Schmittenbecher (Ed.), *Pädiatrische Chirurgie* (2 ed., pp. 123). Elsevier GmbH.
- Schmidt, A. (2021c). Abdomen Kind. In P. P. Schmittenbecher (Ed.), *Pädiatrische Chirurgie* (2 ed., pp. 112). Elsevier GmbH.
- Schmidt, A. (2021d). Abdomen Kind. In P. P. Schmittenbecher (Ed.), *Pädiatrische Chirurgie* (2 ed., pp. 124-125). Elsevier GmbH.
- Sekyra, P., & Maier-Hiebl, B. (2014). Akutes Abdomen im Kindesalter – Diagnostikstrategie und Therapie. *Rofo*, 186(S 01), RK412_412. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1373130>
- Servaes, S., Zurakowski, D., Laufer, M. R., Feins, N., & Chow, J. S. (2007). Sonographic findings of ovarian torsion in children. *Pediatr Radiol*, 37(5), 446-451. <https://doi.org/10.1007/s00247-007-0429-x>
- Shalaby, M. S., Kuti, K., & Walker, G. (2013). Intestinal malrotation and volvulus in infants and children. *Bmj*, 347, f6949. <https://doi.org/10.1136/bmj.f6949>
- Sivit, C. J., Siegel, M. J., Applegate, K. E., & Newman, K. D. (2001). When appendicitis is suspected in children. *Radiographics*, 21(1), 247-262; questionnaire 288-294. <https://doi.org/10.1148/radiographics.21.1.g01ja17247>
- Sorantin, E., & Lindbichler, F. (2004). Management of intussusception. *Eur Radiol*, 14 Suppl 4, L146-154. <https://doi.org/10.1007/s00330-003-2033-2>
- Steffgen, L. (2024a). Physikalische Grundlagen. In T. Fischer & C. Jenssen (Eds.), *Ultraschalldiagnostik. Kompendium und Atlas* (Vol. 1, pp. 1). begründet von Braun, B., Schwerek, W. B., Günther, R. ecomed Medizin.
- Steffgen, L. (2024b). Physikalische Grundlagen. In T. Fischer & C. Jenssen (Eds.), *Ultraschalldiagnostik. Kompendium und Atlas* (Vol. 1, pp. 7 & 28). begründet von Braun, B., Schwerek, W. B., Günther, R. ecomed Medizin.
- Steffgen, L. (2024c). Physikalische Grundlagen. In T. Fischer & C. Jenssen (Eds.), *Ultraschalldiagnostik. Kompendium und Atlas* (Vol. 1, pp. 9). begründet von Braun, B., Schwerek, W. B., Günther, R. ecomed Medizin.
- Stein, J., & Martin, C. (2008). Physikalisch-technische Grundlagen. In G. Schmidt & C. Görg (Eds.), *Kursbuch Ultraschall. Nach den Richtlinien der DEGUM und der KVB* (5 ed., pp. 14-16). Thieme Verlag.

- Stephens, L. R., Donoghue, V., & Gillick, J. (2012). Radiological versus clinical evidence of malrotation, a tortuous tale--10-year review. *Eur J Pediatr Surg*, 22(3), 238-242. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1308707>
- Stringer, M. D. (2017). Acute appendicitis. *Journal of Paediatrics and Child Health*, 53(11), 1071-1076. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jpc.13737>
- Strouse, P. J. (2004). Disorders of intestinal rotation and fixation ("malrotation"). *Pediatr Radiol*, 34(11), 837-851. <https://doi.org/10.1007/s00247-004-1279-4>
- Tasset, J., Rosen, M. W., Bell, S., Smith, Y. R., & Quint, E. H. (2019). Ovarian Torsion in Premenarchal Girls. *J Pediatr Adolesc Gynecol*, 32(3), 254-258. <https://doi.org/10.1016/j.jpbg.2018.10.003>
- Theilen, T. M., & Rolle, U. (2023). Akutes Abdomen im Kindesalter. *Med Klin Intensivmed Notfmed*, 118(8), 619-625. <https://doi.org/10.1007/s00063-023-01030-x>
- Thieme, M. E., Leeuwenburgh, M. M., Valdehueza, Z. D., Bouman, D. E., de Bruin, I. G., Schreurs, W. H., Houdijk, A. P., Stoker, J., & Wiarda, B. M. (2014). Diagnostic accuracy and patient acceptance of MRI in children with suspected appendicitis. *Eur Radiol*, 24(3), 630-637. <https://doi.org/10.1007/s00330-013-3044-2>
- Thirumoorathi, A. S., Fefferman, N. R., Ginsburg, H. B., Kuenzler, K. A., & Tomita, S. S. (2012). Managing radiation exposure in children--reexamining the role of ultrasound in the diagnosis of appendicitis. *J Pediatr Surg*, 47(12), 2268-2272. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2012.09.018>
- Trigylidas, T. E., Hegenbarth, M. A., Patel, L., Kennedy, C., O'Rourke, K., & Kelly, J. C. (2019). Pediatric Emergency Medicine Point-of-Care Ultrasound for the Diagnosis of Intussusception. *J Emerg Med*, 57(3), 367-374. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2019.06.007>
- Trinci, M., Danti, G., Di Maurizio, M., Tursini, S., Briganti, V., Galluzzo, M., & Miele, V. (2021). Can contrast enhanced ultrasound (CEUS) be useful in the diagnosis of ovarian torsion in pediatric females? A preliminary monocentric experience. *J Ultrasound*, 24(4), 505-514. <https://doi.org/10.1007/s40477-021-00601-y>
- Usang, U. E., Inah, G. B., Inyang, A. W., & Ekabua, A. T. (2013). Intussusception in children: Comparison between ultrasound diagnosis and operation findings in a tropical developing country. *Afr J Paediatr Surg*, 10(2), 87-90. <https://doi.org/10.4103/0189-6725.115029>
- Vijayaraghavan, S. B. (2004). Sonographic whirlpool sign in ovarian torsion. *J Ultrasound Med*, 23(12), 1643-1649; quiz 1650-1641. <https://doi.org/10.7863/jum.2004.23.12.1643>
- Williams, H. (2008). Imaging and intussusception. *Arch Dis Child Educ Pract Ed*, 93(1), 30-36. <https://doi.org/10.1136/adc.2007.134304>
- Wunsch, R., & Wunsch, C. (2014). Bildgebung beim akuten Abdomen im Kindes- und Jugendalter. *Radiologe*, 54(9), 923-934; <https://doi.org/10.1007/s00117-014-2709-4>
- Yang, C., Song, B., Tan, J., Liu, X., & Wei, G. H. (2011). Testicular torsion in children: a 20-year retrospective study in a single institution. *ScientificWorldJournal*, 11, 362-368. <https://doi.org/10.1100/tsw.2011.39>
- Zhang, W., Sun, H., & Luo, F. (2017). The efficiency of sonography in diagnosing volvulus in neonates with suspected intestinal malrotation. *Medicine (Baltimore)*, 96(42), e8287. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000008287>
- Zhou, L. Y., Li, S. R., Wang, W., Shan, Q. Y., Pan, F. S., Liu, J. C., & Xie, X. Y. (2015). Usefulness of Sonography in Evaluating Children Suspected of Malrotation:

Comparison With an Upper Gastrointestinal Contrast Study. *J Ultrasound Med*, 34(10), 1825-1832. <https://doi.org/10.7863/ultra.14.10017>