



# Repetitorium Sonographie der Nieren Teil 1: technische Grundlagen und korrekte Durchführung der Untersuchung

Dimitar Tsarov<sup>1</sup> · Marc A. Furrer<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Universitätsklinik für Urologie, Inselspital Bern, Bern, Schweiz

<sup>2</sup> Urologisches Kompetenzzentrum der Solothurner Spitäler AG, Kantonsspital Olten und Bürgerspital Solothurn, Olten, Schweiz

<sup>3</sup> Universitätsklinik für Anästhesiologie und Schmerztherapie, Inselspital Bern, Bern, Schweiz

## Zusammenfassung

Die transabdominale Sonographie ist schon lange ein integraler Bestandteil der alltäglichen urologischen Praxis und spielt bei der Erstbeurteilung des Urogenitaltrakts (in der Regel klassische Grauwertsonographie, B-Modus), im Rahmen der Nachsorge sowie bei komplexen Fragestellungen wie der Abgrenzung malignomsuspekter Nierenraumforderungen mittels kontrastmittelverstärkten Ultraschalls (CEUS) eine wichtige Rolle. Sie stellt ein kosteneffizientes, nichtinvasives und ubiquitär verfügbares Diagnoseverfahren dar, welches aufgrund der fehlenden Strahlenbelastung auch bei speziellen Patientengruppen wie Kindern und Schwangeren bedenkenlos angewendet werden kann. Die Nierenultraschalluntersuchung genießt einen hohen Stellenwert, da die Niere von ihrer Lage her optimal zugänglich ist, gut dargestellt werden kann und Nierenpathologien oft durch anschauliche Organalterationen gekennzeichnet sind, die sonographisch pathognomonisch abgebildet werden können. Allerdings ist die Diagnostik untersucherabhängig und die Interpretation daher für Drittpersonen nicht immer trivial. Trotz ihrer unbestrittenen Untersucherabhängigkeit bleibt die Nierenultraschalluntersuchung eine wertvolle Untersuchung, die auch in der Notfallsituation rasch eine Orientierung über mögliche renale Pathologien verschafft (z. B. Beurteilung einer Nierenstauung bei Flankenkoliken und Verdacht auf Urosepsis oder als E-FAST [„extended focused assessment with sonography in trauma“] als bettseitiges Ultraschallprotokoll zum Nachweis von freier Flüssigkeit als Indiz für ein Urinom oder Hämatom beim Nierentraumapatienten). Die konventionelle Sonographie ist essenziell für die Indikationsstellung von weiteren diagnostischen und therapeutischen Massnahmen. Dank der technischen Entwicklung mit der im Laufe der Zeit deutlich verbesserten Bildwiedergabe, der Herstellung von kompakten portablen Geräten, die problemlos im ambulanten Setting bei z. B. institutionalisierten Patienten eingesetzt werden können, und der flachen Lernkurve werden für diese Untersuchungsmodalität auch zukünftig weite Perspektiven in Aussicht gestellt. Diese Übersichtsarbeit soll als praxisorientiertes Repetitorium der Nierenultraschalluntersuchung mit Fokus auf technische Grundlagen und korrekte Durchführung der Untersuchung dienen. Es wird auf die Entwicklung dieser Untersuchungstechnik sowie die technischen Details gezielt eingegangen.

## Schlüsselwörter

EFAST („extended focused assessment with sonography in trauma“) · Grauwertsonographie (B-Modus) · Dopplersonographie (D-Mode) · Geräteeinstellung

Bilder 1–16 beim Verfasser



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

## Entwicklung und Stellenwert heute

Die diagnostische Anwendung einer auf Ultraschallwellen basierten Technik wurde das erste Mal vor etwa 70 Jahren beschrieben [1]. Sie wurde allerdings bereits zuvor in Militäreinrichtungen zur Untersuchung pathologischer Proben eingesetzt. Die Brüder Karl-Theodore und Friedrich Dussik setzen die Ultraschallwellen als erste zur Diagnostik von Hirntumoren ein [2]. Es dauerte jedoch Jahre, bis die Pionierarbeit dieser und anderer Wissenschaftler weiteren Erfolg hatte und die Sonographie als routinemässige Untersuchung von z. B. Feten, Verletzten und Patienten mit zerebrovaskulären Erkrankungen einen festen Platz in der Diagnostik nahezu aller Organsysteme erhielt.

Die Nierenultrasonographie stellt die wichtigste nichtinvasive bildgebende Untersuchungsmodalität zur Abklärung der Nierenmorphologie dar. Über die letzten Jahrzehnte entwickelte sich der Ultraschall von einem grossen, unhandlichen Gerät, welches suboptimale Bildqualität lieferte, zu einem tragbaren, benutzerfreundlichen und hochmodernen Instrument mit hoher Bildauflösung. Heutzutage existieren Ultraschallgeräte in jeglicher Grösse und für jeden Zweck [3] und bereichern das diagnostische, aber auch interventionelle Spektrum der Ärzte auf fast allen medizinischen Gebieten: von der sonographischen Abgrenzung von Nierentumoren bei minimalinvasiven roboterassistierten Teilnephrektomien [4] über die komplexeren Fragestellungen, wie z. B. die Abgrenzung malignomsuspekter Nierenraumforderungen mittels kontrastmittelverstärkten Ultraschalls (contrast-enhanced ultrasound, CEUS, s. Bild 1), bis hin zu einfachen ultraschallgesteuerten Punktionen durch Allgemeinmediziner [5].

Die Sonographie ist ein kostengünstiges und weit verbreitetes Untersuchungsverfahren, das schnell eingesetzt werden kann und zur Indikationsstellung von weiteren diagnostischen und therapeutischen Massnahmen dient. Sie kann aufgrund der fehlenden Strahlenbelastung bedenkenlos bei speziellen Patientengruppen, wie Kindern oder Schwangeren, eingesetzt werden.

Eine wichtige Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz eines diagnostischen Instruments ist die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Trotz der flachen Lernkurve beim Erlernen der Gerätebedienung und Interpretation von sonographischen Befunden muss ein Bias des Untersuchers bei der diagnostischen Anwendung der Sonographie in Betracht gezogen werden. Folglich ist es von grosser Bedeutung, einheitliche Standards bei der Ausbildung in der Sonographie zu setzen und initial die Arbeit unter Supervision sicherzustellen.

Der Stellenwert der Sonographie im Allgemeinen, wie der Nierenultrasonographie im Besonderen, ist immens. Es ist deshalb sehr wichtig, dass die entsprechenden Fachgesellschaften Mindestanforderungen hinsichtlich der Ausrüstung, der Ausbildung, des strukturierten „hands-on training“, der Arbeit unter Supervision und der Aufrechterhaltung der Fähigkeiten auch für Medizinstudenten [6, 7] gewährleisten. Trotz aller bis heute gemachten Fortschritte werden die Ultraschallforschung und -entwicklung auch weiterhin vorangetrieben, um die Ideen von heute in die Technologie von morgen umwandeln zu können.

### Entwicklung und Stellenwert der Sonographie.

- Ubiquitär verbreitetes & kosteneffizientes Diagnoseverfahren
- Gesundheitlich unbedenklich aufgrund fehlender Strahlenbelastung und somit auch bei vulnerablen Patientengruppen (Kinder, Schwangere) einsetzbar
- Wertvolle Untersuchung in der Notfallsituation (Ausschluss einer Nierenstauung bei Verdacht auf Urosepsis oder E-FAST [„extended focused assessment with sonography in trauma“] beim Nierentraumapatienten)
- Essenzielle Basisuntersuchung für die Indikationsstellung von weiteren diagnostischen und therapeutischen Massnahmen
- Flache Lernkurve
- Einheitliche Ausbildungsstandards stellen ein wichtiges Qualitätskriterium dar
- Untersucherbias (erschwerte Interpretation durch Drittpersonen)

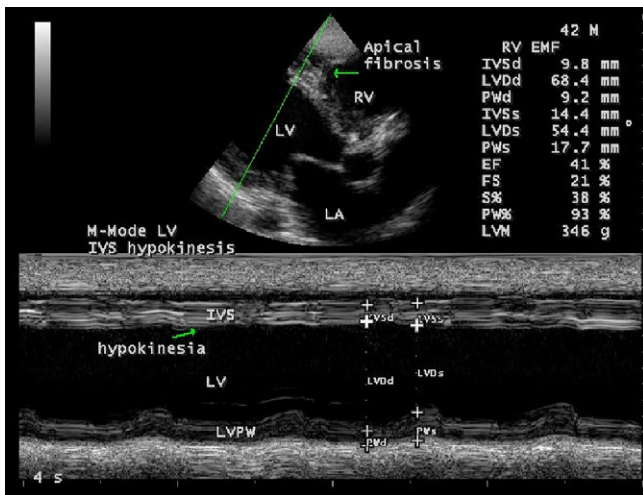
- Arbeit unter Supervision initial eminent wichtig

## Technische Grundlagen

Die Sonographie ist ein nichtinvasives Untersuchungsverfahren, welches von Schallwellen Gebrauch macht, um Bilder erzeugen zu können. Ultraschallköpfe bestehen aus Piezokristallen, die sich bei elektrischer Stimulation durch Aufbau einer Wechsellspannung verformen lassen und Schallwellen generieren. Sie werden in den menschlichen Körper ausgesandt und breiten sich dort aus. Je nach Gewebebeschaffenheit (Dichte, Fett- und Flüssigkeitsgehalt) variiert die Schallleitungsgeschwindigkeit. Durchschnittlich beträgt sie 1540 m/s. Erhebliche Schwankungen zeigen sich bei Luft (331 m/s) und Knochen (3360 m/s). Schallwellen werden vom Gewebe teilweise reflektiert und erreichen, je nach Tiefe, den Schallkopf in entsprechender Zeit wieder. Die Reflexion kommt dort zustande, wo unterschiedliche Gewebesichten aneinander treffen, d. h. an Orten mit variabler akustischer Feldimpedanz (Dichte  $[p] \times$  Schallgeschwindigkeit  $[v]$ ).

Weist eine Gewebeart zahlreiche Impedanzunterschiede auf, neigt sie eher dazu, Schallwellen zu reflektieren bzw. zahlreiche Echos zu generieren, sodass sie im sonographischen Bild echoreich und somit hyperechogen (hell) erscheint (s. Bild 2). Im Gegensatz dazu sind echoarme und somit hypoechogene (dunkle) Strukturen diejenigen, die vergleichsweise weniger Impedanzsprünge aufweisen, und echofrei (schwarz) solche, wie gleichartige Flüssigkeiten, bei denen keine zu verzeichnen sind (s. Bild 3). Reflexe aus Gewebe, das dem Schallkopf nahesteht, erreichen diesen schneller als diejenigen aus den weiter liegenden Gewebesichten. Das Ultraschallgerät rechnet nun die Tiefe anhand der Gewebereflexion aus und gibt sie bildlich wieder. Erhöht sich der Schallwellenwiderstand, steigt auch der Reflexionsgrad.

Wenn eine grosse Schwankung der Dichte vorhanden ist, z. B. wenn Schallwellen vom Weichteilgewebe auf eine Rippe treffen, werden sie komplett reflektiert, sodass keine restlichen Schallwellen zur Verfügung stehen, um ein Bild von



**Abb. 1** ◀ M-Mode: Abbildung und Interpretation in der Zeitfolge dynamischer Strukturen (wie das Herz). (Aus [12], © 2018 by author and Scientific Research Publishing Inc. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

dahinter liegenden Strukturen zu generieren und es zur sog. Schallschattenbildung kommt. Die zahlreichen Streustrahlen, die durch Schallreflexionen vom Organinneren zustande kommen, tragen signifikant zur Abbildung der Organgrenzen bei. Die absorbierten Schallwellen werden in Wärme umgewandelt, bleiben jedoch bei den niedrigen Energiestufen, die meist in der Sonographie angewendet werden, für das Gewebe harmlos.

In den Anfängen der Sonographie als Bildgebungsverfahren war v. a. die sog. kurvenförmige Amplitudenmodulation (A-Mode) vertreten, die heute keinen Stellenwert mehr besitzt (s. Bild 4). Dabei wurden Echosignale je nach ihren Amplitudenausschlägen oszillographisch einzeilig aufgenommen. Mithilfe der ebenfalls registrierten Zeit der Schallreflexion wurden die Bilder entsprechend wiedergegeben.

Im Laufe der Entwicklung wurden Graustufen zur Darstellung von Echosignalen angewendet, wodurch sich die auch heute eingesetzte Standardmethode („brightness mode“, B-Mode) etablieren liess (s. Bild 5). Die reflektierten Schallwellen werden nach ihrer Stärke und der Zeit, die sie zurück zum Schallkopf brauchen, registriert. Die dabei in ihrer abwechselnden Intensität aufgenommenen Echos werden als Punkte mit variabler Dichte wiedergegeben und elektronisch zu Grauwertstufen verarbeitet, um zweidimensionale Bilder wiederzugeben.

Wird nun diese Darstellung mit einem in 2 Ebenen untersuchten Gewebeareal in Übereinstimmung gebracht, entstehen 2-D-Bilder im Echtzeitmodus. Die Aufnah-

me setzt sich aus mehreren einzelnen Strichen zusammen, wobei für jeden einzelnen Strich, von dem ein Echo versendet wird, auch wieder ein Echo in Empfang genommen wird. Schwarz im Bild entspricht einer flüssigen Konsistenz, wobei sich Luft und Knochen weiss darstellen.

Mithilfe des M-Mode („motion mode“-Verfahrens können dynamische Strukturen in der Zeitfolge interpretiert werden (s. Bild 6; ▶ **Abb. 1**). Dabei wird eine solitäre B-Bild-Schallzeile bei stillstehendem Schallkopf mehrmals nacheinander wiedergegeben. Dies kommt v. a. in der Kardiologie bei der Interpretation von Herzklappen zur Anwendung.

Die Dopplersonographie (D-Mode) ist ein wichtiges Verfahren, das bei der Ultraschalldiagnostik zur Anwendung kommt (s. Bild 7). Ihr liegt ein ausschlaggebendes Schallwellenmerkmal, welches zuerst im Jahr 1842 von Christian Doppler dargestellt wurde, zugrunde, namentlich der Dopplereffekt. Dieser beschreibt die alterierende Schallfrequenz, die je nach Positionsänderung der beweglichen Sender- und Empfänger entsteht [8]. Es wird zwischen der CW („continuous wave“-) und der PW („pulsed wave“-) Dopplertechnik unterschieden. Der CW-Doppler hat jeweils eine piezoelektrische Sende- und Empfängerinheit, wobei Ersteres für die kontinuierliche Zusendung von Schallwellen sorgt und Letzteres für den Empfang der reflektierten Echos zuständig ist. Anhand der Frequenzvariabilität zwischen beiden Komponenten können die Geschwindigkeit und Richtung der Strömung errechnet und optisch wiedergegeben werden.

Im Gegensatz dazu besteht der PW-Doppler aus bloss einer Einheit, die abwechselnd als Sender und Empfänger funktioniert. In einem bestimmten Zeitintervall werden während der Empfangsphase die reflektierten Schallwellen aufgezeichnet. Dies lässt eine präzise und ortsselektive Beurteilung der Strömungsgeschwindigkeit zu (S. Bild 8). Wenn beide Techniken (wie das Herz). (Aus [12], © 2018 by author and Scientific Research Publishing Inc. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Dies lässt eine präzise und ortsselektive Beurteilung der Strömungsgeschwindigkeit zu (S. Bild 8). Wenn beide Techniken mit dem heutigen Ultraschallstandardverfahren (B-Mode) kombiniert werden, entsteht die Duplexsonographie, mit deren Hilfe sich die Flussgeschwindigkeit des Blutes in den Gefässen bestimmen lässt [9], was z. B. in der Diagnostik von Nierenarterienstenosen zum Einsatz kommt. Darüber hinaus lassen sich hiermit die Gefässarchitektur der Niere, sowie die parenchymale Blutversorgung darstellen, was in der Differenzialdiagnostik von Nierentumoren eine wichtige Rolle spielt. Die Dopplersonographie ist in 10–20% falsch-negativ.

#### Technische Grundlagen.

- Ultraschallköpfe aus Piezokristall werden durch e-Stimulation verformt und generieren Wellen.
- Die Anzahl der reflektierten Echos korreliert mit der Gewebebeschaffenheit.
- Strukturen erscheinen echoreich/hyperechogen, also hell, bzw. echoarm/hypoechoogen, also dunkel.
- Der B-Mode bzw. die Graustufen-sonographie stellt das heutige Standardverfahren dar.
- Mithilfe der Dopplersonographie lässt sich die Flussgeschwindigkeit des Blutes bestimmen, was in der Diagnostik von Nierenarterienstenosen zur Anwendung kommt.

#### Geräteeinstellung und Untersuchungstechnik

Der Indikationsstellung wird im Rahmen eines diagnostischen Prozesses grosse Bedeutung zugeschrieben. Ohne eine klare Fragestellung ist die sonographische Untersuchung der Nieren selten zielführend. Genauso wie man sich dabei eingehend mit dem klinischen Bild und den Leitsymptomen des Patienten auseinandersetzen muss, ist es vergleichbar essenziell, die anschliessend eingesetzten diversen diagnostischen Hilfsmittel bestens zu kennen, um sie adäquat einsetzen zu können. Im

urologischen Alltag etablierte sich die Sonographie als eines der meistverwendeten diagnostischen Werkzeuge. Das Geräte- und das Funktionsspektrum sind mittlerweile ziemlich breit, sodass es schwierig und z. T. gar nicht notwendig ist, alles im Detail zu kennen. Nichtsdestotrotz gilt es, bestimmte Aspekte bei der Handhabung zu beachten, die ausschlaggebend sein können und somit hier hervorgehoben werden sollen.

Vor Beginn jeglicher Bildgebung ist darauf zu achten, die Patientendaten korrekt in das System (Ultraschallgerät) einzugeben, um die entstandenen Aufnahmen dem Patientendossier zuzuordnen und entsprechend zu speichern. Zusammen mit dem im Anschluss der Untersuchung verfassten schriftlichen Befund entsteht eine im weiteren Verlauf wichtige Vergleichsbasis. Die Sonographie stellt ein dynamisches Untersuchungsverfahren dar, und oft ist eine adäquate Befundinterpretation anhand Standaufnahmen inkonklusiv, sodass die Aufnahme von Sequenzen wichtig ist und vom Untersucher ebenfalls beherrscht werden sollte.

Eine bedeutende Voraussetzung für die optimale Organabbildung neben einer korrekten Untersuchungstechnik, die unten im Detail ausgeführt wird, ist die Wahl des richtigen Schallkopfs. Bei der Nierenultraschalluntersuchung wird v. a. der Konvexschallkopf („curved array“ oder Konvexscanner) angewendet, ausser intraoperativ, wo der Linearschallkopf zum Einsatz kommt (s. Bild 9). Die kleinere Ankopplungsfläche eines Konvexscanners sichert eine grossflächige Bildwiedergabe in der Tiefe mit einer ähnlich guten Auflösung im Vergleich zum Nahfeld. Die Frequenz variiert zwischen 2 und 6 MHz; liegt im Schnitt bei 3,75 MHz. Da bei höherer Schallfrequenz ein besseres Auflösungsvermögen mit geringerer Eindringtiefe vorhanden ist, werden, um eine gute Zwischenlösung unter Eindringtiefe und Auflösung zu erreichen, bei schlankeren Patienten höhere Frequenzen von etwa 5 MHz verwendet und bei adipösen tieferer von ca. 2,5 MHz.

Eine andere wichtige Grundlage für die Erzeugung einer guten Bildqualität ist die Applikation einer ausreichenden Menge Kontaktgel. Damit lässt sich nämlich die maximale Reflexion der Schallwellen be-

reits an der Grenze zwischen Haut und Luft verhindern, die aufgrund der erheblichen Impedanzdifferenz zustande kommt. Sollte sich das Bild sukzessive verschlechtern, ist die Kontaktoberfläche des Schallkopfs zu überprüfen und, falls eingetrocknet, wieder mit Kontaktgel zu benetzen. Besteht eine starke Behaarung im Schallfeld, sollte die Stelle im Vorfeld rasiert werden, da diese suboptimale Ankopplung andernfalls nicht adäquat kompensiert werden kann. Ist die Hautoberfläche sonst wegen ausgeprägter Form einer Psoriasis kompromittiert, kommt Hautöl als Zwischenmedium zum Einsatz. Vor Beginn der Untersuchung sollte der Patient über den Nutzen und die Unschädlichkeit des Gels aufgeklärt werden.

Anhand einiger anderer Einstellungen, wie Fokus, Tiefenausgleich und Gesamtverstärkung (Helligkeit) lässt sich die Beschaffenheit der Bildwiedergabe optimieren.

Die Auflösung kann auch durch den Fokus selektiv erhöht werden. Dabei wird je nach gewünschter Tiefe (z. B. bei adipösen Patienten mit entsprechend tieferer Lage der Niere) die Fokuszone verschoben, und die Ultraschallwellen fallen gezielt auf die darzustellende Gewebeschicht zusammen, um eine optimale Auflösung erzielen zu können.

Beim Eindringen ins Gewebe werden Ultraschallwellen absorbiert und verlieren an Intensität. Demzufolge werden tiefer gelegene Areale dunkler abgebildet, dafür erscheinen schallkopfnahere Zonen heller. Diese unausgewogene Bildhelligkeit kann mit der laufzeitabhängigen Verstärkung („time gain compensation“ oder Tiefenausgleich) entsprechend kompensiert werden. Analog der oben beschriebenen tiefenabhängigen Verstärkung („gain“) kann bei der Gesamtverstärkung, wenn dies von den Körperdimensionen oder den Gewebeeigenschaften her nötig ist, eine Adaptation der Helligkeit über der ganzen Tiefe erfolgen.

Die retroperitoneale Lage der Nieren ermöglicht eine hochauflösende Ultraschalluntersuchung der Nieren. Die ventrale Überlagerung durch Darm (und Luft) kann in der Regel durch die dorsale Schallkopfposition umgangen werden. Allerdings kann die Ultraschalluntersuchung bei sehr adipösem Habitus und

Darmgasüberlagerung deutlich erschwert sein.

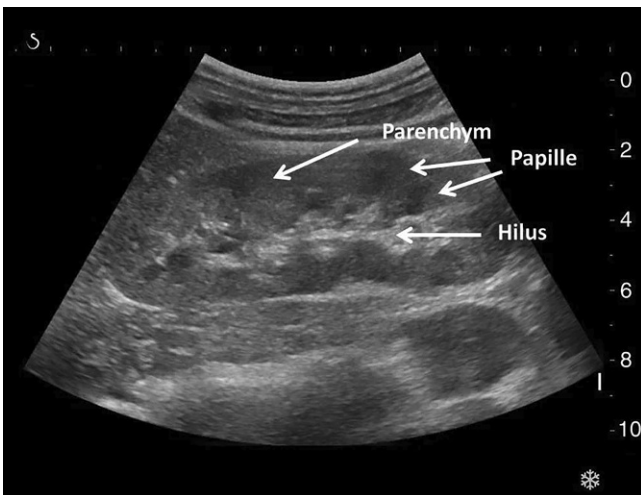
Die Niere sollte sonographisch in 2 Ebenen und im Gesamtdurchmesser abgebildet werden (s. Bild 10). Hierfür ist der Schallkopf zunächst entlang der Organachse im sog. Längsschnitt ausgerichtet und anschliessend schräg – im Querschnitt. Der in Rücken- oder Seitenlage positionierte Patient wird vom klassischerweise rechts von ihm stehenden Untersucher von ventrolateral bis dorsolateral sonographiert. Es ist darauf zu achten, dass der Patient bequem und entspannt auf einer ausreichend breiten Untersuchungsfläche gelagert ist, sodass Positionsänderungen möglich sind, um eine optimale Schnitfführung des Schallkopfs ohne Sturzgefahr für den Patienten gewährleisten zu können. Nacken- oder Keilkissen sowie Knierollen können entsprechend zur Hilfe herangezogen werden. Zudem gilt es, bildkompromittierende Faktoren wie Schallschatten, durch Luft im Darmlumen oder im Weg stehende Rippen, so gut wie möglich zu verringern.

Durch dezente und allmähliche Erhöhung des Schallkopfaufgedrucks mit daraus resultierender Verdrängung der enteralen Luft kann der Untersucher die Bildqualität optimieren. Andererseits könnte der Patient instruiert werden, tief einzuatmen. Dabei verändert sich die Position der Niere um wenige Zentimeter kaudal des Rippenbogens und kann frei von Schattenartefakten abgebildet werden. Wird der Arm über den Kopf positioniert, vergrössert sich der Abstand zwischen Crista iliaca und Arcus costalis, sodass sich ein günstigeres Schallfenster anbietet, das die Niere auch für allfällige Interventionen (z. B. Nephrostomieanlage; s. Bild 11) sonographisch zugänglicher macht. Eine vorangehende Aufklärung der Patienten darüber hilft entsprechend, ihre Compliance zu erhöhen, optimiert der Untersuchungsablauf und führt zur Steigerung der Bildqualität.

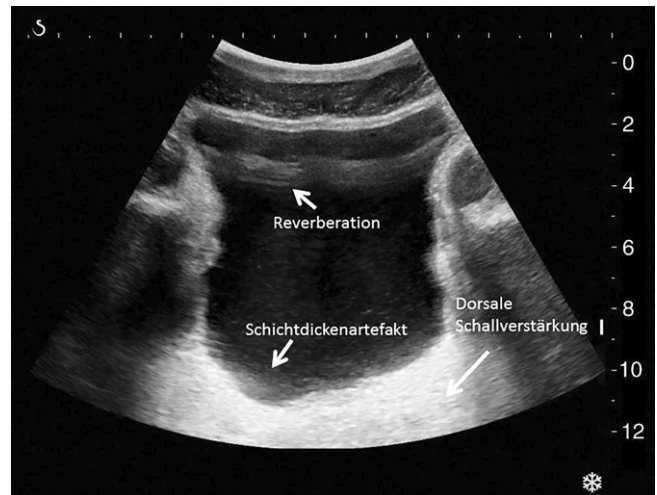
### **Geräteeinstellung und Untersuchungstechnik.**

– Gute Kenntnisse über die technischen Grundlagen der Sonographie sind eine wichtige Voraussetzung für den adäquaten Einsatz dieses Diagnoseverfahrens.





**Abb. 2** ▲ Nierenparenchym: differenzierte Abgrenzung vom Parenchym, der Papille und des echoreichen Nierenhilus. (Mit Genehmigung aus [13]. © 2023 Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature)



**Abb. 3** ▲ Artefakte: Artefakte – visuelle Inhalte, die keiner anatomischen Struktur entsprechen. (Mit Genehmigung aus [13]. © 2023 Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature)

- Das korrekte Zuordnen von Bildern/ Befunden zu dem entsprechenden Patientendossier stellt eine signifikante Vergleichsbasis für Folgeuntersuchungen und eine schlüssige Therapie dar.
- Der Konvexschallkopf („curved array“) mit einer durchschnittlichen Frequenz von 3,75 MHz kommt überwiegend bei der Nierensonographie zum Einsatz.
- Die retroperitoneale Lage der Nieren sowie die geschickte Positionierung von Schallkopf und Patienten ermöglichen ihre hochauflösende Ultraschalluntersuchung.
- Mithilfe von Fokus, Tiefenausgleich und Gesamtverstärkung lässt sich die Beschaffenheit der Bildwiedergabe optimieren.

## Sonographische Nierenbefunde

### Normalbefunde

Ein gewisses systematisches Vorgehen ist bei der Nierensonographie empfehlenswert, um sich unabhängig der Umstände ein vollständiges Bild machen zu können, ohne essenzielle pathologische Veränderungen zu übersehen.

Als erstes sollte überprüft werden, ob die Niere beidseits orthotop gelegen ist. Sie ist im Retroperitoneum auf Höhe Lendenwirbelkörper (LWK) I/II lokalisiert, dem Musculus quadratus lumborum und Mus-

culus psoas major anliegend; links – dorsal des Pankreasschwanzes und rechts dem rechten Leberlappen angrenzend und dadurch vergleichsweise etwas nach kaudal verdrängt. Wenn sich die Niere nicht darstellen lässt, sollte, bevor eine Agenesie festgelegt wird, eine allfällig heterotope Lage, u.a. pelvin, iliakal oder kontralateral, ausgeschlossen werden. Gelingt dies auch nicht und ist die kontralaterale Niere kompensatorisch vergrößert, ist eine Agenesie der Niere naheliegend. Als nächstes werden die Organform abgebildet und die Dimensionen bestimmt. Die Niere ist in der Regel bohnenförmig und weist durchschnittlich eine Länge von 10–12 cm, eine Breite von 4–6 cm und eine Dicke von 3–4 cm auf. Anschliessend wird mittels vollständigen Durchfächerns in 2 Ebenen das aus Rinde und Mark bestehende Nierenparenchym beurteilt. Es erscheint normalerweise echoarm, homogen und stellt wegen des dort enthaltenen Fett- und Bindegewebes sowie der diversen Blutgefässe eine scharfe Differenzierung zum echoreichen Nierenhilus dar (s. Bild 12; ■ Abb. 2).

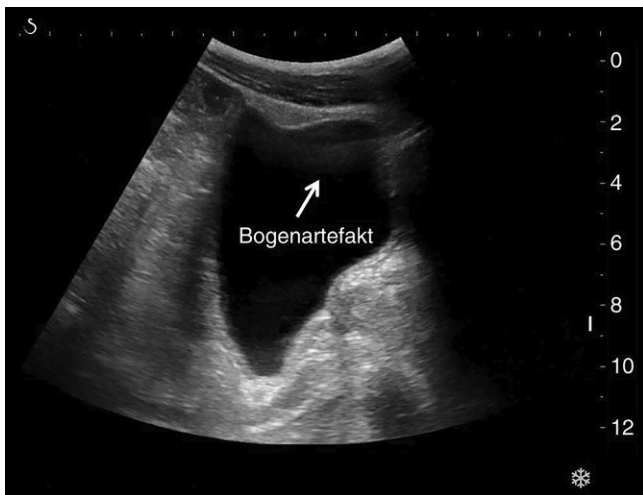
Die kleinen, ovalförmigen Markpyramiden, die unmittelbar an das Nierenbeckenkelchsystem (NBKS) zu liegen kommen und die Wasser- und Elektrolythaushalt regulierenden Nephroneneinheiten der Niere beherbergen, sind echoärmer als die Rinde, jedoch heller als das echofreie NBKS und sollten nicht mit zystischen Formationen oder

einer NBKS-Ektasie verwechselt werden. Die Breite des Parenchymsaums beträgt in der Regel zwischen 1,3 und 2,5 cm. In Relation zum Pyelon gestellt formt sie den Parenchym-Pyelon-Index (PPI), der für Atrophie oder Narben hinweisend sein kann und einen wichtigen Parameter für die Nierenfunktion darstellt, bis zu einem Alter von 30 Jahren etwa 2:1 beträgt und im Laufe des Lebens konsekutiv abnimmt. Zudem ist auf Parenchymirregularitäten mit abwechselndem Echomuster, die mit Nierentumoren vereinbar sein können, zu achten.

Durch Einsatz der Doppler- oder Kontrastmittel-Sonographie kann der entsprechende Verdacht auf einen Nierentumor anhand von Vaskularisationsunterschieden erhärtet werden und es können, falls nötig, weitere diagnostische Schritte (Computertomographie [CT] oder Magnetresonanztomographie [MRT]) eingeleitet werden. Die Aufmerksamkeit sollte sich nun dem NBKS zuwenden, das sich sonographisch bei abflussfreien Verhältnissen schlank darstellt oder gar nicht ersichtlich ist. Es zeigt sich wegen des Konglomerats aus Gefässbahnen und Kelchwänden und den daraus resultierenden zahlreichen Impedanzunterschieden echoreich.

### Normalbefunde der Nierensonographie.

- Die Niere ist bohnenförmig, liegt retroperitoneal dem M. quadratus



**Abb. 4** ◀ Bogenartefakte: Bogenartefakte der Harnblase. (Mit Genehmigung aus [13]. © 2023 Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature)

- lumborum und M. psoas major auf Höhe LWK I/II an und ist 10–12 cm lang, 4–6 cm breit und 3–4 cm dick.
- Untersuchung in 2 Ebenen mit Differenzierung zwischen Nierenparenchym (echoarm und homogen), Markpyramiden (echoarmer als die Rinde) und NBKS (echofrei)
  - Der PPI (< 30 J) beträgt i. d. R. 2:1, stellt einen wichtigen Parameter für die Nierenfunktion dar, kann auf Atrophie oder Narben hinweisend sein und nimmt mit zunehmendem Alter ab.
  - Parenchymirregularitäten mit abwechselndem Echomuster lassen Nierentumoren vermuten.
  - Das abflussfreie NBKS stellt sich schlank dar.

## Sonographische Phänomene

### Artefakte

Werden im Ultraschallbild visuelle Inhalte wiedergegeben, die keiner anatomischen Struktur entsprechen, handelt es sich um Artefakte (s. Bild 13; **Abb. 3**). Ihre Existenz lässt sich auf bestimmte Vorgänge der Wellenmechanik wie Streuung, Reflexion und Brechung zurückführen. Obwohl bereits technische Innovationen zur Artefaktminderung wie „harmonic imaging“ (gegen Rauschartefakte) und elektronische Fokussierung (gegen Schichtdickenartefakte) entwickelt wurden, sollten sie stets bei der sonographischen Befundinterpretation in Betracht gezogen werden, um eine adäquate und realitätsnahe diagnostische Beurteilung durchführen zu können.

**Rauschen.** Hierbei handelt es sich um Interferenz gestreuter Schallwellen, was ein körniges Echo von eigentlich homogenen Geweben (sog. Speckle-Muster oder Lichtgranulation) erzeugt. Eine weitere Form des Rauschens sind multiple kleine Reflexe in schallkopfnahen echofreien Strukturen (Nierenzyste).

**Schallschatten.** Bei der Sonographie von Organen, die sich hinter stark reflektierenden Strukturen wie Knochen oder Gas befinden, ist mit einer streifenförmigen Minderung der Echogenität bzw. der sog. Schallschattenbildung zu rechnen. Bei der Nierenultraschalluntersuchung stellen die durch die Rippen verursachten Schallschattenartefakte dar, die mithilfe einer optimalen Schallkopfführung (parallel der Interkostalräume) und tiefer Inspiration des Patienten reduziert werden kann. Gleichzeitig kann sich der Untersucher dieses Artefakt bei der Sonographie von Urolithiasis zunutze machen, um die Lokalisation und Größe des Konkrementes besser abgrenzen zu können.

**Dorsale Schallverstärkung.** Aufgrund einer verminderten Schalldämpfung in echoarmen Geweben kommt es im dahinter liegenden Gewebe zu einer scheinbaren Schallverstärkung, wovon bei der Abbildung unkomplizierter Nierenzysten Gebrauch gemacht wird (s. Bild 14; **Abb. 4**).

### Tangentenartefakt (Randschatten).

Schmale Schattenzone dorsal der lateralen Begrenzung einer runden Struktur,

z. B. einer Zyste, da die dort tangential eintreffenden Schallwellen durch Brechung und Streuung stark abgeschwächt werden.

**Mehrfachreflexionen.** Diese auch als Reverberationen bekannte Artefakte entstehen, wenn Ultraschallwellen entweder zwischen dem Schallkopf und einer Organoberfläche oder zwischen 2 Strukturen mit stark reflektierenden Eigenschaften umherschweifen, bis sie teilweise zum Schallkopf rekurrieren. Das Echo, das zuerst zum Schallkopf zurückkehrt, gibt die entsprechende Oberfläche in dem tatsächlichen Abstand zum Schallkopf wieder, wobei die Mehrfachreflexionen, die verzögert den Schallkopf erreichen, ferner und schwächer erscheinen. Wegen des typischen Aussehens (längliche, gegen Ende dünner werdende Streifen) werden sie auch als Kometenschweifphänomen gekennzeichnet.

**Spiegelung.** Wenn Ultraschallwellen auf stark reflektierende und quer verlaufende Grenzflächen treffen, kehren die Echos nicht direkt zum Schallkopf zurück, sondern werden in umliegenden Strukturen zwischenreflektiert, was zu einer Verzögerung der Echolauflaufzeit führt und dadurch zur fälschlichen schallkopffernen Bildwiedergabe mit Spiegelung der jeweiligen Struktur.

**Bogenartefakt.** Bei der Entstehung eines Ultraschallbilds werden die Nebenstrahlmuster in der Regel ausgelassen und sind normalerweise im Monitorbild nicht wiedergegeben. Wenn jedoch diese Nebenschallwellen auf stark reflektierende Strukturen wie Knochen, Luft oder Konkreme treffen, können sie bogenförmig in Projektion des Hauptstrahlbündels streuen und diesem zugeordnet werden (s. Bild 15).

Diese Artefaktbildung sollte bei der Beurteilung von Nierenzysten berücksichtigt werden, da sie mit einer Septierung oder zystischen Binnenstruktur verwechselt und oft durch dezente Alteration der Schallkopfführung vermieden werden kann.

### Kontrastmittelverstärkter Ultraschall (CEUS)

Wenn die konventionelle Sonographie im Rahmen der Abklärung von benignen und malignen Nierentumoren an ihre Grenzen stösst, ist der Einsatz des Kontrastmittel(KM)-verstärkten Ultraschalls (CEUS, s. Bild 16) gefragt [10]. Dabei kann man mithilfe von den im KM enthaltenen Mikrobäschen, die zur Schwingung gebracht werden und im Gegensatz zu CT- oder MRT-Kontrastmedien gefässwandimpermeabel sind [11], feine Vaskularisationsunterschiede zwischen den verschiedenen Tumoren beobachten, welche eine Abgrenzung der diversen Entitäten ermöglichen. Der Einsatz des CEUS ist v. a. bei entsprechenden Kontraindikationen (KM-Allergie, Strahlenexposition, Klaustrophobie) gefragt.

### Sonographische Phänomene und kontrastmittelverstärkter Ultraschall.

- Sonographische Artefakte wie Schallschatten, Rauschen und dorsale Schallverstärkung sind visuelle Inhalte ohne Korrelat zur anatomischen Struktur, die in der Befundung berücksichtigt werden sollten, um eine adäquate und realitätsnahe diagnostische Beurteilung gewährleisten zu können.
- Der Einsatz des KM-verstärkten Ultraschalls ist bei der Abklärung von benignen und malignen Nierentumoren sehr hilfreich und v. a. bei entsprechenden Kontraindikationen (KM-Allergie, Strahlenexposition, Klaustrophobie) gefragt.
- Mithilfe von den im KM enthaltenen Mikrobäschen, die zur Schwingung gebracht werden und im Gegensatz zu CT- oder MRT-Kontrastmedien gefässwandimpermeabel sind, können pathognomonische Vaskularisationsunterschiede eine Abgrenzung der diversen Tumorentitäten ermöglichen.

### Korrespondenzadresse

**Marc A. Furrer**

Urologisches Kompetenzzentrum der Solothurner Spitäler AG, Kantonsspital Olten und Bürgerspital Solothurn  
Baslerstraße 150, 4600 Olten, Schweiz  
marcalain.furrer@outlook.com

**Funding.** Open access funding provided by University of Bern

### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** D. Tsarov und M.A. Furrer geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

**Open Access.** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

### Literatur

1. Holmes JH, Howry DH, Posakony GJ et al (1954) The ultrasonic visualization of soft tissue structures in the human body. *Trans Am Clin Climatol Assoc* 66:208–225
2. White DN (1988) Neurosonology pioneers. *Ultrasound Med Biol* 14:541–561
3. Rykkje A, Carlsen JF, Nielsen MB (2019) Handheld ultrasound devices compared with high-end ultrasound systems: a systematic review. *Diagn Basel Switz*. <https://doi.org/10.3390/diagnostics9020061> (Epub ahead of print June 15, 2019)
4. Antico M, Sasazawa F, Wu L et al (2019) Ultrasound guidance in minimally invasive robotic procedures. *Med Image Anal* 54:149–167
5. Løkkegaard T, Todsén T, Nayahangan LJ et al (2020) Point-of-care ultrasound for general practitioners: a systematic needs assessment. *Scand J Prim Health Care* 38:3–11

6. Nielsen MB, Cantisani V, Sidhu PS et al The use of handheld ultrasound devices—an EFSUMB position paper. *Ultraschall Med Stuttg Ger* 1980 2019(40):e1
7. Hoffmann B, Blaivas M, Abramowicz J et al (2020) Medical student ultrasound education, a WFUMB position paper, part II. A consensus statement of ultrasound societies. *Med Ultrason* 22:220–229
8. Nelson TR, Pretorius DH (1988) The Doppler signal: where does it come from and what does it mean? *AJR Am J Roentgenol* 151(3):439–447. <https://doi.org/10.2214/ajr.151.3.439> (Sep)
9. Wolters K, Herget-Rosenthal S, Langenbeck M (2012) Nierensonographie [renal sonography]. *Internist (Berl)* 53(3):282–290. <https://doi.org/10.1007/s00108-011-2960-y> (German)
10. Barr RG, Peterson C, Hindi A (2014) Evaluation of indeterminate renal masses with contrast-enhanced US: a diagnostic performance study. *Radiology* 271(1):133–142. <https://doi.org/10.1148/radiol.13130161> (Apr)
11. Atri M, Jang HJ, Kim TK, Khalili K (2022) Contrast-enhanced US of the liver and kidney: a problem-solving modality. *Radiology* 303(1):11–25. <https://doi.org/10.1148/radiol.211347> (Apr)
12. Muthiah R (2018) Tropical coronary artery disease and arrhythmogenic potentials—the changing pattern towards endomyocardial fibrosis—an analysis. *Case Reports Clin Med* 7:397–429
13. Walz J, Loch T, Enzmann T (2023) Sonographie der Niere, des Retroperitoneums und der Harnblase. In: Michel MS, Thüroff JW, Janetschek G, Wirth MP (Hrsg) *Die Urologie*. Springer Reference Medizin. Springer, Berlin, Heidelberg [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41168-7\\_56-2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-41168-7_56-2)

**Hinweis des Verlags.** Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.