

Leitlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung der Magnet-Resonanz-Tomographie

Gemäß Beschluss des Vorstandes der Bundesärztekammer

Präambel

Die Magnetresonanztomographie stellt derzeit das modernste, aber zugleich technisch aufwendigste Schnittbildverfahren in der Radiologie dar. Die Qualitätssicherung in der MRT hat eine besondere Bedeutung, da wegen der Vielzahl veränderbarer und voneinander abhängiger Messparameter die Fehlermöglichkeiten durch Artefakte und inadäquate Durchführung der Untersuchung erheblich größer sind als bei allen anderen bildgebenden Verfahren. Deshalb kommt nicht nur der technischen Qualitätssicherung, sondern vor allem auch der ärztlichen Qualifikation bei der Indikationsstellung, der Durchführung, der Auswertung und Beurteilung der MRT eine besondere Rolle zu.

Adäquate Bildqualität und diagnostisch verwertbare Ergebnisse einer Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) erfordern eine exakte ärztliche Indikationsstellung, eine zielorientierte und fachkundige Untersuchungstechnik, eine adäquate Darstellung der diagnostisch wichtigen Bildinformationen, eine fachkundige Auswertung der Messdaten sowie eine sorgfältige und nachvollziehbare Dokumentation der Ergebnisse. Da sich die Methode in einer schnellen Weiterentwicklung befindet, ist eine ständige Fortbildung der fachkundigen Ärzte erforderlich. Wegen des raschen Wandels der technischen Möglichkeiten sollen diese Leitlinien nach Bedarf geändert werden.

Allgemeine Qualitätsanforderungen

In weitaus stärkerem Maße als bei jedem anderen Schnittbildverfahren müssen die Messbedingungen und die Messparameter der Fragestellung angepasst werden, um erfolgreich über die Auswertung der Schnittbilder und der anderen Messergebnisse zu einem aussagekräftigen Befund zu kommen. Hierzu gehören unter anderem die geeignete Wahl der Schichtlokalisation, der Schichtebenen, der

Schichtfolgen, der Ortsauflösung, der Schichtabstände, der verschiedenen Präparationspulse und die an die Fragestellung angepasste Auswahl einer der vielen unterschiedlichen Messsequenzen mit ihren unabhängig oder abhängig voneinander einstellbaren Parametern und der verschiedenen MR-Kontrastmittel.

Mit den abzubildenden Organen und Organabschnitten, den kritischen anatomischen Strukturen, den kritischen Gewebekontrasten und den anderen spezifischen Messergebnissen werden die Mindestanforderungen an die Qualität der MRT eines Körperabschnitts bestimmt. Die Mindestanforderungen müssen in Hinblick auf die jeweilige diagnostische Aussage eingehalten werden.

Die wichtigsten Indikationen sind zusammen mit den kritischen diagnoserelevanten anatomischen Strukturen, den kritischen Kontrasten und den anderen diagnoserelevanten Messergebnissen, bezogen auf die verschiedenen Körperabschnitte, nachfolgend aufgelistet. Die Mindestanforderungen an die Geräte und Untersuchungstechnik sind im Abschnitt mit den Beschreibungen der physikalischen und technischen Qualitätsanforderungen, im Abschnitt mit den allgemeinen Hinweisen zur Untersuchungstechnik und in der *Tabelle* mit speziellen geräte- und untersuchungstechnischen Mindestanforderungen genannt.

Voraussetzung für eine gute Bildqualität ist ein ausreichendes Signal- beziehungsweise Kontrast-Rausch-Verhältnis (SNR, CNR). Dieses kann auch im Routinebetrieb für Betragsbilder leicht nach der von Kaufman u. Mitarb. 1989 angegebenen Methode (*Radiology* 173: 265–267) abgeschätzt werden. Dazu werden die mittleren Signalintensitäten in ausreichend großen ROIs in den interessierenden Geweben gemessen. Das Rauschen wird als mittlere Signalintensität in Luft in Frequenzkodierrichtung neben dem Objekt, aber außerhalb der Region des Filter „cutoffs“ am Rande des FOV bestimmt. SNR-Werte werden ohne weitere Korrektur als Quotient des so bestimmten Signals und Rauschens angegeben. Das CNR ist dabei die Differenz der Gewebesignale dividiert

durch das Rauschen. Bei Messungen mit Oberflächenempfangsspulen sind für die SNR-Messungen die Regionen mit der schlechtesten Ausleuchtung im jeweils diagnostisch erforderlichen Messfeld, für die CNR-Messungen die größten elliptischen ROIs, die vollständig im entsprechenden Gewebe und im diagnostisch erforderlichen Messfeld liegen, zu verwenden.

Die Werte sind nur vergleichbar, wenn Standardverfahren verwendet werden. Dies ist nicht mehr der Fall, wenn zum Beispiel Realteilbilder rekonstruiert, partielle Echos aufgenommen, frequenzselektive Filter zur Rauschunterdrückung oder ortsabhängige Korrekturen (z. B. B1-Feld-Korrektur) eingesetzt beziehungsweise vorgenommen werden.

Einzuhaltende Richtwerte des Signalbeziehungsweise Kontrast-Rausch-Verhältnisses für die häufigsten und typischen Untersuchungsarten nach der oben beschriebenen Methode sind (*siehe Tabelle 1a, 1b, 1c*):

Spezielle Anforderungen an Indikationsstellung, dargestellte Strukturen und Kontraste

Schädel (Standard)

Typische Indikationen: Alle intrakraniellen Erkrankungen. Akute Schädelhirntraumen stellen allerdings primär eine Indikation zur CT dar.

Mindestanforderungen: Artefaktfreie und symmetrische Abbildung des gesamten Schädels mit transversalen, koronaren oder sagittalen Schichten, deren Kontraste eine Differenzierung von grauer und weißer Substanz und die Abgrenzung von Liquor und pathologischen Marklagerveränderungen ermöglichen. Die Transversalschichten sind parallel zur Bikommisurallinie eingestellt. Alle anderen Schichtorientierungen richten sich nach der jeweiligen Fragestellung.

Von den Hirnnerven müssen insbesondere die im inneren Gehörgang verlaufenden Nerven an ihrem Ursprung getrennt voneinander abgrenzbar sein. Bei

Patienten mit unklaren Temporallappenepilepsien sind seitensymmetrische, möglichst überlappende Koronarschichten von nicht mehr als 3 mm senkrecht zur Längsachse des Temporallappens erforderlich, um eine Volumetrie des Hippokampus im Seitenvergleich zu ermöglichen und diskrete Signalveränderungen der Rinde des Hippokampus und des Gyrus parahippocampalis sicher zu erkennen. Fett und Blut müssen differenziert werden können. Subakute Blutungen mit Signalminderung durch Desoxyhämoglobin müssen sichtbar gemacht werden können. Kleine Verkalkungen ab 2 mm sollen mit suszeptibilitätsempfindlichen dünnen Schichten dargestellt werden können. Bei der Primärdiagnostik ist oft

zusätzlich der Kontrastmitteleinsatz erforderlich.

Schädel (Sellaregion)

Typische Indikationen: Erkrankungen des neuroendokrinen Systems mit Hinweisen auf eine hypothalamisch-hypophysäre Ursache beziehungsweise Lokalisation. Erkrankungen des Sehnerven und/oder der Augenmuskelnerven oder des Sinus cavernosus.

Mindestanforderungen: Vollständige, symmetrische und artefaktfreie Abbildung der Sella und der suprasellären Zisterne mit zumindest koronaren und sagittalen, erforderlichenfalls auch axialen Schichten, deren Kontraste eine Diffe-

renzierung von Adenohypophyse und Neurohypophyse ermöglichen. Fett und Blut müssen differenziert werden können. Der Hypophysenstiel, das Infundibulum, das Chiasma und der Sinus cavernosus mit seinen Binnenstrukturen müssen eindeutig voneinander abzugrenzen sein. Eine schnelle Messfolge für den Nachweis der verzögerten Anreicherung in einem Mikroadenom der Adenohypophyse mit einer Messzeit von höchstens 25 Sekunden muss durchgeführt werden können. Subakute Blutungen mit Signal-minderung durch Desoxyhämoglobin müssen sichtbar gemacht werden können. Kleine Verkalkungen ab 2 mm sollen mit suszeptibilitätsempfindlichen dünnen Schichten dargestellt werden können.

Wenn eine MR-Angiographie gefordert wird, müssen die parasellären Gefäße vollständig mit einer Einzelschichtdicke von 1 mm und einer in-plane Auflösung von mindestens 1 × 1 mm dargestellt werden.

Schädel (Schädelbasis und KHBW)

Typische Indikationen: Erkrankungen der basinalen Strukturen des ZNS, insbesondere des Hirnstamms sowie Erkrankungen der Schädelbasis und der angrenzenden Nasennebenhöhlen mit zentralen und/oder peripheren Hirnnervenstörungen. Schädelbasisverletzungen mit Liquorfistel.

Mindestanforderungen: Symmetrische Abbildung der Schädelbasis in Abhängigkeit von der Fragestellung in mindestens zwei Ebenen mit vollständiger Darstellung der Untersuchungsregion beziehungsweise pathologischer Befunde und ihrer Nachbarschaft. Die Ortsauflösung und Kontraste müssen die scharfe Abgrenzung des Liquorraumes und der Hirnnerven von ihrem Ursprung bis zum Eintritt in die Schädelbasis ermöglichen. Die Nerven im inneren Gehörgang, die Schneckenwindungen und die Bogengänge des Labyrinthes müssen sichtbar sein. Pathologische Veränderungen des N. facialis müssen auch im Felsenbein dargestellt werden können.

Hirngefäße

Typische Indikationen: Standardindikation ist der Nachweis oder Ausschluss einer Sinus-/Hirnvenenthrombose in Verbindung mit der Schnittbilddiagnostik. Die MRA der Hirnarterien ist speziellen Anforderungen vorbehalten.

Mindestanforderungen: Hirngefäße müssen bis hinab zu einem Durchmes-

Tabelle 1a

Kopf (Untersuchung beim Erwachsenen)

T1: SE, TR 300–600 ms, TE < 20 ms, FOV 20–25 cm, SD 5–6 mm, Matrix 256x (192–256), Messzeit < 5 min				
T2: TSE, TR > 2000 ms, TE 75–125 ms, FOV 20–25 cm, SD 5–6 mm, Matrix 256x (192–256), Messzeit < 5 min				
	SNR T1	SNR T2	CNR T1	CNR T2
Weißer Substanz	> 50	> 30		
Graue Substanz	> 40	> 30		
Liquor		> 90		
Weißer/grauer Substanz			> 10	
Parenchym/Liquor				> 60

Tabelle 1b

Abdomen (Leber)

T1: GRE, TR < 200 ms, TE < 10 ms, FOV 30–40 cm, SD ≤ 6 mm, Matrix 256x (192–256), Messzeit < 45 s				
T2: TSE, TR < 3000 ms, TE 80–120 ms, FOV 30–40 cm, SD ≤ 6 mm, Matrix 256x (192–256), Messzeit < 5 min				
	SNR T1	SNR T2	CNR T1	CNR T2
Leber	> 15	> 20		
Milz	> 10	> 30		
Leber/Milz			> 5	> 10

Tabelle 1c

Bewegungsapparat (Kniegelenk)

T1: SE, TR < 300–650 ms, TE < 20 ms, FOV ≤ 25 cm, SD 3 mm, Matrix 512x (256–512), Messzeit < 7 min				
	SNR T1	SNR T2	CNR T1	CNR T2
Knochenmark	> 40			
Muskel	> 15			
Knochenmark/Muskel			> 25	

ser von mindestens 1,5 mm dargestellt sein. Bei der Untersuchung der Sinus- und Hirnvenen dürfen beidseits nicht weniger als 3 Brückenvenen dargestellt sein. 2D-Reformationen und MIP-Rekonstruktionen sind durchzuführen.

Gesichtsschädel

Typische Indikationen: Beurteilung der Lage und Ausbreitung von Tumoren und pseudotumorösen entzündlich-granulomatösen Erkrankungen des Viszerokraniums. Nachweis und Differenzierung

von Fehlbildungen des Gesichtsschädels. Gesichtsschädelverletzungen und unspezifische und unkomplizierte entzündliche Erkrankungen stellen keine primäre MR-Indikation dar.

Mindestanforderungen: Reproduzierbare, seitensymmetrische, artefaktarme,

Tabelle 2

Spezielle geräte- und untersuchungstechnische Mindestanforderungen

Region	FOV* cm	Messmatrix Auflösung mm**	Schichtdicke mm	Spulen	Schichtebenen	Wichtung	mögliche Sequenz	Mess- zeit ***	KM	besondere Anforderungen *****	Referenzstrukturen (dargestellt zumindest in einer Sequenz)
Neurokranium											
Schädel	≤25	256x192 ≤1mm	2D≤6mm 3D≤2mm	Kopf- spule	transversal koronar ggf. sagittal	T1, PD T2	SE, TIR TSE/FLAIR SE/GE	<5Min	fakultativ	Flusskompensation (Sättigungspulse)	Diff. grauer u. weißer Substanz Abgrenzung der Kerngebiete, Diff. von basalen Hirnnerven
Schädel Sella-Region	≤20	256x256 ≤1mm	2D≤3mm 3D≤1mm	Kopf- spule	koronar sagittal ggf. trans- versal	T1+T2 T1	SE, TIR TSE SE	<5Min	obligat	Flusskompensation keine Schichtlücke; Mikroadenom: dyn.U.	Diff. Adeno-/Neu- rohypophyse, Infundibulum, Hypophysenstiel; Sehnerven, Chiasma opticum Binnenstrukturen des Sinus cavernosus
Schädel KHBW/Felsenbein Schädelbasis	≤25	256x256 ≤1mm	2D≤3mm 3D≤1mm	Kopf- spule ggf. Spezial- spule	transversal koronar ggf. anat. angepasst	T1+T2 T1	SE, TSE, GE SE	<5Min	fakultativ	Flusskompensation keine Schichtlücke Fettsättigung	Alle Hirnnerven im Untersuchungs- volumen von ihrem Ursprung bis zur Schädelbasis, Cochlea und Labyrinthsystem
MRA (Hirngefäße)	≤25	256x256 ≤1mm		Kopf- spule	transversal	fluss- sensitiv T1	GE schnelle GE****	<12Min <1Min	ohne KM mit KM	Sättigungspulse keine Schichtlücke	Circulus arteriosus Willisii; periphere Hirnarterien je nach Stromgebiet ≤ 1,5 mm
MRV (Hirnvenen)	≤25	256x256 ≤1mm		Kopf- spule	transversal sagittal	fluss- sensitiv T1	GE	<12Min	fakultativ	Sättigungspuls keine Schichtlücke	Mindestens 3 Brückenvenen beidseitig, Sinus cavernosus
Viszerokranium											
Gesichtsschädel	≤25	256x256 ≤1mm	2D≤5mm 3D≤2mm	Kopf- spule	transversal koronar ggf. sagittal	T1+T2 T1+KM	SE TSE(fs) o. STIR SE (fs)	<8Min	fakultativ	Sättigungspulse Flusskompensation Fettsättigung	V. ophthalmica sup. Parotisgang, Faserstruktur der Zungenmuskulatur, getrennte Darstellung der Kaumuskeln
Orbita	≤20	256x256 ≤1mm	2D≤3mm 3D≤1mm	Kopf- spule (ggf. Orbita- spule)	transversal 2.Eb. anat. angepasst	T1+T2 T1	SE, TSE SE	<5Min	fakultativ	Fettsättigung keine Schichtlücke	V. ophthalmica sup.; Differen- zierung Sehnerv/ Liquor/Nervens- scheide; Sehnerv- kanal
Kiefergelenk	≤12	256x256 0,25x0,5 mm	2D≤3mm	Kopf- spule (ggf. Spezial- spule)	schräg-sagittal schräg-koronar Funktionsaufn.	T1+T2 T1	SE SE GE	<5Min		Funktionsunters./ Funktionsstellung (ggf. 256x192)	Discus articularis, Gelenkknorpel

vollständige Abbildung des Gesichtschädels mit mindestens zwei Kontrasten, die eine Abgrenzung aller Weichteilstrukturen ermöglicht. Bei entsprechender Fragestellung muss der Gang der Ohrspeicheldrüse erkennbar sein. Lymphknoten von 5 mm Durchmesser müssen sicher von der Umgebung abzugrenzen sein, um ihre Größenänderung bei Kontrolluntersuchungen nachweisen zu können. Kontrastmittelanreicherungen in pathologisch veränderten Strukturen müssen nach Fettsuppression bei T1-Gewichtung nachweisbar sein.

Orbita

Typische Indikationen: Nachweis oder Ausschluss von tumorösen und entzündlichen Erkrankungen der Orbita; Nachweis und Differenzierung von Fehlbildungen; Endokrine Orbitopathie, Verletzungen des Sehnerven; ätiologische Abklärung einer Optikusatrophie. Suche nach nicht-ferromagnetischen Fremdkörpern.

Mindestanforderungen: Vollständige artefaktarme Abbildung der Orbita und ihres Inhalts mit eindeutiger Abgrenzung der liquorgefüllten Sehnervenscheide vom Sehnerven und mit Abbildung der V. ophthalmica superior. Die Kontraste müssen den Nachweis einer Optikusneuritis ermöglichen.

Kiefergelenke

Typische Indikation: Gelenksdysfunktion

Mindestanforderungen: Reproduzierbare, seitensymmetrische und artefaktfreie Abbildung beider Kiefergelenke mit eindeutiger Abgrenzbarkeit des Discus articularis bei geschlossenem und geöffnetem Mund. Der Knorpelüberzug des Kieferköpfchens muss erkennbar sein können.

Halsweichteile

Typische Indikationen: Abklärung von Fehlbildungen, insbesondere Fehlbildungstumoren und Zysten und klinisch unklarer Befunde der Halsweichteile einschließlich des Plexus cervicalis. Pathologische Prozesse, die sich der klinischen, endoskopischen, sonographischen Diagnostik aufgrund ihrer Lage und/oder Ausdehnung entziehen (z. B. Pharynx, Speicheldrüsen). Dazu zählen auch das Staging und die Nachsorge von Tumoren.

Mindestanforderungen: Reproduzierbare, artefaktarme Abbildung der be-

troffenen Halsweichteile, die eine Abgrenzung aller vorhandenen Weichteilstrukturen ermöglicht. Folgende anatomische Strukturen müssen in ihren Konturen mit geeignetem Kontrast abgebildet sein: Muskeln, Fettgewebe, Wirbelkörper, Halsgefäße, Nerven des Plexus brachialis, Zunge, Speicheldrüsen, zervikaler Ösophagusabschnitt, Kehlkopf mit Stimmbändern und Sinus Valsalvae, Schilddrüse, Nebenschilddrüse ab 5 mm Durchmesser. Lymphknoten ab 5 mm Durchmesser müssen sicher von der Umgebung abgegrenzt werden können, um ihre Größenänderung bei Kontrolluntersuchungen nachweisen zu können.

Kontrastmittelanreicherungen in pathologisch veränderten Strukturen müssen nach Fettsuppression bei T1-Gewichtung nachgewiesen werden können.

Halsgefäße

Typische Indikationen: Dissektionen, Stenosen und Gefäßanomalien der supraaortalen Arterien, insbesondere bei unklarem Farbdopplerbefund.

Mindestanforderungen: Überlagerungsfreie Abbildung der hirnzuführenden Halsgefäße beider Halsseiten in einem kraniokaudalen Abschnitt von mindestens 12 cm in mindestens 3 Projektionen mit Darstellung der Vertebralarterien und der Karotisgabeln.

Wirbelsäule und Spinalkanal

Typische Indikationen: Abklärung spinaler Fehlbildungen; Abklärung frischer Traumafolgen, insbesondere Beurteilung von Rückenmarks/Kauda-Kompressionen, intramedullären Blutungen, Nervenwurzelaustrissen; Abklärung alter Traumafolgen; Abklärung einer nicht traumatischen Querschnittssymptomatik; Abklärung einer mono- oder mehrsegmentalen Radikulopathie, Abklärung einer konstanten oder fluktuierenden Myelopathie (Tumor, Entzündung, Ischämie, Syringomyelie, AVM), Suche nach Abtropfmetastasen oder Wirbelmetastasen bei Patienten mit bekanntem Tumorleiden; Therapieplanung und Therapiekontrolle von Tumoren der Wirbelsäule und des Spinalkanals.

Funktionsuntersuchungen stellen derzeit keine validierte Standardindikation dar.

Halswirbelsäule und Zervikalkanal

Mindestanforderungen: Reproduzierbare, fluss- und bewegungsartefaktarme Darstellung der Halswirbelsäule und des

Zervikalkanal in sagittaler, transversaler oder ggf. anderer geeigneter Ebene mit Kontrasten, die es erlauben, krankhafte Knochenmarksveränderungen zu erkennen, Knochengrenzen vom Bandscheibengewebe zu unterscheiden und – mit Querschnitten – die Nervenwurzeln bis in die Rezessus und Zwischenwirbellöcher zu verfolgen. Subakute Blutungen müssen mit T2*-gewichteten Transversal- oder Sagittalschichten sichtbar gemacht werden können.

Beim ersten Nachweis einer Syringomyelie sind das obere und untere Ende des Spinalmarks abzubilden und ein Tumor auszuschließen. Bei der Suche nach Tumoren, Entzündungen und Gefäßmalformationen sind T1-gewichtete Messungen vor und nach Kontrastmittelgabe erforderlich.

Brust- und Lendenwirbelsäule, Kreuzbein, Thorakal-, Lumbal- und Sakralkanal

Mindestanforderungen: Übersichtsdarstellung des untersuchten Wirbelsäulenabschnitts in mindestens 1 Ebene unter Einschluss zumindest einer benachbarten Region zur eindeutigen Höhenlokalisierung. An der BWS bedeutet dies die Übersichtsdarstellung der Wirbelsäule ab dem 2. Halswirbel.

Reproduzierbare, fluss- und bewegungsartefaktarme Darstellung der Brust- und Lendenwirbelsäule, des Os sacrum, des Thorakal-, Lumbal- und Sakralkanal in der sagittalen Ebene sowie im Bereich der erwarteten oder vorhandenen Pathologie in transversaler Ebene mit Kontrasten, die es erlauben, krankhafte Knochenmarkveränderungen zu erkennen, Knochengrenzen vom Bandscheibengewebe zu unterscheiden und – mit Querschnitten – die Nervenwurzeln in ihrem Verlauf durch die Rezessus, die Zwischenwirbelkanäle bis in die paravertebralen Weichteile zu verfolgen. Die Zwischenwirbelgelenke müssen beurteilbar dargestellt sein. Die perimedullären Gefäße müssen bei Bedarf abgebildet sein.

Bei möglicher Läsion im Verlauf des Plexus lumbalis ist die vollständige Darstellung des neurovaskulären Bündels bis zur Leistenbeuge in koronaler und transversaler Ebene erforderlich.

Sakrum und Sakroiliakgelenke

Typische Indikationen: Klinische Hinweise auf einen pathologischen Prozess.

Mindestanforderungen: Reproduzierbare, vollständige Abbildung beider Sa-

Region	FOV* cm	Messmatrix Auflösung mm**	Schichtdicke mm	Spulen	Schichtebenen	Wichtung	mögliche Sequenz	Mess- zeit ***	KM	besondere Anforderungen *****	Referenzstrukturen (dargestellt zumindest in einer Sequenz)
Hals											
Halsweichteile	≤25	256x256 ≤1mm	2D≤5mm 3D≤2mm	Kopf/ Hals- spule oder Spezial- spule	transversal koronar ggf. sagittal	T1+T2 T1+KM	SE TSE(fs) o. STIR SE(fs)	<8Min	fakultativ	Sättigungspulse Flusskompensation Fettsättigung	Glottis, Parotis- ausführungsgang, Abgrenzbarkeit der größeren Gefäße
MRA (Halsgefäße)	≤25	512x256 ≤1mm		Kopf/ Hals- spule oder Spezial- spule	koronar	fluss- sensitiv T1	GE schnelle GE****	<12Min <1Min	ohne KM mit KM	Sättigungspulse keine Schichtlücke	Karotiszweig, Vertebralarterien, A. thyreoidea sup., Darst. der Aa bis zur 3. Aufzw.
Stammskelett											
HWS	≤25	256x256 ≤1mm	2D≤3mm 3D<1,5mm	WS- oder Hals- spule	sagittal ggf. transversal koronar Lokalisationsbild	T1+T2 T2	SE, STIR TSE/GE	<5Min	fakultativ	Sättigungspuls Flusskompensation Fettsättigung	Nervenzwurzeln bis i. d. Foramina, hinte- res Längsband. Ab- grenzung der intra- spinalen Komparti- mente (Rückenmark, Liquor, Extradural- raum), Zwischen- wirbelgelenk mit Gelenkspalt, peri- medulläre Gefäße
BWS/LWS degen. Veränd.	≤35	512x256 ≤1x1,5mm	2D≤4mm 3D≤1,5mm	WS- Spule	sagittal schräg-axial Lokalisations- bild	T1+T2 T1	SE, STIR TSE	<5Min		ant. Sättigungspuls Flusskompensation Fettsättigung	Nervenzwurzeln bis i. d. Foramina und paravertebral, ggf. Plexus, BS-Diff., Ligg. ZW-Gelenke, peri- medulläre Gefäße
BWS/LWS Spinalkanal/ Myelon	≤50	512x256 ≤1mm	2D≤4mm 3D<1,5mm	WS- Spule	sagittal ggf. axial/koronar (Path.) Lokalisations- bild	T1+T2 T1	SE TSE	<5Min	fakultativ	ant. Sättigungspuls Flusskompensation BWS: EKG-Trigg.	Abgrenzung der intraspinalen Kompartimente (RM-CSF-EDR), Nervenzwurzeln bis i. d. Foramina und paravertebral, perimedulläre Gefäße
BWS/LWS entz./tum. Veränd.	≤35 (512) ≤50 (1024)	256x256 512x256 ≤1mm	2D≤4mm	WS- Spule	sagittal ggf. axial/koronar (Path.) Lokalisations- bild	T1+T2 T1	SE TSE(fs) o. STIR SE(fs)	<5Min	fakultativ	ant. Sättigungspuls Flusskompensation Fettsättigung (fs)	Abgrenzung der intra-/paraspinale Kompartimente, Nervenzwurzeln und Plexus, Bandschei- ben und Ligamente, perimedulläre Gefäße
SIG	≤25	512x256 ≤0,5x1mm	2D≤5mm	zielvol. adap- tierte OF- Emp- fangs- spule	transversal ggf. koronar	T1 o. KM T2 T1+KM	SE TSE(fs) o. STIR SE	<5Min	empf.	ant. Sättigungspuls Fettsättigung	Gelenkspalt, sub- chondrale Grenz- lamelle, Knochen- bälkchenstruktur im Os sacrum, Nerven- wurzeln i. d. Foramina
Bewegungsapparat											
Schultergelenk	≤20	512x256 ≤0,5x1mm	2D≤3mm 3D≤1mm	ge- eignete Spezial- spule	transversal schräg koronar schräg sagittal	T1+T2 T1+T2 T1	SE, TSE/STIR SE, TSE/STIR SE GE	<5Min	fakultativ	(Fettsättigung)	Gelenkknorpel, sub- chondrale Grenzla- melle, Labrum, Rota- torenmanschette, Faserstruktur der Muskulatur, Ligg. coracoclaviculare, Lig. glenohumerale mediale, Spongiosa- architektur

croiliakalgelenke im Seitenvergleich in mindestens 2 Ebenen mit Kontrasten, die es erlauben, krankhafte Veränderungen des Knochenmarks, der Gelenkspalten und der subchondralen Grenzlamelle zu erkennen. Darstellung der Nervenwurzeln in den Foramina.

Bewegungsapparat

Typische Indikationen: Differenzierung von degenerativen, infektiösen und nichtinfektiösen entzündlichen, von tumorösen und posttraumatischen Erkrankungen der Knochen, Gelenke und Weichteile. MRT-Indikationen sind darüber hinaus Osteonekrosen, die Epiphyseolyse und die transitorische Osteoporose. Bei den nachfolgend nicht aufgelisteten Gelenken ist die MRT nur in speziellen Fragestellungen indiziert. Funktionsuntersuchungen des Bewegungsapparates befinden sich im Stadium der Forschung und sind bisher nicht ausreichend validiert.

Schultergelenk und Supraklavikularregion

Mindestanforderungen: Vollständige Abbildung des Schultergelenks einschließlich des Schulterreckgelenks oder der Supraklavikularregion und des Plexus brachialis. Für die Abklärung des Schultergelenks geeignete Untersuchungsebenen sind die Transversalebene und die schräg-koronare Ebene parallel zur Supraspinatussehne. Kontraste und Ortsauflösung müssen ausreichend groß sein, um die Spongiosaarchitektur, das Labrum glenoidale, die Sehnen der Rotatorenmanschette, den kurzen und den langen Kopf der Bizepssehne, das periartikuläre und perimuskuläre Fettgewebe, die Gelenkrezessus und den Knorpelüberzug des Humeruskopfes und der Gelenkpfanne darzustellen und eindeutig voneinander abgrenzen. Ist dies nicht möglich, soll die Untersuchung bei entsprechender Indikation durch eine indirekte Arthrographie (intravenöses KM/Fettsättigung) oder direkt durch eine NaCl-Kontrastierung des Gelenkbinnenraums ergänzt werden. Die Abgrenzung neuraler Strukturen und von Lymphknoten ab 5 mm muss möglich sein.

Ellbogengelenke

Mindestanforderungen: Reproduzierbare, vollständige, artefaktfreie Abbildung aller anatomischen Strukturen

des Ellbogengelenks mit Kontrasten, die eine Beurteilung des Gelenkknorpels, der Sehnenansätze und des N. ulnaris zulassen.

Handgelenke

Mindestanforderungen: Darstellung der Handwurzelknochen, des Discus triangularis und seiner Befestigungen am Knochen, der Sehnen und des Nervus medianus bis zur Aufzweigung mit mindestens 2 Gewichtungen. Der Knorpelüberzug des distalen Radius muss beurteilbar sein. Die Spongiosaarchitektur muss dargestellt sein. Die Ortsauflösung von 0,25 x 0,5 x 2 mm muss erreicht werden.

Hüftgelenke

Mindestanforderungen: In Neutralstellung reproduzierbare, vollständige Abbildung beider Hüftgelenke im Seitenvergleich und des erkrankten Hüftgelenks in mindestens einer weiteren Ebene mit Kontrasten, die es erlauben, die trajektorielle Ausrichtung der Spongiosa, das Labrum acetabuli und die Kontur des Knorpelüberzugs darzustellen und zu beurteilen sowie krankhafte Veränderungen des Knochenmarks zu erkennen.

Kniegelenke

Mindestanforderungen: Reproduzierbare, vollständige, artefaktfreie Abbildung aller anatomischen Strukturen eines Kniegelenks in mindestens 3 Ebenen mit Messungen, die einen so hohen Kontrast zwischen der Gelenkflüssigkeit, den Menisken, den Bändern, der knöchernen Kortikalis und dem Gelenkknorpel herstellen, dass die Knorpelkonturen im Schnittbild klar zu beurteilen und Knorpeldefekte von 3 mm Durchmesser und 1,5 mm Tiefe eindeutig nachzuweisen oder auszuschließen sind. Die Kreuz- und Kollateralbänder und das Retinaculum patellae müssen in ihrem anatomischen Verlauf zweifelsfrei abgebildet sein. Die Spongiosaarchitektur muss dargestellt sein. Krankhafte Veränderungen des Knochenmarks und mit Synovialflüssigkeit kontrastierbare Meniskusläsionen müssen in allen Abschnitten erkennbar sein.

Sprunggelenke und Fußgelenke

Mindestanforderungen: Reproduzierbare, vollständige, artefaktfreie Abbildung aller anatomischen Strukturen des oberen und unteren Sprunggelenks oder der anderen Fußgelenke mit Messungen, die einen so hohen Kontrast

zwischen der Gelenkflüssigkeit, den Bändern, der Kortikalis der Knochen und dem Gelenkknorpel herstellen, dass die Knorpeloberflächen klar zu beurteilen und Knorpeldefekte von 3 mm Durchmesser und 1,5 mm Tiefe eindeutig auszuschließen oder zu erkennen sind. Die trajektorielle Ausrichtung der Spongiosa muss dargestellt sein und ein Knochenmarksödem muss sichtbar gemacht werden können.

Extremitäten

Typische Indikationen: Zusätzlich zu den oben genannten Indikationen ist die MRT im Rahmen der Therapieplanung und Therapiekontrolle von Knochen- und Weichteiltumoren zur genauen Beurteilung von Lokalisation, Ausdehnung und Volumen des Prozesses geeignet.

Mindestanforderungen: Vollständige Abbildung des zu untersuchenden Extremitätenabschnittes in mindestens 2 Ebenen parallel und senkrecht zur Längsachse, davon in einer Ebene mindestens mit T1- und T2-Gewichtung. Aufnahmen vor und nach Kontrastmittelgabe sollten ebenfalls in dieser Ebene angefertigt werden. Auf den Aufnahmen mit dem größten Gewebekontrast, die zur Lokalisation, Abgrenzung und Volumenbestimmung herangezogen werden, müssen die Messungen nachvollziehbar dokumentiert sein. Zur genauen Lokalisation muss in mindestens einer Ebene ein benachbartes Gelenk mit abgebildet sein.

Thorax und Mediastinum

Typische Indikationen: Nachweis, Ausbreitungs- und Lokalisationsdiagnostik von Raumforderungen der Thoraxwand und des Mediastinums. Nachweis oder Ausschluss der Beteiligung mediastinaler Lymphknoten im Rahmen entzündlicher oder neoplastischer Lymphknotenerkrankungen. Bestimmung der Ausdehnung von Entzündungen und Tumoren der Wirbelsäule und des hinteren Mediastinums.

Mindestanforderungen: Unter Verwendung einer Herztriggerung reproduzierbare Abbildung aller Hilusstrukturen mit T1- und T2-Gewichtung in mindestens 1 Ebene und mit einer dieser Gewichtungen in mindestens einer weiteren Ebene. Abgrenzung der Hilusgefäße, der Lappenbronchien und des Perikards. Darstellung von Ösophagus, paraösophagealem und retrosternalem Gewebe und des Paravertebralraumes. Abbildung von 5 mm großen Lymphknoten. Es müssen diagnostisch verwertbare Messungen im

Atemstillstand mit Messzeiten von nicht mehr als 30 Sekunden bzw. Messungen mit Atemgating möglich sein.

Herz und große Gefäße

Typische Indikationen: Nachweis und Beurteilung komplexer kongenitaler Fehlbildungen des Herzens und der großen Gefäße und deren postoperative Kontrolle. Nachweis oder Ausschluss in-

trakavitärer und muraler Raumforderungen des Herzens sowie entzündlicher und tumoröser Perikarderkrankungen. Rechtsventrikuläre Myokarddysplasie. Aneurysmen und Dissektionen der Aorta (vgl. MR-Angiographie). Ergänzende Diagnostik bei nicht konklusiver echokardiographischer Vordiagnostik.

Mindestanforderungen: Nach Übersichtsaufnahmen zur Schichtlokalisation vollständige Abbildung des epikardialen Fettgewebes, der Herzkontur, aller Herz-

kammern, der Septen und des Herzmuskels, der Herzklappen, der hilusnahen großen Gefäße und der abgangsnahen Abschnitte der Koronararterien in mindestens 2 geeigneten Ebenen. Messungen der Herzwanddicke und der Septen müssen möglich sein. Die Möglichkeit zu dynamischen Messungen der Herzwandbeweglichkeit und zu Flussmessungen in der Aorta und in den großen Lungenarterien muss vorgehalten werden. Die zeitliche Auflösung muss bei einer Frequenz

Region	FOV* cm	Messmatrix Auflösung mm**	Schichtdicke mm	Spulen	Schichtebenen	Wichtung	mögliche Sequenz	Messzeit ***	KM	besondere Anforderungen *****	Referenzstrukturen (dargestellt zumindest in einer Sequenz)
Bewegungsapparat											
Ellbogengelenk	≤20	512x256 ≤0,5x1mm	2D≤3mm 3D≤1mm	geeignete Spezialspule	transversal koronar oder sagittal bezogen auf den Humerus	T1+T2	SE TSE/STIR GE	<5Min	fakultativ	(Fettsättigung)	Sehnenansätze, N. ulnaris, Spongiosa- architektur, sub- chondrale Grenz- lamelle, Gelenk- knorpel
Handgelenk	≤15	512x256 0,25x0,5 mm	2D≤3mm 3D≤1mm	geeignete Spezialspule	transversal koronar (evtl. alle 3 Eb.)	T1+T2 T1+T2 (ggf. PD)	SE TSE/STIR GE	<5Min	fakultativ	(Fettsättigung)	subchondrale Grenzlamelle, interkarpale Ligg., Sehnen u. Sehnen- scheiden, N. medianus, Spongiosa- architektur, Gelenknorpel
Hüftgelenke (vergl. Unters. bd. Hüftgelenke)	≤45 angepasst ≤25 bei Darstellung eines Hüftgelenks	512x256 ≤0,5x1mm	2D≤4mm 3D≤1mm	Körperspule oder geeignete Spezialspule	transversal koronar ggf. Sag. (Labrum)	T2 T1+T2 T1	TSE/STIR SE SE	<5Min	fakultativ	(Fettsättigung)	Gelenknorpel Labrum Spongiosa- architektur, subchondrale Grenzlamelle
Kniegelenk	≤25 angepasst	512x256 ≤0,5x1mm	2D≤3mm 3D≤1mm	geeignete Spezialspule	sagittal koronar transversal ggf. schräg	T1 o. PD T1+T2 T2	SE TSE/STIR TSE GE	<7Min <10Min	fakultativ	Fettsättigung	Gelenknorpel, Kreuz- und Kollateralbänder, Retinakulum, Spongiosa- architektur
Fußgelenke	≤25 angepasst	512x256 ≤0,5x1mm	2D≤3mm 3D≤1mm	geeignete Spezialspule	sagittal koronar transversal ggf. schräg	T1+T2	SE TSE/STIR GE	<5Min	fakultativ	Fettsättigung	Gelenknorpel, Achillessehne; Peronealsehnen- Differenzierung, Spongiosastruktur, subchondrale Grenzlamelle, Faserstruktur der Innen- und Außenbänder
Extremitäten	15–40 angepasst	512x256 ≤1mm	2D≤5mm 3D≤1mm	geeignete Spezialspule	transversal 2. Eb. anat. angepasst	T1+T2 ggf. T1+KM	SE TSE(fs) o. STIR SE(fs)	<5Min	empf.	Fettsättigung	Muskelfiederung, Fettsepten, Faszien zur Abgrenzung der Kompartimente, Gelenkkonturen, Gefäße u. Nerven ≥ 1,5 mm Durchmesser

von 70 / Minute mindestens 8 Phasen pro Herzzyklus betragen.

Abdomen (Leber, Milz)

Typische Indikationen: Nachweis und Differenzierung oder Ausschluss fokaler Leber- und Milzläsionen. Nachweis und Lokalisation von Gallenwegsobstruktionen. Hämochromatose/-siderose.

Mindestanforderungen: Nach Übersichtsaufnahmen zur Schichtlokalisation vollständige Abbildung der Leber mit Kontrasten, die die Detektion und Differenzierung von Hämangiom und fokaler nodulärer Hyperplasie, von Metastasen und primären Lebertumoren zulassen (ausreichender Leber-Milz-Kontrast!). Zuverlässige Abbildung von Lymphknoten ab 5 mm Durchmesser. Artefaktarme Abbildung der intra- und extrahepatischen Gallenwege und des Pankreasgangs. Indikationsabhängig ist u. U. eine Kontrastmitteluntersuchung obligat.

Retroperitoneum (Pankreas)

Typische Indikationen: Tumorverdacht bei sonographisch und computertomographisch nicht konklusivem Befund.

Mindestanforderungen: Reproduzierbare, vollständige, artefaktarme Darstellung des Pankreas mit eindeutiger Abgrenzung gegenüber dem Darm und dem retroperitonealen Fettgewebe sowie gegenüber den benachbarten Gefäßen. Abbildung des Pankreasgangs und des Gallengangs. Abgrenzung der retroperitonealen Faszien. Nachweis von Lymphknoten ab 5 mm Durchmesser.

Retroperitoneum (Nieren, Nebennieren, große Gefäße, Lymphknoten)

Typische Indikationen: Nachweis und Differenzierung oder Ausschluss fokaler Nierenläsionen, insbesondere bei Kontraindikation gegen Röntgenkontrastmittel. Differenzierung von Nebennierenvergrößerungen und Nebennierentumoren. Lokalisation und Ausdehnungsbestimmung von anderen retroperitonealen Tumoren und Entzündungen. Nachweis retroperitonealer Lymphknotenveränderungen.

Mindestanforderungen: Vollständige Abbildung beider Nieren im Atemstillstand oder mit Artefaktkompensation auch im Seitenvergleich mit Kontrasten, die die Darstellung der Mark-Rindengrenze, des Nierenbeckenkelchsystems

und der proximalen Harnleiter ermöglichen. Abgrenzung der retroperitonealen Faszien und vollständige artefaktfreie Abbildung der Nebennieren im retroperitonealen Fettgewebe.

Weibliches und männliches Becken

Typische Indikationen: Nachweis, Lokalisations- und Ausbreitungsdiagnostik von entzündlich-abszedierenden Prozessen und organüberschreitenden Tumoren des Beckens. Im Bedarfsfall Staging von Tumoren. Anorektale Fehlbildungen und Fehlbildungen der Genitalorgane. Endometriose.

Mindestanforderungen: Reproduzierbare, artefaktfreie Abbildung des Zielvolumens bei gefüllter Harnblase bis zur Beckenwand, vom Beckenkamm bis in Höhe des Anus. Darstellung der Harnblase mit den distalen Ureterabschnitten, von Rektum und pararektalen Hülfaszien, von Uterus mit Zervix beziehungsweise von Samenblasen und Prostata mit ihrer Kapsel und der zonalen Anatomie. Die neurovaskulären Bündel und Lymphknoten ab 5 mm Durchmesser müssen gut abgrenzbar sein. Die Möglichkeit der Fettsuppression muss gegeben sein, um Infiltrationen und feine Fisteln gegenüber den Muskeln und soliden Organen ausreichend abgrenzen zu können.

Mamma

Indikationen: Unklare Röntgenmammographie- und Mammasonographie-Befunde bei Narben nach Operation beziehungsweise Fibrose nach Strahlenbehandlung wegen eines Mammakarzinoms. Unklare Sonographiebefunde der Brust nach Aufbauplastik wegen eines Mammakarzinoms. Gesicherter Lymphknotenbefall eines axillären Lymphknotens bei unauffälliger Röntgenmammographie und Mammasonographie.

Mindestanforderungen: Vollständige Abbildung beider Mammæ im Seitenvergleich in axialer oder koronaler Schnittführung zwischen dem 7. und 17. Zyklustag mit einer dynamischen Untersuchung, d. h. mit einer Messung vor und mindestens 5 Messungen nach Bolusinjektion von 0,1–0,2 mmol MR-Kontrastmittel pro kg Körpergewicht. Für die dynamische Untersuchung müssen die KM-Sequenzen in Intervallen von unter 2 Minuten wiederholt werden können. Auswertung mit einer Software, die die Erkennung vorgetäuschter Kontrastmittelanreicherungen in den zu erstellenden Subtraktionsaufnahmen durch Bewegen

gen der Mammæ während aufeinanderfolgender Messungen erlaubt. Zusätzlich Darstellung der Mammæ in mindestens einer Ebene mit T2-gewichteten Aufnahmen zur Beurteilung mastopathischer Veränderungen und von Zysten.

Die Befundung muss in Zusammenhang mit der Mammographie und der Mammasonographie erfolgen.

Gefäße

Häufige Indikationen: Erkrankungen der Aorta und ihrer Äste erster Ordnung, der Pulmonalarterien, der Becken-Bein-Gefäße sowie der großen Venen und der portalvenösen Strombahn.

Mindestanforderungen: Darstellung der interessierenden Gefäßregion, z. B. des gesamten Aortenbogens und der supraaortalen Äste mit Abbildung der Interkostalarterien oder der gesamten Bauchorta und ihrer Äste einschließlich der Lumbalarterien, der Lungenarterien oder der Becken-Bein-Gefäße mit ihren Hauptästen nach maschineller Bolusinjektion von MR-Kontrastmittel. Bei der Arterienarterien-Darstellung ist eine Bolustriggerung zur Minimierung der Venenkontrastierung empfehlenswert. Die Darstellung in 2D- oder MIP-Rekonstruktionen (ggf. auch in 3D-Rekonstruktionen) in mindestens zwei Ebenen ist obligat.

Allgemeine Anforderungen an die Untersuchungstechnik

Lagerung, Einstellung, Messebenen und Schichtabstand

Nach genauer Festlegung des zu untersuchenden Körperabschnitts soll die Lagerung des Patienten in reproduzierbarer Weise mit möglichst achsensymmetrischer Ausrichtung erfolgen. Die Positionierung des Patienten, die Festlegung der Untersuchungsregion und die Markierung der Schnittebenen soll anhand von Übersichtsbildern vorgenommen, kontrolliert und dokumentiert werden. Bei der Dokumentation ist auf die Einzeichnung der Lageposition des Patienten und der Seiten in die Aufnahmen zu achten.

Die untersuchte Körperregion muss komplett und entsprechend der klinischen Fragestellung ggf. mit den angrenzenden Körperabschnitten dargestellt werden. Bei grenzüberschreitender Pathologie ist die komplette Darstellung des pathologischen Befundes bzw. der betroffenen Regionen erforderlich.

Die Untersuchung muss in der Regel in mindestens zwei Raumebenen erfol-

gen, wobei eine der beiden Ebenen in mindestens zwei verschiedenen Kontrasten zu untersuchen ist. Dabei soll die Messgeometrie der in zwei Kontrasten untersuchten Ebene identisch sein, d. h. Schichtorientierung, Schichtdicke, Schichtabstand, Schichtlücke, Schichtposition in allen drei räumlichen Koordinaten und Messfeldgröße dürfen

nicht verändert werden. Die beiden Raumebenen sollen entweder senkrecht aufeinander stehende Ebenen oder aber für die Untersuchungsregion besonders geeignete Schnittebenen sein. Bei Kontrastmitteluntersuchungen von Parenchym wird für alle Akquisitionphasen (prä-, post-Kontrast) die gleiche Untersuchungstechnik bezüg-

lich Lage und Position der Schichten verwendet.

Die Schichten sollen mit geeignetem sequenzspezifischem Schichtabstand gemessen werden. Für eine lückenlose Akquisition sind eine 3D-Sequenz, Zwischenschichten oder überlappende Schichten mit einer zweiten Messung erforderlich. Der Schichtabstand

Region	FOV* cm	Messmatrix Auflösung mm**	Schichtdicke mm	Spulen	Schichtebenen	Wichtung	mögliche Sequenz	Mess- zeit ***	KM	besondere Anforderungen *****	Referenzstrukturen (dargestellt zumindest in einer Sequenz)
Thorax											
Thoraxwand und Mediastinum	≤40 angepasst	256x192 ≤1,5x2mm	2D≤6mm 3D≤3mm	Körperspule oder zielvol.- adaptierte OF-Empfangs- spule	transversal koronar ggf. sagittal	T1+T2 T1	SE, TSE SE (GE)	<10Min	fakultativ	EKG-Triggerung Atemartefakt- unterdr. bzw. Atemstillstand	Diff. d. Hilus- strukturen (Gefäße und Lappen- bronchien), Perikard, Koronar- gefäße (abgangs- nah), Sinus coronarius, V. azygos/hemiazygos
Herz	≤32 angepasst	256x160 1,2x2mm Funktions- U 256x128	2D≤6mm Funktions-U.: Erw. 8–10mm Kinder 6–8mm 3D≤3mm	zielvol.- adaptierte OF-Empfangs- spule	Längsachse (Ebene der Vierkammer- darstellung) kurze Achse senkrecht zur Herzlängs- achse	T1+T2 (T2*) T1	SE, TSE flusskomp. GE (>8Ph./ Zykl.)	<10Min variabel <0,5 Min	fakultativ	EKG-Triggerung Atemartefakt- unterdr. bzw. Atemstillstand	Differenz. Myo-/ Perikard, Herz- kammern, Herz- klappen, Koronar- gefäße (abgangs- nah), herz- nahe große Gefäße, epikardiales Fett- gewebe, Papil- larmuskel, Trabecula septo- marginalis
Abdomen/Becken											
Leber/Milz	≤40 angepasst	256x192 1,5x2mm	2D≤6mm 3D≤3 mm	Körperspule oder zielvol.- adaptierte OF-Empfangs- spule	transversal	T1+T2	SE, TSE GE	<5Min <0,8 Min	fakultativ ggf. dy- nam. U.	Fettsättigung Sättigungspulse Atemartefakt- unterdr. bzw. Atemstillstand keine Schichtlücke	guter Leber/Milz- Kontrast, A. hepatica; D. choledochus/ pancreaticus/ hepaticus dexter und sinister, bei MRCP: Darstellung der intra- und extra- hepatischen Gallenwege bis zur Papille in mindestens 2 Projektionen
Pankreas	≤40	256x192 1x1,5mm	2D≤6mm 3D≤3 mm	zielvol.- adaptierte OF-Empfangs- spule	transversal	T1+T2	SE, TSE GE	<5Min <0,5 Min	obligat dy- nam. U. fakultativ: KM oral	Fettsättigung Atemartefakt- unterdr. bzw. Atemstillstand Einfalt- artefaktunterdr.	D. choledochus/ pancreaticus/ hepaticus dexter und sinister, klare Darst. aller Gefäße der Mesenterial- wurzel, retroperitoneale Faszien, bei MRCP: Darstellung des Pankreasgangs vom Pankreas- schwanz bis zur Papille in mindestens 2 Projektionen

ist auf den Aufnahmen zu dokumentieren.

Messesequenzen und Kontrastmittel

Die Wahl der Messesequenzen und der Kontraste und der sonstigen Parameter muss zur Beantwortung der Fragestellung geeignet sein. Die Kontrastierung von Parenchym erfolgt durch intravenöse Infusion oder manuelle beziehungsweise maschinelle Bolusinjektion, von Gefäßen durch flussgesteuerte maschinelle Applikation. Gegebenenfalls ist eine Kontrastierung von Hohlorganen und anderen Hohlräumen erforderlich.

Bildwiedergabe, Dokumentation und Befundbericht

Alle wesentlichen Parameter einer MR-Untersuchung müssen so auf Film, Papier oder digitalem Speichermedium dokumentiert werden, dass auch im nachhinein eine einwandfreie Beurteilung aller diagnostisch relevanten Ergebnisse möglich ist. Folgende Anforderungen sind zu erfüllen: Richtige Bezeichnung der Lage des Patienten, der Seiten und der Position des Kopfes oder der Füße. Auf den Übersichtsbildern ist die Lage der Schichtebenen nachvollziehbar zu dokumentieren. Die gesamte Untersuchungsregion muss in anatomisch richtiger Reihenfolge und mit allen relevanten Bildserien dokumentiert werden. Diese Forderung ist besonders für die Wirbelsäulen- und Extremitätdiagnostik notwendig. Das Fehlen eines pathologischen Befundes muss nachvollziehbar sein. Ein pathologischer Prozess muss vollständig, auch in seinen Auswirkungen auf die umgebenden Strukturen dargestellt und beurteilbar sein. Die diagnostisch relevanten Befunde müssen in einem Format dokumentiert sein, das bei normaler Sehstärke die Beurteilung ohne Lupe zulässt.

Im Befundbericht muss auf die klinische Fragestellung und die Untersuchungsmethodik eingegangen und auf das Ergebnis bildgebender Voruntersuchungen Bezug genommen werden.

Dokumentation folgender Daten auf den Bilddokumenten: Name, Vorname; Geburtsdatum des Patienten; Untersuchungsdatum; Untersuchungsidentifikation; Seriennummer; Bildnummer;

Dokumentation gerätespezifischer Daten: Institution; Gerätetyp; Feldstärke des Grundfeldes; Herstellerfirma des MR-Systems.

Dokumentation untersuchungsbezogener Daten: Patientenposition; bei Kontrastmittelgabe: Art, Menge und Verab-

reichungsform des Kontrastmittels; Messsequenz (mit Akronymen wie z.B. SE, GE, EPI): Repetitionszeit, Echozeit (effektiv), Inversionszeit, Flipwinkel (falls nicht 90°), Empfängerbandbreite, Lage der Schichten, in der Regel an einem Übersichtsbild dargestellt, Messfeldgröße, Schichtdicke, Schichtabstand, Aufnahmematrix, Phasenkodierrichtungen, Anzahl der Mittellungen, Echozuglänge, Messzeit der Serie, Art der HF-Spule, Kompensationen (Atem-, Fluss-), Gating und Trigger-Delay (EKG-, peripher, Puls-), Sättigungspulse (spektrale, örtliche), Vergrößerungsfaktor oder Maßstab.

Darstellungsparameter: Fensterlage und Fensterbreite

Technisch-physikalische Qualitätsanforderungen

Anforderungen an die Gerätetechnik

Ein MR-Gerät besteht aus dem Magneten mit Shimsystem, dem Gradientensystem, dem Hochfrequenzsystem, einem Rechnersystem und Hilfsgeräten. Die Qualität einer MR-Untersuchung hängt nicht zuletzt von der Qualität dieser Komponenten und ihrer Funktionsfähigkeit ab.

Die Magnetfeldstärke ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal, da im Bereich der international zugelassenen Feldstärken eine etwa lineare Beziehung zwischen Feldstärke und Signal-zu-Rausch-Verhältnis besteht, wenn alle technischen Möglichkeiten genutzt und alle anderen Faktoren, die das Signal und das Rauschen beeinflussen, konstant gehalten werden.

Das *Shimsystem* dient der Korrektur von Feldinhomogenitäten, die durch den Patienten und notwendiges Equipment im Untersuchungsbereich verursacht werden. Dieser Ausgleich sollte für die Bildgebung und für Aufnahmen mit selektiver Fett- oder Liquorsuppression nicht länger als 3 Minuten in Anspruch nehmen. Bei allen Indikationen, die eine Untersuchung mit frequenzselektiver (Chemical-shift) Sättigung erfordern, ist eine Homogenität des äußeren Magnetfeldes von 2,5 ppm ((1,25 ppm-peak to peak) über das jeweils diagnostisch erforderliche Messfeld und die gesamte Messzeit notwendig.

Das *Gradientensystem* dient zur Schichtselektion und räumlichen Kodierung sowie zur De- und Rephasierung der Spins. Mit rechnergesteuerten Strömen in den Gradientenspulen werden kurzzeitig ortsabhängige Zusatzfelder

erzeugt. Leistungsmerkmale des Gradientensystems sind die Stärke der schaltbaren Gradienten, die Anstiegszeit, die Schaltgenauigkeit, die Konstanz dieser Werte, die Belastbarkeit (duty cycle) und die Linearität. Für ein Ganzkörper-MR-Gerät soll die erreichbare Gradientenfeldstärke nicht unter 15 mT/m liegen. Die kürzest mögliche Anstiegszeit von 0 auf 15 mT/m soll dabei 900 msec nicht überschreiten.

Das *Hochfrequenzsystem* dient zur Anregung der Protonen und zur Aufnahme der Resonanzsignale. Es besteht aus Steuerrechner, Sender, Empfänger und Antennen (Hochfrequenzspulen, Resonatoren). Für alle Komponenten gibt es jeweils eigene Qualitätskriterien. Leistungsmerkmale sind das Signal-zu-Rausch-Verhältnis, die Konstanz der Sende- und Empfangseigenschaften, die Uniformität und die Linearität.

Das *Rechnersystem* besteht aus Steuerrechner, Bildrechner und Speichermedien. Es dient einerseits der Steuerung aller Komponenten, andererseits der Bildrekonstruktion. Die Rechengeschwindigkeit für die Bildrekonstruktion bzw. der Rohdatenspeicher müssen so groß sein, dass der Untersuchungsgang nicht behindert wird.

Für die Reproduzierbarkeit der *Tischposition* gelten die für CT-Geräte festgelegten Grenzwerte von weniger als 3 mm Abweichung bei einer Tischverschiebung von 30 cm und von höchstens 1 mm bei Rückkehr zum Ausgangspunkt (vgl. DIN 6868 Teil 6).

Zur *Dokumentation* müssen Bildschirmausgabe und elektronischer Bilddatentransfer unter anderem auch mit international gültigem Bildformat (DICOM 3) möglich sein.

Anforderungen an die Bildgüte

Wichtige Bildgütekriterien in der MR-Diagnostik sind die Ortsauflösung, die geometrische Bildgüte, das Signal-Rausch-Verhältnis (SNR), der Signal-contrast, die Bildhomogenität und die Artefaktintensität. Alle Bildgütekriterien beeinflussen sich in hohem Maße gegenseitig. Die zu einem oder mehreren Kriterien gehörenden Messparameter werden in der Regel der jeweiligen medizinischen Fragestellung zulasten anderer Parameter angepasst. Zur internen Qualitätskontrolle ist es sinnvoll, Referenzbilder typischer Untersuchungen (Phantom- und Patientenaufnahmen) anzufertigen und am Gerät bereitzuhalten.

Ortsauflösung

Die Pixelgröße wird definiert durch den Quotienten aus FOV und Aufnahme-matrix. Die Ortsauflösung wird am besten über die Bestimmung der Modulations-Übertragungsfunktion (MÜF) an einem Phantom reproduzierbar gemessen. Die Mindestanforderungen an das räumliche Auflösungsvermögen sind in-

dikationsbezogen zu sehen. Angaben dazu sind in der Tabelle enthalten und beziehen sich auf die Sequenz, für die die höchste Detailauflösung erforderlich ist.

Geometrische Bildgüte

Kennzeichen der geometrischen Bildgüte sind korrekte Schichtdicken, korrek-

te Schichtpositionen, scharf begrenzte Schichtprofile, ungekrümmte Schichten und eine verzeichnungsfreie Objektdarstellung im Schnittbild. Fehler entstehen a) durch Inhomogenitäten des Magnetfeldes B₀, b) Nichtlinearitäten des Gradientensystems und c) durch Störungen der HF-Modulation. Abbildungsfehler werden in % des maximalen Abstandes der äußeren Begrenzung

Region	FOV* cm	Messmatrix Auflösung mm**	Schichtdicke mm	Spulen	Schichtebenen	Wichtung	mögliche Sequenz	Mess- zeit ***	KM	besondere Anforderungen *****	Referenzstrukturen (dargestellt zumindest in einer Sequenz)
Abdomen/Becken											
Retroperitoneum	≤40 angepasst	256x192 ≤1,25mm	2D≤5mm 3D≤3mm	Körperspule oder zielvol.- adaptierte OF-Empfangsspule	koronar ggf. transversal 2. Ebene anat. angepasst	T1+T2	SE, TSE zur DD: GE in/out of phase	<5Min	fakultativ: KM oral	Fettsättigung Atemartefakt- unterdr. bzw. Atemstillstand keine Schichtlücke Einfaltartefakt- unterdr.	Nieren: Rinden- Mark-Differenz., NBKS u. prox. Ureteren, NN, retroperitoneale Faszien, Aorta und V. cava inferior einschl. ihrer Auf- zweigungen 1. Ordnung
Beckenorgane	≤40 angepasst	512x192 ≤1,25mm	2D≤6mm 3D≤3mm	Körperspule oder zielvol.- adaptierte OF-Empfangsspule	transversal sagittal ggf. koronar	T1+T2	SE, TSE [GE]	<10Min	fakultativ: KM i.v. oral/rektal	Fettsättigung Sättigungspulse Einfalt- artefaktunterdr.	pararekt. Hüllfaszien; distale Ureterabschnitte u. Harnblase, Uterus mit Zervix bzw. Prostata mit Samenblasen (Darst. der zonalen Architektur bzw. Kapsel), neurovask. Bündel
Mamma											
	30–35	256x192 ≤1,5mm	2D≤5mm 3D≤2mm	Mamma- spule	transversal koronar	T1 T2 T1+KM	TSE GE GE≥2mal		obligat	dynam. Unters. über ≥ 6 Min mit zeitl. Auflösung ≤ 2 Min Subtraktionsaufn. Fettsättigung keine Schichtlücke	A. thoracica int. bzw. A. thoraco- epigastrica; ausreichende Tiefendarstellung (linker Ventrikel muss signal- reich erfasst sein)
MR-Angiographie											
Aorta und Äste 1. Ordnung	≤40 angepasst	256x192 ≤2mm		Körperspule oder zielvol.- adaptierte OF-Empfangsspule	Richtung des Akquisitionsblocks anat. angepasst	T1	schnelle GE****	<1Min	obligat	masch. Bolusinjekt. EKG-Triggerung (o. KM EKG obligat)	A. thoracica int., Aortale Abgangs- gefäße insbesondere Aa. lumbales, renales, iliacae int.
V.cava, V. portae	≤40 angepasst	256x192 ≤2mm		Körperspule oder zielvol.- adaptierte OF-Empfangsspule	transversal koronar	fluss- sensitiv T1	GE schnelle GE****	<5Min <1Min	ohne KM mit KM	Sättigungspulse	Darstellung bis zur 3. Aufzw.

Region	FOV* cm	Messmatrix Auflösung mm**	Schichtdicke mm	Spulen	Schichtebenen	Wichtung	mögliche Sequenz	Mess- zeit ***	KM	besondere Anforderungen *****	Referenzstrukturen (dargestellt zumindest in einer Sequenz)
MR-Angiographie											
Extremitäten- gefäße	≤50 ange- passt	512x160 ≤2mm		Körper- spule oder zielvol- adap- tierte OF-Emp- fangs- spule	transversal koronar	fluss- sensitiv T1	GE schnelle GE****	<5Min <1Min	ohne KM mit KM	masch. Bolusinj. EKG-Triggerung Sättigungspulse	Darstellung bis zur 3. Aufzw.
<p>* Die Angabe bezieht sich auf die Richtung der Frequenzkodierung. Bei asymmetrischem FOV ist zu berücksichtigen, dass die Ortsauflösung durch Anpassung der Matrix zumindest erhalten bleiben muss.</p> <p>** Die Angabe bezieht sich auf die Sequenz, für die die höchste Detailauflösung gefordert wird. Die Angabe bezieht sich des Weiteren auf ein quadratisches Messfeld. Bei nicht quadratischem Messfeld darf die vorgegebene Ortsauflösung in Phasenkodierichtung nicht reduziert werden.</p> <p>*** Die Angabe bezieht sich auf 1 Messsequenz, die ggf. mehrere Akquisitionen beinhaltet und das typische Organvolumen beinhaltet.</p> <p>**** 3D-Block, Repetitionszeit < 15 msec, Gesamtzeit < 1 min</p> <p>***** Fettsättigung = spektrale Fettsättigung Die Anforderung „Artefaktunterdrückung und Atemstillstand“ bezieht sich auf die Gerätetechnik. Die Wahl der Option obliegt im Einzelfall dem Untersucher.</p>											

des Messfeldes vom Isozentrum angege-
ben.

Die *Schichtdicke* kann in Phantommessungen zur Darstellung des Schichtprofils bestimmt werden. Das Schichtprofil, d. h. die Bildfunktion senkrecht zur Schichtebene hat aber auch wesentlichen Einfluss auf die Bildkontraste. Die verwendeten Schichtprofile müssen für jede Sequenz spezifiziert und dokumentiert sein.

Bei der diagnostischen Bildgebung dürfen geometrische Verzeichnung, Schichtkrümmung und Schichtversatz die Wertbarkeit einer Untersuchung nicht beeinträchtigen. Die Abbildungsfehler dürfen bei einem FOV von 30 cm höchstens 3%, sonst höchstens 6% des Abstandes vom Isozentrum des Magneten betragen.

Bildhomogenität

Das Schnittbild eines homogenen Phantoms soll möglichst konstante Signalintensitäten aufweisen. Abweichungen von +/- 10% bei Messfeldern von 16 cm für die Kopfspule und von +/- 20% bei Messfeldern von 26 cm für die Körperspule sind zulässig. Bei Oberflächenspulen wird zugunsten eines besseren SNR auf Uniformität bewusst verzichtet. Bei Verwendung von Oberflächenspulen müssen die diagnostisch relevanten Regionen ausreichend erfasst sein.

Artefaktintensität

Der als „Ghosting“ bekannte gerätebedingte Artefakt, d. h. die Mehrfachdarstellung des untersuchten Objektes im Bild darf bei Phantommessungen mit al-

len Sequenzen höchstens 3% der Signalintensität im Phantom betragen.

Zur Vermeidung Patienten-bedingter Artefakte müssen im Gerät alle üblichen, derzeit verfügbaren Sequenzänderungen zur Vermeidung typischer MR-Artefakte (Flussartefakte, Atemartefakte, Pulsationsartefakte, Chemical-Shift-Artefakte) vorgehalten werden.

Messzeit

Als Messzeit wird die Zeit für eine Messung definiert, die zu ausreichenden Referenzbildern führt und die im Regelfall in der Diagnostik eingesetzt wird (vgl. allgemeine Ausführungen zu den ärztlichen Qualitätsanforderungen).

Alle diagnostisch wichtigen Messungen sollen innerhalb der in *Tabelle 2* genannten Zeiten abgeschlossen sein.

Kontraste und Pulsesequenzen

Die in der *Tabelle 2* mit den speziellen Anforderungen an die Untersuchungstechnik aufgeführten Anforderungen hinsichtlich der Pulsesequenzen müssen erfüllt sein. Dies sind im einzelnen: SE, GE, RARE (TSE, FSE), TIR, STIR und FLAIR. Diagnostisch wichtige Kontraste sind T1-Gewichtung, Protonengewichtung, T2-Gewichtung, T2*-Gewichtung, Fettsuppression bei T1-Gewichtung, Fettsuppression bei T2-Gewichtung, T2-Gewichtung mit Liquorsuppression und Kontraste aus Sequenzen zur Flussdarstellung, (Phasenkontrastmethode, TOF-Methode, Kontrastmittel-MR-Angiographie).

Übergangsregelung

Geräte, die vor der Veröffentlichung der Leitlinien in der Versorgung betrieben wurden, können bis auf weiteres verwendet werden, sofern eine Beschränkung auf den bisherigen Anwendungsbereich erfolgt. Bei einer Ausweitung des Untersuchungsspektrums nach Veröffentlichung dieser Leitlinien müssen die in diesen Leitlinien festgelegten geräte- und untersuchungstechnischen Mindestanforderungen erfüllt werden.

Abkürzungen:

- ACR: American College of Radiology
- CNR: Kontrast-Rausch-Verhältnis
- DICOM: Digital Imaging and Communication in Medicine
- FLAIR: fluid attenuated inversion recovery
- FOV: field of view
- GE: Gradientenecho, auch field echo (FE)
- HF: Hochfrequenz
- IR: inversion recovery
- MRA: Magnetresonanztomographie
- MRT: Magnetresonanztomographie
- MTF: modulation transfer function
- MÜF: Modulationsübertragungsfunktion
- ppm: parts per million
- ROI: region of interest
- SAR: specific absorption rate
- SE: Spinecho
- SNR: Signal-Rausch-Verhältnis
- STIR: short TI (=inversion time) inversion recovery
- TE: Echozeit
- TIR: turbo inversion recovery
- TR: Repetitionszeit
- TSE: Turbo Spin Echo, auch fast spin echo (FSE), rapid acquisition with relaxation enhancement (RARE) □