

mpMRT der Prostata (MR-Prostatografie): Aktualisierte Empfehlungen der DRG und des BDR zur Vorbereitung und Durchführung

mpMRI of the Prostate (MR-Prostatography): Updated Recommendations of the DRG and BDR on Patient Preparation and Scanning Protocol

Autoren

Tobias Franiel¹, Patrick Asbach², Dirk Beyersdorff³, Dirk Blondin^{4, 5}, Sascha Kaufmann⁶, Ullrich Gerd Mueller-Lisse⁷, Michael Quentin⁸, Stefan Rödel⁹, Matthias Röthke¹⁰, Heinz-Peter Schlemmer¹¹, Lars Schimmöller¹²

Vorstand der Deutschen Röntgengesellschaft e. V. (DRG)

Gerald Antoch, Stefan O. Schönberg, Jörg Barkhausen, Frank Anton, Stefan Neumann, Günter Layer, Arnd Dörfler, Friederike Körber, Johannes Weßling, Michael Wucherer

Vorstand des Berufsverbandes der Deutschen Radiologen (BDR)

Detlef Wujciak, Bernd Hamm, Klaus Hamm, Andreas Bollkämper, Sönke Schmidt, Hermann Helmsberger, Wolfram Schaeben, Julian Köpke, Stefan Neumann

Institute

- 1 Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Jena, Deutschland
- 2 Klinik für Radiologie, Charité Campus Benjamin Franklin, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Deutschland
- 3 Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany
- 4 Klinik für Radiologie, Gefäßradiologie und Nuklearmedizin, Städtische Kliniken Mönchengladbach GmbH Elisabeth-Krankenhaus Rheydt, Mönchengladbach, Germany
- 5 Klinik für Radiologie, Gefäßradiologie und Nuklearmedizin, Städtische Kliniken Mönchengladbach, Germany
- 6 Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Siloah St. Trudpert Klinikum, Pforzheim, Deutschland
- 7 Klinik und Poliklinik für Radiologie, Klinikum der Ludwig-Maximilians-Universität München, Deutschland
- 8 Centrum für Diagnostik und Therapie GmbH, Medizinisches Versorgungszentrum CDT Strahleninstitut GmbH, Köln, Germany
- 9 Radiologische Klinik, Städtisches Klinikum Dresden, Germany
- 10 Conradia Radiologie und Nuklearmedizin, Conradia Hamburg MVZ GmbH, Hamburg, Germany
- 11 Radiologie, Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg, Germany
- 12 Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Universitätsklinikum Düsseldorf, Düsseldorf, Germany

Key words

prostate, MR-imaging, genital/reproductive, MR-diffusion/perfusion, technical aspects

eingereicht 16.02.2021

akzeptiert 04.03.2021

online publiziert 18.03.2021

Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2021; 193: 763–777

DOI 10.1055/a-1406-8477

ISSN 1438-9029

© 2021. Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Tobias Franiel
Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie,
Universitätsklinikum Jena, Am Klinikum 1, 07747 Jena,
Deutschland
Tel.: +49/36 41/9 32 48 31
Fax: +49/36 41/9 32 48 32
tobias.franiel@med.uni-jena.de



Zusätzliches Material finden Sie unter
<https://doi.org/10.1055/a-1406-8477>

ZUSAMMENFASSUNG

Die AG Uroradiologie und Urogenitaldiagnostik der Deutschen Röntgengesellschaft hat die Empfehlungen zur Vorbereitung und Durchführung der multiparametrischen MRT der Prostata im Konsensusverfahren und in Abstimmung mit den Vorständen der Deutschen Röntgengesellschaft und des Berufsverbandes der Deutschen Radiologen überarbeitet und aktualisiert. Diese aktualisierten Empfehlungen definieren die in der deutschen S3-Leitlinie Prostatakarzinom referenzierten

„geltenden Qualitätsstandards“ und gehen detailliert auf die Themen 1. Anamnestische Angaben, 2. Untersuchungsterminierung und -vorbereitung, 3. Untersuchungsprotokoll und 4. MRT- (in-bore) -Biopsie ein.

Kernaussagen:

- Die Empfehlungen zur Vorbereitung und Durchführung der multiparametrischen MRT der Prostata wurden von der AG Uroradiologie und Urogenitaldiagnostik der Deutschen Röntgengesellschaft in Abstimmung mit den Vorständen der Deutschen Röntgengesellschaft und des Berufsverbandes der Deutschen Radiologen überarbeitet und aktualisiert.
- Es werden detailliert Empfehlungen zu 1. Anamnestische Angaben, 2. Untersuchungsterminierung und -vorbereitung, 3. Untersuchungsprotokoll und 4. MRT-(in-bore)-Biopsie gegeben.
- Diese Empfehlungen definieren die in der S3-Leitlinie Prostatakarzinom referenzierten „geltenden Qualitätsstandards“.

Zitierweise

- Franiel T, Asbach P, Beyersdorff D et al. mpMRI of the Prostate (MR-Prostatographie): Updated Recommendations of the DRG and BDR on Patient Preparation and Examination Protocol. *Fortschr Röntgenstr* 2021; 193: 763–777

ABSTRACT

The Working Group Uroradiology and Urogenital Diagnosis of the German Roentgen Society (DRG) revised and updated the recommendations for preparation and scanning protocol of the multiparametric MRI of the Prostate in a consensus process and harmonized it with the managing board of German Roentgen Society and Professional Association of the German Radiologist (BDR e. V.). These detailed recommendation define the referenced “validated quality standards” of the German S3-Guideline Prostate Cancer and describe in detail the topic 1. anamnestic data, 2. termination of examinations and preparation of examinations, 3. examination protocol and 4. MRI-(in-bore)-biopsy.

Einleitung

In den vergangenen Jahren hat sich im ambulanten und klinischen Alltag der Radiologie die multiparametrische MRT (mpMRT) der Prostata (MR-Prostatographie) fest etabliert. Der technische und wissenschaftliche Fortschritt auf diesem Gebiet machte es erforderlich, die Empfehlungen der Deutschen Röntgengesellschaft (DRG) aus dem Jahr 2017 zur Vorbereitung und Durchführung der MRT der Prostata kritisch zu überprüfen und entsprechend anzupassen. Im Rahmen dieser Arbeiten sollten gleichzeitig die Empfehlungen der DRG und die Empfehlungen des Berufsverbandes der Deutschen Radiologen (BDR) für die Sequenzparameter der mpMRT der Prostata miteinander harmonisiert werden. Während 24 Telefonkonferenzen (60–90 min) im Zeitraum Februar 2020 bis Januar 2021 überarbeiteten Mitglieder beider Berufsverbände (DRG: P.A., D.Be., D.Bl., T.F., S.K., U.M-L., M.Q., S.R., M.R., L.S., H.P.S.; BDR: P.A., T.F., H.P.S.) kritisch die Empfehlungen aus dem Jahr 2017. Diese aktualisierten Empfehlungen beziehen sich auf die Vorbereitung und Durchführung der mpMRT der Prostata und der MRT- (in-bore) -Biopsie und definieren die in der deutschen S3-Leitlinie Prostatakarzinom referenzierten „geltenden Qualitätsstandards“ der mpMRT der Prostata (► **Tab. 1**). Auf Hinweise zur Befundung wurde in diesen Empfehlungen bewusst verzichtet. Diesbezüglich wird auf die aktuelle PI-RADS-Richtlinie verwiesen. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass die Empfehlungen zwar eine große gemeinsame Schnittmenge mit den PI-RADS-Empfehlungen aufweisen, jedoch mit diesen nicht identisch sind. Im Vergleich zur aktuellen PI-RADS-Richtlinie (v2.1) sind die Ausführungen zu den anamnestischen Angaben (Kap. 1) und zur Untersuchungsterminierung und -vorbereitung (Kap. 2) detaillierter. Zudem gibt es im Untersuchungsprotokoll (Kap. 3) einzelne, aus Autorensicht sinnvolle Unterschiede bezüglich der empfohlenen Sequenzparameter und die MRT-(in-bore) -Biopsie (Kap. 4) wird im Gegensatz zu den PI-RADS-

Empfehlungen ausführlich thematisiert. Bei der Zusammensetzung des Autorenteams wurde darauf geachtet, dass diese aktive Mitglieder der Arbeitsgruppe (AG) Uroradiologie und Urogenitaldiagnostik der DRG sind und sich wissenschaftlich langjährig mit der mpMRT der Prostata beschäftigt haben. Einige Autoren sind zusätzlich auch Mitglieder der AG Onkologische Bildgebung (U.M-L., S.R., M.R., L.S., H.P.S.) der DRG. Gleichzeitig wurde darauf geachtet, dass die Autoren in Universitätskliniken (P.A., D.Be., T.F., S.K., U.M-L., L.S., H.P.S.), in Krankenhäusern der Maximal- und Zentralversorgung (D.Bl., S.K., S.R.) und im niedergelassenen Bereich (P.A., M.Q., M.R.) als Radiologen tätig sind.

Hintergrundinformationen

1. Anamnestische Angaben

Das Risiko, an einem Prostatakarzinom zu erkranken, korreliert positiv mit dem Alter, der Höhe des PSA-Wertes, der PSA-Dichte, einer positiven Familienanamnese und einem positiven Tastbefund [1]. Es konnte gezeigt werden, dass die Berücksichtigung dieser patientenspezifischen Informationen zusätzlich zu den Ergebnissen der mpMRT der Prostata mit einer höheren Vorhersagegenauigkeit für das Vorliegen eines Prostatakarzinoms, einer niedrigeren Anzahl negativer Biopsien, einer höheren Staginggenauigkeit und einer höheren Vorhersagegenauigkeit für ein Upgrading der Biopsieergebnisse assoziiert ist [2–6].

1.1. PSA

Primäres Verfahren zur Früherkennung ist die Bestimmung des Gesamt-PSA-Wertes [1]. Allerdings ist der PSA-Test weder Bestandteil der gesetzlichen Früherkennung, noch stellt er eine Leistung der gesetzlichen Krankenkassen zur Früherkennung des Prostatakarzinoms dar. In der Praxis wird der PSA-Test jedoch

► **Tab. 1** Empfehlungen zur Vorbereitung und Durchführung der mpMRT der Prostata (MR-Prostatografie).

1. Anamnestische Angaben	
	Empfehlungen
1.1. PSA	Ein aktueller, wenn möglich bestätigter Gesamt-PSA-Wert sollte vorhanden sein. Der Verlauf des PSA-Wertes sollte vorhanden sein. Die PSA-Dichte sollte anhand des in der MRT bestimmten Prostatavolumens berechnet werden. Informationen zu einer den PSA-Wert beeinflussenden Medikation sollten vorliegen.
1.2. Vorherige Biopsien	Informationen zu vorherigen Prostatabiopsien sollten vorhanden sein. Angaben zu Art, Umfang, Entnahmeort und Ergebnis der Biopsien sollten vorliegen.
1.3. Weitere Angaben	Es sollten die Befunde (wenn möglich in Kombination mit den entsprechenden DICOM-Bilddaten) vorheriger mpMRTs der Prostata vorliegen. Die Kontaktdaten des überweisenden Arztes sollten vorliegen. Angaben zu vorherigen prostataspezifischen Therapien sollten vorliegen. Risikofaktoren für das Vorliegen eines Prostatakarzinoms sollten erfragt werden.
1.4. Kontrastmittlerisiken, Kreatinin und eGFR	MRT-Kontrastmittel sollten entsprechend den aktuellen Leitlinien der ESUR eingesetzt werden.
1.5. Implantate	Angaben zu Implantaten im Körper des Patienten sollten vor der Untersuchung vorhanden sein. Die MRT-Untersuchung soll nach den geltenden Qualitätsstandards unter Berücksichtigung der Angaben im Implantatausweis durchgeführt werden.
2. Untersuchungsterminierung und -vorbereitung	
	Empfehlungen
2.1. Untersuchungszeitpunkt	Eine mpMRT der Prostata zur Tumorsuche vor erstmaliger Biopsie kann jederzeit durchgeführt werden. Ein Intervall von wenigstens 6 Wochen zwischen vorangegangener Prostatabiopsie und mpMRT der Prostata zur Tumorsuche/zum Staging sollte angestrebt werden. Eine patientenspezifische Anpassung des Zeitraums kann bei klinischer Relevanz erfolgen. Die mpMRT der Prostata kann im Intervall von wenigstens 6 Wochen wiederholt werden, wenn die Befundbarkeit einer nach Prostatabiopsie durchgeführten mpMRT durch Einblutung, Entzündung oder Ödem eingeschränkt ist.
2.2. Spasmolytikum	Zur Steigerung der Bildqualität sollten 20–40 mg Butylscopolamin zur Reduktion der Darmperistaltik langsam i. v. und ggf. fraktioniert appliziert werden. Alternativ oder zusätzlich kann die Gabe auch i. m. erfolgen.
2.3. Entleerung Enddarm	Der Patient sollte vor der Untersuchung aufgefordert werden, den Enddarm und die Blase zu entleeren. Eine Gabe von Klistieren oder Abführmitteln direkt vor der Untersuchung sollte nicht erfolgen, da diese die Darmperistaltik erhöhen und Artefakte verstärken können.
2.4. Enthaltbarkeit	Zum Vorteil einer Enthaltbarkeit auf die Detektions-/Staginggenauigkeit der MRT ist keine ausreichende Evidenz vorhanden.
3. Untersuchungsprotokoll	
	Empfehlungen/Statements
Für die Fragestellungen Detektion, Staging und Rezidivdiagnostik nach Strahlentherapie und nach Prostatektomie sollte ein identisches standardisiertes aktuelles Protokoll, sowohl bei 1,5 Tesla als auch bei 3 Tesla, verwendet werden. Dieses Standardprotokoll besteht aus einer axialen T2w-TSE-Sequenz, einer koronaren und/oder sagittalen T2w-TSE-Sequenz, einer axialen DWI-, einer axialen DCE-Sequenz und einer T1w-Sequenz. Die Akquisition der axialen T2w-, DWI- und DCE-Sequenzen soll schichtidentisch mit der gleichen Schichtdicke, gleicher Angulierung und möglichst gleicher Schichtanzahl erfolgen. Angaben zu den räumlichen Auflösungen sind für jede Sequenz nachfolgend aufgeführt. Hierbei beziehen sich die angegebenen Schichtdicken und räumlichen Auflösungen in der In-plane-Ebene auf gemessene und nicht auf interpolierte Werte. Anmerkung: Zusätzliche Sequenzen sind entsprechend den Anforderungen der Kassenärztlichen Vereinigung zu ergänzen.	
3.1. T2w-TSE/FSE-Sequenz	Die T2w-TSE-Sequenz soll 2-dimensional und mindestens biplanar akquiriert werden, wobei die axiale Ebene obligater Bestandteil ist. Eine dritte Ebene erhöht die Lokalisations- und Staginggenauigkeit. Die Prostata soll in allen Ebenen im Zentrum liegen und vollständig abgebildet sein. Der Blasenboden und das Diaphragma urogenitale sollen auf mindestens 2 Ebenen vollständig abgebildet sein. Die Samenblasen und die Lymphknoten im Foramen obturatorium sollen auf mindestens einer Ebene vollständig abgebildet sein. axial: SD 3,5 mm (bevorzugt 3 mm), 0 % Schichtabstand, FoV in Phase ≤ 200 mm, in-plane Phasenk. ≤ 0,8 mm, in-plane Frequenzk. ≤ 0,6 mm sagittal: SD 3,5 mm (bevorzugt 3 mm), 0 % Schichtabstand, FoV in Phase ≤ 200 mm, in-plane Phasenk. ≤ 0,8 mm, in-plane Frequenzk. ≤ 0,6 mm koronar: SD 3,5 mm (bevorzugt 3 mm), 0 % Schichtabstand, FoV in Phase ≤ 200 mm, in-plane Phasenk. ≤ 0,8 mm, in-plane Frequenzk. ≤ 0,6 mm
3.2. DWI-Sequenz	Zur Erhöhung der diagnostischen Genauigkeit soll die DWI-Sequenz obligater Bestandteil des Protokolls sein. Die DWI-Sequenz soll axial akquiriert werden: SD 3,5 mm (bevorzugt 3 mm), 0 % Schichtabstand, FoV in Phase ≤ 200 mm, in-plane Phasenk. ≤ 2,1 mm, in-plane Frequenzk. ≤ 2,1 mm Es sollen mindestens 2 verschiedene b-Werte für die Berechnung der ADC-Karte gemessen werden. Ein b-Wert soll zwischen 0 und 100 s/mm ² und ein weiterer zwischen 800 und 1000 s/mm ² (bevorzugt 1000 s/mm ²) liegen. Zusätzlich soll auch ein höherer b-Wert ≥ 1400 s/mm ² gemessen oder berechnet werden.

► **Tab. 1** (Fortsetzung)

3.3. DCE-Sequenz	Die DCE-Sequenz hat nach aktueller Studienlage eine zentrale Bedeutung für die MRT-Diagnostik des Prostatakarzinoms. Die DCE-Sequenz soll axial akquiriert werden: SD 3,5 mm (bevorzugt 3 mm), 0 % Schichtabstand, FoV in Phase ≤ 200 mm, in-plane Phasenck. ≤ 2,1 mm, in-plane Frequenzk. ≤ 2,1 mm Die zeitliche Auflösung soll ≤ 9 s betragen (bevorzugt ≤ 6 s). Die Flussrate der Kontrastmittelgabe und des nachfolgenden NaCl-Bolus (mind. 30 ml) soll ≥ 2,5 ml/s sein. Die Dauer der Akquisition soll nicht weniger als 2 min (bevorzugt 3 min) sein.
3.4. T1w-Sequenz	Für die Beurteilung des Knochens und der Lymphknoten sowie der Prostata hinsichtlich von z. B. vorliegenden Einblutungen soll eine T1w-Sequenz akquiriert werden und das gesamte Becken von der Aortenbifurkation bis zum Beckenboden abbilden. ▪ SD ≤ 5 mm (2 D)/≤ 2 mm (3 D), Schichtabstand ≤ 10 %, in-plane Auflösung ≤ 2,0 × 2,0 mm Das FoV muss ggf. patientenspezifisch angepasst werden.
3.5. Endorektalspule	Mit neuen 1,5 und 3 Tesla MR-Tomografen kann eine diagnostische Bildqualität ohne Verwendung eines kombinierten Endorektal-Oberflächenspulensystems erreicht werden. Falls die Bildqualität nicht ausreichend ist, kann zur Erhöhung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses ein kombiniertes Endorektal-Oberflächenspulensystem eingesetzt werden.
3.6. Weitere Sequenzen	Die nachfolgend aufgeführten Sequenzen sollen das Routineprotokoll nicht ersetzen. Sie können zusätzlich für die Detektion, Lokalisation und Charakterisierung von Prostatakarzinomen eingesetzt werden. ¹H-MRS Die ¹ H-MRS ist eine etablierte Methode mit hoher Evidenz. Die Akquisition erfolgt als 3D-Spin-Echo-Sequenz. Hierbei sollte die periphere Zone vollständig von der ROI erfasst werden und die VOI sollte deutlich größer als die ROI sein. Die 3D-Akquisitionsmatrix sollte mindestens 8 × 8 × 8 Voxel umfassen (eine Interpolation auf bis zu 16 × 16 × 16 Voxel sollte angestrebt werden). Der Einfluss von Geweben außerhalb der Prostata sollte durch OVS minimiert werden. Signalbeiträge von Wasser und Lipiden sollten minimiert werden. Als TR und TE haben sich abhängig von der Feldstärke besonders bewährt: 1,5T: TR 1000 ms und TE 130ms; 3T: TR bis 1000 ms und TE 145 ms. T2w-3D-Multi-Echo-Sequenzen Die Kontrasteigenschaften dieser Sequenz sind nicht identisch zu denen einer 2D-T2w-TSE-Sequenz. Zusätzlich zeigt sie gegenüber Bewegungsartefakten eine erhöhte Anfälligkeit. Aufgrund der isotropen Voxel kann diese Sequenz für die Fusionierung mit anderen Bildgebungsmodalitäten (z. B. Ultraschall) und für die Konturierung der Prostata vor einer geplanten Strahlentherapie von Vorteil sein. Diffusion Tensor Imaging, Diffusion Kurtosis Imaging, BOLD Imaging, MR-Elastografie, T1-Mapping, T2-Mapping, ASL Diese Techniken sind Gegenstand der Forschung und sollten außerhalb von Studien nicht eingesetzt werden.
4. MRT- (in-bore) -Biopsie	
	Empfehlungen
4.1. Indikationen und Technik	Eine gezielte MRT- (in-bore) -Biopsie kann in Einzelfällen zur weiteren Abklärung nach negativer systematischer Biopsie/Fusionsbiopsie oder im Rahmen der aktiven Überwachung/fokalen Therapie durchgeführt werden. Bei Primärindikation/-biopsie sollte über Abweichungen zur S3-Leitlinie aufgeklärt werden. Die MRT- (in-bore) -Biopsie sollte standardmäßig transrektal durchgeführt werden. Alternativ kann sie transgluteal oder transperineal erfolgen. Die transgluteale MRT- (in-bore) -Biopsie ist Methode der Wahl bei Z. n. Rektumexstirpation.
4.2. Labor	Vor einer MRT- (in-bore) -Biopsie soll eine Blutungsanamnese standardisiert erfasst werden. Aktuelle Laborparameter sollten entsprechend den gültigen Empfehlungen der CIRSE bestimmt werden.
4.3. Gerinnungsmedikation	Die Einnahme von gerinnungshemmenden Medikamenten sollte, wenn möglich, pausiert werden. ASS in der Dosierung 100 mg p. o. pro Tag kann weiter eingenommen werden.
4.4. Antibiotika & Anästhesie	Die transrektale MRT- (in-bore) -Biopsie soll unter Antibiotikatherapie erfolgen. Die MRT- (in-bore) -Biopsie sollte unter Lokalanästhesie erfolgen (z. B. transrektal mit Lidocain-haltigem Gel oder transgluteal/transperineal mittels Lidocain-Injektion s. c.).

Abkürzungsverzeichnis: ADC = apparent diffusion coefficient; ASL = Arterial Spin Labeling; BOLD = Blood Oxygenation Level Dependent; CIRSE = Europäische Gesellschaft für Kardiovaskuläre und Interventionelle Radiologie; DCE = dynamische kontrastmittelgestützte Bildgebung; DICOM = Digital Imaging and Communication in Medicine; DWI = diffusionsgewichtete Bildgebung; eGFR = geschätzte glomeruläre Filtrationsrate; ESUR = Europäische Gesellschaft für urogenitale Radiologie; FoV = Field of View; Frequenzk. = Frequenzkodierrichtung; FSE = Fast-Spin-Echo; mpMRT = multiparametrische Magnetresonanztomografie; OVS = Outer Volume Suppression; Phasenck. = Phasenkodierrichtung; p. o. = per os; PSA = prostataspezifisches Antigen; ROI = Region of Interest; s. c. = subkutan; SD = Schichtdicke; T = Tesla; TE = Echozeit; TR = Repetitionszeit; TSE = Turbo-Spin-Echo; VOI = Volume of Interest

regelhaft als „individuelle Gesundheitsleistung“ (IGeL) angeboten. Im Rahmen einer Früherkennungsuntersuchung stellt die Bestimmung des PSA-Wertes damit einen wichtigen Baustein für die Entscheidungsfindung für oder gegen eine Biopsie der Prostata dar, während bildgebende Verfahren wie die mpMRT der Prostata kein Bestandteil der Früherkennung sind. Hingegen hat die mpMRT der Prostata in der Primärdiagnostik bei suspekt erhöhtem PSA-Wert entsprechend der kürzlich aktualisierten S3-Leitlinie für das Prostatakarzinom einen hohen Stellenwert [1].

Bei geplanter mpMRT der Prostata sollte daher der PSA-Wert, wenn möglich der bestätigte PSA-Wert (verlaufskontrolliert innerhalb einer Woche mit dem gleichen Testverfahren), vorliegen [1]. Wichtig sind auch Informationen zu PSA-Wert-beeinflussenden Medikamenten (z. B. 5-Alpha-Reduktasehemmer) oder Ereignissen (z. B. eine akute Prostatitis). Die genaueste Bestimmung des Prostatavolumens gelingt mit den morphologischen T2w-Sequenzen der mpMRT der Prostata. Die Berechnung der PSA-Dichte [in ng/ml/cm^3] sollte mit dem MRT-Prostatavolumen und dem zugehörigen PSA-Wert erfolgen.

1.2. Vorherige Biopsien

Die Information (z. B. Anzahl, Datum, Umfang) der bereits erfolgten Biopsien der Prostata sollte vorhanden sein. Die histopathologischen Ergebnisse der vorhergehenden Biopsien (Gleason-Score bzw. ISUP-Graduierungsgruppe eines Prostatakarzinoms, das Vorliegen einer Prostatitis oder benignen Prostatahyperplasie (BPH), atypische mikroazinäre Proliferation (ASAP) oder high-grade-intraepitheliale Neoplasie der Prostata (HG-PIN) sollten vorliegen und unter den klinischen Angaben im Befund dokumentiert werden [1]. Darüber hinaus sollte der Entnahmeort der Biopsiezylinder mit einem Prostatakarzinom (inkl. Gleason-Score und Prozentanteil im Stanzzyylinder), einer ASAP oder einer HG-PIN angegeben werden.

1.3. Weitere Angaben

Voruntersuchungen

Informationen über Voruntersuchungen (Palpation, transrektaler Ultraschall (TRUS), mpMRT der Prostata sowie PSMA-PET-CT/MRT etc.) sollten erfragt werden und zum Zeitpunkt der Auswertung der mpMRT der Prostata verfügbar sein. Bildgebende Untersuchungen sollten als DICOM-Daten zur Verfügung stehen, um mit den aktuellen Bildern verglichen werden zu können. Die Kontaktdaten des überweisenden Urologen/Arztes sollten für eine ungehinderte Kommunikation der Ergebnisse verfügbar sein.

Risikofaktoren

Risikofaktoren mit hoher Evidenz für das Vorliegen eines Prostatakarzinoms sind das Alter und eine positive Familienanamnese [1]. Die Inzidenz des Prostatakarzinoms nimmt mit zunehmendem Alter zu [7]. Ebenso korreliert die Inzidenz des Prostatakarzinoms positiv mit einer positiven Familienanamnese. Dabei ist das relative Risiko um 2,5–4,3 % für jeglichen erstgradigen Verwandten erhöht [1, 8]. Weitere Faktoren, die das relative Prostatakarzinomrisiko erhöhen, sind: jüngeres Alter betroffener Familienmitglieder, steigende genetische Übereinstimmung zum betroffenen Fa-

milienmitglied und steigende Anzahl individuell betroffener Familienmitglieder [1]. In Diskussion sind noch weitere mögliche Risikofaktoren (z. B. Mutation im BRCA1- oder BRCA2-Gen), deren Assoziation mit einem Prostatakarzinom jedoch noch nicht ausreichend belegt ist.

Antihormonelle Therapie

Die Prostata ist ein Androgen-sensitives Organ. Die antihormonelle Therapie führt zu einer verminderten Aktivität der Drüsenfunktion, die mit einer Verringerung des Volumens der Prostata und einer Signalreduktion auf dem T2w-Bild einhergeht. Die Abgrenzung der Prostatazonen kann schwieriger oder eventuell sogar nicht mehr möglich sein. Die Auswirkungen der antihormonellen Therapie erschweren die Tumorerkennung auf den T2w- und DWI-Aufnahmen. Unter der antihormonellen Therapie sind die Tumoren typischerweise deutlich kleiner oder gar nicht mehr abgrenzbar. Die Auswirkungen der antihormonellen Therapie auf die Prostata und auch auf das Prostatakarzinom machen sich typischerweise bereits nach kurzer Behandlungsdauer bemerkbar [9].

Therapie mit 5-Alpha-Reduktasehemmern

Bei der Behandlung mit 5-Alpha-Reduktasehemmern reduziert sich das Volumen der peripheren Zone und der Transitionszone [10].

Strahlentherapie

Nach der Strahlentherapie ist die zonale Strukturierung meist nicht mehr gegeben und die periphere Zone weist eine oft flächige geringe T2w-Signalintensität auf. Im Verlauf kommt es häufig zu einer Volumenreduktion. Die Kontur und das neurovaskuläre Bündel können betont und die Blasen- und Rektalwand verdickt sein [11].

Klinische Prostatitis und Informationen zur Behandlung der Prostatitis

Die Prostatitis kann auf den T2w-Aufnahmen zu flächigen Signalmindernungen führen, die die zonale Struktur aufheben können. Durch die je nach Ausprägung und Art der Entzündung deutlichen Veränderungen kann die Abgrenzung eines koinzidentellen Karzinoms erschwert bis unmöglich sein. Die Prostatitis zeigt oft ausgedehnte Veränderungen mit teils asymmetrischer Volumenzunahme. Leichtere Entzündungen können aufgrund des band-, flügel-, keilförmigen oder diffusen, in der Regel nicht fokalen Erscheinungsbildes erkannt werden. Bei bakteriellen Entzündungen können Abszesse (Mikro- oder Makroabszesse) vorliegen. Die Prostatitis zeigt meist eine geringe Diffusionseinschränkung und ein frühes Enhancement in der DCE-Sequenz auf [12].

Frühere Operationen im kleinen Becken

Die transurethrale Resektion (TUR-P) einer BPH hinterlässt einen subtotalen bis totalen Defekt in der Transitionszone. Die verbleibende periphere Zone weist typischerweise flächige T2w-Signalintensitätsminderungen auf, ggf. mit Betonung um den Resektionsbereich. Da sich im Resektionsbereich gelegentlich wieder Hyperplasieknoten entwickeln, sind der Zeitpunkt der Durchfüh-

zung der TUR-P und Informationen zum Behandlungserfolg, falls vorhanden, hilfreich. Informationen über eine fokale Therapie eines Prostatakarzinoms sollten ebenfalls verfügbar sein. Dazu gehören die angewandte Technik, der Zeitpunkt und der Umfang der Behandlung. Nach einer fokalen Therapie kommt es initial zu einer Schwellung und im weiteren Verlauf aufgrund der Fibrosierung zu einer Schrumpfung des behandelten Areals und in Abhängigkeit der verwendeten fokalen Therapiemethode eventuell auch zu einer Zystenbildung. Rektumresektion und Rektumamputation sowie eine ausgedehnte wiederholte lokale Behandlung von Blasen-tumoren können die Prostata und das die Prostata umgebende Gewebe verändern.

1.4. Kontrastmittelrisiken, Kreatinin und eGFR

Die Bestimmung der Nierenfunktion (Kreatinin und eGFR) kann vor einer MRT-Kontrastmittelgabe erfolgen, ist aber nicht zwingend erforderlich. Die aktuellen Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Urogenitale Radiologie (ESUR) sollten entsprechend beachtet werden. Wenn das Serum-Kreatinin nicht bestimmt wurde, sollte die Nierenfunktion über einen Fragebogen erfasst werden.

Gadolinium-haltige Kontrastmittel (Gd-haltige KM) haben nach intravenöser Gabe ein sehr geringes Risiko für das Auftreten akuter oder später Reaktionen in Form von Nephrotoxizität oder anderen schweren unerwünschten Wirkungen. Es ist jedoch bekannt, dass sich nach Anwendung von Gd-haltigen KM geringe Mengen davon im Körper ablagern können. Der Ausschuss für Humanarzneimittel (CHMP) bei der europäischen Arzneimittelbehörde (EMA) hat das Risiko für Gd-haltige KM und das Auftreten einer nephrogenen systemischen Fibrose (NSF) als Grundlage für Anwendungsempfehlungen bewertet [13]. Bisher gibt es keine Hinweise für eine Schädigung der Patienten durch eine Ablagerung dieser KM im Gehirn [14]. Da aber die langfristigen Risiken unbekannt sind, empfahl die EMA zusätzlich das Ruhen der Zulassungen für intravenöse lineare Gd-haltige KM in der EU [14]. Für die DCE-Sequenz sind entsprechend nur noch Gd-haltige KM mit zyklischen Chelat-Liganden (Gadobutrol, Gadoterat-Meglumin, Gadoteridol) und damit niedrigstem NSF-Risiko zugelassen. Ein hohes NSF-Risiko liegt bei chronischer Nierenfunktionsstörung (CKD) im Stadium 4 und 5 ($GFR < 30 \text{ ml/min/1,73 m}^2$), bei Dialysepatienten oder bei akuter Niereninsuffizienz vor, ein niedriges NSF-Risiko bei CKD im Stadium 3 ($GFR 30\text{--}59 \text{ ml/min/1,73 m}^2$) und kein NSF-Risiko bei stabiler $GFR \geq 60 \text{ ml/min/1,73 m}^2$. Bei Patienten mit chronischer Nierenfunktionsstörung (CKD) im Stadium 4 und 5 sollten mindestens 7 Tage zwischen 2 Injektionen liegen [13].

Gemäß der Fachinformation sollte immer die niedrigste Dosis eines Gd-haltigen KM, mit Gewährleistung einer ausreichenden Kontrastverstärkung, verwendet werden. Name und Dosierung des verwendeten KM sollten immer patientenspezifisch vermerkt werden. Akute unerwünschte Nebenwirkungen lassen sich durch eine Überwachung des Patienten über einen Zeitraum von 30 Minuten (min) nach KM-Gabe und die Bereithaltung von Medikamenten und Geräten für den Notfall am Untersuchungsort erkennen und behandeln [13].

Bei Patienten mit erhöhtem Risiko auf eine unerwünschte Wirkung sollte auf eine KM-Gabe verzichtet oder alternative Verfahren erwogen werden. Bei anamnestisch bekannter Allergie auf ein bestimmtes Gd-haltiges KM sollte zunächst der Einsatz eines alternativen KM erfolgen und eine Prämedikation zur Vorbeugung einer KM-Unverträglichkeit erwogen werden. Bei Hämodialysepatienten wird empfohlen, die Hämodialyse so früh wie möglich nach der KM-Gabe durchzuführen.

1.5 Implantate

Von Körperimplantaten können durch die verschiedenen Magnetfelder unterschiedliche Gefahren und Verletzungsmechanismen für den Patienten im MRT ausgehen [15]. Das B0-Magnetfeld kann zu Translations- und Rotationsbewegungen der Implantate führen. Die Magnetfelder der Gradientenspulen können in den Implantaten einen Strom induzieren und die Magnetfelder der Hochfrequenzspulen führen zu einem Temperaturanstieg der Implantate. Dieser Temperaturanstieg hängt von der Energie der Hochfrequenzpulse, der Position des Implantats im Hochfrequenzfeld und dem Verhältnis der Implantatlänge zur Wellenlänge des eingestrahlten Hochfrequenzpulses ab. Aus diesen Gründen können Patienten mit Implantaten nur sicher im MRT untersucht werden, wenn die Implantate entsprechend dem Implantatausweis als MR-sicher bzw. bedingt MR-sicher ausgewiesen sind und die entsprechenden Vorgaben des Herstellers eingehalten werden. Für eine ökonomische Gestaltung der Arbeitsabläufe im MRT ist es daher wichtig, die MRT-Sicherheit eines Implantats rechtzeitig vor der eigentlichen MRT-Untersuchung abzuklären.

Neben den beschriebenen Gefahren für den Patienten führen Implantate zu Feldinhomogenitäten, die durch die damit einhergehenden Bildartefakte die Diagnostik erschweren oder gänzlich unmöglich machen. In diesem Zusammenhang stellen Hüftgelenkprothesen ein häufiges Problem bei der mpMRT der Prostata dar. Da die durch Implantate verursachten Feldinhomogenitäten mit zunehmender Feldstärke zunehmen, kann in Einzelfällen, abhängig vom jeweiligen 3T-MRT-Gerät und der Untersuchungs-/Sequenzqualität, eine Untersuchung von bedingt MRT-sicheren Hüftgelenkprothesen bei 1,5T sinnvoll sein. Artefakte können jedoch bei beiden Feldstärken auftreten und das Ausmaß der Artefakte kann in der Praxis im Allgemeinen nicht sicher vorhergesagt werden.

Die für die Diagnostik wichtige DWI-Sequenz ist besonders anfällig für Feldinhomogenitäten. Daher wurden neue Akquisitionstechniken entwickelt, die zu weniger Bildverzerrungen führen. Zu nennen sind hier die DWI-Sequenzen mit paralleler Bildgebung und selektiver 2-dimensionaler Anregung eines kleinen Untersuchungsvolumens (parallel transmitted EPI-sequences) oder Multi-Shot-Sequenzen mit segmentierter Auslese- und Suszeptibilitätsartefakt-/Bewegungskorrektur (Readout segmented multishot EPI-sequences) [16, 17] (s. hierzu Ausführungen im Kapitel der DWI-Sequenzen). Hilfreich zur Artefaktreduktion können ferner die Änderung der Phasenkodierrichtung, die Erhöhung der Bandbreite, die Vergrößerung der Matrix, die Reduktion der Schichtdicke, die Reduktion der TE-Zeit oder die Verwendung spezieller Artefaktreduktionssequenzen wie MAVRIC (multiacquisition variable-resonance image combination) und SEMAC (slice encoding for metal artifact correction) sein [18].

2. Untersuchungsterminierung und -vorbereitung

2.1. Untersuchungszeitpunkt

Vor einer erstmaligen Biopsie der Prostata kann eine mpMRT zur Tumorsuche zu jedem Zeitpunkt durchgeführt werden. Nach einer bereits stattgehabten Prostatabiopsie können sich intraprostatiche Einblutungen, Entzündungen und Ödeme meist in der peripheren Zone und in den Samenblasen finden (u. a. abhängig von der Anzahl der entnommenen Biopsiezylinder). Diese Veränderungen können die Beurteilung der mpMRT der Prostata im Allgemeinen und im Besonderen die Beurteilung der Prostata-pseudokapsel (drüsenfreie Schichten aus Bindegewebe und Muskelzellen), des neurovaskulären Bündels und der Samenblasen beeinträchtigen. Daher kann eine MRT zu einem späteren Zeitpunkt, zu dem die Veränderungen regredient bzw. nicht mehr nachweisbar sind, geeigneter sein. Obwohl diese Veränderungen mehrere Monate nach einer Biopsie nachweisbar sein können, ist mit der Zeit eine Reduktion zu verzeichnen, weshalb ein Intervall von wenigstens 6 Wochen zwischen vorangegangener Biopsie der Prostata und der mpMRT der Prostata angestrebt werden sollte. Auf der anderen Seite ist eine Verschiebung aufgrund individueller Gegebenheiten bzw. klinischer Relevanz nicht immer sinnvoll oder notwendig. In diesem Zusammenhang sollte berücksichtigt werden, dass die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen eines klinisch signifikanten Prostatakarzinoms in Regionen mit einer Einblutung ohne korrespondierende suspekte MRT-Veränderungen nach vorangehender negativer Biopsie der Prostata gering ist [19, 20].

2.2. Spasmolytikum

Die Verwendung eines Darmspasmolytikums führt zu einer relevanten Reduzierung der Artefakte durch die natürliche Darmbewegung und dadurch zu einer Steigerung der Bildqualität und sollte deshalb routinemäßig appliziert werden [20–23]. Einzelne Studien, jedoch ohne prospektiven Vergleich innerhalb eines Patienten und teils mit Verwendung einer Endorektalspule, beurteilten den Effekt geringer [24, 25].

Wenn keine Kontraindikationen vorliegen, sollten 1–2 Ampullen Butylscopolamin (z. B. Butylscopolaminiumbromid, Buscopan®) (20–40 mg) gewichtsadaptiert appliziert werden. Nach intravenöser Gabe von Butylscopolamin erfolgt die rasche Verteilung im Körper mit einer Plasma-Verteilungs-Halbwertszeit von 4 min. Die Gewebe-Eliminations-Halbwertszeit beträgt 29 min. Zeitlich sollte eine i. v.-Gabe des Spasmolytikums somit etwa 4 min vor der hochaufgelösten axialen T2w- und DWI-Sequenz erfolgen, um eine maximale Wirkung für diese Sequenzen zu erreichen. Zur Prolongation der maximalen Wirksamkeit kann eine zusätzliche i. m.-Gabe oder fraktionierte i. v.-Gabe erwogen werden. Die terminale Halbwertszeit von Butylscopolamin beträgt ca. 5,1 Stunden, weshalb die aktive Teilnahme am Straßenverkehr für 6 Stunden vermieden werden sollte. Kontraindikationen, wie z. B. ein Engwinkel-Glaukom und Herzrhythmusstörungen (z. B. Tachykardie, Tachyarrhythmie), müssen ausgeschlossen werden. Weitere Kontraindikationen für die Gabe von Butylscopolamin finden sich in den Fachinformationen. Eine BPH ist als relative Kontraindikation zu sehen. Die Blase ist vor der Untersuchung zu entleeren. Ein akuter Harnverhalt nach einer

Gabe von Butylscopolamin ist bei entleerter Blase aufgrund der kurzen Halbwertszeit äußerst selten und müsste im Einzelfall urologisch behandelt werden.

Alternativ zur Gabe von Butylscopolamin ist die intravenöse Gabe einer Ampulle Glukagon (1 mg) unter Beachtung der Kontraindikationen möglich. Darüber hinaus kann eine vorherige Nahrungskarenz (3–4 Stunden keine Nahrung und Flüssigkeit) erwogen werden. Aktuell gibt es in der Literatur jedoch keine Evidenz für die Verwendung von Glukagon oder die vorherige Nahrungskarenz.

2.3. Entleerung Enddarm

Eine mit Stuhl gefüllte Rektumampulle verursacht aufgrund der rektalen Luft an der Grenzfläche zur peripheren Zone der Prostata lokale Feldinhomogenitäten. Diese führen zu Bildverzerrungen, die insbesondere die Bildqualität der DWI-Sequenz negativ beeinflussen [26]. Die mit Stuhl gefüllte Rektumampulle führt des Weiteren zu vermehrten Rektumkontraktionen, welche wiederum zu stärkeren Bewegungsartefakten führen [26]. Die kausal einfachste Maßnahme zur Reduzierung und im günstigsten Fall Vermeidung dieser Artefakte ist die Entleerung des Enddarms. Alternative, jedoch aufwendigere Maßnahmen sind die Untersuchung in Bauchlage und die aktive Entfernung der rektalen Luft mit einem schmalen Katheter. Die Gabe einer Mikroklistiers direkt vor der Untersuchung hingegen führt zu keiner verbesserten Bildqualität und auch nicht zu einer Reduktion der Bildartefakte [27]. Technische Möglichkeiten der Artefaktreduzierung sind die manuelle Anpassung und Reduzierung des Shimvolumens und die Anwendung neuer Akquisitionstechniken (s. hierzu Ausführungen im Kapitel zu den Implantaten und den DWI-Sequenzen).

2.4. Enthaltssamkeit

Unter dem Begriff Enthaltssamkeit ist der zeitliche Verzicht auf Ejakulationen vor Durchführung einer MRT zu verstehen. Studien haben das Verhalten der T2w- Bildgebung bei gesunden Probanden untersucht und eine T2w-Signalabsenkung in der peripheren Zone nach einer Ejakulation festgestellt [28, 29]. Eine weitere Studie an gesunden Probanden kam zum Ergebnis, dass auch der ADC-Wert in der diffusionsgewichteten Bildgebung post ejakulationem abgesenkt wird [30]. Dieser Effekt war über 24 h nachweisbar. Danach trat eine Normalisierung der Parameter ein. Die Autoren kamen zum Schluss, dass vor einer mpMRT der Prostata eine Enthaltssamkeit von 3 Tagen empfehlenswert ist, um die Beurteilbarkeit der Samenblasen zu verbessern und die Staginggenauigkeit zu erhöhen [30]. Eine Volumenabnahme der Samenblasen nach der Ejakulation wurde berichtet, jedoch wird der zeitliche Zusammenhang zwischen erfolgter Ejakulation und dem Volumen der Samenblasen als nur gering miteinander korreliert beschrieben [29, 31, 32].

Der positive Einfluss von Enthaltssamkeit im Hinblick auf die Detektionsrate des Prostatakarzinoms ist zusammenfassend nicht ausreichend belegbar, eine Enthaltssamkeit am Vorabend und am Tag der MRT scheint aber sinnvoll. Eine verbindliche Empfehlung für ein Enthaltssamkeitsintervall kann aufgrund der Studienlage jedoch derzeit nicht gegeben werden.

3. Untersuchungsprotokoll

Die in ► **Tab. 1** und in diesem Kapitel angegebenen Schichtdicken und räumlichen Auflösungen beziehen sich stets auf gemessene und nicht auf interpolierte Werte.

3.1. T2w-TSE/FSE-Sequenz

T2w-Aufnahmen mit räumlich hochauflösenden T2w-Turbo-Spin-Echo- (TSE) bzw. Fast-Spin-Echo (FSE) -Sequenzen bilden die morphologische Grundlage der mpMRT der Prostata. Die empfohlene Schichtdicke beträgt 3,5 mm (bevorzugt 3 mm) und der Schichtabstand 0 %. Bei Verwendung einer Schichtdicke von 3 mm kann unter Berücksichtigung des zu den Rändern abfallenden Schichtprofils und zur Erhöhung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses (SNR) auch ein Schichtabstand von 10 % gewählt werden. Eine Suppression des Fettsignals soll nicht durchgeführt werden. Auf dieser Grundlage kann eine gezielte Biopsie im nächsten Schritt erfolgen. T2w-Aufnahmen der Prostata sollen stets in der axialen Ebene angefertigt werden und durch orthogonale T2w-Aufnahmen in mindestens einer weiteren Ebene ergänzt werden [20]. Die Akquisitionen der axialen Sequenzen (T2w-, DWI- und DCE-Sequenz) sollen schichtidentisch mit der gleichen Schichtdicke, gleicher Angulierung und möglichst gleicher Schichtanzahl erfolgen. Die Autoren arbeiteten während der Konferenzen 3 verschiedene Möglichkeiten der axialen Angulierung heraus:

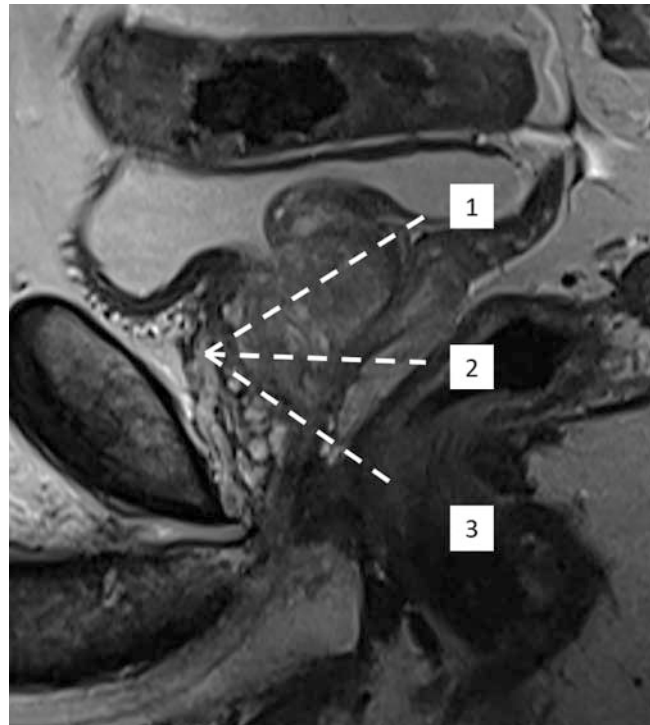
1. axial zur Urethra (bevorzugt von 3 Autoren),
2. axial zur Körperlängsachse (bevorzugt von 2 Autoren) und
3. axial zur Rektumvorderwand (bevorzugt von 5 Autoren)

(► **Abb. 1**).

Jede dieser Angulierungen hat Vor- und Nachteile, die in ► **Tab. 2** aufgelistet sind. In diesem Zusammenhang ist wichtig, dass die gewählte Angulierung im Befund dokumentiert werden sollte, um Fehler bei der Korrelation mit TRUS-Untersuchungen, Verlaufskontrollen, Bildfusionen und Biopsieplanungen zu vermeiden. Zur Vermeidung von potenziellen Bewegungsartefakten des Rektums auf Höhe der Prostata sollte die Akquisition mit Phasenkodierrichtung von rechts nach links erfolgen. Die sagittale T2w-Sequenz wird streng sagittal zur Körperlängsachse akquiriert (Phasenkodierrichtung bevorzugt Kopf-Fuß zur Reduktion von Atemartefakten) und verläuft damit senkrecht zur Angulierung 2 axial zur Körperlängsachse. Die Angulierung der koronaren T2w-Sequenz (Phasenkodierrichtung rechts-links) erfolgt parallel zur größten Kontaktfläche der peripheren Zone mit der Rektumvorderwand und verläuft senkrecht zur Angulierung 3 axial zur Rektumvorderwand (► **Abb. 2**). Mit dieser Angulierung wird die Ausrichtung entlang des nicht immer eindeutig zu identifizierenden Ductus ejaculatorii für den Nachweis einer Samenblaseninfektion am ehesten erreicht.

Steht für die mpMRT der Prostata das Staging des Prostatakarzinoms im Vordergrund, sollte die Prostata bevorzugt in 3 Ebenen mit T2w-Aufnahmen und zumindest einer höheren axialen Auflösung untersucht werden, nämlich inplane in Phasenkodierrichtung $\leq 0,7 \text{ mm} \times$ inplane in Frequenzkodierrichtung $\leq 0,5 \text{ mm}$.

Weitere Informationen zur Anatomie und deren Implikationen für die Angulierung der Untersuchungsebenen und die Befundung finden sich im Abschnitt „Ergänzendes Material“.



► **Abb. 1** Sagittale T2-gewichtete Aufnahme der Prostata zur Veranschaulichung der 3 möglichen axialen Angulierungen: 1. axial zur Urethra, 2. axial zur Körperlängsachse und 3. axial zur Rektumvorderwand.

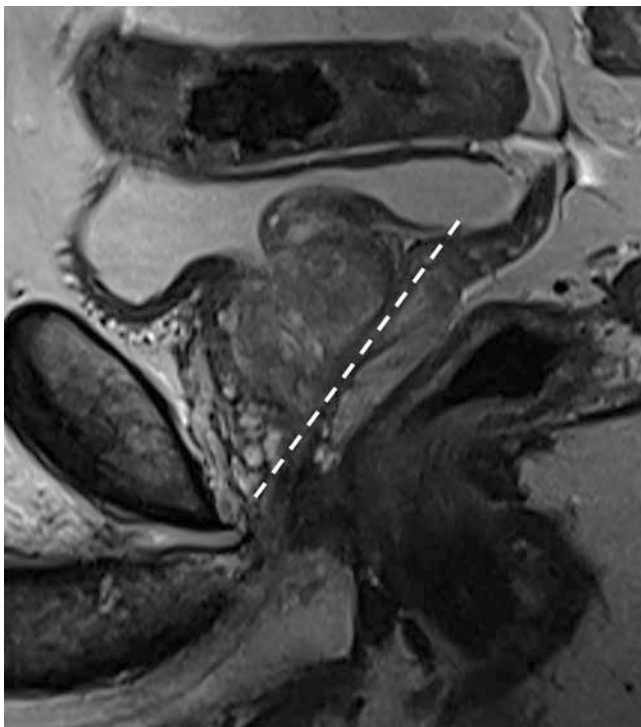
3.2. DWI-Sequenz

Prostatakarzinome verkleinern aufgrund ihrer erhöhten Zelldichte den interstitiellen Raum und verdrängen, komprimieren oder zerstören die Drüsen bzw. Drüsenausführungsgänge. Dadurch wird die freie Teilchenbeweglichkeit (Diffusion) eingeschränkt, die mit der DWI-Sequenz bildlich dargestellt wird [33].

Für die DWI-Sequenz werden meist Single-Shot-Echo-Planar-Imaging (SS-EPI) -Sequenzen verwendet. Dabei werden sowohl Bilddatensätze mit geringer Diffusionswichtung (niedriger b-Wert zwischen 0 und 100 s/mm^2) als auch mit starker Diffusionswichtung (hoher b-Wert zwischen 800 und 1000 s/mm^2) akquiriert. In der klinischen Routine hat sich das monoexponentielle Modell zur Berechnung des sogenannten „Apparent Diffusion Coefficient“ (ADC) durchgesetzt. Durch eine monoexponentielle Funktion wird hierbei unter Verwendung der beiden Bilddatensätze mit niedrigem bzw. hohem b-Wert für jeden Bildpunkt der ADC bestimmt und der Zahlenwert als Bildkontrast in den ADC-Bildern kartografiert [33]. Dabei wird für jeden Bildpunkt eine Gerade durch die beiden gemessenen b-Werte gelegt. Der ADC-Wert ist eine bildliche Wiedergabe der Anstiegssteilheit dieser Geraden. Die Bestimmung der Geraden gelingt umso besser, je höher das SNR der jeweiligen gemessenen b-Wert-Bilder ist. Das SNR der b-Wert-Bilder kann positiv durch eine Erhöhung der Anzahl der Mittelungen beeinflusst werden und sollte abhängig vom jeweils vorhandenen MRT-Gerät (inkl. Empfangsspule) für jeden b-Wert sorgfältig optimiert werden. Daher ist es insbesondere empfehlenswert, für den hohen gemessenen b-Wert eine möglichst

► **Tab.2** Vor- und Nachteile der axialen Angulierungen.

Angulierung	Vorteile	Nachteile
1 axial zur Urethra Die axiale Ebene wird senkrecht zum proximalen intraprostatischen Harnröhrenverlauf anguliert.	<ul style="list-style-type: none"> gute Korrelation mit dem Prostatektomiepräparat anteriore apikale Anteile ohne Partialvolumeneffekte symmetrische Abbildung der Transitionszone 	<ul style="list-style-type: none"> Partialvolumeneffekte dorsal apikal Anleitung der MTRA notwendig, da bei ausgeprägter Hyperplasie oder posttherapeutischen Veränderungen die Sequenzplanung erschwert ist Anschnitt mehrerer anatomischer Höhen in einem Bild
2 axial zur Körperlängsachse Die axiale Ebene wird senkrecht zur Längsachse des Körpers anguliert.	<ul style="list-style-type: none"> einfach und praktikabel hohe Reproduzierbarkeit in der Routine bei kontinuierlicher Untersuchung ohne Endorektalspule 	<ul style="list-style-type: none"> Anschnitt mehrerer anatomischer Höhen in einem Bild, dadurch Höhenzuordnung schwieriger (Empfehlung sag. Ebene als 2. Ebene)
3 axial zur Rektumvorderwand Die axiale Ebene wird senkrecht zur größten Grenzfläche der peripheren Zone mit der Rektumvorderwand anguliert.	<ul style="list-style-type: none"> gute Korrelation mit den TRUS-Bildern und zum PI-RADS-v2.1-Sektorenschema periphere Zone senkrecht und dorsale Begrenzung zum großen Teil ohne Partialvolumeneffekte abgebildet 	<ul style="list-style-type: none"> Partialvolumeneffekte an der Grenzfläche der anterioren Anteile der peripheren Zone Anleitung der MTRA notwendig, da bei ausgeprägter Hyperplasie oder posttherapeutischen Veränderungen die Sequenzplanung erschwert ist (Prostata dorsal stark konvex geformt und periphere Zone aufgrund der Kompression schlechter erkennbar)



► **Abb.2** Sagittale T2-gewichtete Aufnahme zur Veranschaulichung der Angulierung der koronaren Ebene.

hohe Anzahl von Mittellagen zu wählen und den sehr hohen b-Wert ($> 1400 \text{ s/mm}^2$) aus der Berechnung des ADC auszuschließen, um den ADC beeinflussende Kurtosis-Effekte zu vermeiden. Sofern dieser hohe b-Wert gemessen (und nicht berechnet) wird, sollte dieser daher separat aufgenommen werden. Als niedrigster b-Wert kann ein Wert über 0 s/mm^2 (z. B. $50\text{--}100 \text{ s/mm}^2$) bevorzugt werden, um ggf. Perfusionseffekte und deren Einfluss auf die

Berechnung der ADC-Karten zu verringern. Durch eine Rechts-Links-Phasenkodierichtung können Atmungsartefakte reduziert und die Bildqualität optimiert werden. Hierbei sollten die Hände/Arme des Patienten aber nicht seitlich am Becken liegen, um Einfaltungen zu vermeiden (falls kein Phasen-Oversampling verwendet wird). Eine anterior-posteriore Phasenkodierichtung kann wiederum bei Hüftimplantaten ggf. bessere diagnostische Bilder ermöglichen.

Die Anfälligkeit üblicher, fettsignalgesättigter SS-EPI-Sequenzen für Artefakte (Verzerrungen durch Magnetfeldinhomogenität bei Suszeptibilitätssprüngen, z. B. an Gewebegrenzen zu Luft oder metallischen Implantaten) kann durch verschiedene neue Sequenztechniken reduziert werden. Hierzu zählen Sequenzen mit paralleler Bildgebung und selektiver 2-dimensionaler Anregung eines kleinen Untersuchungsvolumens (reduced FOV EPI-Sequenz, z. B. ZOOMit bei Siemens, iZOOM bei Philips oder FOCUS bei GE) oder Multi-Shot-Sequenzen mit segmentierter Auslesung und Suszeptibilitätsartefakt-/Bewegungskorrektur (Readout segmented multishot EPI-sequences, z. B. RESOLVE bei Siemens oder MUSE bei GE) [34–36]. Diese neuen Sequenzen sind jedoch für jedes MRT-Untersuchungsgerät zu optimieren, um tatsächlich eine Qualitätssteigerung im Vergleich zur üblichen SS-EPI-Sequenz zu erreichen.

Gesundes Prostatagewebe zeigt in der DWI bei niedrigen b-Werten ein hohes Signal und bei hohen b-Werten eine deutliche Signalabnahme. Prostatakarzinome mit geringem Wasseranteil und eingeschränkter Teilchenbeweglichkeit zeigen hingegen bei niedrigem b-Wert ein geringes Signal und bei hohem b-Wert ein hohes Signal (= Diffusionsrestriktion) [37]. Die ADC-Karte zeigt semiquantitativ den Signalunterschied an. Der ADC-Wert ist bei Prostatakarzinomen entsprechend reduziert. Mit zunehmender biologischer Aggressivität von Prostatakarzinomen nimmt deren ADC-Wert ab [38]. Der exakte histopathologische Gleason-Score eines Prostatakarzinoms kann allerdings nicht vor-

hergesagt werden. Ein abnehmender ADC-Wert innerhalb eines Prostatakarzinoms in Verlaufsuntersuchungen bei konstanten Messparametern kann als Hinweis auf eine zunehmende Aggressivität gewertet werden (z. B. im Rahmen der aktiven Überwachung). Unter externer Strahlentherapie der Prostata nimmt der ADC-Wert in Prostatakarzinomen signifikant zu, ändert sich aber in gesundem Prostatagewebe wohl nicht wesentlich [39].

Die Sensitivität und Spezifität der DWI-Sequenz allein wird für den Nachweis eines Prostatakarzinoms in einer Metaanalyse mit insgesamt 1204 Patienten mit 62 bzw. 90 % angegeben [40]. In einer Metaanalyse mit insgesamt 698 Patienten mit vorangehender negativer Prostatabiopsie beträgt die mittlere Sensitivität der DWI-Sequenz für den Nachweis eines Prostatakarzinoms 38 % und die mittlere Spezifität 95 % [41]. Die Testgüteparameter lassen sich durch eine Kombination der DWI- mit T2w- und DCE-Sequenzen verbessern [42, 43].

3.3. DCE-Sequenz

Die DCE-Sequenz beinhaltet die wiederholte Akquisition von schnellen T1w-Sequenzen während und nach der Bolus-förmigen intravenösen Applikation eines Gd-haltigen KM. Eine hohe zeitliche Auflösung von ≤ 9 Sekunden ist Voraussetzung, um das frühe Enhancement und das maximale Enhancement im Prostatakarzinom sicher bildgebend darzustellen und ist einer hohen räumlichen Auflösung vorzuziehen [44]. Eine Messdauer von bevorzugt 3 min (mindestens jedoch 2 min) in Kombination mit der bereits beschriebenen zeitlichen Auflösung ist notwendig, um alle Charakteristiken der Signalintensitäts-Zeit-Kurve ausreichend zu beurteilen. Für eine stabile Berechnung pharmakokinetischer Parameterkarten wird eine Messzeit von ≥ 3 min empfohlen [45].

Die Bilder der DCE-Sequenz sollten initial unabhängig von denen der DWI-Sequenz und T2w-Sequenz betrachtet werden. Erst in einem zweiten Schritt sollen die Auffälligkeiten in der DCE-Sequenz (z. B. frühes Enhancement) mit den Bildern der DWI-Sequenz und T2w-Sequenz korreliert werden. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass die Bedeutung der DCE-Sequenz sich nicht nur auf das Aufwerten von PI-RADS-3-Läsionen in der peripheren Zone („Upscoring“), wodurch allein bis zu 33 % klinisch signifikante Prostatakarzinome detektiert werden können, beschränkt [46]. Im Rahmen des Stagings erlaubt die DCE-Sequenz häufig eine genauere Darstellung des Volumens des Indexprostatakarzinoms im Vergleich zur T2w- oder DWI-Sequenz [47] und erhöht die diagnostische Sicherheit für eine Infiltration der Samenblasen und der Harnblase. Essenziell ist die DCE-Sequenz für die Rezidivdiagnostik nach Prostatektomie oder nach einer Strahlentherapie [48]. Auf der anderen Seite gibt es Konstellationen, bei denen der Verzicht auf die DCE-Sequenz zu keinem diagnostischen Nachteil für den Patienten führt. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn bei klinisch bestehendem Karzinomverdacht anhand der T2w- und DWI-Sequenzen ein eindeutiger Tumornachweis gelingt und eine fokale Therapie ausgeschlossen wird. In diesem Zusammenhang sei auf die Mitteilung des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) zu Gadolinium-haltigen Kontrastmitteln vom 11.01.2018 hingewiesen. Demzufolge wird Ärzten empfohlen, Gd-haltige KM nur dann anzuwenden, wenn essenzielle diagnostische Informationen mit einer Magnetresonanztomografie ohne Kontrastverstär-

kung nicht gewonnen werden können [14]. Ferner kann auf eine DCE-Sequenz verzichtet werden, wenn Kontraindikationen vorliegen oder der Patient die Gabe eines makrozyklischen Gd-haltigen KMs ablehnt.

Ein biparametrisches Prostata-MRT (bpMRT) ohne Verwendung der DCE-Sequenz kann aktuell nicht allgemeingültig empfohlen werden. Der Hauptgrund ist die ungenügende Evidenz für das bpMRT, da Aussagen zur diagnostischen Wertigkeit der MRT der Prostata sich hauptsächlich auf Daten der mpMRT stützen. Einzelne Metaanalysen (beispielhaft ist die aktuellste genannt) konnten, bei Tendenz einer geringeren Sensitivität der bpMRT (82 % vs. 89 %; $p = 0,39$), keine statistisch signifikanten Unterschiede für die Sensitivität und Spezifität zur Detektion eines Prostatakarzinoms zwischen der bpMRT und mpMRT der Prostata zeigen [49]. Diese statistisch nicht signifikanten Unterschiede beruhen jedoch auf den Ergebnissen retrospektiver Studien mit heterogenen Protokollen und Erfahrungen der Radiologen und sind im Studiendesign und ihrer Evidenzstufe limitiert [49]. Prospektive Studien, die das Weglassen der DCE-Sequenz rechtfertigen oder die Unterschiede exakt quantifizieren, fehlen bisher. Insbesondere bei weniger erfahrenen Untersuchern oder ggf. gerätebedingter schlechterer DWI-Sequenz-Qualität birgt der Verzicht auf die DCE-Sequenz die Gefahr, dass klinisch signifikante Prostatakarzinome nicht detektiert werden. Unbestritten ist, dass die DCE-Sequenz die diagnostische Sicherheit erhöht und als „Back-up“-Sequenz dient, wenn die Qualität der T2w- oder DWI-Sequenz für die Diagnostik ungeeignet ist [20].

3.4. T1w-Sequenz

Die native T1w-Sequenz des gesamten Beckens kann eine TSE/FSE- oder GRE-Sequenz sein und sollte den Bereich von der Aortenbifurkation bis zum Beckenboden entweder axial oder koronar mit einer Schichtdicke von ≤ 5 mm (2D) oder von ≤ 2 mm (3D) abbilden. Die DCE-Sequenz enthält in der Regel ebenfalls mindestens ein natives T1-gewichtetes Bild vor Kontrastmittelgabe, welches diagnostisch ebenfalls genutzt werden kann. Zusätzlich zur nativen T1w-Sequenz kann eine T1w-Sequenz nach der KM-Gabe mit einem geeigneten Fettsättigungsimpuls erfolgen.

Die T1w-Aufnahmen des gesamten Beckens haben im Wesentlichen 4 Aufgaben zu erfüllen: (1) Die Beurteilung des T1w-Signals der Prostata und der Samenblasen, das auf Einblutungen, proteinhaltige Flüssigkeit in Zysten, Abszesse und Verkalkungen hinweist; (2) die Beurteilung des Knochenmarksignals, um osteoblastische Knochenveränderungen zu erkennen, die auf Metastasen eines Prostatakarzinoms hindeuten; (3) die Detektion, exakte anatomische Lokalisation sowie (stark limitierte) Dignitätsbeurteilung größerer Lymphknoten; (4) die Detektion sonstiger morphologischer Veränderungen der Beckenorgane und der Knochen. Weitere Informationen zu den Aufgaben der T1w-Aufnahmen finden sich im Abschnitt „Ergänzendes Material“.

3.5. Endorektalspule

Einfluss auf die Bildgebung haben geräteseitig eine Vielzahl von Faktoren, z. B. die Hauptmagnetfeldstärke, die Gradientenamplitude, die Anstiegsgeschwindigkeit der Gradienten, die Anzahl der Hochfrequenz-Sender und die Spulentechnologie. Neben den

üblichen starren oder flexiblen flach geformten externen Oberflächenspulen gibt es z. B. auch experimentell anziehbare Oberflächenspulen, deren Elemente noch dichter an der Prostata positioniert sind [50]. Alternativ kann eine Kombination aus externer Oberflächenspule und Endorektalspule (ERS) verwendet werden, wodurch das SNR bei jeder Magnetfeldstärke erhöht wird, was für eine verbesserte Ortsauflösung und/oder erhöhte Sequenzgeschwindigkeit genutzt werden kann. Kürzere Sequenzmesszeiten ermöglichen generell neben ökonomischen Gesichtspunkten die Akquisition von Bildern mit weniger Bewegungsartefakten bei gleichzeitig höherer Auflösung. Insbesondere bei Patienten mit hohem Body-Mass-Index (BMI) kann die Qualität der T2w-Aufnahmen, der DWI-Sequenz mit den diagnostisch wichtigen hohen b-Werten und der DCE-Sequenz mit hoher zeitlicher Auflösung verbessert werden. Bekannte Nachteile der bisher überwiegend genutzten und nur einmal verwendbaren ERS, wie erhöhte Kosten, erhöhter Zeitaufwand, vermehrte Verformung der Prostata, vermehrte Artefakte und lokale Magnetfeldinhomogenität durch Luft im Ballon der ERS, werden durch die Entwicklung neuer starrer wiederverwendbarer ERS überwiegend ausgeglichen. Insbesondere die präsakrale Position der starren, an einer stativartigen Konstruktion befestigten ERS ohne Kontakt zur Prostata und ihr geringerer Durchmesser sind vorteilhaft gegenüber den bisher verwendeten mit Luft gefüllten ERS. Einzig der erhöhte Zeitaufwand und der Diskomfort des Patienten bleiben bei der Verwendung der starren ERS nachteilig bestehen.

Generell ist die Empfehlung zur Verwendung der ERS nicht nur abhängig von der Feldstärke, sondern auch von weiteren technischen Parametern des verwendeten MRT-Systems. Die in neueren MRT-Geräten verwendeten stärkeren Gradientensysteme erlauben eine kürzere Echozeit (TE), wodurch ein höheres SNR und damit eine bessere Bildqualität erreichbar sind. Dementsprechend kann die Bildqualität eines 3 Tesla MRT-Gerätes mit schwachem Gradientensystem ohne kombinierte ERS geringer sein als die Bildqualität eines 1,5 Tesla MRT-Gerätes mit starkem Gradientensystem ohne kombinierte ERS [21]. Tendenziell ist für die Detektion klinisch signifikanter Prostatakarzinome die Anwendung des kombinierten Endorektal-Oberflächenspulensystems bei älteren 1,5 Tesla MRT-Geräten teilweise noch notwendig und bei modernen 3 Tesla MRT-Geräten generell verzichtbar. Die dazu vorliegende Literatur der letzten Dekade ist wegen der Vielzahl von weiteren nicht vergleichbaren technischen Parametern teilweise widersprüchlich [21, 50–53].

Die Anwendung der ERS bei 3 T kann für Spezialfragestellungen sinnvoll sein, wie z. B. für das lokale Staging oder die Beurteilung einer extraprostatatischen Ausdehnung, einer Infiltration der Samenblasen oder des neurovaskulären Bündels, aber auch für die genauere Lokalisation der Prostatakarzinome zur Indikationsstellung und Planung der fokalen Therapie oder zur Planung der fokalen Boost-Bestrahlung bei der definitiven Radiotherapie.

3.6. Weitere Sequenzen

¹H-MR-Spektroskopie (¹H-MRS)

Diese etablierte Methode ist für die Prostata sehr gut validiert. Sie ist jedoch mit einem hohen technischen Aufwand verbunden und Artefakt-anfällig. In Kombination mit Qualitätsmängeln bei der Automatisierung von Nachverarbeitungs- und Dokumentations-

sritten ist die Verbreitung der ¹H-MRS in der radiologischen Routine daher eingeschränkt. Bei Anwendung durch Experten kann die 3-dimensionale ¹H-MRS die sichere Detektion und Lokalisation von Prostatakarzinomen erreichen [54]. Ein übereinstimmend Prostatakarzinom-verdächtiges Ergebnis der T2w-Bildgebung und der ¹H-MRS weist mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 50% (positiver Vorhersagewert) auf das Vorliegen eines Prostatakarzinoms hin mit der wesentlichen Differenzialdiagnose einer herdförmig umschriebenen Prostatitis. Umgekehrt weist ein übereinstimmend negatives Ergebnis der T2w-Bildgebung und der ¹H-MRS mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 95% (negativer Vorhersagewert) auf das Vorliegen von gesundem Prostatagewebe hin mit der Differenzialdiagnose einer diffusen Prostatitis [55]. In einer Metaanalyse von 14 Studien mit insgesamt 698 Patienten mit vorangegangener negativer Prostatabiopsie lagen die Sensitivität und Spezifität der ¹H-MRS kombiniert mit weiteren MRT-Sequenzen für den Nachweis eines Prostatakarzinoms bei 58% bzw. 93% [41]. Die Unterscheidung zwischen gesundem und karzinomatös verändertem Prostatagewebe bleibt bei der ¹H-MRS grundsätzlich auch nach Therapie der Prostata (z. B. Hormontherapie, Strahlentherapie, Kryotherapie) erhalten [54].

T2w-3D-Multi-Echo-Sequenzen

Die Kontrasteigenschaften der T2w-3D-Multi-Echo-Sequenzen sind im Vergleich zu den klassischen T2w-2D-TSE-Sequenzen deutlich unterschiedlich. Zudem kann eine In-Plane-Auflösung analog zu 2D-Sequenzen nur bei längerer Messzeit erreicht werden. Einzelne Studien zur Detektion des Prostatakarzinoms konnten für die PI-RADS-Bewertung jedoch keine Unterlegenheit der 3D-Sequenz gegenüber den klassischen 2D-Sequenzen nachweisen [56]. Studien zum lokalen Staging konnten sogar eine höhere diagnostische Genauigkeit der 3D-Sequenz bzgl. der extraprostatatischen Ausdehnung zeigen [57]. Dennoch sollte dieser Sequenztyp nur zusätzlich zu den klassischen T2w-Sequenzen eingesetzt werden. Aufgrund der isotropen Voxel kann die 3D-Sequenz für die Fusion mit anderen bildgebenden Verfahren (insbesondere Ultraschall, z. B. im Rahmen von Fusionsbiopsien mit MRT-gezielter, ultraschallgesteuerter Biopsie der Prostata) von Vorteil sein.

Erweiterte Techniken der diffusionsgewichteten Bildgebung, wie Diffusion Tensor Imaging (DTI) und Diffusion Kurtosis Imaging (DKI)

Diese Techniken berücksichtigen die mikrostrukturelle Komplexität des Prostatakarzinoms [58]. Intravoxel Incoherent Motion Imaging berücksichtigt das (nicht lineare) multiexponentielle Verhalten des Diffusionssignals bei niedrigen b-Werten und damit den Einfluss der Perfusionskomponente auf das Signal. Diffusion Kurtosis Imaging berücksichtigt die Kurtosis des Gewebes, womit die Abweichung des Diffusionssignals von der Gauß'schen Normalverteilung bezeichnet wird (Non-Linearität des Diffusionssignals bei sehr hohen b-Werten deutlich über 1000 s/mm²) [58, 59]. Diese komplexen Diffusionsmodelle sind aktuell Gegenstand der Forschung. Die derzeit vorliegenden Daten zeigen keinen signifikanten Vorteil dieser Methoden gegenüber der klassischen diffusionsgewichteten Bildgebung, daher sind diese Techniken kein Bestandteil der Routinediagnostik.

BOLD (Blood-Oxygenation-Level Dependent)-Imaging, MR-Elastografie, T1- und T2-Mapping, Arterial Spin Labeling (ASL)

Diese Techniken sind derzeit noch in der Entwicklung und kein Bestandteil der Routinediagnostik. Das T2-Mapping als Methode der quantitativen Beurteilung ist dabei vielversprechend, da das Prostatakarzinom eine kürzere T2-Relaxationszeit als die periphere Zone aufweist, wobei der diagnostische Informationszuwinn für die Transitionszone im Vergleich zur peripheren Zone geringer zu sein scheint [60].

4. MRT- (in-bore) -Biopsie

4.1. Indikation und Technik

Die MRT/Ultraschall-Fusionsbiopsie ist das Standardverfahren zur Abklärung der in der MRT beschriebenen auffälligen Areale. Die gezielte Biopsie im MRT-Gerät (MRT- (in-bore) -Biopsie) ist die einzige Methode, die eine exakte Dokumentation des Entnahmeortes im auffälligen Areal ermöglicht. Da mögliche fusionsbedingte Fehler der MRT/Ultraschall-Fusionsbiopsie in der Segmentierung (Konturierung der Prostata) und Registrierung (Lokalisation der Läsionen) entfallen, ist die MRT- (in-bore) -Biopsie das genaueste MR-gestützte Biopsieverfahren zur histologischen Sicherung von in der MRT diagnostizierten Läsionen [61–63]. Das erste zugelassene MRT-Biopsiegerät ist das DynaTRIM (Philips Healthcare, Invivo Corporation). Darüber hinaus ist ein Roboter-assistiertes MRT-Biopsiegerät von Soteria Medical (Remote Controlled Manipulator; RCM) erhältlich. Bei Patienten mit kleinen oder ungünstig gelegenen Läsionen, Analstenosen, Gerinnungsstörungen oder Enddarmkrankungen (z. B. CED) kann die MRT- (in-bore)-Biopsie der MRT/Ultraschall-Fusionsbiopsie nach entsprechender Aufklärung vorgezogen werden. Nach negativer MRT/Ultraschall-Fusionsbiopsie oder nach kognitiver Biopsie, aber (persistierend) auffälligem MRT-Befund (PI-RADS 4 und 5) ist die gezielte MRT- (in-bore) -Biopsie innerhalb von 6 Monaten sinnvoll (Back-up-Verfahren).

Mögliche und in der Literatur beschriebene Zugangswege sind transrektal, transperineal und transgluteal. Die MRT- (in-bore) -Biopsie sollte unter Lokalanästhesie erfolgen.

Es sollen MRT-kompatible Biopsienadeln (vollautomatisch oder semiautomatisch) verwendet werden. Die Lage der Biopsienadel und des Entnahmeortes sollte mittels einer schnellen T2w-Sequenz (z. B. Single-Shot-TSE-Sequenz) in 2 Raumebenen überprüft werden („Needle-in-Scans“).

Auch wenn eine explizite Zulassung einzelner MRT-kompatibler Biopsienadeln bei 1,5 Tesla und/oder 3 Tesla nicht vorliegt, konnte eine komplikationslose Entnahme im Rahmen von Studien bei 3 Tesla mittels vollautomatischer Biopsienadel (150 mm und 175 mm; in vivo) gezeigt werden [63]. Erwärmungen sind abhängig von der Nadellänge und der Feldstärke jedoch möglich, weshalb darüber entsprechend aufgeklärt werden sollte.

Studien zeigen sowohl für Patienten ohne vorherige Biopsie als auch mit negativer Vorbiopsie hohe Detektionsraten [64]. Die alleinige MRT- (in-bore) -Biopsie kann alternativ zu einer MRT/US-Fusionsbiopsie in der Sekundärindikation (nach negativer Biopsie) durchgeführt werden [65]. Tendenziell zeigen sich MRT- (in-bore)

– und fusionsbasierte MRT/Ultraschall-Biopsieverfahren der einfachen kognitiven Biopsie überlegen, valide prospektive Vergleichsdaten fehlen jedoch [66, 67]

4.2. Labor

Aktuelle Laborparameter sollten entsprechend den gültigen Empfehlungen der Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe (CIRSE) bestimmt werden [68]. Die konventionelle Gerinnungsdiagnostik (International Normalized Ratio (INR); aktivierte partielle Thromboplastinzeit (aPTT); Thrombozytenzahl) ist jedoch limitiert, Störungen der Blutgerinnung wie Von-Willebrand-Faktor-Mangel oder Thrombozytenfunktionsstörung zu erfassen [69]. Eine Blutungsanamnese sowie Erfassung von Voroperation, Traumata, familiärer Blutungsneigung und gerinnungshemmender Medikation sollte erfolgen. Zum Ausschluss eines Harnwegsinfekts kann vorab eine Urinanalyse erfolgen. Eine Biopsie bei klinischen Zeichen eines akuten Harnwegsinfekts (z. B. Brennen beim Wasserlassen) sollte vermieden werden. Zur Bestimmung von Resistenzen gegen Antibiotika kann vorab ein rektaler Abstrich erfolgen.

4.3. Gerinnungsmedikation

Die Prostatabiopsie fällt in die Risikogruppe 1 mit niedrigem Blutungsrisiko (Consensus Guidelines der CIRSE) [68], auch wenn sie streng genommen in der Regel nicht perkutan durchgeführt wird. Der INR-Wert sollte $\leq 2,0$ und die Thrombozytenzahl $\geq 50\,000$ sein.

Die Einnahme von Antikoagulanzen stellt bei Risikogruppe 1 in der Regel keine Kontraindikation dar [68]. Eine Einnahme von Acetylsalicylsäure (ASS) kann das Risiko einer Blutungskomplikation potenziell erhöhen, aber insbesondere eine Dosierung von 100 mg p. o. muss nicht vorab beendet werden [69, 70]. Eine duale Thrombozytenaggregationshemmung (ASS + ADP-Antagonisten (Clopidogrel)) sollte hingegen in interdisziplinärer Rücksprache in eine Monotherapie mit ASS überführt werden [71]. Vitamin-K-Antagonisten (Marcumar) sollten, wenn möglich, 3–5 Tage vorab abgesetzt werden [68]. Neue Antikoagulanzen wie Dabigatran, Rivaroxaban oder Apixaban sollten mind. 24 Stunden vorab abgesetzt werden [72].

4.4. Antibiotika und Anästhesie

In Anlehnung an die Empfehlungen der S3-Leitlinie Prostatakarzinom zur transrektalen ultraschallgesteuerten Biopsie wird empfohlen, die transrektale MRT- (in-bore) -Biopsie unter Antibiotikenschutz durchzuführen. Es konnte gezeigt werden, dass die Antibiotikaphylaxe signifikant die Rate an Bakteriurie nach Stanzbiopsie als möglicher Surrogatparameter für eine Infektion senkt [73]. Die üblicherweise geringere Anzahl von Biopsiezylindern bei der MRT-Biopsie scheint darüber hinaus zu einer geringeren Infektionsrate beizutragen. In den letzten Jahren ist eine Zunahme der infektiösen Komplikation nach Prostatabiopsie beschrieben worden [74]. Durch die deutsche Arzneimittelbehörde (BfArM) erfolgte zum 30. April 2019 ein Widerruf von Indikationen zur systemischen Anwendung (u. a. zur Prophylaxe von Harnwegsinfektionen bei transrektaler Prostatabiopsie) von allen in der EU zugelassenen Fluorchinolonen (betroffene Wirkstoffe:

Ciprofloxacin, Levofloxacin, Moxifloxacin, Norfloxacin, Ofloxacin) aufgrund des Risikos für relevante Nebenwirkungen (Muskeln, Gelenke und Nervensystem). Alternativen sind Cephalosporine (z. B. Cefpodoxim, Cefixim), Fosfomycin oder Aminoglykoside (z. B. Gentamicine). Eine intravenöse Single-Shot-Antibiose eines Cephalosporin (Ceftriaxon; Cefotrix [D,A], Rocephin [D,A,CH], Tercefon [A]) kann 1 Stunde vor Intervention erfolgen.

Bei routinemäßiger Durchführung hat der Patient mittels Gel-Anästhesie während der transrektalen MRT-Biopsie eine gute bis sehr gute Schmerzanalgesie [63].

Interessenkonflikt

TF: Forschungsförderung; Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (ZF4816001 BA9); Vortragshonorare: Saegeling Medizintechnik GmbH, Bayer AG, Medac GmbH; Sachverständigenrat: Bayer AG DB; Patentinhaber MRT-in-bore-Biopsie
SK: Sachverständigenrat: Bayer AG übrige Autoren: keine Konflikte.

Literatur

- [1] Leitlinienprogramm Onkologie. Interdisziplinäre Leitlinie der Qualität S3 zur Früherkennung, Diagnose und Therapie der verschiedenen Stadien des Prostatakarzinoms Version 5.1. 2019
- [2] Distler FA, Radtke JP, Bonekamp D et al. The Value of PSA Density in Combination with PI-RADS for the Accuracy of Prostate Cancer Prediction. *J Urol* 2017; 198: 575–582. doi:10.1016/j.juro.2017.03.130
- [3] Gupta RT, Brown AF, Silverman RK et al. Can Radiologic Staging With Multiparametric MRI Enhance the Accuracy of the Partin Tables in Predicting Organ-Confined Prostate Cancer? *Am J Roentgenol* 2016; 207: 87–95. doi:10.2214/AJR.15.15878
- [4] Lai WS, Gordetsky JB, Thomas JV et al. Factors predicting prostate cancer upgrading on magnetic resonance imaging-targeted biopsy in an active surveillance population. *Cancer* 2017; 123: 1941–1948. doi:10.1002/cncr.30548
- [5] Radtke JP, Wiesenfarth M, Kesch C et al. Combined Clinical Parameters and Multiparametric Magnetic Resonance Imaging for Advanced Risk Modeling of Prostate Cancer-Patient-tailored Risk Stratification Can Reduce Unnecessary Biopsies. *Eur Urol* 2017; 72: 888–896. doi:10.1016/j.eururo.2017.03.039
- [6] Stonier T, Simson N, Shah T et al. The "Is mpMRI Enough" or IMRIE Study: A Multicentre Evaluation of Prebiopsy Multiparametric Magnetic Resonance Imaging Compared with Biopsy. *Eur Urol Focus* 2020. doi:10.1016/j.euf.2020.09.012
- [7] Robert Koch Institut (RKI) und Gesellschaft der epidemiologischen Krebsregister in Deutschland (GEKID). Krebs in Deutschland für 2013/14. Berlin, 2017
- [8] Zeegers MP, Jellema A, Ostrer H. Empiric risk of prostate carcinoma for relatives of patients with prostate carcinoma: a meta – analysis. *Cancer* 2003; 97: 1894–1903
- [9] Mueller-Lisse UG, Swanson MG, Vigneron DB et al. Time-dependent effects of hormone-deprivation therapy on prostate metabolism as detected by combined magnetic resonance imaging and 3D magnetic resonance spectroscopic imaging. *Magn Reson Med* 2001; 46: 49–57. doi:10.1002/mrm.1159
- [10] Truong H, Logan J, Turkbey B et al. MRI characterization of the dynamic effects of 5alpha-reductase inhibitors on prostate zonal volumes. *Can J Urol* 2013; 20: 7002–7007
- [11] Franiel T, Ludemann L, Taupitz M et al. MRI before and after external beam intensity-modulated radiotherapy of patients with prostate cancer: the feasibility of monitoring of radiation-induced tissue changes using a dynamic contrast-enhanced inversion-prepared dual-contrast gradient echo sequence. *Radiother Oncol* 2009; 93: 241–245. doi:10.1016/j.radonc.2009.08.016
- [12] Franiel T, Ludemann L, Rudolph B et al. Evaluation of normal prostate tissue, chronic prostatitis, and prostate cancer by quantitative perfusion analysis using a dynamic contrast-enhanced inversion-prepared dual-contrast gradient echo sequence. *Invest Radiol* 2008; 43: 481–487. doi:10.1097/RLI.0b013e31816b2f63
- [13] European Society of Urogenital Radiology. ESUR Guidelines on Contrast Agents 10.0. 2018
- [14] Europäische Arzneimittelagentur (EMA) und Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM). Gadolinium-haltige Kontrastmittel: Aktualisierte Empfehlungen nach Bewertung von Gadoliniumablaugungen im Gehirn und anderen Geweben 2018.
- [15] Tsai LL, Grant AK, Mortelet KJ et al. A Practical Guide to MR Imaging Safety: What Radiologists Need to Know. *Radiographics* 2015; 35: 1722–1737. doi:10.1148/rg.2015150108
- [16] Attenberger UI, Rathmann N, Sertdemir M et al. Small Field-of-view single-shot EPI-DWI of the prostate: Evaluation of spatially-tailored two-dimensional radiofrequency excitation pulses. *Z Med Phys* 2016; 26: 168–176. doi:10.1016/j.zemedi.2015.06.013
- [17] Czarniecki M, Caglic I, Grist JT et al. Role of PROPELLER-DWI of the prostate in reducing distortion and artefact from total hip replacement metalwork. *Eur J Radiol* 2018; 102: 213–219. doi:10.1016/j.ejrad.2018.03.021
- [18] Ariyanayagam T, Malcolm PN, Toms AP. Advances in Metal Artifact Reduction Techniques for Periprosthetic Soft Tissue Imaging. *Semin Musculoskel R* 2015; 19: 328–334. doi:10.1055/s-0035-1563734
- [19] Barrett T, Vargas H, Akin O et al. Value of the hemorrhage exclusion sign on T1-weighted prostate MR images for the detection of prostate cancer. *Radiology* 2012; 263: 751–757
- [20] European Society of Urogenital Radiology, American College of Radiology. Prostate Imaging – Reporting and Data System Version 2.1. 2019
- [21] Engels RRM, Israel B, Padhani AR et al. Multiparametric Magnetic Resonance Imaging for the Detection of Clinically Significant Prostate Cancer: What Urologists Need to Know. Part 1: Acquisition. *Eur Urol* 2020; 77: 457–468. doi:10.1016/j.eururo.2019.09.021
- [22] Slough RA, Caglic I, Hansen NL et al. Effect of hyoscine butylbromide on prostate multiparametric MRI anatomical and functional image quality. *Clin Radiol* 2018; 73: 216 e219–216 e214. doi:10.1016/j.crad.2017.07.013
- [23] Ullrich T, Quentin M, Schmaltz AK et al. Hyoscine butylbromide significantly decreases motion artefacts and allows better delineation of anatomic structures in mp-MRI of the prostate. *Eur Radiol* 2018; 28: 17–23. doi:10.1007/s00330-017-4940-7
- [24] Roethke MC, Kuru TH, Radbruch A et al. Prostate magnetic resonance imaging at 3 Tesla: Is administration of hyoscine-N-butyl-bromide mandatory? *World J Radiol* 2013; 5: 259–263. doi:10.4329/wjr.v5.i7.259
- [25] Wagner M, Rief M, Busch J et al. Effect of butylscopolamine on image quality in MRI of the prostate. *Clin Radiol* 2010; 65: 460–464. doi:10.1016/j.crad.2010.02.007
- [26] Caglic I, Hansen NL, Slough RA et al. Evaluating the effect of rectal distension on prostate multiparametric MRI image quality. *Eur J Radiol* 2017; 90: 174–180. doi:10.1016/j.ejrad.2017.02.029
- [27] Lim C, Quon J, McInnes M et al. Does a cleansing enema improve image quality of 3T surface coil multiparametric prostate MRI? *J Magn Reson Imaging* 2015; 42: 689–697. doi:10.1002/jmri.24833
- [28] Medved M, Sammet S, Yousuf A et al. MR imaging of the prostate and adjacent anatomic structures before, during, and after ejaculation: qualitative and quantitative evaluation. *Radiology* 2014; 271: 452–460. doi:10.1148/radiol.14131374

- [29] Kabakus IM, Borofsky S, Mertan FV et al. Does Abstinence From Ejaculation Before Prostate MRI Improve Evaluation of the Seminal Vesicles? *Am J Roentgenol* 2016; 207: 1205–1209. doi:10.2214/AJR.16.16278
- [30] Barrett T, Tanner J, Gill AB et al. The longitudinal effect of ejaculation on seminal vesicle fluid volume and whole-prostate ADC as measured on prostate MRI. *Eur Radiol* 2017; 27: 5236–5243. doi:10.1007/s00330-017-4905-x
- [31] Shin T, Kaji Y, Shukuya T et al. Significant changes of T2 value in the peripheral zone and seminal vesicles after ejaculation. *Eur Radiol* 2018; 28: 1009–1015. doi:10.1007/s00330-017-5077-4
- [32] Yuruk E, Pastuszak AW, Suggs JM 3rd et al. The association between seminal vesicle size and duration of abstinence from ejaculation. *Andrologia* 2017; 49: doi:10.1111/and.12707
- [33] Mueller-Lisse UG, Mueller-Lisse UL, Zamecnik P et al. [Diffusion-weighted MRI of the prostate]. *Radiologe* 2011; 51: 205–214. doi:10.1007/s00117-010-2061-2
- [34] Klingebiel M, Ullrich T, Quentin M et al. Advanced diffusion weighted imaging of the prostate: Comparison of readout-segmented multi-shot, parallel-transmit and single-shot echo-planar imaging. *Eur J Radiol* 2020; 130: 109161 doi:10.1016/j.ejrad.2020.109161
- [35] Stocker D, Manoliu A, Becker AS et al. Image Quality and Geometric Distortion of Modern Diffusion-Weighted Imaging Sequences in Magnetic Resonance Imaging of the Prostate. *Invest Radiol* 2018; 53: 200–206. doi:10.1097/rli.0000000000000429
- [36] Thierfelder KM, Scherr MK, Notohamiprodjo M et al. Diffusion-weighted MRI of the prostate: advantages of Zoomed EPI with parallel-transmit-accelerated 2D-selective excitation imaging. *Eur Radiol* 2014; 24: 3233–3241. doi:10.1007/s00330-014-3347-y
- [37] Quentin M, Schimmoller L, Arsov C et al. Increased signal intensity of prostate lesions on high b-value diffusion-weighted images as a predictive sign of malignancy. *Eur Radiol* 2014; 24: 209–213. doi:10.1007/s00330-013-2999-3
- [38] Vargas HA, Akin O, Franiel T et al. Diffusion-weighted endorectal MR imaging at 3 T for prostate cancer: tumor detection and assessment of aggressiveness. *Radiology* 2011; 259: 775–784. doi:10.1148/radiol.11102066
- [39] Decker G, Murtz P, Gieseke J et al. Intensity-modulated radiotherapy of the prostate: dynamic ADC monitoring by DWI at 3.0 T. *Radiother Oncol* 2014; 113: 115–120. doi:10.1016/j.radonc.2014.07.016
- [40] Jie C, Rongbo L, Ping T. The value of diffusion-weighted imaging in the detection of prostate cancer: a meta-analysis. *Eur Radiol* 2014; 24: 1929–1941. doi:10.1007/s00330-014-3201-2
- [41] Zhang ZX, Yang J, Zhang CZ et al. The value of magnetic resonance imaging in the detection of prostate cancer in patients with previous negative biopsies and elevated prostate-specific antigen levels: a meta-analysis. *Acad Radiol* 2014; 21: 578–589. doi:10.1016/j.acra.2014.01.004
- [42] Schimmoller L, Quentin M, Arsov C et al. MR-sequences for prostate cancer diagnostics: validation based on the PI-RADS scoring system and targeted MR-guided in-bore biopsy. *Eur Radiol* 2014; 24: 2582–2589. doi:10.1007/s00330-014-3276-9
- [43] Wu LM, Xu JR, Ye YQ et al. The clinical value of diffusion-weighted imaging in combination with T2-weighted imaging in diagnosing prostate carcinoma: a systematic review and meta-analysis. *Am J Roentgenol* 2012; 199: 103–110. doi:10.2214/ajr.11.7634
- [44] Othman AE, Falkner F, Weiss J et al. Effect of Temporal Resolution on Diagnostic Performance of Dynamic Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Imaging of the Prostate. *Invest Radiol* 2016; 51: 290–296. doi:10.1097/rli.0000000000000234
- [45] Othman AE, Falkner F, Martirosian P et al. Optimized Fast Dynamic Contrast-Enhanced Magnetic Resonance Imaging of the Prostate: Effect of Sampling Duration on Pharmacokinetic Parameters. *Invest Radiol* 2016; 51: 106–112. doi:10.1097/rli.0000000000000213
- [46] Ullrich T, Quentin M, Arsov C et al. Value of Dynamic Contrast-Enhanced (DCE) MR Imaging in Peripheral Lesions in PI-RADS-4 Patients. *Rofo* 2020; 192: 441–447. doi:10.1055/a-1020-4026
- [47] Sun C, Chatterjee A, Yousuf A et al. Comparison of T2-Weighted Imaging, DWI, and Dynamic Contrast-Enhanced MRI for Calculation of Prostate Cancer Index Lesion Volume: Correlation With Whole-Mount Pathology. *Am J Roentgenol* 2019; 212: 351–356. doi:10.2214/ajr.18.20147
- [48] Barret E, Turkbey B, Puech P et al. Update on the ICUD-SIU consultation on multi-parametric magnetic resonance imaging in localised prostate cancer. *World J Urol* 2019; 37: 429–436. doi:10.1007/s00345-018-2395-3
- [49] Bass EJ, Pantovic A, Connor M et al. A systematic review and meta-analysis of the diagnostic accuracy of biparametric prostate MRI for prostate cancer in men at risk. *Prostate Cancer and Prostatic Diseases* 2020. doi:10.1038/s41391-020-00298-w; online ahead of print
- [50] O'Donohoe RL, Dunne RM, Kimbrell V et al. Prostate MRI using an external phased array wearable pelvic coil at 3T: comparison with an endorectal coil. *Abdom Radiol (NY)* 2019; 44: 1062–1069. doi:10.1007/s00261-018-1804-9
- [51] Baur AD, Daqqaq T, Wagner M et al. T2- and diffusion-weighted magnetic resonance imaging at 3T for the detection of prostate cancer with and without endorectal coil: An intraindividual comparison of image quality and diagnostic performance. *Eur J Radiol* 2016; 85: 1075–1084. doi:10.1016/j.ejrad.2016.03.014
- [52] Shah ZK, Elias SN, Abaza R et al. Performance comparison of 1.5-T endorectal coil MRI with 3.0-T nonendorectal coil MRI in patients with prostate cancer. *Acad Radiol* 2015; 22: 467–474. doi:10.1016/j.acra.2014.11.007
- [53] Turkbey B, Merino MJ, Gallardo EC et al. Comparison of endorectal coil and nonendorectal coil T2W and diffusion-weighted MRI at 3 Tesla for localizing prostate cancer: correlation with whole-mount histopathology. *J Magn Reson Imaging* 2014; 39: 1443–1448. doi:10.1002/jmri.24317
- [54] Mueller-Lisse UG, Scherr MK. Proton MR spectroscopy of the prostate. *Eur J Radiol* 2007; 63: 351–360. doi:10.1016/j.ejrad.2007.06.024
- [55] Umbehre M, Bachmann LM, Held U et al. Combined magnetic resonance imaging and magnetic resonance spectroscopy imaging in the diagnosis of prostate cancer: a systematic review and meta-analysis. *Eur Urol* 2009; 55: 575–590. doi:10.1016/j.eururo.2008.10.019
- [56] Polanec SH, Lazar M, Wengert GJ et al. 3D T2-weighted imaging to shorten multiparametric prostate MRI protocols. *Eur Radiol* 2018; 28: 1634–1641. doi:10.1007/s00330-017-5120-5
- [57] Caglic I, Povalej Brzan P, Warren AY et al. Defining the incremental value of 3D T2-weighted imaging in the assessment of prostate cancer extracapsular extension. *Eur Radiol* 2019; 29: 5488–5497. doi:10.1007/s00330-019-06070-6
- [58] Ding K, Yao Y, Gao Y et al. Diagnostic evaluation of diffusion kurtosis imaging for prostate cancer: Detection in a biopsy population. *Eur J Radiol* 2019; 118: 138–146. doi:10.1016/j.ejrad.2019.07.009
- [59] Roethke MC, Kuder TA, Kuru TH et al. Evaluation of Diffusion Kurtosis Imaging Versus Standard Diffusion Imaging for Detection and Grading of Peripheral Zone Prostate Cancer. *Invest Radiol* 2015; 50: 483–489. doi:10.1097/rli.0000000000000155
- [60] Mai J, Abubrig M, Lehmann T et al. T2 Mapping in Prostate Cancer. *Investigative Radiology* 2019; 54: 146–152
- [61] Kaufmann S, Russo GI, Bamberg F et al. Prostate cancer detection in patients with prior negative biopsy undergoing cognitive-, robotic- or in-bore MRI target biopsy. *World J Urol* 2018; 36: 761–768. doi:10.1007/s00345-018-2189-7
- [62] Oberlin DT, Casalino DD, Miller FH et al. Diagnostic Value of Guided Biopsies: Fusion and Cognitive-registration Magnetic Resonance Imaging Versus Conventional Ultrasound Biopsy of the Prostate. *Urology* 2016; 92: 75–79. doi:10.1016/j.urology.2016.02.041

- [63] Schimmoller L, Blondin D, Arsov C et al. MRI-Guided In-Bore Biopsy: Differences Between Prostate Cancer Detection and Localization in Primary and Secondary Biopsy Settings. *Am J Roentgenol* 2016; 206: 92–99. doi:10.2214/ajr.15.14579
- [64] Kaufmann S, Kruck S, Kramer U et al. Direct comparison of targeted MRI-guided biopsy with systematic transrectal ultrasound-guided biopsy in patients with previous negative prostate biopsies. *Urol Int* 2015; 94: 319–325. doi:10.1159/000365397
- [65] Arsov C, Rabenalt R, Blondin D et al. Prospective randomized trial comparing magnetic resonance imaging (MRI)-guided in-bore biopsy to MRI-ultrasound fusion and transrectal ultrasound-guided prostate biopsy in patients with prior negative biopsies. *Eur Urol* 2015; 68: 713–720. doi:10.1016/j.eururo.2015.06.008
- [66] Durmus T, Reichelt U, Huppertz A et al. MRI-guided biopsy of the prostate: correlation between the cancer detection rate and the number of previous negative TRUS biopsies. *Diagn Interv Radiol* 2013; 19: 411–417. doi:10.5152/dir.2013.13055
- [67] Rastinehad AR, Durand M. A comparison of magnetic resonance imaging and ultrasonography (MRI/US)-fusion guided prostate biopsy devices: too many uncontrolled variables. *BJU Int* 2016; 117: 548–549. doi:10.1111/bju.13344
- [68] Patel IJ, Rahim S, Davidson JC et al. Society of Interventional Radiology Consensus Guidelines for the Periprocedural Management of Thrombotic and Bleeding Risk in Patients Undergoing Percutaneous Image-Guided Interventions-Part II: Recommendations: Endorsed by the Canadian Association for Interventional Radiology and the Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe. *J Vasc Interv Radiol* 2019; 30: 1168–1184 e1161. doi:10.1016/j.jvir.2019.04.017
- [69] Chee YL, Crawford JC, Watson HG et al. Guidelines on the assessment of bleeding risk prior to surgery or invasive procedures. British Committee for Standards in Haematology. *Br J Haematol* 2008; 140: 496–504. doi:10.1111/j.1365-2141.2007.06968.x
- [70] Burger W, Chemnitz JM, Kneissl GD et al. Low-dose aspirin for secondary cardiovascular prevention – cardiovascular risks after its perioperative withdrawal versus bleeding risks with its continuation – review and meta-analysis. *J Intern Med* 2005; 257: 399–414. doi:10.1111/j.1365-2796.2005.01477.x
- [71] Poldermans D, Bax JJ, Boersma E et al. Guidelines for pre-operative cardiac risk assessment and perioperative cardiac management in non-cardiac surgery: the Task Force for Preoperative Cardiac Risk Assessment and Perioperative Cardiac Management in Non-cardiac Surgery of the European Society of Cardiology (ESC) and endorsed by the European Society of Anaesthesiology (ESA). *Eur J Anaesthesiol* 2010; 27: 92–137. doi:10.1097/EJA.0b013e328334c017
- [72] Patel IJ, Davidson JC, Nikolic B et al. Addendum of newer anticoagulants to the SIR consensus guideline. *J Vasc Interv Radiol* 2013; 24: 641–645. doi:10.1016/j.jvir.2012.12.007
- [73] Bootsma AM, Laguna Pes MP, Geerlings SE et al. Antibiotic prophylaxis in urologic procedures: a systematic review. *Eur Urol* 2008; 54: 1270–1286. doi:10.1016/j.eururo.2008.03.033
- [74] Loeb S, Carter HB, Berndt SI et al. Complications after prostate biopsy: data from SEER-Medicare. *J Urol* 2011; 186: 1830–1834. doi:10.1016/j.juro.2011.06.057