

# PI-RADS 2.1 – Befundinterpretation: Die wichtigsten Neuerungen und ihre klinischen Implikationen

## PI-RADS 2.1 – Image Interpretation: The Most Important Updates and Their Clinical Implications

### Autoren

Thomas Beyer<sup>1</sup>, Heinz-Peter Schlemmer<sup>2</sup>, Marc-André Weber<sup>1</sup>, Kolja M. Thierfelder<sup>1</sup>

### Institute

- 1 Institute of Diagnostic and Interventional Radiology, Pediatric Radiology and Neuroradiology, Rostock University Medical Center, Rostock, Germany
- 2 Radiology, German Cancer Research Centre, Heidelberg, Germany

### Key words

prostate, PI-RADS, prostate cancer, urology, MR imaging

eingereicht 04.03.2020

akzeptiert 10.11.2020

online publiziert 21.12.2020

### Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2021; 193: 787–796

DOI 10.1055/a-1324-4010

ISSN 1438-9029

© 2020. Thieme. All rights reserved.

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

### Korrespondenzadresse

Dr. med. Thomas Beyer

Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Kinder- und Neuroradiologie, Universitätsmedizin Rostock, Ernst-Heydemann-Str. 6, 18057 Rostock, Germany

Tel.: +49/3 81/4 94 92 01

thomas.beyer@med.uni-rostock.de

### ZUSAMMENFASSUNG

**Hintergrund** Die multiparametrische Magnetresonanztomografie (MRT) der Prostata übernimmt inzwischen eine zentrale Rolle in der Diagnostik bei Patienten mit Verdacht auf Prostatakarzinom. Zum Erfolg der Methode trägt die zunehmende Verbreitung der zuletzt im Jahr 2019 auf die Version 2.1 aktualisierte Leitlinie zur Standardisierung von Bildakquisition, Auswertung und Befundung (Prostate Imaging – Reporting and Data System, PI-RADS) bei.

**Material und Methoden** Die zentralen Neuerungen der im Frühjahr 2019 vorgestellten PI-RADS-Version 2.1 gegenüber der Vorgängerversion PI-RADS 2.0 werden vorgestellt und bezüglich ihrer klinischen Implikationen diskutiert.

**Ergebnisse** Die PI-RADS-Version 2.1 zielt darauf ab, die Anwendung zu vereinfachen, ohne dabei das Grundkonzept der dominanten Sequenz (DWI in der peripheren Zone, T2 in der Transitionszone) zu ändern. Von besonderer Bedeutung sind die stärkere Gewichtung der Diffusionsbildgebung in der Transitionszone, der nun obligatorische hohe b-Wert von mindestens 1400 s/mm<sup>2</sup> und neue Hinweise zur Beurteilung der zentralen Zone und des anterioren fibromuskulären Stromas.

**Schlussfolgerung** Die 2019 veröffentlichte PI-RADS-Version 2.1 adressiert verschiedene Änderungen, die sowohl Untersuchungstechnik als auch Befundung betreffen. Inwieweit sich damit die Ziele der Reduktion der Interreader-Variabilität und der Erhöhung der Detektionsrate in der Transitionszone erreichen lassen, müssen prospektive klinische Studien zeigen.

### Kernaussagen:

- Die neue PI-RADS-Version 2.1 umfasst einzelne Änderungen bezüglich Befundinterpretation und Untersuchungstechnik.
- In der Transitionszone wird die Rolle der Diffusionsbildgebung gestärkt.
- Ein ultrahoher b-Wert von mindestens 1400 s/mm<sup>2</sup> ist nach PI-RADS 2.1 obligat.
- Die biparametrische MRT wird nicht zur generellen Anwendung empfohlen.

### Zitierweise

- Beyer T, Schlemmer H, Weber M et al. PI-RADS 2.1 – Image Interpretation: The Most Important Updates and Their Clinical Implications. Fortschr Röntgenstr 2021; 193: 787–796

### ABSTRACT

**Background** Multiparametric magnetic resonance imaging (MRI) of the prostate plays a central role in the diagnosis of patients with suspected prostate cancer. The increasing distribution and application of the guideline for the standardization of image acquisition, evaluation, and reporting (Prostate Imaging – Reporting and Data System, PI-RADS), which was updated in 2019 to version 2.1, contributes to the success of the technique.

**Materials and Methods** The most important updates of PI-RADS version 2.1 presented in 2019 compared to the previous version PI-RADS 2.0 are highlighted and interpreted with regard to their clinical implications.

**Results** PI-RADS version 2.1 aims to simplify the application of the scoring scheme without changing the basic concept of dominant sequences (DWI in the peripheral zone, T2 in the transition zone). Of particular importance are the increasing role of diffusion-weighted imaging in the transition zone, the now mandatory high b-value of at least 1400 s/mm<sup>2</sup>, and new information on the assessment of the central zone and the anterior fibromuscular stroma.

**Conclusion** PI-RADS version 2.1 published in 2019 addresses a number of changes to the previous version, including both the examination technique and image interpretation. Prospective clinical studies have yet to prove the extent to which the goals of reducing interreader variability and increasing the detection rate in the transition zone will be achieved.

## Einleitung

Das Prostatakarzinom ist nach dem Bronchialkarzinom global die zweithäufigste maligne, nichtkutane Tumorerkrankung des Mannes. Es war mit weltweit 1.276.106 Neuerkrankungen im Jahr 2018 für 3,8 % aller krebbsbedingten Todesfälle bei Männern verantwortlich [1]. In der Diagnostik dieser Erkrankung hat die multiparametrische Magnetresonanztomografie (mpMRT) der Prostata in den letzten Jahren deutlich an Stellenwert gewonnen und ist gegenwärtig wichtiger Bestandteil aktueller europäischer Leitlinien [2]. Die mpMRT der Prostata verbessert hierbei nicht nur die Diagnostik und das lokale Staging, sondern hilft auch entscheidend in der Prognoseeinschätzung und Therapieindividualisierung [3, 4].

Im Jahr 2012 erschienen mit der Leitlinie der European Society of Urogenital Radiology (ESUR) erstmals auf einem breiten Konsens basierende Empfehlungen zur Standardisierung von Durchführung, Auswertung und Befundung der MRT der Prostata [5]. Der Kern dieses Dokuments, das Prostate Imaging – Reporting and Data System (PI-RADS), etablierte sich als Name für die Leitlinie, deren erste Fortsetzung im Jahr 2015 erschien (PI-RADS 2.0) [6].

PI-RADS 2.0 führte zur Vereinfachung erstmals das Konzept der dominanten Sequenz (DWI in der peripheren Zone, T2 in der Transitionszone) ein. Insgesamt wurde die neue Version gut aufgenommen. Studien zeigen jedoch weiterhin eine relativ geringe Detektionsrate von Karzinomen in der Transitions- im Vergleich zur peripheren Zone und eine relativ hohe Interreader-Variabilität, die zum Teil auf missverständliche Formulierungen in der PI-RADS-Version 2.0 zurückgeführt wurde [7–11]. Unter Berücksichtigung dieser Kritikpunkte und um die fortschreitende technische Entwicklung abzubilden, veröffentlichten die AdMeTech Foundation, die ESUR und das American College of Radiology (ACR) als PI-RADS Steering Committee im Frühjahr 2019 die PI-RADS-Version 2.1 [12].

Die aktualisierte Version implementiert Änderungen, welche Unsicherheiten im Scoring minimieren und die Interreader-Variabilität vermindern sollen, ohne den etablierten Anwendungsalgorithmus im Grundsatz zu ändern [13]. Dieser Übersichtsartikel gibt einen Überblick über die wichtigsten Änderungen der PI-RADS-Version 2.1 und diskutiert mögliche klinische Implikationen.

## Änderungen in der Bildakquisition

Unverändert zur Version 2.0 empfiehlt auch die überarbeitete PI-RADS-Version 2.1 die multiparametrische MRT (mpMRT) aus T2-gewichteten (T2w), diffusionsgewichteten (diffusion weighted imaging, DWI) sowie kontrastmittelgestützten (dynamic contrast-

enhanced, DCE) Sequenzen. Die biparametrische MRT (bpMRT), gleichbedeutend mit dem Verzicht auf kontrastmittelgestützte Sequenzen, wird in der Leitlinie mit ihren Vor- und Nachteilen diskutiert, jedoch nicht als Standard empfohlen.

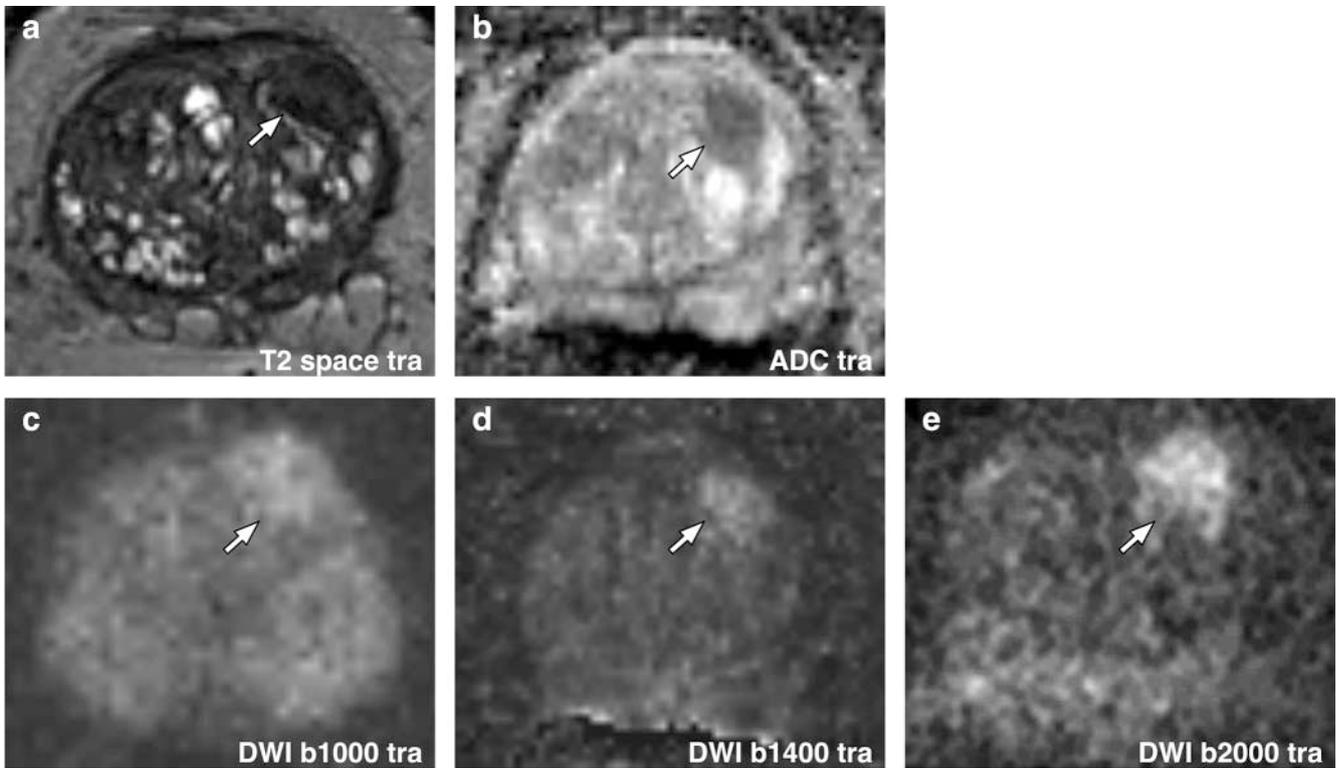
Ebenfalls unverändert zur PI-RADS-Version 2.0 empfiehlt auch die aktuelle Version 2.1 die Verwendung von MRT mit einer Feldstärke von 1,5 oder 3 Tesla. Eine generelle Empfehlung zur Nutzung von Endorektalspulen gibt auch PI-RADS-Version 2.1 nicht, insbesondere da aktuelle Scanner beider Feldstärken ein adäquates Signal-zu-Rausch-Verhältnis auch ohne deren Einsatz gewährleisten können.

## T2-gewichtete Bildgebung

Die T2-Wichtung bleibt die dominante Sequenz in der Beurteilung der Transitionszone. Während PI-RADS 2.0 noch die Akquisition T2-gewichteter Sequenzen in allen 3 Standard-Raumebenen (axial, sagittal, koronar) empfahl, genügt nach PI-RADS 2.1 die T2w in axialer Orientierung sowie *mindestens einer* weiteren orthogonalen Raumebene. Auch wenn PI-RADS 2.1 hierbei weder die sagittale noch die koronare Raumebene explizit favorisiert, wird über die empfohlene Volumenbestimmung der Prostata unter Zuhilfenahme der sagittalen Raumebene indirekt die Kombination aus *mindestens* der transversalen und sagittalen T2w befürwortet.

Aufgrund von möglichen Partialvolumeneffekten ist nach Ansicht der Autoren, sofern es das Zeitbudget zulässt, eine Akquisition der T2w in allen 3 Standard-Raumebenen vorteilhaft. Dies gilt insbesondere in Bezug auf die in PI-RADS 2.1 neu eingeführte Differenzierung von typischen und atypischen BPH-Knoten anhand der Durchgängigkeit der T2-hypointensen Kapsel in Knoten der Transitionszone (s. u.). Ergänzend zu den 2-dimensionalen T2-gewichteten Sequenzen können 3D-T2w-Bilder nützlich sein, um eine bessere anatomische Übersicht zu gewinnen. Teilweise ist hierbei jedoch der Weichteilkontrast gegenüber 2D-T2w-Bildern unterlegen.

Anders als PI-RADS 2.0 gibt Version 2.1 nun eine Empfehlung zur Ausrichtung der axialen (T2w-) Sequenz. Die Orientierung sollte hierbei entweder streng axial zum Patienten (unabhängig von der Lage der Prostata) oder in schräg axialer Ausrichtung senkrecht zur Prostata-Längsachse (senkrecht zur max. Ausdehnung der Prostata zwischen Basis und Apex in der sagittalen Ebene) erfolgen. Die letztgenannte Vorgehensweise hat den Vorteil, dass sie i. d. R. die Fusion mit den Ultraschallbildern bei der transrektalen Biopsie erleichtert.



► **Abb. 1** Unterschiedliche b-Werte der DWI bei einem 80-jährigen Mann mit einem PSA von 6,01 ng/ml ohne vorangegangene Biopsie. Die T2w **a** zeigt eine signalabgesenkte Region, basissnah in der anterioren Transitionszone links mit abgesenktem ADC-Wert. **b** Das b1000-Bild **c** zeigt nur eine flau Signalanhebung im korrespondierenden Areal, welche sich im b1400-Bild **d** deutlicher zur Umgebung abgrenzen lässt. Das errechnete b2000-Bild **e** zeigt die Läsion am deutlichsten. Die 1,7 cm große Läsion entspricht einem PI-RADS-5-Befund. Die Biopsie ergab ein Karzinom mit einem Gleason-Score von 3 + 4 = 7a.

## Diffusionsgewichtete Bildgebung

Die Diffusionsbildgebung (diffusion weighted imaging, DWI) bleibt die dominante Sequenz in der Beurteilung der peripheren Zone.

Da die ADC-Werte in Abhängigkeit der zugrunde liegenden b-Werte gewissen Schwankungen unterliegen können, wurden in PI-RADS 2.0 Empfehlungen gegeben, um diese Schwankungen möglichst gering zu halten. So empfahl PI-RADS 2.0 die Akquisition der niedrigen b-Werte zwischen 50 und 100 s/mm<sup>2</sup>, um störende Pseudoperfusionseffekte bei einem b-Wert von 0 s/mm<sup>2</sup> zu vermeiden [14, 15]. Da die technischen Anforderungen für die Einhaltung der Vorgabe von PI-RADS 2.0 zum Teil schwieriger zu erfüllen sind, ist nach PI-RADS 2.1 nun auch ein niedriger b-Wert von 0 s/mm<sup>2</sup> erlaubt. Als hoher b-Wert für die ADC-Berechnung sollen 1000 s/mm<sup>2</sup> nicht überschritten werden, um Kurtosis-Effekte zu vermeiden [16, 17].

Abgesehen von der DWI mit mindestens zwei b-Werten zwischen 0 und 1000 s/mm<sup>2</sup> zur ADC-Berechnung, die stets durchgeführt werden soll, konnte inzwischen vielfach gezeigt werden, dass zusätzliche „ultrahohe“ b-Werte den T2-Durchscheineffekt reduzieren und den Kontrast zwischen Tumor und normalem Prostatagewebe erhöhen [18, 19] (► **Abb. 1**). Die PI-RADS-Version 2.1 verlangt daher, einen ultrahohen b-Wert von mindestens 1400 s/mm<sup>2</sup> (a) entweder aus den zur ADC-Berechnung akquirierten b-Werten (b0 bis b1000) zu extrapolieren oder (b) zusätzlich separat zu mes-

sen. Da die Detektion von Prostatakarzinomen signifikant verbessert wird [20–23], sind die seit PI-RADS 2.1 obligatorischen ultrahohen b-Werte eine zweifellos sinnvolle Neuerung.

Wichtig ist es, bei der Wahl des ultrahohen b-Wertes die Feldstärke des MR-Systems zu berücksichtigen; grundsätzlich sind bei 3,0 T unter sonst gleichen Bedingungen höhere b-Werte als bei 1,5 T möglich [24]. Ob die Neuerung des obligatorischen ultrahohen b-Wertes sich auch bei weniger leistungsfähigen MR-Systemen als technisch umsetzbar erweist, wird die klinische Praxis in den nächsten Jahren zeigen.

## Dynamische kontrastmittelgestützte Sequenz

PI-RADS 2.1 empfiehlt in der Bildakquisition nach i. v.-Kontrastmittelgabe die Verwendung 3-dimensionaler T1-Sequenzen und betont die Vorteile einer hohen räumlichen Auflösung gegenüber 2D-T1-Sequenzen. Hierbei kann die DCE u. a. dabei helfen, periprostatische Venen besser von pseudokapselnah gelegenen kleinen Karzinomen zu differenzieren [25].

Da die zeitliche Auflösung bei der Akquisition auch immer mit Kompromissen bei der räumlichen Auflösung verbunden ist, empfiehlt Version 2.1 nun eine zeitliche Auflösung von bis zu 15 Sekunden (PI-RADS 2.0: ≤ 10s; < 7 s bevorzugt), da das mögliche Risiko, hierbei ein frühes KM-Enhancement von Läsionen zu verpassen, vernachlässigbar ist [26]. Um die Auswertung der dynamischen kontrastmittelgestützten Sequenzen möglichst zu vereinfachen,

chen, empfiehlt PI-RADS eine einfache qualitative visuelle Beurteilung der DCE und fordert keine quantitative Auswertung. Unverändert zur Vorversion empfiehlt PI-RADS 2.1 nach KM-Applikation eine Mindestuntersuchungszeit von 2 Minuten.

### Multi- oder biparametrische MRT?

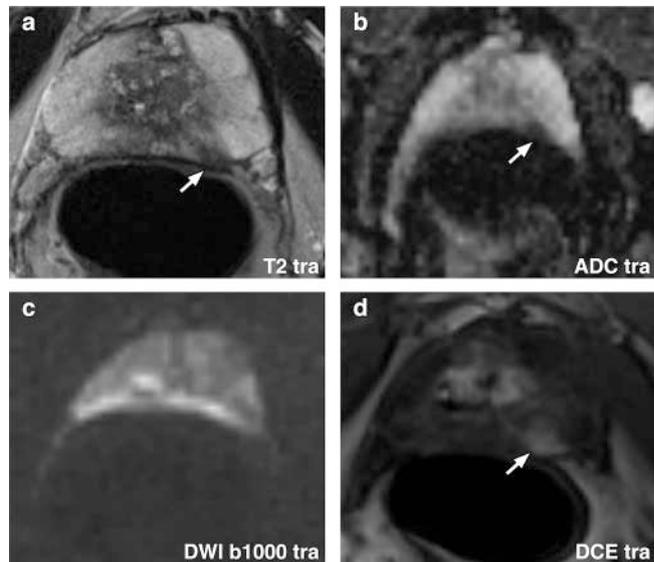
Die biparametrische MRT (bpMRT) der Prostata, also die Beschränkung auf T2- und DWI-Sequenzen, hat in den letzten Jahren ein zunehmendes Interesse erfahren. Studien belegen, dass die bpMRT in großen Zentren gute Ergebnisse zeigt [27, 28]. Gleichzeitig ist die bpMRT schneller und kostengünstiger als die mpMRT, was aufgrund der deutlich ansteigenden Fallzahlen nicht unberücksichtigt bleiben kann [29]. Durch einen Verzicht auf Gadolinium-haltige Kontrastmittel entfallen zudem gleichermaßen deren mögliche Risiken.

Das PI-RADS Steering Committee bezieht in PI-RADS 2.1 erstmals Stellung zur Rolle der bpMRT, empfiehlt diese jedoch nicht zur generellen Anwendung. Ein Grund hierfür sind Studien, die eine höhere Sensitivität der mpMRT durch die DCE-MRI zeigen [30–34]. Dies gilt insbesondere in Settings mit weniger erfahrenen Befundern. Zudem „verlässt sich“ die bpMRT vollumfänglich auf eine qualitativ hochwertige T2 und DWI und verliert damit die DCE-MRI als wichtige „Back-Up-Sequenz“ in Fällen einer suboptimalen DWI (► **Abb. 2**). Auch kann der Wegfall der DCE-MRI in der Vergabe von mehr PI-RADS-3- und weniger PI-RADS-4-Läsionen münden [35]. Eine hohe Zahl von PI-RADS-3-Läsionen gilt als problematisch, da diese Wertung keine einheitliche weitere Vorgehensweise nach sich zieht. In Abwesenheit der DCE-MRI gibt es Überlegungen von Befürwortern der bpMRT, das klinische Management von Kategorie-3-Läsionen vom Volumen der jeweiligen Läsion abhängig zu machen. Hierbei würden Patienten mit einer PI-RADS-3-Läsion, die ein Volumen  $<0,5 \text{ cm}^3$  aufweist, einem Follow-up aus PSA-Kontrollen und jährlich wiederholter bpMRT zugeführt, und jene mit einem Läsions-Volumen  $>0,5 \text{ cm}^3$  der gezielten Biopsie [36, 37].

Die Autoren schließen sich der Empfehlung des PI-RADS Steering Committees an, wonach die mpMRT immer dann Vorrang haben sollte, wenn die Priorität der Untersuchung ist, kein klinisch signifikantes Prostatakarzinom zu verpassen. Die bpMRT sollte zunächst qualifizierten Zentren und spezialisierten Radiologen mit großer Erfahrung vorbehalten bleiben und ihre Rolle im Rahmen von Studien weiter evaluiert werden.

### Zusammenfassung der wichtigsten Änderungen in der Bildakquisition nach PI-RADS 2.1

- T2w-Bilder sollen in axialer Orientierung sowie mindestens einer weiteren orthogonalen Raumebene akquiriert werden.
- Die axialen T2w-Bilder sollen entweder streng axial oder schräg axial senkrecht zur Prostata-Längsachse ausgerichtet sein.
- Akquisition der niedrigen b-Werte nun auch zwischen 0 und  $100 \text{ s/mm}^2$  möglich ( $50\text{--}100 \text{ s/mm}^2$  ist zu bevorzugen).
- Maximaler hoher b-Wert für die ADC-Berechnung ist  $\leq 1000 \text{ s/mm}^2$ .
- Ein hoher b-Wert von mindestens  $1400 \text{ s/mm}^2$  ist entweder zu extrapolieren oder zusätzlich separat zu messen.



► **Abb. 2** DCE-MRI als „Backup-Sequenz“ bei DWI von geringer Qualität. 77-jähriger Mann mit einem PSA von  $4,7 \text{ ng/ml}$  nach 2 negativen Stanzbiopsien. In der T2w **a** zeigt sich eine fokale unscharf begrenzte Signalabsenkung. Distorsionsartefakte durch reichlich Luft im Rektum verzerren die Bilder der DWI. Während die ADC-Werte in diesem Areal fokale abgesenkt sind **b**, ist das b1000-Bild **c** in dieser Region nicht diagnostisch. In diesem Fall kann eine kontrastmittelgestützte Sequenz **d** ein korrespondierend fokales früharterielles Enhancement (Pfeil) belegen – die Läsion wird hochgestuft auf eine Gesamt-PI-RADS-Kategorie 4. Die Biopsie ergab ein Prostatakarzinom mit einem Gleason-Score von  $3 + 4 = 7a$ . An diesem Beispiel wird deutlich, dass eine Enddarm-Entleerung vor der Untersuchung entscheidend zum technischen Gelingen und zu hoher diagnostischer Genauigkeit beiträgt.

- 3D-T1w-Sequenzen sind nach i. v.-Kontrastmittelgabe gegenüber 2D-T1w-Sequenzen zu bevorzugen.
- Bei der Akquisition dynamischer KM-gestützter Sequenzen ist eine zeitliche Auflösung von bis zu 15 Sekunden möglich.
- Die bpMRT wird gegenwärtig noch nicht zur generellen Anwendung empfohlen.

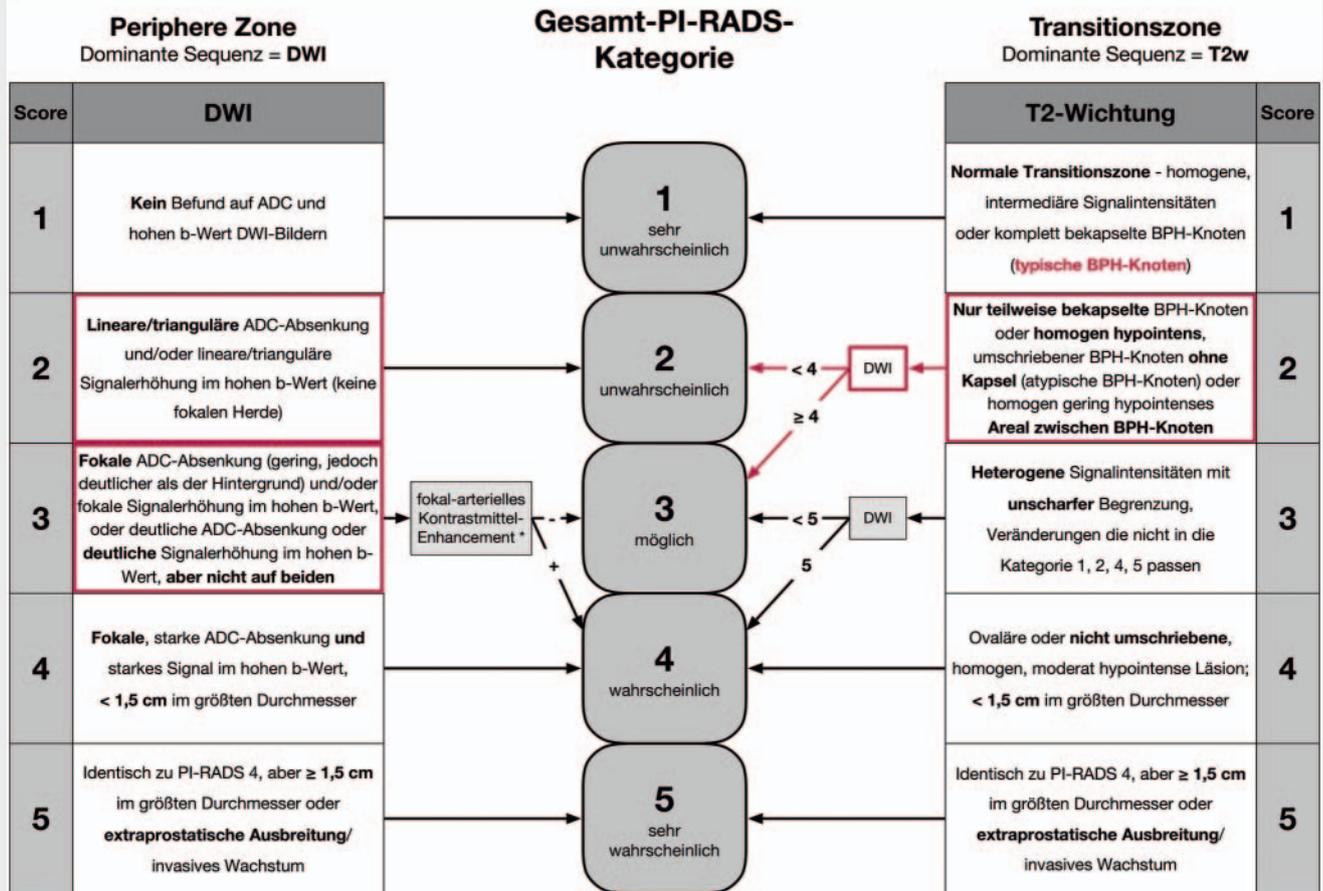
### Änderungen in der Befundinterpretation

Während sich der in PI-RADS 2.0 etablierte Befundalgorithmus ausschließlich auf Läsionen der peripheren Zone und der Transitionszone bezieht, werden in PI-RADS 2.1 das anteriore fibromuskuläre Stroma (AFMS) und die zentrale Zone als relevante Regionen zusätzlich mit aufgenommen. Diese Regionen erhalten jedoch kein eigenes Scoring-System und bedürfen bei unauffälligem Befund auch keiner gesonderten Erwähnung im radiologischen Befund. Kleine, jedoch klinisch durchaus relevante Anpassungen gibt es zudem beim Scoring von Läsionen der Transitionszone sowie in der Interpretation von DWI und DCE-MRI.

### Zentrale Zone

Die zentrale Zone (central zone, CZ) ist histologisch den Samenbläschen sehr ähnlich und erstreckt sich, die Ductus ejaculatorii umgebend, von der Basis der Prostata und dorsal der TZ nach

# Befundung nach PI-RADS 2.1



\*(-) kein frühes arterielles Enhancement; ODER diffuses/multifokales arterielles Enhancement NICHT korrelierend zur suspekten Läsion in T2w und/oder DWI;

ODER fokales Enhancement eines typischen BPH-Knotens

(+) fokales UND frühes/zeitgleiches Enhancement gegenüber normalem Prostatagewebe, korrelierend zur suspekten Läsion in T2w und/oder DWI

Rot: neu in PI-RADS 2.1

► **Abb. 3** Befundungsschema entsprechend der aktuellen PI-RADS-Version 2.1. Die Änderungen zu PI-RADS-Version 2.0 sind durch einen roten Rahmen hervorgehoben.

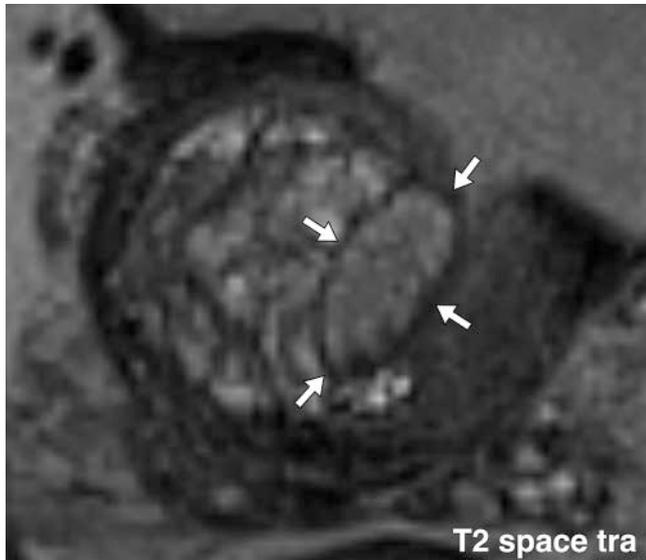
kaudal in Richtung Prostata-Apex bis auf Höhe des Colliculus seminalis (Verumontanum). In der koronaren Ebene ist die CZ aufgrund ihrer V-förmigen Konfiguration häufig besser und in bis zu 93 % der mpMRT zu identifizieren [38, 39].

Die normale CZ zeigt sich in T2w und ADC als bilateral symmetrisch signalabgesenkte Region mit dezenter Signalanhebung in der DWI. Aufgrund ihrer histologischen Ähnlichkeit zu den Samenbläschen und deren geringer Karzinominzidenz sind auch Karzinome der CZ äußerst selten und verantwortlich für weniger als 5 % aller Prostatakarzinome. Ihre ätiologische und lokoregionäre Verbundenheit zu den Samenbläschen erklärt wiederum deren häufige Infiltration durch Tumoren der CZ [40]. Tumoren der CZ zeigen sich häufig als asymmetrische Raumforderungen mit Signalabsenkung in der T2w, hyperintensem Signal in der DWI und frühem Enhancement in der DCE-MRI. PI-RADS 2.1 zielt durch die Diskussion dieser anatomischen Region der Prostata und ihres physiologischen Signalverhaltens darauf ab, eine mögliche Fehlinterpretation der nor-

malen CZ als Karzinom zu vermeiden und andererseits basisnah gelegene Tumoren am Übergang von peripherer Zone zur Transitionszone nicht als CZ fehlzuinterpretieren („pitfall oft the pitfall“).

## Anteriores fibromuskuläres Stroma

Das normale anteriore fibromuskuläre Stroma (AFMS) wird wie die CZ in PI-RADS 2.1 speziell aufgegriffen, da es Probleme in der Abgrenzung gegenüber ventral gelegenen Tumoren verursachen kann [41]. Es besteht aus vertikal verlaufenden Muskelbündeln und Bindegewebe, welche die Prostata als nicht glanduläres Gewebe nach ventral begrenzen. Das bilateral symmetrische AFMS weist dementsprechend eine geringe Signalintensität in T2w, DWI und ADC und ein verzögertes KM-Enhancement auf („low on all sequences“) [13]. Karzinome entstehen nicht originär im AFMS, können aber aus der Transitionszone oder der peripheren Zone in das AFMS einwachsen [42]. Die Bewertungskriterien für Läsionen



► **Abb. 4** „Typischer Knoten“ der Transitionszone (TZ) bei einem 60-jährigen Mann mit einem PSA-Anstieg auf 6,38 ng/ml und 1-malig negativer Stanzbiopsie. In der T2w zeigt sich ein ovalärer, vollständig bekapselter (Pfeile) BPH-Knoten in der linken TZ. Auf dem ADC-Bild und den hohen b-Wert-DWI-Bildern (nicht abgebildet) ist kein Befund zu erkennen. Nach PI-RADS 2.1 handelt es sich um einen PI-RADS-1-Befund, der somit im Befund in der Regel nicht gesondert zu erwähnen ist.

innerhalb des AFMS sind somit entsprechend der Ursprungsregion (PZ oder TZ) zu wählen. Da diese jedoch nicht immer zweifelsfrei zu bestimmen ist, verbleibt in solchen Fällen eine gewisse diagnostische Unsicherheit, die auch das PI-RADS Steering Committee als Limitation des Bewertungssystems anerkennt.

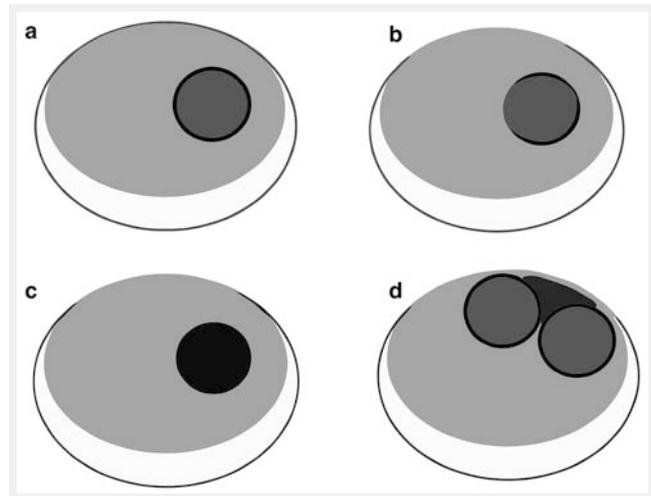
### Transitionszone

Etwa 30 % der Prostatakarzinome entstehen in der Transitionszone (TZ) [43]. Bekanntermaßen sind Sensitivität und Spezifität der mpMRT für Karzinome in der TZ geringer als in der PZ [43]. In der TZ finden sich regelhaft BPH-Knoten unterschiedlicher Morphologie und Signalgebung, zystische Veränderungen und stromale Veränderungen mit inhomogenem T2-Signal [44]. Da „typische“ BPH-Knoten (s. u.) in der TZ bei Patienten mit dem Verdacht auf ein Prostatakarzinom der Regelfall sind, reklassifiziert die PI-RADS-Version 2.1 „typische“ BPH-Knoten in der TZ von einem PI-RADS-Score 2 (in Version 2.0) zu einem PI-RADS-Score 1 (in Version 2.1) (siehe Diagramm in ► **Abb. 3**).

Typische BPH-Knoten sind Läsionen, die in der T2w vollständig von einer Kapsel umgeben sind (► **Abb. 4, 5a**). Die Erfahrung in der klinischen Routine mit PI-RADS 2.1 und Studien werden zeigen, ob eine genauere Definition bezüglich der Kapsel erforderlich wird, z. B. eine Festlegung, in wie vielen Raumebenen eine vollständige Kapsel nachweisbar sein muss.

Atypische BPH-Knoten erhalten hingegen den PI-RADS-Score 2 und werden als Knoten definiert, die folgende Eigenschaften erfüllen:

- größtenteils (aber nicht vollständig) bekapselt (► **Abb. 5b**)
- homogen hypointens, umschrieben, ohne Kapsel (► **Abb. 5c**)
- homogen gering hypointenses Areal zwischen Knoten (► **Abb. 5d**)



► **Abb. 5** Schematische Darstellung der verschiedenen Formen der atypischen BPH-Knoten im Vergleich zum typischen BPH-Knoten.

Auch das Vorkommen von Mikrozysten innerhalb von BPH-Knoten findet in PI-RADS 2.1 seine Abbildung, wird als benigne Veränderung gewertet [45] und mit dem PI-RADS-Score 1 (vollständig bekapselter Knoten) bzw. 2 (größtenteils, aber nicht vollständig bekapselter Knoten) bedacht.

Insgesamt verwendet PI-RADS 2.1 eine ausführlichere und differenziertere Beschreibung von Veränderungen der T2-Kategorien PI-RADS 1 und 2, um den vielen unterschiedlichen nodulären Veränderungen, die in diese Kategorien fallen, Rechnung zu tragen (siehe ► **Abb. 3**).

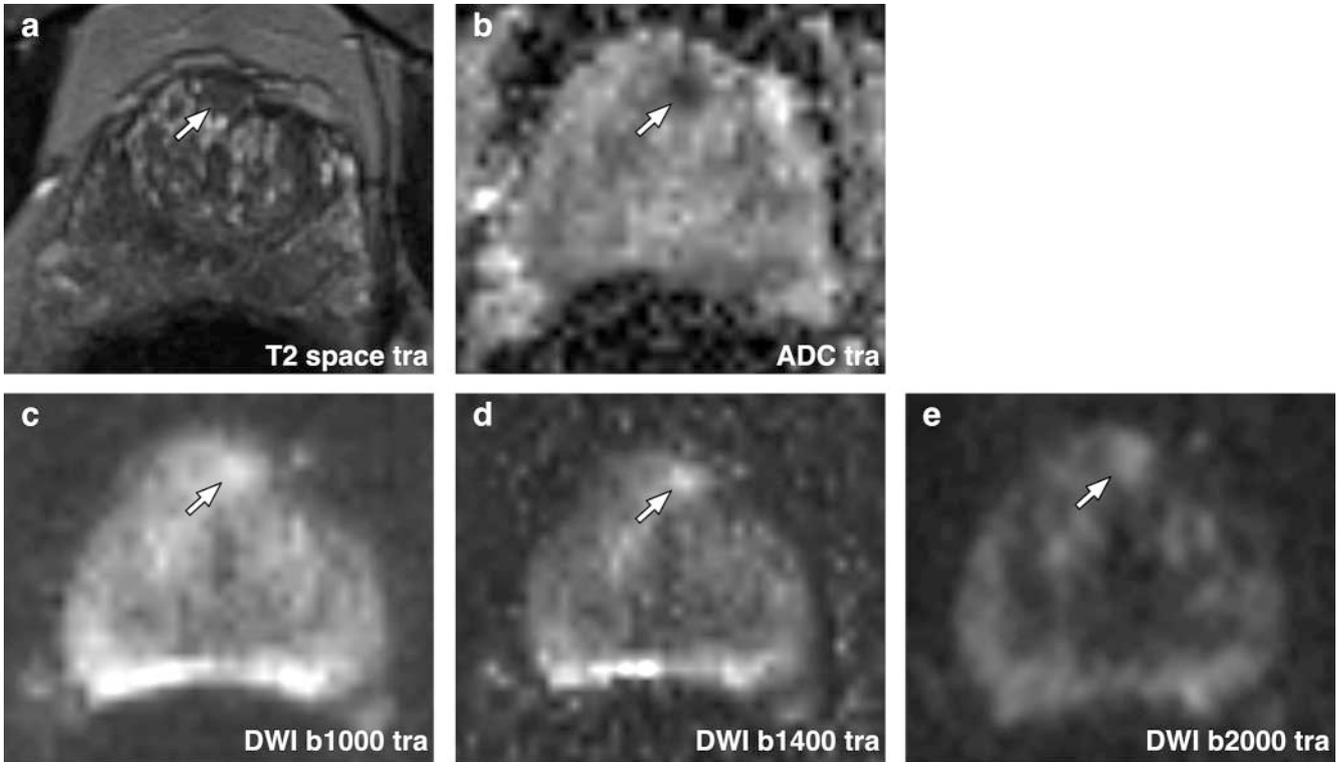
Neben dem veränderten T2-Scoring in der TZ wertet PI-RADS 2.1 zudem die Bedeutung der Diffusionsbildgebung in der TZ auf: Atypische Knoten der TZ (PI-RADS-Score 2, s. o.) können nun mittels DWI auf einen Gesamt-PI-RADS-Score 3 hochgestuft werden, wenn eine Diffusionsrestriktion mit einem Score von  $\geq 4$  vorliegt (siehe ► **Abb. 3, 6**). Ein Upgrade einer T2w-Score-3-Läsion auf einen Gesamt-PI-RADS-Score von 4 kann weiterhin nur durch einen DWI-Score von 5 erreicht werden (siehe ► **Abb. 3**).

Durch den stärkeren Einbezug der DWI in PI-RADS 2.1 soll die Sensitivität der Detektion von Läsionen der TZ erhöht werden. Dies wird jedoch nur der Fall sein, wenn entsprechende PI-RADS-3-Läsionen auch gezielt biopsiert werden. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich Prostatakarzinome der TZ durch PI-RADS 2.1 signifikant besser detektieren lassen als unter Verwendung von PI-RADS 2.0 bei gleichzeitig reduzierter Interreader-Variabilität [44].

### Interpretation der DWI

Die Kategorien 2 und 3 der DWI waren in der Version 2.0 nicht ganz eindeutig definiert und haben in der Befundung gelegentlich Schwierigkeiten verursacht. PI-RADS 2.1 hat beide Kategorien nun überarbeitet (siehe ► **Abb. 3**). In der ► **Tab. 1** sind die Definitionen der DWI-Kategorien 2 und 3 aus den PI-RADS-Versionen 2.0 und 2.1 einander gegenübergestellt.

Der Terminus „deutlich“ („marked“ im englischen Original) meint hierbei eine stärkere Signalabweichung als an jedem ande-



► **Abb. 6** Upgrade einer PI-RADS-2- zu einer PI-RADS-3-Läsion bei einem 62-jährigen Mann mit einem PSA von 6,08 ng/ml. In der T2w **a** zeigt sich am anterioren Rand der TZ paramedian links eine umschriebene Signalabsenkung ohne Kapsel, entsprechend einem PI-RADS 2 im T2-Bild („atypischer Knoten“). Neben einer deutlichen Absenkung der ADC-Werte **b** zeigt sich eine korrespondierende deutliche Signalerhöhung im b1000-Bild **c**, im b1400-Bild **d** und im b2000-Bild **(e)**, entsprechend eines PI-RADS-4-Befundes in der DWI. Nach PI-RADS 2.1 ergibt sich somit ein PI-RADS-Gesamtscore von 3.

► **Tab. 1** Änderungen der Definitionen der PI-RADS-Kategorien 2 und 3 der DWI aus den Versionen PI-RADS 2.1 gegenüber PI-RADS 2.0.

	PI-RADS 2.1	PI-RADS 2.0
DWI PI-RADS-Kategorie 2	lineare/trianguläre ADC-Absenkung und/oder lineare/trianguläre Signalerhöhung auf hohen b-Wert-Bildern (keine fokalen Herde) (► <b>Abb. 7</b> )	unscharfe ADC-Absenkung
DWI PI-RADS-Kategorie 3	fokale ADC-Absenkung (gering, jedoch deutlicher als der Hintergrund) und/oder fokale Signalerhöhung in den hohen b-Werten der DWI, oder deutliche ADC-Absenkung oder deutliche Signalerhöhung auf hohen b-Wert-DWI-Bildern, aber nicht auf beiden	fokale geringe/moderate ADC-Absenkung und isointens/gering hyperintens auf hohen b-Wert-DWI-Bildern

ren Fokus der gleichen Zone. Bei mehreren Herdbefunden können nach PI-RADS 2.1 (analog zu Version 2.0) bis zu 4 Läsionen der Kategorien 3–5 angegeben werden, wobei die Indexläsion derjenigen mit dem höchsten PI-RADS-Score entspricht und im Falle

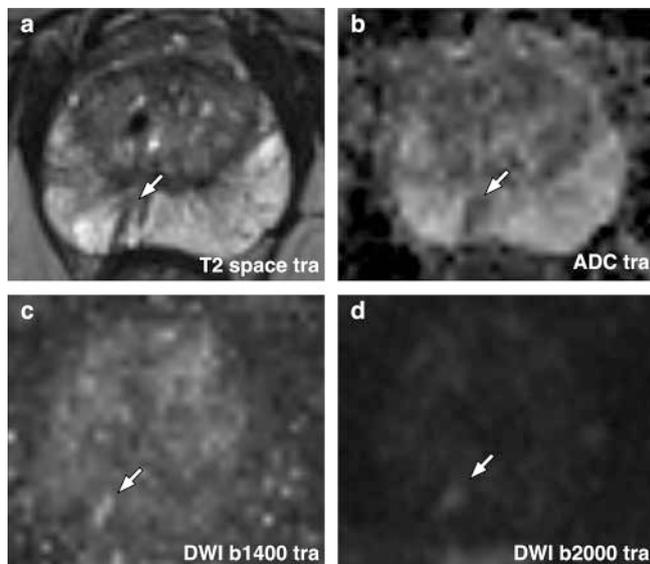
gleichwertiger Läsionen derjenigen mit extraprostatischer Ausdehnung (wenn nicht zutreffend, die größte Läsion).

### Interpretation der DCE

Bei unveränderter Definition eines positiven Kontrastmittel-Enhancements in der DCE spezifiziert PI-RADS 2.1 die Definition einer negativen Wertung eines Kontrastmittel-Enhancements dahingehend, dass *diffuse oder multifokale Anreicherungsmuster nicht karzinomtypisch*, sondern vielmehr Ausdruck entzündlicher Veränderungen sind. Unverändert wird auch ein fokales Kontrastmittel-Enhancement von in der T2w typischen BPH-Knoten nicht als positiver Befund gewertet.

### Volumenbestimmung der Prostata

Zu jedem mpMRT-Befund der Prostata soll eine Volumenbestimmung des Organs erfolgen, nicht zuletzt, um hieraus die individuelle PSA-Dichte (bspw. Cut-off >0,15 ng/ml/cm<sup>3</sup>) als klinischen Biomarker mit wachsender Bedeutung für klinische Entscheidungsprozesse [46, 47], zu errechnen. Neu in PI-RADS 2.1 gegenüber PI-RADS 2.0 ist die Empfehlung, die größte anterior-posteriore (ap) Ausdehnung des Organs in einer mittleren sagittalen Schicht (nicht wie zuvor axial) zu messen. Hiermit soll erreicht werden, dass die ap-Ausdehnung unabhängig von der Ausrichtung der axialen Raumebene senkrecht zur Längsachse der Prostata (senkrecht zur max. Ausdehnung der Prostata zwischen Basis



► **Abb. 7** Typische PI-RADS-2-Läsion in der DWI bei einem 50-jährigen Mann ohne vorangegangene Biopsie mit einem PSA-Anstieg von 3,76 ng/ml auf 4,17 ng/ml innerhalb von 5 Monaten. Entsprechend der neuen Formulierung der Leitlinie handelt es sich hier um eine lineare, bandförmige, jedoch nicht fokale Signalabsenkung in der posteromedialen PZ rechts (Pfeil) in der T2w **a** mit korrespondierend abgesenktem ADC-Wert **b** und entsprechender Signalanhebung sowohl im b1400-Bild **c** als auch im b2000-Bild **d**.

und Apex in der sagittalen Ebene) gemessen wird. Alternativ kommen zusätzlich Verfahren zur automatischen Segmentierung der Prostata in Betracht [17].

### Sektorenkarte der Prostata

Die Sektorenkarte der Prostata soll es vereinfachen, beschriebene und klassifizierte Läsionen möglichst genau einer anatomischen Region der Prostata zuzuordnen. Hierzu wurden in der ersten PI-RADS-Version 27 und in der zweiten Version 36 Prostata-Sektoren bestimmt. PI-RADS 2.1 führt nun 2 weitere Sektoren ein, sodass die Sektorenkarte der Prostata, neben nun 38 prostatistischen Sektoren, 2 Sektoren für die Bläschendrüse und einem Sektor für die membranöse Urethra, insgesamt aus 41 Sektoren besteht. Neu benannt in PI-RADS 2.1 sind die posteromedialen Zonen der peripheren Zone (PZpm) links und rechts im Bereich der Prostatabasis.

### Zusammenfassung

Die aktuelle PI-RADS-Version 2.1 adressiert verschiedene kleinere Änderungen bezüglich Untersuchungstechnik und Befundinterpretation und versteht sich dabei als „Evolution“ gegenüber PI-RADS 2.0, dessen Grundkonzept der zonenbezogenen dominanten Sequenzen beibehalten wird.

Von besonderer Relevanz ist die stärkere Wichtung der Diffusionsbildgebung in der Transitionszone, die auf eine Erhöhung der immer noch vergleichsweise geringen Sensitivität der mpMRT in dieser Zone abzielt. Auch die neu eingeführte Unterscheidung zwischen „typischen“ und „atypischen“ BPH-Knoten durch die

T2-Sequenzen in der Transitionszone rückt diese Zone stärker als bisher in den Fokus. Zu begrüßen ist auch die obligatorische Einführung des ultrahohen b-Wertes in der DWI, mit der viele Zentren bereits gute Erfahrungen gemacht haben. Aufgrund der zunehmenden Diskussionen zur biparametrischen MRT ist es nur folgerichtig, dass die PI-RADS-Version 2.1 auf diese Möglichkeit eingeht. Zunächst bleibt die multiparametrische MRT jedoch die Methode der Wahl, insbesondere in Einrichtungen mit geringem Fallaufkommen.

Des Weiteren sollen Vereinfachungen im Scoring-Algorithmus, Präzisierung spezifischer Signalveränderungen und die weitere Standardisierung in der Bildakquisition dabei helfen, die Interreader-Variabilität zu senken und den Stellenwert der mpMRT in der Detektion klinisch signifikanter Prostatakarzinome weiter zu stärken.

### Ausblick

PI-RADS ist kein starres Konstrukt und unterliegt einem stetigen Wandel. Zukünftige Versionen müssen sich klinischen und technischen Fortschritten stellen. Aufgrund der guten Erfahrungen bezüglich Detektion und Lokalisation des Prostatakarzinoms drängen sich zunehmend Fragen nach der Anwendbarkeit von PI-RADS oder anderen Scoring-Systemen im Rahmen der Active Surveillance oder des posttherapeutischen Settings auf [31]. Die rasanten Fortschritte im Bereich der künstlichen Intelligenz und der Deep-Learning-Algorithmen werden vermutlich in der Zukunft im Rahmen der Befundinterpretation unterstützend zur Seite stehen [48]. Möglicherweise gelingt es zukünftig auch unter Zuhilfenahme neuer, noch zu evaluierender qualitativer und quantitativer Faktoren, das PI-RADS-System, ähnlich dem Verfahren nach BI-RADS, unter Einbezug weiterer klinischer und vor allem laborchemischer Parameter (z. B. PCA-3 etc.) mit konkreten Handlungsanweisungen bezüglich einer bioptischen Befundsicherung zu verknüpfen [49].

### Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

### Literatur

- [1] Bray F, Ferlay J, Soerjomataram I et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin* 2018; 68: 394–424. doi:10.3322/caac.21492
- [2] Lam TBL, MacLennan S, Willemse PM et al. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-SIOG Prostate Cancer Guideline Panel Consensus Statements for Deferred Treatment with Curative Intent for Localised Prostate Cancer from an International Collaborative Study (DETECTIVE Study). *Eur Urol* 2019; 76: 790–813. doi:10.1016/j.eururo.2019.09.020
- [3] Kim R, Kim CK, Park JJ et al. Prognostic Significance for Long-Term Outcomes Following Radical Prostatectomy in Men with Prostate Cancer: Evaluation with Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2. *Korean J Radiol* 2019; 20: 256–264. doi:10.3348/kjr.2018.0613
- [4] Schlemmer HP. Multiparametrische MR-Bildgebung beim Prostatakarzinom. *Radiologie up2date* 2017; 17: 43–60. doi:10.1055/s-0042-122604

- [5] Barentsz JO, Richenberg J, Clements R et al. ESUR prostate MR guidelines 2012. *Eur Radiol* 2012; 22: 746–757. doi:10.1007/s00330-011-2377-y
- [6] Weinreb JC, Barentsz JO, Choyke PL et al. PI-RADS Prostate Imaging – Reporting and Data System: 2015, Version 2. *Eur Urol* 2016; 69: 16–40. doi:10.1016/j.eururo.2015.08.052
- [7] Rosenkrantz AB, Ginocchio LA, Cornfeld D et al. Interobserver Reproducibility of the PI-RADS Version 2 Lexicon: A Multicenter Study of Six Experienced Prostate Radiologists. *Radiology* 2016; 280: 793–804. doi:10.1148/radiol.2016152542
- [8] Borofsky S, George AK, Gaur S et al. What Are We Missing? False-Negative Cancers at Multiparametric MR Imaging of the Prostate. *Radiology* 2018; 286: 186–195. doi:10.1148/radiol.2017152877
- [9] Kido A, Tamada T, Kanomata N et al. Multidimensional analysis of clinicopathological characteristics of false-negative clinically significant prostate cancers on multiparametric MRI of the prostate in Japanese men. *Jpn J Radiol* 2019; 37: 154–164. doi:10.1007/s11604-018-0801-9
- [10] Muller BG, Shih JH, Sankineni S et al. Prostate Cancer: Interobserver Agreement and Accuracy with the Revised Prostate Imaging Reporting and Data System at Multiparametric MR Imaging. *Radiology* 2015; 277: 741–750. doi:10.1148/radiol.2015142818
- [11] Rosenkrantz AB, Oto A, Turkbey B et al. Prostate Imaging Reporting and Data System (PI-RADS), Version 2: A Critical Look. *Am J Roentgenol* 2016; 206: 1179–1183. doi:10.2214/Am J Roentgenol.15.15765
- [12] Turkbey B, Rosenkrantz AB, Haider MA et al. Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2.1: 2019 Update of Prostate Imaging Reporting and Data System Version 2. *Eur Urol* 2019; 76: 340–351. doi:10.1016/j.eururo.2019.02.033
- [13] Barrett T, Rajesh A, Rosenkrantz AB et al. PI-RADS version 2.1: one small step for prostate MRI. *Clin Radiol* 2019; 74: 841–852. doi:10.1016/j.crad.2019.05.019
- [14] Le Bihan D, Breton E, Lallemand D et al. Separation of diffusion and perfusion in intravoxel incoherent motion MR imaging. *Radiology* 1988; 168: 497–505. doi:10.1148/radiology.168.2.3393671
- [15] Barrett T, Priest AN, Lawrence EM et al. Ratio of Tumor to Normal Prostate Tissue Apparent Diffusion Coefficient as a Method for Quantifying DWI of the Prostate. *Am J Roentgenol* 2015; 205: W585–W593. doi:10.2214/Am J Roentgenol.15.14338
- [16] Jensen JH, Helpert JA, Ramani A et al. Diffusional kurtosis imaging: the quantification of non-gaussian water diffusion by means of magnetic resonance imaging. *Magn Reson Med* 2005; 53: 1432–1440. doi:10.1002/mrm.20508
- [17] Rosenkrantz AB, Sigmund EE, Johnson G et al. Prostate cancer: feasibility and preliminary experience of a diffusional kurtosis model for detection and assessment of aggressiveness of peripheral zone cancer. *Radiology* 2012; 264: 126–135. doi:10.1148/radiol.12112290
- [18] DeLano MC, Cooper TG, Siebert JE et al. High-b-value diffusion-weighted MR imaging of adult brain: image contrast and apparent diffusion coefficient map features. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000; 21: 1830–1836
- [19] Kim CK, Park BK, Kim B. High-b-value diffusion-weighted imaging at 3 T to detect prostate cancer: comparisons between b values of 1000 and 2000 s/mm<sup>2</sup>. *Am J Roentgenol* 2010; 194: W33–W37. doi:10.2214/AJR.09.3004
- [20] Agarwal HK, Mertan FV, Sankineni S et al. Optimal high b-value for diffusion weighted MRI in diagnosing high risk prostate cancers in the peripheral zone. *J Magn Reson Imaging* 2017; 45: 125–131. doi:10.1002/jmri.25353
- [21] Syer TJ, Godley KC, Cameron D et al. The diagnostic accuracy of high b-value diffusion- and T2-weighted imaging for the detection of prostate cancer: a meta-analysis. *Abdom Radiol (NY)* 2018; 43: 1787–1797. doi:10.1007/s00261-017-1400-4
- [22] Metens T, Miranda D, Absil J et al. What is the optimal b value in diffusion-weighted MR imaging to depict prostate cancer at 3T. *Eur Radiol* 2012; 22: 703–709. doi:10.1007/s00330-011-2298-9
- [23] Ohgiya Y, Suyama J, Seino N et al. Diagnostic accuracy of ultra-high-b-value 3.0-T diffusion-weighted MR imaging for detection of prostate cancer. *Clin Imaging* 2012; 36: 526–531. doi:10.1016/j.clinimag.2011.11.016
- [24] Jambor I. Optimization of prostate MRI acquisition and post-processing protocol: a pictorial review with access to acquisition protocols. *Acta Radiol Open* 2017; 6: 2058460117745574 doi:10.1177/2058460117745574
- [25] Panebianco V, Giganti F, Kitzing YX et al. An update of pitfalls in prostate mpMRI: a practical approach through the lens of PI-RADS v. 2 guidelines. *Insights Imaging* 2018; 9: 87–101. doi:10.1007/s13244-017-0578-x
- [26] Ream JM, Doshi AM, Dunst D et al. Dynamic contrast-enhanced MRI of the prostate: An intraindividual assessment of the effect of temporal resolution on qualitative detection and quantitative analysis of histopathologically proven prostate cancer. *J Magn Reson Imaging* 2017; 45: 1464–1475. doi:10.1002/jmri.25451
- [27] Boesen L, Nørgaard N, Løgager V et al. Assessment of the Diagnostic Accuracy of Biparametric Magnetic Resonance Imaging for Prostate Cancer in Biopsy-Naive Men: The Biparametric MRI for Detection of Prostate Cancer (BIDOC) Study. *JAMA Netw Open* 2018; 1: e180219 doi:10.1001/jamanetworkopen.2018.0219
- [28] Jambor I, Boström PJ, Taimen P et al. Novel biparametric MRI and targeted biopsy improves risk stratification in men with a clinical suspicion of prostate cancer (IMPROD Trial). *J Magn Reson Imaging* 2017; 46: 1089–1095. doi:10.1002/jmri.25641
- [29] Gupta RT, Mehta KA, Turkbey B et al. PI-RADS: Past, present, and future. *J Magn Reson Imaging* 2019. doi:10.1002/jmri.26896
- [30] Greer MD, Shih JH, Lay N et al. Validation of the Dominant Sequence Paradigm and Role of Dynamic Contrast-enhanced Imaging in PI-RADS Version 2. *Radiology* 2017; 285: 859–869. doi:10.1148/radiol.2017161316
- [31] Krishna S, McInnes M, Lim C et al. Comparison of Prostate Imaging Reporting and Data System versions 1 and 2 for the Detection of Peripheral Zone Gleason Score 3 + 4 = 7 Cancers. *Am J Roentgenol* 2017; 209: W365–W373. doi:10.2214/AJR.17.17964
- [32] Rosenkrantz AB, Babb JS, Taneja SS et al. Proposed Adjustments to PI-RADS Version 2 Decision Rules: Impact on Prostate Cancer Detection. *Radiology* 2017; 283: 119–129. doi:10.1148/radiol.2016161124
- [33] Caglic I, Barrett T. Optimising prostate mpMRI: prepare for success. *Clin Radiol* 2019; 74: 831–840. doi:10.1016/j.crad.2018.12.003
- [34] Iwazawa J, Mitani T, Sassa S et al. Prostate cancer detection with MRI: is dynamic contrast-enhanced imaging necessary in addition to diffusion-weighted imaging. *Diagn Interv Radiol* 2011; 17: 243–248. doi:10.4261/1305-3825.DIR.3605-10.1
- [35] Padhani AR, Weinreb J, Rosenkrantz AB et al. Prostate Imaging-Reporting and Data System Steering Committee: PI-RADS v2 Status Update and Future Directions. *Eur Urol* 2019; 75: 385–396. doi:10.1016/j.eururo.2018.05.035
- [36] Scialpi M, Martorana E, Scialpi P et al. Round table: arguments in supporting abbreviated or biparametric MRI of the prostate protocol. *Abdom Radiol (NY)* 2020. doi:10.1007/s00261-020-02510-w
- [37] Scialpi M, Aisa MC, D'Andrea A et al. Simplified Prostate Imaging Reporting and Data System for Biparametric Prostate MRI: A Proposal. *Am J Roentgenol* 2018; 211: 379–382. doi:10.2214/AJR.17.19014
- [38] Vargas HA, Akin O, Franiel T et al. Normal central zone of the prostate and central zone involvement by prostate cancer: clinical and MR imaging implications. *Radiology* 2012; 262: 894–902. doi:10.1148/radiol.11110663
- [39] Hansford BG, Karademir I, Peng Y et al. Dynamic contrast-enhanced MR imaging features of the normal central zone of the prostate. *Acad Radiol* 2014; 21: 569–577. doi:10.1016/j.acra.2014.01.013
- [40] Cohen RJ, Shannon BA, Phillips M et al. Central zone carcinoma of the prostate gland: a distinct tumor type with poor prognostic features. *J Urol* 2008; 179: 1762–1767; discussion 1767. doi:10.1016/j.juro.2008.01.017

- [41] Ward E, Baad M, Peng Y et al. Multi-parametric MR imaging of the anterior fibromuscular stroma and its differentiation from prostate cancer. *Abdom Radiol (NY)* 2017; 42: 926–934. doi:10.1007/s00261-016-0951-0
- [42] Bouyé S, Potiron E, Puech P et al. Transition zone and anterior stromal prostate cancers: zone of origin and intraprostatic patterns of spread at histopathology. *Prostate* 2009; 69: 105–113. doi:10.1002/pros.20859
- [43] McNeal JE, Redwine EA, Freiha FS et al. Zonal distribution of prostatic adenocarcinoma. Correlation with histologic pattern and direction of spread. *Am J Surg Pathol* 1988; 12: 897–906. doi:10.1097/00000478-198812000-00001
- [44] Kayhan A, Fan X, Oommen J et al. Multi-parametric MR imaging of transition zone prostate cancer: Imaging features, detection and staging. *World J Radiol* 2010; 2: 180–187. doi:10.4329/wjr.v2.i5.180
- [45] Tamada T, Kido A, Takeuchi M et al. Comparison of PI-RADS version 2 and PI-RADS version 2.1 for the detection of transition zone prostate cancer. *Eur J Radiol* 2019; 121: 108704 doi:10.1016/j.ejrad.2019.108704
- [46] Søndergaard G, Vetner M, Christensen PO. Periferal cystic hyperplasia of the prostate gland. *Acta Pathol Microbiol Immunol Scand A* 1987; 95: 137–139. doi:10.1111/j.1699-0463.1987.tb00020\_95a.x
- [47] Hansen NL, Barrett T, Koo B et al. The influence of prostate-specific antigen density on positive and negative predictive values of multiparametric magnetic resonance imaging to detect Gleason score 7–10 prostate cancer in a repeat biopsy setting. *BJU Int* 2017; 119: 724–730. doi:10.1111/bju.13619
- [48] Bonekamp D, Kohl S, Wiesenfarth M et al. Radiomic Machine Learning for Characterization of Prostate Lesions with MRI: Comparison to ADC Values. *Radiology* 2018; 289: 128–137. doi:10.1148/radiol.2018173064
- [49] Kaufmann S, Bedke J, Gatidis S et al. Prostate cancer gene 3 (PCA3) is of additional predictive value in patients with PI-RADS grade III (intermediate) lesions in the MR-guided re-biopsy setting for prostate cancer. *World J Urol* 2016; 34: 509–515. doi:10.1007/s00345-015-1655-8