

► **Selektion von Patienten und Wahl der Indikationen.** Wie bei jeder anderen komplexen bildgebenden Methode ist die sorgsame Wahl der angemessenen Indikationen eine absolute Voraussetzung für gute Ergebnisse. Angemessene und unangemessene Indikationen werden im weiteren Verlauf des Kapitels ausführlich abgehandelt. Bei wissenschaftlichen Studien kann die Präselektion der Patienten einen erheblichen Einfluss auf die Studienergebnisse haben. Ohne klar umschriebene Selektion, die wesentliche statistische Verzerrungen (Bias) ausschließt, werden Ergebnisse nicht zuverlässig sein. Man verlasse sich nicht darauf, Ergebnisse zu reproduzieren, die mit unterschiedlicher Patientenselektion oder unter sonstigen anderweitigen Bedingungen erzielt wurden.

► **Studien, Design und Statistik.** Die folgenden Faktoren können einen erheblichen Einfluss auf die Ergebnisse haben: Patientenselektion (Selektionsbias), Studiendesign (prospektiv vs. retrospektiv, alleinige Auswertung der MRT vs. MRT unter Hinzuziehung weiterer Information und Bildgebung, Multi- vs. Unicenter-Studie), genaue Definition eines positiven bzw. negativen Befundes, benutzte Sensitivitäts- und Spezifitätsberechnung und Ergebnisverifikation (Verifikationsbias).

Im Allgemeinen werden die obigen Faktoren unterschätzt. Man kann zuverlässige Information nur von Studien mit sehr gutem Design und klarer, homogener Patientenselektion erwarten. Als Folge unterschiedlichen Design können Studienvergleiche schwierig und oft auch gar nicht vergleichbar sein. Eine Extrapolation aus Studien, die von der ursprünglich geplanten Anwendung der Methode abweichen, muss vermieden werden.

Zusammenfassung

Die MRT ist die nachweislich sensitivste Methode zur Erkennung von invasivem Brustkrebs, die publizierten Sensitivitäten erreichen 85–97 %. Die Sensitivität für DCIS ist geringer, und hier zeigt sich die MRT komplementär zur Mammografie. Die Spezifität der MRT ist geringer als die der Mammografie. Es ist absolut erforderlich, über MRT-gesteuerte Interventionsmethoden zu verfügen, um ausschließlich im MRT detektierte Läsionen weiter abzuklären.

Ohne kluge Patientenselektion und angemessene Indikationsstellung läuft man Gefahr, deren Verfügbarkeit und erforderliche Ressourcen zu unterschätzen. Auch wenn die Treffsicherheit der MRT nicht ausreicht, um die Biopsie zu ersetzen, kann doch in erfahrener Hand der zusätzliche Einsatz der MRT in manchen Fällen die Sensitivität und/oder Spezifität anheben und hilft dabei, besser Patienten auszuwählen, die einer Biopsie bedürfen.

5.2 MRT-Technik

5.2.1 Dynamische kontrastverstärkte MRT (DCE-MRT)

Die optimale Technik ist wesentliche Voraussetzung für eine hohe Treffsicherheit. Eine optimale Technik sollte die Abbildung beider Brüste in hoher zeitlicher und örtlicher Auflösung ermöglichen unter maximaler Reduktion von Artefakten.

MRT-Gerät und Brustspulen

Heute ist eine ausgezeichnete Bildqualität erreichbar mit State-of-the-Art 1,0- und 1,5-Tesla-MRT-Geräten. Mit 0,5- und 3-Tesla-Geräten bestehen einige wenige Daten zur DCE-MRT.

Der Einsatz spezieller Brustspulen ist verpflichtend. Die beidseitige Darstellung hat den Vorteil, ggf. nicht vermutete Veränderungen in der kontralateralen Brust zu detektieren bei Frauen mit Brustkrebs oder anderen Risikofaktoren. Auch ist es möglich, im Seitenvergleich die Symmetrie des Anreicherungsmusters zu vergleichen und daraus weitere diagnostisch nützliche Information zu gewinnen.

Interventionsspulen sollten die ausreichende Immobilisierung der Brust erlauben, um Bewegung beim Einführen der Nadel oder des Biopsiegeräts zu vermeiden. Außerdem ist eine gute Auflösung erforderlich sowie ein guter Zugang zu der zu untersuchenden Brust (idealerweise von medial und lateral). Daher bilden Interventionsspulen meist nur eine Brust ab. Die Brustspulen sollten mit entsprechender Software zur Planung und Überwachung der Intervention geliefert werden.

Auflösung

In den ersten 15 Jahren des MRT-Einsatzes stellten die Untersuchungsprotokolle einen Kompromiss dar zwischen hoher zeitlicher und hoher räumlicher Auflösung. Dies führte dazu, dass einige Forschergruppen Protokolle mit hoher räumlicher Auflösung favorisierten (was in der Regel zu höherer Sensitivität auf Kosten der Spezifität führt), während andere mit höherer zeitlicher Auflösung arbeiteten (die meist höhere Spezifität auf Kosten der Sensitivität zur Folge hatte). Während der letzten 5 Jahre wurde sowohl eine hohe zeitliche als auch räumliche Auflösung in der Breite verfügbar, so dass sich die mögliche Information verbessern ließ.

Eine gute **örtliche Auflösung** ist bedeutsam zur Beurteilung der Kontur sowie der Binnenstruktur einer Läsion, denn diese Information ist ebenso wichtig wie die Kontrastmitteldynamik. Die Auflösung in der Schichtebene sollte so gut wie irgend möglich sein. Mit neuester Technologie und Doppelbrustspulen kann sie < 1 mm betragen (optimal 0,7 mm).

Die **zeitliche Auflösung** (d. h. die Abbildung zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Kontrastmittelgabe) ist aus folgenden Gründen sinnvoll: Früh nach Kontrastmittelgabe (1–3 min nach Injektion) ist der Kontrast zwischen Malignität und umgebendem Brustgewebe am besten. Später (> 3 min nach Injektion) kann es durch unspezifische Anreicherung in benignem Gewebe und Abnahme des Enhancements in den meisten malignen Herdbefunden zu falsch negativen und falsch positiven Befunden kommen. Ein frühes peripheres Enhancement, ein wichtiges morphologisches Malignitätszeichen, kann nur in den wenigen ersten Minuten nach Injektion sichtbar sein.

In der Regel sollten 3 oder mehr Sequenzen aufgenommen und über 6–7 min durch die dynamischen Serien abgedeckt werden. Auch wenn es möglich ist, 3D-Datensätze jede Minute oder noch häufiger zu generieren, liegen bisher keine Ergebnisse darüber vor, ob mit solchen Protokollen ein wesentlicher diagnostischer Gewinn erzielt wird. Die verbleibende Zeit sollte besser in die räumliche als in die zeitliche Auflösung investiert werden (bevorzugte Auflösung innerhalb der Ebene bei Schichtdicken unter 2–3 mm).

Schichtdicke und 3D-Bildgebung

Für die DCE-MRT sollte die Schichtdicke ≤ 3 mm betragen. Isotrope Bildgebung erlaubt die retrospektive Neuformatierung der Bilder in anderen Ebenen. Dünnere Schichten führen zur Reduktion von Partialvolumeneffekten im Fall kleiner anreichernder Milchgänge und kleiner Läsionen. Allerdings begrenzt Patientenbewegung die Vorteile der Hochauflösung.

Trotz publizierter guter Ergebnisse mit 2D- oder 3D-Bildgebung bietet die heutige 3D-Bildgebung (mit oder ohne Fettsättigung) mehr Möglichkeiten der Optimierung (die Probleme mit Artefakten, die als Folge des Akquisitionsmodus entstanden, konnten überwiegend behoben werden). Insgesamt erlauben 3D-Sequenzen die Abbildung in dünnen Schichten mit exzellentem Signal-Rausch-Verhältnis und ohne Lücken zwischen den Schichten.

Vermeiden von Objektbewegungen und Herzartefakten

Unbedingt zu achten ist auf Bewegungslosigkeit, denn Bewegung reduziert die räumliche Auflösung und kann erheblichen negativen Einfluss haben auf die Kontrastmitteldynamik (siehe unten). Daher ist sicherzustellen, dass die Patientin voll informiert ist. Die Kanüle sollte vor den Präkontrastserien angelegt und die Positionierung während der Bildakquisition nicht verändert werden. Die Brust sollte bestmöglich immobilisiert werden. Dies gelingt am besten mit einer Spule, in die eine Kompressionsmechanik integriert ist. Wenn nicht verfügbar, kann Watte zwischen Spule und Brust gepackt werden, was jedoch weniger effektiv ist. Überkompression ist zu vermeiden, denn dadurch kann die Kontrastmittelanreicherung in einem malignen Befund als Folge erhöhten interstitiellen Drucks behindert werden.

Sorgfältig ist darauf zu achten, Herzartefakte in diagnostisch wichtigen Abbildungsbereichen zu vermeiden. Dies gelingt durch einen entsprechenden Tausch der Frequenz- und Phasenkodierung. Artefakte durch die Herzbewegung kann man auch vermeiden durch Abbildung in der koronalen Schichtführung, weil so die kardialen Artefakte parallel zur Wirbelsäule verlaufen und dadurch weder Brust noch Axilla kreuzen. Wird die Brust axial (transversale Ebene) abgebildet, der Abbildungsebene der ersten Wahl, muss darauf geachtet werden, dass die Artefakte nicht die linke Brust durchlaufen. Dies geschieht durch Phasenkodierung von links nach rechts, was die Bewegungsartefakte durch die Brust minimiert, dennoch kann der axilläre Ausläufer mit betroffen sein. Eine sehr elegante neue Entwicklung ist die isotrope 3D-Bildgebung in koronaler Schichtführung zusammen mit der Bildberechnung in der axialen Ebene.

Pulssequenzen und Fettunterdrückung

Die am Verbreitesten eingesetzten Pulssequenzen sind die 3D-Gradientenecho-Sequenzen mit oder ohne Fettsättigung. Die Majorität der publizierten Fälle wurde mit dieser oder vergleichbaren Echosequenzen durchgeführt. Weitere Sequenzen sind publiziert, werden jedoch nicht häufig eingesetzt.

Die Fettsuppression ist als essentiell anzusehen zur besseren Erkennung der Kontrastmittelanreicherung, da sowohl Fett als auch eine anreichernde Läsion im Postkontrastbild eine hohe

Signalintensität aufweisen. Die Detektion von Kontrastmittelanreicherung ist daher entweder davon abhängig, exakt die Prä- und Postkontrastaufnahmen zu vergleichen oder von effektiver Fettunterdrückung. Die Eliminierung des Fettsignals kann entweder durch den Einsatz selektiver Fettsättigung oder protonenanregender Sequenzen oder mit Subtraktionstechnik erreicht werden. Pulssequenzen zur Bildsubtraktion sind gewöhnlich schneller und erlauben eine höhere örtliche Auflösung und zeitliche Auflösung.

In-Phase-Bedingungen

Die Brust-MRT muss unter „In-Phase“-Bedingungen durchgeführt werden, es sei denn, spektralselektive Sequenzen kommen zum Einsatz. Die „In-Phase“-Bedingung ist erfüllt, wenn Echozeiten von 3,6–6,0 ms ($= 4,8 \text{ ms} \pm 25\%$) bei 1,5 Tesla oder etwa 5,8–8,0 ms ($= 7,2 \text{ ms} \pm 25\%$) bei 1,0 Tesla verwendet werden. Von „In-Phase“-Bedingungen spricht man, wenn die Fett- und Wasservektoren in die gleiche Richtung weisen. Sind sie nicht erfüllt (bei einem „Opposed Image“), stehen Wasser- und Fettvektor einander entgegen. Wenn sich Partialvolumen von Fett und Wasser in einem Pixel befindet (was häufig bei kleinen, entlang von Milchgängen wachsenden Karzinomen vorkommt), kann die Kontrastmittelaufnahme (Gd-DTPA) unsichtbar sein durch Aufhebungseffekte in den Prä- und Postkontrastmittelschichten („Opposed Image“). Tatsächlich kann bei kleinen Karzinomen oder DCIS, welche von Fettgewebe umgeben sind, die Gd-DTPA-Aufnahme entweder (erwartungsgemäß) zu einem Signalanstieg oder gleichbleibendem Signal oder sogar zur Signalabnahme nach Kontrastmittelgabe führen [80]. „Opposed Images“ können leicht daran erkannt werden, dass Umräumungen („Frames“) niedriger Signalintensität an den Rändern zwischen fetthaltigem und nicht fetthaltigem Gewebe sichtbar werden.

Kontrastmitteldosierung

Die empfohlene Dosierung für Gd-DTPA liegt bei 0,1–0,2 mmol/Körpergewicht. Es sollte immer die gleiche Dosierung verwandt und auf den Bildern dokumentiert werden.

Sowohl Phantom- als auch Patientenaufnahmen zeigten, dass es bei 3D-Bildgebung bei Flipwinkeln von 20–35° nicht zu einem Sättigungseffekt kommt (bei 2D-Bildgebung kann Sättigung auftreten, das heißt, mit mittlerer und hoher Dosierung steigt das Signal nicht weiter an durch Ansteigen der Kontrastmittelkonzentration).

Der Hauptvorteil höherer Dosen (wie sie bei 3D-Bildgebung benutzt werden können) ist, dass selbst bei Bewegung oder Bewegungsartefakten, die manchmal bei einzelnen Patientinnen nicht zu vermeiden sind, kleine Läsionen offensichtlicher sind, so besser erkannt und differenziert werden können.

Standardisierte Fenstereinstellung und Bildsequenz

Wir empfehlen dringend die Benutzung einer standardisierten Fenstereinstellung und Bildsequenz, um die große Bildmenge auszuwerten. Standard-PACS-Systeme (S.53) erlauben die simultane Betrachtung anatomisch korrespondierender Schnitte vor und zu den verschiedenen Zeitpunkten nach i. v. Kontrast-

mittelinjektion. Diese Fähigkeit ist entscheidend beim Lesen der DCE-MRT-Studien, um eine korrekte Interpretation zu ermöglichen, falls es zwischen den aufgenommenen Bildsätzen zu Bewegung kommt. Da CD-Bildbetrachter und Software solche simultane Betrachtungsweise der verschiedenen Sequenzen nicht erlauben, sind sie für die Interpretation dynamischer MRT-Studien ungeeignet.

Quantitative Auswertung

Die quantitativen Auswertungen helfen bei der Differenzialdiagnose von Läsionen. Sie werden üblicherweise in ausgewählten Regionen (ROIs, Regions of Interest) gemessen. Die ROIs sollten so groß wie möglich gewählt werden (üblicherweise größer als 3–4 Pixel), andererseits aber auch klein genug sein, um nur das Areal mit dem verdächtigsten Enhancement zu enthalten (welches üblicherweise visuell ausgewertet wird).

Das Ergebnis einer solchen quantitativen Messung ist eine **Anreicherungskurve**, die mit üblicher Standard-MRT-Software machbar ist. Da die Signalintensität stark von der Lage des Voxels innerhalb der Spule abhängt, sollten Kurvenmessungen für diagnostische Zwecke bei der DCE-MRT relative Anreicherungsveränderungen abbilden (d.h. den prozentualen Signalanstieg im Vergleich zum Präkontrastbild), nicht absolute Werte wegen der unterschiedlichen Signalaufnahme innerhalb der Oberflächenspule.

Die **relative Anreicherung** ist folgendermaßen definiert:

$$\text{Rel. Anreicherung} = \frac{(\text{Signal nach KM} - \text{Signal vor KM})}{\text{Signal vor KM}} \times 100\%$$

Es ist wichtig zu verstehen, dass jegliche quantitative Auswertung erheblich beeinflusst wird durch die Relation von Läsionsgröße und Schichtdicke (Partialvolumeneffekt) und Patientenbewegung (die den Partialvolumeneffekt verändert). Relevante Fehler können entstehen bei jeglicher Läsion, die kleiner ist als 2 Schichtdicken, da deutliche Partialvolumeneffekte je nach Lage der Läsion innerhalb oder zwischen den Schichten auftreten können. Wegen des veränderlichen Partialvolumens kann Bewegung jegliche Kurvenmessung stören und dies zunehmend mit abnehmender Läsionsgröße. Verlässt man sich auf ROI- oder Kurvenmessungen, die nicht garantiert im gleichen Areal zu den verschiedenen Zeitpunkten gewonnen wurden, kann dies zu erheblichen diagnostischen Irrtümern führen.

Es sind automatisierte Programme in Entwicklung zur Korrektur der Patientenbewegung. Sie ersetzen allerdings nicht eine sorgfältige visuelle Auswertung und Berücksichtigung des Partialvolumeneffekts sowie der Patientenbewegung. Dennoch ist weitere Forschung in diesem Bereich sehr zu unterstützen.

Insgesamt sind eine hohe Bildqualität und kritische Bewertung der gewonnenen Bilder von überragender Bedeutung für die DCE-Brust-MRT.

5.2.2 Nativ-MRT

Für die Entdeckung und korrekte Interpretation kleiner Prothesendefekte (Leaks) ist eine sorgfältige Untersuchungstechnik unbedingte Voraussetzung. Die Nativ-MRT mit einer adäquaten Kombination von Pulssequenzen ist Methode der Wahl. Unbedingt sollten wie auch bei der DCE-MRT spezielle Doppelbrustspulen zum Einsatz kommen. Kardiale Artefakte (S. 145) sind zu eliminieren.

Die Schichtdicke sollte 5 mm oder kleiner sein, am besten ≤ 3 mm, und das Untersuchungsprotokoll mindestens eine Pulssequenz mit maximal 2 mm enthalten. Die Aufnahmen sollten in mindestens 2 Raumbenen erfolgen; alternativ kann eine isotrope Bildgebung und Rekonstruktion in verschiedenen Ebenen erwogen werden.

Als erstes empfiehlt sich eine Kombination von Pulssequenzen, die bestmöglichen Kontrast liefern zwischen dem Implantat, umgebendem Narben- oder Brustgewebe und Flüssigkeit (z.B. Zysten, Silikonablagerungen oder reaktive seröse oder serosanguinöse Flüssigkeit um das Implantat herum). Dies gelingt üblicherweise mit einer T1-gewichteten (oder Protonendichtewichtung) und einer T2-gewichteten Pulssequenz mit oder ohne Fettsättigung. Jede Form von Kombination kann eingesetzt werden, die die Darstellung der Kapsel als dünne Niedrigsignallinie gegenüber dem Silikon erlaubt.

Immer wenn abnormale Flüssigkeit erkennbar ist außerhalb oder nahe dem Implantat, müssen eine zystische Läsion mit oder ohne Eiweißgehalt, serosanguinöse Anteile oder eine reaktive Flüssigkeitsansammlung von Silikon differenziert werden. Hierfür sind sog. reine **Silikon-** oder **silikonunterdrückende Sequenzen** erforderlich mit selektiver Silikonanregung (oder -unterdrückung). Diese Sequenzen sind außerordentlich hilfreich bei der Detektion extrakapsulären Silikons. Weitere einsetzbare Pulssequenzen oder Kombinationen findet man in den entsprechenden publizierten Studien ([110], [111], [112], [116]).

5.2.3 Diffusionsgewichtete Bildgebung

Bei der diffusionsgewichteten Bildgebung (DWI) handelt es sich um eine funktionelle MRT-Technik, mit der Information über das Ausmaß und die Richtung von willkürlicher Protonenbewegung im Gewebe gewonnen wird. Die eingeschränkte Diffusion von Wassermolekülen entspricht einem geringeren Signalverlust, so dass hyperintense Areale entstehen, während eine hohe Diffusion zu größerem Signalverlust führt, was in Form hypointenser Areale sichtbar wird. Einige Studien zeigten, dass mit DWI möglicherweise Informationen über die Tumorphysiologie und -physiologie zu gewinnen sind.

Der **apparente Diffusionskoeffizient (ADC)** entspricht einem quantitativen Maß für die molekulare Wasserbewegung. Diffusion von Wassermolekülen findet überwiegend im extrazellulären Raum statt und wird daher beeinflusst durch Zelldichte, extrazelluläre Matrix und Fibrose. Daher vermutet man, dass zunehmende Zellularität und Abnahme des Extrazellulärums, wie bei malignen Herdbefunden, die Wasserbewegung einschränken, was niedrige ADC-Werte zur Folge hat.

In Studien konnte gezeigt werden, dass benigne Läsionen und normales fibroglanduläres Gewebe mit hohen ADC-Werten einhergehen, während niedrige Werte bei malignen Läsionen gemessen wurden. Dennoch besteht ein erheblicher Überlappungsbereich zwischen benignen und malignen Veränderungen. Es wurde auch über niedrigere ADC-Werte beim invasiven Karzinom im Vergleich zum DCIS berichtet.

DWI-Sequenzen sollten nach den Standard-Präkontrastsequenzen und vor Kontrastmittelgabe gefahren werden.

5.2.4 MR-Spektroskopie

MRT-Bildgebung unter Einsatz der Protonen-(weniger häufig der Phosphor-)Spektroskopie kommt neuerdings zum Einsatz. Früher konnten nur große Voxel gemessen werden, aber neuere Techniken, bei denen hauptsächlich 3-Tesla-Geräte Einsatz finden, erlauben inzwischen die Messung von kleineren Voxeln und multipler Voxel-Bildgebung.

Die verschiedenen Molekülgruppen werden identifiziert durch Spektralauswertung des Signals eines jeden Voxels. Innerhalb des Signals kann man ein Spektrum von gering unterschiedlichen Präzessionsfrequenzen erkennen in Abhängigkeit von der chemischen Bindung der Protonen im Voxel.

Die interessantesten molekularen Komponenten, die man innerhalb der MR-Spektren sehen konnte, sind Phosphocholine, die offensichtlich häufiger in malignen Tumoren vorkommen, Glyzinkomponenten und Laktate. Auch wenn der Wert dieser Informationen für die Läsionsdifferenzierung noch nicht vollständig geklärt ist, könnte der interessanteste Anwendungsbereich beim Monitoring der neoadjuvanten Chemotherapie liegen.

5.3 Terminierung und Anamnese

5.3.1 Dynamische kontrastverstärkte MRT (DCE-MRT)

Terminierung

Die DCE-MRT sollte, wenn immer möglich, unter Berücksichtigung eventueller **hormoneller Einflüsse** terminiert werden. Nach Erfahrung der Autoren führen hormonelle Einflüsse häufig zu einem diffusen, manchmal fleckigen Anreicherungs muster (► Abb. 5.1). Sie können sogar ein asymmetrisches regionales Enhancement hervorrufen oder fokale bzw. tumorartige Anreicherungsareale. Auch wenn diese Anreicherung meist verzögert (progressiv) oder plateauartig verläuft, während invasive Karzinome meist schnell anreichern, bleibt diese Unterscheidung mit Unsicherheit behaftet. Einige invasive Karzinome und viele In-situ-Karzinome zeigen ein progressives Enhancement; daher können hormonelle Einflüsse unnötigerweise Malignität verschleiern.

- Wenn irgend möglich sollte bei **prämenopausalen Patientinnen** der 7.–15. Zyklustag gewählt werden (Tag 1 ist der erste Tag der Menstruation). Kürzere Zeiträume sollten für Frauen mit kurzen Zyklen erwogen werden (z. B. 7.–14. Tag). Die meisten **Antibabypillen** stellen kein Problem dar, vorausgesetzt, die Untersuchung erfolgt zum korrekten Zeitpunkt des Zyklus.
- Bei **perimenopausalen Patientinnen** oder **nach Hysterektomie** kann ein Hormonstatus nötig sein, um eine Untersuchung während der Lutealphase zu umgehen. Nach unserer Erfahrung klappt eine MRT-Terminierung sehr gut am 5.–8. Tag nach Messung niedriger Progesteronlevel. Dies berücksichtigt auch die Tatsache, dass das MRT-Enhancement den Blutwerten um 5–8 Tagen hinterherhängt.
- **Postmenopausale Patientinnen unter progesteronhaltiger Hormonersatztherapie (HET)** sollten aufgefordert werden, diese für mindestens 4 Wochen vor dem Untersuchungstermin abzusetzen. Eine Tibolon- oder reine Östrogenbehand-

lung haben nach einigen Erfahrungen wenig oder keinen störenden Einfluss auf die DCE-MRT.

Anamnese und Voruntersuchungen

Es ist äußerst empfehlenswert, eine sorgfältige Anamnese zu erheben, mit Informationen über

- vorausgegangene Operationen, perkutane Biopsie oder Strahlentherapie,
- die diagnostische Fragestellung (sofern der Patientin bekannt) und
- individuelle Risikofaktoren.

Die anamnestischen Daten zu Operation, perkutaner Biopsie oder Strahlentherapie sollten Angaben zum Typ des diagnostischen oder therapeutischen Vorgehens enthalten sowie den Zeitpunkt, die Lokalisation in der Brust und die Seitenangabe. Dies ist wichtig, weil frisches Granulationsgewebe zu einer fokalen Kontrastmittelanreicherung führen kann und so zu einem falsch positiven Befund. Postoperativ oder nach Strahlentherapie können die Narbe oder das behandelte Gewebe diffus anreichern, manchmal auch inhomogen, was ebenfalls zu falsch positiven Ergebnissen führen kann. Daher empfehlen wir im Allgemeinen, die MRT mehr als 4–6 Wochen postoperativ bzw. mehr als 12 Monaten nach Radiatio durchzuführen, es sei denn, es bestünde eine dringende klinische Indikation.

Abschließend ist zu fordern, dass die konventionelle Diagnostik bereits vorliegt (zumindest aus den vergangenen 6 Monaten). Sollten die Ergebnisse sowie die Aufnahmen der konventionellen Diagnostik nicht vorliegen, bestellen wir die Patientin zu diesen Untersuchungen ein. Wir fragen immer auch nach Voruntersuchungen. Es wird üblicherweise keine DCE-MRT durchgeführt ohne vorausgegangene State-of-the-Art konventionelle Abklärung. Erhält eine Patientin eine MRT ohne konventionelle Bildgebung, wird sie vorab darüber in Kenntnis gesetzt, dass die abschließende Befundberichterstellung erst nach Vorliegen der notwendigen Basisinformation erfolgt.

5.3.2 Nativ-MRT zur Suche nach Prothesenlecks

Bei der Suche nach Prothesendefekten müssen hormonelle Einflüsse nicht notwendigerweise berücksichtigt werden. Es ist jedoch hilfreich, falls möglich, folgende anamnestische Daten zu erfragen:

- Implantattyp, falls bekannt (Doppel- vs. Einzellumenprothese). Manche Patientinnen besitzen einen „Implantat-Pass“, oder sie kennen den Namen des Chirurgen und das Jahr, in dem das Implantat eingesetzt wurde.
- Wurde bereits schon einmal ein Implantat eingelegt?
- Gab es bereits Implantatkomplikationen?
- Gibt es Voraufnahmen? Wenn ja, sollten sie zum Vergleich beschafft werden.

Diese Informationen können wichtig sein, da es in Einzelfällen schwierig sein kann, ein rupturiertes Einzellumenimplantat von einem Doppellumenimplantat zu unterscheiden. Auch sollten Silikonablagerungen aus früheren Prothesen nicht zur Operation bei einem aktuell intakten, liegenden Implantat führen.

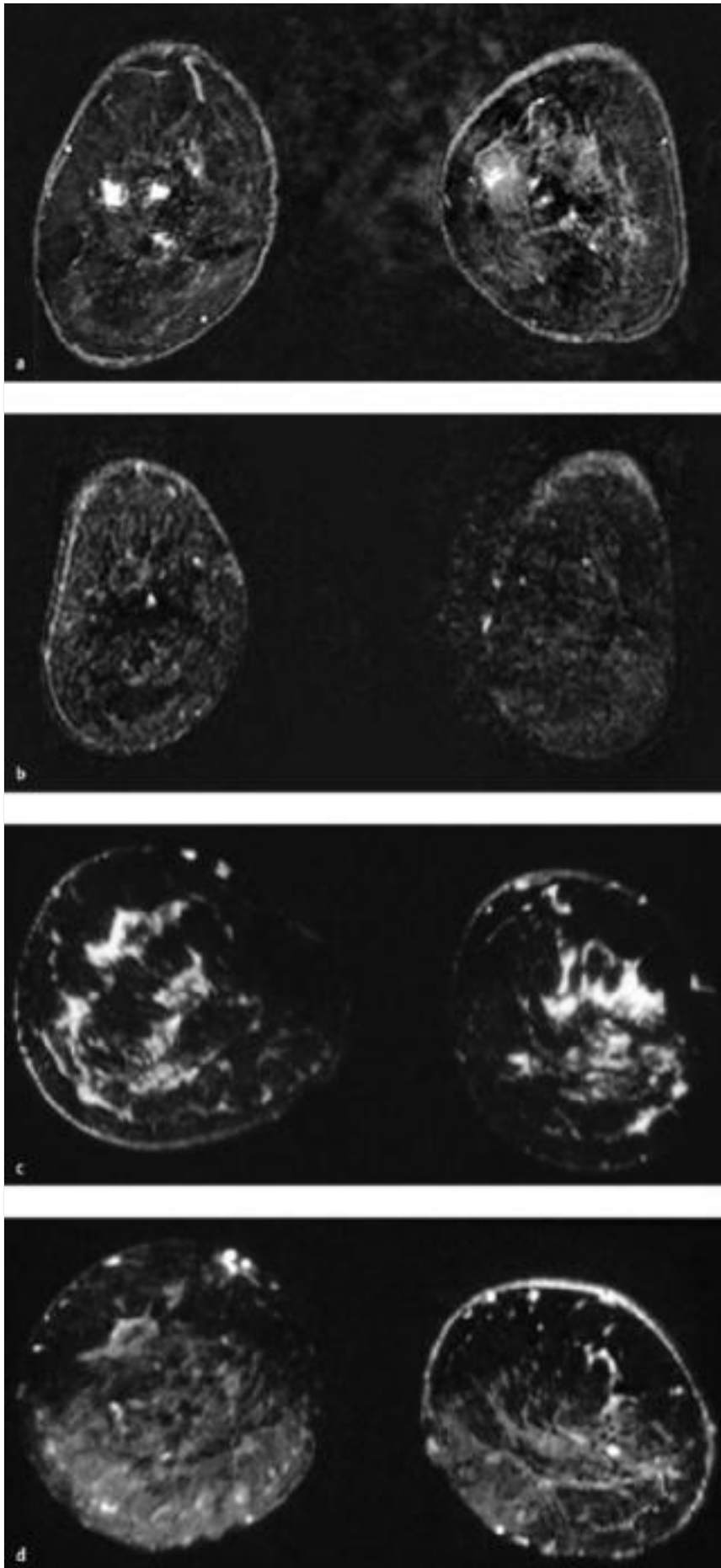


Abb. 5.1 Einfluss von Hormonen auf die MRT der Brust.

- a** MRT-Untersuchung wegen familiärer Brustkrebsbelastung bei einer 40-jährigen Patientin. Subtraktionsaufnahme (repräsentativer Schnitt), Untersuchung am Tag 27 des Menstruationszyklus: Man erkennt mehrere Foki mit intensivem Enhancement vom Plaqueotyp. Malignität kann nicht ausgeschlossen werden. (Aus [81].)
- b** Subtraktionsaufnahme (repräsentativer Schnitt), Untersuchung am Tag 9 des Menstruationszyklus, man erkennt die Rückbildung der verschiedenen Foki. Der Normalbefund konnte über einen fünfjährigen Verlauf bestätigt werden. (Aus [81].)
- c** MRT-Untersuchung wegen einer unklaren Architekturstörung bei einer 58-jährigen Patientin. Subtraktionsaufnahme (repräsentativer Schnitt) am Tag der Patientenvorstellung. Die Patientin stand unter einer kombinierten Östrogen-Progesteron-Therapie.
- d** Subtraktionsaufnahme (repräsentativer Schnitt) 6 Wochen nach Absetzen der Hormontherapie. Das Problem konnte gelöst werden, Malignität wurde ausgeschlossen über einen mehr als 4-jährigen Verlauf.

5.4 Diagnosekriterien

Wie für jede diagnostische Methode sind Standardisierung und Einsatz systematischer Diagnosekriterien Grundvoraussetzung für eine hohe diagnostische Qualität und reproduzierbare Ergebnisse. Allerdings existiert, wie auch bei der Mammografie und Sonografie, kein einziges, simples Schema. Die endgültige Diagnose muss die individuelle Information berücksichtigen und bedarf ausreichender Erfahrung und Übung.

Für die standardisierte Beschreibung der MRT-Befunde empfiehlt das American College of Radiology (ACR) die Benutzung eines standardisierten MRT-Lexikons. ▶ Tab. 5.1 zeigt einen Überblick über die wichtigsten Merkmale, wie sie im ACR-Lexikon definiert sind und in der aktuellen Literatur beschrieben werden. In der rechten Spalte findet sich ein Kommentar zum Positiven Prädiktiven Wert, basierend auf unserer Erfahrung und der Literatur.

Allgemein ist das ACR-Lexikon zu verstehen als sehr vollständige und detaillierte Nomenklatur. Die systematische Analyse von MRT-Befunden und die Kenntnis ihrer positiven und negativen Vorhersagewerte helfen bei den diagnostischen Abwägungen. Allerdings findet sich weder im ACR-Lexikon noch anderweitig weltweit eine direkte Übersetzung von Merkmalen oder Merkmalkombinationen in eine endgültige Diagnose.

▶ Abb. 5.2 zeigt typische Anreicherungskurven der DCE-MRT. ▶ Abb. 5.3 und ▶ Abb. 5.4 zeigen einen Überblick über die häufigsten morphologischen Erscheinungsformen des **invasiven Mammakarzinoms** und des **DCIS** im Vergleich zu **gutartigen Herdbildungen** (▶ Abb. 5.5) oder **nicht herdbildenden Läsionen** (▶ Abb. 5.6).

Die Entwicklung eines allgemeingültigen Algorithmus für die **Unterscheidung zwischen gutartigen und bösartigen Läsionen** ist nicht möglich wegen der Überlappungen von gutartigen und bösartigen Merkmalen; falsch negative und falsch positive Diagnosen sind unvermeidbar. Anfängliche Ansätze, gutartige von bösartigen Erkrankungen zu trennen auf der Basis entweder quantitativer oder morphologischer Parameter allein erwie-

Tab. 5.1 MRT-Merkmale und Positiver Prädiktiver Wert (PPV).

Klassifikation	PPV	Kommentar	Referenz
Läsionsgröße			
<5 mm	niedrig	3–15 %	[30], [38]
<10 mm	niedrig bis intermediär	≈ 20 %	[30], [38]
>10 mm	intermediär	≈ 30 %	[30], [38]
Art des Enhancements			
kein oder niedrig	sehr niedrig	-	[38], [43]
moderat	intermediär	-	[38], [43]
stark	hoch bis sehr hoch	-	[38], [43]
Anreicherungsdynamik			
kein oder sehr geringes Enhancement	sehr niedrig	-	[31], [34]
kontinuierlich (verzögert)	niedrig	-	[31], [34], [38]
Plateau	intermediär	-	[31], [34], [38]
Wash-out	sehr hoch	-	[31], [34]

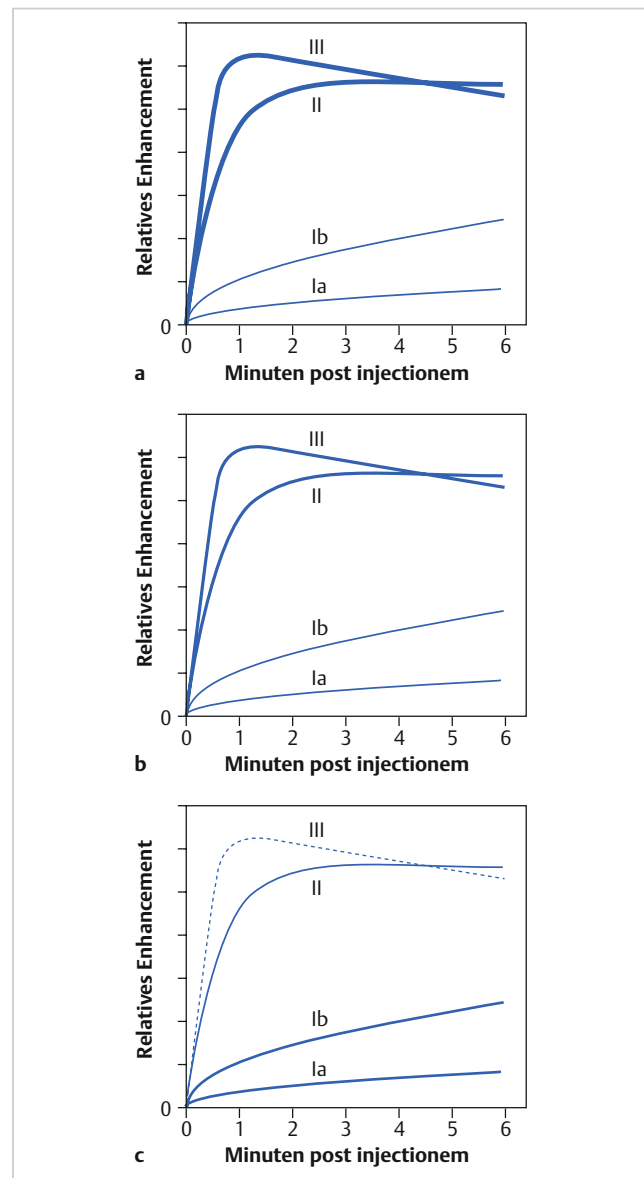


Abb. 5.2 Schematische Darstellung von unterschiedlichen Anreicherungskurven. Die Strichdicke der Kurve liefert einen gewissen Hinweis zur Häufigkeitsfrequenz einer Kurve innerhalb der jeweiligen histopathologischen Veränderungen.

- Invasive Malignität. Etwa 85 % der invasiven Brustkrebsfälle zeigen Anreicherungskurven von Typ II oder III. Weitere 10 % zeigen ein progressives Enhancement (Typ Ib), während fehlendes Enhancement einen ungewöhnlichen Befund darstellt, der bei wenigen Prozent der Fälle vorkommt.
- Duktale In-situ-Karzinome (DCIS) können ein Anreicherungsmuster vom Typ II–III in etwa 60 % der Fälle zeigen, abhängig von der Selektion und Größe der Läsionen. Die verbleibenden DCIS-Fälle zeigen ein progressives oder auch fehlendes Enhancement. Auch wenn der Kurventyp II–III häufiger bei High-Grade-DCIS vorkommt, können sogar ausgedehnte High-Grade-DCIS nicht anreichern, und DCIS-Grading I und II manchmal sehr intensiv und schnell. Außerdem findet sich ein fehlendes oder progressives Enhancement häufiger bei kleinen Läsionen. Es gibt daher eine Tendenz zum zunehmenden Enhancement mit aufsteigendem Grading. Dies ist jedoch keine zuverlässige Information, und eine histopathologische Abklärung sollte bei Läsionen mit Verdacht auf Malignität immer erfolgen.
- Die meisten gutartigen Veränderungen zeigen Anreicherungskurven vom Typ I oder II. III-Kurven sind selten (etwa 5 %). Wenn sie auftreten, sind sie meist mit proliferativen Veränderungen verbunden (oder benignen Tumoren), hyperplastischen Veränderungen wie einer Adenose oder (sub-)akuten Entzündung.

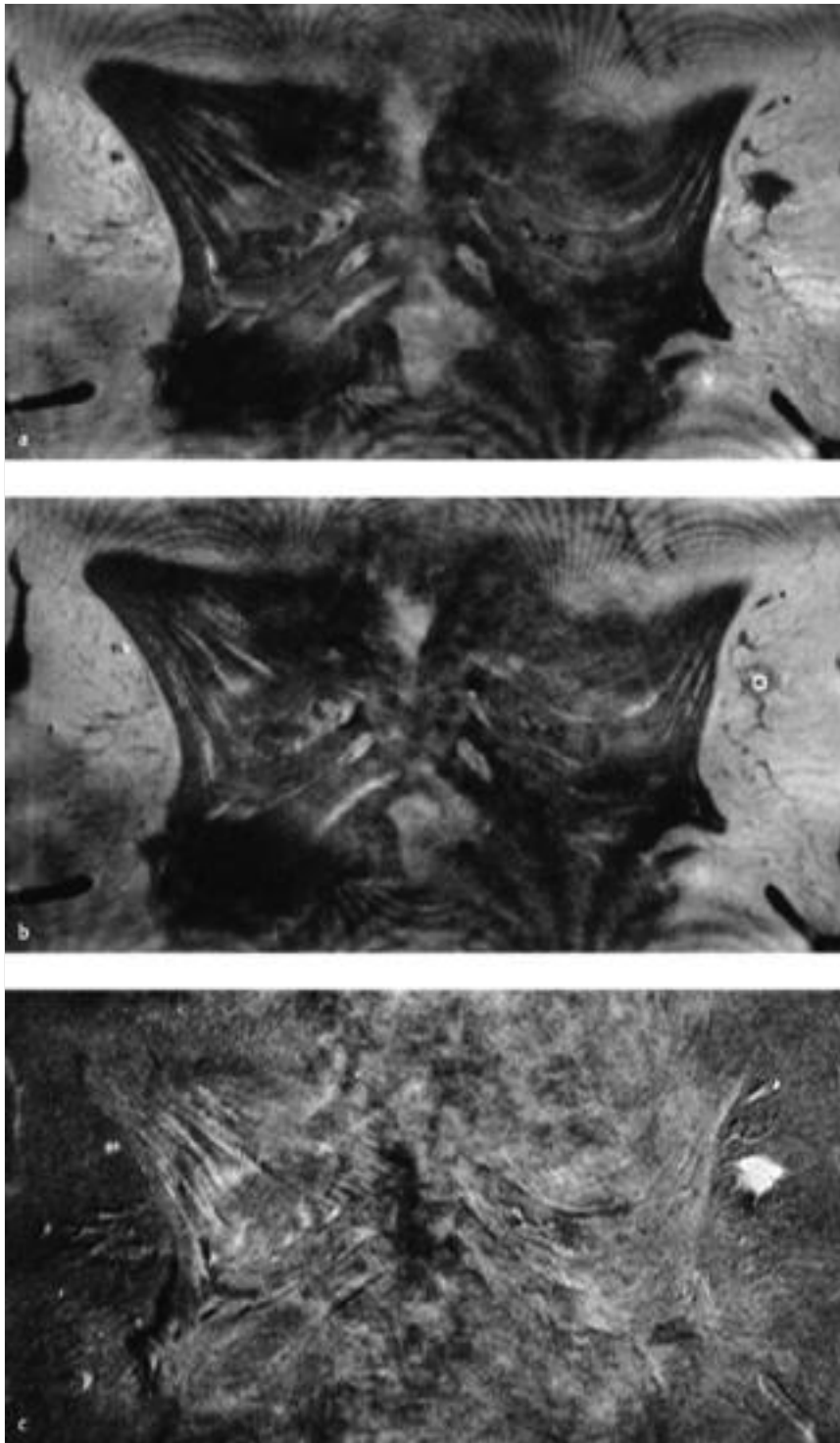


Abb. 5.3 Erscheinungsformen des invasiven Mammakarzinoms.

- a** Invasives duktales Karzinom. Präkontrastaufnahme der zentralen Schnittebene. Die Läsion ist erkennbar an ihrer spikulierten Kontur.
- b** Postkontrastaufnahme der zentralen Schnittebene durch dieses invasive duktales Karzinom. Der größte Teil der Läsion zeigt eine verzögerte Anreicherungskurve. Die meisten duktales Mammakarzinome jedoch zeigen ein Wash-out oder eine Kurve vom Plateautyp.
- c** Subtraktionsaufnahme der zentralen Schnittebene durch dieses invasive duktales Karzinom.

Fortsetzung ►

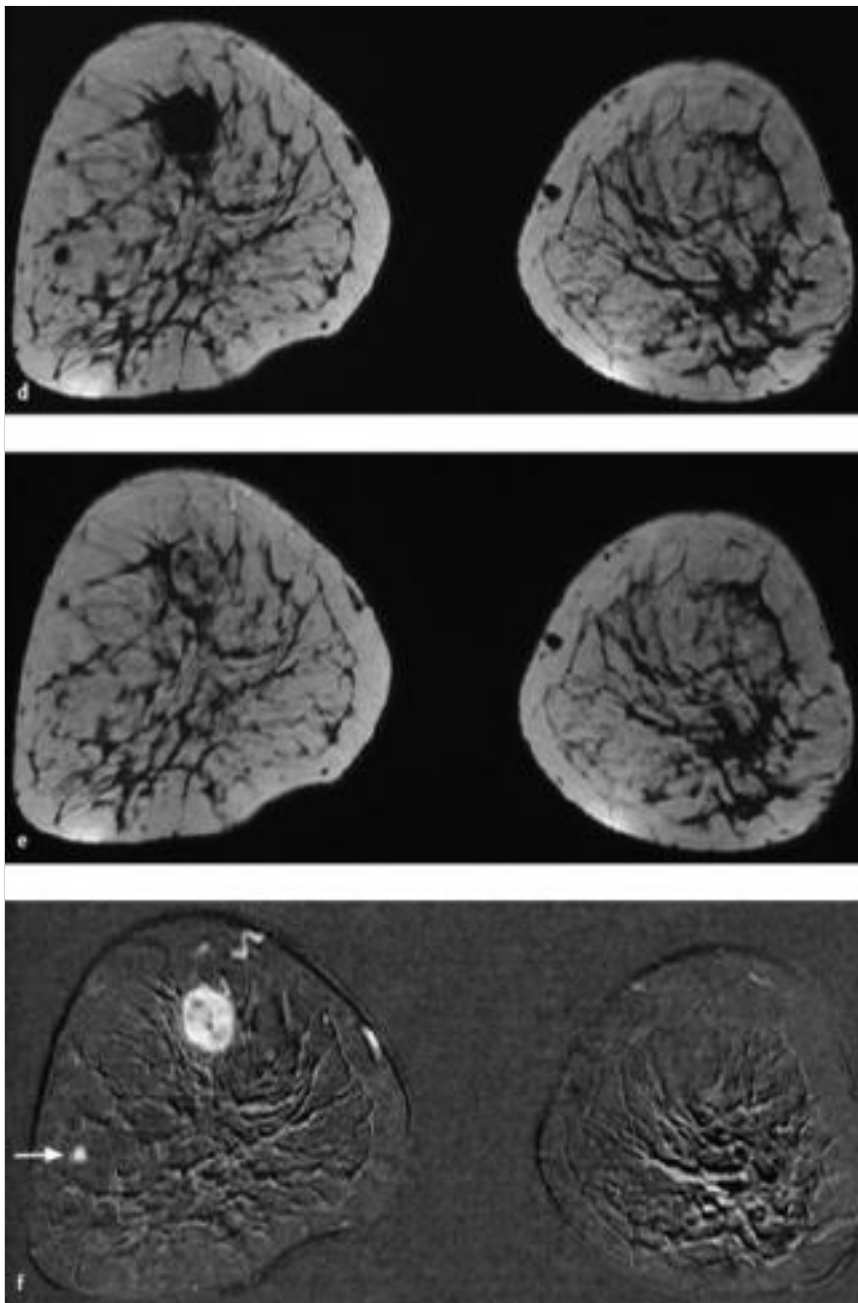


Abb. 5.3 Fortsetzung; Erscheinungsformen des invasiven Mammakarzinoms.

- d** Weiteres invasives duktales Mammakarzinom. Präkontrastaufnahme: Die Läsion zeigt sich als unscharf begrenzter Herdbefund.
- e** Postkontrastaufnahme: inhomogenes Anreicherungsmuster und Auswaschkurve.
- f** Subtraktionsaufnahme: Der kleine Fokus lateral (Pfeil) stellte sich als ein kleiner Fokus eines DCIS heraus von intermediärem Grading.

Fortsetzung ►

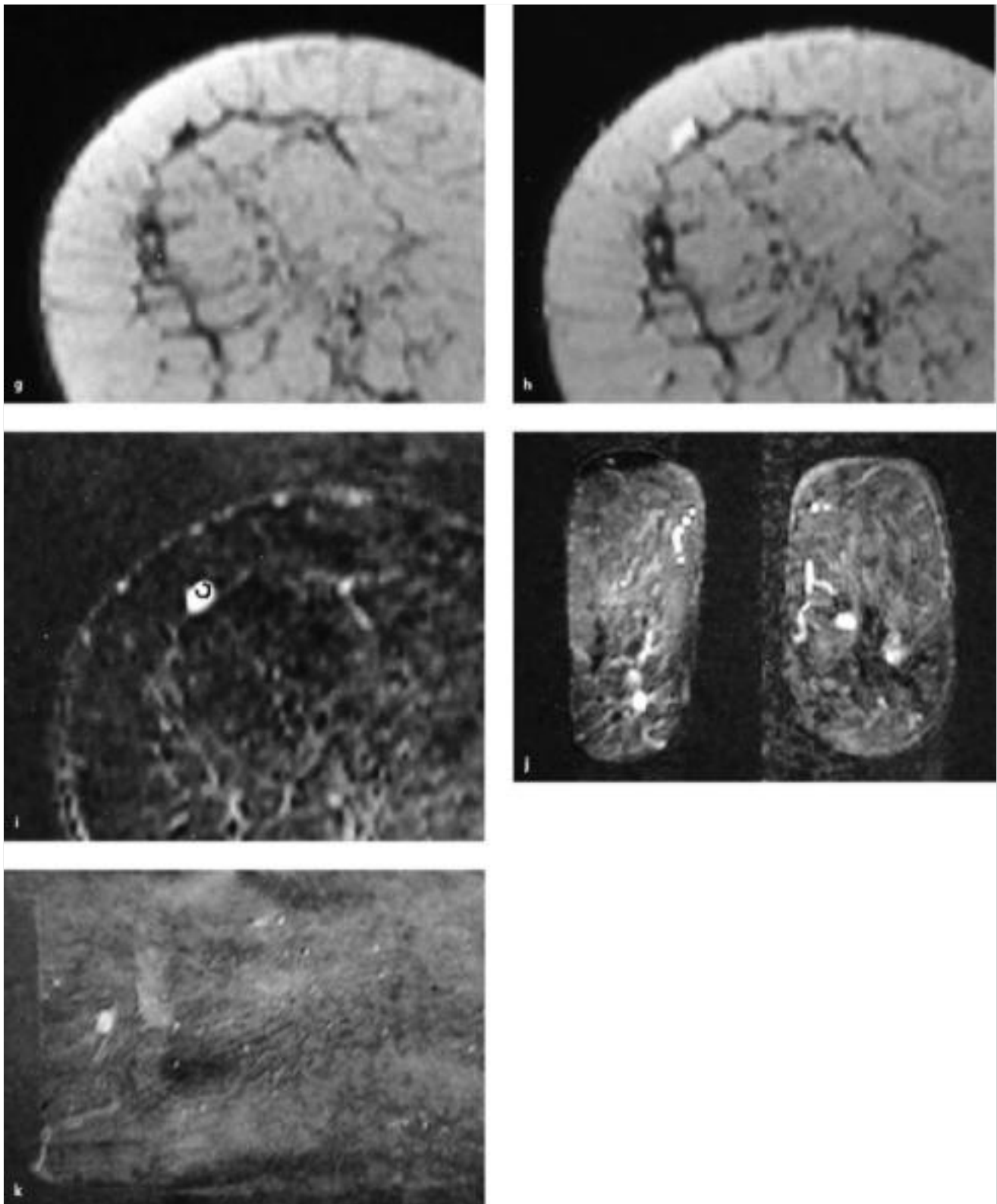


Abb. 5.3 Fortsetzung; Erscheinungsformen des invasiven Mammakarzinoms.

- g** Dieser ovale Herdbefund scheint relativ glatt begrenzt.
- h** Eine leichte Unregelmäßigkeit lässt sich bei der Aufnahme nach Kontrast vermuten.
- i** Die Läsion, die progressives Enhancement zeigte, stellte sich als ein 5 mm messendes, invasives duktales Karzinom heraus.
- j** Vier ovale Herdbefunde sind abgebildet (einige nur teilweise abgebildet in der Schnittebene) bei einer jungen Patientin mit BRCA1-Mutation. Alle Herdbefunde zeigten ein Anreicherungsmuster vom Plateautyp, kein Washout, kein Randenhancement. Der Pfeil zeigt auf einen Herd, der sich als medulläres Karzinom (G3) erwies. Bei den anderen Herdbefunden handelte es sich um Fibroadenome. Glatt begrenzte maligne Befunde finden sich gewöhnlich in weniger als 5 % der Fälle. Bei Mutationsträgerinnen jedoch sind ovale und relativ glatt begrenzte Karzinome ein sehr häufiger Befund.
- k** Glatt begrenzter maligner Befund. Auch wenn dieses invasive duktales Karzinom im Prolongement axillaire liegt, sollte es nicht mit einem axillären Lymphknoten verwechselt werden. Auf der Basis seiner Morphologie sollte es ebenfalls nicht mit einem Fibroadenom verwechselt werden (die hypointense Struktur zentral entspricht einer zentralen Fibrose, nicht einem Septum). Dieser Befund wurde erkannt wegen seines frühen Enhancements und des Washouts.

Fortsetzung ►

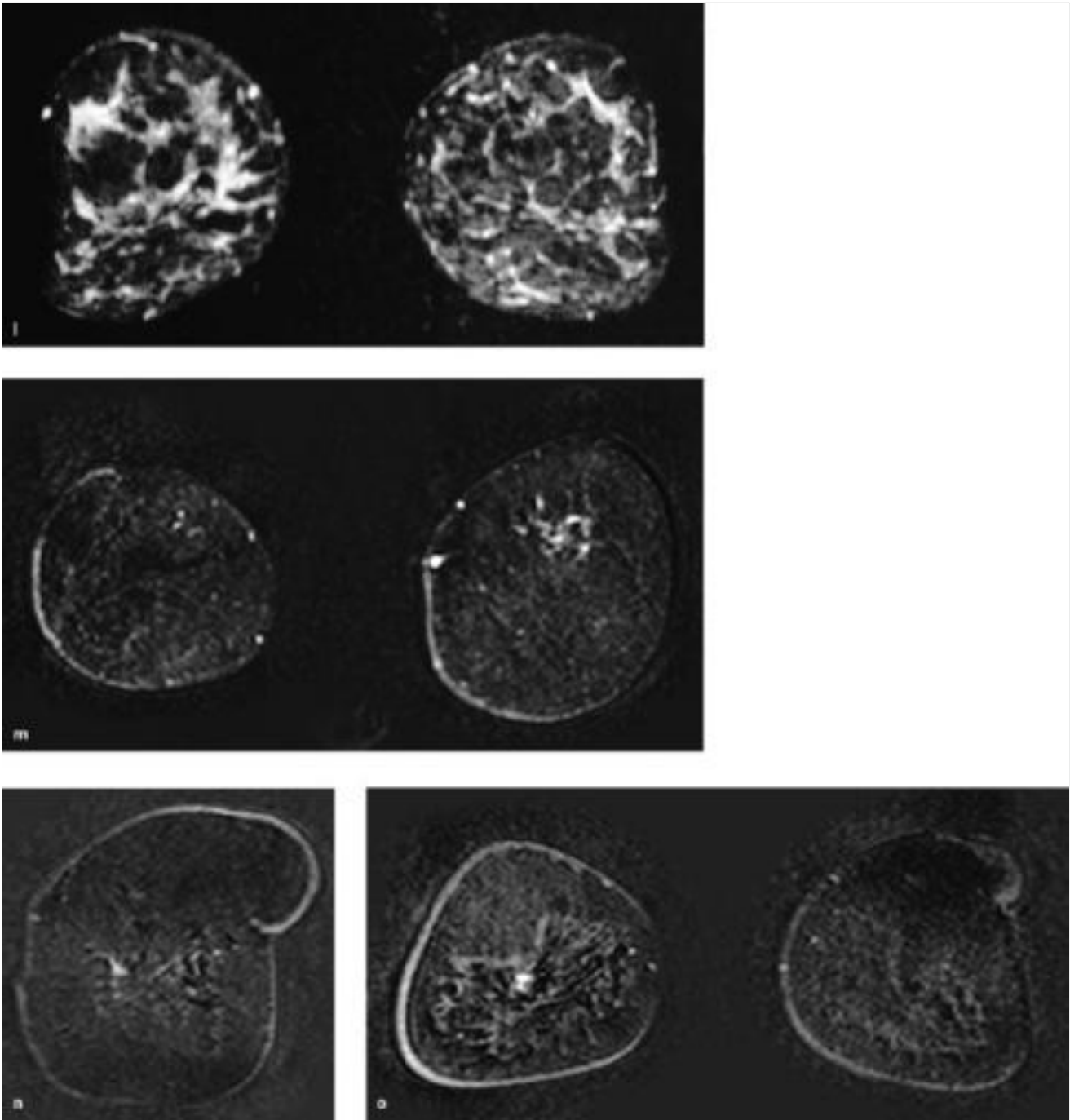


Abb. 5.3 Fortsetzung; Erscheinungsformen des invasiven Mammakarzinoms.

- l** Diffus wachsende Karzinome können schwierig zu entdecken und abzugrenzen sein. Außerdem kann ein diffuses Enhancement des umgebenden Gewebes Malignität verdecken. Diese Patientin, die unter Hormontherapie stand, stellte sich mit einem 4 cm messenden verhärteten Bereich in ihrer rechten Brust medial vor. Die Enhancement-Kurven von verschiedenen Arealen in der rechten und linken Brust zeigten Anreicherungskurven vom progressiven bis zum Plateautyp. Histologisch ergab sich (bei der von der Patientin explizit gewünschten bilateralen Mastektomie) ein T2-infiltrierendes lobuläres Mammakarzinom in der rechten Brust medial, keine Malignität lateral oder in der linken Brust.
- m** Dieses Mammakarzinom stellte sich dar als ein Areal vom duktalem Anreicherungsmodus mit dendritischer Verteilung innerhalb eines asymmetrischen Areals von etwa 2 mm. Dieses Muster könnte mit vaskulärem Enhancement verwechselt werden. Die anreichernden duktalem Strukturen erwiesen sich histologisch als ein DCIS Grad 3, welches einen kleinen Fokus eines invasiven Mammakarzinoms G3 enthielt.
- n** Bei dieser Patientin war der einzige Hinweis auf dieses kleine Karzinom eine kleine duktalem Anreicherung. Auch wenn die Morphologie dieser Läsion ein duktales Karzinom oder DCIS vermuten ließ, entsprach sie einem kleinen, invasiven lobulären Mammakarzinom (pT1b).
- o** Kleines noduläres, eventuell auch duktales Enhancement bei einer Patientin mit intermediärem Brustkrebsrisiko (Familienanamnese). Eine MRT-gesteuerte Vakuumbiopsie (VB) wurde durchgeführt, da bei der Patientin ein geschwollener Lymphknoten vorlag, welcher auch gutartig sein konnte. Histologisch ergab sich bei der MR-VB und der folgenden Operation ein invasives lobuläres Mammakarzinom (ILC) mit einem letztlich unerwarteten Ausmaß von 5 cm. Größere Anteile dieses lobulären Karzinoms bestanden aus Fibrose, welche eine kleine Anzahl von für ein ILC typischen Zellen enthielt. Diese Histopathologie erklärt den geringen Anreicherungsgrad innerhalb des großen Areals.