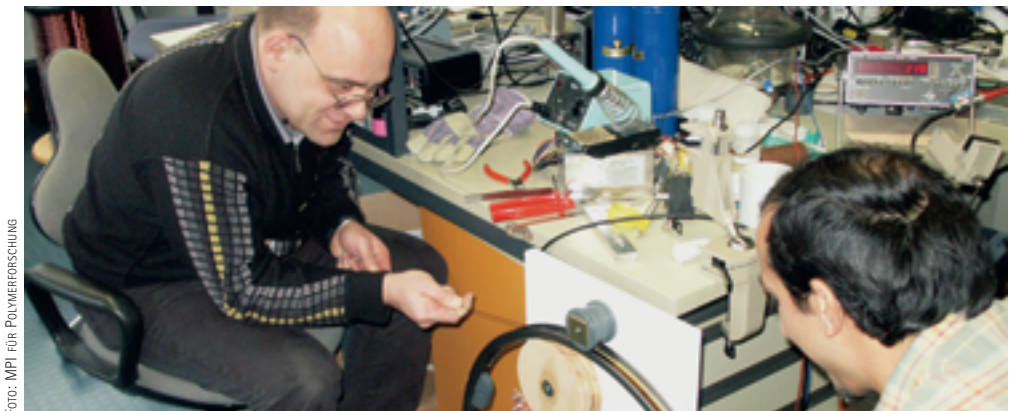


# Mit magnetischen Gasen zur gläsernen Lunge

Die Lunge ist ein signalfreier Raum und ließ sich mit Röntgenstrahlen oder Kernmagnetischer Resonanztomografie (MRT) bis vor kurzem nur unbefriedigend abbilden. Selbst die für weiche Gewebe prädestinierte MRT-Methode ist zu unempfindlich. Abhilfe schafft das Einatmen von Edelisotopen als „Kontrastmittel“. An diesem Verfahren arbeiten Forscher um **PETER BLÜMLER** aus der Arbeitsgruppe um Direktor **HANS WOLFGANG SPIESS** vom **MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR POLYMERFORSCHUNG** in Mainz.

Atmen Sie mal tief ein“, sagt der Arzt. Der Patient nimmt die Arme zurück und füllt seine Lungen, so gut es geht. Der Mediziner beugt sich vor, hört mit seinem Stethoskop die Atemgeräusche ab, trommelt mit den Fingern auf den Rücken des Kranken und lauscht dem Echo der Schläge. So fängt es meistens an, wenn ein Patient mit Atemproblemen zu seinem Hausarzt kommt: Die Untersuchungstechnik ist zunächst Handarbeit – und die Diagnose beruht auf einem erfahrenen Gehör.

Und dann? Bei ernsten Erkrankungen anderer Organe als der Lunge geht es im Zweifelsfall weiter in Richtung Hightech-Maschinenpark. Die verhärtete Leber etwa offenbart auf dem 3D-Röntgenbild ihr Geheimnis; und der Hirntumor, der die bohrenden Kopfschmerzen auslöste, erscheint deutlich auf dem Bildschirm des Kernspintomografen. Seit der Entdeckung der Röntgenstrahlen



Weiß sich zu helfen: Peter Blmler (links), assistiert von Rodolfo Acosta, wickelt Draht auf Fahrradfelgen, die dann als Magnetspulen dienen.

vor mehr als 100 Jahren haben Mediziner in Zusammenarbeit mit Physikern die Möglichkeiten bildgebender Verfahren ständig erweitert.

„Tatsächlich lässt sich heute fast in jedes Organ blicken, ohne wie früher erst das Skalpell zcken zu müssen“, sagt Peter Blmler aus der Arbeitsgruppe um Hans Wolfgang Spiess vom Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz. „Einzig die Lunge macht eine Ausnahme. Sie erscheint bei den meisten modernen Abbildungstechniken als weitgehend signalfreier Raum.“ Der Grund:

Das Lungengewebe mit seinen extrem feinen Verästelungen bis hinein in die Lungenbläschen, die Alveolen, ist zu luftig, um mit den üblichen Verfahren erfasst werden zu können.

So sind Röntgenstrahlen eher auf die Darstellung von Gewebetypen spezialisiert, die (wie etwa Knochen) kurzwellige elektromagnetische Wellen stark absorbieren; sie dringen deshalb durch die Lunge wie das Licht einer Taschenlampe durch Wasser. Und Kernspintomografen, an sich Weichteilspezialisten, sind auf die Detektion von Wasserstoffato-

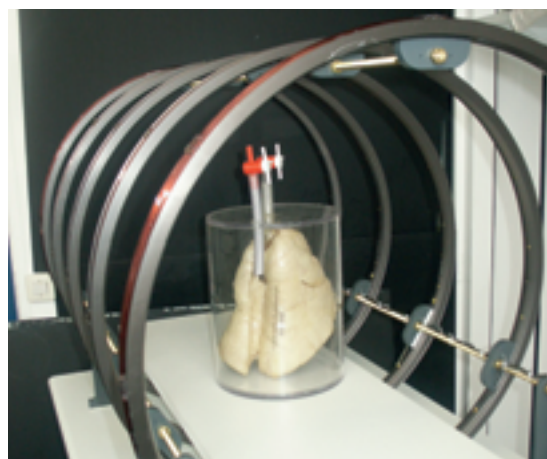


FOTO: MPI FÜR POLYMERFORSCHUNG

Damit die Spins des hyperpolarisierten Gases orientiert bleiben, müssen die in Mainz erzeugten magnetischen Helium- und Xenon-Proben stets in einem homogenen Magnetfeld aufbewahrt werden. Zu Demonstrationszwecken steht in dem Magnetfeld eine präparierte Schweinelunge.

men ausgelegt, die im Körper in Hülle und Fülle vorhanden sind – doch leider nicht in dem Gas, das die Lunge ausfüllt.

Wer bislang halbwegs brauchbare Bilder dieses Atemorgans erhalten wollte, musste deshalb seine Patienten radioaktive Gase einatmen lassen und die „fluffigen“ Lungenflügel per Szintigrafie sichtbar machen: in nur grober Auflösung, die dem Arzt eine genaue Diagnose erschwerte. Dass die Kernspin- oder MR-Tomografie an der Darstellung der Lunge scheitert, hängt mit dem physikalischen Effekt zusammen, auf dem diese Technik fußt. „Für Magnetresonanz-Aufnahmen wird registriert, wie viel Energie erforderlich ist, um die Orientierung des magnetischen Spins von Atomkernen in einem äußeren Magnetfeld zu ändern“, sagt Blümmler. „Und diese Energie ist äußerst gering – selbst dann, wenn das angelegte Feld etliche 1000-mal stärker ist als das der Erde.“

Halbwegs bildlich kann man sich Materie, die magnetische Atomkerne enthält, als ein Volumen voller winziger Kreisel vorstellen, die alle um eine eigene Achse rotieren. Allerdings rotieren hier nicht die Kerne selbst, sondern ihr „magnetisches Moment“ – quasi in die Atome eingebaute Elementarmagnete. Diese magnetischen Kreisel besitzen eine

besondere Eigenschaft: Werden sie in ein starkes Magnetfeld gebracht, muss ihre Rotationsachse, der Spin, zur Richtung dieses äußeren Felds aus quantenmechanischen Gründen einen gewissen Winkel einnehmen.

Dabei aber, und darauf kommt es an, drehen sich normalerweise etwas mehr als die Hälfte der Kreisel rechts um diese Achse, etwas weniger aber links herum. Denn eine der beiden Ausrichtungen ist im Magnetfeld mit mehr Aufwand verbunden, da rotierende Ladungen ihrerseits ein Magnetfeld erzeugen, das sich mit dem äußeren reiben kann.

Bestrahlt man diese atomaren Kreisel mit Energie, etwa mit Radiowellen, lässt sich einiges über die magnetischen Kerne herausfinden. Denn die Radiowellen werden nur dann absorbiert, wenn ihre Frequenz – und damit ihre Energie – genau der Energie entspricht, die ein rechts drehender Kreisel braucht, um die „anstrengendere“ Drehrichtung einzuschlagen. Diese Energie hängt jedoch sehr empfindlich von der Umgebung der Kerne ab: Werden sie durch viele Elektronen abgeschirmt, braucht es mehr als wenn sie nahezu „nackt“ sind. Je mehr Elektronen einen Kern umgeben, desto schwieriger ist es, ihn in seinem Drehsinn zu beeinflussen.

### MINIKREISEL GERATEN AUS DEM TAKT

Nun verharren die umgeklappten Kreisel nicht endlos in ihrem neuen Zustand, sondern kehren bald von dem erzwungenen wieder in ihren ursprünglichen zurück. Dabei geben sie die vorher absorbierte, jetzt aber überschüssige Energie in Form von Radiosignalen ab – und diese Signale lassen sich auffangen und liefern ein sehr genaues Bild von dem Molekül, in dem die Kerne stecken.

Die Kernspintechnik vermittelt aber noch mehr Informationen. Ein Beispiel: Nach dem Einstrahlen eines kurzen Energiepulses beginnen die Spins der magnetischen Momente der Atomkerne im Gleichtakt um die Magnetfeldachse zu kreisen. Auch dies registriert das Messgerät. Nach

einer Weile geht dieser Gleichtakt jedoch wieder verloren: Sobald einer der Atomkreisel in die Nähe des Magnetfelds eines anderen Atomkerns gerät, schert er aus dem Ensemble aus. Aus der Zeit, die verstreicht, bis die letzten Minikreisel aus ihrem Gleichschritt gekommen sind – der so genannten Relaxationszeit –, lässt sich dann ermitteln, wie oft die Moleküle in der Probe mit anderen zusammenprallen, das heißt, wie schnell sie sich durch den Raum bewegen.

Um zu Bildern aus dem Körper zu gelangen, genügt es aber nicht zu wissen, welche Kerne darin kreisen. Entscheidend sind vielmehr Informationen über deren räumliche Lage. Dabei genügt es für medizinische Fragestellungen, sich auf Wasser zu konzentrieren, das mit etwa 70 Prozent den häufigsten chemischen Bestandteil aller höheren Lebewesen ausmacht. Und weil Wasser in den verschiedenen Geweben in wechselnden Konzentrationen vorliegt, reicht es aus, nur die Intensität seines spezifischen Kernspinsignals zu messen, um etwa Blut von Hirngewebe zu unterscheiden.

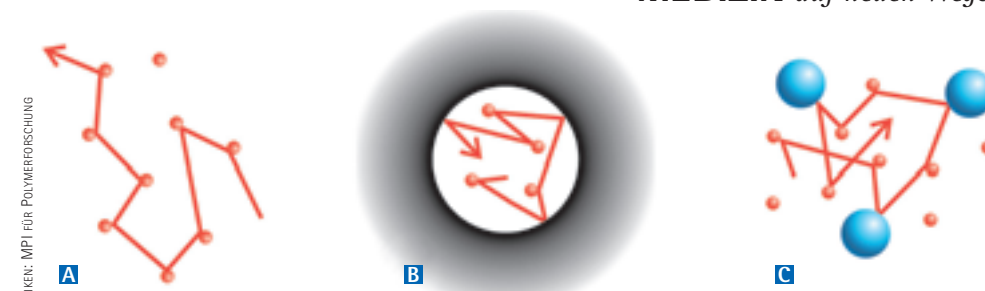
Um über das Signal des in Wasser gebundenen Wasserstoffs zu den bekannten Schichtbildern zu kommen, wird ein Magnetfeldgradient über die zu untersuchende Probe gelegt: ein Magnetfeld, dessen Stärke von einer

Seite des Patienten zur anderen anwächst. Das weist jedem Wasserstoffatom eine individuelle Adresse zu – denn das Gradientenfeld addiert sich zum Hauptfeld und beeinflusst damit geringfügig die Energie, die man den Kernen an ihren jeweiligen Positionen zuführen muss, um ihren Spin zu ändern: So lässt sich aus den Radioechos, also aus der Frequenz des Antwortsignals der Kerne, direkt deren Ort ablesen und auf einem Bildschirm darstellen.

Die eigentliche Herausforderung bei dieser Technik liegt allerdings im so genannten Besetzungsunterschied der Spinpopulationen. Hinter diesem physikalischen Begriff verbirgt sich die Tatsache, dass sich nach Einstrahlung eines Energieimpulses mehr Kreisel links- als rechts herum drehen. Dieser Unterschied ist aber in der Regel sehr gering: Bei Raumtemperatur schlägt sich von einer Million Atomkernen lediglich einer zusätzlich auf die anders drehende Seite. Das genügt zwar, um über dieses schwache Signal ins Innere von Festkörpern und Flüssigkeiten zu blicken. Doch nicht so bei Gasen: Deren geringe Dichte reicht nicht, um ein deutliches und damit verwertbares Signal zu liefern.

Eine Lösung dieses Problems bieten vorpolarisierte Gase, bei denen die Spins der Atomkerne durch einen physikalischen Trick bereits zu einem großen Teil parallel orientiert sind. Gase mit einem solch exotischen Spinzustand könnten die Lungen diagnostik revolutionieren. „Eine Methode, derart hyperpolarisierte Gase zu erhalten, besteht darin, sie mit zirkular polarisiertem Laserlicht zu bestrahlen“, sagt Blümmler. „Wird dieses Licht von einem Atom absorbiert, überträgt sich schließlich auch sein Drehimpuls – und weil Atome rotationsymmetrisch sind, kann dieser Drehimpuls nur vom Spin des magnetischen Moments übernommen werden.“ Kurz: Die Atome in der Probe bekommen alle einen gleichgerichteten magnetischen Spin verpasst.“

Eines der wenigen Gase, die sich für diesen Trick eignen, ist Xenon.



Gas statt Käfig: Ebenso wie die Wände der mikroskopisch kleinen Pore (B) eines porösen Werkstoffs schränken schwere Gasatome (C), die dem Helium zugegeben werden, dessen ansonsten freie Beweglichkeit (A) ein. Das ist wichtig, denn nur Kerne, die ihre Position während des NMR-Experiments nicht zu stark verändern, tragen zum Bild bei.

Allerdings tritt hier bei der Laserpolarisation das Problem auf, dass Xenon zwar ein magnetisches Moment aufweist, dass es aber in einem weiten Spektralbereich farblos ist: Weder mit sichtbarem, noch mit ultraviolett oder infrarotem Licht lässt sich diesem Element der gewünschte Spin aufdrücken.

Über diese Hürde können jedoch andere Atome als Vermittler hinweg helfen – zum Beispiel Rubidiumatome: „Verdampft man Rubidium in einer Zelle, in der sich auch Xenon befindet, absorbiert das Metall das polarisierte Licht und gibt dann den Drehimpuls an das Xenon weiter“, erklärt Jörg Schmiedeskamp, der vor kurzem von der Mainzer Universität ans Max-Planck-Institut für Polymerforschung gewechselt ist.

### MAGNETISCHES XENON GEHT AUF REISEN

Was dann passiert, grenzt an moderne Hexerei: Das Xenon wird magnetisch. „Zwar nicht so, dass man mit einem außen angelegten Magneten ein Vakuum erzeugen könnte“, sagt Schmiedeskamp, „aber der Magnetismus lässt sich durchaus nachweisen.“ Die Atome dieses magnetisierten Gases behalten ihren Spin erstaunlich lange bei – sofern sie sich in einem homogenen Magnetfeld befinden und keinen Anlass bekommen, ihn mit anderen Materialien auszutauschen: Wer das beachtet, kann hyperpolarisierte Gase durchaus auf Reisen und also auch in Patientenlungen schicken.

Der Effekt, den eingetmetes Xenon auf die MR-Bilder ausübt, ist geradezu dramatisch: „Damit war es

vor rund zehn Jahren zum ersten Mal möglich, relativ gut aufgelöste räumliche Aufnahmen von der Lunge zu erhalten“, berichtet Schmiedeskamp – wenngleich mit einer gewissen Einschränkung: „Xenon geht in die Blutbahn und eignet sich damit vor allem für die Darstellung des Gasaustauschs an den Wänden der Alveolen. Für die Abbildung des Lungenvolumens und zur Beobachtung von Atemvorgängen ist es leider noch nicht optimal.“

Die Lösung für dieses Problem kam vom physikalischen Institut der Universität Mainz. Dort setzt die Arbeitsgruppe um Ernst Wilhelm Otten und Werner Heil auf ein anderes Edelgas: auf Helium, das eine weit aus geringere Neigung besitzt, in die Blutbahn überzugehen.

Denn auch <sup>3</sup>He hat – anders als das natürliche Isotop <sup>4</sup>He – wie Xenon einen magnetischen Kernspin. Eigentlich wurde dieses Isotop, das in der Natur nicht vorkommt, sondern nur bei kerntechnischen Produktionsprozessen in geringen Mengen anfällt, für physikalische Grundlagenexperimente benötigt: Im Teilchenbeschleuniger lässt sich mit polarisiertem Helium zum Beispiel die Ladungsverteilung im Neutron erforschen. Als die Mainzer Physiker von der Kernspintomografie mit spinpolarisiertem Xenon hörten, überlegten sie, ob nicht auch Helium für diese Anwendung geeignet wäre.

Nach einem ersten Kontakt zwischen den Medizinern der Universitätskliniken Mainz und Heidelberg sowie den Mainzer Physikern im Jahr 1996 wurde die Bildgebung mit polarisiertem <sup>3</sup>He in den Arbeits-

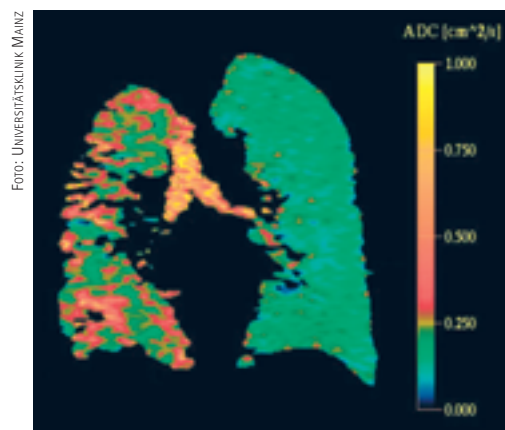


FOTO: UNIVERSITÄT MAINZ

Mit der Kernspinmethode lässt sich auch der Diffusionskoeffizient von Gasen messen, also im Prinzip die Beweglichkeit ihrer Atome. Diese ist im Lungenflügel eines Patienten mit krankhaft vergrößerten Alveolen deutlich erhöht; der rechte Lungenflügel wurde implantiert.

gruppen um Manfred Thelen, Hans-Ulrich Kauczor und Wolfgang Schreiber an der Uniklinik Mainz systematisch weiter entwickelt.

„Uns kam hier die traditionell enge Verzahnung zwischen der Mainzer Physik und dem Max-Planck-Institut zugute“, sagt Peter Blümner. Inzwischen hat sich aus der Idee eine eigene DFG-Forschergruppe entwickelt, in die das Mainzer Max-Planck-Institut für Polymerforschung neben dem Know-how in Sachen Kernspin auch eine großzügige Anschubfinanzierung aus privaten Mitteln der Max-Planck-Gesellschaft eingebracht hat.

Der Aufwand, das leichte Edelgas Helium zu polarisieren, ist nur geringfügig höher als bei der Rubidium-Methode: Helium lässt sich per Gasentladung direkt in einen angeregten Zustand bringen, in dem es polarisiertes Laserlicht absorbiert – ohne Vermittlung durch andere Atome. Nach dieser Behandlung bleiben die Spins der magnetischen Momente seiner Kerne polarisiert, und nach 30 Sekunden Laserbestrahlung weisen bereits rund 90 Prozent der Spins in dieselbe Richtung.

Eine der Schwierigkeiten liegt darin, dass die Gasentladung – im Prinzip der Prozess, der Leuchtstoffröhren glimmen lässt – nur bei geringen Heliumdrücken um ein Millibar in Gang kommt. Also muss man das polarisierte Gas verdichten, ehe man es den Patienten einatmen lässt. Technisch ist das Komprimieren kein Problem; aufwändiger war es jedoch, Materialien zu finden, welche die Hyperpolarisierung nicht gleich wieder

zunichte machen. Heute kann man in Mainz pro Stunde rund drei Standardliter  $^3\text{He}$  mit einer Polarisation von mehr als 60 Prozent produzieren – genug für etwa zehn Atemzüge.

Reicht es tatsächlich, dieses Spezialhelium einzuatmen, um ein kontrastreiches Bild des Lungenvolumens im Kernspintomografen zu gewinnen? „Im Prinzip ja“, sagt Jörg Schmiedeskamp: „Mit einem Polarisationsgrad von bis zu 85 Prozent erreichen wir einen Signalgewinn von fünf Größenordnungen. Damit kompensieren wir die geringere Dichte von Gasen gegenüber Flüssigkeiten bei weitem.“

### FLINKE GASE BEREITEN PROBLEME

Dennoch waren auch die Bilder, die mithilfe dieser Gase gewonnen werden konnten, zunächst noch nicht so gut wie erhofft. Grund: die hohe Beweglichkeit von Gasen in einem großen Hohlraum wie der Lunge. Denn Gasatome sausen normalerweise mit einem Tempo von einem Kilometer pro Sekunde durch den Raum. Auch wenn die Aufnahme eines einzigen MRT-Schnittbilds nur ein bis zwei Millisekunden braucht – am Ende dieser Zeit sind die Gasatome nicht mehr da, wo sie zu Beginn waren. Dadurch können sie nicht optimal zum Signal beitragen. Dieser Effekt hebt einen guten Teil des Vorteils auf, den der dramatisch bessere Besetzungsunterschied bedeutet. Und er wirkt sich bei dem leichten, agilen Helium noch deutlicher aus als bei dem vergleichsweise schweren und somit trägeren Xenon.

Im Bestreben, das fixe Gas „an die Leine zu legen“, um es mit dem MR-Tomografen besser im Auge zu behalten, griffen die Mainzer Max-Planck-Forscher schließlich auf Erfahrungen aus einem ganz anderen Gebiet zurück: aus der Untersuchung mikroporöser Festkörper. „In engen Poren,

zum Beispiel innerhalb eines Molekularsiebs, stoßen selbst bewegliche Gase immer wieder an die Wände – und deshalb bleiben ihre Atome auf relativ übersichtliche Raumbereiche konzentriert“, erklärt dazu Blümner. „Und das ist genau das, was wir brauchen, denn so lassen sich die Gasatome durch die MRT-Technik doch noch erfassen.“

Nun kann man einen Lungenpatienten nicht ein Molekularsieb-Aerosol mit „eingepackten“ Heliumatomen einatmen lassen. Die Lösung, die sich die Mainzer Wissenschaftler einfallen ließen, ist um einiges pfiffiger: Um Helium wie in einer kleinen Feststoffpore zu bändigen, genügt es, dieses schnelle Gas mit einem anderen, schwereren zu verdünnen. „Das hat zur Folge, dass die hoch beweglichen Teilchen immer wieder mit den langsamen, großen Molekülen zusammenstoßen – und dadurch wird die Beweglichkeit des Heliums eingeschränkt“, sagt Schmiedeskamp.

So bremst Schwefelhexafluorid, ein ungiftiges Gas, das auch schon mal für die Füllung von Formel-1-Reifen verwendet wurde, die Beweglichkeit der Heliumatome so beträchtlich, dass sich Lungen nun in einer bisher nicht gekannten Detailschärfe abbilden lassen. Es klingt paradox, aber dank dieses Tricks kann weniger signalgebendes Gas zu einem schärferen Bild führen.

Diese Verdünnungsmethode macht die Lungendiagnose aber nicht nur besser und billiger: Sie macht zudem aus der Not eine Tugend. Denn die freie Weglänge der Heliumteilchen lässt sich durch das Maß der Verdünnung und die Wahl des Zweitgases in weiten Bereichen modulieren, und damit erhält der Mediziner ein weiteres Stellrad, das er nutzen kann, um sich ein genaues Bild vom Inneren der Lunge zu verschaffen.

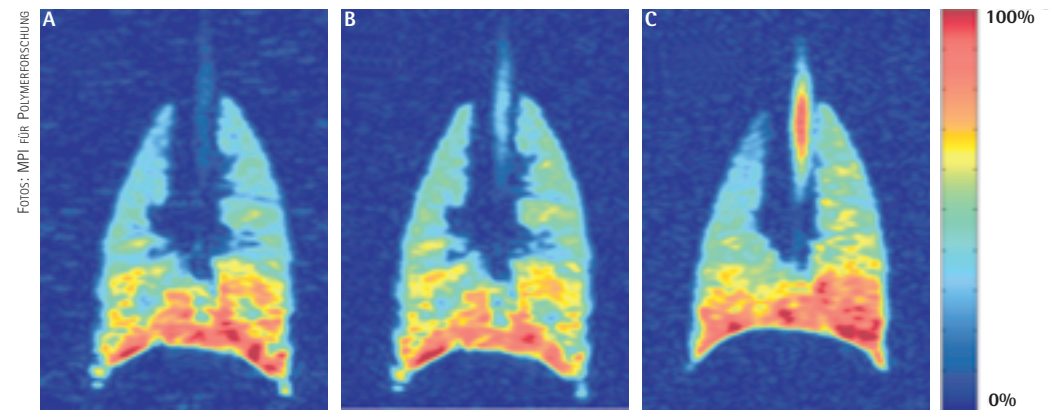
Verdünnt man  $^3\text{He}$  lediglich mit  $^4\text{He}$ , treten in der Aufnahme vor allem die feinsten Verästelungen der Lunge deutlich hervor – denn die Beweglichkeit der Atome ist nur in den winzigen Lungenbläschen so weit eingeschränkt, dass sie der

Kernspintomograf erfasst. Spült man dagegen  $^3\text{He}$  in eine Lunge, die zuvor mit Schwefelhexafluorid gefüllt wurde, zeichnen sich auch die Bronchien und die Luftröhre klar ab; hier wirkt sich die durch die schweren Puffergase eingeschränkte Beweglichkeit des Heliums am deutlichsten aus, sind also die Heliumatome im Gaskäfig ähnlich gehandicapt wie in den feinen Alveolen. Ein Quotientenbild liefert dann ein genaues Abbild der Bronchien und der Luftröhre – ohne Lungenbläschen.

„Noch mehr Informationen erhält man, wenn man nicht die Resonanz der Heliumkerne, sondern in einem komplizierteren MRT-Experiment ihr Relaxationsverhalten misst und damit Rückschlüsse auf Diffusionskoeffizienten in der Lunge zieht“, erläutert Blümner. Das lässt sich zum Beispiel nutzen, um Lungenemphyse erstmals direkt sichtbar zu machen: Bei dieser Erkrankung sind die Alveolen stark vergrößert; deshalb treten die erkrankten Bereiche in einer MRT-Aufnahme, die die Beweglichkeit des hyperpolarisierten Gases farbcodiert wiedergibt, klar hervor.

Damit sind die Möglichkeiten der MR-Tomografie mit hyperpolarisierten Gasen noch lange nicht ausgereizt. Gasgemische, die gerade im Bereich der feinsten Lungenbläschen die kontrastreichsten Bilder ergeben, zeigen intakte Regionen der Lunge auch dann, wenn die Ortsauflösung der Aufnahme weit geringer ist als der Durchmesser der Alveolen – ganz einfach, weil Helium nur in gesunden Teilen der Lunge ein brauchbares MRT-Signal liefert. „Damit ließe sich die Messzeit, etwa für schnelle Screening-Aufnahmen, deutlich verkürzen“, meint Schmiedeskamp.

Abnehmer der Mainzer Spingase sind zurzeit noch Krankenhäuser, die im Rahmen eines entsprechenden EU-Projekts zusammengeschlossen sind: Sheffield, Kopenhagen, Paris und Mainz. Rund 120 Patienten wurden mit der neuen Methode bereits untersucht. Die Förderungsperiode eines von der DFG geförderten Projekts, an dem das Max-Planck-Institut für Po-



$^3\text{He}$  in der Lunge eines Hausschweins, das zuvor mit einem inerten Puffergas beatmet wurde: in A mit  $^4\text{He}$ , in B mit Stickstoff und in C mit Schwefelhexafluorid. Je höher das Molekulargewicht des Puffergases, desto schwächer der strukturelle Kontrast. So wird im rechten Bild auch die Luftröhre sichtbar, die im linken nicht zu erkennen ist, weil sich hier die Heliumatome zu schnell bewegen.

lymerforschung, das Institut für Physik der Universität Mainz sowie verschiedene Arbeitsgruppen der Universitätskliniken Mainz und Heidelberg beteiligt sind, wurde gerade positiv begutachtet. Die Wissenschaftler rechnen daher mit einer Verlängerung der Förderung um weitere drei Jahre.

### DAS GEHIRN ALS NEUES ZIELGEBIET

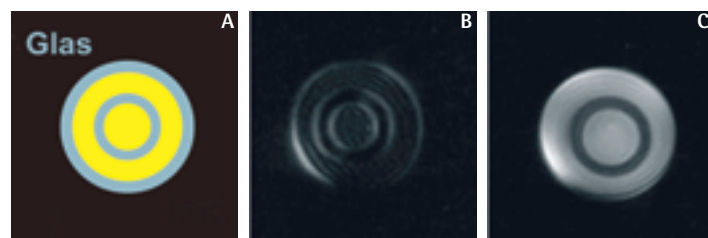
Trotzdem ist die Kernspintomografie mit hyperpolarisierten Gasen immer noch in der Experimentierphase und noch weit davon entfernt, zur gängigen Methode für die Diagnose von Allerwelts-Lungenerkrankungen zu werden. Dennoch blicken Blümner und Schmiedeskamp schon weiter und sehen auch in anderen Organen ein erhebliches Potenzial für ihre Methode – zum Beispiel für die Untersuchung des Gehirns. Denn gängige Kontrastmittel wie Gadoliniumkomplexe bleiben weitgehend in der Blutbahn, in die sie injiziert wurden. „Viel mehr als nur die Blutgefäße lässt sich so nicht darstellen“, meint Peter Blümner.

Weitaus interessanter wäre es, den Weg des Sauerstoffs über das Blut ins Gewebe – und speziell ins Gehirn – zu verfolgen. Das aber ist nicht einfach. Denn die so genannte Blut-Hirn-Schranke ist höchst restriktiv in der Auswahl der Moleküle, die sie aus den Blutgefäßen in unsere Denkstube dringen lässt.

Xenon bildet auch hier eine bemerkenswerte Ausnahme: Dieses Gas geht nicht nur ins Blut, sondern gelangt auf seinem Weg durch den Körper bis ins Gehirn. Dort könnte es also ebenfalls helfen, Kernspinaufnahmen noch aussagekräftiger zu machen. Denn die ausgedehnte Elektronenwolke der Xenonatome wird durch äußere Einflüsse schnell deformiert, und deshalb zeigt dieses Gas je nach Umgebung verschiedene Kernspin-Resonanzsignale – im Blut zum Beispiel gleich drei. Man sieht also sofort, ob mit dem Gas etwas passiert.

Nur: Nach dem Einatmen vergeht zuviel Zeit, ehe das Xenon im Schädel angekommen ist – und durch die vielen Stöße mit den Teilchen im Blut verliert das Gas auf dem langen Weg über Lunge und Herz seine Spinpolarisation viel rascher als in der Lunge. Etwas anderes wäre es, brächte man das Gas direkt in die Nähe des Hirns, etwa über eine Halsarterie. Das ist bisher jedoch daran gescheitert, dass Blut zu stark schäumt, wenn man versucht, Gase einperlen zu lassen.

Doch auch dafür haben die Mainzer Wissenschaftler bereits eine Lösung gefunden: gasdurchlässige, nanoporöse Polymermembranen, wie sie auch für die Dialyse verwendet werden. „Wir haben das versucht, und es hat geklappt – sogar sehr gut“, berichtet Blümner. Womit ein erster, wichtiger Schritt in Richtung Hirn getan wäre. STEFAN ALBUS



Der Verdünnungseffekt wird bereits an einem Glasgefäß (A) deutlich, das einmal nur mit reinem  $^3\text{He}$  (B) und einmal mit verdünntem Gas aufgenommen wird (C). Im mittleren Bild begrenzt nur die Behälterwand die Weglänge des Heliums so weit, dass die Kerne dieses Gases für das bildgebende Verfahren erfassbar werden. Rechts dagegen wird das freie Volumen vollständig abgebildet – mit weitaus geringeren Mengen des signalgebenden Gases.