

Über die Diagnostik hinaus ist die Kombination von anatomischer und funktioneller Bildgebung im Therapiemonitoring essenziell für eine moderne individuell ausgerichtete Tumorthherapie.

„...mehr als die Summe seiner Teile...“

Multimodales Tumorimaging: Kombinierte radiologische und nuklearmedizinische Diagnostik und Therapiesteuerung
Von Hilmar Kühl, Sandra Rosenbaum und Andreas Bockisch

Nach Aristoteles ist „das Ganze mehr als die Summe seiner Teile“. Dieses alte Theorem beschreibt sehr passend den Stellenwert der multimodalen Bildgebung in der Onkologie. Die moderne Onkologie basiert neben den klinischen Parametern, die der Arzt in direktem Patientenkontakt herausfindet und Hilfsparametern wie Laborwerten und biochemischen Markern, in immer stärkerem Maße auf Bildgebungsverfahren. Diese schließen sowohl radiologische Methoden als auch nuklearmedizinische Verfahren ein. Über viele Jahre hinweg hat sich dabei eine stufenweise Diagnostik etabliert, in der mit einfachen Techniken, zum Beispiel Röntgenaufnahmen, begonnen und aufwändigere bezie-

hungsweise teurere Methoden (Computertomographie, CT, oder Magnetresonanztomographie, MRT) nach Bedarf angeschlossen wurden. Das Ziel dieser Stufendiagnostik ist dabei immer die Bestimmung des Schweregrades einer Tumor-erkrankung, charakterisiert durch das Tumorstadium. Hier fließen Charakteristika des primären Malignoms wie Größe, Lage und Einbruch in benachbarte Strukturen, aber auch Anzahl und Position von tumorbefallenen Lymphknoten oder Tumorabsiedlungen (Metastasen) mit ein. Zusammen geben sie das T(umor)N(odus für Lymphknoten)M(etastasen)-Stadium des jeweiligen Tumors an. Diese, ist maßgeblich für eine stadiengerechte Therapie.

Radiologische Bildgebung

Die radiologische Tumordiagnostik umfasst zum einen die klassischen Röntgenaufnahmen, aber auch die Schnittbildgebungsverfahren CT und MRT. Das konventionelle Röntgenbild ist eine Objekt-durchleuchtung in Zentralstrahlprojektion, die ein dreidimensionales Gebilde, zum Beispiel den Brustkorb als Überlagerungsbild darstellt.

Die Computertomographie bildet prinzipiell eine Weiterentwicklung der Röntgenaufnahme. Im CT rotiert eine Röntgenröhre 360° Grad um den Patienten, so dass eine dreidimensionale Erfassung der Röntgenstrahlenabsorption in der Zielregion erfolgt. Die modernen CT-Scanner sind in der Lage, den



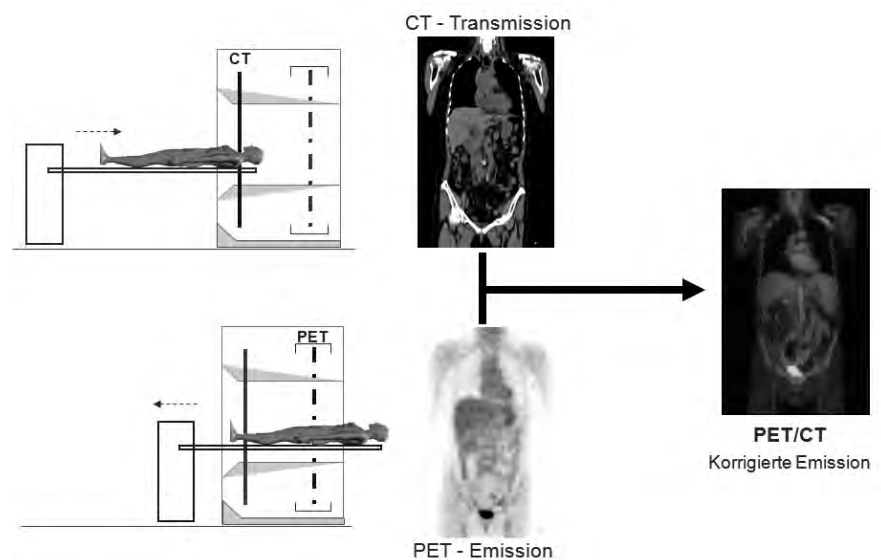
Hilmar Kähl. Foto: Max Greve

gesamten Körperstamm als einen Volumendatensatz zu erfassen. Diese Volumeninformation ist im Vergleich zur Projektionsaufnahme mit einer deutlich höheren Strahlenbelastung verbunden, bietet jedoch die Möglichkeit Rekonstruktionen in allen Raumebenen zu erstellen und dem klinischen Kollegen der Anatomie entsprechende Darstellungen an die Hand zu geben. Verglichen mit Luft (zum Beispiel in der Lunge oder den Nasennebenhöhlen) und Knochen zeigen die Weichteilstrukturen des Bewegungsapparates (insbesondere Muskeln) und die Organe des Bauchraumes eine weitgehend ähnliche Röntgendichte. Um diese besser voneinander differenzieren zu können, werden jodhaltige Kontrastmittel in den Körperkreislauf appliziert, die durch gezielte Änderung der Röntgenabsorption die Bildkontraste im CT erhöhen und damit die Diagnostik verbessern. Die in der aktuellen Gerätegeneration mögliche Erfassung großer Volumen im Sekundenintervall erlaubt zusätzlich zu den anatomischen Informationen erstmals die Bestimmung funktioneller Parameter, etwa der Durchblutung von einzelnen Körperarealen.

In der Magnetresonanztomographie macht man sich eine Eigenschaft der Atomkerne mit ungerader Ordnungszahl zunutze, die Eigenrotation (Spin). Der am häufigsten verfügbare und auch verwendete Atomkern ist der Wasserstoffkern beziehungsweise das Proton, so dass man vereinfacht die MRT als Wassergehaltsmessung im Gewebe ansehen kann. Die unterschiedlichen Eigenschaften der Wasserstoffprotonen in der jeweiligen molekularen Umgebung sind dabei Grundlage für den verglichen mit dem CT überragenden Gewebekontrast im MRT. Anders als im CT sind im MRT verschiedene Gewebeparameter darstellbar, wobei die klassischen T1- und T2-Wichtungen die bekanntesten sind. In der Onkologie gewinnt die MR-Diffusionsbildgebung eine zunehmende Bedeutung. Dabei

wird die diffusionsbedingte Bewegung von Wasserstoffprotonen im Extrazellulärraum gemessen. Diese ist in Tumoren durch die erhöhte Zelldichte, die damit einhergehende Einengung des extrazellulären Raumes sowie die in der Folge eingeschränkte freie Wasserdiffusion vermindert. Bei Unterdrückung des Hintergrundsignals ergeben sich sehr kontrastreiche Bilddaten, die als 3D-Datensätze einen raschen Überblick über die Ausbreitungssituation der Tumorerkrankung erlauben.

natürlich vorkommenden Molekülen entsprechen, von analogen Tracern. Der bekannteste identische Tracer ist die mit 18-Fluor markierte Glukose (Fluordesoxyglucose FDG), der am häufigsten verwendete PET-Tracer. FDG wird in vitale Zellen aufgenommen und ist damit ein Marker für den zellulären Stoffwechsel, der typischerweise in malignen Tumoren (aber auch Entzündungen) deutlich vermehrt ist. Im Gegensatz zu den identischen Tracern unterscheiden sich die Analogtracer von den



(1) Prinzip der PET/CT-Schwächungskorrektur.

Quelle: angelehnt an: Townsend DW, Beyer T: A combined PET/CT scanner: the path to true image fusion. Br J Radiol. 2002; 75 Spec No: 4–30

Nuklearmedizinische Bildgebung

Das grundlegende Prinzip der nuklearmedizinischen Diagnostik beruht auf der Verwendung so genannter Tracer. Das sind Moleküle, die zur Detektion radioaktiv markiert wurden und genau wie ein körpereigener Stoff am Stoffwechsel teilnehmen. Damit ist die nuklearmedizinische Diagnostik stets eine Funktionsdiagnostik, bei der die Aktivität biologischer Parameter visualisiert wird. Ziel ist nicht allein der Tumornachweis, sondern auch gleichzeitig die biologische Charakterisierung. Bei den Tracern unterscheidet man identische Tracer, die bis auf das Markierungsisotop den

körpereigenen Stoffen. Sie nehmen aber in sehr ähnlicher Form am Körperstoffwechsel teil. Ein Beispiel für einen Analogtracer sind Technetium-markierte Phosphonate, mit denen üblicherweise die Skelettszintigraphie durchgeführt wird. Die zur Markierung verwendeten Radioisotope (Nuklide) sind durch eine Reihe von spezifischen Eigenschaften charakterisiert. Das Nuklid muss in definierter Form an dem zu untersuchenden Stoffwechsel teilnehmen. Zudem muss es mit vertretbarem Aufwand herstellbar sein, und die emittierte Strahlung muss für den Nachweis mit den verfügbaren bildgebenden Detektoren geeignet sein. Die Lebensdauer des Markie-

rungsnuklids muss zur Dynamik des zu untersuchenden Stoffwechselforgangs passen. Nicht zuletzt muss die Strahlenexposition für den Patienten dabei angemessen bleiben.

Ein weiteres Charakteristikum der nuklearmedizinischen Diagnostik besteht in der nicht-invasiven Detektion der von den Radiotracer emittierten Strahlung. Dabei wird zwischen Photonen-emittierenden Tracern und Positronen-emittierenden Tracern unterschieden. Erstere werden mit der Gammakamera, die Positronen-Emitter mit der PET (Positronen-Emissions-Tomographie) detektiert. Die PET verwendet insbesondere identische Tracer, da es von den Elementen Kohlenstoff, Stickstoff und Sauerstoff positronenstrahlende Nuklide gibt, aber keine, die für die Gammakamera geeignet wäre.

Die Vorteile der nuklearmedizinischen Diagnostik liegen in der Detektion sehr spezifischer Tumorparameter, bedingt durch die Natur des Tracers. Das gelingt auch dann, wenn der Tumor so klein ist, dass er morphologisch noch nicht erfasst werden kann. Über die Wahl eines geeigneten Tracers können sehr spezifische Gewebeeigenschaften dargestellt werden, die unter Umständen eine eindeutige Tumorcharakterisierung erlauben.

Ein Nachteil der nuklearmedizinischen Verfahren liegt in einer – verglichen mit dem CT – geringeren räumlichen Auflösung und einer unzureichenden Darstellung der Anatomie. Diese ist jedoch bedingt durch die Eigenschaften des Tracers, der einen möglichst hohen Kontrast zwischen physiologischem und pathologischem Stoffwechsel aufweisen soll. Diese Nachteile können durch die Kombination mit einem morphologischen Bildgebungsverfahren, zum Beispiel der Computertomographie, ausgeglichen werden. Der erste Schritt in diese Richtung war das gemeinsame Betrachten von nebeneinander positionierten CT- und PET-Bildern. In einem zweiten Schritt folgte die computerbasierte

Koregistrierung und Bildfusion unabhängig voneinander durchgeführter Untersuchungen.

Fusionsbildgebung

Im Jahre 2001 wurde nach mehrjähriger Entwicklung¹ die feste Kombination eines Positronen-Emissions-Tomographen mit einem Computertomographen (PET/CT) in die klinische Diagnostik eingeführt. Prinzipiell handelt es sich bei der Kombination um eine feste Hardware – Kopplung zweier diagnostischer Geräte, die primär dazu führen soll, die Schnittbilder der Einzelgeräte präzise zu überlagern und so den funktionellen PET-Daten die exakte anatomische Information zuzuordnen. Damit stehen im Gegensatz zur Bildfusion von Einzeluntersuchungen stets fusionierte Bilder über den gesamten Untersuchungsbereich zur Verfügung, nicht nur von einem ausgewählten Bereich des mutmaßlichen Interesses. Ein weiterer Vorteil der PET/CT ist die Verwendung der CT-Daten zur anatomischen Schwächungskorrektur der PET-Daten. In den bisher verwendeten PET-Scannern erfolgte diese durch eine zusätzliche Strahlenexposition mit im Scanner angebrachten 68-Germanium-Quellen, die mit einem zusätzlichen Zeitaufwand zwischen fünf bis 20 Minuten einherging. Damit ist die PET-Diagnostik in einem Kombinationsgerät schneller als in einem alleinigen PET-Scanner. Die Verwendung der CT-basierten Schwächungskorrektur geht allerdings mit möglichen Artefakten einher, die eine Anpassung der jeweiligen Untersuchungsprotokolle von CT und PET und eine entsprechende Schulung der auswertenden Radiologen und Nuklearmediziner erfordern.

In Abhängigkeit von dem Herangehen an die neue Bildgebungsmodalität PET/CT haben sich verschiedene Nutzungsphilosophien ergeben, die auch nach einer Dekade der weltweiten Anwendung noch nebeneinander existieren. So kann

man das PET/CT als qualitativ verbessertes PET auffassen. Dabei wird im Rahmen der PET-CT-Untersuchung lediglich ein Niedrigdosis-CT angefertigt. Der Vorteil des Verfahrens ist seine Einfachheit: das Untersuchungsprotokoll ist ganz auf die PET ausgerichtet. Artefakte im PET-Bereich sind daher nicht oder kaum zu erwarten. Insbesondere werden keine CT-Kontrastmittel verwendet. Eine eigene Indikationsstellung für die CT-Untersuchung ist nicht erforderlich. Nachteilig ist, dass man kein diagnostisches CT erhält. Es ist lediglich eine anatomische Zuordnung zu erwarten, die allerdings nicht immer sicher gelingt.

Die Alternative besteht in einem PET-CT mit einem voll diagnostischen CT, inklusive oral und intravenös gegebenem Kontrastmittel. Dieses Vorgehen hat verschiedene Vorteile: Die beiden hochwertigen PET- und CT-Untersuchungen erfolgen während nur eines Untersuchungstermins. Beide Ergebnisse sind qualitativ hochwertig, was sich auch auf die Koregistrierung auswirkt. Die PET-CT wird als integrale Methode verstanden und genutzt. Der logistische Aufwand ist insgesamt optimiert, da auf ein weiteres diagnostisches CT verzichtet werden kann. Die Kombination von diagnostischem CT und PET bietet zudem den entscheidenden Vorteil, PET-negative Befunde mittels CT nachweisen zu können. Voraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung dieses Modells ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Radiologie und Nuklearmedizin. Die Installation des ersten PET/CTs in Europa am Uniklinikum Essen 2002 war der Beginn einer sehr erfolgreichen Kooperation beider Fächer. Dabei bestand das Ziel von Anfang an darin, ein Maximum an Information und Informationsqualität aus den beiden Einzeluntersuchungen PET und CT zu gewinnen, gemehrt noch um die Zusatzinformationen aus der Koregistrierung^{2,3,4}.

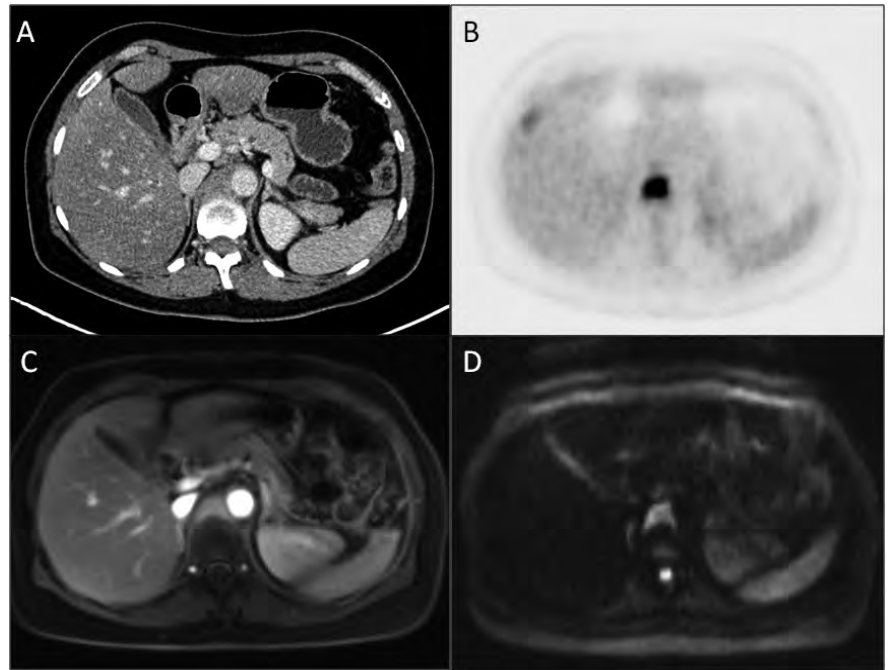
Die verbesserte anatomische Zuordnung der funktionellen Infor-

mation hat in kurzer Zeit zu einer deutlich gesteigerten Akzeptanz der PET in der klinischen Routine und zu einer Ausweitung der PET-Indikationen in der Onkologie geführt. Ein weiteres Indiz für die gewonnene Akzeptanz zeigt sich in der Tatsache, dass inzwischen alle PET-Neubeschaffungen als PET/CT erfolgen.

Multimodale Diagnostik in der Onkologie

Weltweit hat sich die kombinierte Bildgebung mit PET/CT für onkologische Fragestellungen etabliert. Dabei ist der dominierende Tracer das [^{18}F]-FDG, so dass teilweise der Begriff „PET/CT“ als Synonym für FDG-PET/CT verwendet wird. Damit wird man dem Potenzial des PET/CT nicht ganz gerecht, da es bereits eine Anzahl von weiteren Tracern für die onkologische PET-Diagnostik gibt.

In der klinischen Routine hat zum Beispiel das Cholin, markiert mit 18-Fluor oder 11-Kohlenstoff, für die Diagnostik des Prostata-Karzinoms einen hohen Stellenwert. Gerade in der Rezidiv-Situation mit einem Anstieg des Tumormarkers PSA (Prostata-spezifisches Antigen) hat das PET/CT Vorteile gegenüber dem CT in der Detektion von Lymphknotenmetastasen oder kleinen Lokalrezidiven im Becken. Ein weiterer Tracer ist das an den Somatostatinrezeptor bindende Analogon DOTATOC, markiert mit 68-Gallium Dotatoc. Dieses findet Verwendung bei neuroendokrinen Tumoren, zum Beispiel dem Karzinoid. 124-Jod ergänzt die Diagnostik des Schilddrüsenkarzinoms und bietet aufgrund der dem PET gegebenen höheren Ortsauflösung Vorteile gegenüber den klassischen Szintigraphieverfahren. Die letzten beiden Tracer erlauben darüber hinaus eine Dosimetrie, das heißt eine individuell abgestimmte Therapieplanung. Ein relativ neuer Tracer ist das [^{18}F]-Fluorothymidin, ein Marker für die zelluläre Proliferation.



(2) Fallbeispiel: 54-jährige Patientin mit gynäkologischem Tumor (Cervix-Ca). Staging-Untersuchung mit PET/CT und PET/MR. Im CT (A) auffällige Weichteilvermehrung am Zwerchfell, das korrelierende PET aus der PET/CT (B) zeigt eine deutliche pathologische Stoffwechselaktivität in der Läsion. Das MRT zeigt in der kontrastverstärkten Sequenz (C) eine mäßige Anreicherung in der Raumforderung und in der Diffusion (D) ein kräftiges Signal. Damit erfolgt die Diagnose einer Lymphknotenmetastase am Zwerchfell.

Die Akzeptanz des PET/CT in der onkologischen Diagnostik führte auch zur Aufnahme der Fusionsbildgebung in aktuelle Tumorleitlinien. Während in den älteren Versionen, zum Beispiel in der amerikanischen ASCO-Leitlinie von 2005 für das colorektale Karzinom weder PET noch PET/CT erwähnt wurden⁵, besteht für das PET/CT in der aktuellen deutschen S3-Leitlinie von 2008 eine klare Indikation in der präoperativen Abklärung von Lebermetastasen⁶. In der Lungenkrebs-Leitlinie von 2010 hat die FDG-PET/CT einen zentralen Platz in der Diagnose zur Therapiesteuerung bei potenziell heilbaren Tumorstadien⁷.

Sehr rasch nach der Einführung der PET/CT in die onkologische Diagnostik konnten Vorteile der kombinierten Bildgebung in der Therapiekontrolle bei modernen Tumortheraeutika gezeigt werden⁸. Die Veränderungen in der metabolischen Aktivität gehen dem morphologischen Ansprechen zeitlich deutlich voraus. In Anbetracht der oft erheblichen Kosten für jeden

Therapiezyklus bei den modernen Kinaseinhibitoren kann die Detektion eines Therapieansprechens beziehungsweise die Identifikation von Therapieversagern auch zu einer relevanten Kostenersparnis beitragen.

Die Verfügbarkeit der MR-basierten Diffusionsbildgebung für die Ganzkörperdiagnostik hat in den letzten Jahren zu verstärkten Bemühungen geführt, MR-Diffusion und kombinierte PET/CT-Bildgebung in der Tumordiagnostik und in der onkologischen Therapiekontrolle zu evaluieren. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Diffusionsparameter mit der funktionellen PET-Information korrelieren und sowohl in der Tumordetektion als auch in der Kontrolle des Therapieansprechens verwendbar sind.

Die Evolution der Fusionsbildgebung hat ihren gegenwärtigen Endpunkt in der Einführung eines kombinierten PET/MRT-Scanners in die Ganzkörperdiagnostik gefunden. Aufbauend auf die Expertise in der multimodalen Bildgebung konnte

im Rahmen eines DFG-Programms in Essen ein kombiniertes PET/MRT installiert und seit April 2012 in Betrieb genommen werden. Im Vergleich zum PET/CT sind die technischen Herausforderungen, insbesondere in der Beherrschung der Wechselwirkungen von PET- und MR-Technologie eine große Herausforderung. Die Vorteile einer realen simultanen Datenerfassung von PET und MRT, kombiniert mit den Möglichkeiten der funktionellen MR-Diagnostik (Diffusion, Perfusion) sowie der MR-Spektroskopie eröffnen neue und interessante Perspektiven in der onkologischen Diagnostik und Therapiekontrolle.

Zusammenfassung

Die multimodale Bildgebung mit kombiniertem PET/CT und künftig auch PET/MRT erlaubt eine rasche und akkurate Diagnostik bei onkologischen Fragestellungen. Der Grad der Kooperation zwischen den beteiligten klinischen Partnern und die spezifische Adaptation der morphologischen und funktionellen Modalitäten an die Fusionsbildgebung sind dabei bestimmend für die Akzeptanz der Verfahren im klinischen Einsatz. Über die Diagnostik hinaus ist die Kombination von anatomischer und funktioneller Bildgebung im Therapiemonitoring essenziell für eine moderne individuell ausgerichtete Tumortherapie mit monoklonalen Antikörpern beziehungsweise Kinasehemmern.

Summary

Multimodal imaging with combined PET/CT, and in the near future, PET/MRI enables fast and accurate cancer diagnosis. Close cooperation between the interdisciplinary clinical partners as well as adaptation of the morphologic and functional imaging modalities for the specific needs of combined ima-

ging are essential for the clinical success. Anatomical and metabolic imaging must be combined to monitor the effects of modern targeted tumor therapies, such as those utilizing antibodies and kinase inhibitors.

Anmerkungen/Literatur

- 1) Beyer T, Townsend DW, Brun T, Kinahan PE, Charron M, Roddy R, Jerin J, Young J, Byars L, Nutt R. A combined PET/CT scanner for clinical oncology. *J Nucl Med* 2000 Aug;41(8):1369–79.
- 2) Antoch G, Stataus J, Nemat AT, Marnitz S, Beyer T, Kuehl H, Bockisch A, Debatin JF, Freudenberg LS: Non-small cell lung cancer: dual-modality PET/CT in preoperative staging. *Radiology* 2003; 229(2): 526–33.
- 3) Antoch G, Saoudi N, Kuehl H, Dahmen G, Mueller SP, Beyer T, Bockisch A, Debatin JF, Freudenberg LS: Accuracy of whole-body dual-modality fluorine-18-2-fluoro-2-deoxy-D-glucose positron emission tomography and computed tomography (FDG-PET/CT) for tumor staging in solid tumors: comparison with CT and PET. *J Clin Oncol* 2004; 22(21): 4357–68.
- 4) Bockisch A, Beyer T, Antoch G, Veit P, Muller S, Pink R, Rosenbaum S, Kühl H: Grundlagen und klinischer Nutzen von PET/CT. *Radiologie* 2004; 44(11): 1045–54.
- 5) Desch CE, Benson AB 3rd, Somerfield MR, Flynn PJ, Krause C, Loprinzi CL, Minsky BD, Pfister DG, Virgo KS, Petrelli NJ, American Society of Clinical Oncology. Colorectal cancer surveillance: 2005 update of an American Society of Clinical Oncology practice guideline. *J Clin Oncol* 2005, Vol. 23, no. 33: 8512–8519.
- 6) Schmiegel W, Pox , Reinacher-Schick A, Adler G, Arnold D, Fleig W, Fölsch UR, Frühmorgen P, Graeven U, Heinemann V, Hohenberger W, Holstege A, Junginger T, Kopp, Kühlbacher T, Porschen R, Propping P, Riemann JF, Rödel C, Sauer R, Sauerbruch T, Schmitt W, Schmoll HJ, Seufferlein T, Zeitz M, Selbmann HK: S3-Leitlinie „Kolonreales Karzinom“ Ergebnisse evidenzbasierter Konsensuskonferenzen am 6./7. Februar 2004 und am 8./9. Juni 2007 (für die Themenkomplexe IV, VI und VII). *Z Gastroenterol* 2008; 46: 1–73.
- 7) Goeckenjan G et al.: Prävention, Diagnostik, Therapie und Nachsorge des Lungenkarzinoms. Interdisziplinäre S3-Leitlinie der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin und der Deutschen Krebsgesellschaft. *Pneumologie* 2010; 64 Suppl. 2: e1–e164.
- 8) Antoch G, Kanja J, Bauer S, Kühl H, Renzing-Koehler K, Schuette J, Bockisch A, Debatin JF, Freudenberg LS: Comparison of PET, CT, and dual-modality PET/CT imaging for monitoring of imatinib (STI571) therapy in patients with gastrointestinal stromal tumors. *J Nucl Med* 2004; 45(3): 357–65.0

Die Autorin und die Autoren

Hilmar Kühl, Jahrgang 1968, studierte an der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald Medizin, schloss das Studium 1994 ab und promovierte 1995. Die Ausbildung zum Facharzt für Diagnostische Radiologie erfolgte von 1996 bis 2000 in der Klinik für Radiologie am Klinikum Barmen in Wuppertal. Seit 2000 ist Hilmar Kühl am Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie in Essen als Oberarzt mit den Schwerpunkten CT, CT-gesteuerte Intervention und PET/CT tätig und habilitierte sich 2009 zum Thema „Radiologische Evaluation der CT-gesteuerten Radiofrequenzablation maligner Lebertumoren“. Seit 2009 leitet er die Radiologie an der Ruhrlandklinik – Universitätsklinikum Essen.

Sandra Rosenbaum studierte nach dem Abitur 1992 Humanmedizin an der Universität Essen, schloss das Studium 1999 ab und wurde 2000 promoviert. Die Weiterbildung zur Nuklearmedizinerin erfolgte von 1999 bis 2004 in der Klinik für Nuklearmedizin der Universitätsklinik in Essen. Parallel dazu studierte sie Gesundheitsökonomie und schloss als diplomierte Gesundheitsökonomin 2002 ab. Seit 2004 ist Sandra Rosenbaum als Oberärztin in der Essener Klinik für Nuklearmedizin tätig.

Andreas Bockisch studierte Physik an der Universität zu Köln, wo er 1974 Diplomphysiker und 1977 promoviert wurde. Von 1970 bis 1983 arbeitete er dort zunächst als wissenschaftliche Hilfskraft, zum Schluss als wissenschaftlicher Assistent und Arbeitsgruppenleiter auf dem Gebiet der Kernphysik. Parallel erfolgte ab 1977 das Studium der Humanmedizin, das 1983 abgeschlossen wurde. 1984 erfolgte die Promotion im Bereich der Medizin. Die Weiterbildungszeit zum Nuklearmediziner begann 1984 für ein Jahr in einer Praxis in Köln, die einen der ersten Kernspintomographen in Deutschland betrieb. Die Weiterbildung wurde am Universitätsklinikum Bonn fortgesetzt und 1988 abgeschlossen. Zwischenzeitlich forschte Bockisch am PET-Zentrum der University of Tennessee at Knoxville. 1990 wurde er als Medizinphysiker anerkannt und habilitierte sich für das Fach Nuklearmedizin. 1991 wurde er zum außerordentlichen Professor an die Universität Mainz berufen und leitete dort zeitweise die Universitätsklinik für Nuklearmedizin kommissarisch. Seit 1996 ist Andreas Bockisch ordentlicher Professor für Nuklearmedizin an der medizinischen Fakultät der hiesigen Universität und Direktor der Klinik für Nuklearmedizin.

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

Dieser Text wird über DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/70427

URN: urn:nbn:de:hbz:464-20190816-150302-6

Erschienen in: UNIKATE 42 (2012), S. 16-21

Alle Rechte vorbehalten.