

Bildgebende Verfahren in der medizinischen Diagnostik

In nahezu allen medizinischen Fachbereichen werden Bildgebungsverfahren zur Darstellung krankheitsbedingter Veränderungen eingesetzt. Je nach Aufgabenstellung und Krankheitsbild können dank der vielen verschiedenen heute zur Verfügung stehenden Methoden ganz unterschiedliche Struktur- und Funktionsparameter visuell für die Diagnose erfasst und für die Therapie genutzt werden.

Bildgebende Diagnostik ist in der modernen Medizin unverzichtbar. Allein die allgemein bekannten Verfahren – Ultraschall, Endoskopie, Röntgendiagnostik, CT (Computertomografie) und MRT (Magnetresonanztomografie) – werden jeweils in Deutschland viele Millionen Male jährlich eingesetzt. Die Methoden sind seit Jahrzehnten etabliert¹⁾, doch ständig werden Neu- und Weiterentwicklungen beschrieben, mit denen die diagnostischen Beurteilungen verbessert und neue Anwendungsgebiete erschlossen werden. Hinzu kommen weniger bekannte und sogar ganz neue Bildgebungsverfahren sowie Hybridmethoden, welche die Vorzüge verschiedener Methoden miteinander kombinieren. In der nachfolgenden Tabelle wird versucht, einen Überblick über die derzeit wichtigsten bildgebenden Verfahren der medizinischen Diagnostik und ihrer Anwendungsgebiete zu geben.

Tabelle: Wichtige bildgebende Verfahren in der medizinischen Diagnostik

Bildgebendes Verfahren	Prinzip der Bilderzeugung	Beschreibung	Hauptsächliche Einsatzbereiche
Röntgenaufnahme (Radiografie)	Röntgenstrahlung (Bild Darstellung auf Filmmaterial, meist digital)	Darstellung innerer Schichten ohne oder mit Kontrastmittel	Radiologie, Chirurgie, Orthopädie, Zahnmedizin
Durchleuchtung (Fluoroskopie)	Röntgenstrahlung (Dynamische Röntgenbilder auf Monitoren mit Bildverstärkern)	Darstellung bewegter Organe, meist mit Kontrastmittel	Magen-Darm-Trakt, Lunge, Herz (auch zur Positionierung von Herzschrittmachern), venöse Gefäße
Computertomografie (CT)	Röntgenstrahlung (3D-Darstellung mithilfe einer Gantry, rotierender Scanner)	3D-Bilderzeugung durch Computerberechnung der Einzelbildsignale	Radiologie, Onkologie
Magnetresonanztomografie (MRT; Kernspinresonanz-Tomografie)	Von Magnetfeldern erzeugte elektrische Signale der Wasserstoffatome im Gewebe	Computererstellte Dünnschichtbilder der Weichteilgewebe ohne oder mit Kontrastmittel	Kardiologie, Onkologie (ZNS, innere Organe, Herz-Kreislauf-Krankheiten)
Angiografie (MR-Angiografie, MR-A; CT-Angiografie, CT-A)	Darstellung der Blut- und Lymphgefäße durch MRT oder CT	Meist mit Kontrastmittel oder Fluoreszenzfarbstoffen	Schlaganfall, Herzinfarkt, Krampfader, Makuladegeneration des Auges
Sonografie (Ultraschall)	Reflexion von Ultraschallwellen an Organen und Geweben	Darstellung aller von außen zugänglichen flüssigen und weichen Strukturen	Alle Bereiche. Eines der häufigsten Bildgebungsverfahren
Farbkodierte Dopplersonografie (FKDS)	Sonografie, die den bei strömenden Flüssigkeiten entstehenden Dopplereffekt ausnutzt	Darstellung der Strömungsrichtung und Geschwindigkeit des arteriellen und venösen Blutes	Angiologie, Kardiologie
Szintigrafie	γ -Strahlung nach Inkorporation eines kurzlebigen Radionuklids (Tracer)	Detektion mit der Gammakamera; farbkodierte Intensitätsdarstellung (Szintigramm)	Endokrinologie, Pneumologie, Onkologie (v. a. Screening auf Knochenmetastasen)
Einzelphotonenemissions-Computertomografie (SPECT)	Wie Szintigrafie mit γ -Strahlen-Tracer, aber 3D-Detektion über rotierende Kollimatoren	Aus Einzelbildern computererrechnete 2D- oder 3D-Szintigramme mit Kodierung der Intensität	Kardiologie, Onkologie (Darstellung der Stoffwechsellintensität)
Positronen-Emissions-Tomografie (PET)	Gleichzeitige Detektion zweier γ -Photonen, die beim β^+ -Zerfall des Tracer emittiert werden	Darstellung von Stoffwechselfunktionen in Verbindung mit CT oder MRT	Onkologie, Neurologie, Kardiologie
Endoskopie	Glasfaseroptik im sichtbaren Licht mit Kamera (auch Video)	Darstellung von Hohlorganen und Körperhöhlen	Gastroenterologie, Chirurgie, Orthopädie, Pneumologie
Elektrische Impedanz-Tomografie (EIT)	Messung der elektrischen Leitfähigkeit anhand der freien Ionen im Gewebe	Darstellung der Beschaffenheit (a-EIT) oder Funktion (f-EIT)	Pneumologie, Neurologie, Mammografie, Kardiologie
Thermografie	Messung der Infrarotstrahlung mit Wärmebildkamera	Darstellung von Entzündungsherden unter der Haut	Sportmedizin

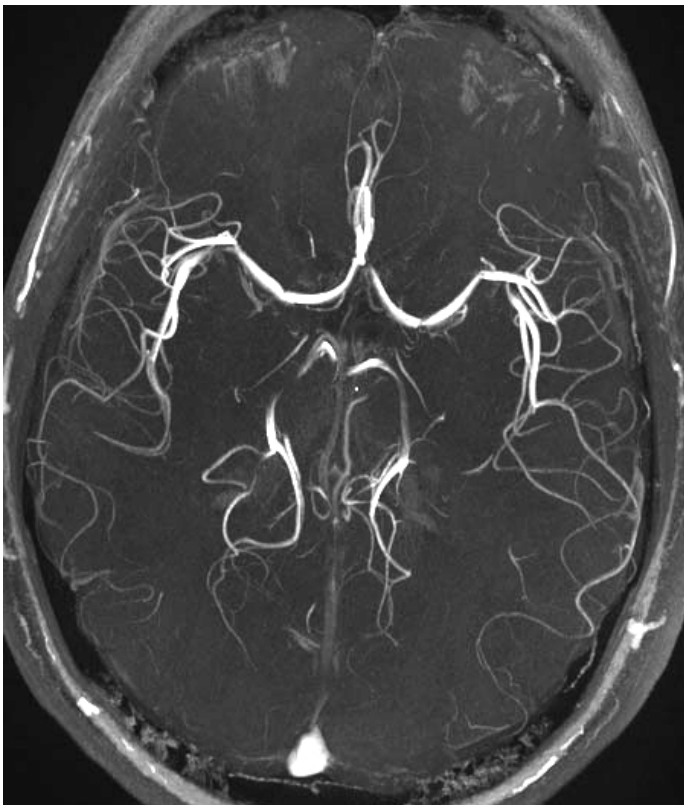
Aus Baden-Württemberg kommen einige Forschungsprojekte, welche die Entwicklung der Bildgebungsverfahren in der Zukunft bestimmen können. So werden im Zukunftscluster QSens Quantensensoren für ihren Einsatz in der biomedizinischen Diagnostik erprobt, die um Größenordnungen empfindlicher sind als es heute in der Bildgebung möglich ist.²⁾³⁾ Clusterpartner in diesem Projekt sind u. a. die Universitäten Stuttgart und Ulm sowie Industrieunternehmen wie Boehringer Ingelheim Pharma, Rentschler Biopharma und NVision Imaging Technologies, ein Start-up im Bereich der Quantentechnologie, an dem Forschende aus Ulm beteiligt sind.⁴⁾ Mit einem anderen Ansatz der Quantensensorik wird im Leitprojekt QMag der Fraunhofer-

Gesellschaft in einem Teilprojekt ein Verfahren entwickelt, bei dem Polarisatoren aus Nanodiamanten mit Biomarkermolekülen kombiniert und für die MRT-Diagnostik eingesetzt werden. Mithilfe dieser Quantenmagnetometrie könnte die Bildgebung zehntausendfach empfindlicher werden als bei heutigen MRT-Untersuchungen.⁵⁾

Magnetresonanztomografie (MRT) und Magnetresonanzangiografie (MRA)

Ein Vorteil der MRT, die auf der Messung der Kernspinsignale von Protonen des Wassers im Magnetfeld beruht, liegt darin, dass sie ohne schädigende Strahlung auskommt.⁶⁾⁷⁾ Ihre Nachteile – relativ große Ungenauigkeit und lange Dauer der Aufnahmen – können durch Neuentwicklungen weitgehend kompensiert werden, sodass MRT und Magnetresonanzangiografie (MRA), mit der Blut- und Lymphgefäße sichtbar gemacht werden, heute zu wichtigen Diagnostikinstrumenten bei einer Vielzahl von Krankheiten gehören.

Mit Weiterentwicklungen der heute meist verwendeten FLASH- (Fast Low-Angle Shot) Technologie kann die für MRT-Aufnahmen benötigte Zeit auf weit unter eine Sekunde verkürzt werden, sodass jetzt sogar Filmaufnahmen des schlagenden Herzens oder des Blutflusses im Gehirn möglich sind.⁸⁾ Schärfere Bilder erhält man durch Hyperpolarisation der Kernspinsignale in starken Magnetfeldern⁹⁾ oder, indem die MRT mit einer optischen Mikroskopie kombiniert wird.¹⁰⁾ Bei der multiparametrischen MRT (mpMRT) werden neben hochauflösenden MRT-Schnittbildern weitere Messgrößen wie die Bewegung (Diffusion) der Wassermoleküle und die Blutversorgung (Perfusion) ermittelt und mithilfe intelligenter Bildanalyseverfahren zusammen ausgewertet. Die mpMRT ist inzwischen zu einer wichtigen Entscheidungsgrundlage für die Therapieplanung bei Krebskrankheiten wie dem Prostatakarzinom und Brustkrebs geworden.¹¹⁾¹²⁾



Darstellung der Hirngefäße mit dem Circulus arteriosus cerebri (Willis-Zirkel) mittels einer Time-of-Flight-Magnetresonanzangiografie (TOF-MRA) im 4Tesla-Magnetfeld.

© SBarnes 12 Feb 2009; creative Commons BY-SA 3.0. Wikimedia Commons
File Mra-mip.jpg.

Oft werden in der MRT – besonders der MRA – Kontrastmittel eingesetzt. So können mittels Perfusionsbildgebung auch noch feinste Verästelungen der Gefäße oder der Flüssigkeitsstrom sichtbar gemacht werden.¹³⁾ Mit der Phasenkontrast-MRA lassen sich jedoch auch ohne kontrastverstärkende Mittel unterschiedliche Geschwindigkeiten des Blutstroms messen, sodass Verengungen, Aussackungen und Verstopfungen in arteriellen Gefäßen sichtbar gemacht werden. Die Time-of-Flight-MRA (TOF-MRA), die besonders bei Untersuchungen der Hirngefäße zur Anwendung kommt, beruht auf dem Prinzip, dass frisch ins Gefäß einströmendes Blut eine höhere Magnetisierung aufweist als das umliegende Gewebe und daher mit einem stärkeren Signal abgebildet wird. Ohne Kontrastmittel kommt auch ein neues, von Tübinger und Heidelberger Forschenden erprobtes Verfahren zur Diagnose von Hirntumoren aus, die sich durch einen hohen Glucosestoffwechsel auszeichnen. Dabei werden die Änderungen des Magnetfeldes beim Protonenaustausch zwischen Glucose- und Wassermolekülen gemessen.¹⁴⁾¹⁵⁾

Während diese Methoden auf Geräte mit hohen Magnetfeldstärken angewiesen sind, die nur an wenigen Orten zur Verfügung stehen¹⁶⁾, wird intensiv an der Entwicklung miniaturisierter, kompakter Hochleistungs-MRT-Geräte gearbeitet, die für alle Kliniken und Diagnostikzentren erschwinglich sind.¹⁷⁾ Interessant ist in diesem Zusammenhang die noch in einem frühen Erprobungsstadium befindliche Methode der Magnetpartikel-Bildgebung, bei der magnetische Nanopartikel in die untersuchten Organstrukturen appliziert und mittels MRT aufgezeichnet werden.¹⁸⁾

Positronen-Emissions-Tomografie (PET) sowie PET/CT und PET/MRT

Die PET hat sich in der Krebsdiagnostik bewährt, weil sie – anders als die etablierten CT-, MRT- oder Ultraschall-Verfahren – Auskunft über die Stoffwechselaktivitäten eines Tumors geben kann. So lassen sich auch Metastasen und Tumorrückbildungen (Remissionen) nach einer Therapie nachweisen.¹⁹⁾ In den modernsten Geräten wird PET mit CT oder MRT zu einem Hybridverfahren mit höherer Bildauflösung kombiniert, sodass Tumorveränderungen früher erkannt werden können.²⁰⁾⁻²³⁾ Selbst einzelne Leukämiezellen im Knochenmark von Patientinnen und Patienten können abgebildet werden.²⁴⁾

Bei der PET werden radioaktive Tracermoleküle eingesetzt, die in einem Beta⁺-Zerfall Positronen emittieren, die sich sofort an



Positronen-Emissions-Tomografie in Kombination mit Computertomografie (PET/CT). Abbildung des Herzmuskels nach Aufnahme von (^{18}F) Fluorodeoxyglucose unter physiologischen Bedingungen.
 © Hg6996 (Public Domain) <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9697305>

Ort und Stelle mit Elektronen, ihren Antiteilchen, vernichten. Gemessen werden die dabei entstehenden Paare von Gamma-Photonen, die in genau entgegengesetzte Richtung abgestrahlt werden. Daraus lässt sich ein Bild über den genauen Ort des Beta-Zerfalls berechnen. Am häufigsten wird als Tracermolekül Glucose verwendet, die mit einem radioaktiven Fluor-Atom (^{18}F) markiert worden ist. Wie normale Glucose wird (^{18}F)Fluorodeoxyglucose in der Blutbahn transportiert und von den Zellen aufgenommen, aber nicht vollständig metabolisiert, sodass sich das fluoridierte Stoffwechselprodukt im Gewebe anreichert. Da viele Tumoren Glucose besonders intensiv metabolisieren, sind sie in der PET-Untersuchung gut sichtbar.²⁵⁾²⁶⁾

Es wird aber auch an der Entwicklung neuer Radiodiagnostika gearbeitet, mit denen in Kombination mit MRT Tumorzellen, Bakterien, Pilzzellen und sogar einzelne Zellstrukturen erkannt und für die Planung und Steuerung von Krebsimmuntherapien eingesetzt werden können.²⁷⁾²⁸⁾ Eine PET-Diagnostik mit radioaktiv markierten, gegen Krebszellen gerichtete Immunzellen befindet sich noch im frühen Entwicklungsstadium.²⁹⁾

Für den präzisen Nachweis von Prostatakrebs hatte man vor etwa zehn Jahren ein PET-Diagnostikum mit einem Tracermolekül aus prostataspezifischem Membran-Antigen (PSMA) und radioaktivem Gallium synthetisiert, das jetzt von Heidelberger Nuklearmedizinern für die Krebstherapie weiterentwickelt worden ist. Dazu wurde das PSMA mit einem Alpha- oder Beta-Strahler gekoppelt, durch den die Tumorzellen bei der Bindung des Moleküls zerstört werden.³²⁾ Eine derartige Verbindung von Diagnostik und Therapie in der so genannten Theranostik gilt als zukunftsweisend; sie bildet einen der Forschungsschwerpunkte in dem neuen, 2019 in Heidelberg eröffneten Forschungszentrum für Bildgebung und Radioonkologie.³³⁾

Die PET hat aber Potenzial weit über die Krebsdiagnostik hinaus, und man hofft, sie zukünftig auch bei Alzheimer- und Parkinson- sowie bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen einsetzen zu können.³⁰⁾³¹⁾

Computertomografie (CT) und Einzelphotonen-Emissionscomputertomografie (SPECT)



CT ist das vielleicht wichtigste Verfahren zur Krebsdiagnostik.³⁴⁾ Mit einem neuartigen photonenzählenden Detektorsystem können Bilder mit höherer räumlicher Auflösung erzeugt werden, sodass beispielsweise Knochenmetastasen besser erkannt werden.³⁵⁾ Im Rahmen des Forums Gesundheitsstandort Baden-Württemberg wird diese neue Technologie in dem Verbundvorhaben Photon-Counting (PC)-CT-Konsortium (PC³) an den Universitätsklinika Freiburg, Tübingen und Mannheim für zukünftige Therapieansätze erprobt. Projektpartner des vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg geförderten Konsortiums sind außerdem noch Siemens und die BIOPRO Baden-Württemberg.³⁶⁾³⁷⁾

Die SPECT stellt, wie die PET, in erster Linie

Mit einem neuartigen Detektorsystem können mittels Computertomografie Bilder mit höherer räumlicher Auflösung erzeugt werden.
© MART PRODUCTION / pexels

Stoffwechselaktivitäten dar und wird, um Strukturen gut abzubilden, meist mit CT kombiniert. Als Tracer wird ein schwacher Gamma-Strahler mit kurzer Halbwertszeit verwendet, vor allem ein Technetium-Isotop. Die SPECT ist heute ein Standardverfahren zur Messung der

Herzdurchblutung und Herzmuskelfunktion; sie ist billiger und weniger aufwändig als die PET. Vielfach eingesetzt wird die SPECT aber auch zur Diagnose von Hirnerkrankungen und zum Nachweis von Krebsmetastasen, die sich im Stoffwechsel vom gesunden Gewebe unterscheiden.³⁸⁾

Künstliche Intelligenz in der Bildgebung

Bei der CT wie bei den anderen genannten bildgebenden Verfahren stellt die Verarbeitung und Interpretation der Riesenmengen an computererzeugten Bildern eines der Hauptprobleme dar, das manuell kaum durchzuführen und sehr fehleranfällig ist.³⁹⁾ Computerprogramme zur halbautomatischen Bildsegmentierung werden bereits angewendet. In einem bundesweiten, vom Universitätsklinikum Freiburg koordinierten Programm wird an der vollautomatisierten Hochdurchsatz-Bildererkennung mithilfe Künstlicher Intelligenz (KI) gearbeitet.⁴⁰⁾ Auch an allen Standorten des Deutschen Krebskonsortiums DKTK wurde eine strategische Initiative, die Joint Imaging Platform, für Bildanalyse und maschinelles Lernen etabliert.⁴¹⁾ Die Fortschritte in der digitalen Bilderfassung haben nicht nur die Entwicklung mobiler Geräte für die radiologische Praxis ermöglicht,⁴²⁾ sondern auch die Darstellung komplexer 3D-Modelle von Blutgefäßen, die für die Navigation von Kathetern im Gehirn benötigt werden.⁴³⁾ In der Zusammenführung von IT, Mikrorobotik und Bildgebung ist es gelungen, bis in kleinste Kapillaren hinein Mikroroboter einzuführen und von außen sichtbar zu machen; man hofft, sie in Zukunft als theranostische Instrumente einsetzen zu können.⁴⁴⁾

Kontrastmittel und molekulare Bildgebung

Für MRT-, CT- und Röntgendiagnostik kann die Aussagekraft der Bilder oft durch die Gabe von Kontrastmitteln verbessert werden. Auch bei Ultraschalluntersuchungen, dem wahrscheinlich häufigsten bildgebenden Verfahren in der medizinischen Praxis, werden sie vielfach eingesetzt. Die mit strengen Zulassungsverfahren verbundene Entwicklung neuer Kontrastmittel für spezielle Anwendungen ist ein eigener, unverzichtbarer Sektor der modernen Diagnostik.⁴⁵⁾⁴⁶⁾ So können durch Verwendung hochspezifischer molekularer Marker in den Kontrastmitteln Krebsmetastasen anhand der gebundenen Markermoleküle visualisiert werden – ein Beispiel der sich dynamisch entwickelnden molekularen Bildgebung.⁴⁷⁾⁴⁸⁾

Endoskopie

Die neuen Entwicklungen der Endoskopie, mit der innere Hohlräume im Körper mit optischen Sonden untersucht werden können, gehen vor allem in zwei Richtungen. Einerseits werden Geräte mit einer Mikrooptik aus feinen Glasfasern immer weiter miniaturisiert, sodass heute selbst die Innenwände kleinster Gefäße mit einem Laserstrahl auf Plaque-Ablagerungen hin abgetastet werden können. Die Beobachtung erfolgt nicht direkt, sondern durch eine digitale Mikrokamera und computergestützte Bildverarbeitung.⁴⁹⁾ Ähnlich funktioniert die Kapselendoskopie, die in einem von der Ovesco Endoscopy AG koordinierten Verbundprojekt entwickelt wird. Dabei handelt es sich um eine von außen steuerbare, mit Kamera, Batterie und Sender ausgestattete Kapsel, die für eine diagnostische Magenspiegelung von den Patientinnen und Patienten geschluckt wird.⁵⁰⁾ Mit den Kamerabildern normaler Endoskope lassen sich Tumoren und gesundes Gewebe oft kaum voneinander unterscheiden. Das Mannheimer Start-up Thericon entwickelt daher eine multispektrale Bildgebungstechnologie, bei der sich die Aufnahmen verschiedener Spektren zur besseren Erkennung überlagern.⁵¹⁾



Mit Endoskopen können innere Hohlräume im Körper mit optischen Sonden untersucht werden.

© nobasuke / Adobe Stock

Der zweite große Entwicklungstrend der Endoskopie geht dahin, die diagnostische Optik mit einem Arbeitskanal für flexible Werkzeuge zu verbinden, um Biopsieproben für die Labordiagnostik zu entnehmen, Wirkstoffe zu injizieren und krankes Gewebe abzutöten oder zu entfernen. Beispielhaft sei auf zwei bekannte Anwendungen hingewiesen: erstens die Endoskopie des Ziliarkörpers im Auge bei gleichzeitiger Verödung mit einem Laserstrahl zur Behandlung des Grünen Stars (Glaukom). Zweitens die Koloskopie (Dickdarmspiegelung) bei gleichzeitiger Entfernung von Polypen der Darmschleimhaut, die als Tumorfürstadien verdächtig sind.⁵²⁾ So hat die Vorsorgekoloskopie ab dem 55. Lebensjahr als eine der erfolgreichsten Maßnahmen der Krebsbekämpfung überhaupt die Zahl der Todesfälle an Darmkrebs deutlich gesenkt.

Literatur:

- 1) Molekulare Bildgebung – der tiefe Blick ins Innere. Dossier, 03.07.2008; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/dossier/molekulare-bildgebung-der-tiefe-blick-ins-innere>
- 2) QSens - Quantensensoren der Zukunft; <https://www.clusters4future.de/die-zukunftscluster/qsens>
- 3) Universitäten Stuttgart und Ulm mit Zukunftscluster QSens erfolgreich. PM Universität Stuttgart, 04.02.2021; <https://www.uni-stuttgart.de/universitaet/aktuelles/meldungen/Universitaeten-Stuttgart-und-Ulm-mit-Zukunftscluster-QSens-erfolgreich/>
- 4) Präzisere Diagnosen und personalisierte Therapien durch hyperpolarisierte Kernspinresonanz. PM Fraunhofer-IAF, 17.05.2022; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/praezisere-diagnosen-und-personalisierte-therapien-durch-hyperpolarisierte-kernspinresonanz>
- 5) Fraunhofer-Gesellschaft: Neue Chancen für die Medizin durch Quantensensorik; <https://www.fraunhofer.de/de/forschung/aktuelles-aus-der-forschung/quantentechnologien/quantensensorik.html>
- 6) Mittels MRT der lebenden Zelle auf der Spur. PM 22.06.09; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/mittels-mrt-der-lebenden-zelle-auf-der-spur>
- 7) Aufmerksamere Beobachter des Stoffwechsels. Fachbeitrag, 22.06.2015; <http://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/aufmerksamere-beobachter-des-stoffwechsels>
- 8) Funktionelle Magnetresonanztomographie unter der Lupe. PM MPI biologische Kybernetik, 26.11.2012; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/funktionelle-magnetresonanztomographie-unter-der-lupe>
- 9) Forscher in der Radiologie erhält Sofja Kovalevskaja-Preis der Humboldt-Stiftung. PM Eberhard Karls Universität Tübingen, 31.08.2020; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/forscher-der-radiologie-erhaelt-sofja-kovalevskaja-preis-der-humboldt-stiftung>
- 10) Ziel: Immun-Angriff auf Hirntumoren sichtbar machen. PM Universitätsklinikum Heidelberg, 11.03.2022; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/ziel-immun-angriff-auf-hirntumoren-sichtbar-machen>
- 11) Prostatakrebs: Künstliche Intelligenz erkennt verdächtige Bereiche in der Prostata-MRT ähnlich gut wie Radiologen. PM DKFZ 09.10.2019; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/prostatakrebs-kuenstliche-intelligenz-erkennt-verdaechtige-bereiche-der-prostata-mrt-aehnlich-gut-wie-radiologen>
- 12) Prostatakrebs punktgenau diagnostizieren. PM NCT Heidelberg, 02.08.2010; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/prostatakrebs-punktgenau-diagnostizieren>
- 13) syneed imaging: detailgetreue Visualisierung funktioneller Gewebeigenschaften. Fachbeitrag, 22.10.2012; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/syneed-imaging-detailgetreue-visualisierung-funktioneller-gewebeeigenschaften>
- 14) Hirntumoren besser diagnostizieren – mit Zucker. Fachbeitrag 03.11.2016; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/hirntumoren-besser-diagnostizieren-mit-zucker>
- 15) MRT: Geht's auch ohne Kontrastmittel? Ja, mit Zucker! PM DKFZ, 22.06.2017; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/mrt-gehts-auch-ohne-kontrastmittel-ja-mit-zucker>
- 16) Starker Kernspintomograph erstmals für Patienten genutzt. PM MPI biologische Kybernetik, 17.12.2012; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/starker-kernspintomograph-erstmals-fuer-patienten-genutzt>
- 17) Magnetresonanz im Tischgeräteformat revolutioniert Diagnostik und Materialanalyse. PM KIT, 28.06.2022; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/magnetresonanz-im-tischgeraeteformat-revolutioniert-diagnostik-und-materialanalyse>
- 18) Vielfarbige Bildgebung mit magnetischen Nanopartikeln. PM Universitätsklinikum Freiburg, 11.08.2020; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/vielfarbige-bildgebung-mit-magnetischen-nanopartikeln>
- 19) Naschsucht macht Krebszellen angreifbar. Fachbeitrag 02.07.2008; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/naschsucht-macht-krebszellen-angreifbar>
- 20) DFG fördert kombiniertes PET/MRT-Gerät für Universitätsklinikum Ulm. PM Universitätsklinikum Ulm, 19.09.2017; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/dfg-foerdert-kombiniertes-petmrt-geraet-fuer-universitaetsklinikum-ulm>
- 21) Tübinger Bildgebung erfährt weitere Millionenförderung. PM Universitätsklinikum Tübingen, 15.06.2022; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/tuebinger-bildgebung-erfaehrt-weitere-millionenfoerderung>
- 22) Mannheim mit modernstem PET-CT für die molekulare Bildgebung. PM Universitätsklinikum Mannheim, 09.07.2009; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/mannheim-mit-modernstem-pet-ct-fuer-die-molekulare-bildgebung>
- 23) 6,56 Mio Förderung: Erster Ganzkörper-PET-MRT Prototyp kann am Uniklinikum Tübingen erprobt werden. PM Uniklinikum Tübingen, 10.06.2009; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/6-56-mio-foerderung-erster-ganzkoerper-pet-mrt-prototyp-kann-am-uniklinikum-tuebingen-erprobt-werden>
- 24) Erstmals im Bild: aktive Leukämiezellen im Körper. PM Universitätsklinikum Ulm, 24.08.2009; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/erstmals-im-bild-aktive-leukaemiezellen-im-koerper>
- 25) Diagnostik erkennt bereits Stoffwechselanomalien. PM Uniklinikum Ulm, 18.04.2011; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/diagnostik-erkennt-bereits-stoffwechselanomalien>
- 26) Prämierte Studie zur Diagnostik von Hirntumoren. PM Uniklinikum Heidelberg, 12.11.2010; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/praemierte-studie-zur-diagnostik-von-hirntumoren>
- 27) Pilzinfektion in der Lunge: Bessere Diagnostik mit antikörperbasierter Bildgebung. Fachbeitrag, 23. 05.2016; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/pilzinfektion-der-lunge-bessere-diagnostik-mit-antikoerperbasierter-bildgebung>
- 28) Neues Diagnostikverfahren bei pulmonaler Aspergillose. PM Universitätsklinikum Tübingen, 17.03.2021; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/neues-diagnostikverfahren-bei-pulmonaler-aspergillose>

- 29) Universitätsklinikum Tübingen kooperiert mit ImaginAb und ist europaweit erstes Zentrum für die Produktion von radioaktiv markierten CD8-Minibodies. PM Universitätsklinikum Tübingen, 15.06.2021; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/universitaetsklinikum-tuebingen-kooperiert-mit-imaginab-und-ist-europaweit-erstes-zentrum-fuer-die-produktion-von-radioaktiv-mar>
- 30) Schon kleine Veränderungen in der Lunge sichtbar machen. PM Universitätsklinikum Heidelberg, 27.06.2011; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/schon-kleine-veraenderungen-in-der-lunge-sichtbar-machen>
- 31) Ansatz zur Brustkrebsdiagnostik mittels neuer Radiodiagnostika mit Claudia von Schilling Preis ausgezeichnet. PM Universitätsmedizin Mannheim, 10.12.2020; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/ansatz-zur-brustkrebsdiagnostik-mittels-neuer-radiodiagnostika-mit-claudia-von-schilling-preis-ausgezeichnet>
- 32) PET-Diagnostik von Prostata-Tumoren in Verbindung mit systemischer Therapie; Fachbeitrag für www.gesundheitsindustrie-bw.de in Vorbereitung
- 33) Für höchste Präzision im Kampf gegen Krebs. PM DKFZ 17.10.2019; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/fuer-hoechste-precision-im-kampf-gegen-krebs>
- 34) Den Tumor sichtbar machen. PM DKFZ, 20.03.2010; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/den-tumor-sichtbar-machen>
- 35) Schärfere Augen für die Computertomographie: Metastasen besser beurteilen. PM DKFZ 07.01.2021; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/schaeferere-augen-fuer-die-computertomographie-metastasen-besser-beurteilen>
- 36) Photon-Counting (PC)-CT Konsortium; <https://pc3-bw.de/>
- 37) Förderung für Projekt zur „Nächsten Digitalen Generation der Computertomographie“. PM Universitätsklinikum Freiburg, 10.05.2021; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/foerderung-fuer-projekt-zur-naechsten-digitalen-generation-der-computertomographie>
- 38) Neues Gerät verbessert Diagnostik und Therapie bei Krebs. PM Uniklinikum Ulm, 11.11.2010; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/neues-geraet-verbessert-diagnostik-und-therapie-bei-krebs>
- 39) Biomedizin: viele Bilder – weniger Rätsel. PM HITS, 09.11.2020; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/biomedizin-viele-bilder-weniger-raetsel>
- 40) Acht Millionen Euro für bundesweites Programm zu Künstlicher Intelligenz in der Bildgebung. PM Universitätsklinikum Freiburg, 11.09.2019; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/acht-millionen-euro-fuer-bundesweites-programm-zu-kuenstlicher-intelligenz-der-bildgebung>
- 41) Joint Imaging Platform within the German Cancer Consortium (DKTK); <https://jip.dtk.dkfz.de/jiphomepage/>
- 42) mbits imaging GmbH – Mobil in der Radiologie. Unternehmensporträt, 18.07.2016; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/mbits-imaging-gmbh-mobil-in-der-radiologie>
- 43) 3D-gedrucktes Modell der Blutgefäße im Gehirn. PM Technische Hochschule Ulm, 15.03.2021; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/3d-gedrucktes-modell-der-blutgefuesse-im-gehirn>
- 44) Neue Bildgebungsmethode macht medizinische Kleinstroboter im Körper sichtbar. PM MPI für Intelligente Systeme, 12.05.2022; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/neue-bildgebungsmethode-macht-medizinische-kleinstroboter-im-koerper-sichtbar>
- 45) BIPSO GmbH – moderne Kontrastmittel für die ganze Welt. Fachbeitrag, 07. 04.2014; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/bipso-gmbh-moderne-kontrastmittel-fuer-die-ganze-welt>
- 46) Braccos Kontrastmittel MultiHance* auch zur Anwendung bei Kindern zugelassen. PM 16.11.2011; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/braccos-kontrastmittel-multihance-auch-zur-anwendung-bei-kindern-zugelassen>
- 47) Krebszellen für das bloße Auge sichtbar machen. PM Karl Storz, 01.07.2008; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/krebszellen-fuer-das-blosse-auge-sichtbar-machen>
- 48) Bracco Imaging: Der Spezialist für bildgebende Diagnostik. PM, 04.07.2008; <http://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/bracco-imaging-der-spezialist-fuer-bildgebende-diagnostik>
- 49) 3D-Bilder aus dem Inneren von Adern. PM Universität Stuttgart, 23.07.2020; <http://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/3d-bilder-aus-dem-inneren-von-adern>
- 50) Magenspiegelung per Kamerapille. Fachbeitrag, 08.06.2020; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/magenspiegelung-kamerapille>
- 51) Neue multispektrale Bildgebung verbessert die Möglichkeiten endoskopischer Tumorerkennung. 08.11.2021; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/aktuell/neue-multispektrale-bildgebung-verbessert-die-moeglichkeiten-endoskopischer-tumorerkennung>
- 52) Darmspiegelung vermittelt Krebschutz im gesamten Dickdarm. PM DKFZ, 19.01.2011; <https://www.gesundheitsindustrie-bw.de/fachbeitrag/pm/darmspiegelung-vermittelt-krebschutz-im-gesamten-dickdarm>

Dossier

08.09.2022

Dr. Ernst-Dieter Jarasch

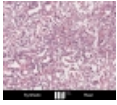
© BIOPRO Baden-Württemberg GmbH

Weitere Artikel in diesem Dossier



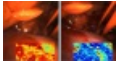
04.05.2026

Frakturen im Fokus: Vorhersagen statt Abwarten



25.09.2025

Leistungsfähige KI-Systeme durch die Nutzung von synthetischen Trainingsdaten



28.08.2025

KI-gestützte Bildgebung erweitert Möglichkeiten in der Chirurgie



16.07.2025