

Endoskopie heute

Forum bildgebender Verfahren
German Journal of Endoscopy and other imaging methods

Herausgeber

Prof. Dr. M. Classen, München
Prof. Dr. H. Neuhaus, Düsseldorf
Prof. Dr. J. F. Riemann, Ludwigshafen
Prof. Dr. N. Soehendra, Hamburg
Prof. Dr. M. Stolte, Bayreuth

Schriftleitung

Prof. Dr. H.-J. Schulz, Berlin

Wissenschaftlicher Beirat

Prof. Dr. H. D. Allescher, Garmisch-Partenkirchen
Prof. Dr. G. F. Buess†, Tübingen
Prof. Dr. K. Caca, Ludwigsburg
Prof. Dr. C. F. Dietrich, Bad Mergentheim
Prof. Dr. C. Ell, Wiesbaden
PD Dr. S. Faiss, Hamburg
Prof. Dr. H. Feussner, München
Prof. Dr. K.-E. Grund, Tübingen
Prof. Dr. J. Hochberger, Hildesheim
Prof. Dr. M. Jung, Mainz
Prof. Dr. B. Kohler, Bruchsal
Prof. Dr. G. Lux, Solingen
Prof. Dr. B. C. Manegold, Mannheim
Prof. Dr. A. Meining, München
Prof. Dr. A. Melzer, Gelsenkirchen
Prof. Dr. H. Messmann, Augsburg
Prof. Dr. R. Otto, CH-Baden/AG
Prof. Dr. T. Rösch, Hamburg
Prof. Dr. W. Rösch, Frankfurt
Prof. Dr. T. Wehrmann, Wiesbaden

Offizielles Organ
Deutsche Gesellschaft
für Endoskopie
und Bildgebende
Verfahren (DGE-BV)

● Sonderdruck für private Zwecke des Autors

● Sonderdruck für private Zwecke des Autors

24. Jahrgang 2011

Sonderdruck

© Georg Thieme Verlag KG
Stuttgart · New York

Nachdruck nur mit
Genehmigung des Verlages

Verlag

Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstraße 14
70469 Stuttgart
www.thieme.de/fz/endoheute
www.thieme-connect.de/ejournals

Viszeralmedizin 2025 – Veränderungen durch die Informationswissenschaften

Gastrointestinal Surgery 2025 – Changes Emerging with Information Science

Autoren

J. Hornegger¹, K. Höller¹, S. Hempel²

Institute

¹ Zentralinstitut für Medizintechnik (ZIMT), Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

² Forschungsgruppe MITI, Klinikum rechts der Isar der TU München

Schlüsselwörter

- ◊ NOTES
- ◊ Innovationszyklen
- ◊ 3D-Endoskopie
- ◊ Bildfusion

Key words

- ◊ NOTES
- ◊ innovation cycles
- ◊ 3-D endoscopy
- ◊ image fusion

Zusammenfassung

Die Viszeralmedizin wird wesentlich von Entwicklungen in den Informationswissenschaften beeinflusst. Insbesondere ist zu erwarten, dass die Informationswissenschaft die notwendigen Grundlagen für NOTES-Eingriffe legen wird. In diesem Beitrag wird ein Überblick über zu erwartende Fortschritte und damit verbundene Fragestellungen gegeben. Die hohe Innovationsgeschwindigkeit in der Technik und die gestiegene Komplexität technischer Systeme bieten viele Chancen ziehen aber auch viele Probleme nach sich, mit denen sich der Mediziner aktiv auseinandersetzen muss.

Abstract

Gastrointestinal surgery is influenced by developments in information science. In particular, it is expected that information science will serve as a basis for NOTES procedures. In this contribution we provide an overview over the expected progress and associated problems. High innovation speed in technology and the continuously increasing complexity of technical systems open up great opportunities, but imply also problems that have to be assessed actively by physicians and surgeons.

Einführung

Trotz bekannter Schwierigkeiten bei der Einführung technischer Lösungen in unsere medizinische Versorgung steht außer Frage, dass Medizin und Technik heute enger verknüpft sind denn je. Die Forschung und Entwicklung an der Grenzfläche beider Disziplinen birgt ein großes Innovationspotenzial, wengleich die Akzeptanzschwelle für technische Neuerungen in der Medizin seit jeher sehr hoch liegt. Es sei denn, es erschließt sich ein völlig überragendes Anwendungsfeld wie dies beispielsweise bei der Entdeckung der Röntgenstrahlung, der Entwicklung des Computertomografen oder der Erfindung der Kernspintomografie der Fall war. Allzu oft werden jedoch hohe Erwartungen an technologische und ingenieurwissenschaftliche Innovationen geknüpft, die dann nicht erfüllt werden können. Die Enttäuschung ist groß, wenn der erwartete Fortschritt nicht in vollem Umfang eintritt.

Eine Schlüsselrolle in Technik, Medizin und damit in der Medizintechnik nehmen zunehmend die Informationswissenschaften ein. Sie sind in ein breites Spektrum von Anwendungen eingebun-

den, die von der Datenerfassung und -sammlung über die automatische Datenanalyse und -fusion bis hin zur Datenvisualisierung reichen und zunehmend verschiedenste Bereiche in der Medizin verändern. Auch die Viszeralmedizin wird maßgeblich durch jüngere Entwicklungen in der Informationstechnologie und den Informationswissenschaften beeinflusst. Wie in kaum einer anderen medizinischen Disziplin bedingen sich hier technischer und medizinischer Fortschritt gegenseitig. Dies wird insbesondere am Beispiel der Natural Orifice Translumenal Endoscopic Surgery (NOTES) deutlich, deren praktische Umsetzung zahlreiche technische Entwicklungen erfordert [1]. NOTES-Eingriffe sind nicht durchzuführen ohne eine Multitasking-Plattform zur multimodalen Sensordatenverarbeitung oder ohne ein System, das die Navigation und exakte räumliche Orientierung sicherstellt. Im Folgenden sind einige Überlegungen zusammengefasst, mit denen der Versuch unternommen wird, einen Einblick in die zu erwartenden Entwicklungen der Viszeralmedizin durch die Informationswissenschaften zu geben.

Bibliografie

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0031-1271346>
Endo heute 2011; 24: 20–24
© Georg Thieme Verlag KG
Stuttgart · New York ·
ISSN 0933-811X

Korrespondenzadresse

Prof. Dr.-Ing.
Jochim Hornegger
Universität Erlangen-Nürnberg
Lehrstuhl für Mustererkennung
(Informatik 5)
Martensstr. 3
91058 Erlangen
Jochim.Hornegger
@informatik.uni-erlangen.de

Anmerkungen zur Akzeptanz medizintechnischer Systeme

Wenn technische Innovationen in der Viszeralmedizin bewertet werden und eine Prognose über zukünftige Entwicklungen abzugeben ist, darf die Frage nach der Akzeptanz nicht unberücksichtigt bleiben. Die Kernprobleme bei der praktischen Einführung medizintechnischer Lösungen sind über Jahre unverändert und unterscheiden sich kaum für die verschiedenen Disziplinen innerhalb der Medizin. Zu den größten Problemen bei der Einführung neuer Technologien zählt der Nachweis der Wirtschaftlichkeit. Dieser sollte idealerweise prospektiv und damit vor der Produktentwicklung erfolgen. Nicht selten werden technische Lösungen für Probleme erarbeitet, die sich in der Praxis kaum stellen oder deren Lösung auf die nachhaltige Weiterentwicklung der Medizin und auf die Verbesserung der Behandlung von Patienten keinerlei Einfluss nimmt. Selbst als sehr gut einzustufende Lösungen für außerordentlich wichtige Problemstellungen werden keine Akzeptanz finden, wenn sich damit nicht mindestens ein komplett neues Anwendungsfeld erschließen lässt, sie sich nicht in etablierte Arbeitsläufe einbetten lassen, sie die Effizienz der medizinischen Versorgung nicht steigern und sich der diagnostische und therapeutische Nutzen nicht nachweisen lässt.

Für die Akzeptanz von Neuentwicklungen ist darüber hinaus auch die einfache Bedienbarkeit des Systems von entscheidender Bedeutung. Schwierige Bedienkonzepte sowie lange Einarbeitungszeiten in die Systemanwendung mindern die Wahrscheinlichkeit für den praktischen Einsatz. Ergonomische Aspekte sind bei der Entwicklung technischer Systeme von äußerst großer Bedeutung und dürfen nicht vernachlässigt werden.

Ein weiteres Problem bei der Einführung neuer Technologien sind die damit verbundenen Investitionen. Die Informationstechnik bietet hier den Vorteil, dass ein Großteil der Innovationen durch die Anpassung der Software umgesetzt wird. Dies verleiht den Systemen einen hohen Grad an Flexibilität und schafft wichtige Voraussetzungen für kürzere Innovationszyklen.

Anmerkungen zu den Innovationszyklen in der Medizintechnik

Die Innovationszyklen in der Medizintechnik liegen heute bei ungefähr 6 Monaten. Damit hat sich die Geschwindigkeit bei der Einführung neuer beziehungsweise verbesserter Produkte in der Medizintechnik deutlich erhöht. Größere Medizintechnik-Unternehmen wie beispielsweise Siemens Healthcare werben heute damit, dass 75% der eigenen Produkte jünger als 3 Jahre sind. Die drastische Verkürzung der Innovationszyklen in der Medizintechnik ist dem zunehmenden Einsatz von Software in Produkten zuzurechnen. Eine notwendige Voraussetzung für den flexiblen Einsatz von Softwareprodukten sind universell programmierbare Plattformen sowie multitaskingfähige, vernetzte Systeme. Die Aufrüstung vorhandener Hardware – also der installierten Basistechnologie beim Anwender – zum leistungsfähigeren System soll mit dem Einspielen neuer Softwareupdates möglich sein. Die Systemfunktionalität kann so mit neuer Software wesentlich erweitert werden, wobei sich die Investition beim Anwender auf den Erwerb einer neuen Software beschränkt. Die Entwicklung in Richtung vernetzter, universell programmierbarer Hardware-Plattformen verbunden mit der gestiegenen Bedeutung von Softwareprodukten macht

vor der Viszeralmedizin nicht halt und wird die Innovationsgeschwindigkeit auch in diesem Forschungs- und Anwendungsfeld weiter erhöhen. Die damit zwingend erforderliche enge Zusammenarbeit von Softwareingenieuren und Medizinern wird zu einer Steigerung der individualisierten und auf die Arbeitsabläufe bestens abgestimmte Software führen. In der Viszeralmedizin werden die Informationswissenschaften die Innovationsrate wesentlich erhöhen und den Umstieg von heutigen Systemlösungen auf prozessoptimierte, individualisierte Workflows beschleunigen.

Anmerkungen zur Komplexität technischer Systeme

Mit der Erhöhung der Innovationsgeschwindigkeit geht die stetige Weiterentwicklung technischer Systeme einher. In aller Regel wird in jedem Innovationszyklus die Systemfunktionalität erweitert, was die Komplexität des technischen Systems weiter erhöht. Zum einen steht der Anwender damit vor dem Problem sich kontinuierlich in die veränderte Funktionsweise des Systems einzuarbeiten und zum anderen ist er gezwungen, die technischen Veränderungen und deren Auswirkungen auf seine Arbeit zu verstehen.

Allein durch die große Anzahl verfügbarer Sensoren und bildgebender Verfahren können in kürzester Zeit große Datenmengen über einen Patienten erfasst werden. Die anschließende Verarbeitung der gesammelten Daten erfolgt mit Methoden der Informationswissenschaften und kann dem Arzt eine unüberschaubare Menge an Informationen liefern. Datenanalyse- und Dataming-Verfahren bieten die Möglichkeit, statistische Abhängigkeiten und Zusammenhänge zwischen Patientendaten und Krankheitsbildern zu berechnen, die entweder bekanntes medizinisches Wissen bestätigen oder zum medizinischen Erkenntnisgewinn beitragen.

Da Sensordaten messtechnisch erfasst werden, sind diese nicht ideal sondern fehlerbehaftet. Signalstörungen wie beispielsweise Rauschen sind potenzielle Fehlerquellen für informationsverarbeitende Systeme. In der Viszeralmedizin ist beispielsweise die Deformation innerer Organe bei der Verwendung präoperativer Computertomografieaufnahmen während eines chirurgischen Eingriffes ein Problem. Der Operateur muss darauf trainiert sein, typische Bewegungsartefakte im CT zu erkennen und Deformationen der Organe beim Abgleich mit den präoperativen Daten zu berücksichtigen. Gleiches gilt für die minimalinvasive Chirurgie, in der Endoskope zur Erzeugung von Farbbildsequenzen eingesetzt werden. Zu den vertrauten Artefakten in Endoskopieaufnahmen zählen mitunter die perspektivische Verzerrung, die Verzerrung durch die Linsenoptik, die fehlende Farbtreue oder die inhomogene Beleuchtung. All diese Artefakte sind in der Projektionsaufnahme sichtbar und verfälschen die Bildinformation. Typische Merkmale sind die fehlende Paralleltreue, die durch die Linsengeometrie hervorgerufenen nichtlinearen Verzerrungen sowie die ungleichmäßige Ausleuchtung des Bildes. Mit den genannten Artefakten ist der erfahrene Chirurg insofern vertraut, als er diese sicher erkennt und nicht falsch interpretiert. Die Bild-daten werden aufgrund seiner Erfahrung mental korrigiert. Vom Arzt unverstandene Artefakte können zu falschen Therapieentscheidungen und schlimmstenfalls zu einer Fehldiagnose führen. Artefaktquellen und Charakteristika der Artefakte müssen daher dem Mediziner im Detail bekannt sein. Das hierfür notwendige Grundverständnis der Bildgebungsverfahren führt in Anbetracht der stark verkürzten Innovationszyklen zu großen Problemen,

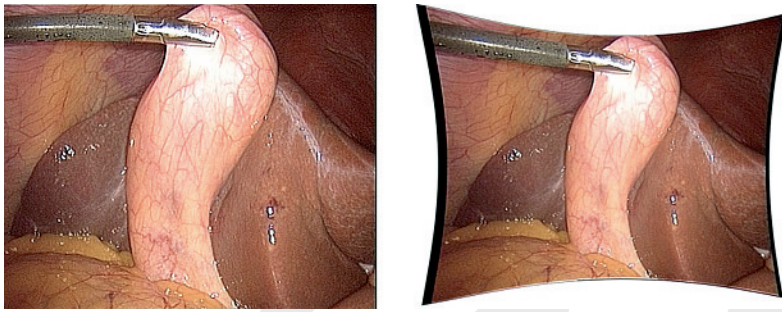


Abb. 1 Korrektur der Linsenverzerrung: originale, verzerrte Endoskopieaufnahme (links), verzerrungskorrigiertes Bild (rechts). Bildquelle: Florian Voigt, Lehrstuhl f. Mustererkennung, Universität Erlangen-Nürnberg.

erfordert die automatische, rechnergestützte Korrektur der Artefakte (wie am Beispiel der Linsenverzerrung in **Abb. 1** gezeigt) und verlangt nach neuen Techniken zur Datenvisualisierung, -normalisierung und -standardisierung.

Die Erfahrung mit der Anwendung, die Übungsmöglichkeiten am System, die softwarebasierte Artefaktkorrektur sowie ein Grundverständnis für die eingesetzten Verfahren und für die Grenzen der verfügbaren Technologie sind zwingende Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz neuer Technologien.

Anmerkungen zur schnellen Einarbeitung in technische Systeme

In der Viszeralmedizin nimmt nicht zuletzt durch die Weiterentwicklung von NOTES die Komplexität der Operationen zu. Zur Minimierung des Traumas werden immer schwierigere Eingriffe über natürliche Körperöffnungen durchgeführt werden. Der damit verbundene erhöhte technische Aufwand erfordert den Einsatz intelligenter Simulations- und Trainingssysteme. Die Informationswissenschaft wird zur Entwicklung dieser Simulations- und Trainingssysteme beitragen. Mit Systemen werden einerseits der Eingriff und die technischen Handgriffe eingeübt, andererseits kann die Operation individuell optimiert und an die vorliegende Situation angepasst werden. Durch die Verfügbarkeit präoperativer Bilddaten kann eine individualisierte Vorbereitung erfolgen und eine Simulation des Eingriffes anhand der Patientendaten durchgeführt werden. Die Möglichkeit des Trainings sowie die verbesserten Visualisierungs- und Navigationswerkzeuge lassen zukünftig eine signifikante Verkürzung der Eingriffszeit erwarten und erlauben die Detailplanung zur Minimierung des Traumas für den Patienten. Die Informationswissenschaften dienen damit der Verbesserung der präoperativen Diagnose, der Operationsplanung, der Verkürzung des operativen Eingriffes und unterstützen damit bei der Reduktion des Traumas.

Anmerkungen zur Verbesserung der Bildgebung

Die rasante Weiterentwicklung der Bildgebung sowie der medizinischen Bildverarbeitung und -analyse wird insbesondere die Diagnostik und Früherkennung in der Viszeralmedizin sowie die Einsatzgebiete von NOTES positiv beeinflussen.

Ein Beispiel ist Darmkrebsvorsorge durch virtuelle Koloskopie [2]. Die Computergrafik verfügt über immersive Visualisierungs-

algorithmen für hochaufgelöste Volumendatensätze, die einen virtuellen Flug durch den Darm ermöglichen. Es ist davon auszugehen, dass virtuelle Visualisierungstechniken ausreichend hohe Standards erreichen und zukünftig noch intensiver zum Einsatz kommen.

Großes Potenzial für neue Anwendungen in der Endoskopie haben Methoden, die deutlich über die heutige Farbbildgebung hinausgehen und vom Fortschritt in der Kamertechnologie profitieren. Zu nennen sind hier speziell die spektrale Farbbildgebung [3], die endoskopische Mikroskopie [4] und die 3D-Endoskopie [6].

Das Verständnis der geometrischen Verhältnisse im Körper ist für viele Entscheidungen wichtig. In der Endoskopie beispielsweise sind die dreidimensionale Oberfläche sowie die Erfassung metrischer Informationen ebenso von Interesse wie die Visualisierung der 3D-Strukturen. Mit der Markteinführung der Time-of-Flight (ToF)-Kamera ergeben sich völlig neue Ansatzpunkte für die 3D-Endoskopie. Die ToF-Kamera kann an die Optik des Endoskops montiert werden (**Abb. 2**). Mittels einem optischen Strahlteilers können zeitgleich Farb- und Tiefeninformation vom Körperinneren endoskopisch erfasst werden. Mit der endoskopisch gemessenen 3D-Oberflächenkarte stehen wichtige Orientierungshilfen und Daten für die Realisierung von NOTES-Eingriffen zur Verfügung. Ein Beispiel zeigt **Abb. 3**. Neben der vertrauten Farbbildinformation hat der Arzt auch Zugriff auf Tiefeninformationen, die beispielsweise die 3D-Vermessung oder die Fusion mit präoperativen Datensätzen erlaubt.

Neben der 3D-Endoskopie sehen Forscher und Kliniker zudem ein großes Potenzial in der Kombination von Endoskopie und Mikroskopie. Im Feld der endoskopischen Mikroskopie sind in vivo mikroskopische Aufnahmen möglich, die eine Gewebesenahme und histologische Untersuchung ersetzen können und so die Diagnostik signifikant verbessern. Sowohl Konfokal- als auch Fluoreszenzmikroskopie sind hier Gegenstand intensiver Forschung. Ziel ist die In-vivo-Akquisition und -Analyse hochauflösender Bilder zellulärer Strukturen. Tomografische Aufnahmen in vivo ermöglicht die optische Kohärenztomografie (OCT). Sie ist heute in der Retinabildgebung bereits etabliert und das einzige bildgebende Verfahren zur In-vivo-Visualisierung und -Diagnose der Zellschichten. Ein Beispiel zeigt **Abb. 4**. Die Kombination von Endoskopie, Mikroskopie und OCT wird ganz neue Möglichkeiten für hochinnovative Anwendungsfelder der In-vivo-Bildgebung schaffen [7].

Generell ist zu erwarten, dass weitere neue bildgebende Verfahren Einzug in die Viszeralmedizin halten und diese nachhaltig verändern werden. Die Informationstechnik wird hierbei insbe-

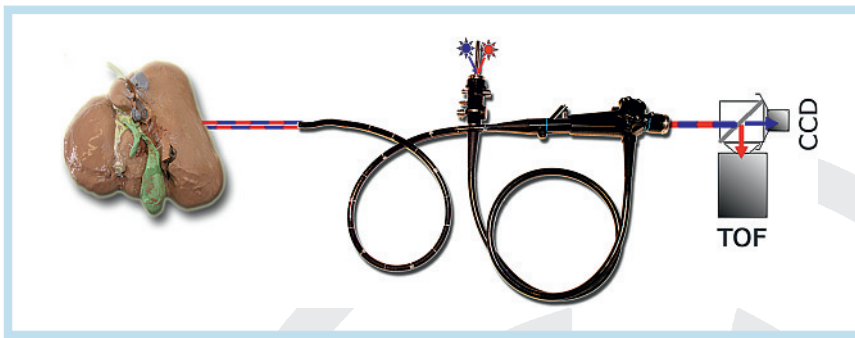


Abb. 2 Aufbau des ToF-Endoskops. Bildquelle: Kurt Höller, Zentralinstitut für Medizintechnik, Universität Erlangen-Nürnberg.

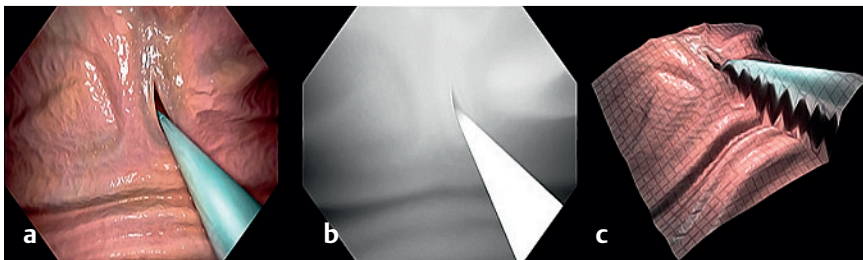


Abb. 3 Farbbild (links), Tiefenbild (Mitte), kombinierte Farb- und Tiefeninformation (rechts). Bildquelle: Kurt Höller, Zentralinstitut für Medizintechnik, Universität Erlangen-Nürnberg.

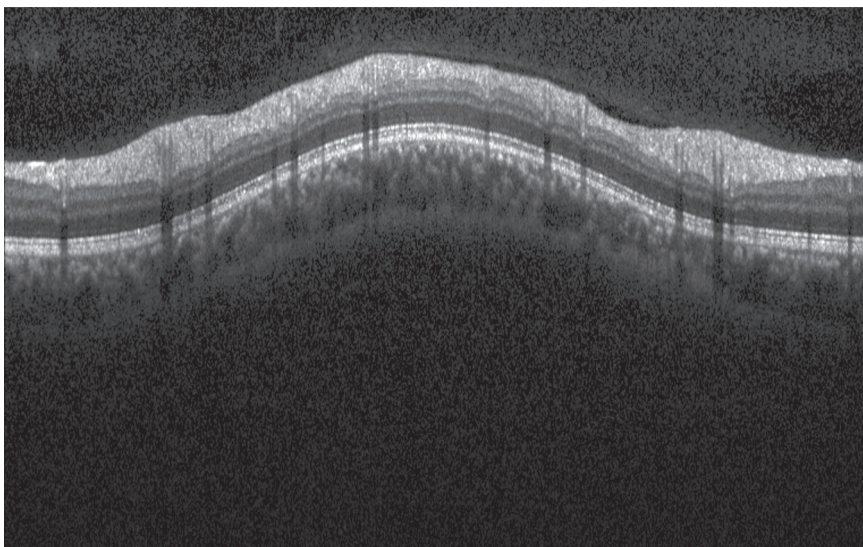


Abb. 4 OCT Aufnahme der Retina. Bildquelle: Markus Mayer, Lehrstuhl für Mustererkennung, Universität Erlangen-Nürnberg.

sondere für Innovationen auf dem Gebiet der Hybridbildgebung sorgen. Die Kombination bildgebender Verfahren mit modernen Systemen zur Navigation sowie der retrospektiven Fusion und Visualisierung multimodaler Bilddaten wird für die Entwicklung von NOTES wegweisend sein [8].

Fusion verfügbarer Informationen

Die Informationswissenschaften erlauben den effizienten Zugriff auf alle verfügbaren Daten sowie deren Kombination und virtuelle Manipulation. Dies schließt prä-, inter- und postoperatives Bildmaterial ebenso ein wie Labordaten oder Simulationsergebnisse. In der Bildverarbeitung sind verstärkt leistungsfähige Algorithmen im Fokus der Forschung, welche die softwarebasierte Fusion hybrider Bilddaten erlauben. So können beispielsweise funktionelle mit morphologischen Bilddaten fusioniert werden. Ein Beispiel zeigt **Abb. 5**. Die größten Probleme sind hierbei die mathematische Modellierung von Organbewegungen und Deformationen. Anatomische Modelle, die

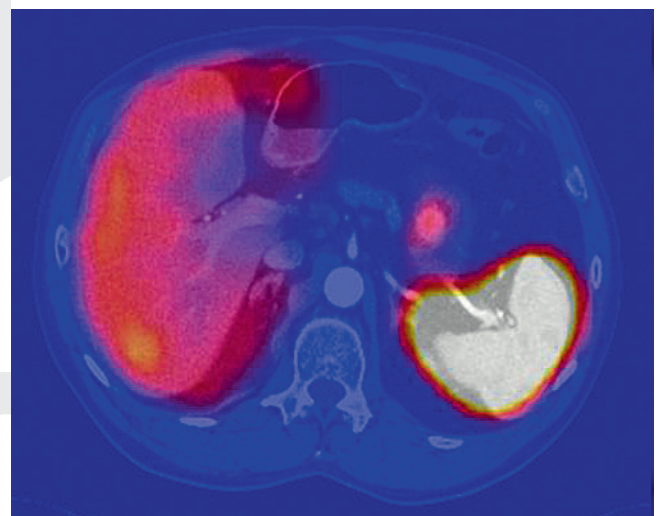


Abb. 5 Fusionierte PET/CT-Aufnahme. Bildquelle: Christoph Gütter, Lehrstuhl für Mustererkennung, Universität Erlangen-Nürnberg.

entsprechende Materialeigenschaften berücksichtigen, sind noch nicht verfügbar [8].

Schlussbemerkungen

Innovationen in der Viszeralmedizin sind eng verzahnt mit neuen technologischen Entwicklungen und Methodiken. Die Innovationsgeschwindigkeit und die Komplexität der eingesetzten Technologien werden mit Sicherheit weiter steigen und die notwendigen Voraussetzungen für neue Operationstechniken wie beispielsweise NOTES schaffen. Eine Schlüsselrolle übernimmt in vielen Innovationsebenen die Informationswissenschaft. Sie wird bei der Vorentwicklung neuer Systeme ebenso von Bedeutung sein wie bei der Einarbeitung in neue Verfahren und bei der Beherrschung der Systemkomponenten im praktischen Einsatz.

Literatur

- 1 Baron TH. Natural orifice transluminal endoscopic surgery. *Br J Surg* 2007; 94: 1–2
- 2 Kühl C, Dumont G. Colonoscopy simulation: towards endoscopes improvement. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* 2005; 8: 251–257
- 3 Fedeli P, Gasbarrini A, Cammarota G. Spectral endoscopic imaging: the multiband system for enhancing the endoscopic surface visualization. *J Clin Gastroenterol* 2011; 45: 6–15
- 4 Strekalovsky VP, Khankin SL, Gorbeshko TP et al. Endoscopic microscopy of the colon. *Endoscopy* 1984; 16: 179–181
- 5 Siebenthal M, Székely G, Lomax AJ et al. Systematic errors in respiratory gating due to intrafraction deformations of the liver. *Med Phys* 2007; 34: 3620–3629
- 6 Penne J, Höller K, Stürmer M et al. Time-of-Flight 3-D endoscopy. *Med Image Comput Comput Assist Interv* 2009; 12 (Pt 1): 467–474
- 7 Xie H. MEMS-based 3D optical microendoscopy. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* 2009; 2009: 6703–6705
- 8 Kuwert T, Römer W, Hornegger J. Correlative imaging in cardiology. Principles and clinical application. *Herz* 2007; 32: 122–128