

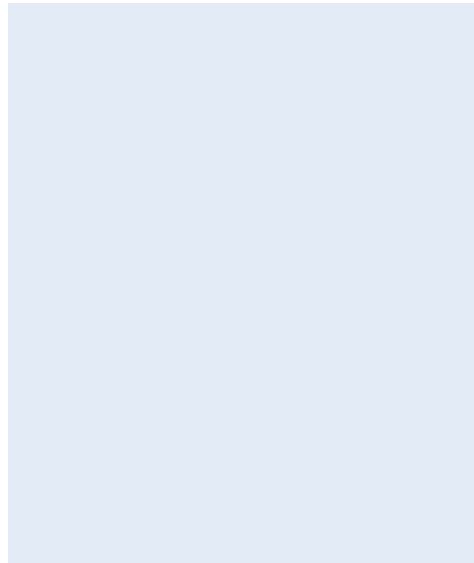
Eine Informationsbroschüre des ISI - Imaging Science Institute.  
Bei dem ISI - Imaging Science Institute handelt es sich um eine  
Kooperation zwischen dem Universitätsklinikum Erlangen  
und der Siemens AG.  
Bestell-Nr. A91ES-779-C1  
Veröffentlichung Oktober 2009

[www.isi-portal.de](http://www.isi-portal.de)

# PET-CT - Chancen auf Früherkennung

Fachinformation zur Hybridbildgebung mit PET-CT





## Inhaltsverzeichnis

Was ist PET?	4	Kopf-Hals-Tumoren	15
Warum PET-CT?	5	Melanome	16
Onkologie. Welche Vorteile hat die FDG-PET in der Onkologie?	6	Gliome	17
Was sind die Pitfalls der FDG-PET in der Onkologie?	7	Prostata-Karzinom	18
Wie läuft eine FDG-PET-Ganzkörperuntersuchung ab?	9	Therapiekontrolle mit PET-CT	19
Bronchialkarzinom	11	Indikationsüberblick	20
Kolorektale Karzinome	12	Neuromedizin und Kardiologie	20
Schilddrüsenkarzinom	13	Indikationsempfehlungen	21
Lymphome	14	Weiterführende Informationen	22
		Weiterführende Literatur	23

## Vorwort

Sehr verehrte Frau Kollegin,  
sehr geehrter Herr Kollege,

mit dieser Broschüre möchten wir Ihnen Informationen zur Molekularen Bildgebung mit der Positronenemissionstomographie (PET) an die Hand geben.

In Kombination mit der Röntgen-Computertomographie (CT) ist PET das derzeit leistungsfähigste Verfahren, molekulare Vorgänge in vivo abzubilden. PET wurde vor etwa 30 Jahren entwickelt, stetig verbessert und steht jetzt für die klinische Routine zur Verfügung. Die bereits international in vielen Ländern akzeptierten Indikationen betreffen insbesondere die Diagnostik von Krebserkrankungen; PET lässt sich jedoch auch bei neurologischen und kardiologischen Krankheitsbildern einsetzen.

Diese Broschüre soll Ihnen einige allgemeine Informationen zu unserer neuen Technik liefern. Keineswegs soll sie das persönliche Gespräch ersetzen, nur dieses ist in der Lage, die Wertigkeit der PET für den individuellen Patienten zu klären. Gerne stehen wir ihnen deshalb für den interdisziplinären Dialog zur Verfügung.

Mit sehr herzlichen Grüßen





## Warum PET-CT?

PET ist das leistungsfähigste Verfahren klinischer molekularer Bildgebung. Aufgrund der Spezifität der verwendeten Tracer für nur bestimmte Gewebe des Körpers ist die Möglichkeit der PET allerdings eingeschränkt, die normale Anatomie darzustellen.

Mit den so genannten PET/CT-Hybrid-Kameras wird dieser Nachteil der PET kompensiert. Diese Geräte erlauben die Durchführung einer PET- und einer CT-Untersuchung direkt hintereinander. Die entstehenden Bilddatensätze sind durch nahezu konstante Patientenpositionierung zwischen beiden Verfahren ideal fusioniert und erlauben die genaue Zuordnung eines Stoffwechselbefundes zur Anatomie.

Diverse technische Weiterentwicklungen ermöglichen es, die Messzeiten bei aktuellen PET/CT-Hybrid-Kameras auf ca. 10 - 20 Minuten zu verkürzen.

Durch den Umstand, dass die CT auch als Kontrastmittel-gestützte, diagnostisch vollwertige Untersuchung durchgeführt werden kann, können dem Patienten Zweituntersuchungen erspart werden. Hierdurch beschleunigt sich die Diagnostik deutlich, ferner erhöht sich hierdurch auch der Patientenkomfort.

## Was ist PET?

Bei der Positronenemissionstomographie (PET) handelt es sich um eine nuklearmedizinische Computertomographie, mit der sich die Verteilung einer radioaktiven Substanz im Körper eines Patienten dreidimensional darstellen und messen lässt. Die Qualität der mit der PET erzeugten Abbildungen der Radioaktivitätsverteilung im Gewebe ist deutlich besser als die mit anderen nuklearmedizinischen Computertomographien erzielbare Bildgüte.

Für ein vertieftes Verständnis der PET bedarf es einiger physikalischer Erläuterungen:

Bei der PET werden Radiopharmaka injiziert, deren Radionuklide Positronen aussenden. Positronen sind einfach positiv geladene Teilchen der Masse eines Elektrons. Nach kurzer Laufstrecke im Gewebe vereinigt sich das Positron mit einem Elektron. Bei diesem so genannten Anihilationsereignis wird die Masse beider Teilchen in Energie umgesetzt und zwar in zwei, in einem Winkel von 180° zuei-

ander ausstrahlende, diametral entgegengesetzte Photonen.

Ein PET-System besteht aus vielen kleinen, ringförmig angeordneten Detektorelementen. Nur dann, wenn je ein Photon auf zwei gegenüberliegende Detektoren gleichzeitig auftrifft, registriert das System ein bilderzeugendes Ereignis.

Pro Kernzerfall wird mit der PET also ein Strahlenpaar frei und nicht – wie bei der konventionellen nuklearmedizinischen Computertomographie SPECT - ein einzelnes Photon. Dieser Umstand sowie auch die relativ hohe Energie dieser Photonen reduziert den Einfluss der Streustrahlung und der Gewebsschwächung auf die Bilderzeugung. Mit der PET ist deshalb eine bisher nicht erreichbare Genauigkeit der in-vivo Quantifizierung der Gewebsradioaktivitätskonzentration möglich.

## Wie ist mit PET Molekulare Bildgebung möglich?

Radioaktiv markierte Pharmaka reagieren wie nicht-radioaktive Pharmaka mit den Funktionsproteinen des menschlichen Körpers. Hierdurch wird ihre Anreicherung im Körper bestimmt.

Dieses wird am Beispiel der <sup>18</sup>F-Deoxyglukose (FDG) deutlich:

FDG wird über die Glukosetransporter in Zellen eingeschleust und dann in der Hexokinase-Reaktion phosphoryliert. Das FDG-Phosphat wird dann im Unterschied zum Glukosephosphat jedoch nicht weiter verstoffwechselt, sondern akkumuliert in der Zelle. Je höher die Aktivität der Transportenzyme und der Hexokinase ist, desto größer ist das Ausmaß der Anreicherung – mit anderen Worten: je höher der Glukoseumsatz in einer Region, desto höher ist das radioaktive Signal, das sich mit der PET ableiten lässt. FDG ist das am häufigsten verwendete

Radiopharmakon. Es eignet sich zur Untersuchung bzw. Darstellung aller Gewebe, die einen erhöhten Glukoseumsatz aufweisen. Dieses sind insbesondere maligne Tumore, aber auch das Gehirn und – unter bestimmten Voraussetzungen – der Herzmuskel. Entsprechend breit ist das Indikationsspektrum der FDG-PET.

An vielen Orten stehen für die PET neben FDG bereits andere Radiopharmaka zur Verfügung.

# Onkologie

## Welche Vorteile hat die FDG-PET in der Onkologie?



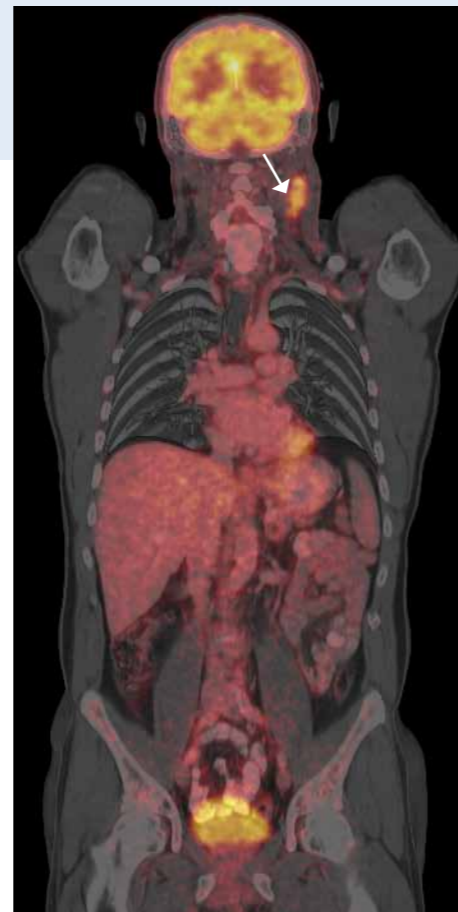
PET ermöglicht die Darstellung des gesamten Patientenkörpers. Hierdurch lässt sich in einer Aufnahme ein Ganzkörper-Staging durchführen (->).

PET kann eine Erhöhung des Glukoseumsatzes auch in Lymphknotenstrukturen nachweisen, deren geringe Größe sie in der CT noch nicht auffällig werden lässt (->).

Durch Messung der Stoffwechselrate in größeren Raumforderungen unklarer Dignität kann die PET sehr häufig zwischen Krebsgewebe und Narbengewebe bzw. chronischer Entzündung differenzieren.

Eine PET-Untersuchung kann aufgrund ihrer sehr hohen Genauigkeit in der Tumordetektion viele andere Verfahren überflüssig machen.

Die Kombinationsbildgebung PET/CT trägt durch Verkürzung der Untersuchungsabläufe zur Kosteneffizienz und zum Patientenkomfort bei.



## Was sind die Pitfalls der FDG-PET in der Onkologie?

1. Die räumliche Auflösung der PET ist in den letzten Jahren auf Werte von derzeit minimal 2 mm verbessert worden. Dennoch lassen sich sehr kleine Tumorerde und insbesondere Mikrometastasen auch mit diesem Verfahren nicht erfassen.
2. FDG wird auch von aktivierten Entzündungszellen aufgenommen. Gelegentlich lassen sich deshalb akut entzündliche Läsionen nicht von Tumorherden differenzieren.

# Onkologie

## Wie läuft eine FDG-PET-Ganzkörperuntersuchung ab?

- Eine PET-Untersuchung wird ambulant durchgeführt und dauert unter Einberechnung der notwendigen Wartezeit zur Verteilung der FDG im Körper ca. 1 1/2 Stunden.
- Der Patient muss nüchtern zur Untersuchung kommen, er kann aber Mineralwasser oder ungesüßten Tee trinken. Bitte geben Sie ihm seine Vorbefunde mit.
- Wenn eine CT-Untersuchung mit Röntgenkontrastmittel durchgeführt werden soll, müssen die Nieren- und Schilddrüsenwerte vorliegen und es muss auch eine entsprechende Patientenaufklärung erfolgen.
- Relative Kontraindikationen für eine kontrastmittelgestützte CT sind die Kontrastmittel- oder Jodallergie, Schilddrüsenerkrankungen, eine Niereninsuffizienz oder die Medikation mit Metformin.
- Für die PET-Untersuchung gibt es keine Kontraindikation außer Schwangerschaft, sie kann jedoch bei Blutzuckerspiegeln > 150 mg/dl nicht möglich sein.
- Vor der PET-Untersuchung wird der Blutzuckerwert bestimmt und ein Venenzugang für die folgenden Injektionen gelegt.
- Anschließend wird das Radiopharmakon injiziert; die Menge ist vom Gewicht des Patienten abhängig.
- Es folgt die Infusion einer Kochsalzlösung mit einem harntreibenden Mittel. Dadurch wird die Verteilung der FDG und die spätere Ausscheidung im Körper beschleunigt.
- Als Zusatzmedikation wird je nach Fragestellung noch Butylscopolamin oder ein Benzodiazepin injiziert.
- Nun muss der Patient etwa 1 Stunde warten, bis sich die FDG verteilt und in den betreffenden Zellen angereichert hat. Eventuell wird dem Patienten in dieser Zeit auch ein Kontrastmittel in Form eines Getränkes verabreicht.
- Jetzt erfolgt die Untersuchung im PET- oder PET•CT-Scanner (Dauer zwischen 10 und 60 Minuten).
- Im Anschluss kann eine CT-Untersuchung, auch mit Kontrastmittel, durchgeführt werden.
- Der oben beschriebene Ablauf ist bei FDG-PET-Untersuchungen des Gehirns oder des Herzens anders. Dieses gilt auch, wenn andere Radiopharmaka als FDG verwendet werden. Gerne informieren wir Sie auch telefonisch über den Ablauf dieser Untersuchungen.

# Bronchialkarzinom

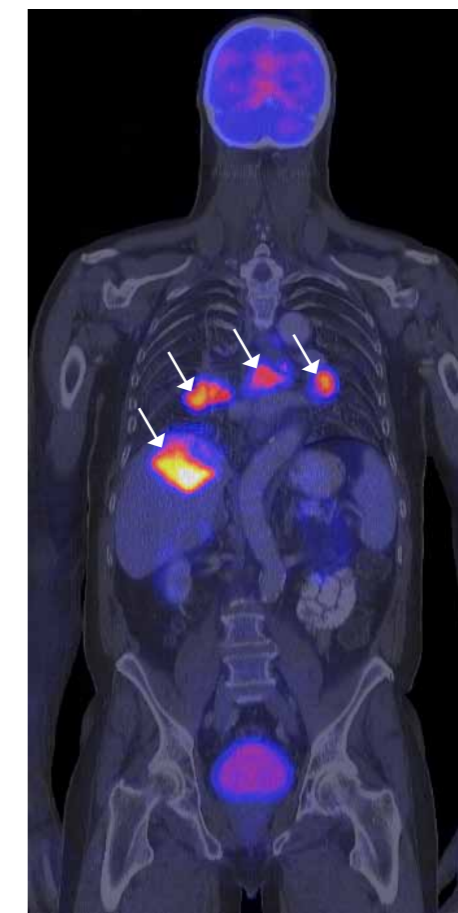


Die meisten nicht-kleinzelligen Bronchialkarzinome konzentrieren FDG. Viele Studien haben gezeigt, dass die PET sowohl bei der Dignitätsklärung eines pulmonalen Rundherdes als auch beim Staging von nicht-kleinzelligen Bronchialkarzinomen sämtlichen anderen bildgebenden Verfahren und insbesondere der CT deutlich überlegen ist. FDG-PET ist bei dieser Tumorentität besonders wertvoll für die folgenden Indikationen:

- Differentialdiagnose des solitären pulmonalen Rundherdes
- Präoperatives Staging des nicht-kleinzelligen Bronchialkarzinoms (Abb.)
- Rezidivdiagnostik des nicht-kleinzelligen Bronchialkarzinoms
- Strahlentherapieplanung, insbesondere Bestimmung des Zielvolumens

Wie das nicht-kleinzellige Bronchialkarzinom weist auch das maligne Pleuramesotheliom einen deutlich erhöhten Glukose-

metabolismus auf, so dass FDG-PET bei diesem Tumor mit den o.g. Indikationen ebenfalls eingesetzt werden kann. Kleinzellige Bronchialkarzinome reichern ebenfalls FDG an. Der Stellenwert der PET für diesen Tumortyp ist bisher noch strittig. Eine schlechte Anreicherung von FDG findet sich bei Karzinoiden und dem bronchiolo-alveolären Lungenkarzinom. Falsch-positive Anreicherungen werden gelegentlich in entzündlichen Herden wie beispielsweise Aspergillomen gefunden.

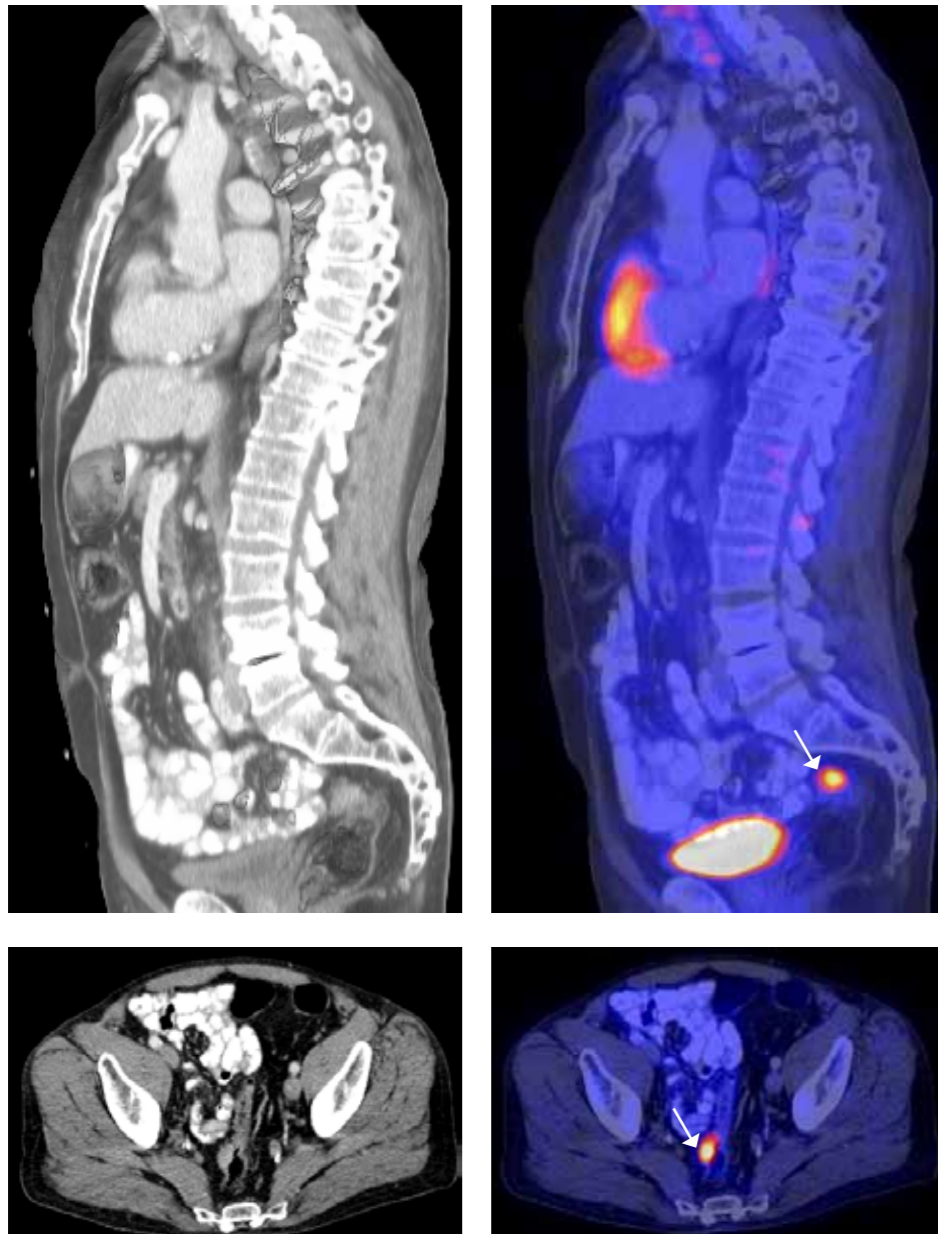


Darstellung des Lungenkarzinoms und seiner Metastasen (->)

# Kolorektale Karzinome

Der Glukosemetabolismus kolorektaler Karzinome ist vergleichsweise hoch. Dennoch spielt die FDG-PET beim initialen Staging dieses Tumors nur eine geringe Rolle, da gerade initial befallene regionale Lymphknotenmetastasen sich aufgrund ihrer geringen Größe dem Nachweis durch diese Technologie entziehen.

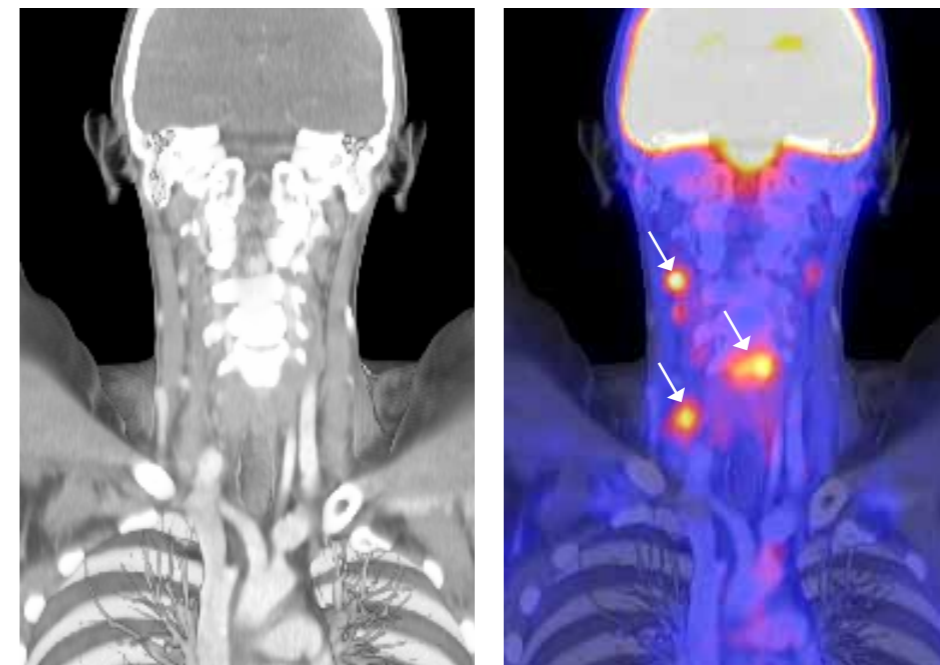
Anders ist die Situation bei einem vermuteten Rezidiv, beispielsweise bei einem CEA-Anstieg. So eignet sich die FDG-PET zum Restaging und insbesondere zum Nachweis von Leber- und Lymphknotenmetastasen, aber auch zur Diagnose regionaler Rezidive (->).



# Schilddrüsenkarzinom

Mit Radiojod lassen sich im Regelfall gut differenzierte Schilddrüsenkarzinome diagnostizieren und auch behandeln. Bei etwa 10% dieser Tumore kommt es allerdings zu einem Verlust ihrer Jodspeicherkapazität als Ausdruck ihrer zunehmenden Entdifferenzierung. Die FDG-PET ist

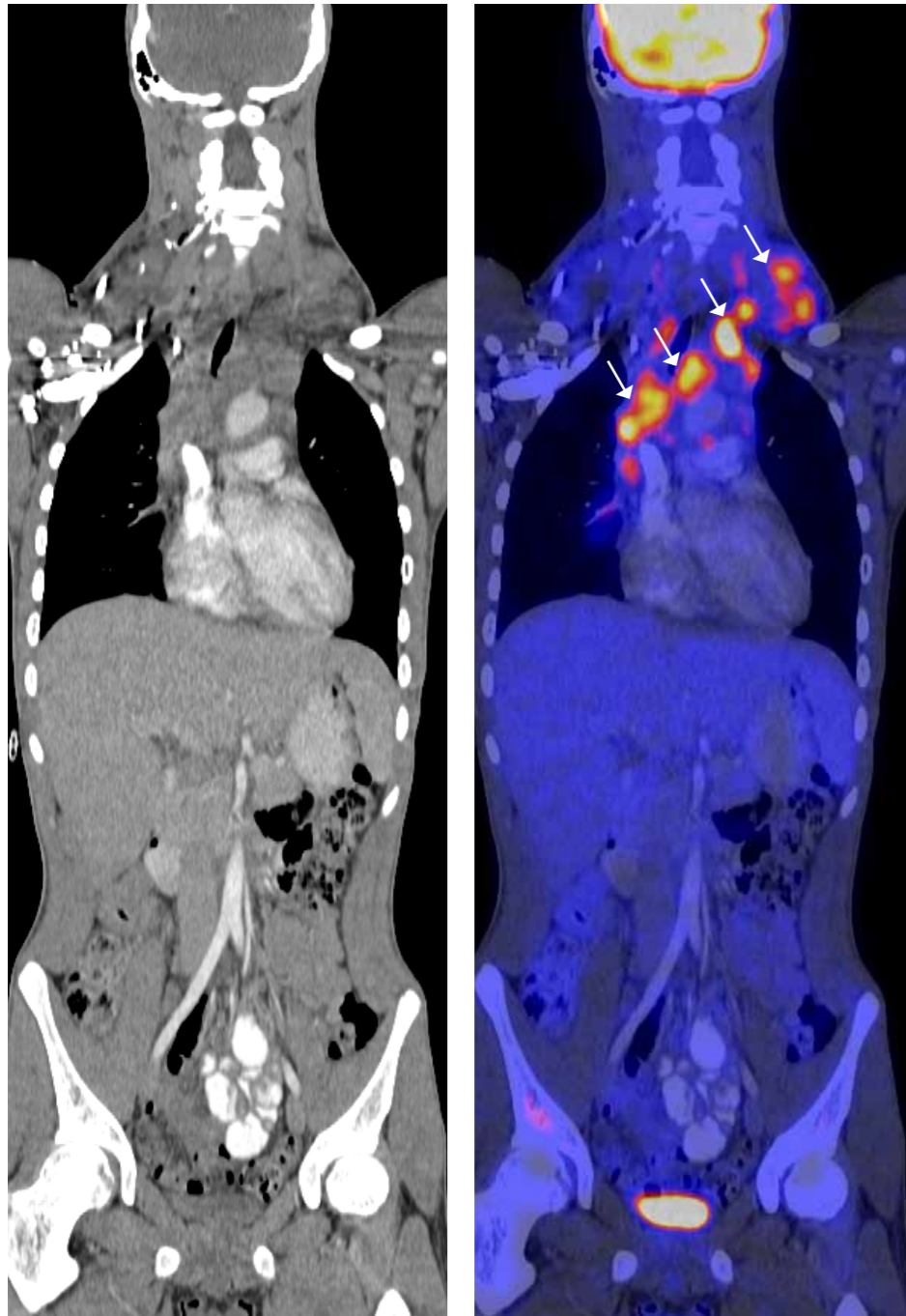
das genaueste bildgebende Verfahren zur Lokalisation radiojod-negativer Absiedlungen des Schilddrüsenkrebs (->) und ermöglicht damit die gezielte operative Resektion solcher Metastasen.



# Lymphome

Die meisten Lymphome konzentrieren FDG, so dass sich FDG-PET in hervorragender Weise zum Staging dieser Lymphome eignet (->).

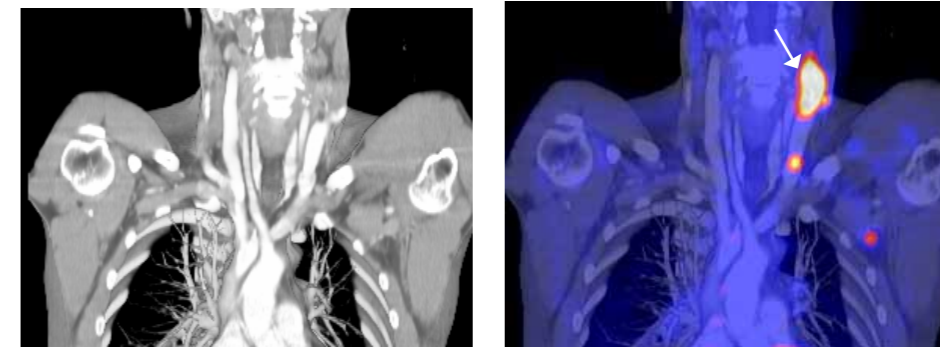
Besonders wertvoll ist FDG-PET ebenfalls zum Therapiemonitoring der Hodgkin-Lymphome.



# Kopf-Hals-Tumoren

Der Glukosemetabolismus der Kopf-Hals-Tumore ist variabel, dennoch lässt sich die FDG-PET für das lokoregionäre Staging, die Identifizierung von Fernmetastasen und die Darstellung von Therapieeffekten einsetzen.

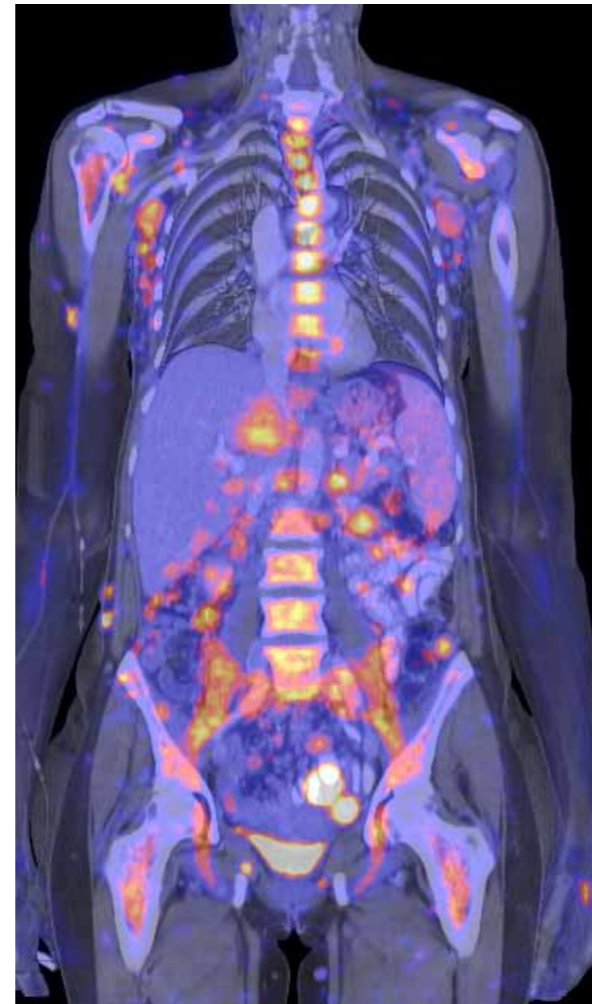
Ein Problem kann die relativ hohe physiologische FDG-Anreicherung in verschiedenen Strukturen dieser anatomischen Region darstellen, insbesondere können falsch-positive Befunde durch FDG-Aufnahme in die Halsmuskulatur oder in das braune Fettgewebe entstehen. Diese falsch-positiven Befunde lassen sich durch Fusion der PET mit einer idealerweise kontrastmittel-gestützten CT sehr gut identifizieren (->).



# Melanome

Melanome gehören zu den Tumoren mit dem höchsten Glukosemetabolismus. Entsprechend genau ist die FDG-PET beim Staging dieser Tumore.

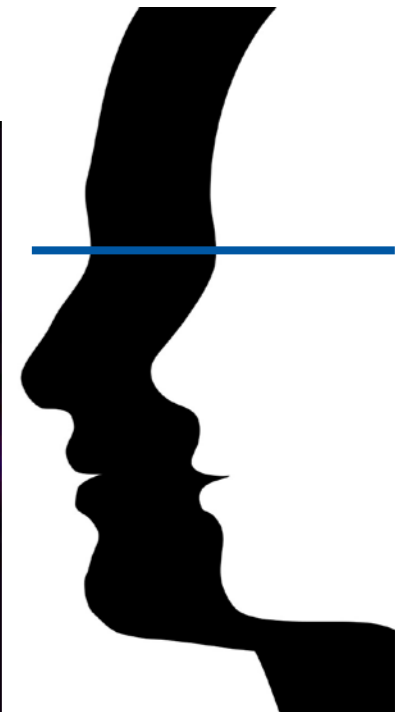
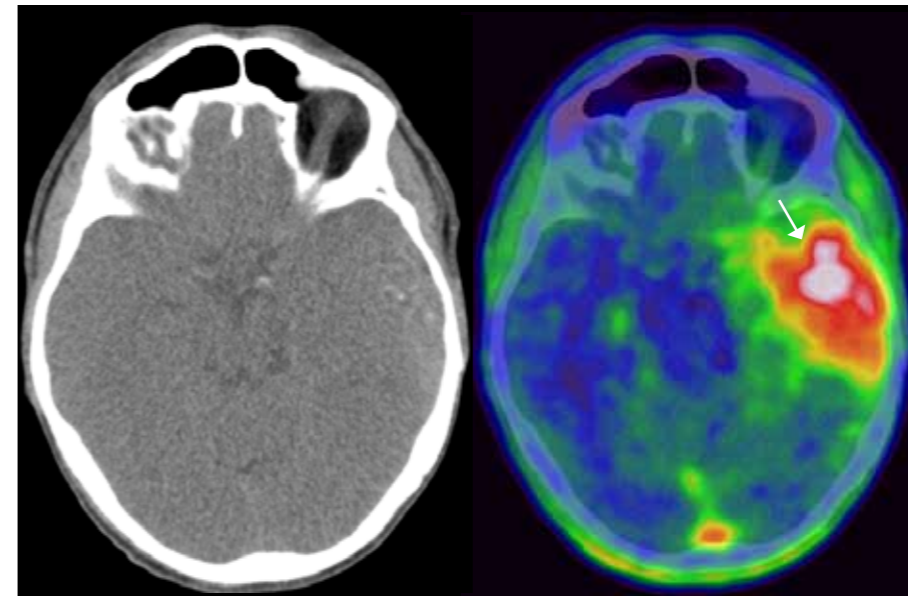
So lassen sich mit molekularer Bildgebung die häufig in atypischen Regionen vorhandenen Lymphknoten- und Fernmetastasen dieser Tumorentität exzellent darstellen (Abb.).



# Gliome

FDG reichert sich in höhergradigen Gliomen an und kann für das nicht-invasive Grading sowie die Identifizierung des am schlechtesten differenzierten Tumorteils Verwendung finden. Weiterhin lässt es sich zum Nachweis einer Entdifferenzierung primär gut differenzierter Gliome einsetzen.

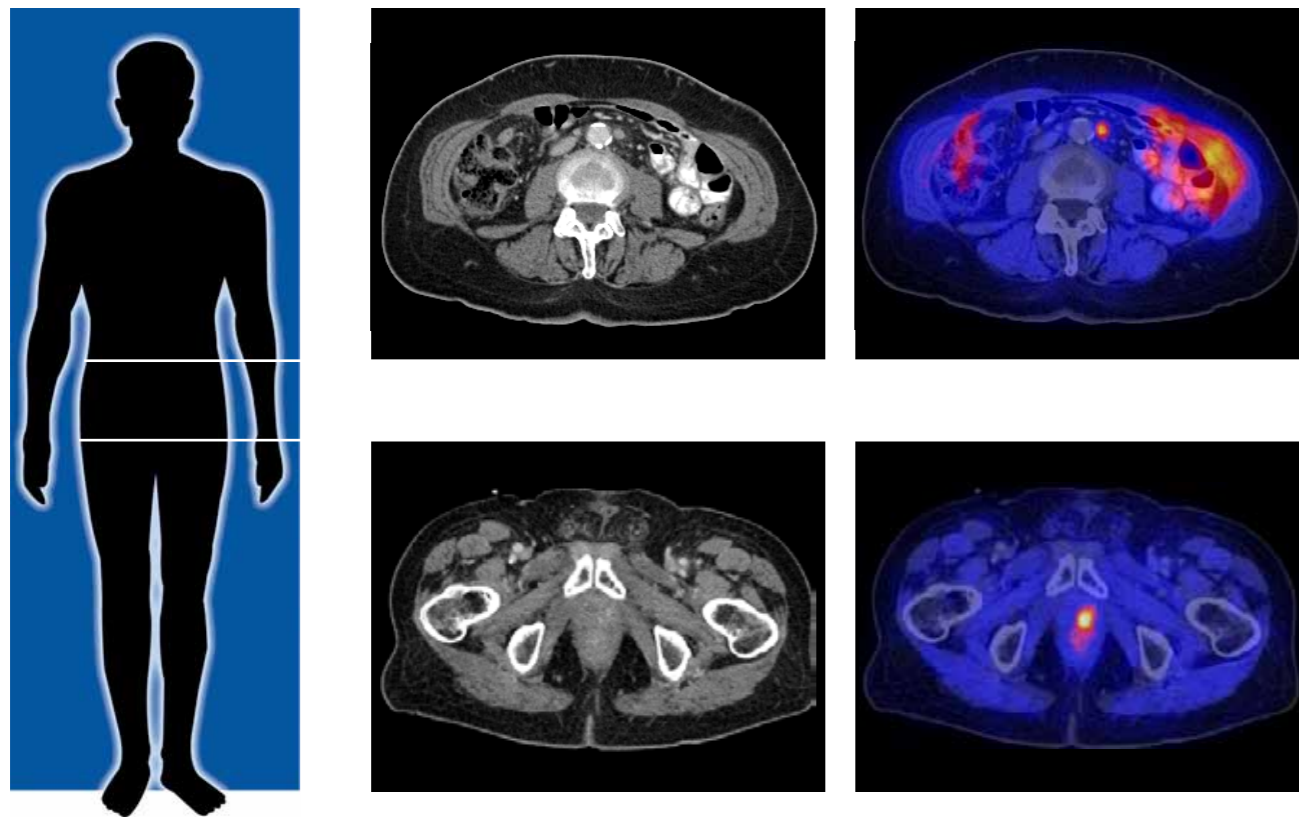
Einen besonderen Stellenwert bei der Rezidivdiagnostik und der Bestimmung der Ausdehnung von Gliomen bekommt die PET, wenn für sie nicht FDG, sondern radioaktiv markierte Aminosäuren wie das Fluor-18-Ethyltyrosin (FET) verwendet werden (->).



# Prostata-Karzinom

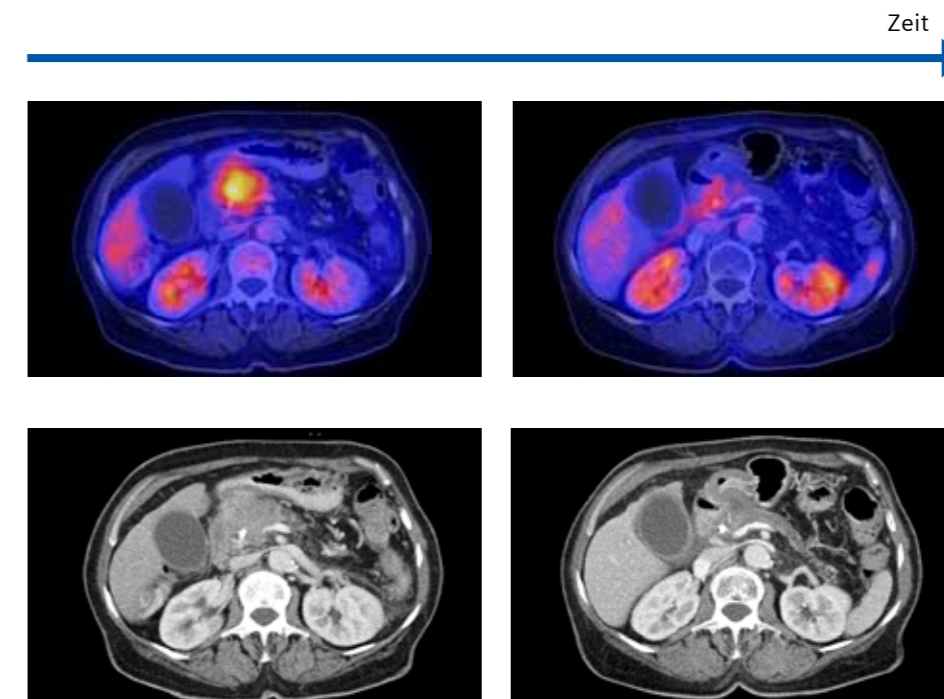
Prostatakarzinome und ihre Metastasen konzentrieren in der Regel wenig FDG.

Mit den mit F-18-markierten Cholin-Derivaten stehen jedoch seit kurzem PET-Radiopharmaka zur Verfügung, die bei der Lokalisation des Primarius und auch beim Restaging dieser Tumorentität hilfreich sein können (Abb.).



# Therapiekontrolle mit PET-CT

Bisher ist es Standard in der Onkologie, das Ansprechen von Tumoren auf nicht-invasive Therapiemodalitäten wie die Chemo- oder Strahlentherapie durch Messung der Tumorgroße, beispielsweise auf CT-Bildern, zu prüfen. Der Glukosemetabolismus ist ein deutlich sensitiverer und auch spezifischer Prädiktor des Therapieerfolges als die Größenabnahme neoplastischer Läsionen, wie eine Vielzahl von Studien gezeigt hat. Die FDG-PET eignet sich insbesondere zur Therapieverlaufkontrolle der gastrointestinalen Stomatumoren (GIST) und der Lymphome. Zunehmend findet die FDG-PET allerdings auch Einzug in das Therapiemonitoring der Radiochemotherapie kolorektaler Karzinome und des Pankreaskarzinoms (Abb.).



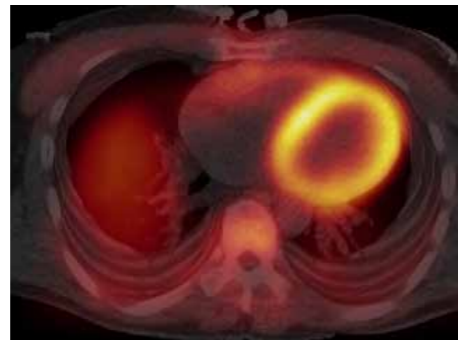
## Indikationsüberblick

Die deutsche Strahlenschutzkommission hat Empfehlungen für den Einsatz radiologischer und nuklearmedizinischer Untersuchungen erarbeitet, die unter [www.ssk.de](http://www.ssk.de) erhältlich sind und den derzeitigen Stand im Überblick zusammenfassen (Tabelle). Zusätzlich soll die ebenfalls angegebene weiterführende Literatur im Anhang über den klinischen Einsatz der PET orientieren helfen.

Natürlich ist - wie bei anderen radiologisch-nuklearmedizinischen Verfahren auch - die Indikation für die PET für jeden Patienten individuell zu prüfen, gerne stehen auch wir, z.B. telefonisch, hierfür zur Verfügung.

# Neuromedizin und Kardiologie

Die stürmische Entwicklung des Einsatzes von PET in den onkologischen Fächern hat vielerorts vergessen lassen, dass die FDG-PET unverändert das genaueste bildgebende Verfahren zum Nachweis neurodegenerativer Prozesse ist. FDG-PET eignet sich mit sehr hoher Genauigkeit zur Früh- und Differentialdiagnostik von Demenzen. Ferner eignet es sich zum Nachweis epileptogener Foki und mit <sup>18</sup>F-DOPA auch zur Frühdiagnose des M. Parkinson.



Zusätzlich zeichnen sich interessante radiopharmakologische Neuentwicklungen, wie die so genannten Amyloidtracer, ab, die sich hochspezifisch im Gehirn von Alzheimer-Patienten ablagern.

Nicht infarzierte, aber minderperfundierte Myokard-Areale weisen eine erhöhte Glykolyse auf und konzentrieren deshalb FDG (Abb.). Eine Indikation für die Vitalitätsdiagnostik mit FDG-PET besteht insbesondere bei Patienten mit niedriger kardialer Ejektionsfraktion, bei denen ein erhöhtes Operationsrisiko besteht.

Es ist damit zu rechnen, dass binnen kurzem auch in Deutschland Perfusionstracer für die PET zur Verfügung stehen, so dass sich mit diesem Verfahren auch die hämodynamische Relevanz von Koronarstenosen analog zur Myokardperfusionsszintigraphie, aber mit sehr viel höherer quantitativer Genauigkeit beurteilen lässt.



Indikationen für die PET in der Onkologie nach der Orientierungshilfe für radiologische und nuklearmedizinische Untersuchungen der Deutschen Strahlenschutzkommission SSK ([www.ssk.de](http://www.ssk.de))

Tumorart	Indikationsempfehlung
Lungen-Karzinom	FDG-PET: Nachweis von Lymphknoten- und Fernmetastasen
Colorektale Karzinome	FDG-PET: Therapiekontrolle, Re-Staging bei Tumormarkeranstieg, Nachweis von Lokalrezidiven sowie von Lymphknoten- und Fernmetastasen
Pharynx-Karzinom	FDG-PET: Staging, Nachweis von Fernmetastasen
Larynx-Karzinom	FDG-PET: Staging, Nachweis von Fernmetastasen
Melanom	FDG-PET: Metastasensuche, Lymphknotenstaging
Gliomatöse Hirntumoren	FDG-PET, Aminosäure-PET*: Rezidivdiagnostik, Vitalität von Resttumoren, „biologisches Volumen“
Prostata-Karzinom	Cholin-PET: Nachweis von Lymphknoten- und Fernmetastasen
Schilddrüsen-Karzinom	FDG-PET: Restaging bei Verdacht auf Rezidiv
Solitärer unklarer Rundherd	FDG-PET: Differentialdiagnose maligne/benigne
Oesophagus-Karzinom	FDG-PET: Lymphknoten- und Fernmetastasennachweis
Unklare Metastase in Leber	FDG-PET: Nachweis extrahepatischer Herde bei inkonklusivem Befund im CT/MRT
Pankreas-Karzinom	FDG-PET: Differentialdiagnose Pankreas-Karzinom/chronische Pankreatitis, Rezidivnachweis
Hoden-Karzinom	FDG-PET: Nachweis von Lymphknoten- und Fernmetastasen
Ovarial-Karzinom	FDG-PET: Nachweis von Lymphknoten- und Fernmetastasen im Staging und in der Nachsorge
Lymphome	FDG-PET: Primäres Staging, Therapiekontrolle, Frühdiagnostik von Lokalrezidiven, Staging und Verlaufskontrolle
Metastasen eines unbekanntes Primärtumors	FDG-PET: Nachweis des Primärtumors

\*Analog zu dem von der SSK aufgeführten I-123-Methyltyrosin-SPECT

## Weiterführende Informationen

Auf den folgenden Internetseiten finden Sie weiterführende Informationen:

Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin  
[www.nuklearmedizin.de](http://www.nuklearmedizin.de)

Berufsverband deutscher Nuklearmediziner  
<http://www3.bdn-online.de>

Verein zur Förderung und Verbreitung der Positronen-Emissions-Tomographie e.V.  
<http://www.petev.de>

Norddeutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.  
<http://ngn-home.org>

Berlin-Brandenburgische Gesellschaft für Nuklearmedizin  
<http://www.bbgn.charite.de>

Gesellschaft für Nuklearmedizin Sachsen e.V.  
<http://www.nuklearmedizin-sachsen.de>

Rheinisch-Westfälische Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.  
<http://www.rwgn.de>

Südwestdeutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.  
<http://www.nukmed.net>

Bayerische Gesellschaft für Nuklearmedizin e.V.  
<http://www.nuklearmedizin-bayern.de>



## Weiterführende Literatur

Bockisch, A. et. al. PET/CT Evolution oder Revolution in der onkologischen Diagnostik? Deutsches Ärzteblatt Heft 103 / 2006, Ausgabe 5, Seite A-249 / B-215 / C-210

Schober, O. und Heindel, W. PET-CT Georg Thieme Verlag KG, 2008

Mohnike, W. und Hör, G. PET/CT-Atlas: Interdisziplinärer Leitfaden der onkologischen PET/CT-Diagnostik Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006

Brenner, W. Nicht-FDG-PET. Der Nuklearmediziner Heft 2 / 2009 Georg Thieme Verlag KG, 2009

Krause, B.J., Beyer, T., Bockisch, A., Delbeke, D., Kotzerke, J., Minkov, V., Reiser, M., Willich, N. FDG-PET/CT in der Onkologie, Leitlinie Nuklearmedizin Heft 6/ 2007, Seite 291 - 301

Kuwert, T., Günwald, F., Haberkorn, U., Krause, T. Nuklearmedizin Georg Thieme Verlag KG, 2008

