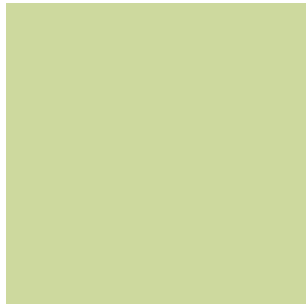
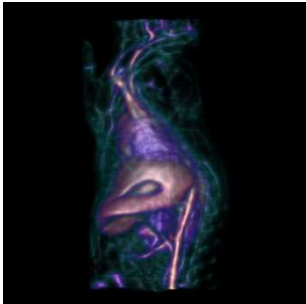
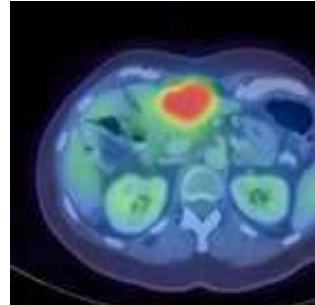
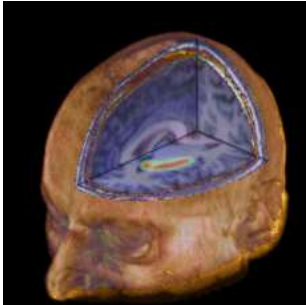
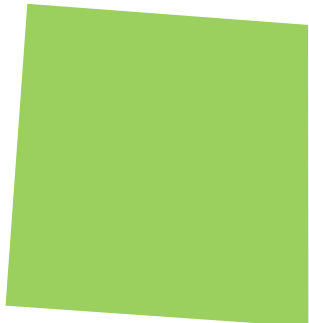


# PET UND PET/CT

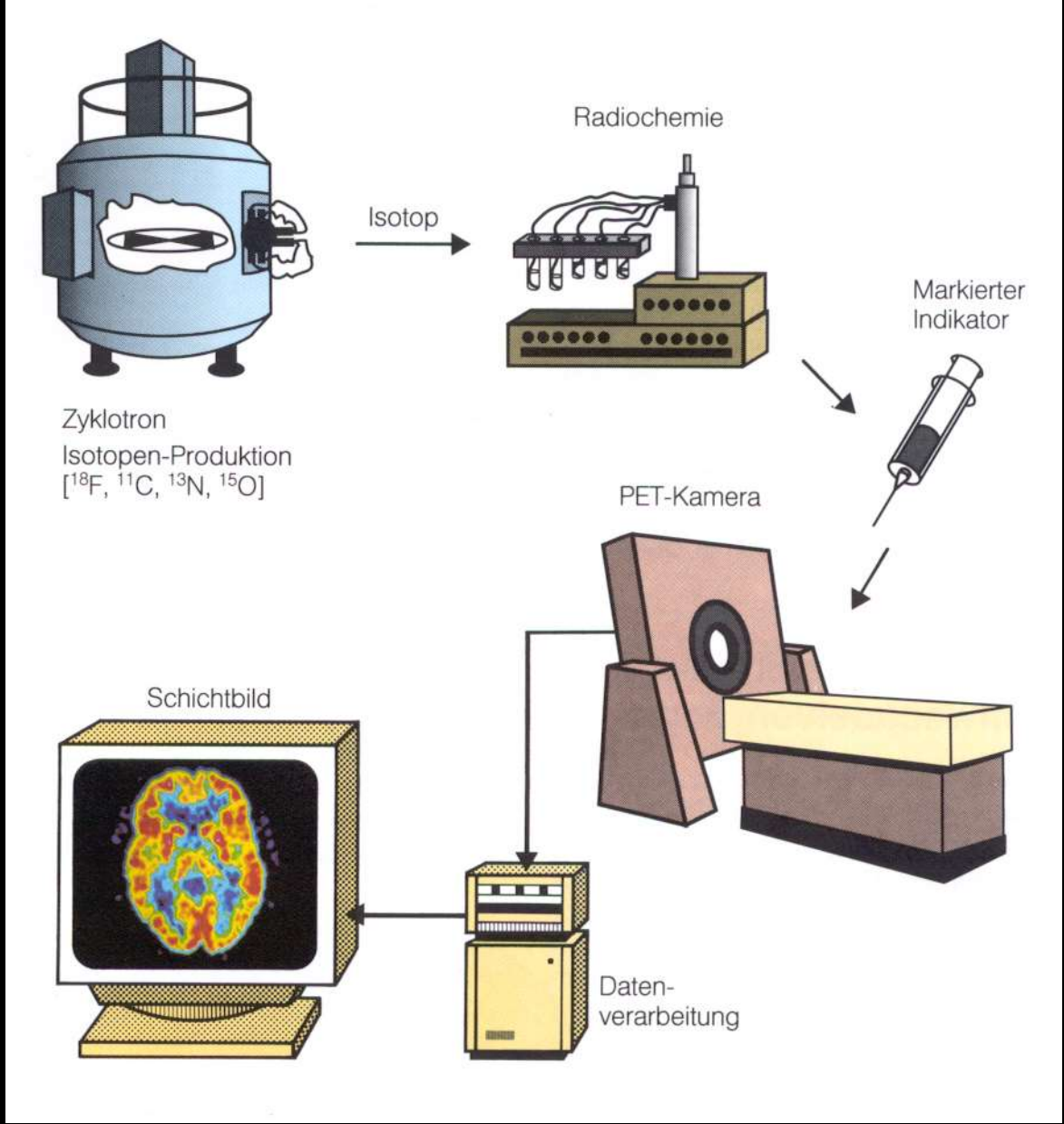
## PRINZIP UND ANWENDUNG

P. Bartenstein  
Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin  
Ludwig-Maximilians-Universität München



# PET und PET/CT

- Methodik
- Klinische Anwendung
  - Neurowissenschaften
  - Kardiologie
  - Onkologie



# Zyklotron mit Abschirmung



# Zyklotron / geöffnete Abschirmung



# Radioisotope für PET

Halbwertszeit (min)

•  $^{11}\text{C}$  20,4

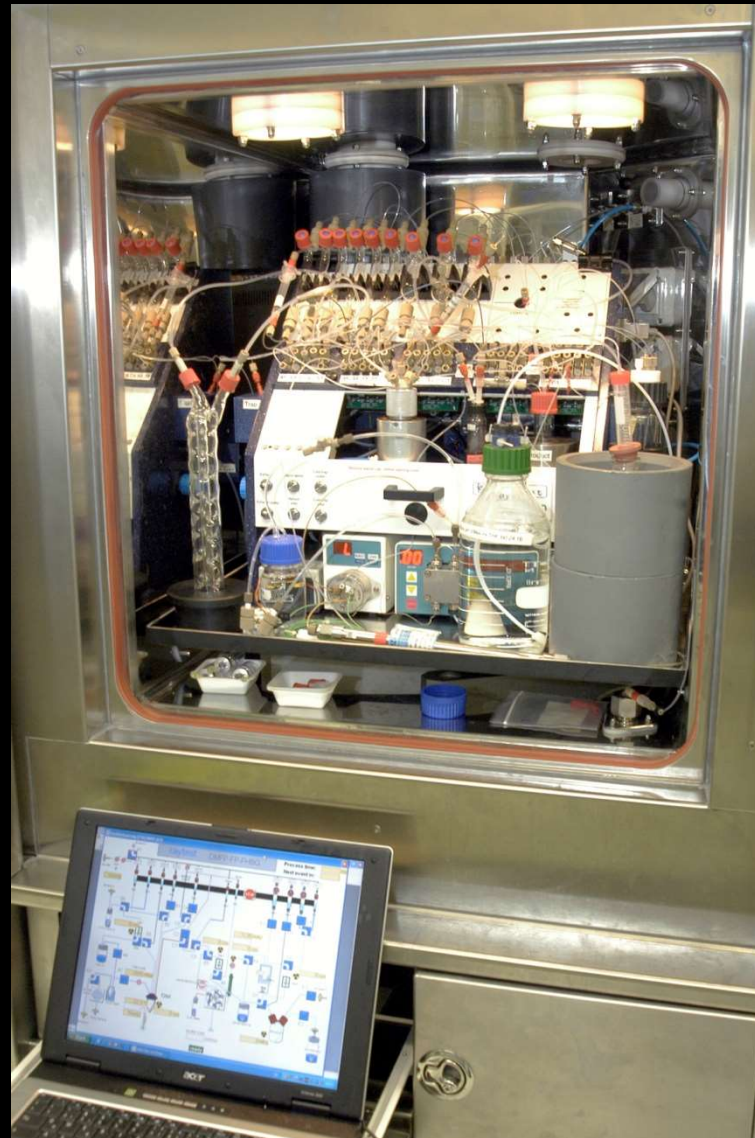
•  $^{13}\text{N}$  10,0

•  $^{15}\text{O}$  2,1

•  $^{18}\text{F}$  109,7

•  $^{68}\text{Ga}$  68,0

# Synthesebox für F-18 Synthesen







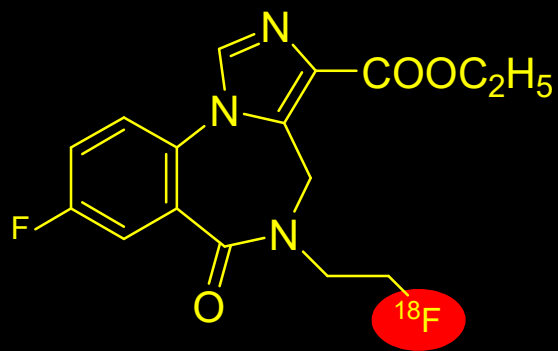


---

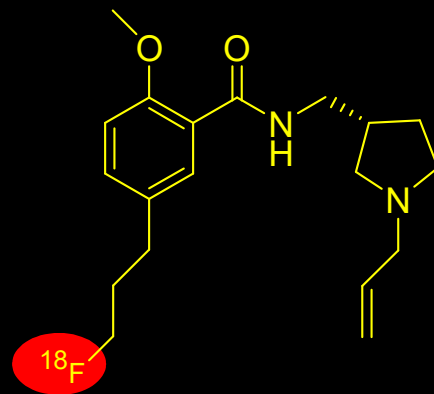
KLINIKUM DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN®

Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin

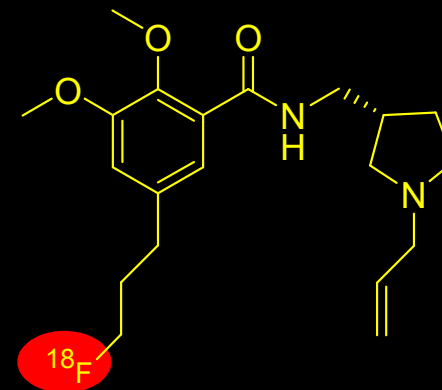




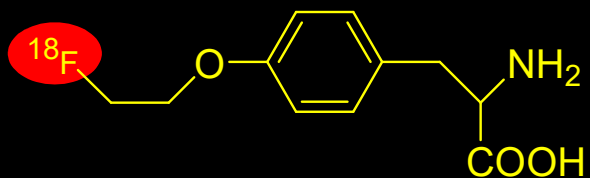
[ $^{18}\text{F}$ ]Fluorethyl-flumazenil



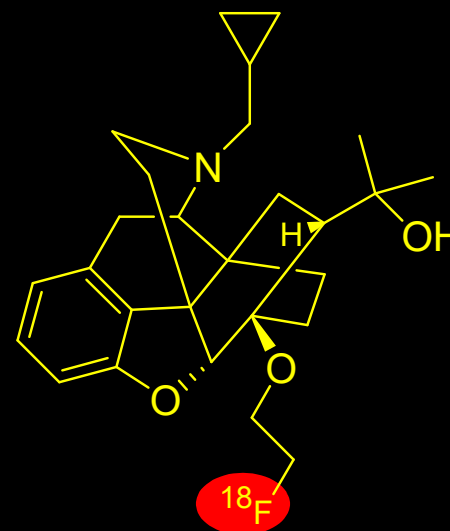
[ $^{18}\text{F}$ ]Desmethoxyfallypride



[ $^{18}\text{F}$ ]Fallypride



[ $^{18}\text{F}$ ]Fluorethyltyrosin



[ $^{18}\text{F}$ ]Fluorethyl-diprenorphin

# Extrem niedrige PET-Radiotracerdosen ermöglichen Anwendung am Menschen ohne Berücksichtigung pharmakologischer Effekte

X-ray contrast medium  
100 ml, 62 300 000  $\mu\text{g}$



MRI contrast medium  
10 ml, 4 700 000  $\mu\text{g}$

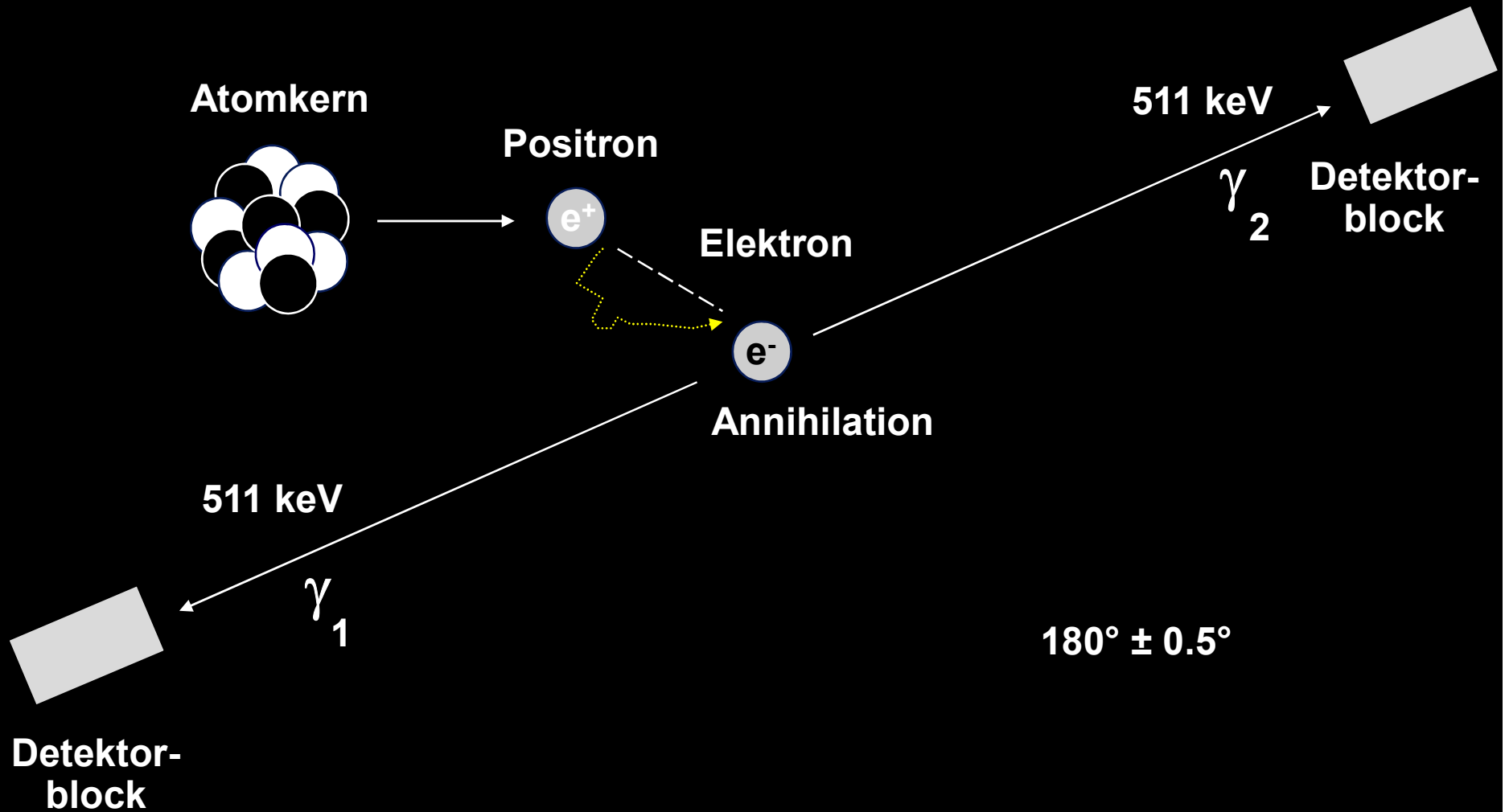


Bay-949  
5  $\mu\text{g}$



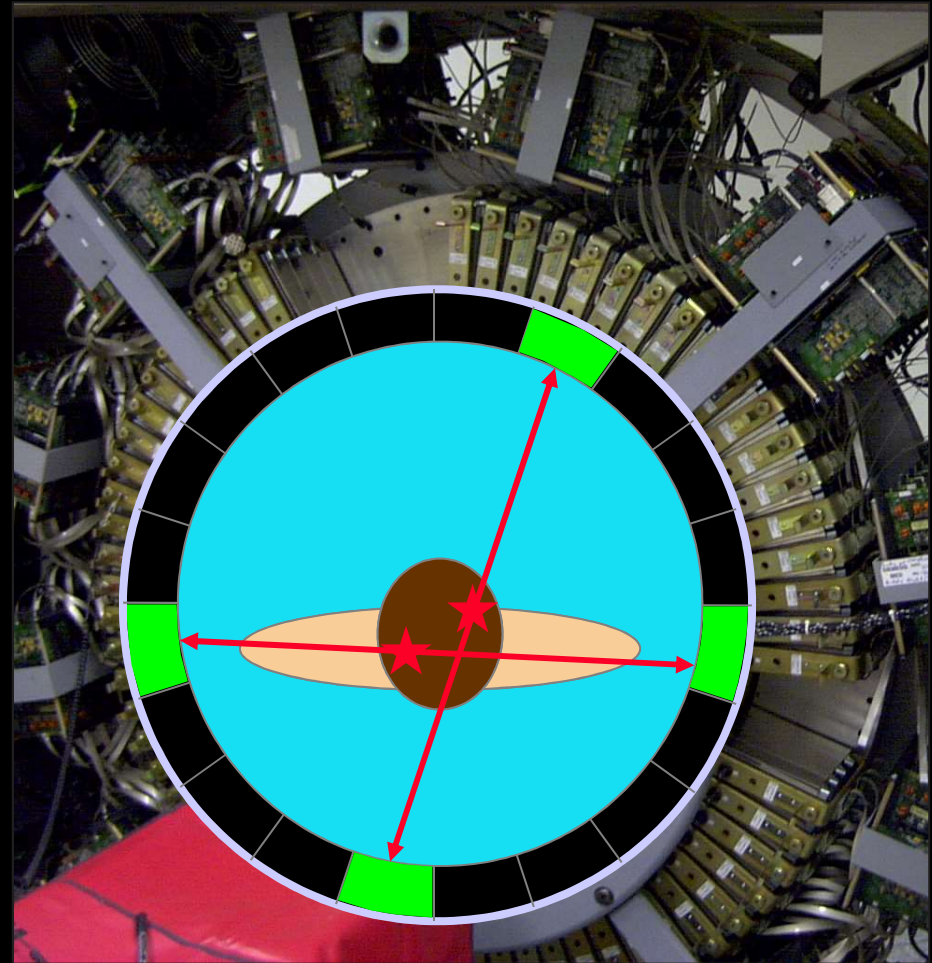
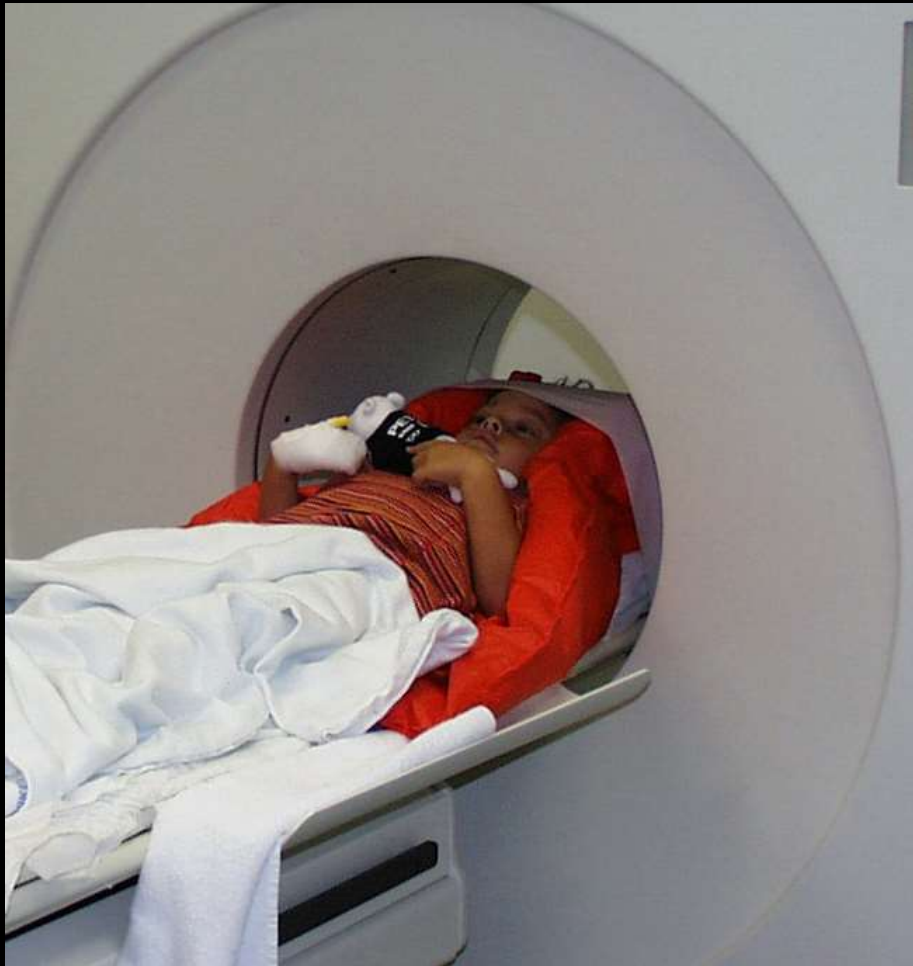
# PET

## Prinzip



# PET

# Prinzip



## PET/CT (Philips Gemini)



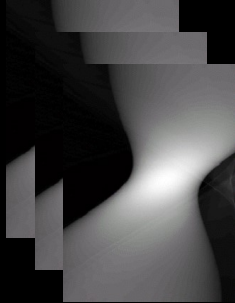
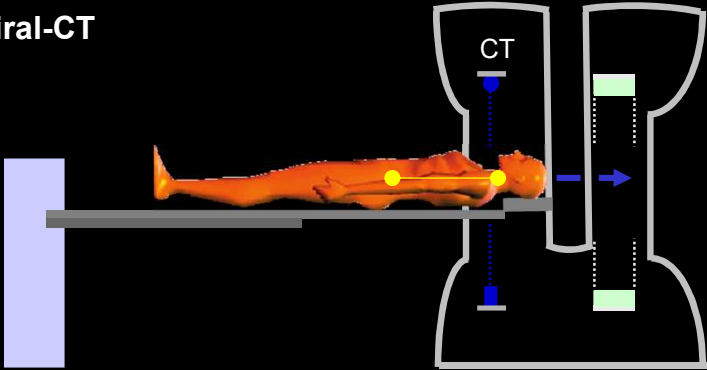




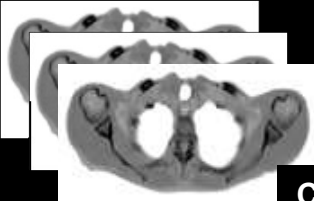


# PET/CT: Prinzip

Spiral-CT



Spiral CT

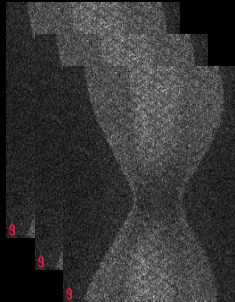
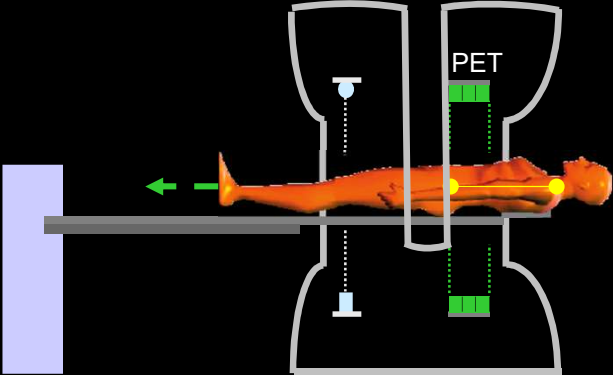


CT Daten



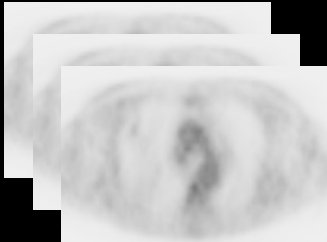
CT-basierte Korrektur

PET



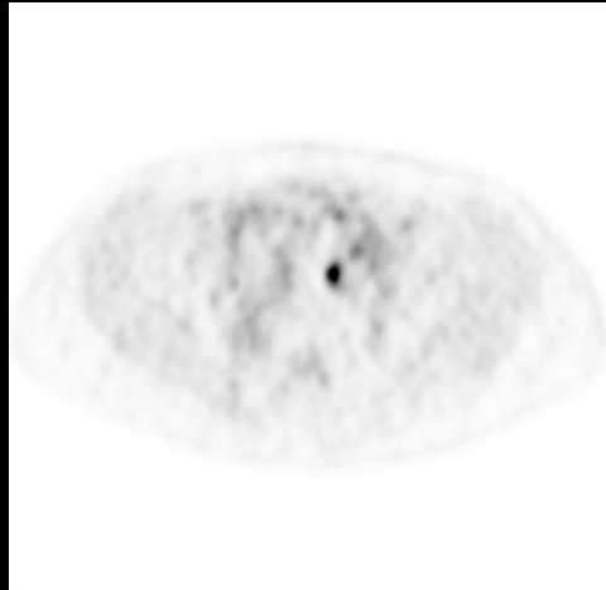
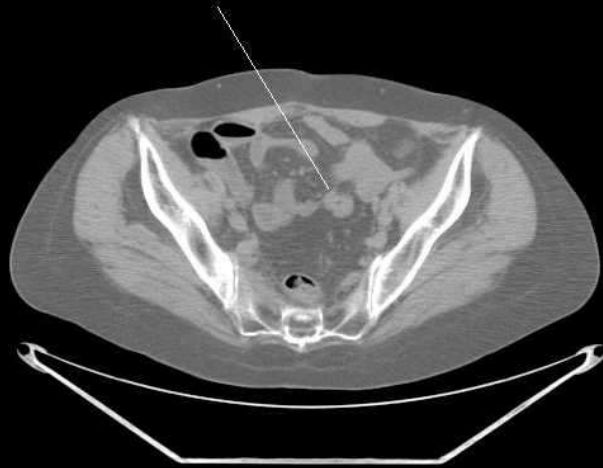
Emissionsdaten

FORE+OSEM

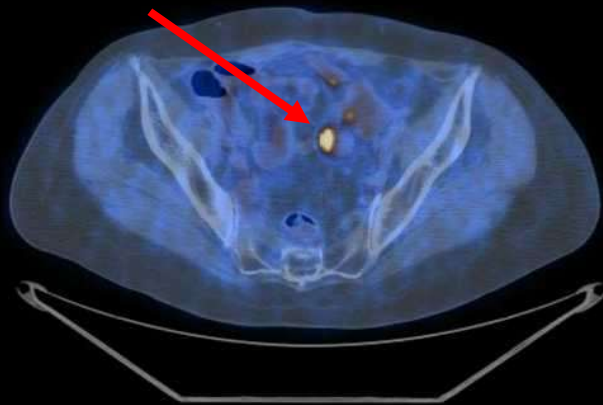


Korrigierte PET Daten

# Colon Karzinom: Rezidivdiagnostik

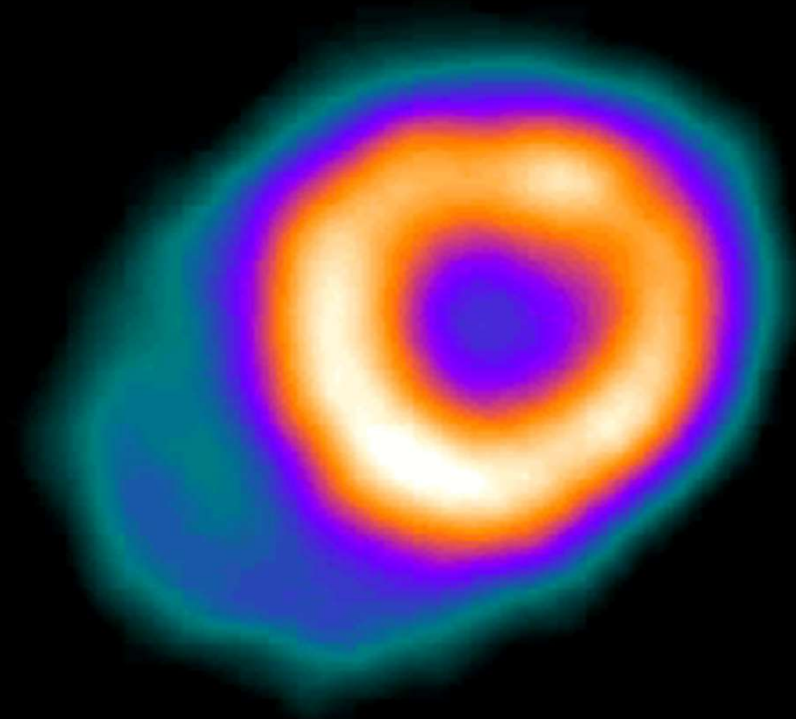


**$^{18}\text{F}$ -FDG-PET/CT:  
LK Metastase im  
Bereich der Iliaca  
interna**

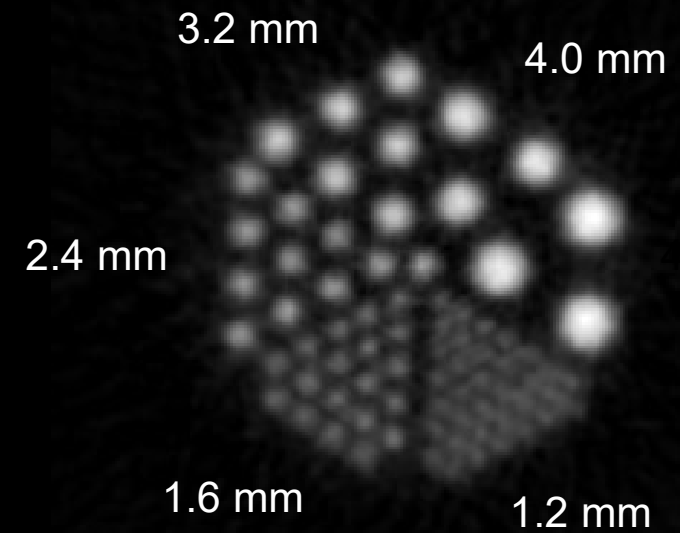


**Mauserz EKG getriggert**  
***[<sup>18</sup>F]Fluor-Deoxyglucose***

**Phantom**

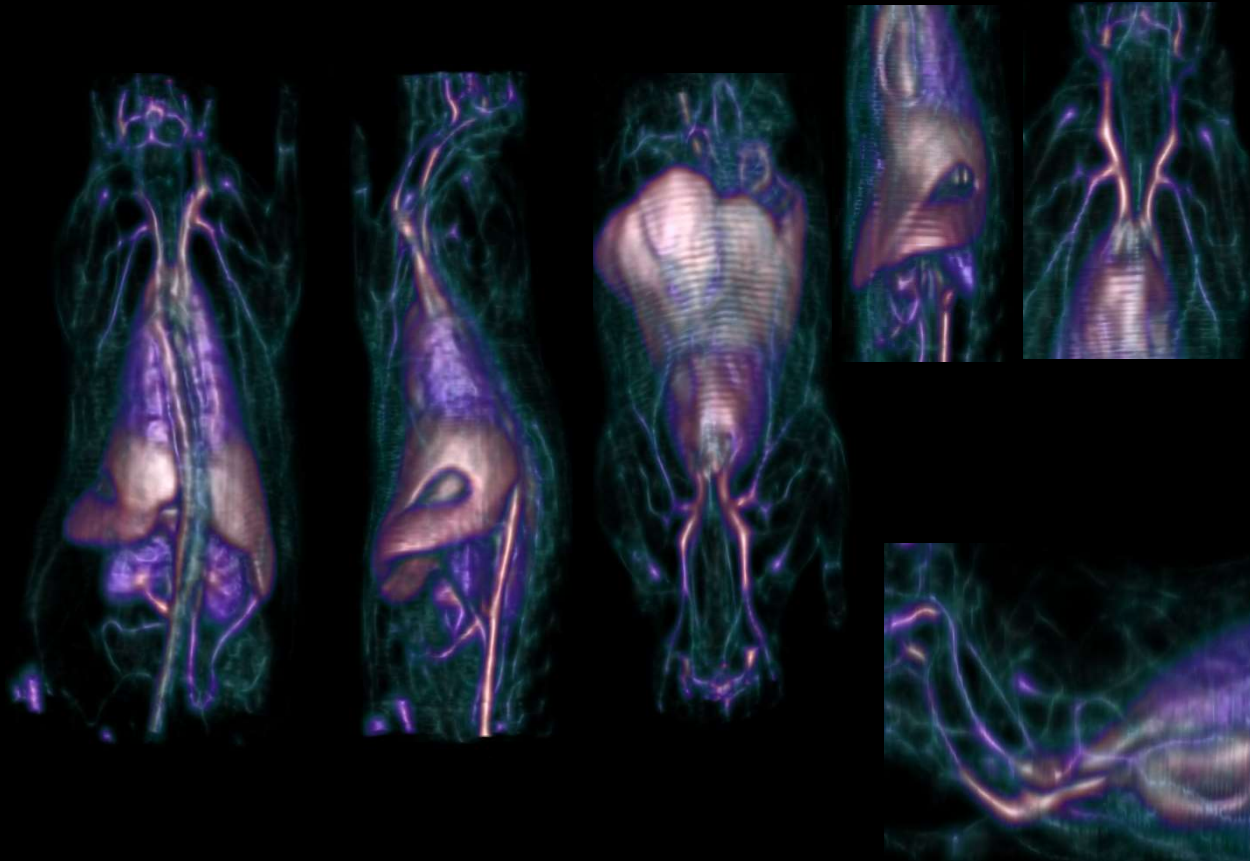


**F-18**



# Inveon PET

## $^{18}\text{F}$ Serum Albumin as Bloodpool Tracer

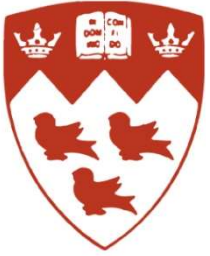


**Subject:** Rat

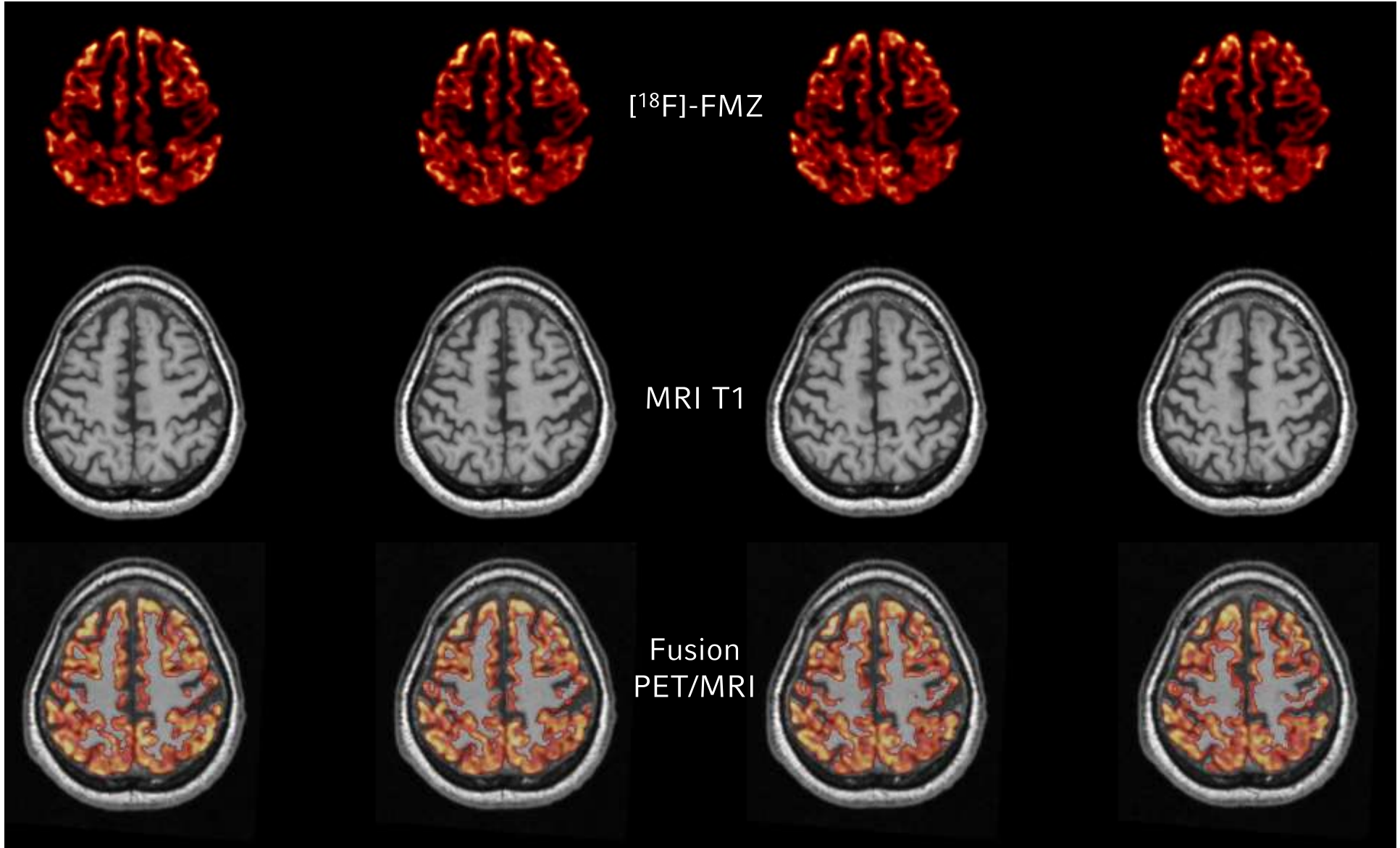
**Method:** Inveon PET.  $^{18}\text{F}$  serum albumin, 0-30 minutes post injection

Visualization of circulation using blood pool agent only

**Visualization:** Inveon Research Workplace



# [<sup>18</sup>F]-Flumazenil PET & MRI



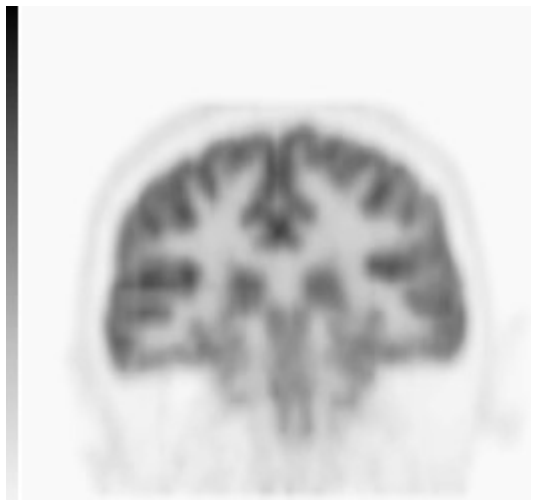
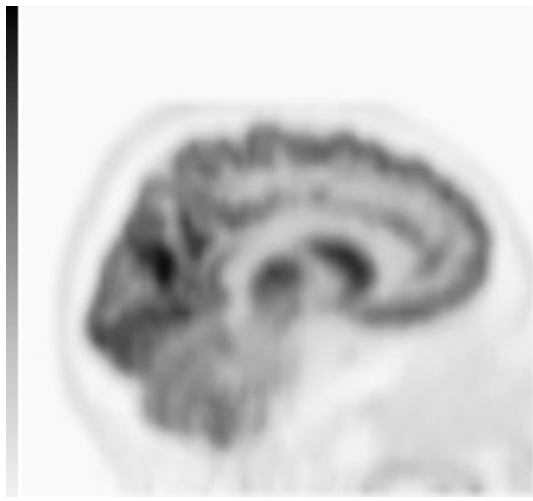
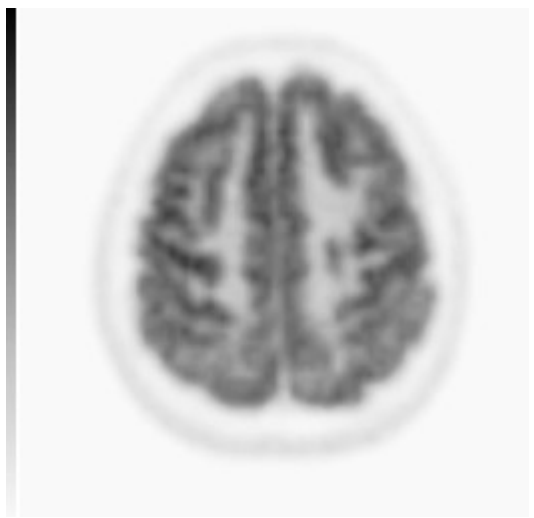
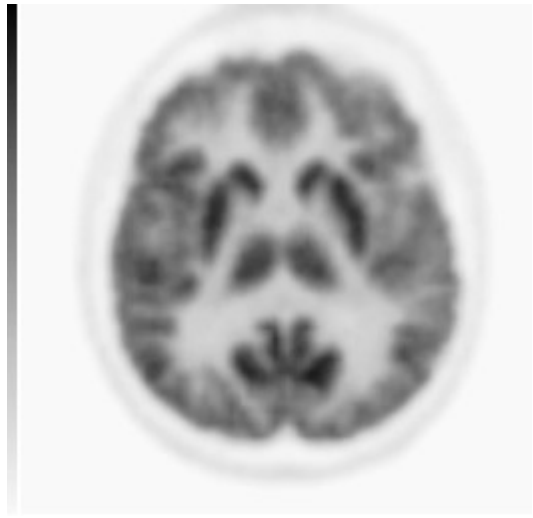


**KLINIKUM**  
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin



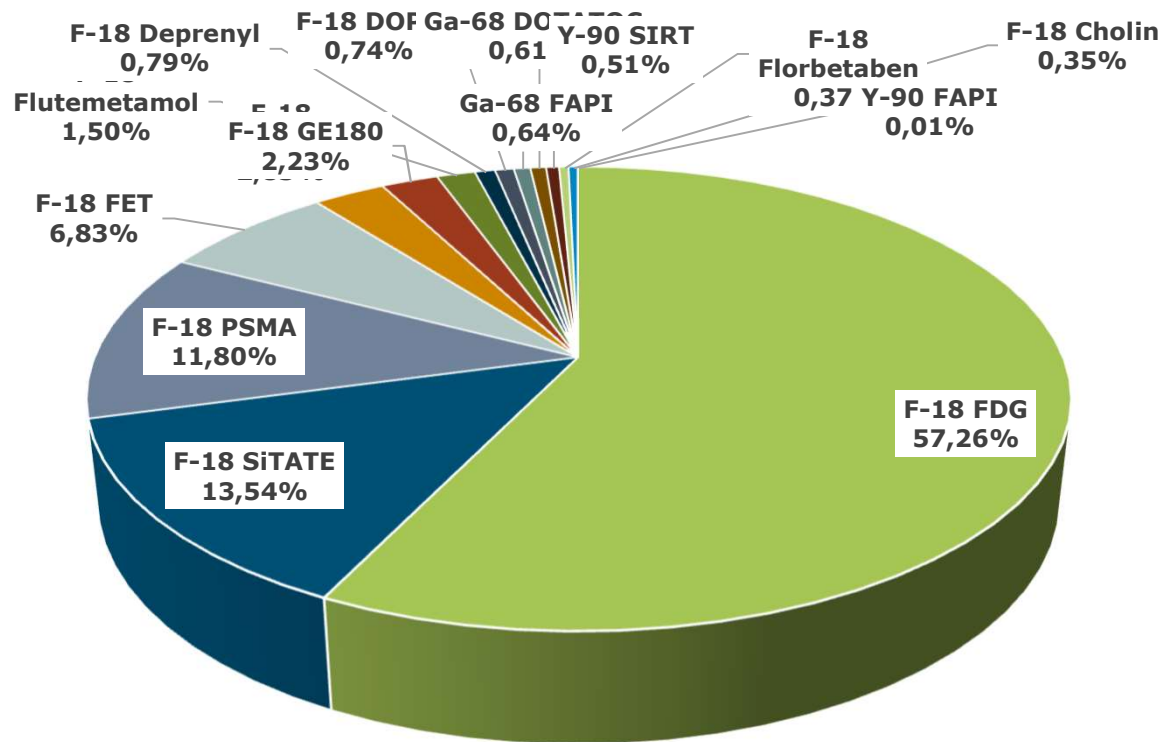
Discovery D690 mit VUE Point HD FX  
Rekonstruktionsparameter:  
36 subsets; 5 Iterationen, cut off 5,5,  
128 Matrix; 3,27mm Schichtdicke



# PET/CT

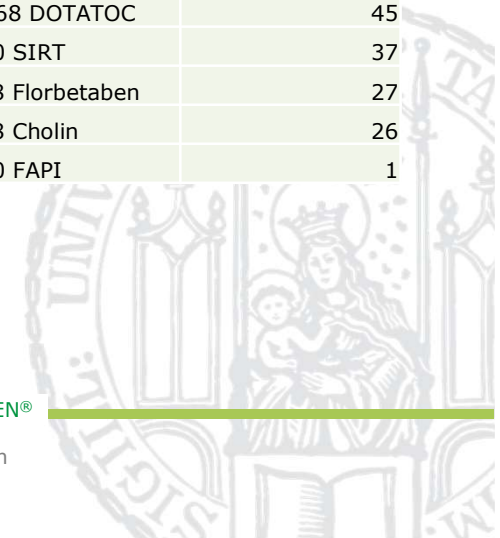
## Tracer 2021

Gesamtanzahl: **7.339**

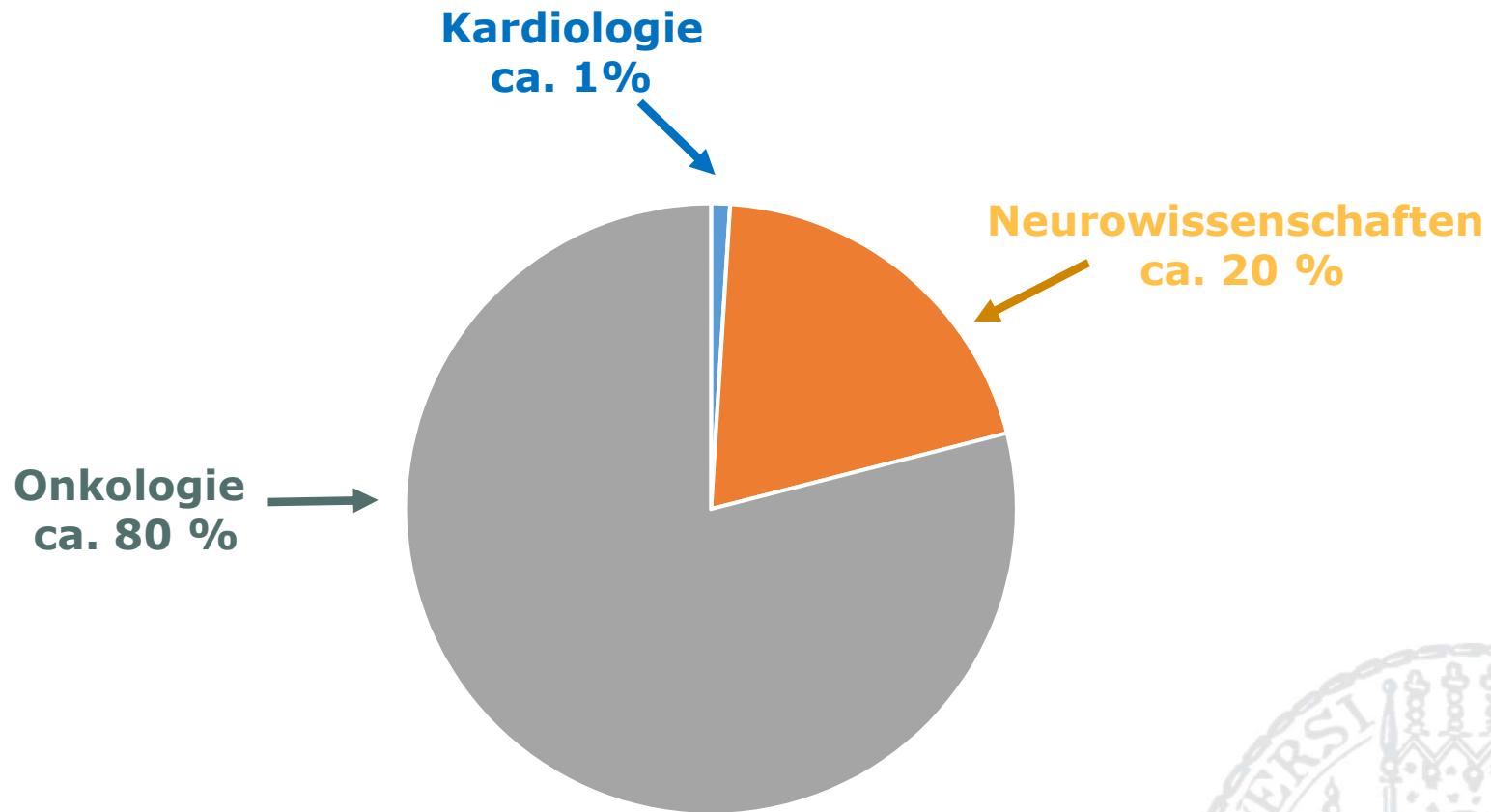


Radiotracer	Anzahl der Untersuchungen (gesamt)
F-18 FDG	4.194
F-18 SiTATE	992
F-18 PSMA	864
F-18 FET	500
F-18 PI2620	207
F-18 GE180	163
F-18 Flutemetamol	125
F-18 Deprenyl	58
F-18 DOPA	54
Ga-68 FAPI	47
Ga-68 DOTATOC	45
Y-90 SIRT	37
F-18 Florbetaben	27
F-18 Cholin	26
Y-90 FAPI	1

➤ Neu aufgesetzt: F-18 PI2620, Ga-68 FAPI, F-18 Deprenyl, Ga-68 cMET



## PET/CT nach fachspezischen Indikationen



**ca. 7000 Untersuchungen /Jahr**





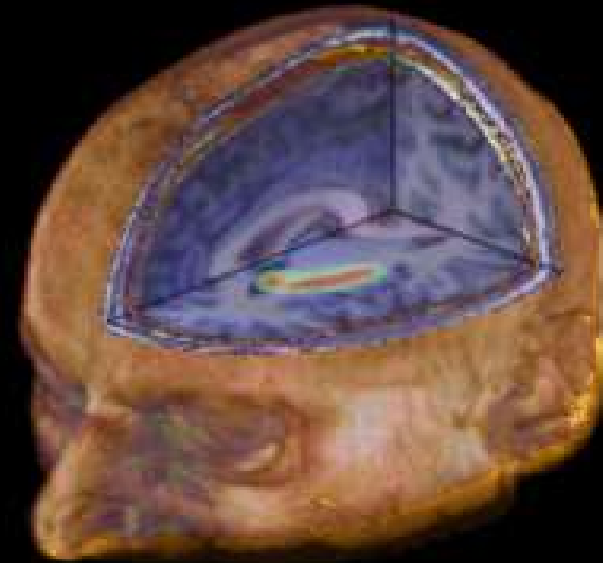
# PET und PET/CT

- Methodik
- Klinische Anwendung
  - Neurowissenschaften
  - Kardiologie
  - Onkologie

# PET

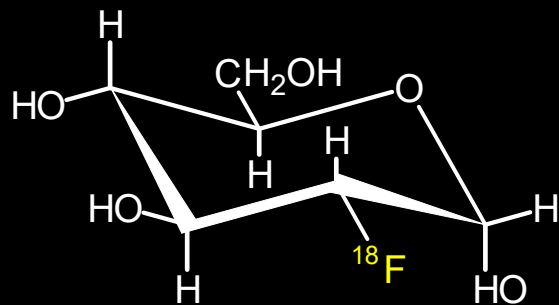
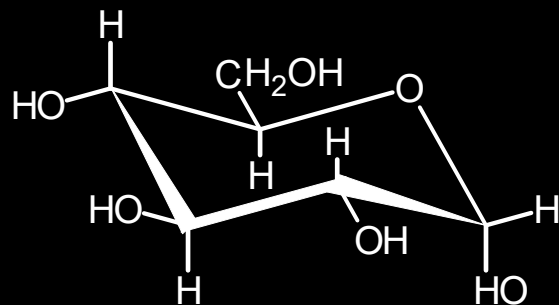
## Neurologie

- **Demenz**
- **Parkinson Syndrome**
- **Epilepsie**
- **Hirntumoren**



# FDG PET

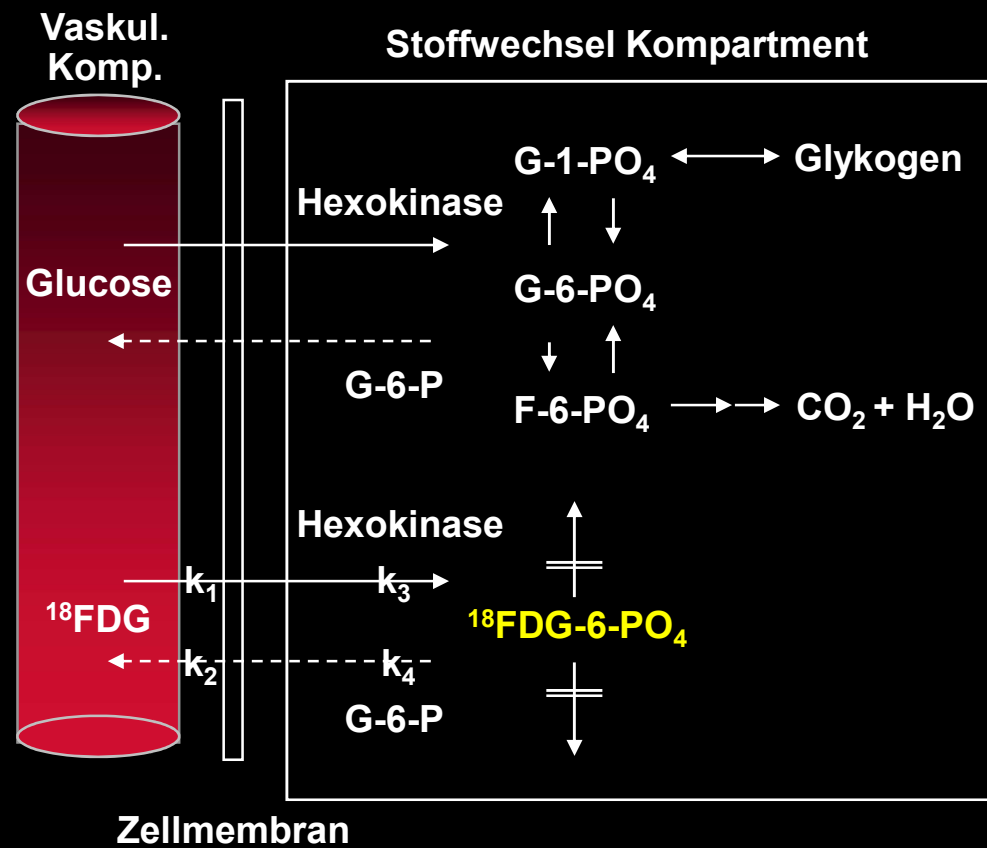
## Radiopharmakon



[<sup>18</sup>F]Fluor- 2 deoxy-D-glukose

Kein Substrat der Glukosephosphat-Isomerase

## FDG Aufnahme



# Dementielle Erkrankungen:

## Indikationen für funktionelle Bildgebung

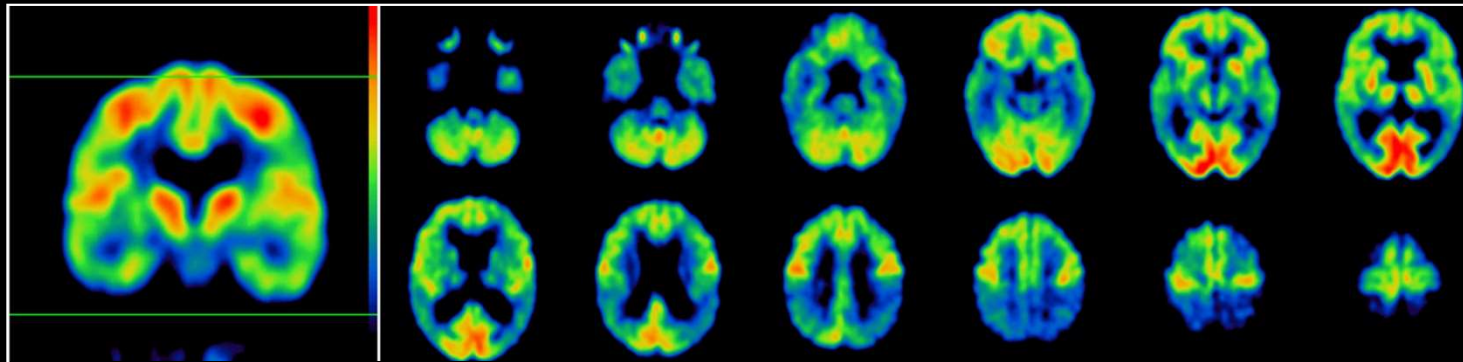
Die nuklearmedizinischen Untersuchungen PET und SPECT können eingesetzt werden zur:

- Frühdiagnose einer Demenz
- Unterscheidung einer Demenz von einer schweren Depression
- Unterscheidung verschiedener Demenzformen (z.B. DAT und D
- Verlaufskontrolle (evtl. auch zur Therapiekontrolle)

➤ *PET ist etwas aufwendiger aber empfindlicher als die SPECT:  
Daher besonders geeignet für die Frühdiagnostik*

# Alzheimer Demenz

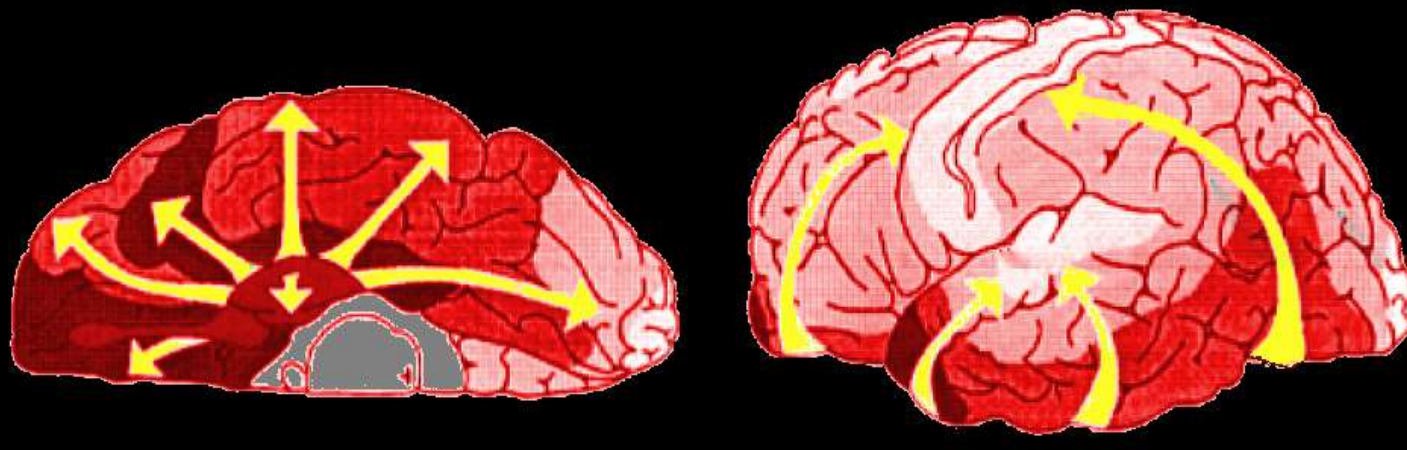
## Muster der Neurodegeneration



### Temporo-parietale Neurodegeneration

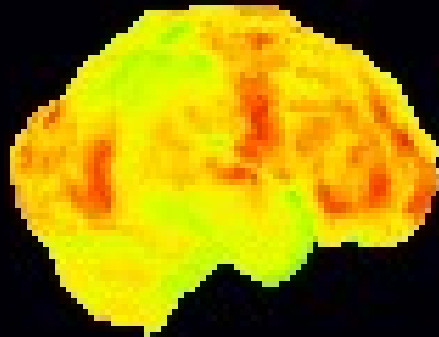
Ausbreitung: Temporomesial > post. Cingulum > (bi-)temporo-parietal > frontal

Nicht beteiligt: Thalamus, Basalganglien, Zentralregion, occipitaler Kortex

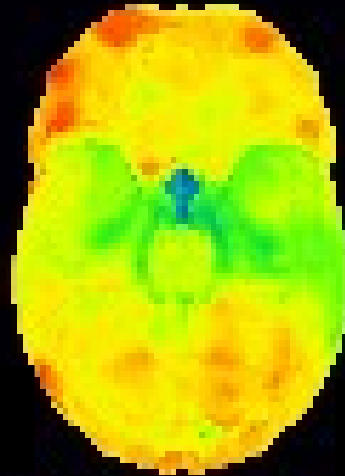


# M. Alzheimer / $^{18}\text{F}$ FDG-PET

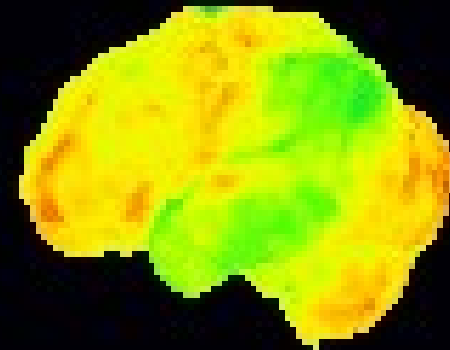
Oberflächenprojektion



rechts lateral

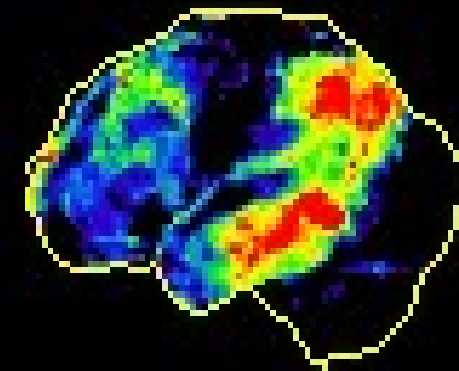
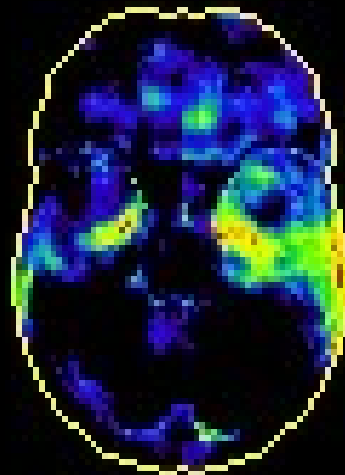
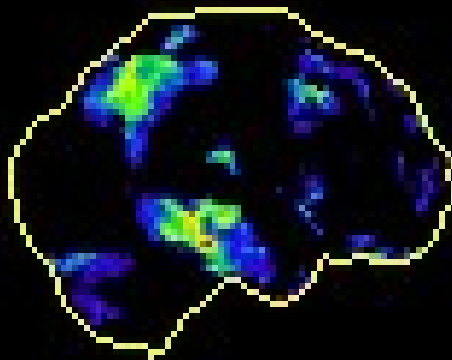


unten



links lateral

Vergleich zu einem Normkollektiv

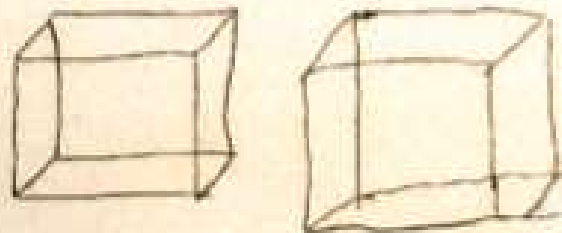


4 / 1995

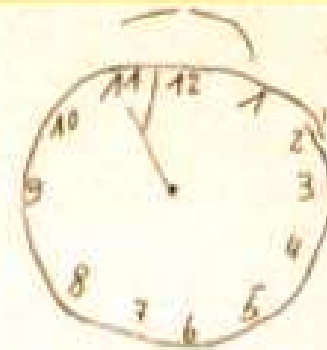


~~Das Gedächtnis ist wie ein~~

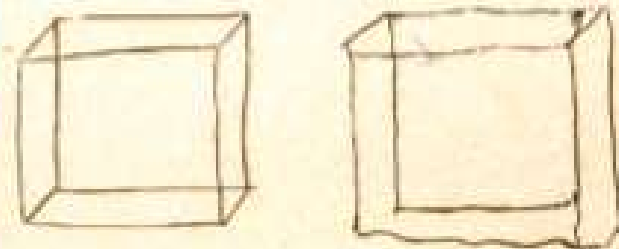
Gefäß, das man auf  
den Kopf des Boot im Querschnitt



4 / 1996



Das Gedächtnis ist  
ein Schloß, das  
ständig kleiner wird.

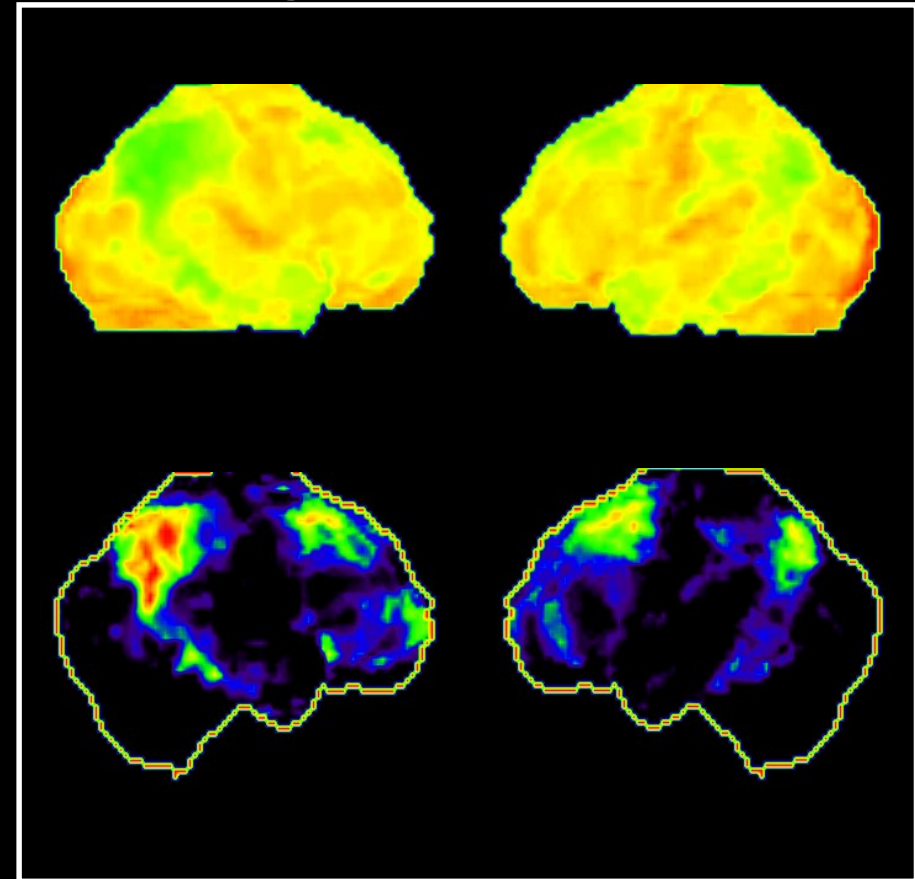
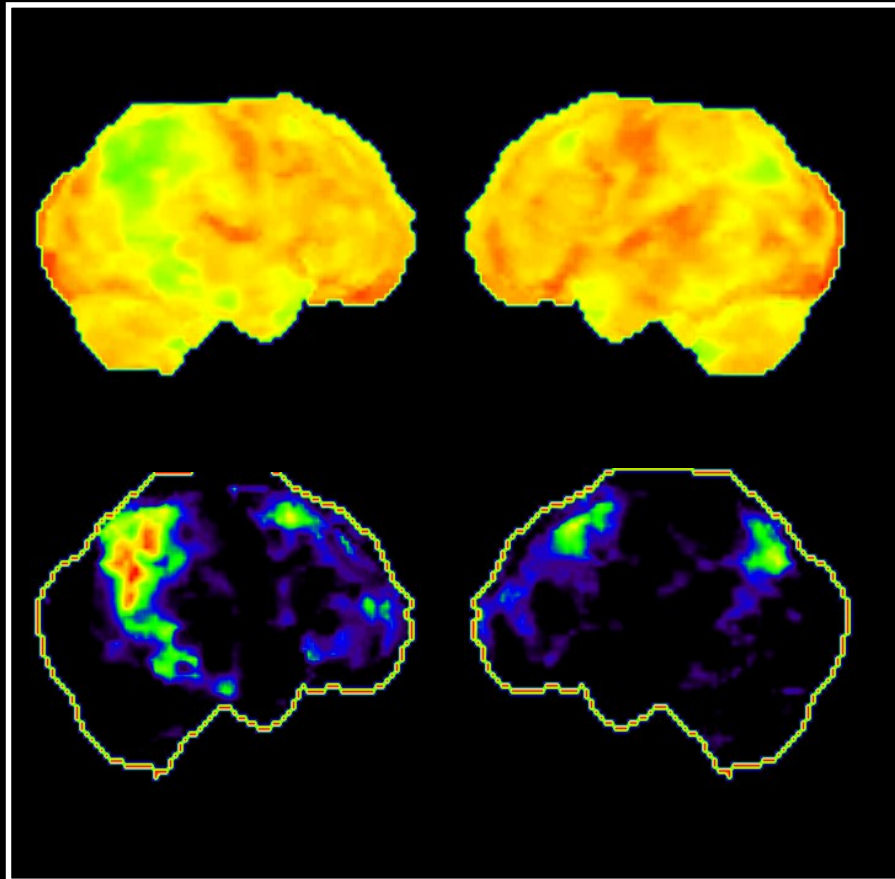


# Demenz vom Alzheimerertyp / F-18 FDG

4 / 1995

4 / 1996

Oberflächendarstellung

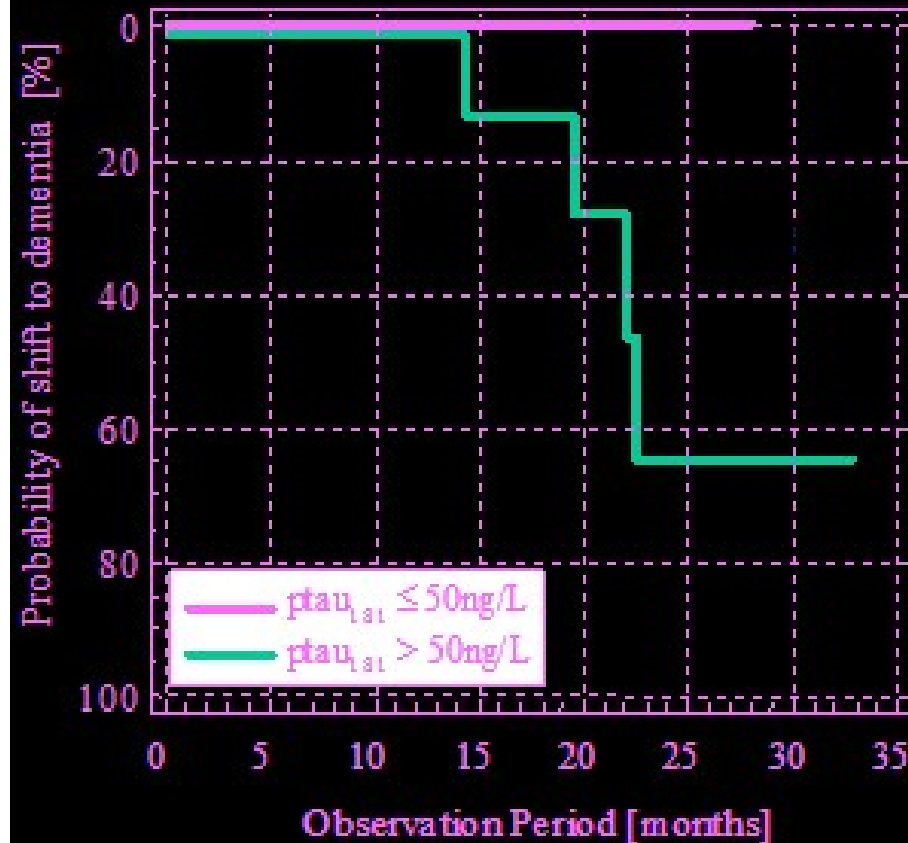


Vergleich mit einem Normkollektiv

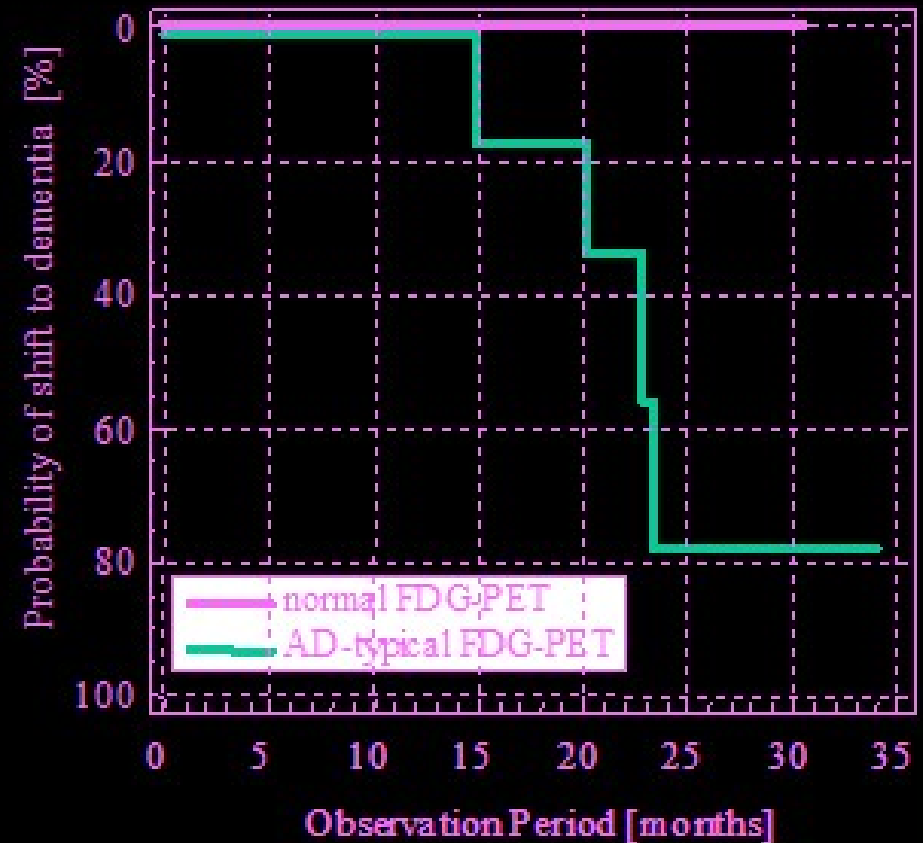


# Prediction of shift to clinical dementia (Kaplan-Meier survival analyses)

## P-Tau levels



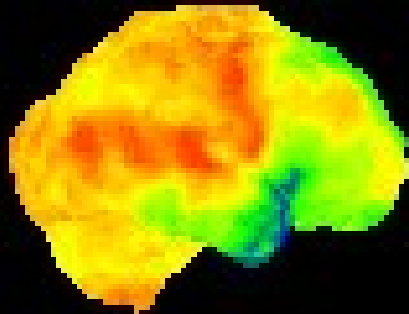
## FDG-PET



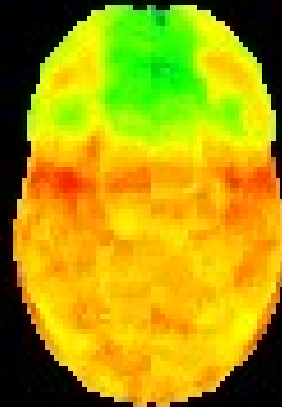
Conclusion: AD-typical FDG-PET patterns were superior to p-Tau levels (and baseline MMSE scores) in predicting conversion to dementia in MCI patients over a 19 months period.

# Fronto-Temporale Demenz / $^{18}\text{F}$ FDG-PET

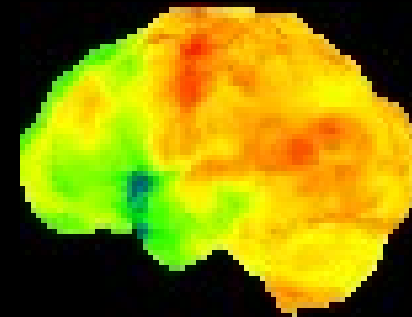
Oberflächendarstellung



rechts lateral

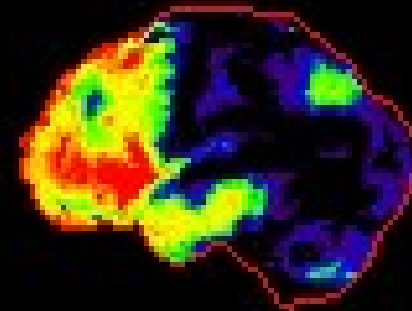
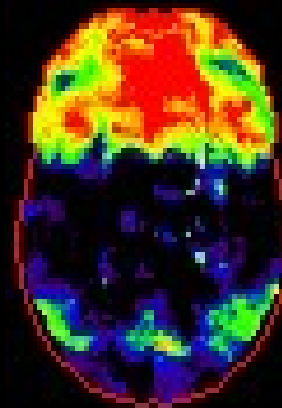
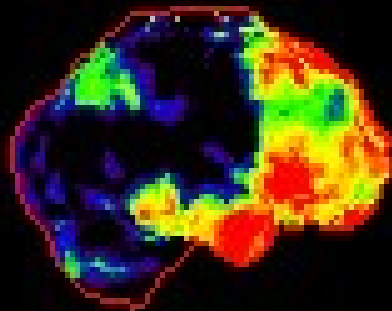


oben



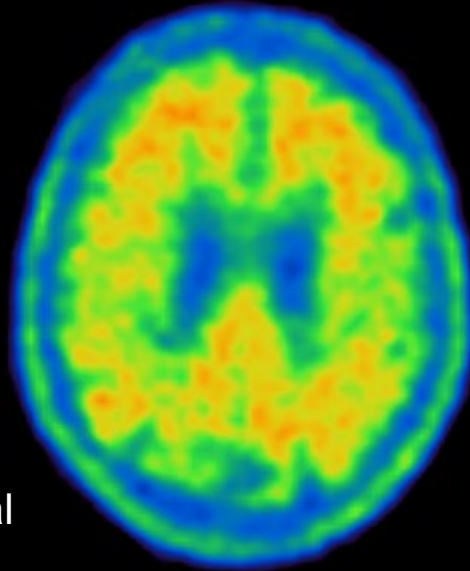
links lateral

Vergleich zum Normkollektiv

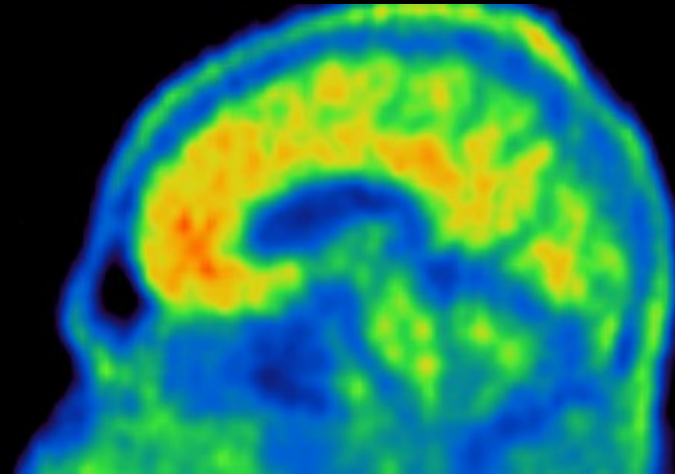


# Amyloid imaging / $^{18}\text{F}$ -Florbetaben

M. Alzheimer

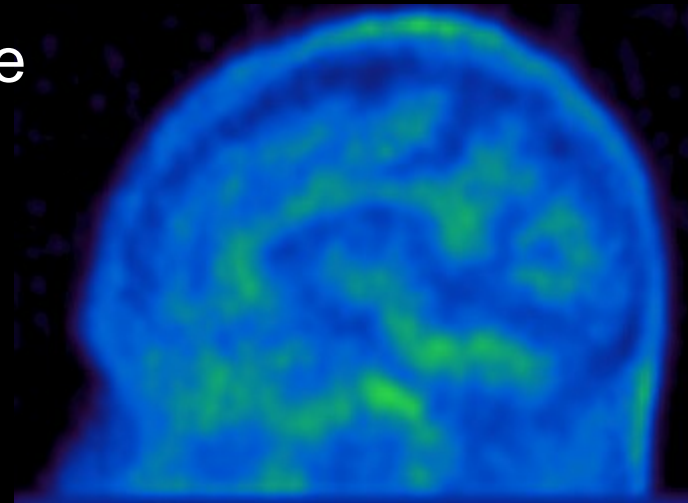
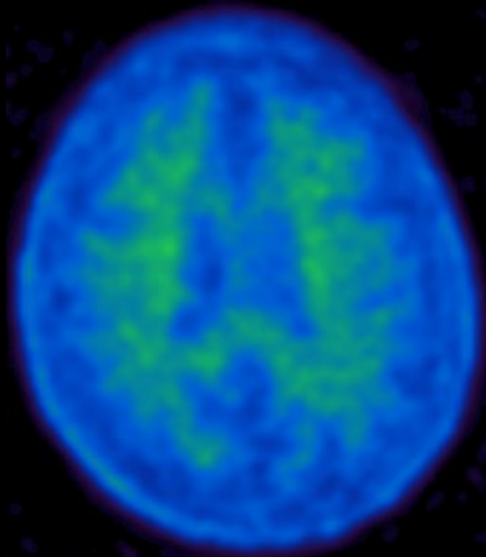


Transversal



Sagittal

Kontrolle



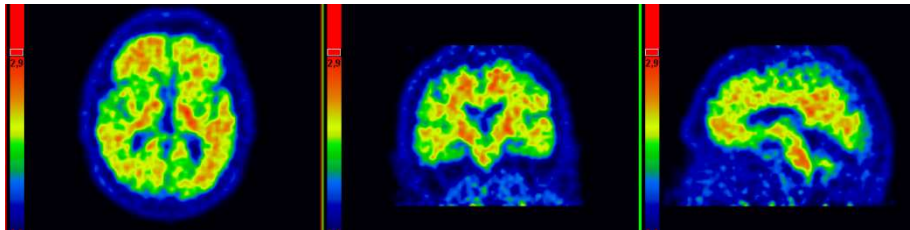


**KLINIKUM**  
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

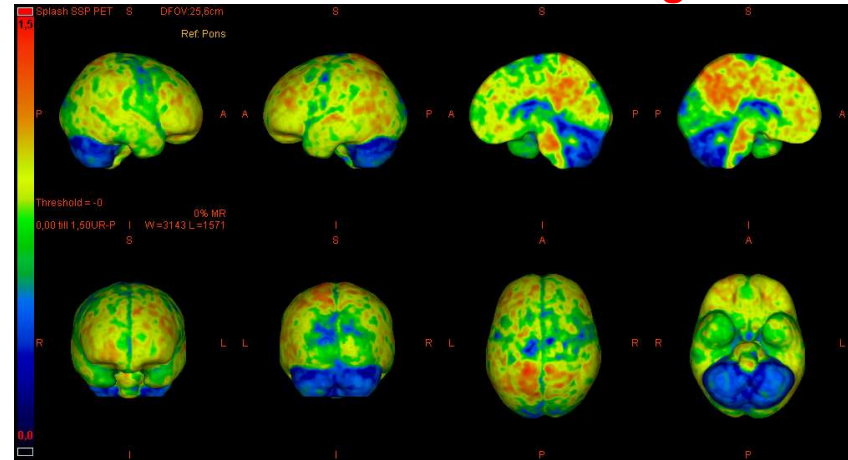
**[<sup>18</sup>F]Flutemetamol / NeuroMarQ**



**Original PET scan**



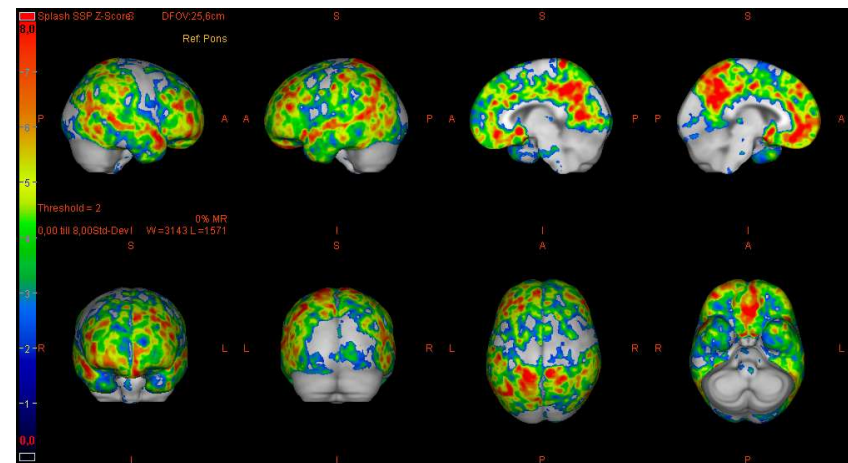
**3D SSP of SUVR image**



**SUVr normalized to pons**

Cortical region	Patient	Normal	Z-score
Prefrontal R	0,73	0,46	5,98
Prefrontal L	0,79	0,45	6,87
Sensorimotor R	0,62	0,49	2,58
Sensorimotor L	0,69	0,49	4,05
Occipital R	0,70	0,51	3,39
Occipital L	0,66	0,51	3,04
Parietal R	0,76	0,45	6,96
Parietal L	0,79	0,44	7,38
Anterior Cingulate R	0,81	0,49	5,65
Anterior Cingulate L	0,90	0,53	6,27
Precuneus PostCing R	0,87	0,50	7,96
Precuneus PostCing L	0,92	0,52	8,86
Temporal Lateral R	0,77	0,49	6,24
Temporal Lateral L	0,80	0,48	6,23
Temporal Mesial R	0,58	0,52	1,63
Temporal Mesial L	0,61	0,51	2,10
Cerebellum	0,33	0,40	-1,60
Pons	1,00	1,00	0,00

**3D SSP Z-scores**



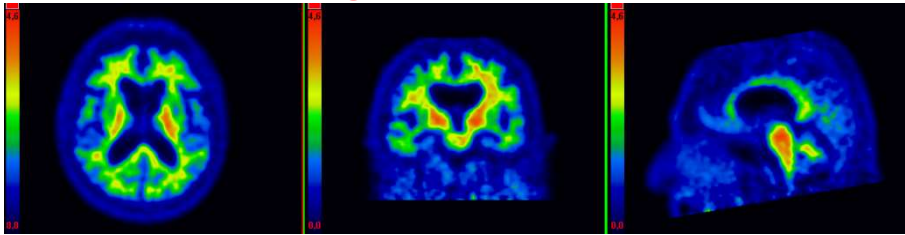


**KLINIKUM**  
DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN

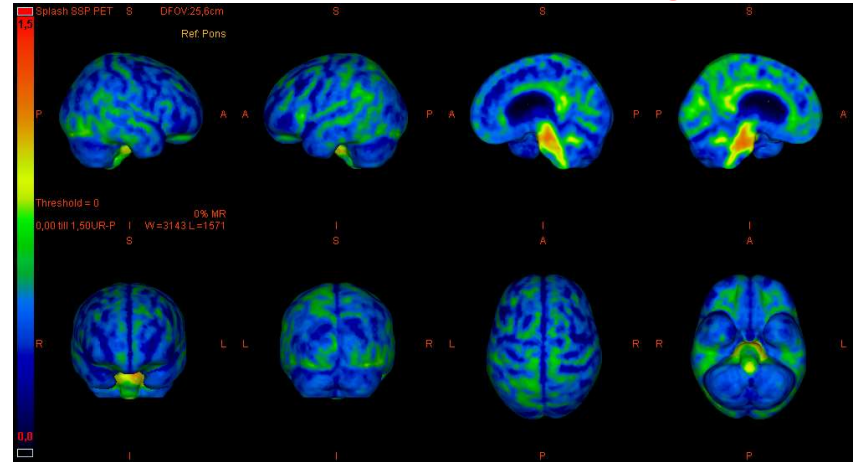
**[<sup>18</sup>F]Flutemetamol / NeuroMarQ**



**Original PET scan**



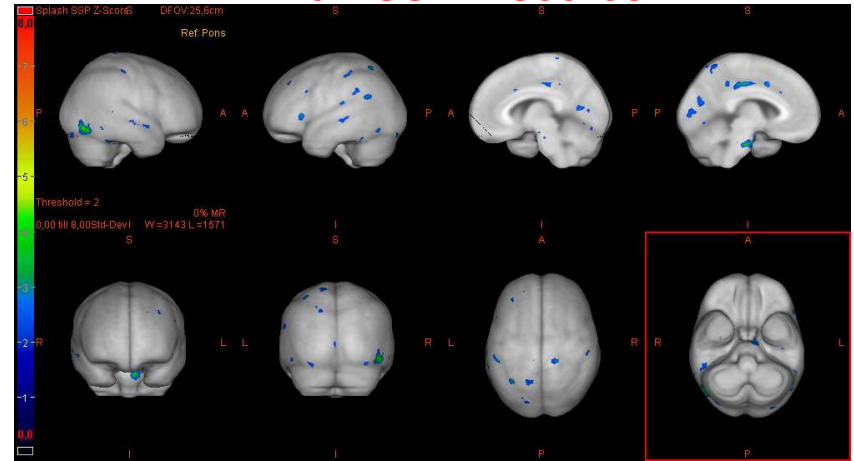
**3D SSP of SUVR image**



**SUVr normalized to pons**

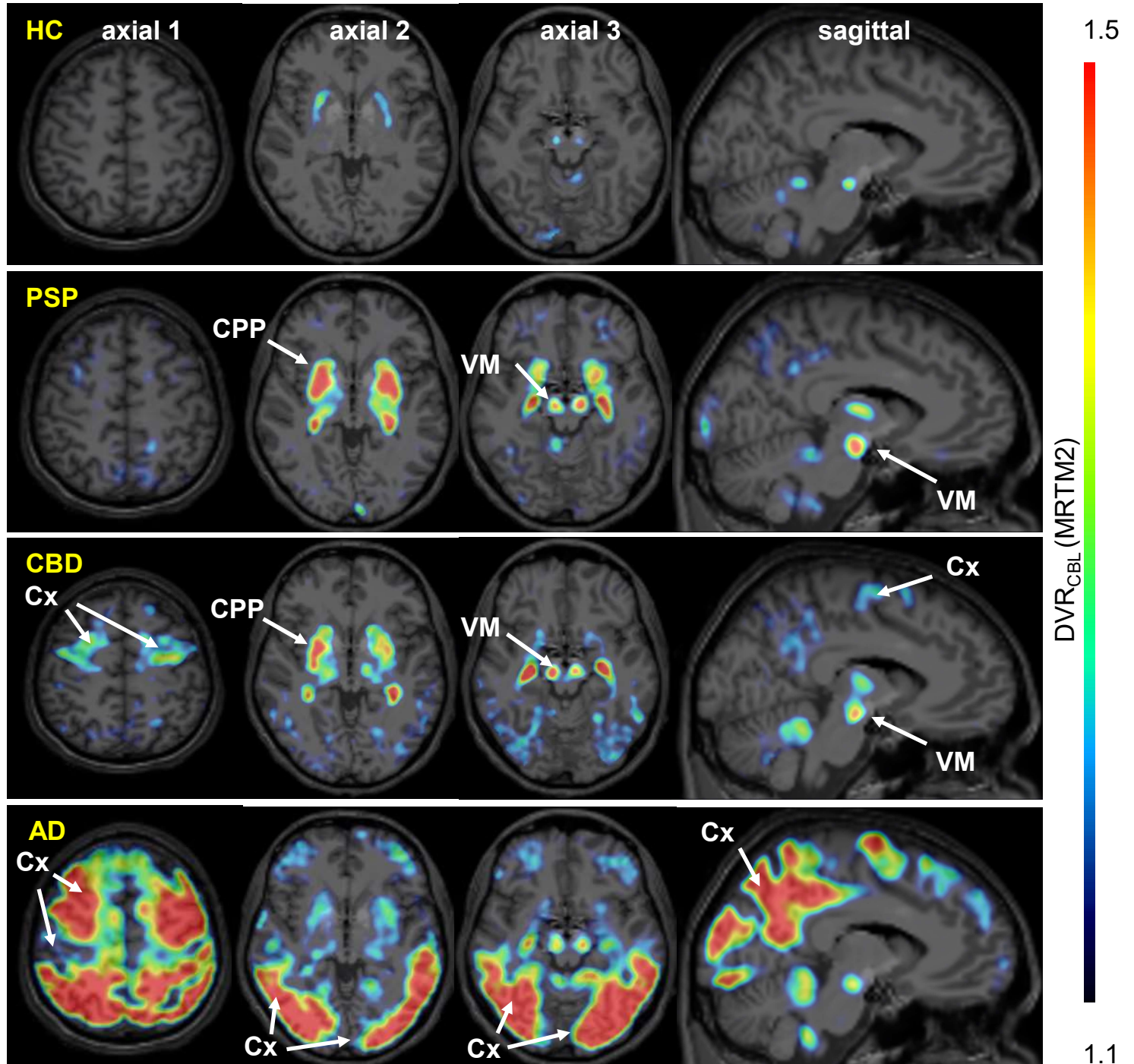
Cortical region	Patient	Normal	Z-score
Prefrontal R	0,34	0,46	-2,59
Prefrontal L	0,36	0,45	-1,98
Sensorimotor R	0,36	0,49	-2,36
Sensorimotor L	0,38	0,49	-2,15
Occipital R	0,45	0,51	-1,11
Occipital L	0,46	0,51	-0,81
Parietal R	0,37	0,45	-1,86
Parietal L	0,41	0,44	-0,75
Anterior Cingulate R	0,41	0,49	-1,44
Anterior Cingulate L	0,50	0,53	-0,44
Precuneus PostCing R	0,44	0,50	-1,18
Precuneus PostCing L	0,52	0,52	0,07
Temporal Lateral R	0,45	0,49	-0,96
Temporal Lateral L	0,43	0,48	-1,05
Temporal Mesial R	0,39	0,52	-3,21
Temporal Mesial L	0,42	0,51	-2,12
Cerebellum	0,33	0,40	-1,50
Pons	1,00	1,00	0,00

**3D SSP Z-scores**



# Tau-PET/CT

bei verschiedenen  
neurodegenerativen  
Erkrankungen



# MULTIMODAL ALZHEIMER CASE

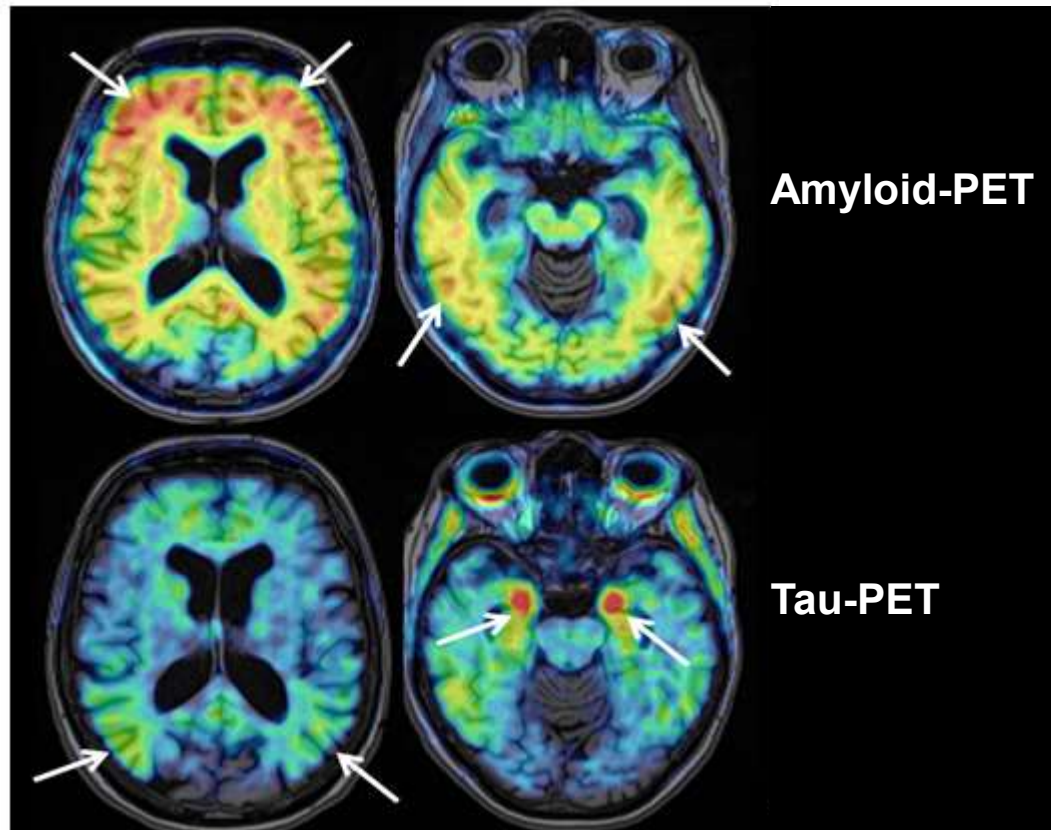
female, 59 J.

## Clinical evaluation:

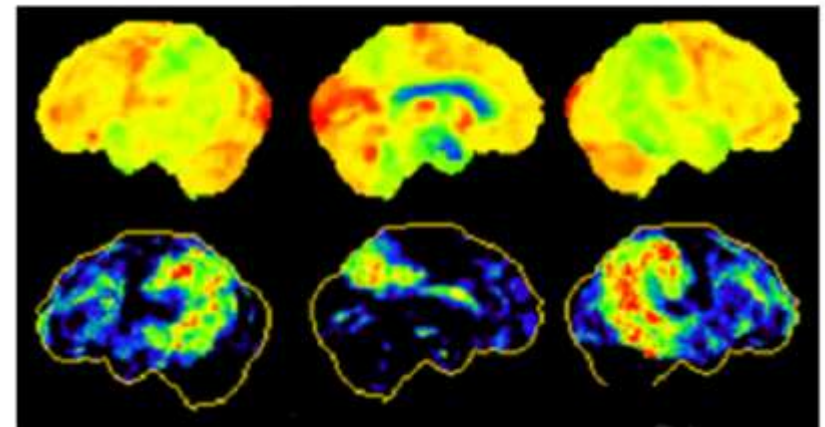
Progressive memory impairment over 3 years

MMSE 24 / 30

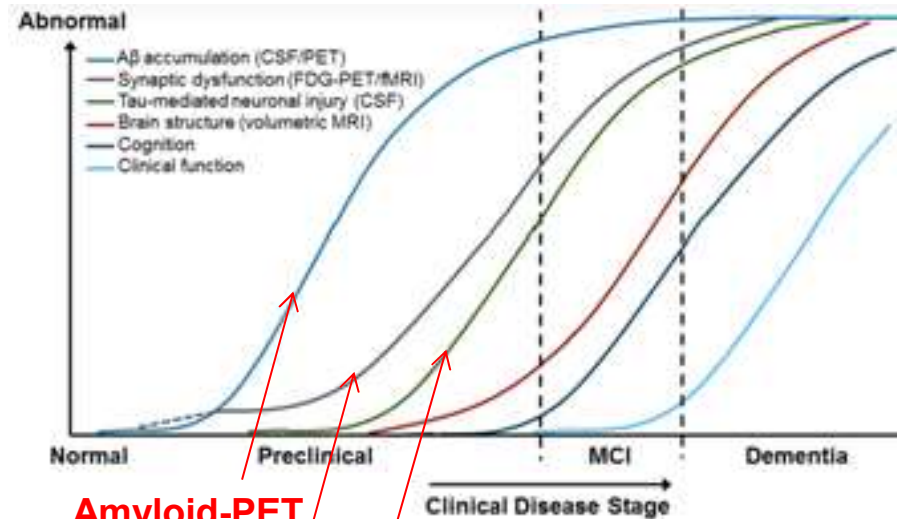
CERAD plus battery -1.37 standard deviations below age- and education adjusted values



## FDG-PET

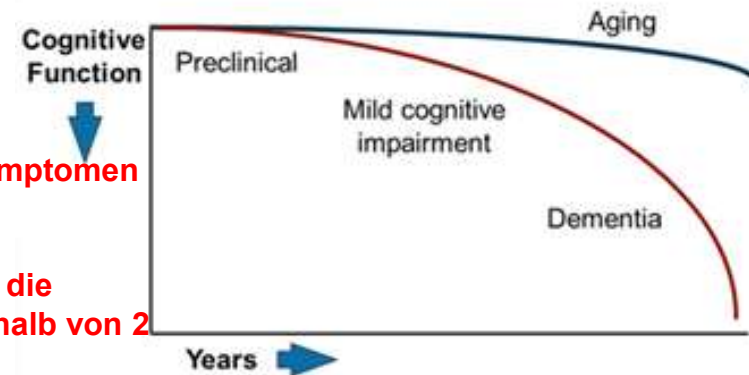


# Diagnostik bei M. Alzheimer



**Amyloid-PET**  
**FDG-PET**  
**Tau-PET**

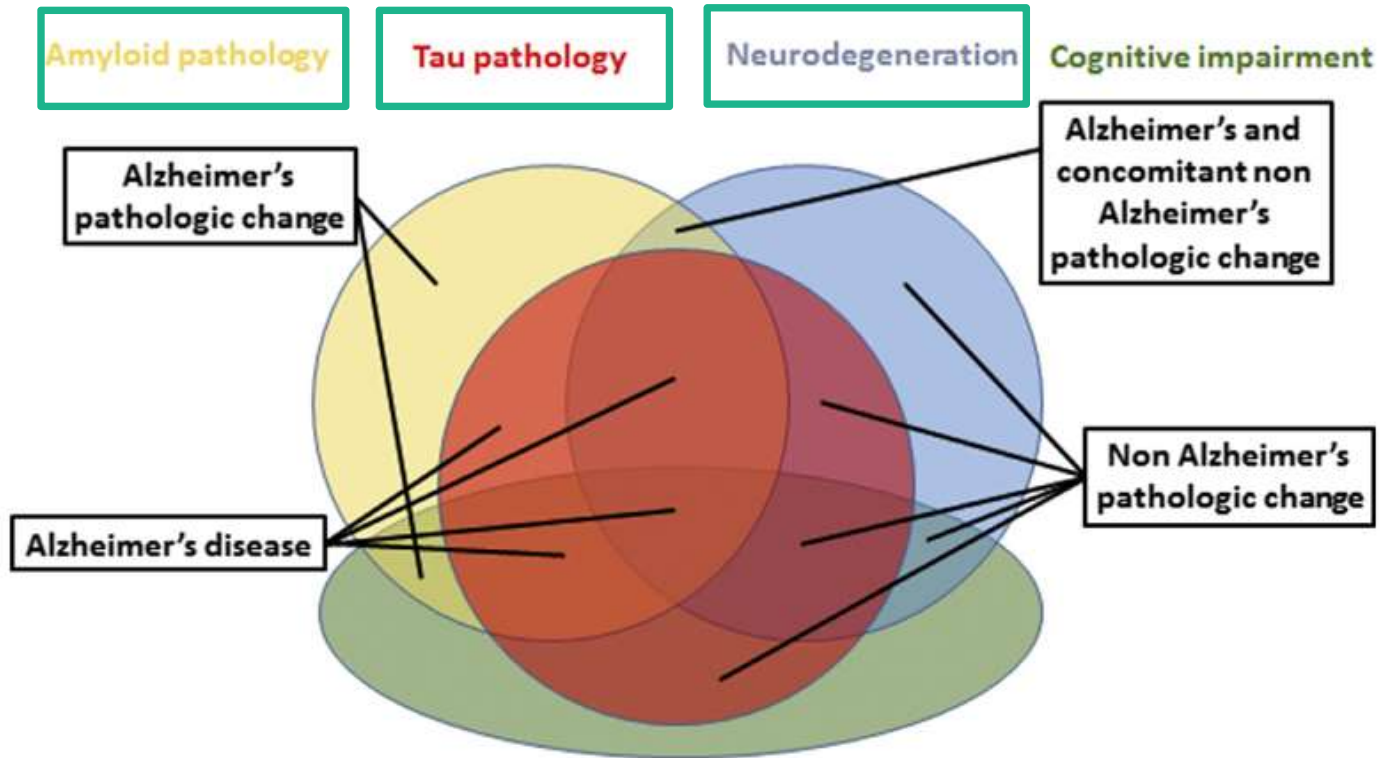
- **Amyloid PET ist mehr als 5 Jahre vor den ersten klinischen Symptomen positiv** (wahrscheinlich sogar deutlich früher)
- **FDG PET sagt als Surrogatmarker der neuronalen Dysfunktion die Progression von MCI zu einer Demenz von Alzheimer Typ innerhalb von 2 Jahren voraus**
- **Tau PET zeigt eine sehr gute Korrelation zum Ausmaß der Neurodegeneration und zur kognitiven Einbuße.**



*Fellgiebel et al. Psychiatry Res 2007  
 Sperling et al. Alzheimer Dement 2011  
 La Joie et al. Sci Transl Med. 2020*



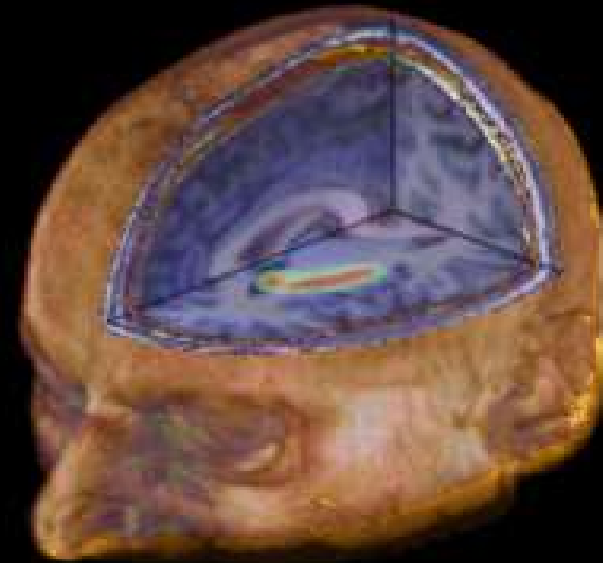
# PROTEIN DEPOSITION BEI NEURODEGENERATIVEN ERKRANKUNGEN



# PET

## Neurologie

- Demenz
- **Parkinson Syndrome**
- Epilepsie
- Hirntumoren



# Dopaminerges System: PET-Tracer

## Parameter

Glukosemetabolismus

Perfusion

Dopamin-Speicherkapazität

Dopamin-Wiederaufnahme

D<sub>1</sub>-artige-Rezeptoren (D<sub>1</sub>; D<sub>5</sub>)

D<sub>2</sub>-artige-Rezeptoren (D<sub>2</sub>; D<sub>3</sub>; D<sub>4</sub>)

Dopamin-Abbau

## Tracer

<sup>18</sup>F-Deoxyglukose

H<sub>2</sub><sup>15</sup>O

<sup>18</sup>F-Dopa

<sup>11</sup>C-Nomifensin

<sup>11</sup>C-SCH23390

<sup>11</sup>C-Racloprid

<sup>11</sup>C-/ <sup>18</sup>F-Spiperonderivate

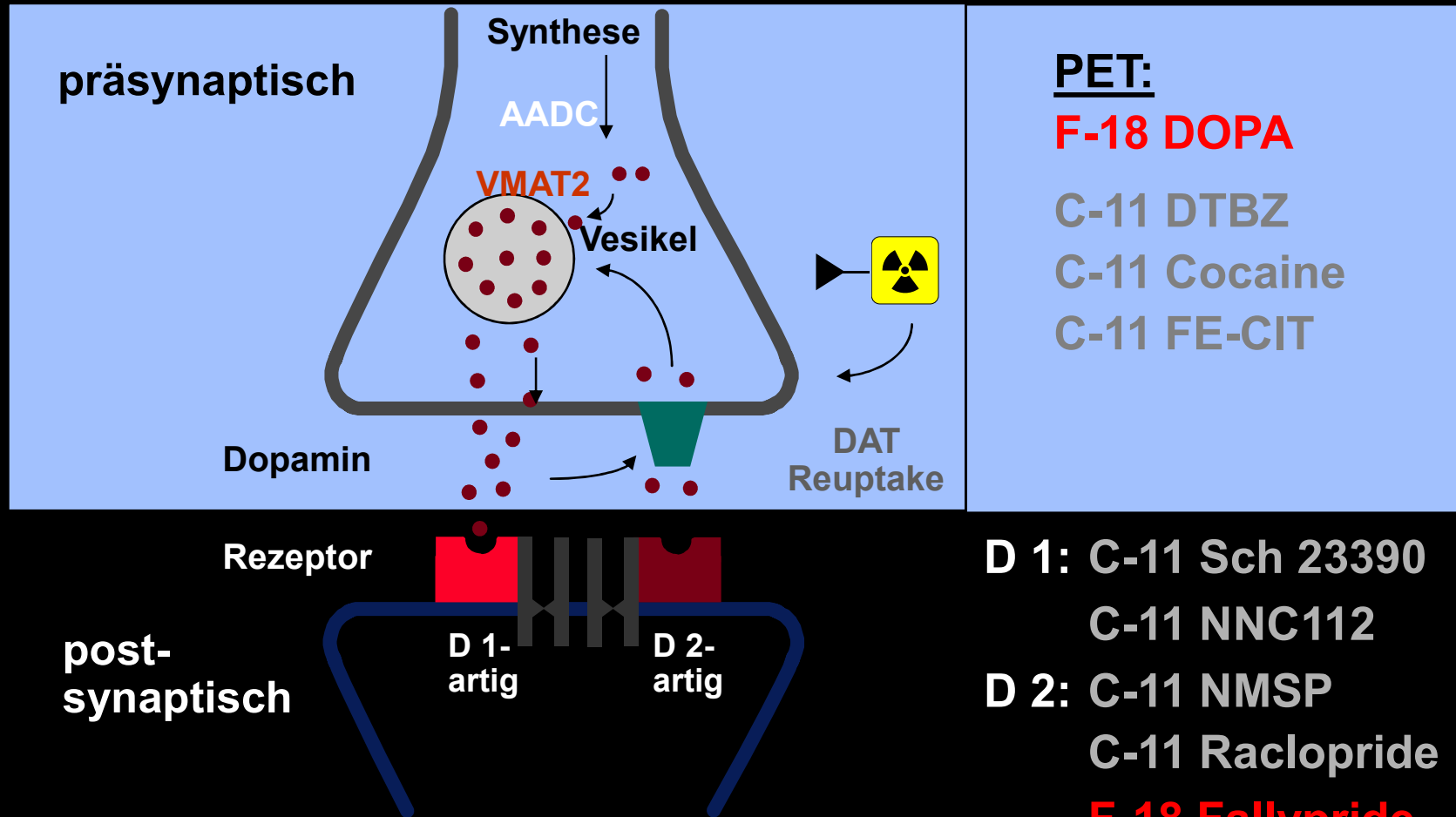
<sup>18</sup>F-Desmethoxyfallyprid

<sup>18</sup>F-Fallyprid

<sup>11</sup>C-Deprenyl

# Schema

# PET Liganden für das dopaminerge System



# Parkinson-Syndrome

Indikationen für den Einsatz  
präsynaptischer Tracer ( $^{18}\text{F}$ -Dopa,  $^{123}\text{I}$ -FP-CIT)

- **Frühdiagnostik** bei nicht eindeutigem klinischen Befund
- Liegt ein Affektion der striatalen dopaminergen  
Signaltransduktion vor?  
Z.B. DD essentieller Tremor vs. Parkinson-Syndrom

Patient A

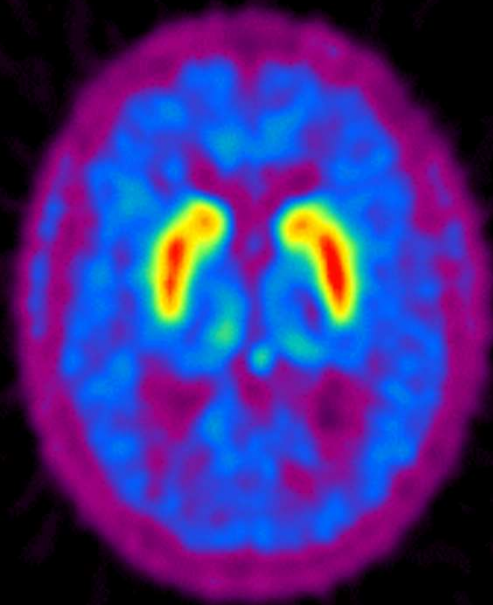


Patient B



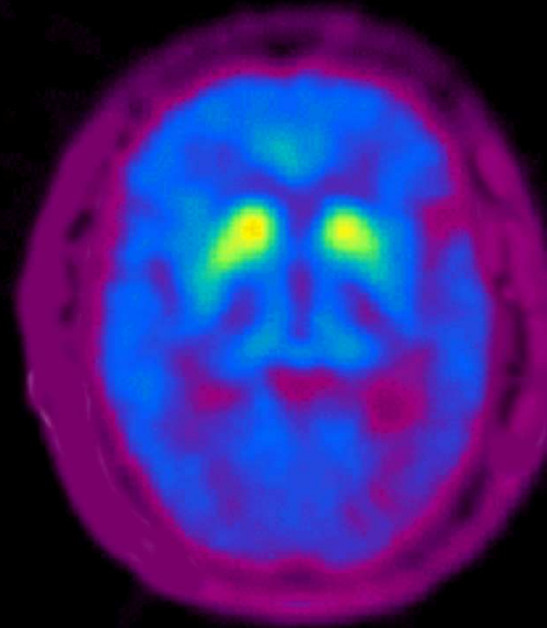
# $^{18}\text{F}$ -Dopa-PET

Patient A



Essentieller Tremor

Patient B



M. Parkinson

# Parkinson-Syndrome:

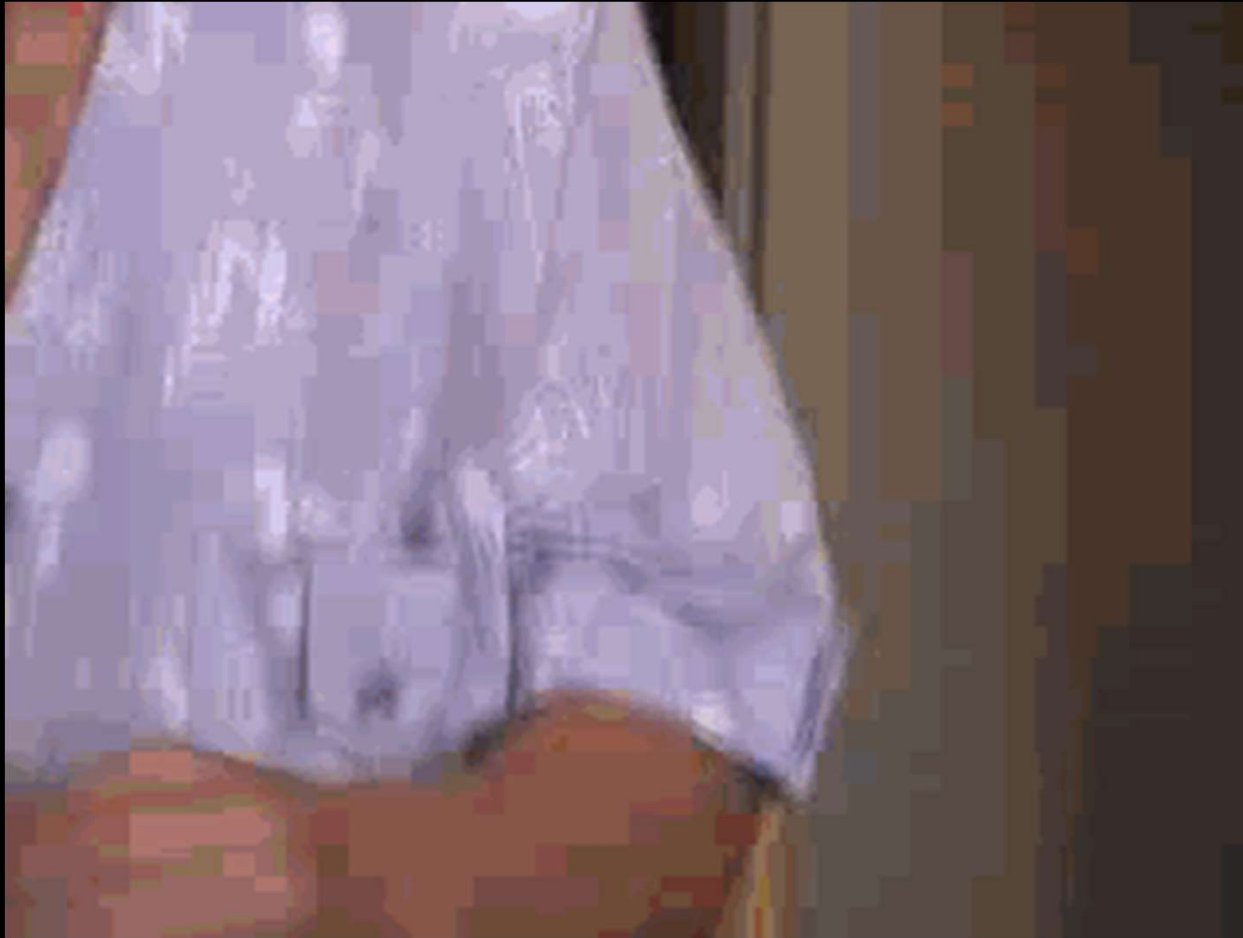
Indikationen für den Einsatz postsynaptischer Tracer = D<sub>2</sub>-Rezeptorliganden (<sup>11</sup>C-Racloprid, <sup>18</sup>F-DMFP, <sup>123</sup>I-IBZM)

## ➤ DD M. Parkinson vs. Parkinson-Syndrome anderer

### Ätiologie:

- Multisystem-Atrophie (Striato-nigrale Degeneration)
- progressive supranukleäre Lähmung
- kortikobasale Degeneration
- toxische Parkinsonsyndrome
- (- vaskuläre Parkinsonsyndrome)



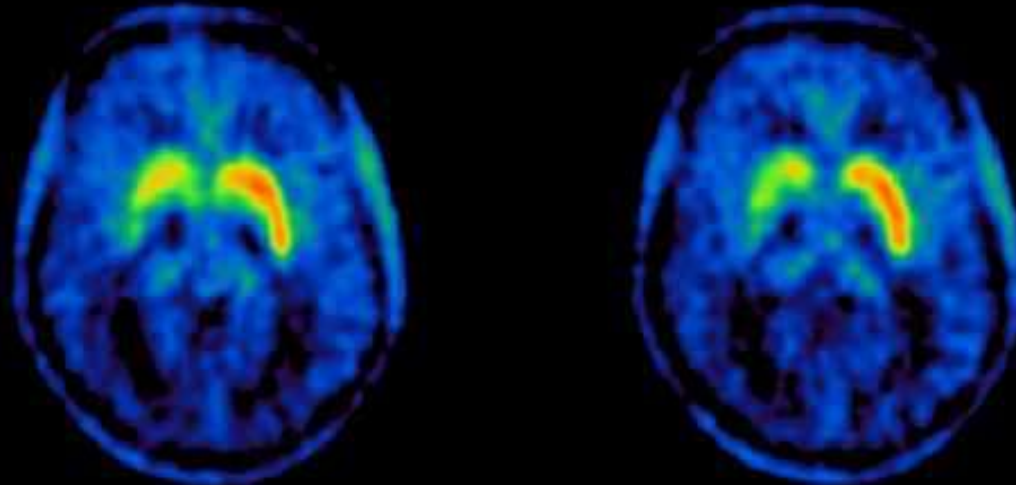


Klinik für Neurologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz

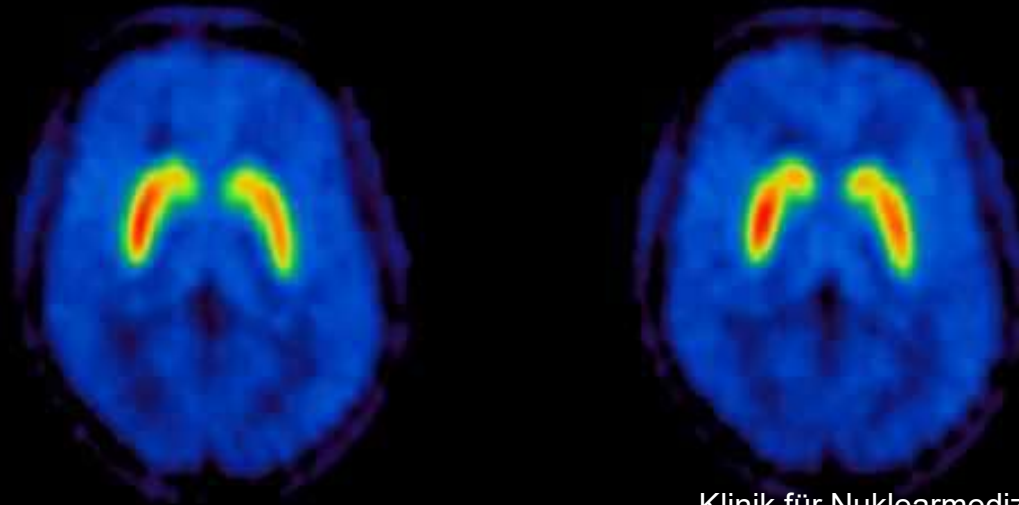


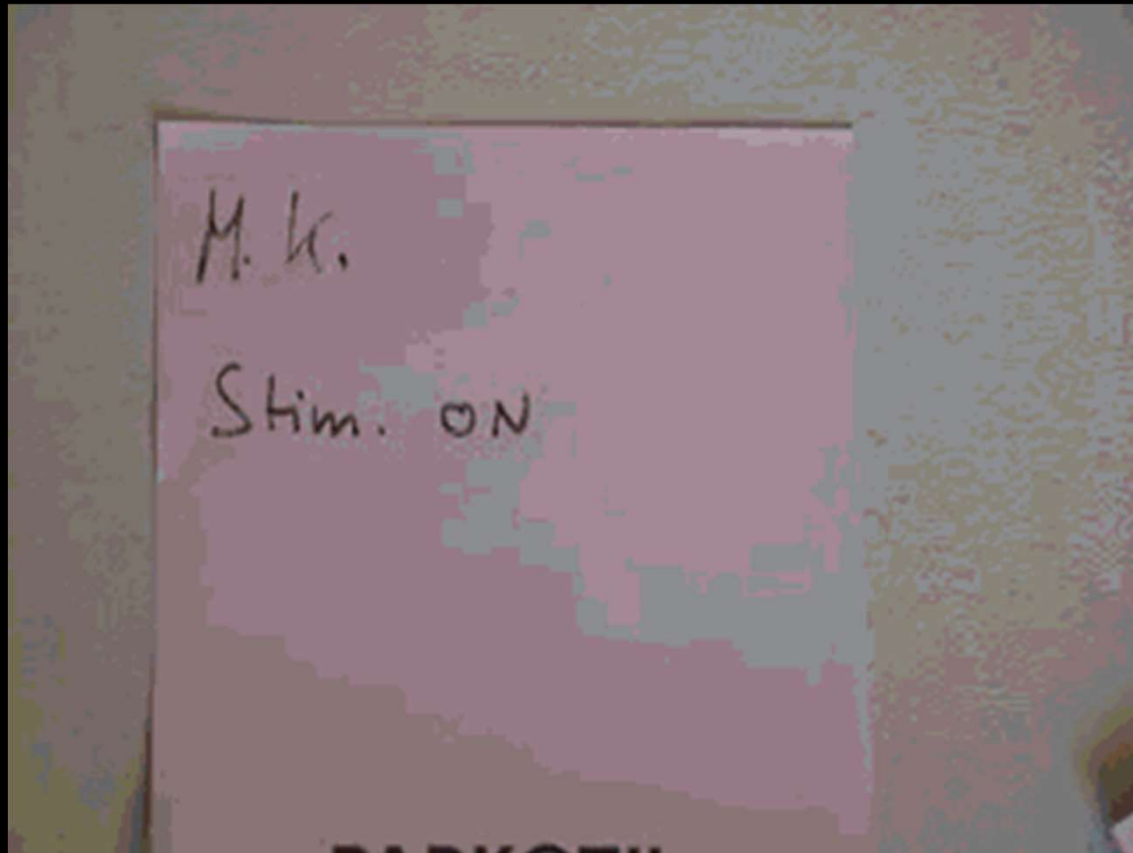
# M. Parkinson

$^{18}\text{F}$ -Dopa



$^{18}\text{F}$ -DMFP

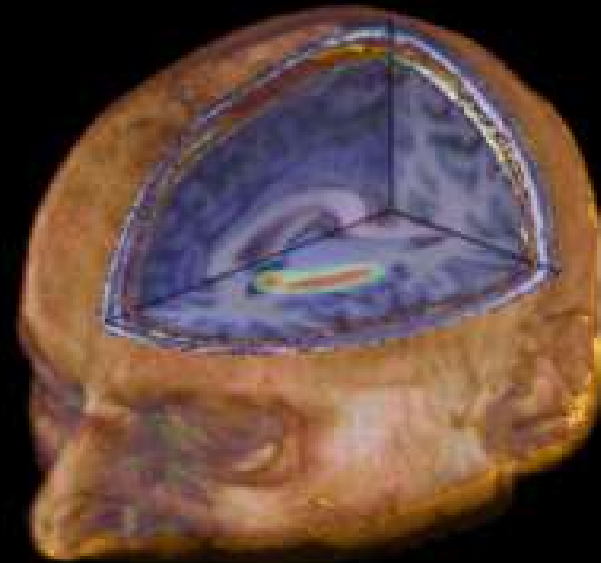




# PET

## Neurologie

- Demenz
- Parkinson Syndrome
- **Epilepsie**
- Hirntumoren



# Epilepsie

## Fragestellungen

- Nachweis und Lokalisation der epileptogenen Zone
- Nachweis der funktionellen Integrität nicht involvierter Hirnareale (insbes. Kinder)
- Prognose der postop. Anfalls- und Gedächtnissituation
- DD epileptische/psychogene Anfälle

## Methoden

- PET
  - [ $^{18}\text{F}$ ]FDG
  - [ $^{11}\text{C}$ ]Flumazenil
- SPECT
  - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECD/HMPAO
    - iktal
    - interiktal

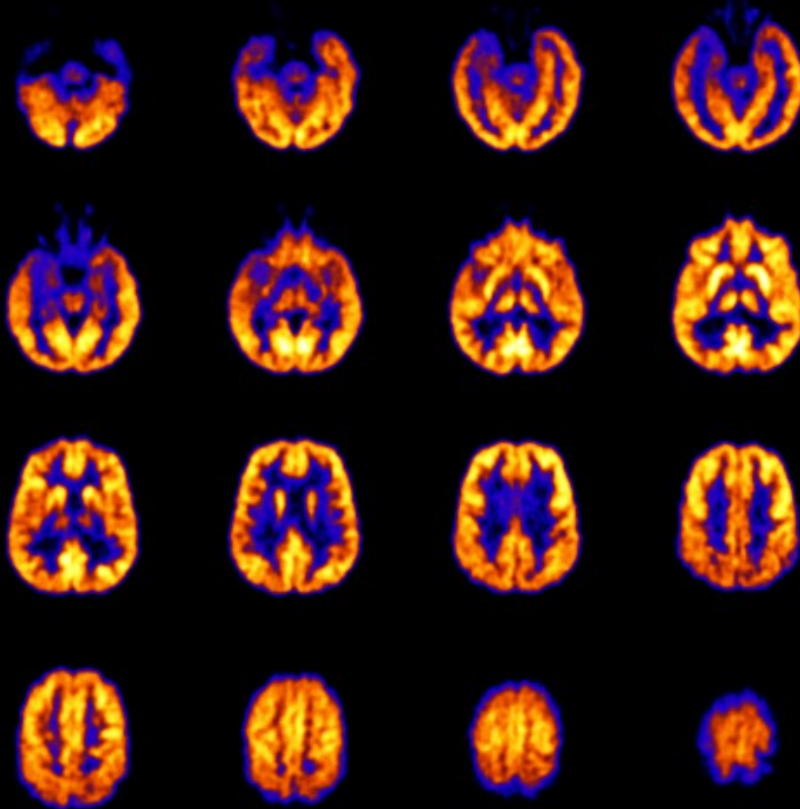
# Epilepsie

- Die Prävalenz beträgt ca. 0.5 bis 1%
- Etwa 20% der Patienten sprechen nicht ausreichend auf eine antikonvulsive Therapie an
- Ca. 1/6 der Patienten mit pharmakoresistenten Anfällen profitiert von epilepsiechirurgischen Eingriffen
  - Temporallappenepilepsien haben eine günstigere Prognose (ca. 90%) als
  - Extratemporallappenepilepsien (ca. 60%)

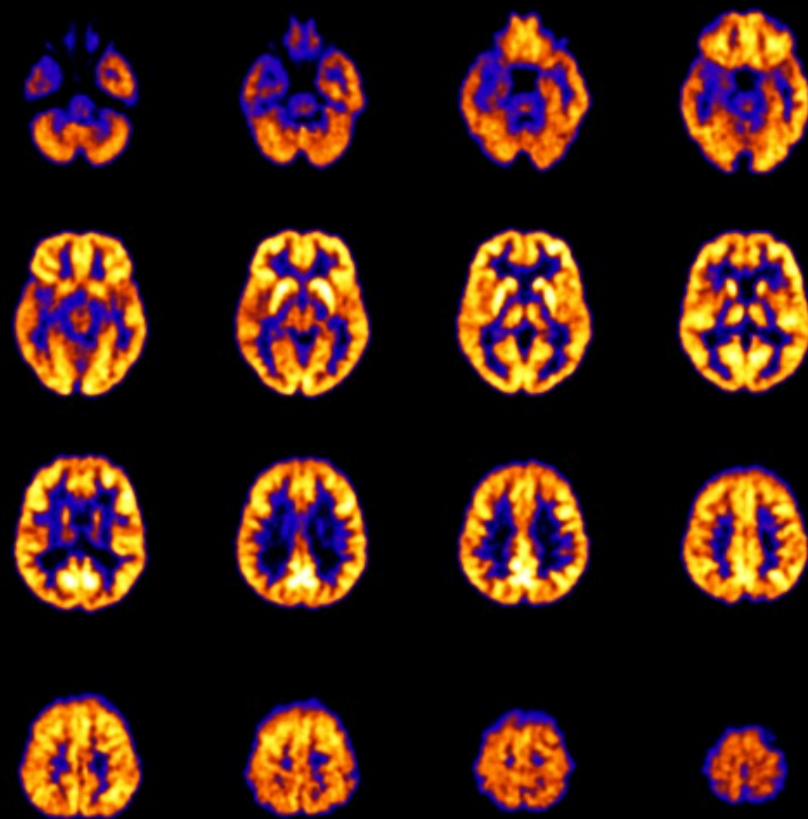
# Epilepsie

## Temporallappenepilepsie rechts

Parallel zum Temporallappen

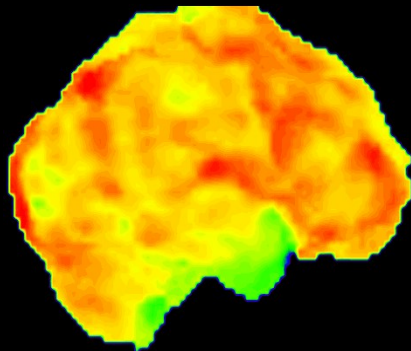


AC-PC

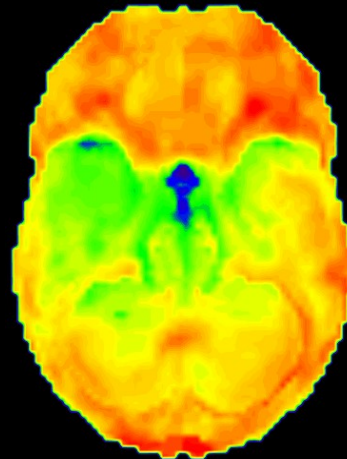


# $^{18}\text{F}$ -FDG-PET / Temporallappen-Epilepsie rechts

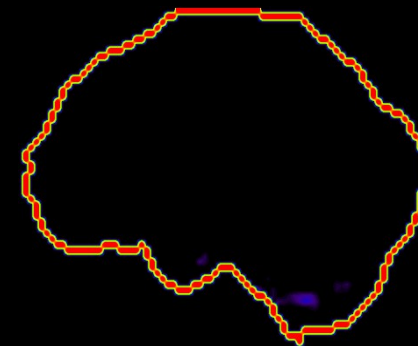
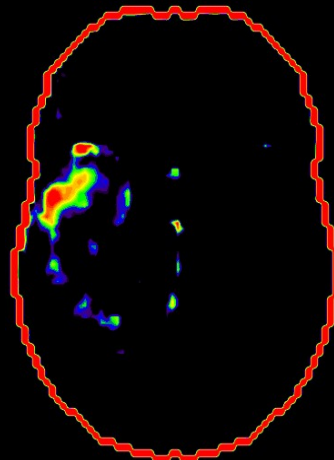
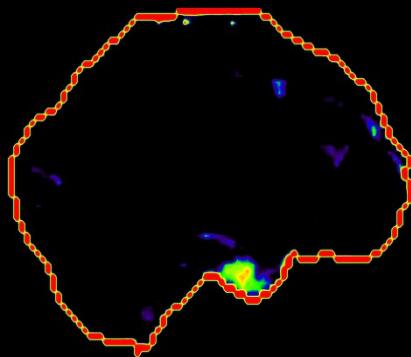
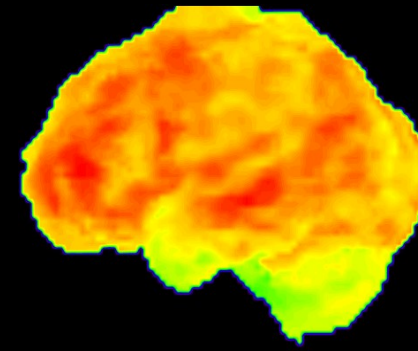
Stereotaktische Oberflächenprojektionen



Rechts lateral



Ansicht von unten links lateral



Vergleich mit einem Normkollektiv

Klinik für Nuklearmedizin • Universität München

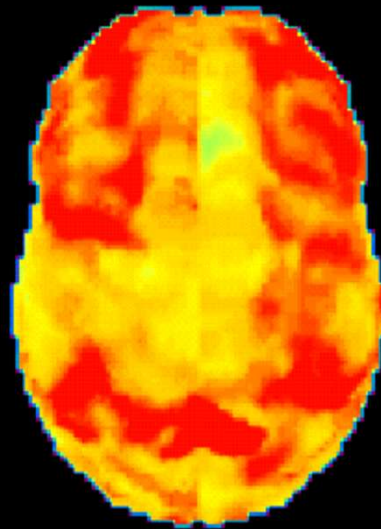
LMU



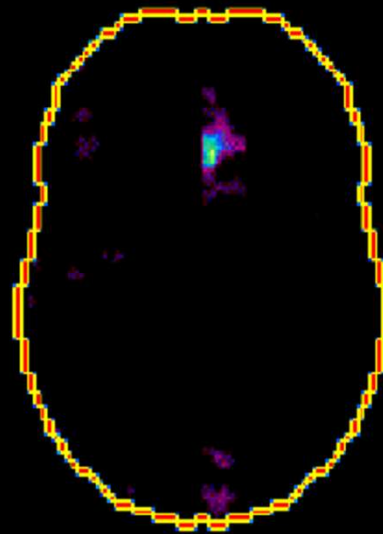
# Frontallappen-Epilepsie

Oberflächenprojektionen  
(Ansicht von oben)

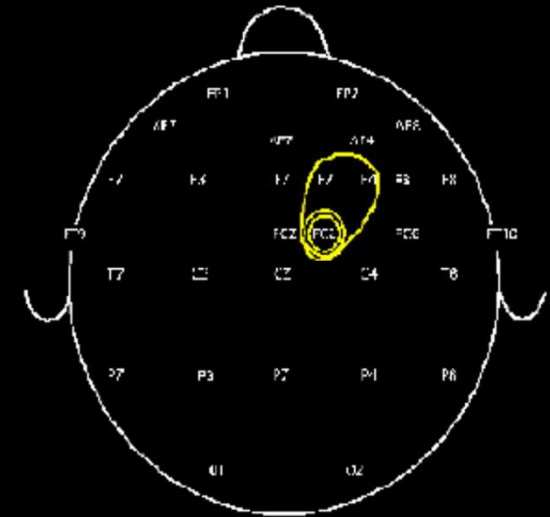
**$^{18}\text{F}$ -FDG**



**$^{11}\text{C}$ -Flumazenil**



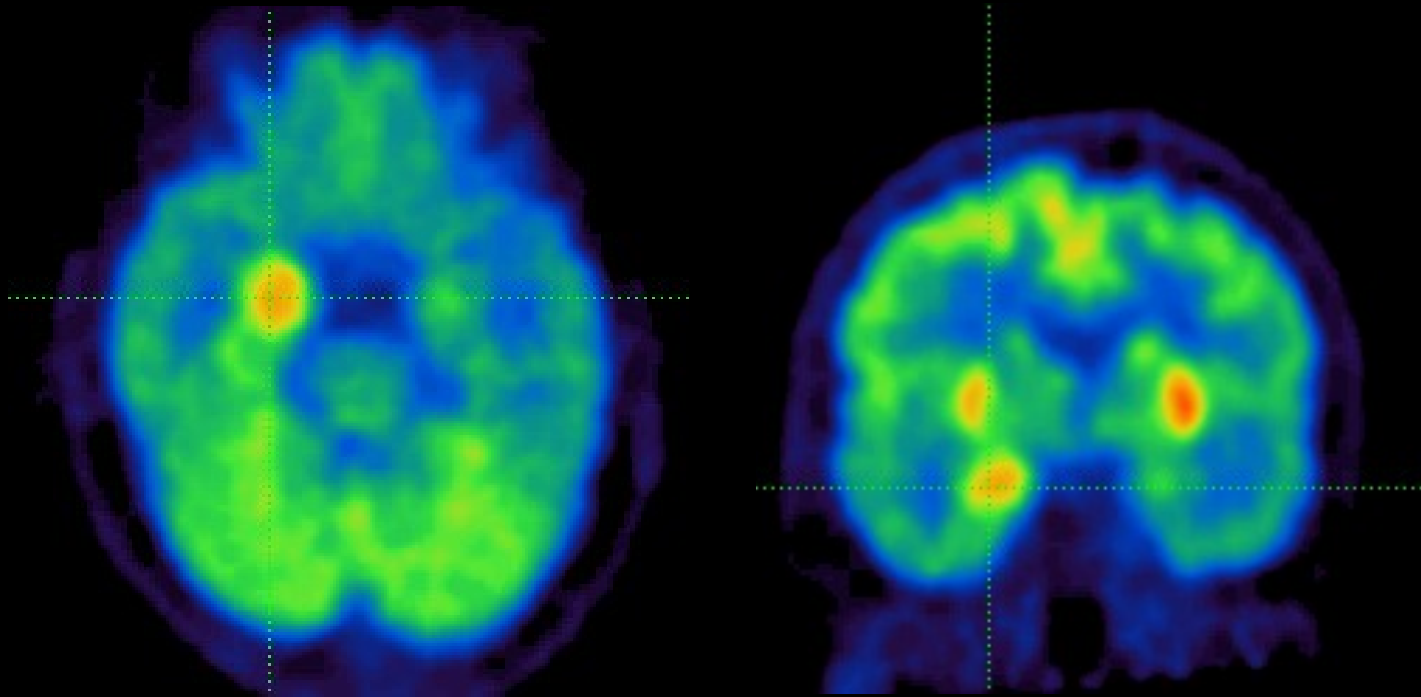
**EEG**



Vergleich mit  
dem Normkollektiv

# Temporallappen-Epilepsie rechts

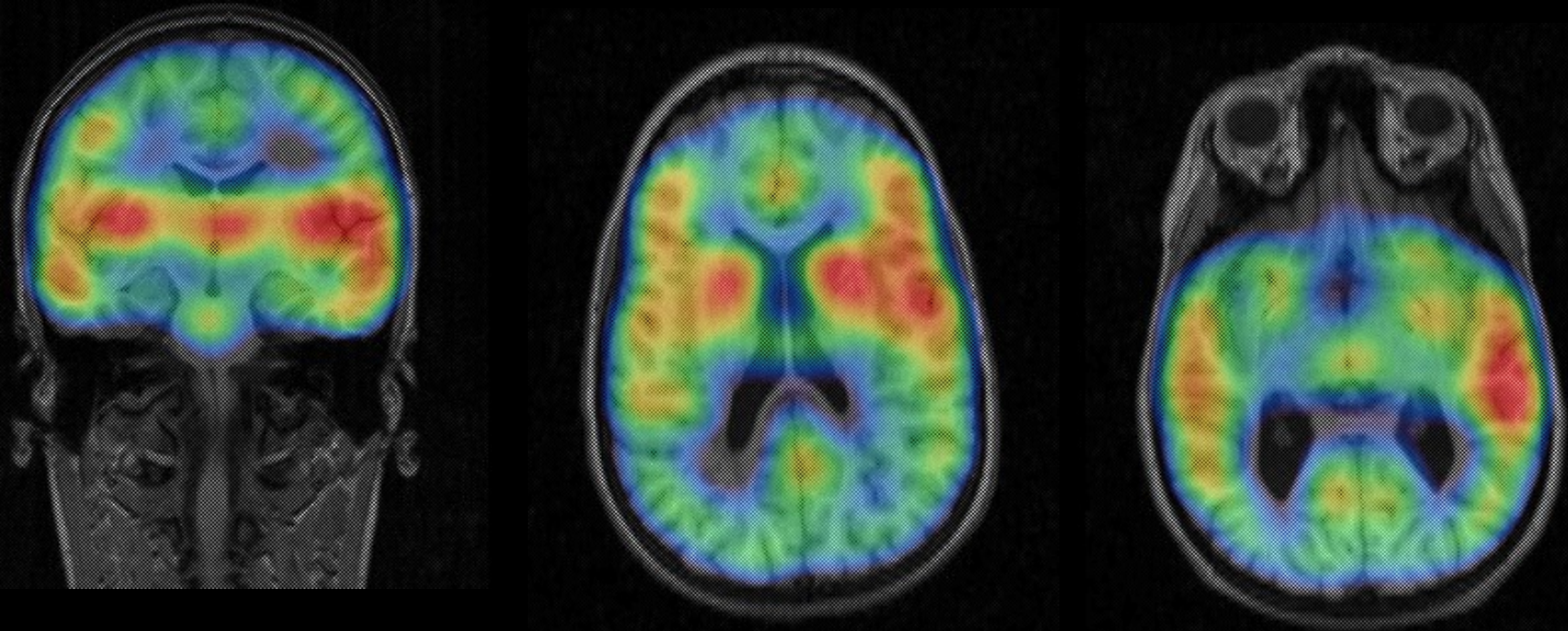
## Iktales FDG-PET



# Iktales ECD-SPECT

## Temporallappen-Epilepsie links

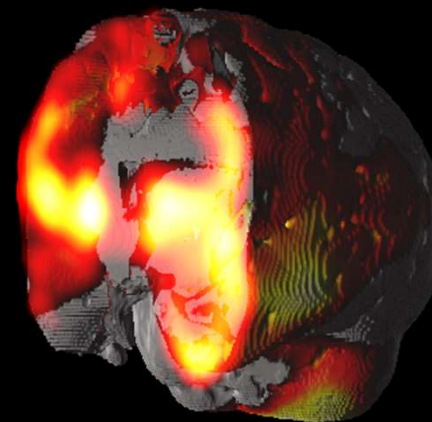
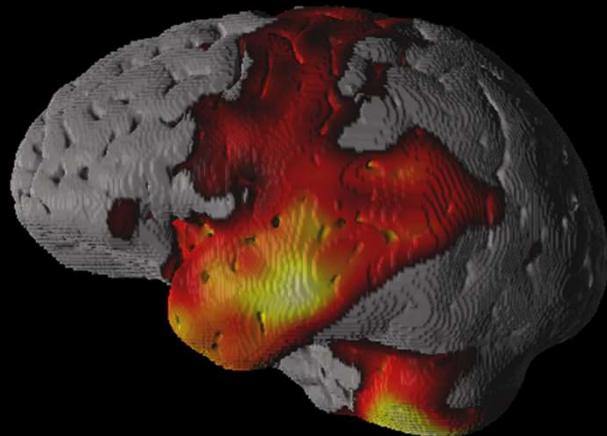
Fusion image SPECT and MRT



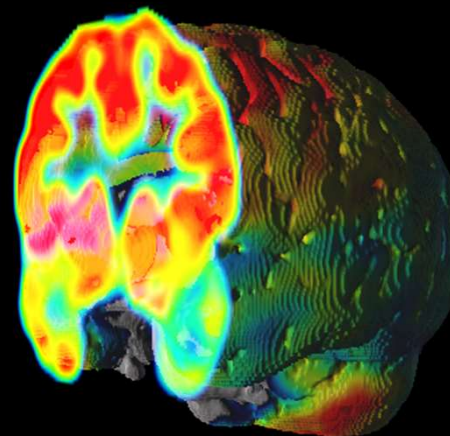
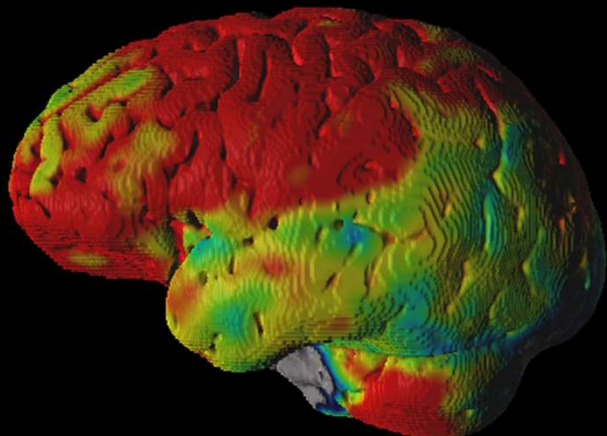
# Temporallappen-Epilepsie links

bei fokaler kortikaler Dysplasie IIB

Iktales HMPAO-SPECT



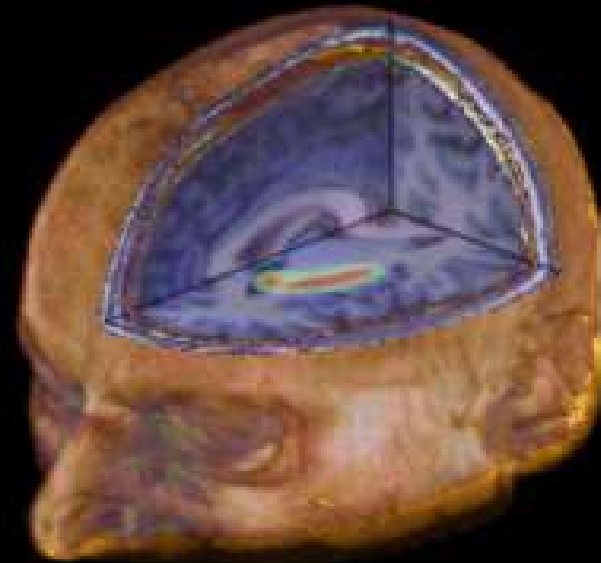
Interiktales FDG-PET



# PET

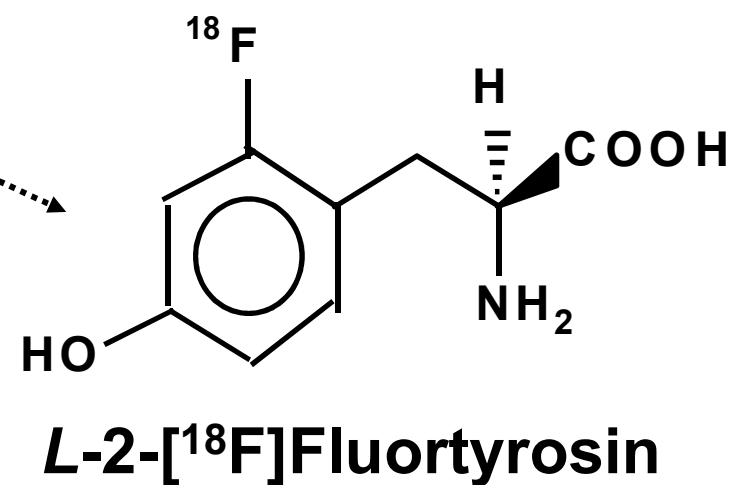
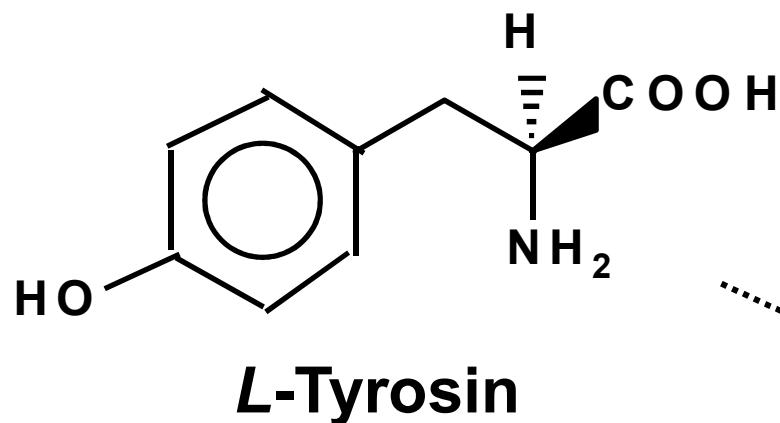
## Neurologie

- Demenz
- Parkinson Syndrome
- Epilepsie
- **Hirntumoren**



# **Klinische Wertigkeit von PET bei der Diagnostik von Hirntumoren**

- **Differenzierung zwischen Rezidiv und Strahlennekrose bei malignen Gliomen**
- **Erkennung der malignen Entdifferenzierung eines Gliomrezidivs**
- **Bestimmung des Biopsieortes bei V.a. Gliom**
- **Beurteilung der biologischen Aggressivität von Hirntumoren**
- **Nachweis von Resttumor bei malignen Gliomen (mit Aminosäuren)**
- **Differenzierung zwischen Lymphom und Toxoplasmose**



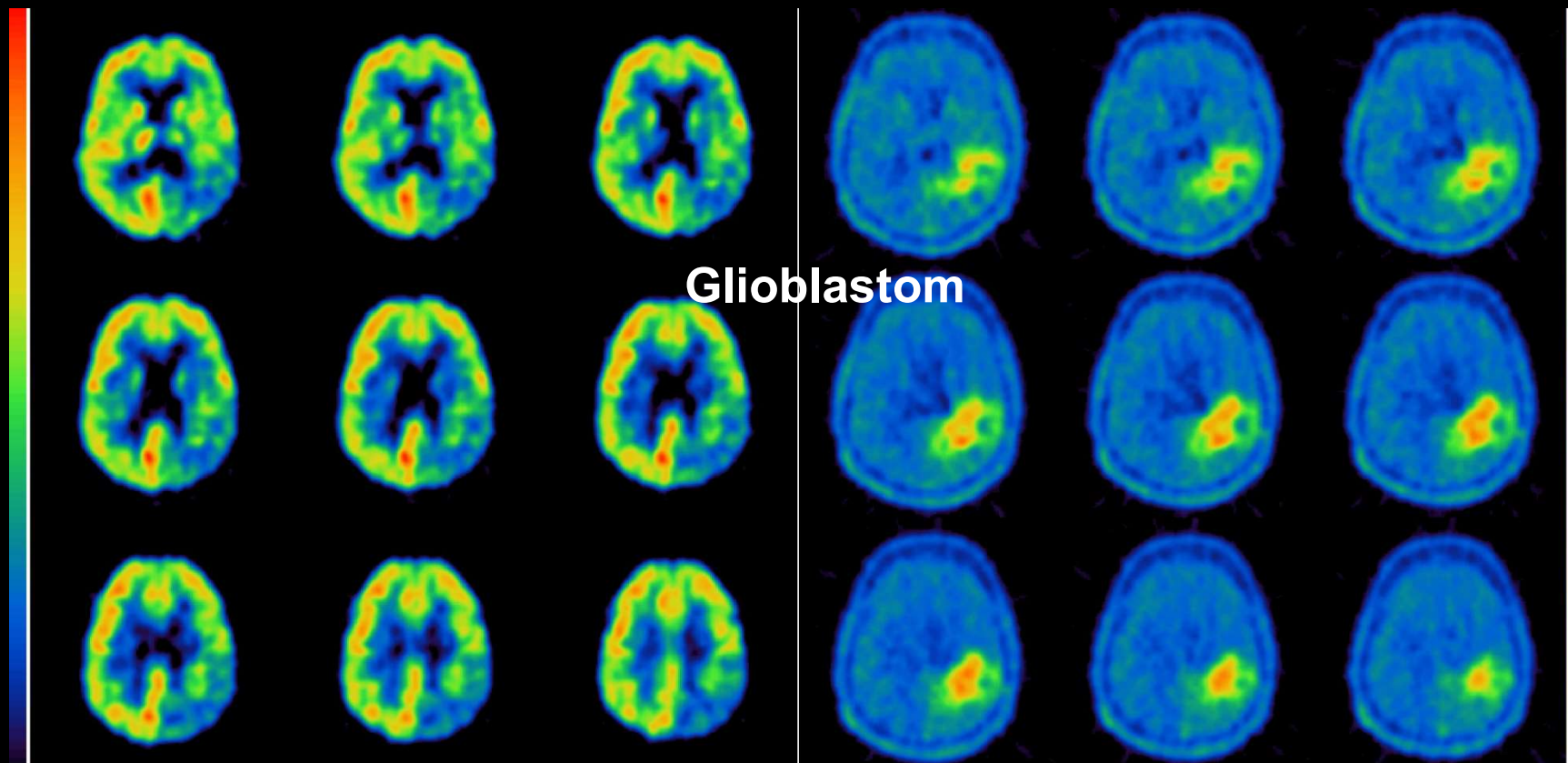
Darstellung des Aminosäuretransportes in die Zelle

# Hirntumoren

## FDG vs. FET PET

FDG

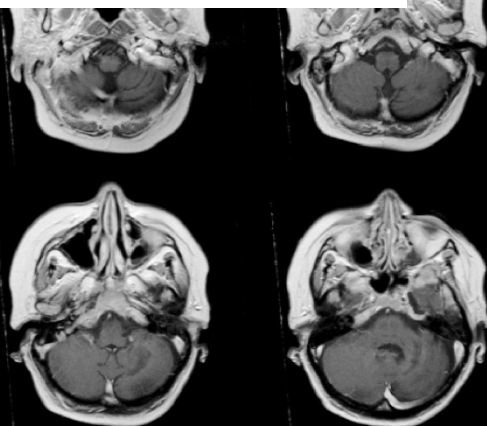
FET



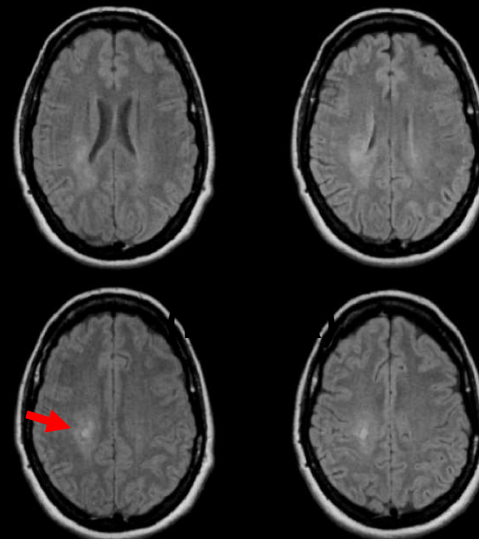
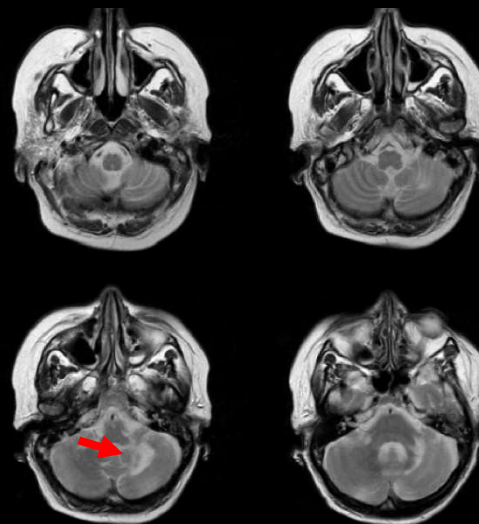
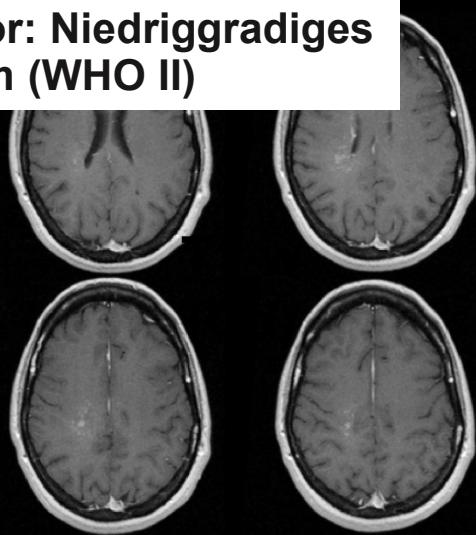


# Hirntumoren

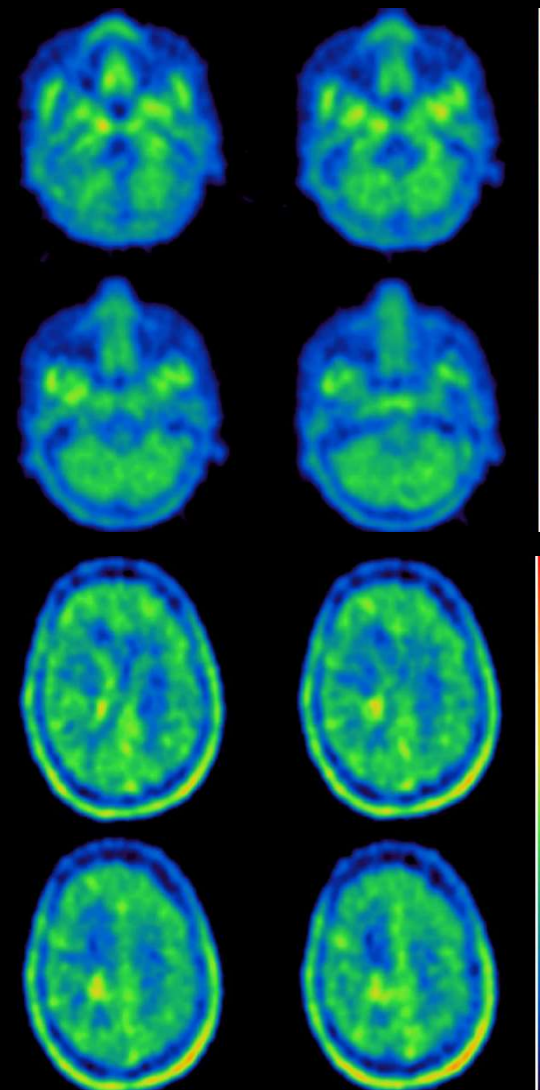
Kein Tumor: Demyelinisierende Erkrankung



Tumor: Niedriggradiges Gliom (WHO II)

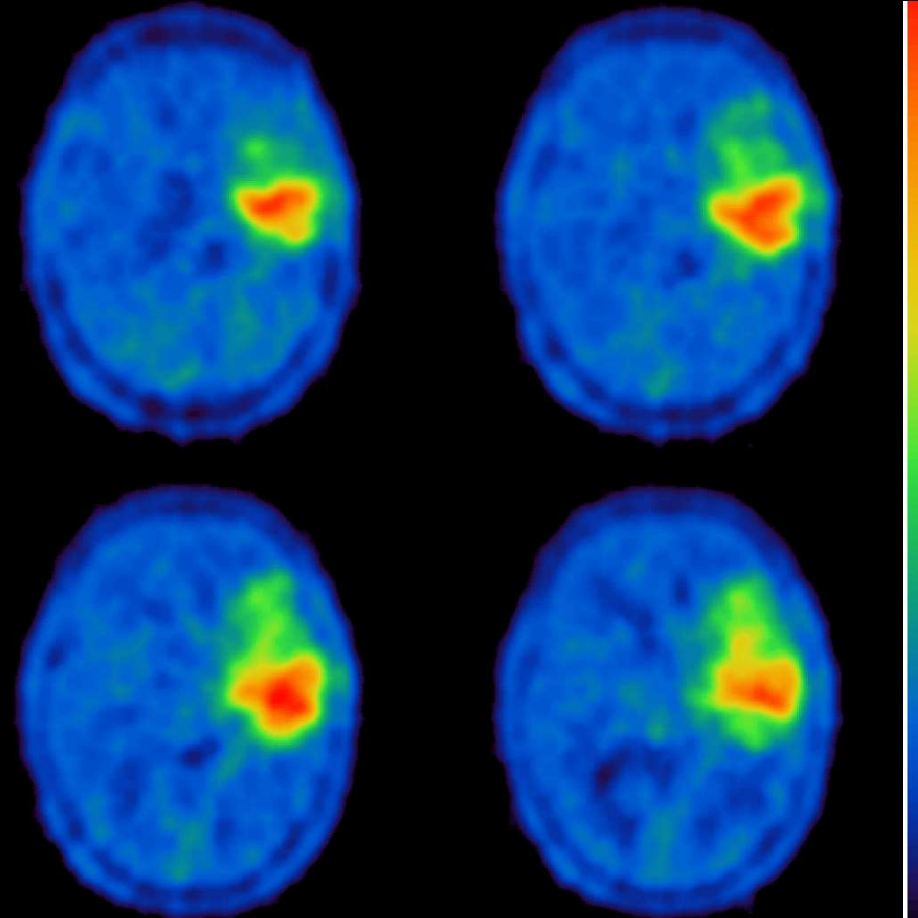


Tumor ?



# Hirntumoren

## Wahl des Biopsieortes

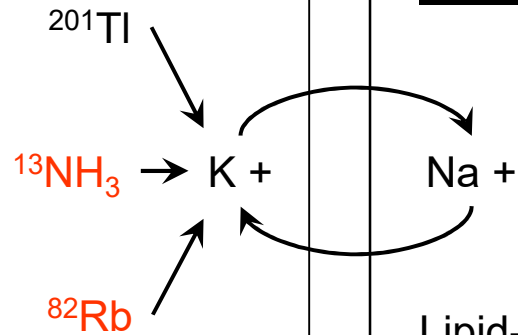


# PET und PET/CT

- Methodik
- Klinische Anwendung
  - Neurowissenschaften
  - **Kardiologie**
  - Onkologie

# Herz-PET

## Kapillare



$H_2^{15}O$

$^{99m}Tc$ -MIBI

## Myozyt

Lipid-pool

$^{11}C$ -Palmitat

$^{123}I$ -  $^{18}F$ -  
Fettsäurederivate

Acyl-CoA  
Karnitin

## Mitochondrium

$\beta$ -Oxidation

Zitrat-  
zyklus

Glykogen  $\leftrightarrow$  Glukose-P  $\leftrightarrow$  Glykolyse  $\leftrightarrow$  Laktat

Glukose

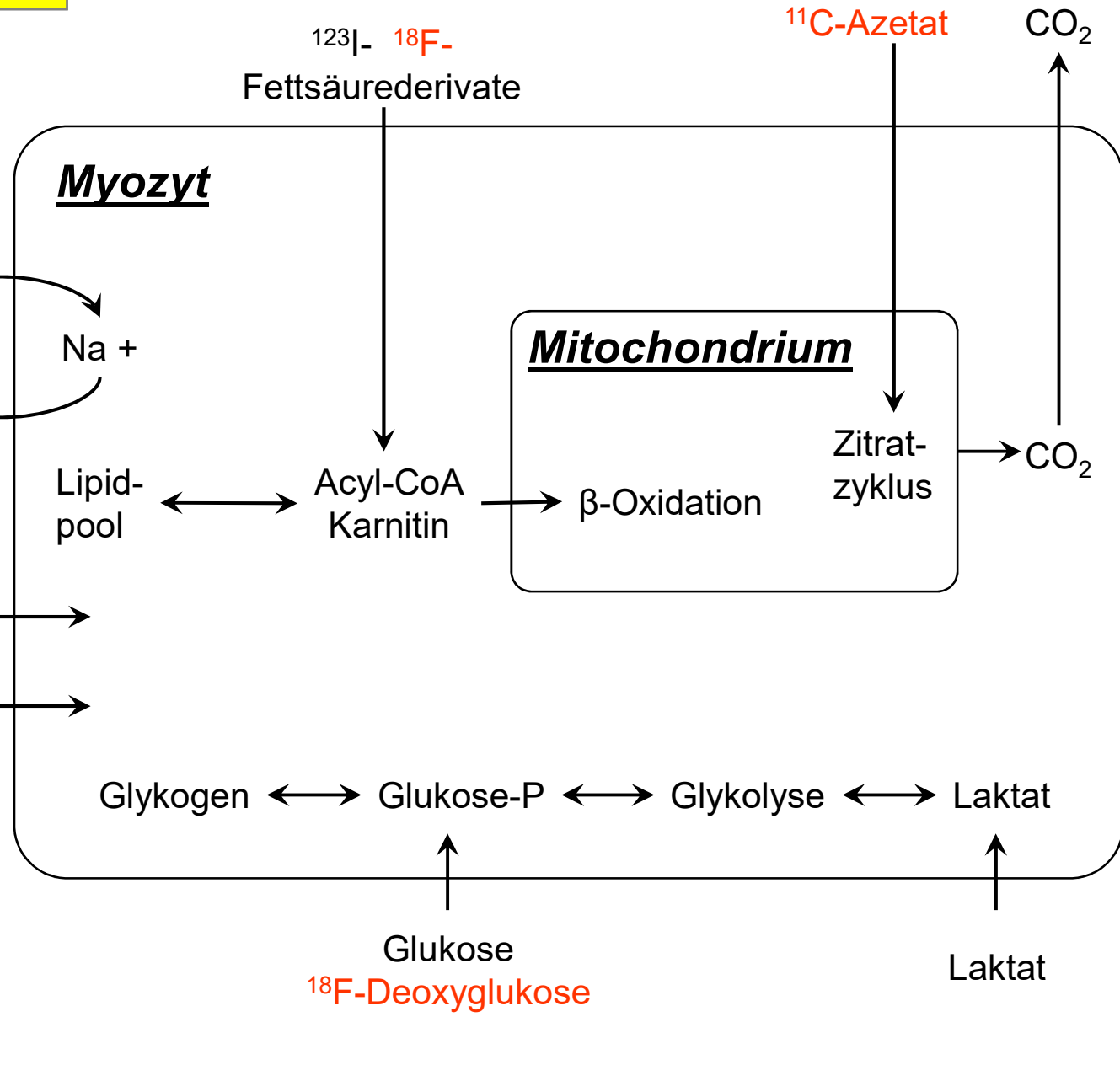
$^{18}F$ -Deoxyglukose

Laktat

$^{11}C$ -Azetat

$CO_2$

$CO_2$

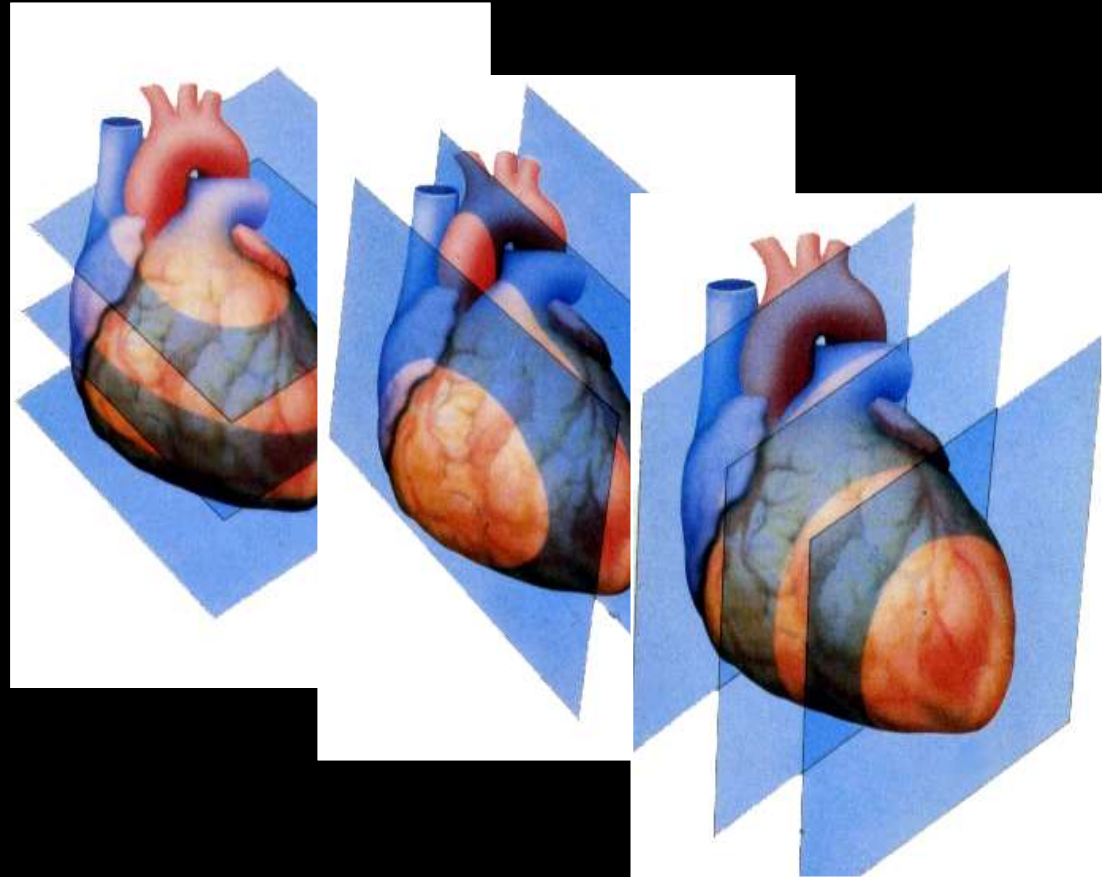
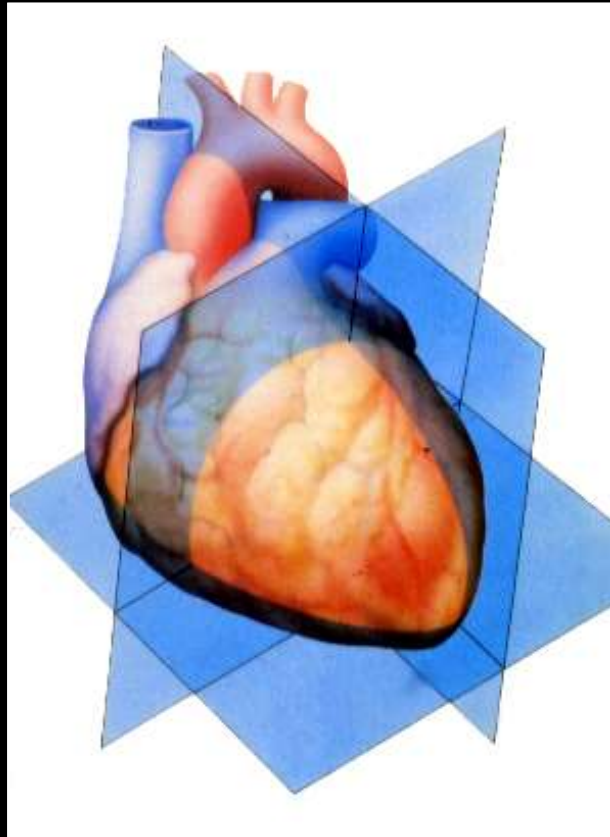


### Bestimmung der Gewebevitalität

- **FDG PET gilt als Goldstandard für den Nachweis vitalen Myokardgewebes**
- **Beleg für 'Hibernating' Myokard nach ischäm. Schädigung**
  - **hoher Vorhersagewert für eine funktionelle Erholung**
  - **Therapieplanung (Kosteneffizienz)**
    - **Koronarrevaskularisation bei KHK Patienten mit schwerer linksventrikulärer Dysfunktion**
    - **Indikationsstellung zur Herztransplantation**

# Herz-PET

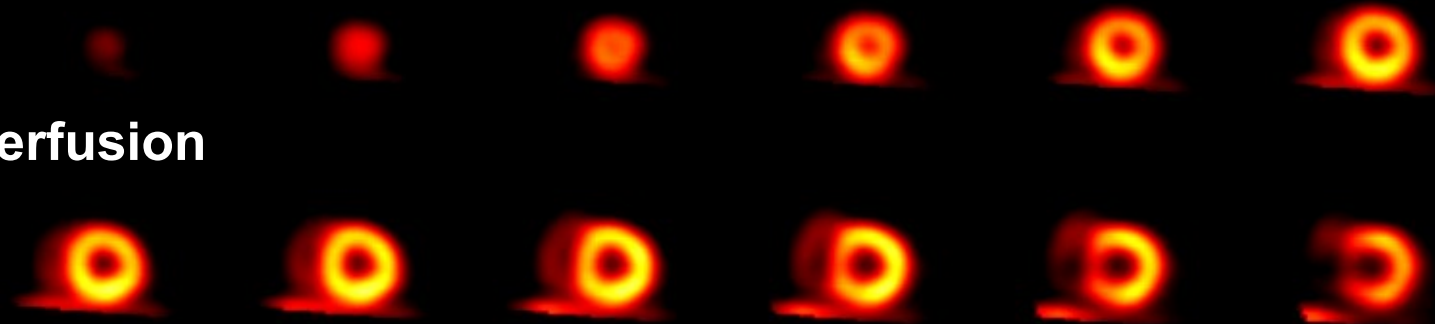
## Schnittführung bei Myokard PET



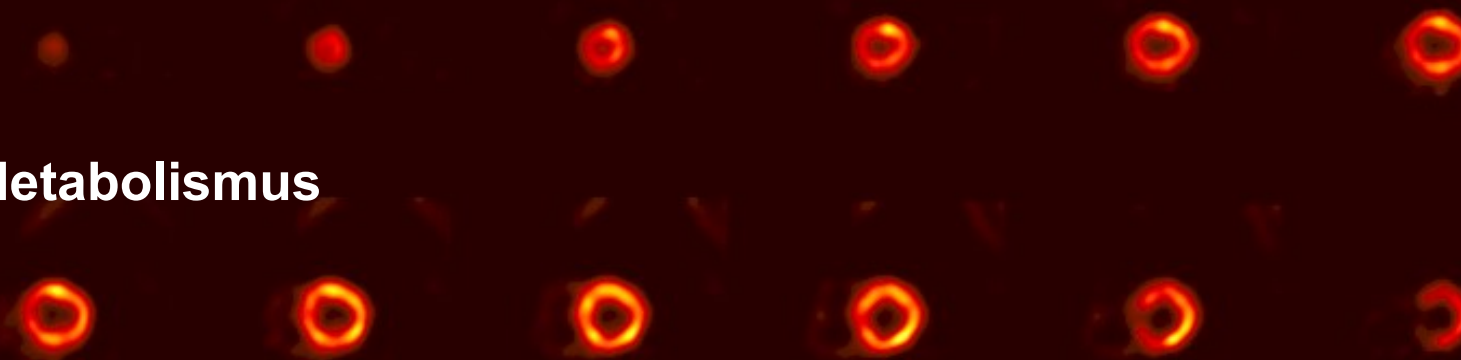
# Herz-PET

Normalbefund

Perfusion



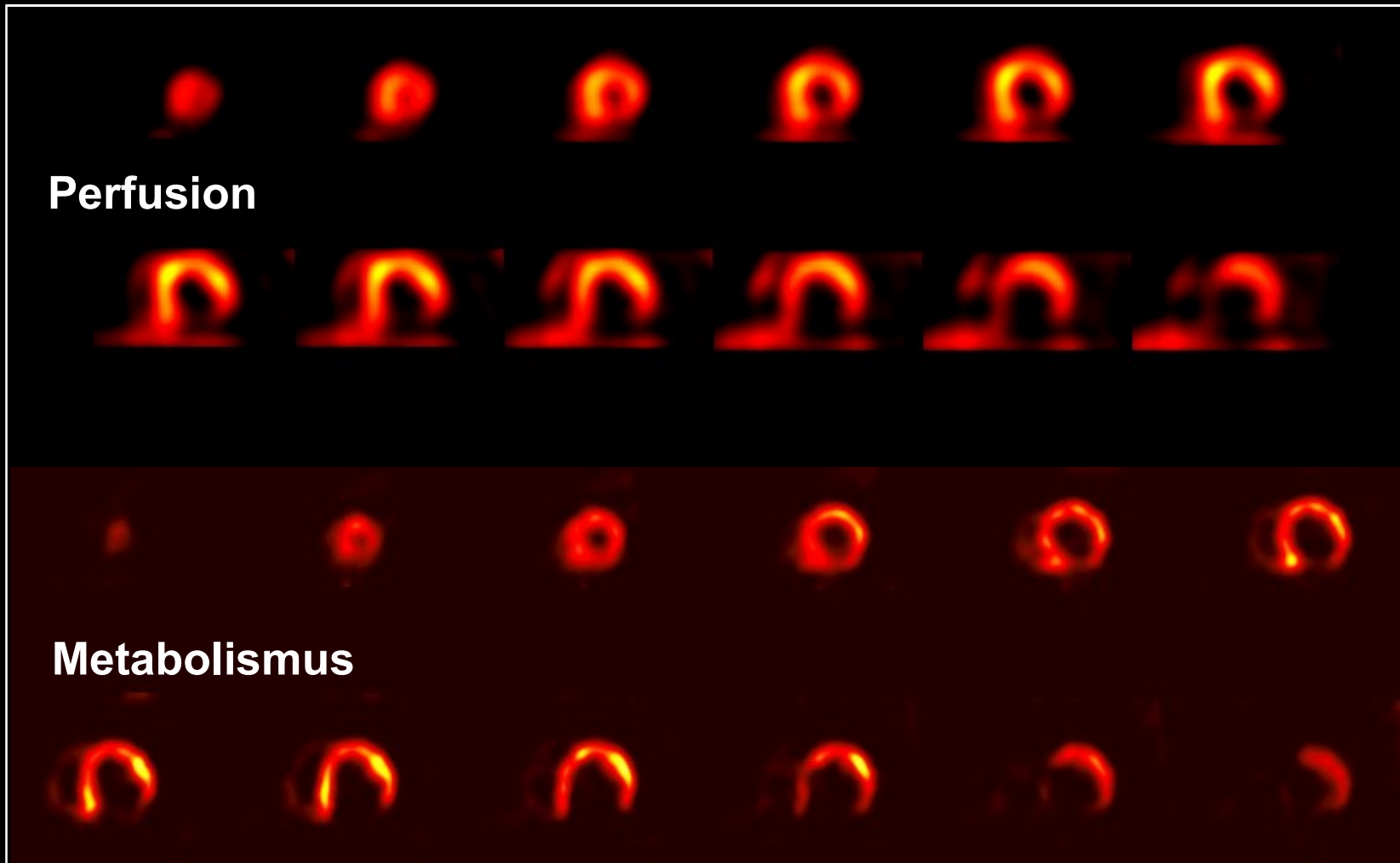
Metabolismus



Matching von unauffälliger Perfusion und Glukoseutilisation

# Herz-PET

## SPECT+PET: Infarkt



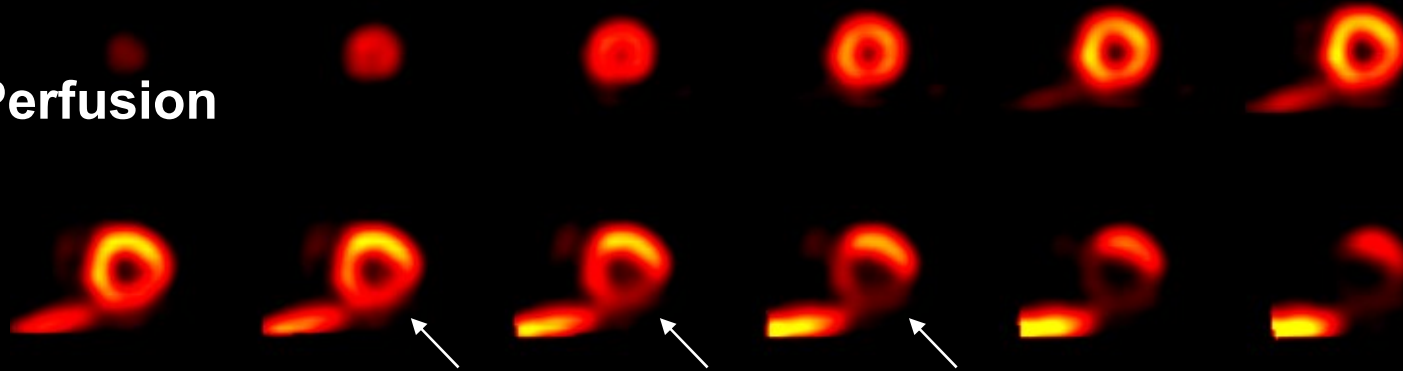
**Matching der Defekte in Perfusion und Glukoseutilisation**



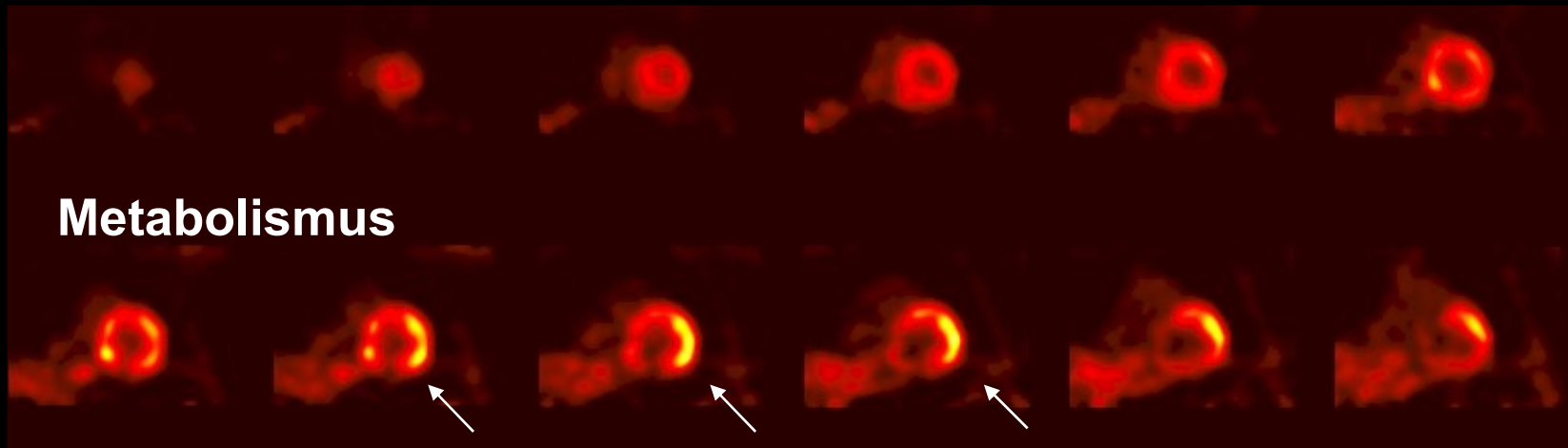
# Herz-PET

SPECT+PET: Infarkt + hibernat. M.

Perfusion

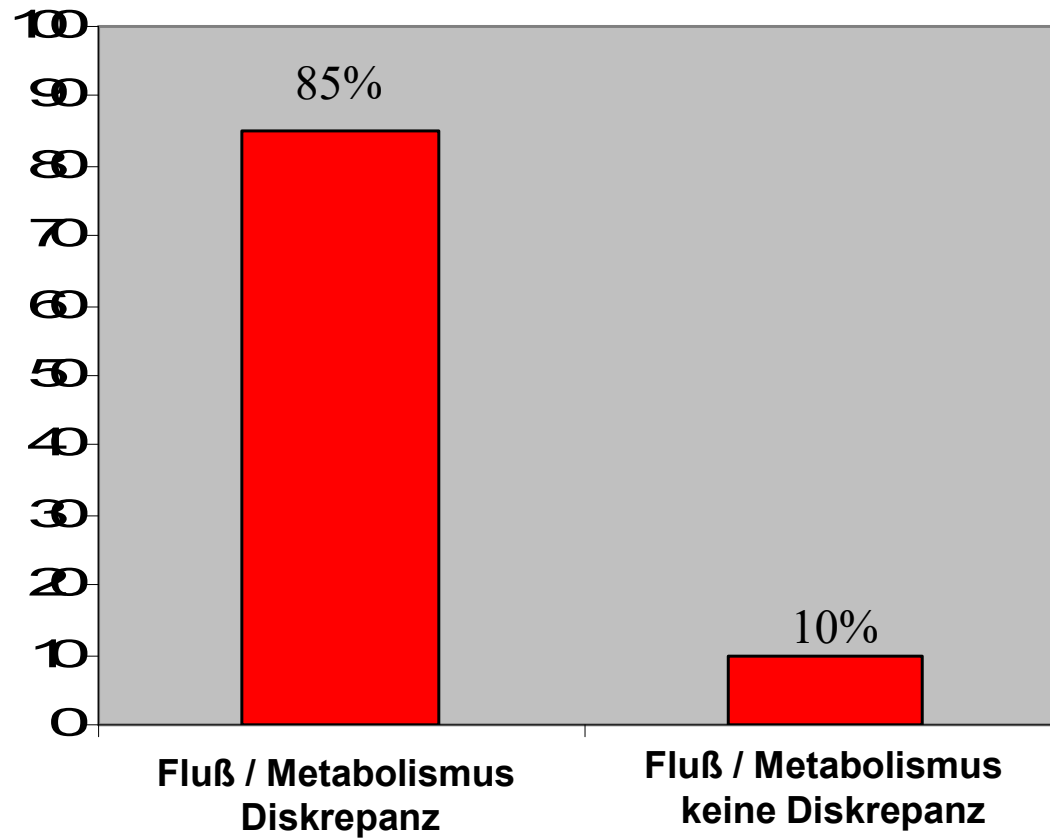


Metabolismus



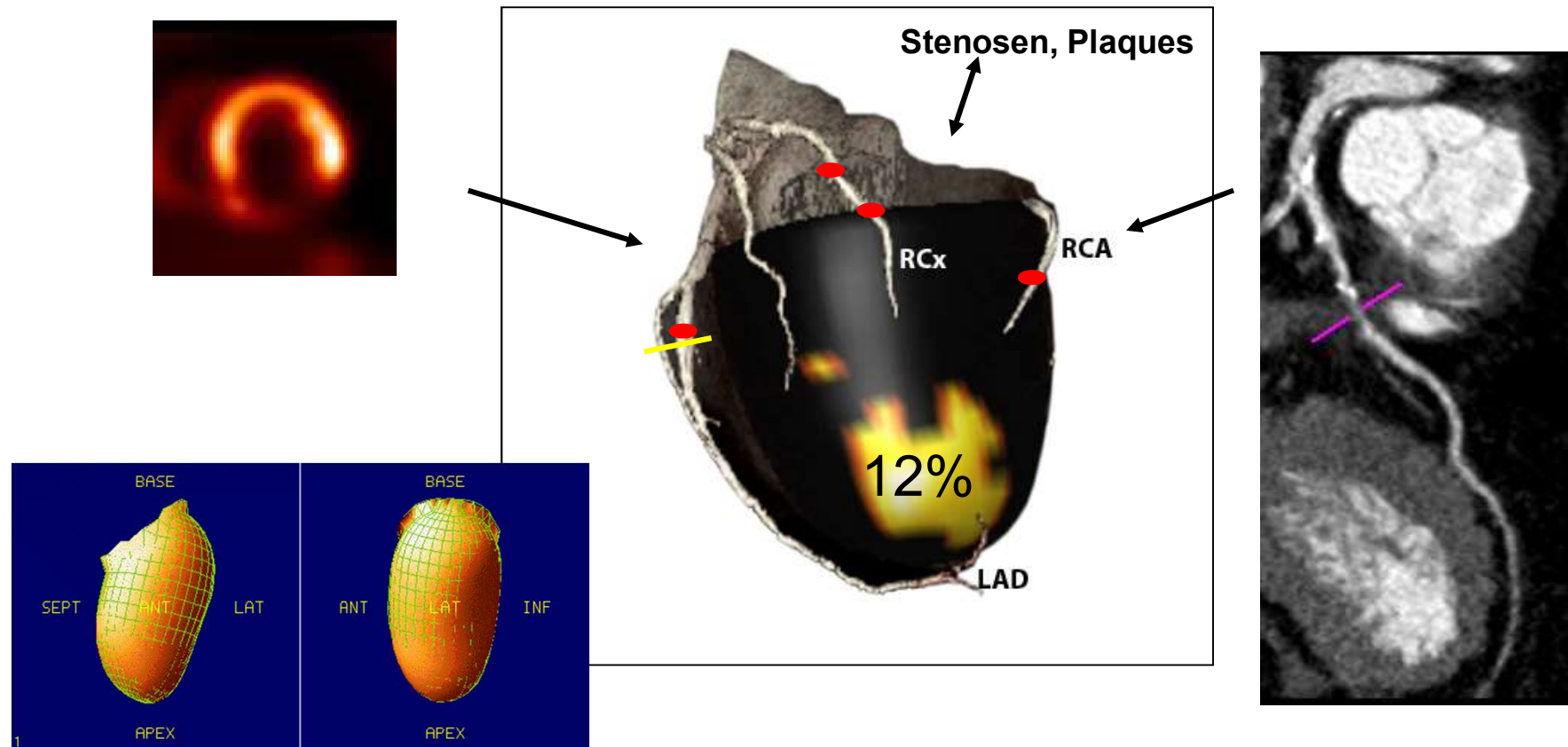
Partielles Mismatch von Perfusion und Glukoseutilisation

## Verbesserung der kontraktiven Funktion nach Revaskularisation



Tillisch et al. N Engl J Med 1986  
Tamaki et al. Am J Cardiol 1989

# Kombination aus Morphologie und Perfusion / Vitalität



# PET und PET/CT

- Methodik
- Klinische Anwendung
  - Neurowissenschaften
  - Kardiologie
  - Onkologie

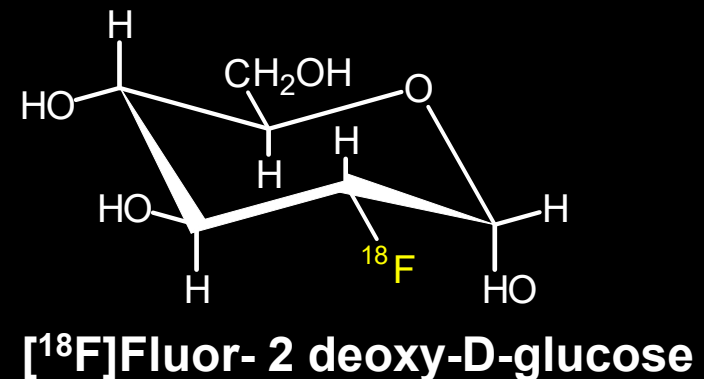
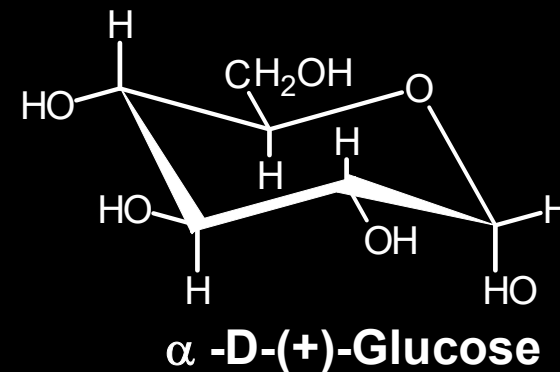
# Onkologie – PET/CT

## Biologische Grundlagen

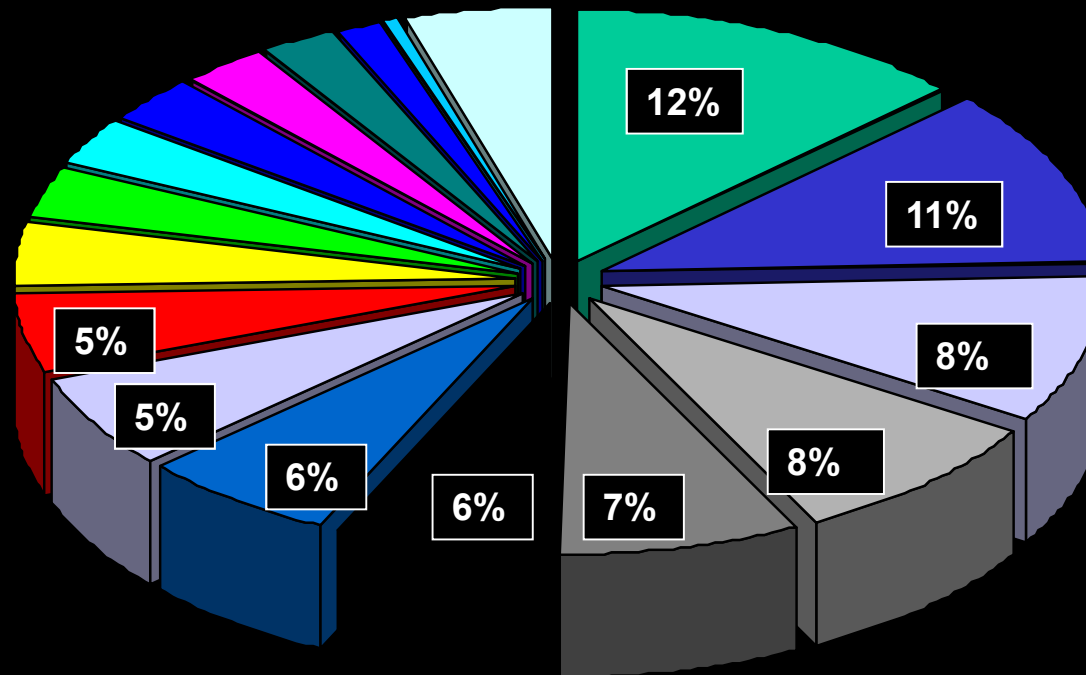
- [<sup>18</sup>F]FDG wird analog zu Glucose in Tumorzellen aufgenommen
- Tumorzellen nehmen vermehrt Glucose auf
- erhöhte Zahl von Glucose-Transporter Molekülen (GLUT1 - GLUT5)
- gesteigerte Glykolyse

## Biologische Grundlagen der Anreicherung in Tumoren

### Radiopharmakon



## Untersuchungszahlen: PET/CT Standort Großhadern



ca. 7000 Untersuchungen / Jahr

- Kolorektale Karzinome
- NET
- Mammakarzinome
- Bronchialkarzinom
- Prostatakarzinom
- CUP
- Lymphome
- Gynäkologische Tumoren
- Sarkome
- Urogenitale Tumoren
- Magenkarzinome, GIST
- HNO-Tumoren
- Schilddrüsenkarzinome
- HCC, CCC
- Melanome
- Pankreaskarzinome
- Ösophaguskarzinome
- sonstige

# FDG PET

## Indikationen

- DD benigne/maligne Erkrankungen
- initiales (präoperatives) Staging
- DD Narbe vs. vitaler Tumorrest
- Rezidivdiagnostik
- Therapie-Monitoring
- Abschätzung der Prognose

## Bezahlung in USA (Medicare)

- Bronchial Ca           Dx,St,ReSt
- Ösophagus Ca       Dx,St,ReSt
- Kolorektales Ca     Dx,St,ReSt
- Malignes Lymphom   Dx,St,ReSt
- Malignes Melanom   Dx,St,ReSt
- HNO Tumor           Dx,St,ReSt

Dx: Diagnosestellung  
St: Staging  
ReSt: Restaging

# PET und PET/CT in der Onkologie

- **Primärtumordiagnostik**
- **Staging**
- **Therapieplanung**
- **Therapiemonitoring**
- **Nachsorge: Tumormarkeranstieg**



# Fallbeispiel: 65-jähriger Patient, Raucher

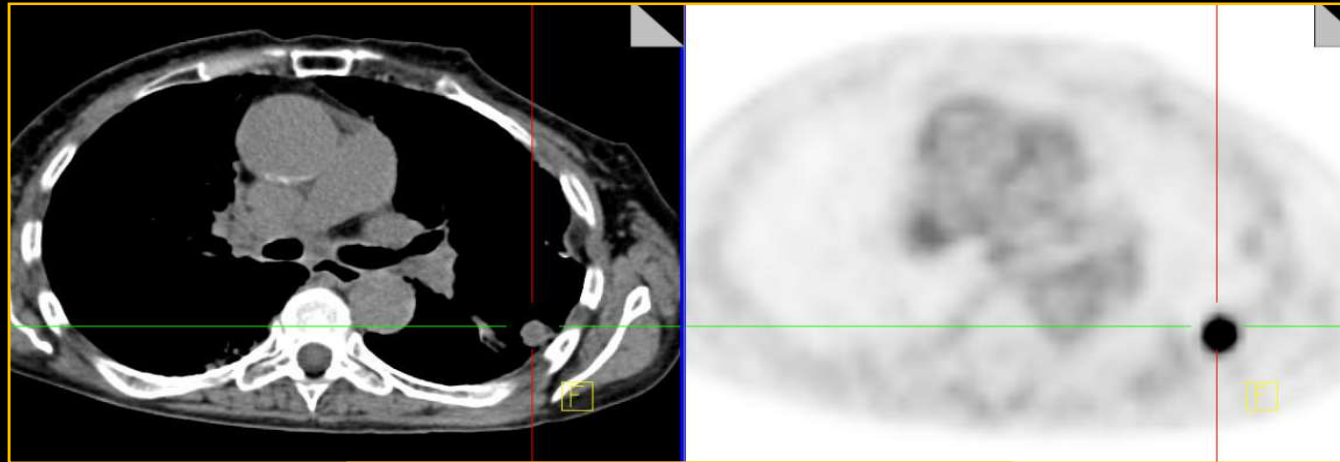


Projektionsradiographie p.a.



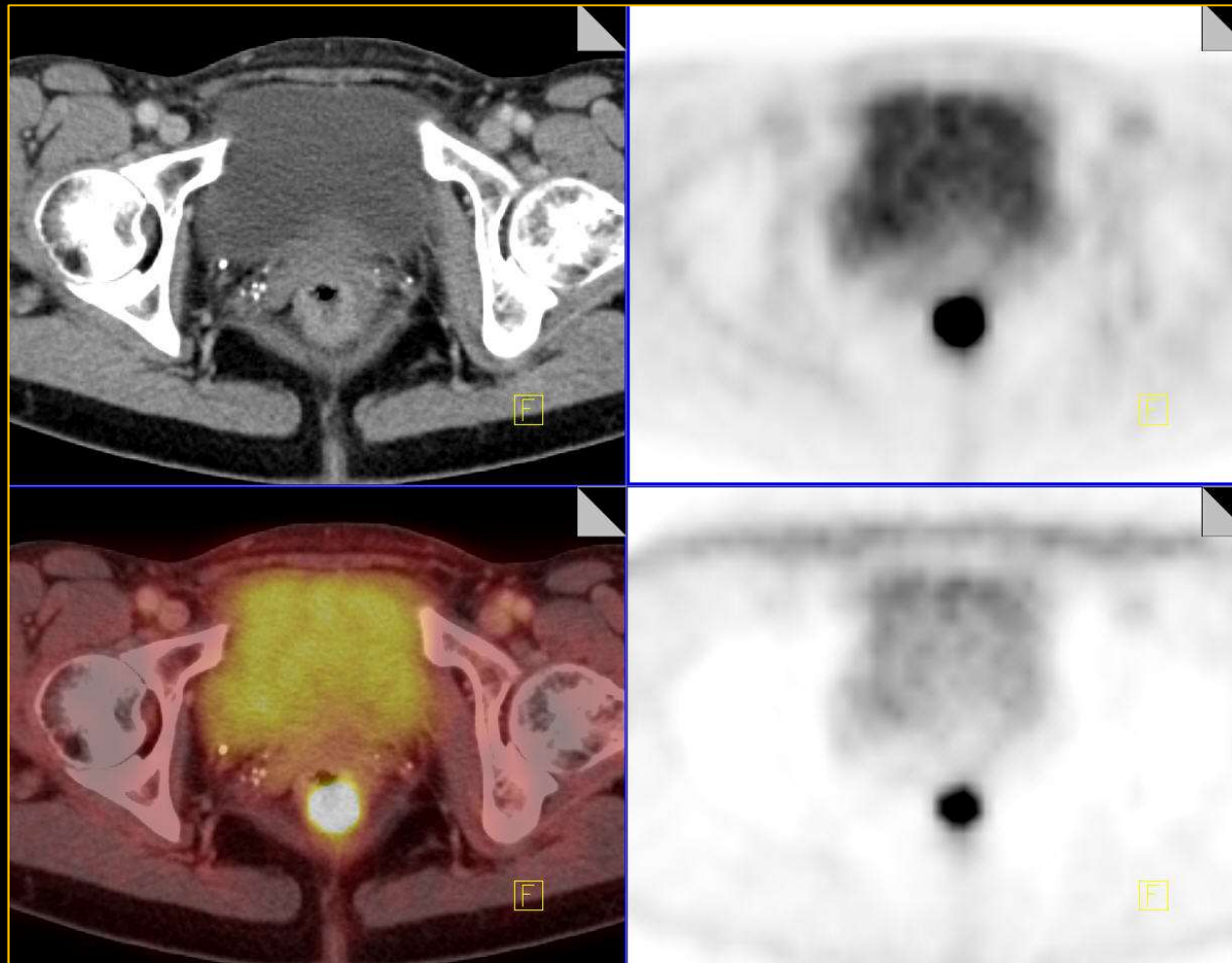
Projektionsradiographie seitlich

# Fallbeispiel: 65-jähriger Patient, Raucher

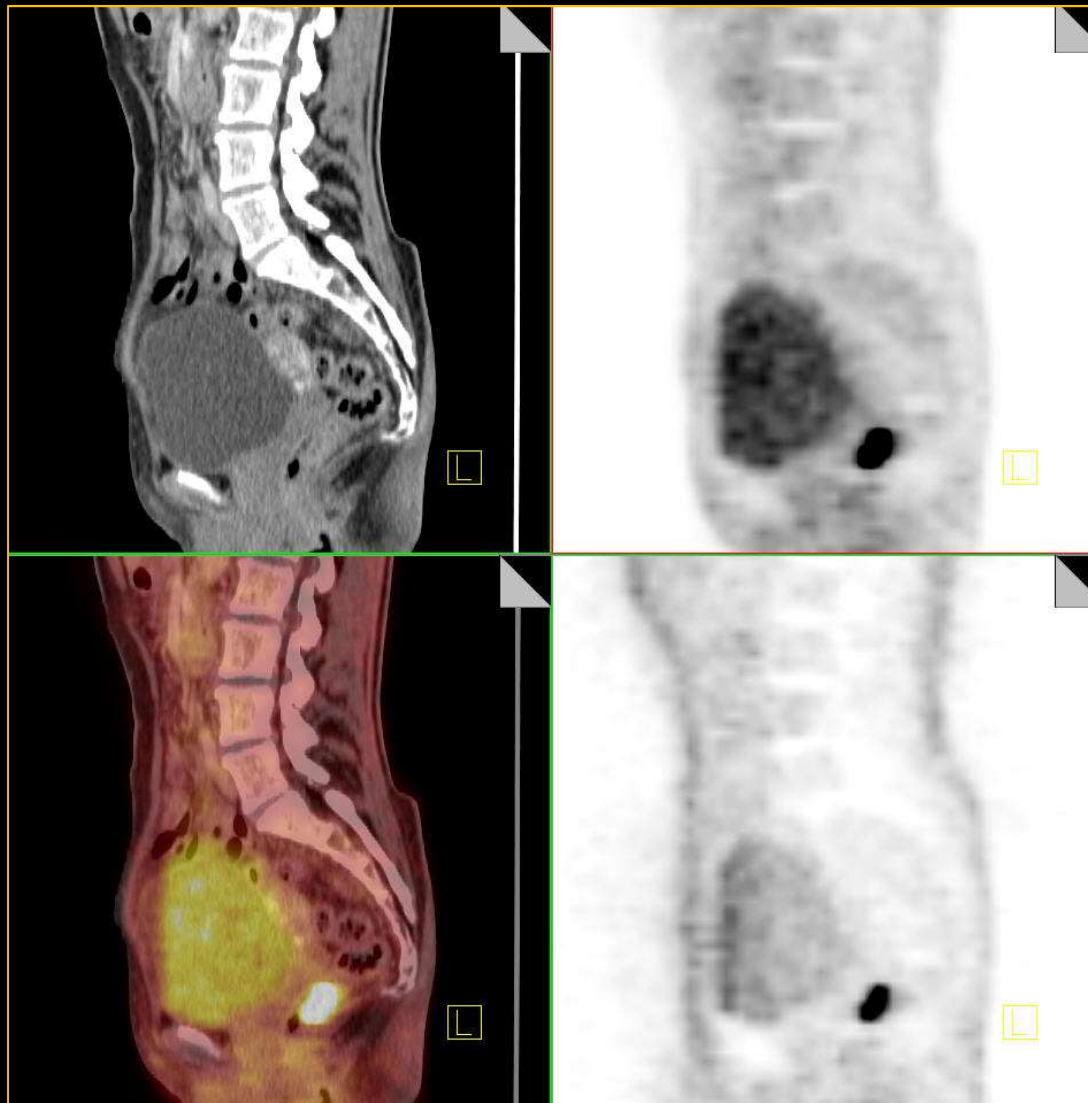


**Unklarer Lungenrundherd: Bronchialkarzinom**

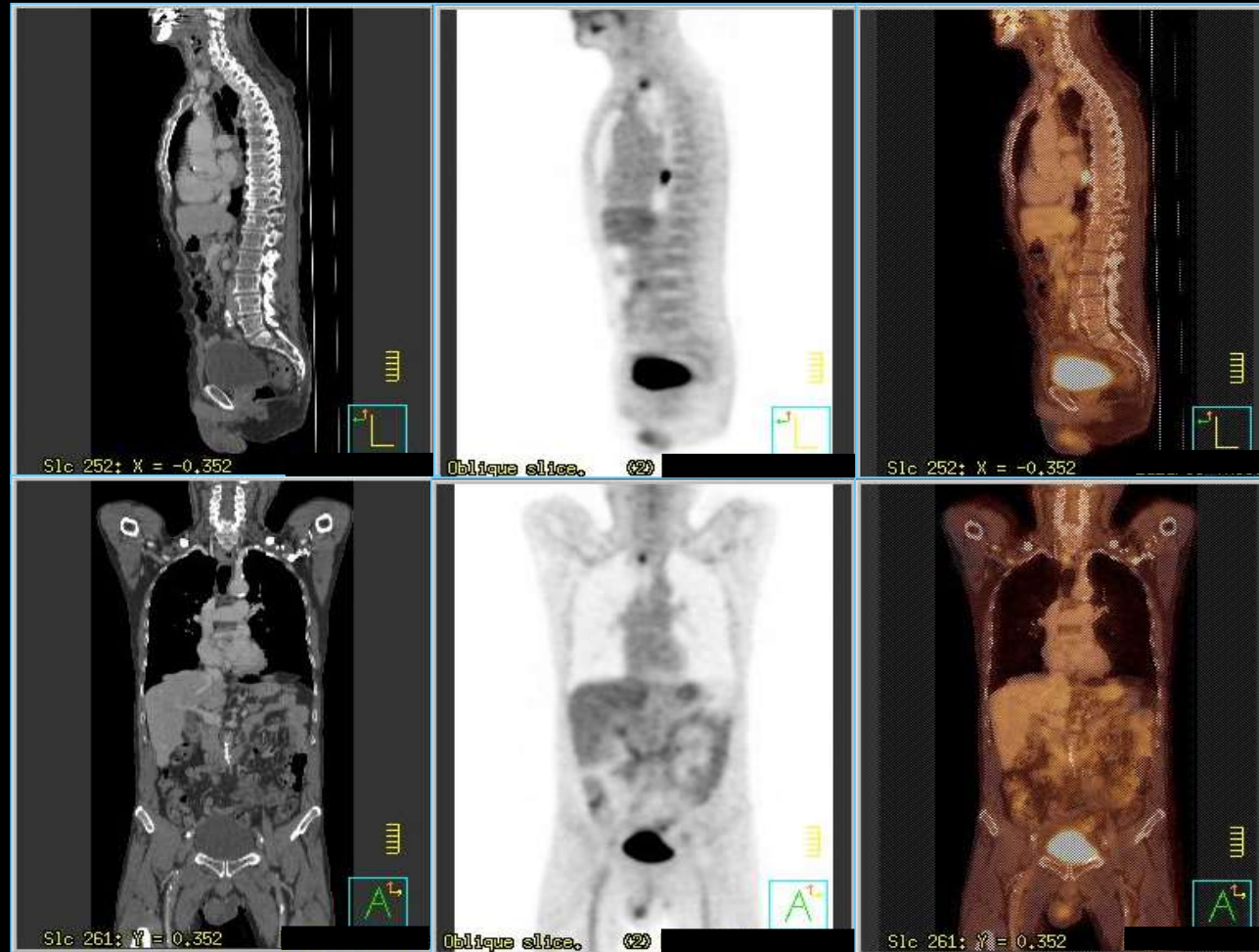
# Fallbeispiel: 60-jährige Patientin, positiver Hämokkult-Test



**Rektumkarzinom**



# Fallbeispiel: 55-jähriger Patient, unklarer Gewichtsverlust

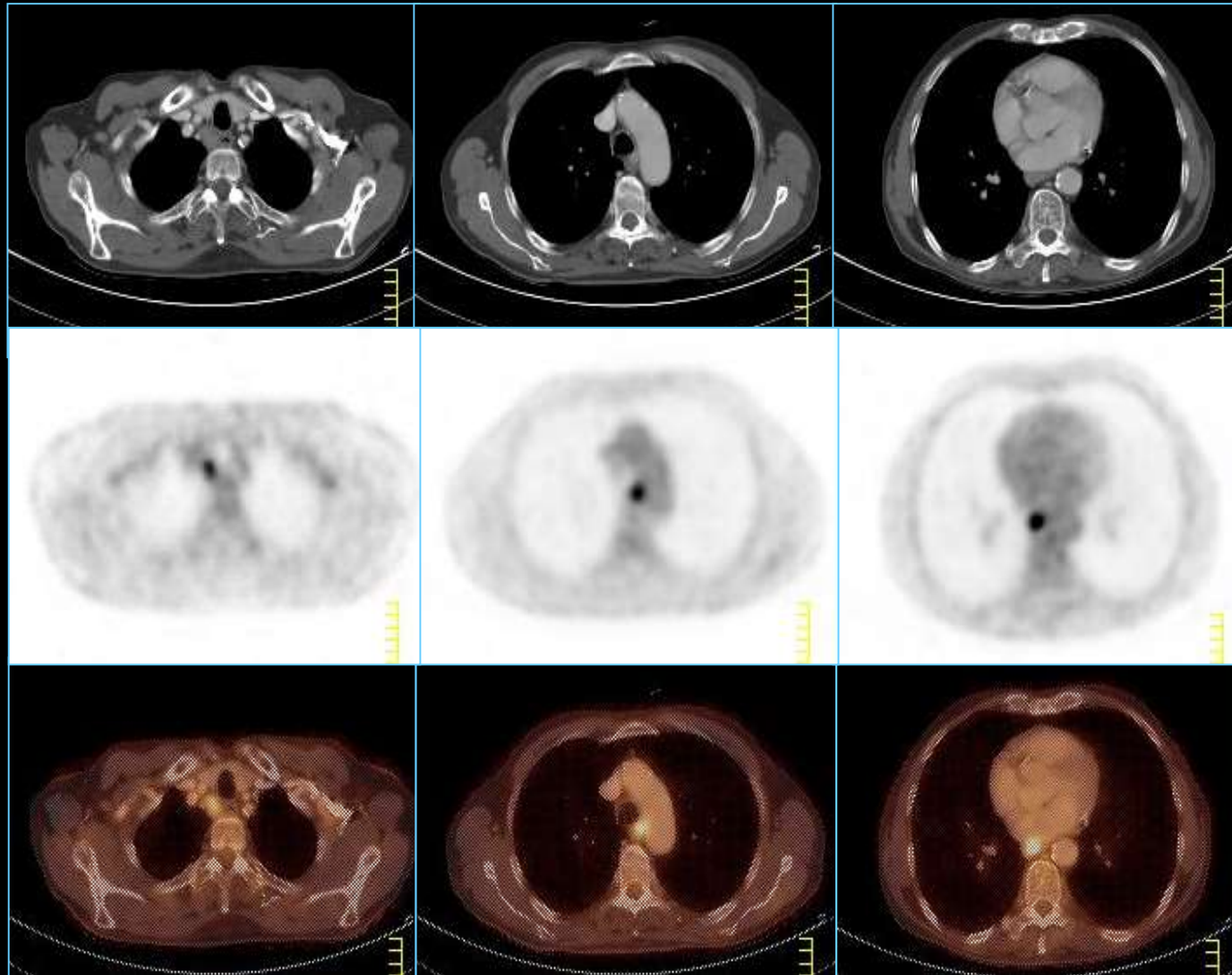


CT (Weichteilfenster)

PET

PET/CT (Fusion)

# Fallbeispiel: 55-jähriger Patient, unklarer Gewichtsverlust



CT (Weichteilfenster)

PET

PET/CT (Fusion)

**Ösophagus-Ca + LK-Metastasen**

# PET und PET/CT in der Onkologie

- ✓ Primärtumordiagnostik
  - Staging
  - Therapieplanung
  - Therapiemonitoring
  - Nachsorge: Tumormarkeranstieg

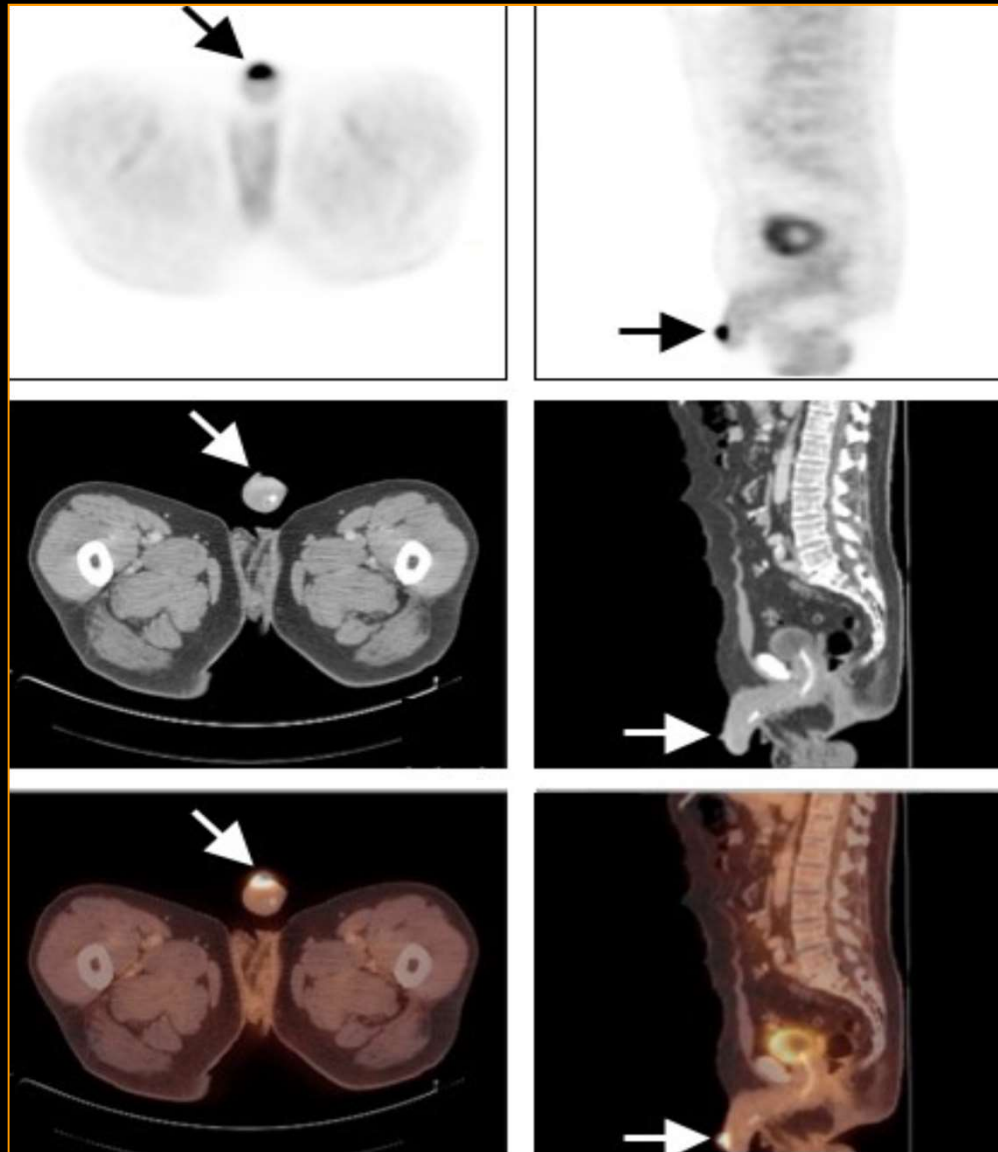
# Fallbeispiel: 40-jähriger Patient, malignes Melanom



Multiple Metastasen (LK, Leber, Skelett, Lunge)



# Fallbeispiel: 54-jähriger Patient, Peniskarzinom



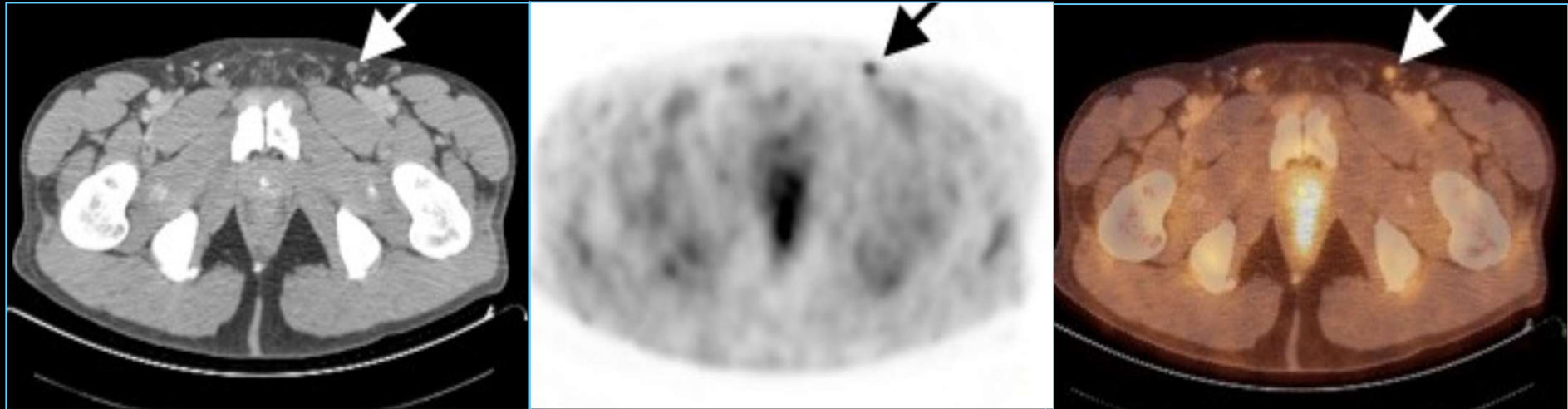
PET

CT (Weichteilfenster)

PET/CT (Fusion)

Primärtumor

# Fallbeispiel: 54-jähriger Patient, Peniskarzinom



CT (Weichteilfenster)

PET

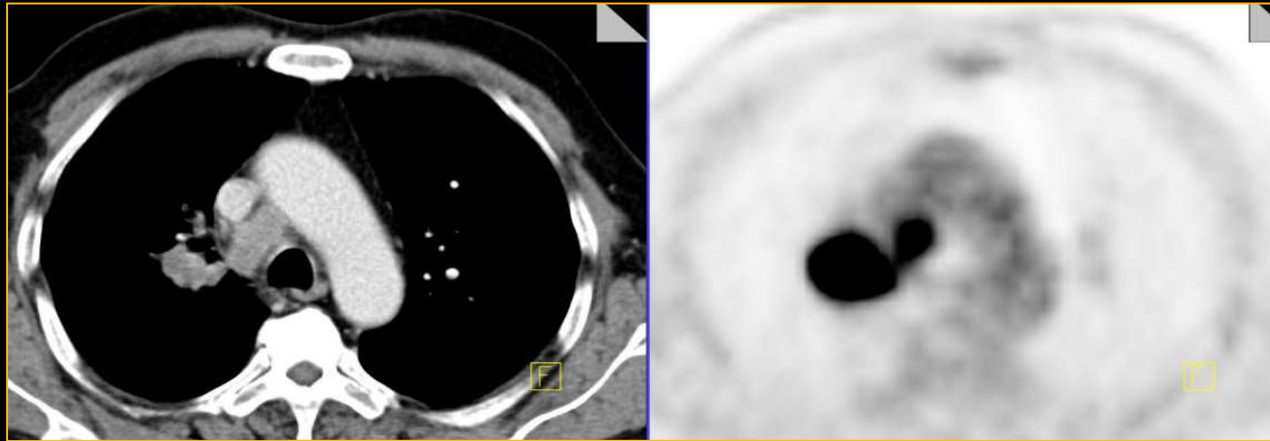
PET/CT (Fusion)

**Inguinale Lymphknotenmetastase**

# PET und PET/CT in der Onkologie

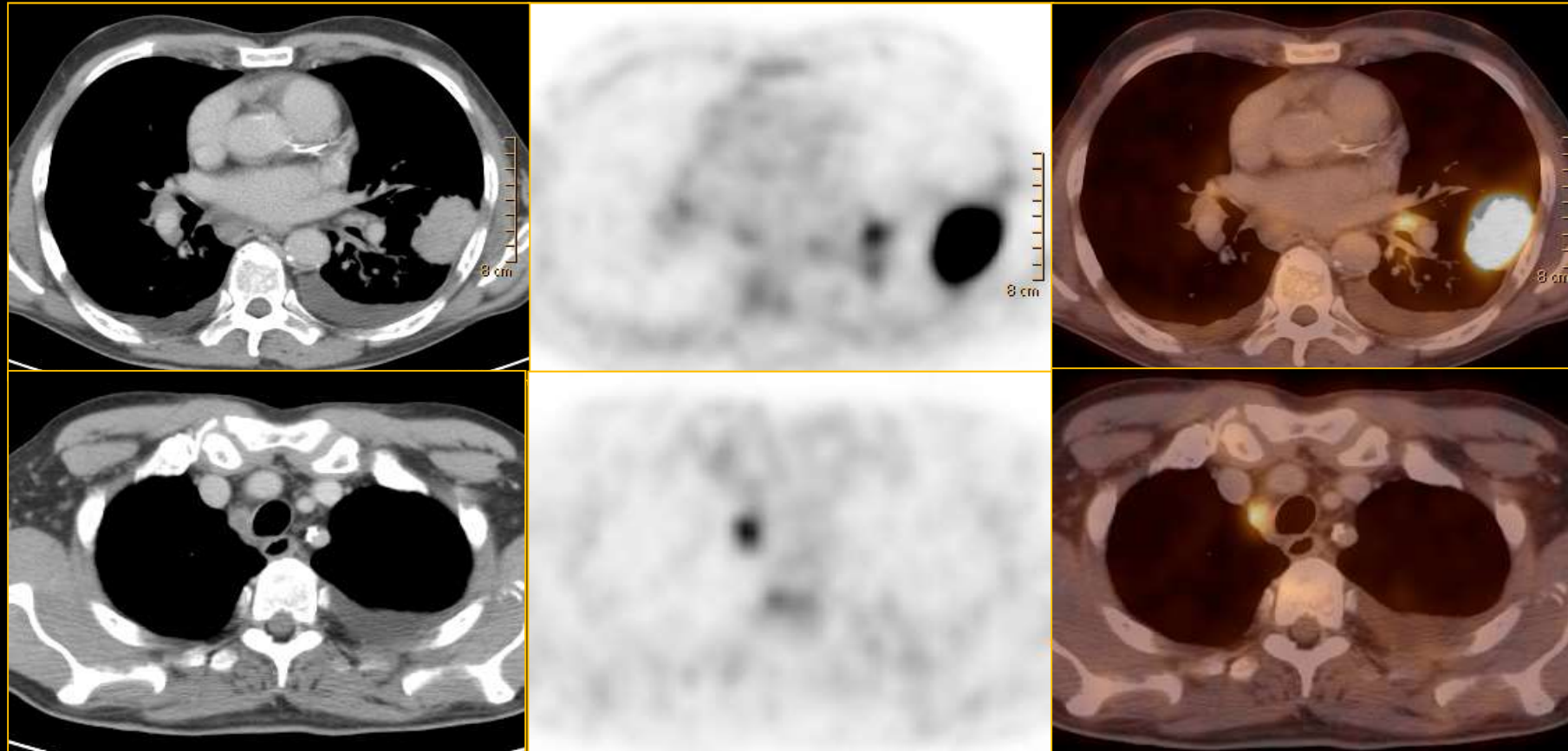
- ✓ Primärtumordiagnostik
- ✓ Staging
- Therapieplanung
- Therapiemonitoring
- Nachsorge: Tumormarkeranstieg

# Fallbeispiel: Bronchialkarzinom, operabel?



Nur ipsilaterale LK-Metastasen mediastinal >> operabel

# Fallbeispiel: Bronchialkarzinom, operabel?



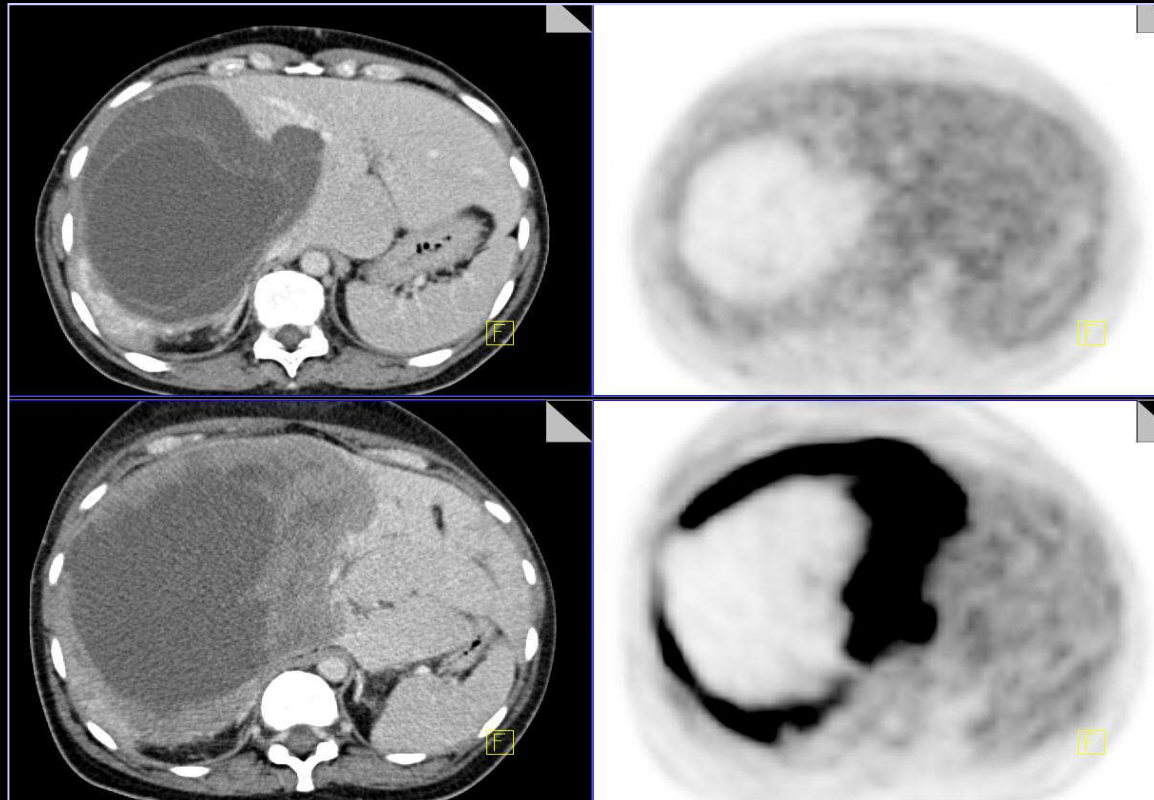
Ipsi- und kontralaterale LK-Metastasen mediastinal >> inoperabel

# PET und PET/CT in der Onkologie

- ✓ Primärtumordiagnostik
- ✓ Staging
- ✓ Therapieplanung
- Therapiemonitoring
- Nachsorge: Tumormarkeranstieg

# Therapie-Monitoring mit FDG PET: Gastrointestinaler Stromatumor (GIST)

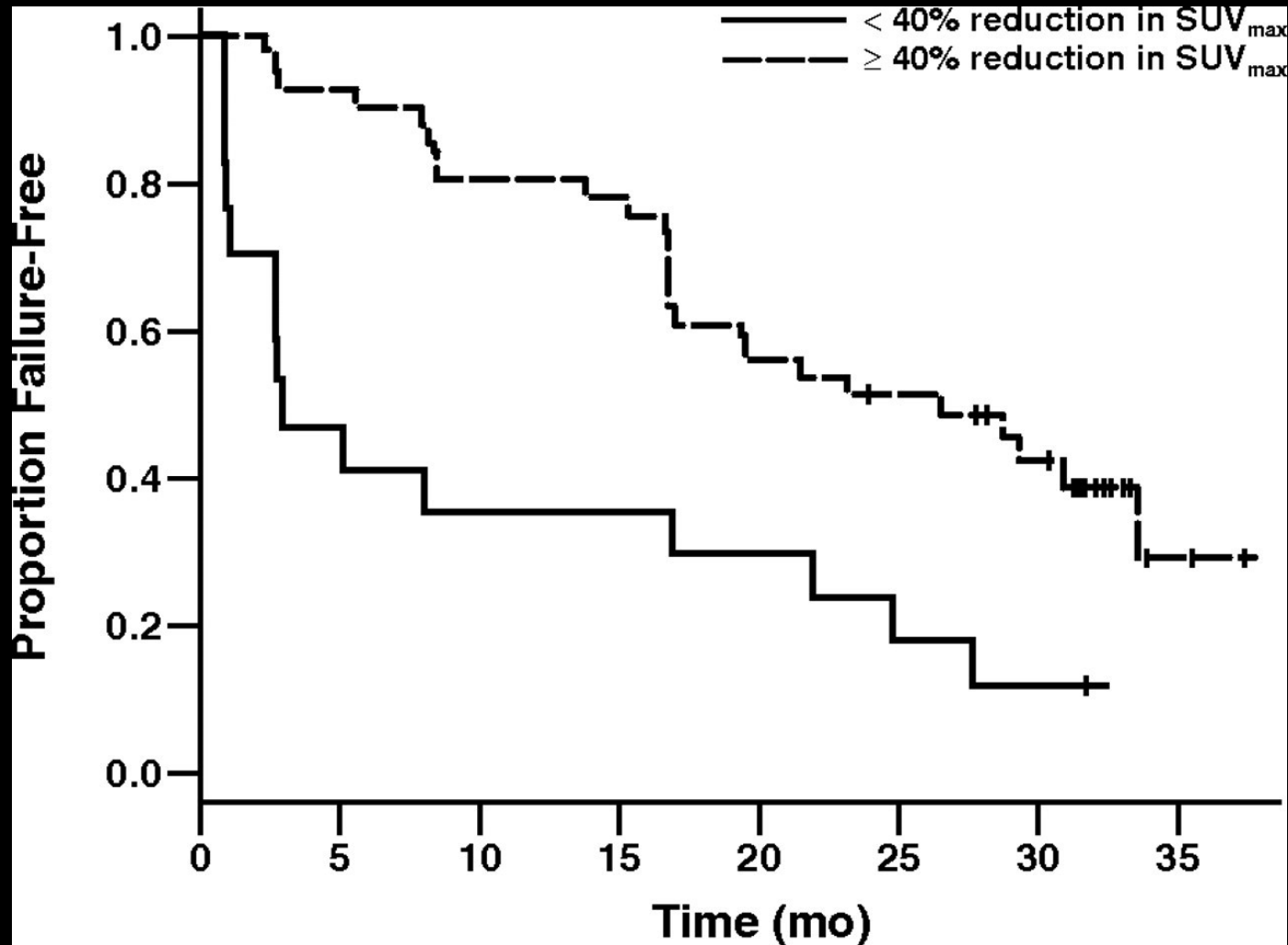
unter Therapie



vor Therapie

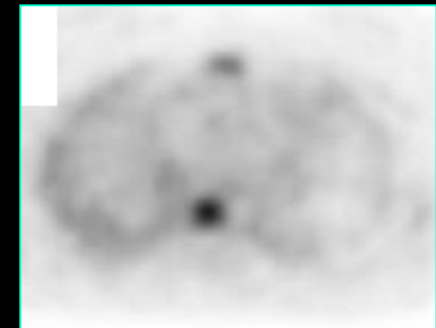
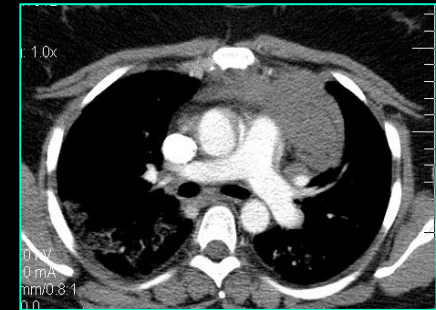
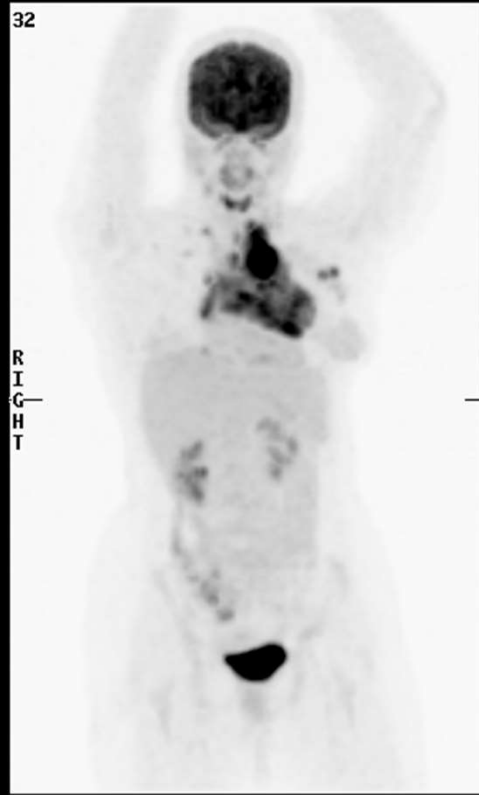
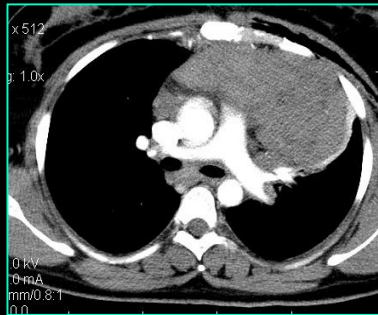
Lebertumor (GIST): Vor und 6 Wochen nach Therapiebeginn mit Imatinib

## Kaplan-Meier plots of population split (n = 58)



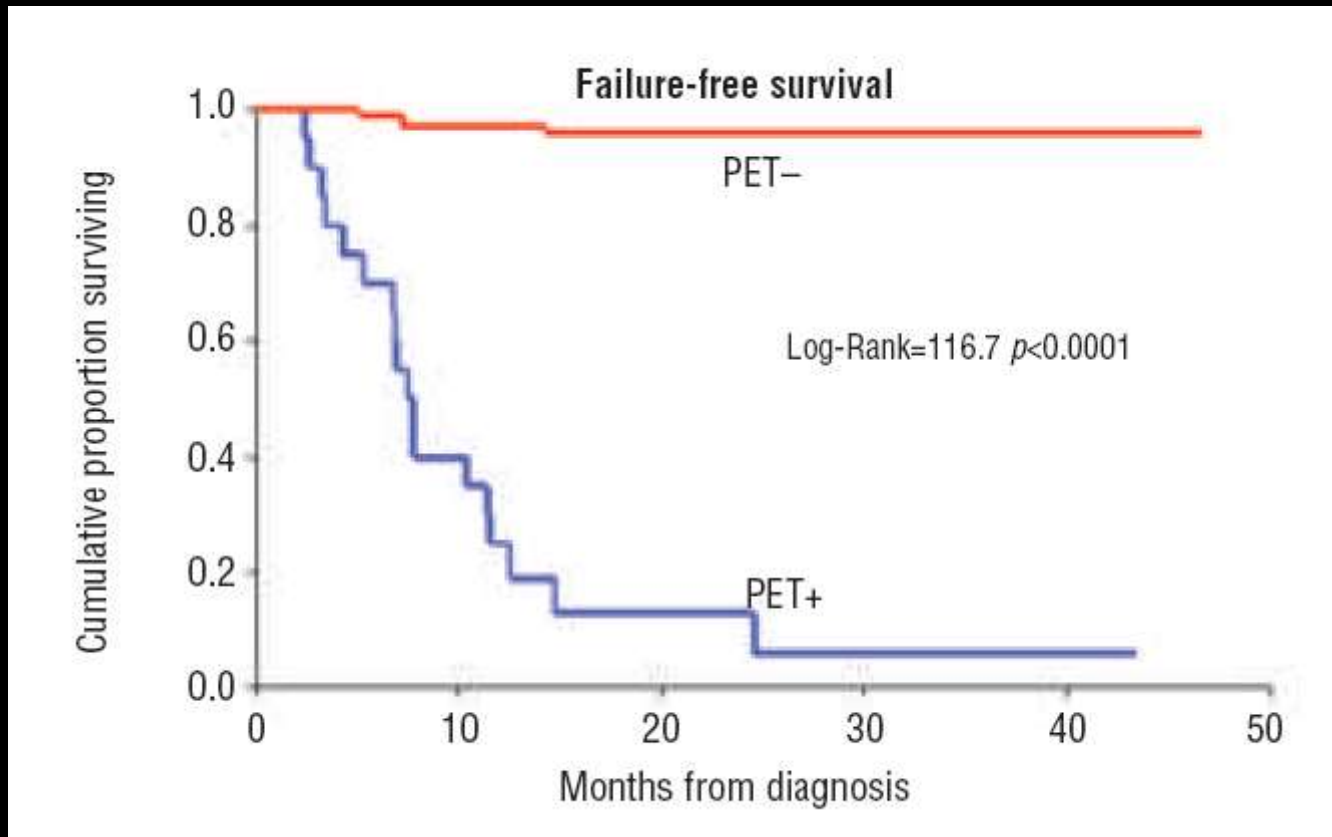


# Therapie-Monitoring mit FDG PET, Morbus Hodgkin: Kontrolle vor und nach 4 Zyklen Chemotherapie:



**KEINE Tumorvitalität des morphologisch noch vorhandenen Resttumors >>Therapiestopp!**

## Hodgkin's disease: prediction of recurrence-free survival with FDG-PET

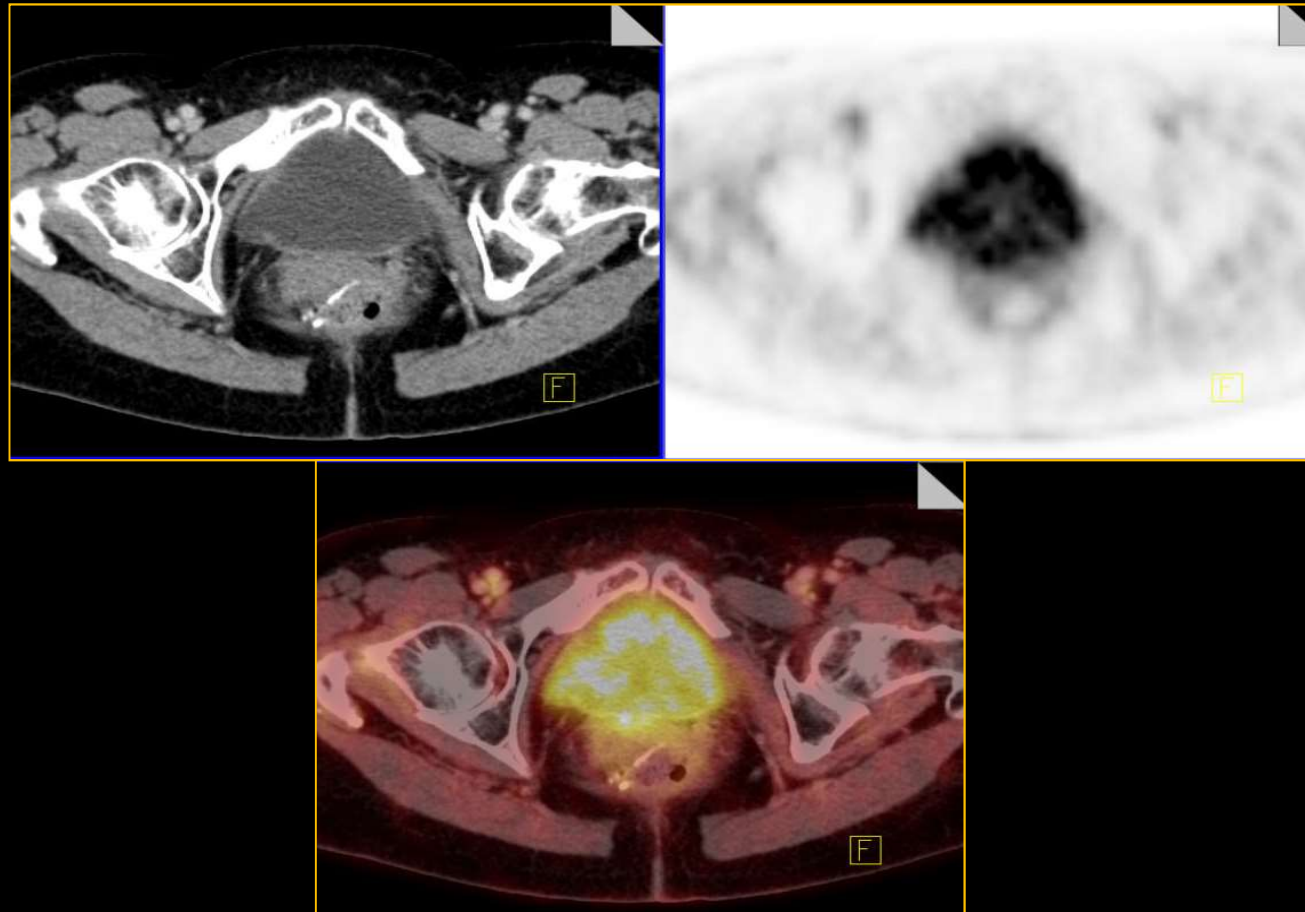


n=108  
stage IIa-IVb  
chemotherapy 6 x ABVD  
consolidation: radio therapy  
therapy control following 2. cycle

# PET und PET/CT in der Onkologie

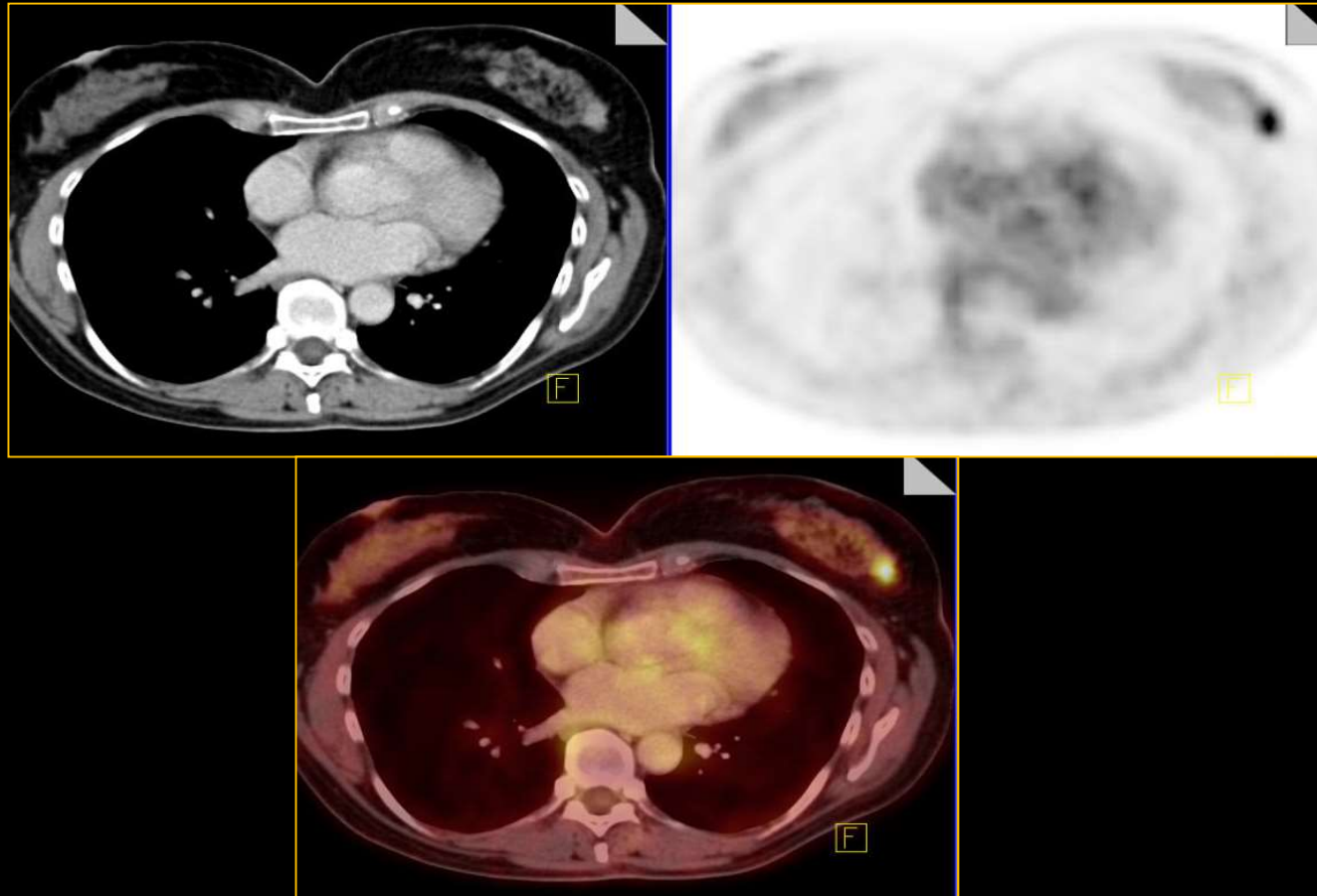
- ✓ Primärtumordiagnostik
- ✓ Staging
- ✓ Therapieplanung
- ✓ Therapiekontrolle
- Nachsorge: Tumormarkeranstieg

# Nachsorge nach Rektumkarzinom: CEA-Anstieg



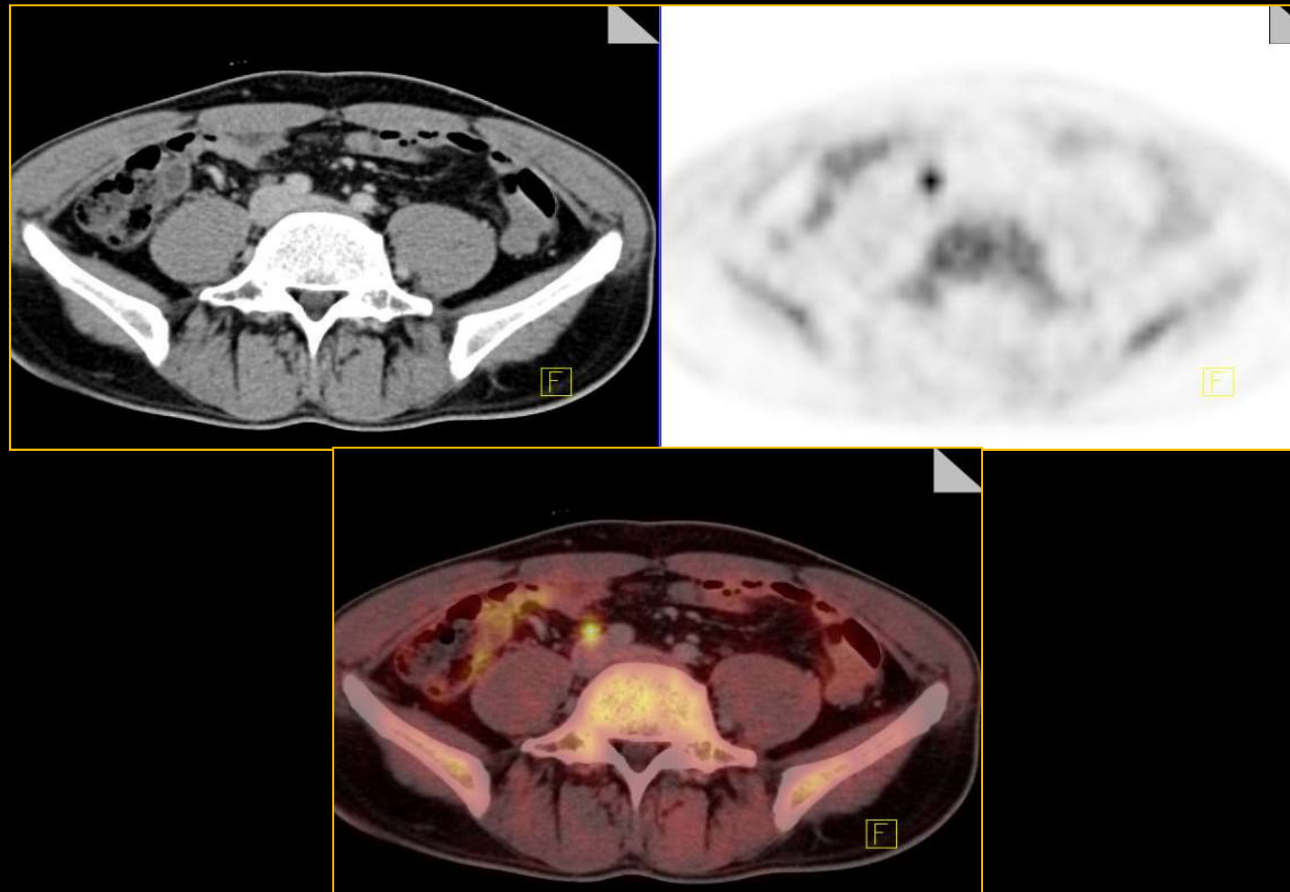
**Narbenplatte präsakral, KEIN Rezidiv**

# Nachsorge nach Rektumkarzinom: CEA-Anstieg (selbe Patientin)



**Okkultes Mammakarzinom**

# Nachsorge nach Prostatakarzinom: PSA-Anstieg



**Kleine LK-Metastase iliakal**



# Andere Tracer z.B.: Neuroendokrine Tumoren

## Darstellung von

- **Glukosemetabolismus:**
  - **FDG**
- **Aufnahme/Decarboxylierung von Vorläufern der biogenen Amine Dopamin/Serotonin**
  - **F-Dopa**
- **Somatostatinrezeptorbesatz**
  - **[<sup>68</sup>Ga]DOTA-TATE**

## Indikationen

- **Lokalisation von gut bis mittelgradig (Proliferationsindex Ki-67 bis 20%) differenzierten NET und deren Metastasen (Tumorsuche/Staging)**
- **Rezidivdiagnostik bei ansteigenden Tumormarkern und Therapie-monitoring**
- **Indikationsstellung und Therapie-kontrolle einer Somatostatin-Rezeptor-vermittelten Radiopeptid-therapie**



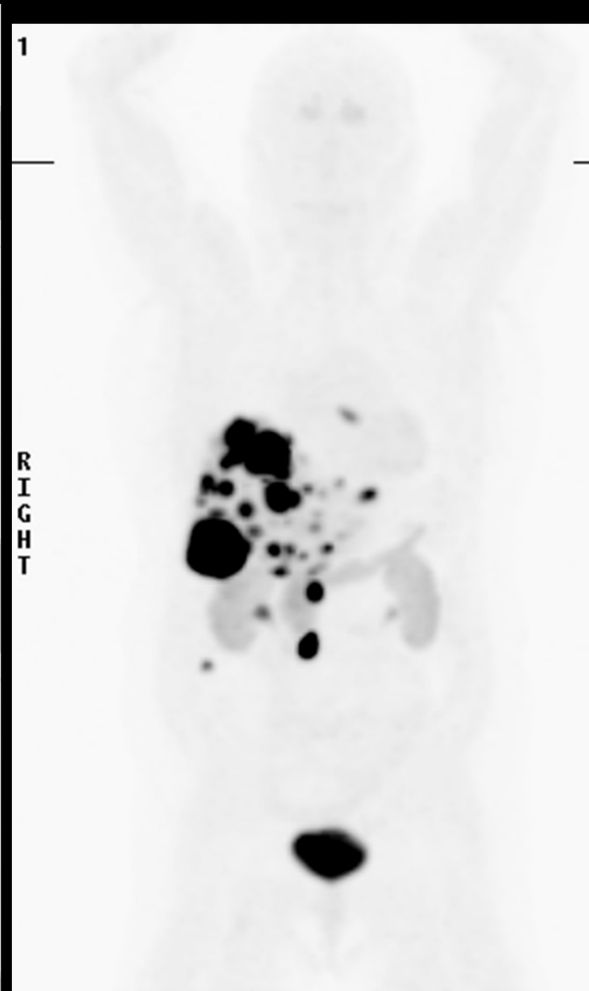
# PET/CT bei NET

Welches Radiopharmakon?

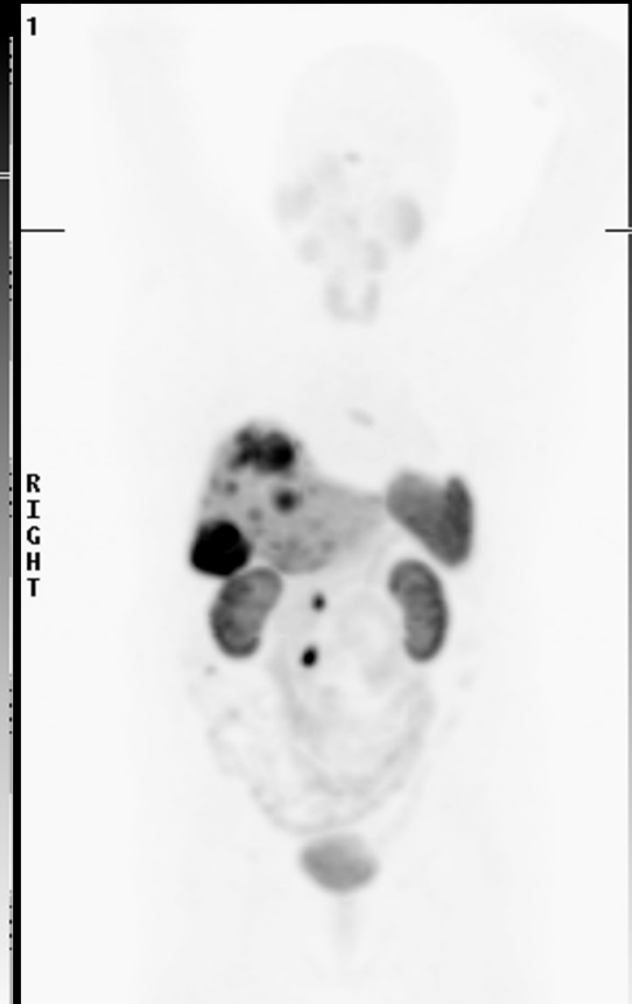
## FDG



## F-Dopa



## DOTATATE

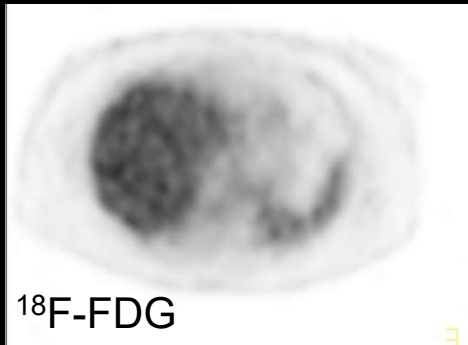


55 j. Patientin Karzinoid mit Leberfiliae, Prä-SIRT

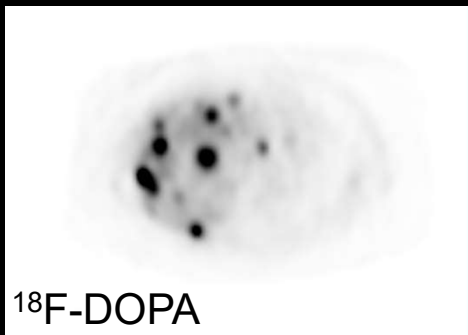
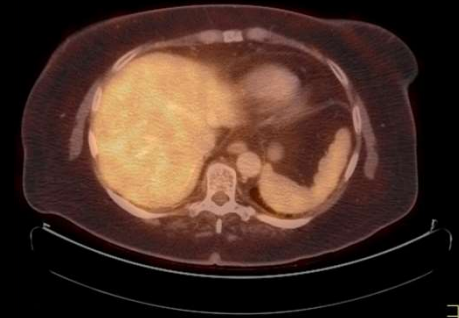
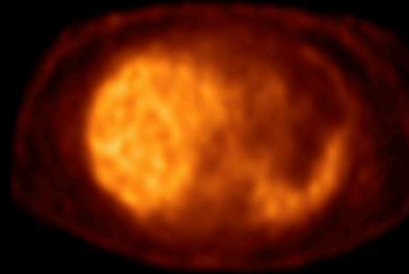
DOTA-TATE Therapie

# PET/CT bei NET

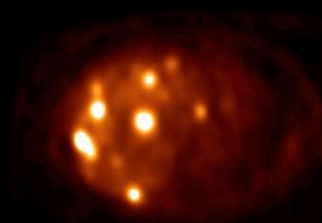
Welches Radiopharmakon?



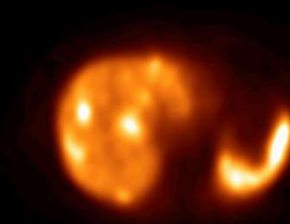
$^{18}\text{F}$ -FDG



$^{18}\text{F}$ -DOPA



$^{68}\text{Ga}$ -DOTA-TATE

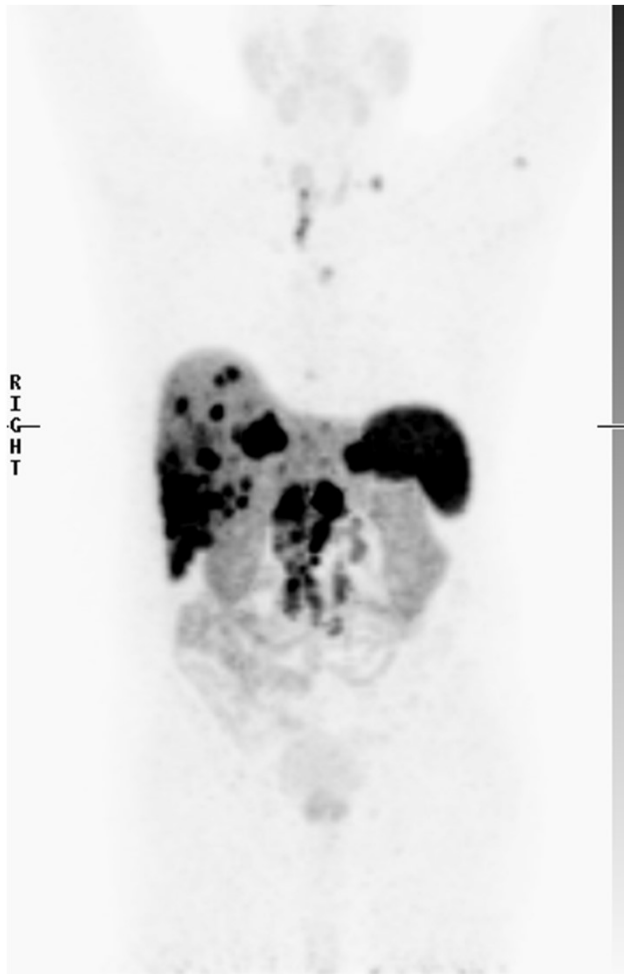


CT (Weichteilfenster)

PET

PET/CT (Fusion)

## 60-jähriger Patient mit NET des Pankreas



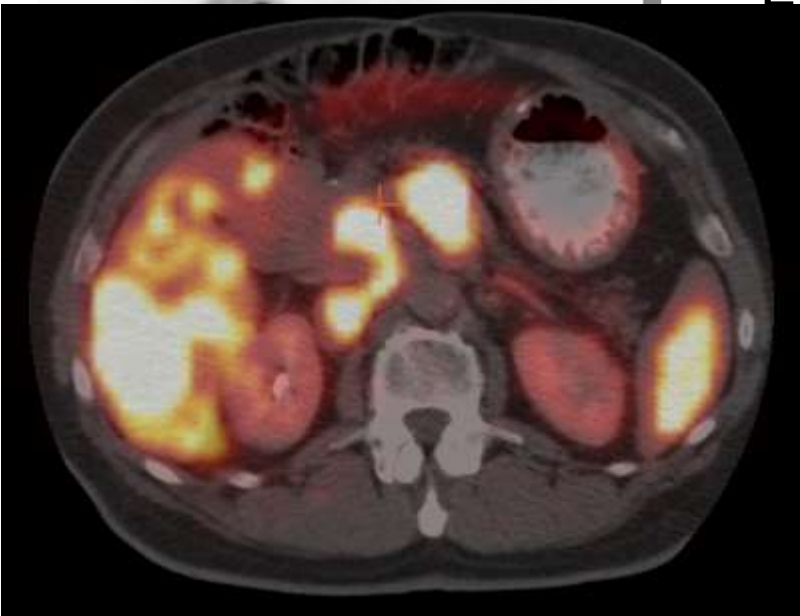
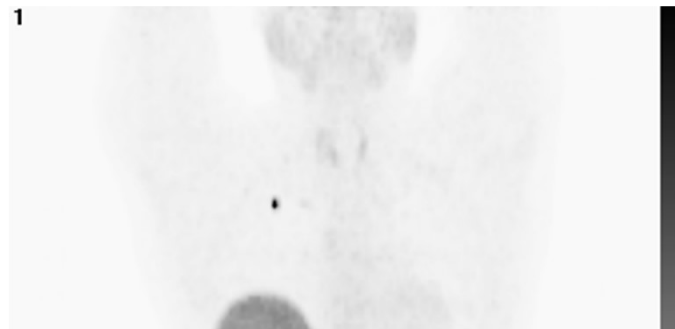
Z.n. 2 x Therapie  
mit je 7400 MBq  
 $^{177}\text{Lu}$ -DOTATATE



# 60-jähriger Patient mit NET des Pankreas

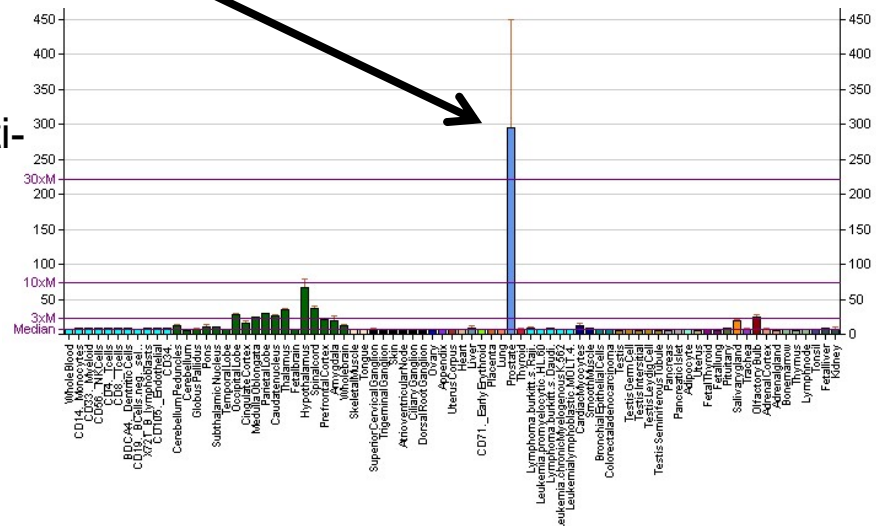


Z.n. 2 x Therapie  
mit je 7400 MBq  
<sup>177</sup>Lu-DOTATATE



# Glutamate Carboxypeptidase II (Prostate specific membrane antigen, PSMA) als Zielstruktur beim Prostatakarzinom

- Glutamate Carboxypeptidase II (GCP-II) / Folate hydrolase (FOLH1):
  - Hydrolyse mit Endprodukten: N-Acetylaspartat und Glutamat
- Expressionsprofil
  - Expression in gesunder Prostata 30-40x erhöht
  - Expression im Prostata-Ca weitere 8-12x erhöht
  - Expression korreliert pos. mit TTP und TTR\*
  - In den USA zugelassene Szintigraphie mit anti-PSMA Antikörper (J591, Prostascint™)



\*Clin Cancer Res. 2003 Dec 15;9(17):6357-62.  
 Correlation of primary tumor prostate-specific membrane antigen expression with disease recurrence in prostate cancer.  
 Ross JS, Sheehan CE, Fisher HA, Kaufman RP Jr, Kaur P, Gray K, Webb I, Gray GS, Kallakury BV.

# 62-jähriger Patient, CRPC, PSA 412 ng/ml

ventral

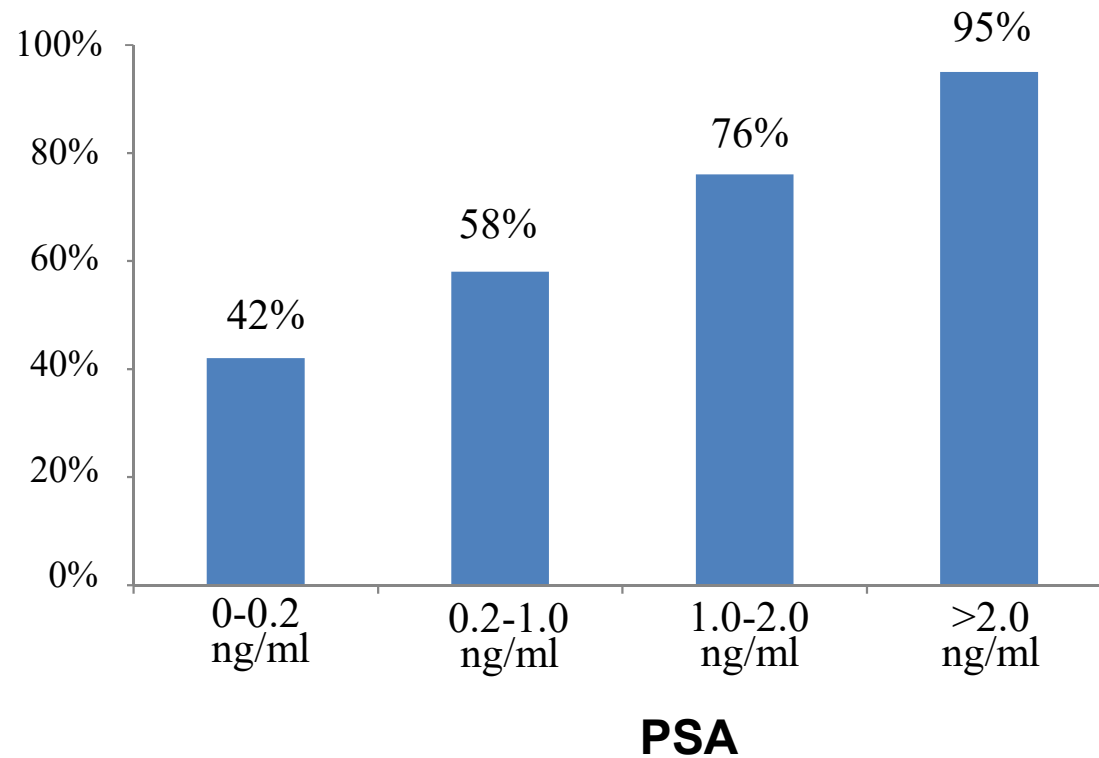
dorsal

DPD Szintigraphie    PSMA PET/CT

DPD Szintigraphie    PSMA PET/CT



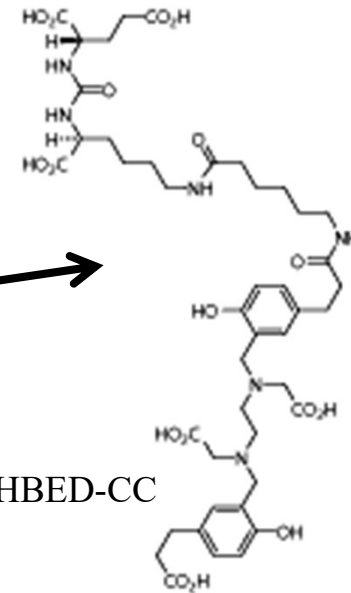
# Biochemisches Rezidiv bei Prostata-Karzinom <sup>68</sup>GA-PSMA-PET-CT



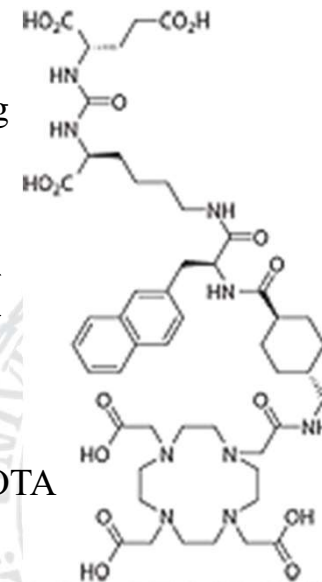
# Theranostik mit PSMA Liganden

- **Eine Zielstruktur – mehrere Radionuklide**  
zur Therapie und Diagnostik
- $^{68}\text{Ga}$ -HBED-CC-PSMA:  
Positronen Emission ( $\lambda$  68 min)
- $^{90}\text{Y}$ -DKFZ-PSMA-617:  
Beta Emission ( $\lambda$  2.7d, 2280 keV)
- $^{177}\text{Lu}$ -DKFZ-PSMA-617:  
Beta Emission ( $\lambda$  6.7d, 490 keV)  
Gamma Emission (3%: 113 keV, 11%: 210 keV)

PSMA  
binding  
motif



PSMA  
binding  
motif





# Patientenbeispiel 1; 77 j

## Theranostik mit $^{68}\text{Ga}$ -/ $^{177}\text{Lu}$ -PSMA Liganden



Vor PSMA-Therapie 08/15

PSA : 453 ng/ml



nach 2 Zyklen Lu- PSMA 02/16

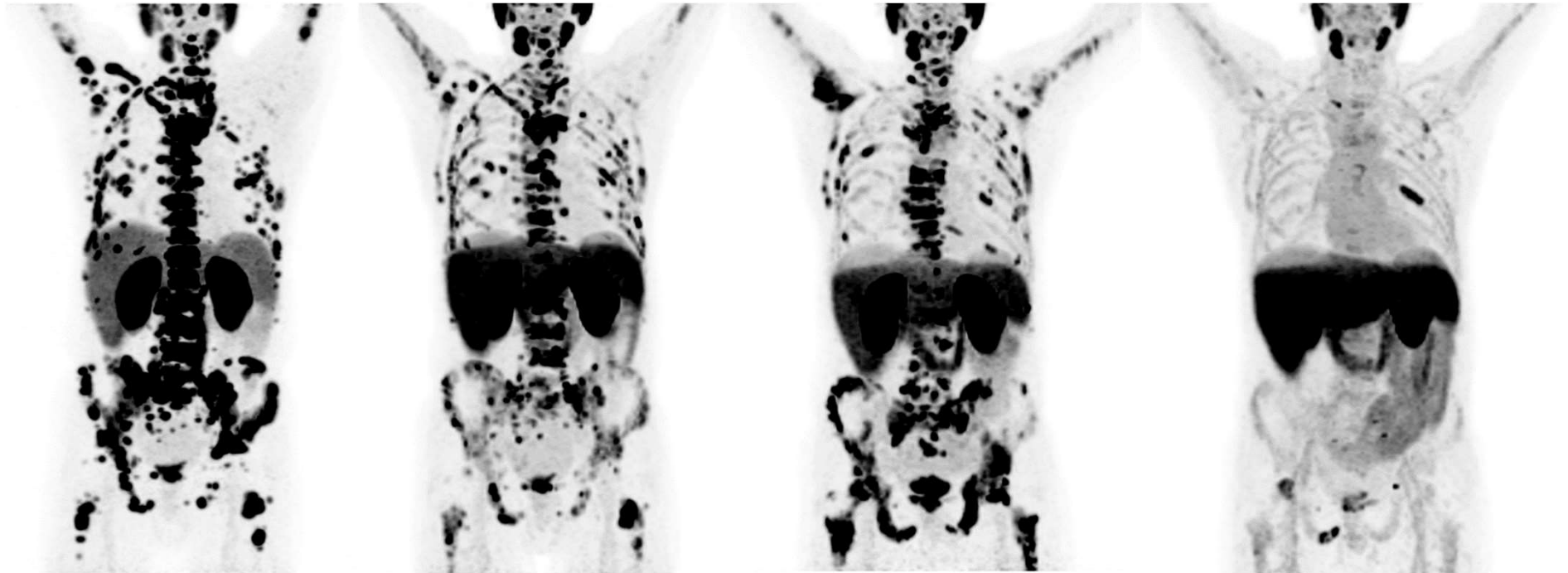
PSA : 1,77 ng/ml



Nach 4 Zyklen Lu-PSMA 07/16

PSA : 0,85 ng/ml

## PATIENTENBEISPIEL 2; 72 J



PSMA PET 03/18  
PSA 2000 ng/ml

PSMA PET 08/18  
PSA 50 ng/ml

PSMA PET 01/19  
PSA 178 ng/ml

PSMA PET 05/19  
PSA 13,6 ng/ml

➔  
2x <sup>177</sup>Lu-PSMA  
Therapie

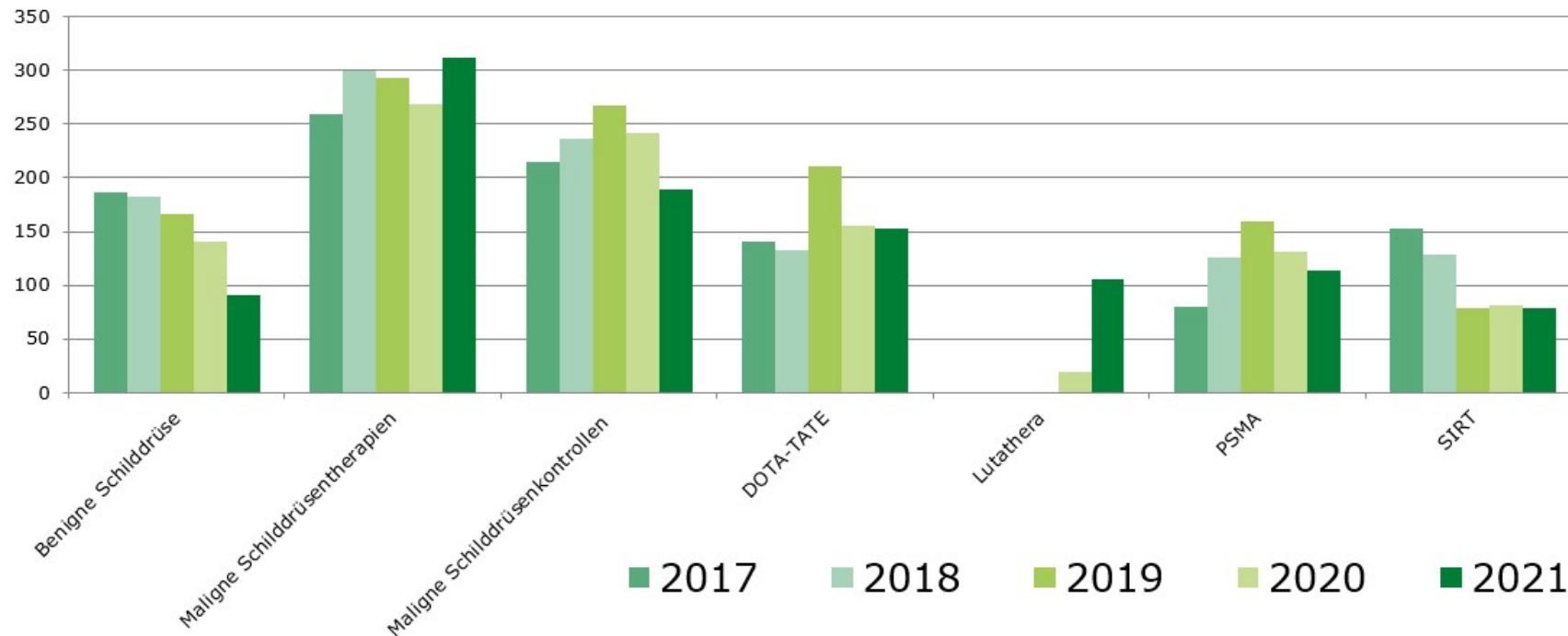
➔  
2x <sup>177</sup>Lu-PSMA  
Therapie

➔  
2x <sup>225</sup>Ac-PSMA  
Therapie

Jährlich > 1000 Therapien

## Endoradiotherapien Nach Indikation

➤ weitere Steigerung bei den Lutathera<sup>®</sup> Therapien, Kapazitäten für PSMA-Therapien begrenzt



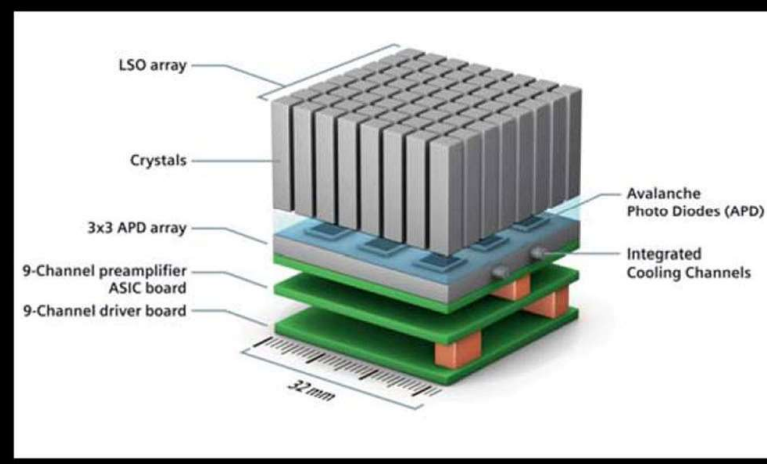
Auslastung der Abklinganlage >90 %



## Zusammenfassung: Vorteile PET/CT

- Eine Anmeldung, eine Untersuchung, ein Befund, eine Rückfrage, eine Befunddemonstration
- Zeitersparnis für Patient und befundende Ärzte
- Verkürzung der Liegedauer (>> DRG)
- Der Kliniker versteht den Vorteil der multimodalen Bilddiagnostik
- **Verbesserung von Sensitivität und Spezifität in der onkologischen Diagnostik**

# Ganzkörper MR/PET



(Siemens Biograph mMR)

seit 11/2010 am Klinikum rechts der Isar der Technischen Universität München

# PET-MR versus PET/CT bei Halslymphom

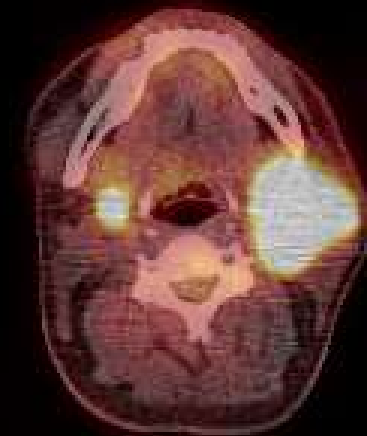
**A) Konventionelles PET/CT:** **FDG-PET (Metabolismus)**



**CT (low dose)**



**Fusion FDG-PET & CT**

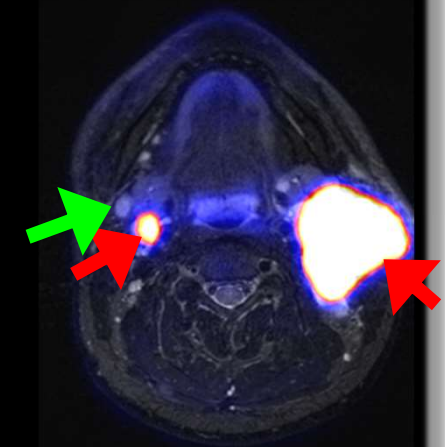
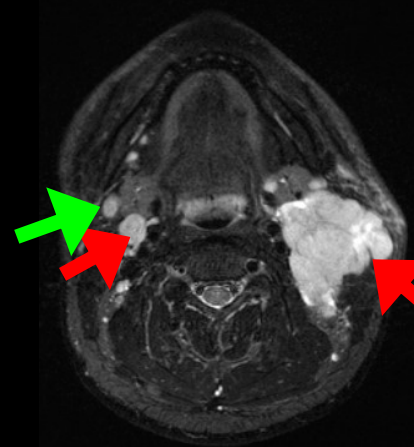
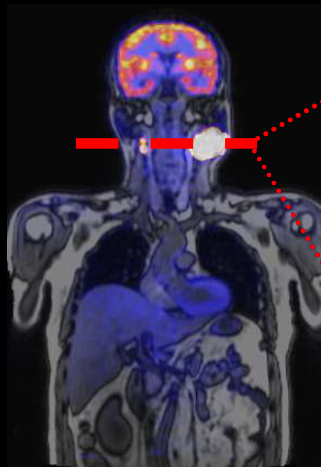


**B) PET-MR:**

**FDG-PET (Metabolismus)**

**MRI (Struktur)**

**Fusion FDG-PET & MR**



# Neuentwicklung: Ganzkörper PET/CT



- Sensitivitätserhöhung um Faktor 40
  - Ganzkörperaufnahme in 20-30 sec bei Standardaktivität (statt 20 min)

oder

- Dosisreduktion auf 5 MBq FDG bei 20 min Akquisition (statt 200 MBq)
  
- Ganz neue Forschungsfelder:
  - Ganzkörperpharmakokinetik
  - Beurteilung von Organinteraktionen bzw -netzwerken
  - Quantitative Systemanalysen (Modelling)
  - Tracking von therapeutischen Zellpräparaten
  - Minimaldosis-Untersuchungen

<https://medicalxpress.com/news/2018-11-human-images-world-total-body-scanner.html>



Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit!



---

KLINIKUM DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN®

KLINIK UND POLIKLINIK FÜR  
NUKLEARMEDIZIN