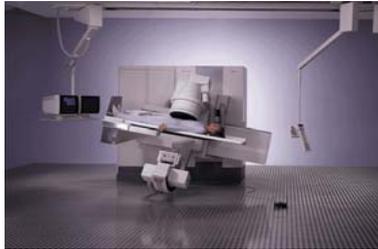


## Nuklearmedizin



### Notwendige Kenntnisse

Biophysik für Mediziner:  
II/3.2.4, II/3.2.6  
VIII/3.2, VIII/4.4

Praktikumsbuch Biophysik:  
Isotopendiagnostik

Rechenaufgaben:  
1. Woche 37, 38

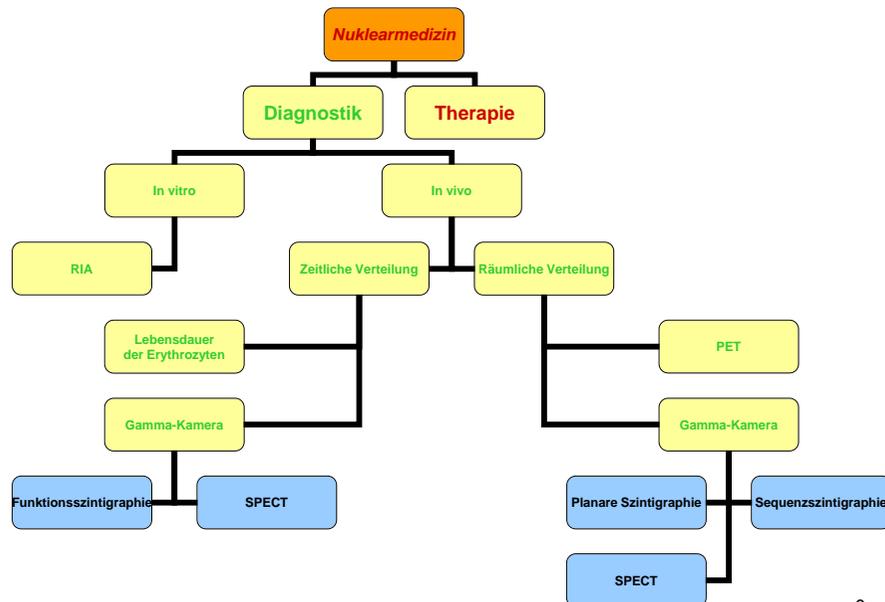
1

## Nuklearmedizin



Als **Nuklearmedizin** bezeichnet man die Anwendung von offenen radioaktiven Stoffen in medizinischer Diagnostik, Therapie und Wissenschaft.

2



3

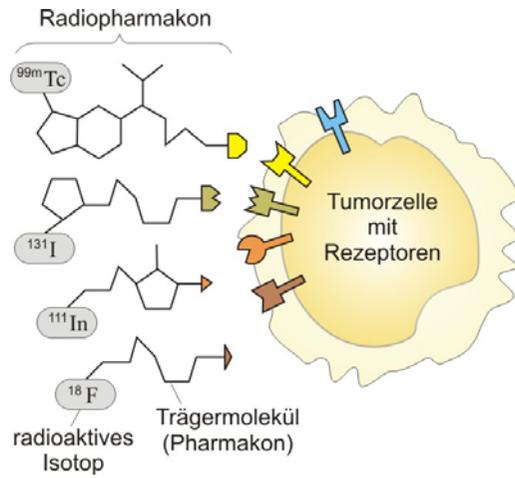
## Radiopharmaka

Radiopharmaka sind pharmakologisch wirksame Substanzen, die mit einer geringen Menge eines kurzlebigen radioaktiven Nuklids (radioaktives Isotop) markiert sind.

Tracer-Prinzip: Die Radiopharmaka folgen im Körper dem durch das Pharmakon vorgegebenen Weg und erlauben durch das strahlende Label eine Verfolgung von außen (bei Gamma-strahlenden Nukliden) oder eine gezielte therapeutische Wirkung am Zielort (bei Beta- oder Alpha-strahlendem Isotop).

4

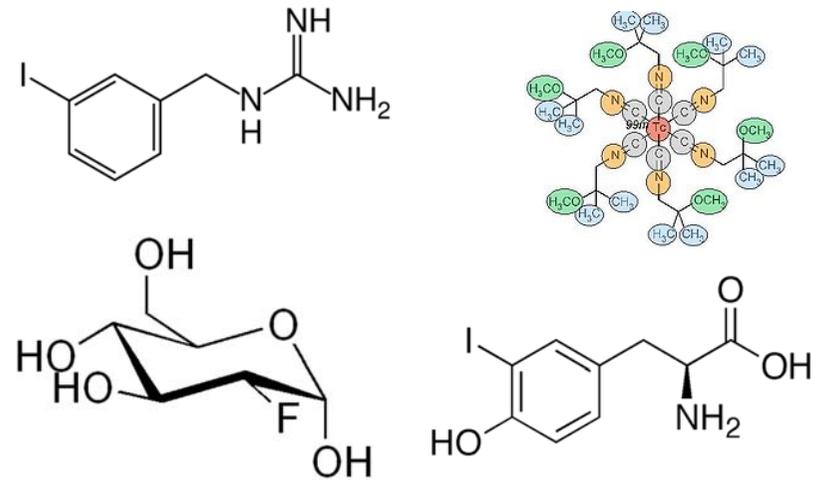
## Radiopharmaka



Das strahlende Isotop wird an ein Pharmakon gebunden, das Radiopharmakon koppelt sich dann an die Zielzelle

5

## Radiopharmaka



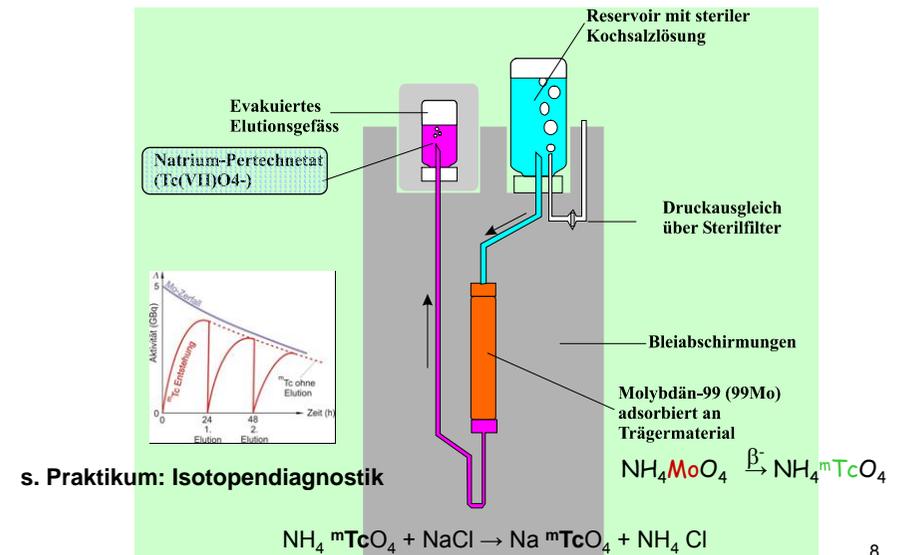
6

## Beispiele für Anwendung von Radiopharmaka

- $^{133}\text{Xe}$  — Untersuchung der Lungenventilation
- $^{123}\text{I}$  — Schilddrüsenszintigraphie (Natriumjodid), Tumorszintigraphie (markiertes Meta-iodo-benzylguanidin, MIBG)
- $^{131}\text{I}$  — Schilddrüsenszintigraphie (Natriumjodid)
- $^{99\text{m}}\text{Tc}$  — Herzmuskelperfusion (markiertes Methoxy-isobutyl-isonitrid, MIBI), Hirnperfusion, Entzündungsprozesse (markiertes Hexamethylen-propylamin-oxim, HMPAO)

7

## Technetium Generator



8

**George de Hevesy** (geboren *György Hevesy*)

(\* 1. August 1885 in Budapest;  
† 5. Juli 1966 in Freiburg im Breisgau).



Er ist einer der **Begründer der Radiochemie** und **Erfinder der Tracermethode**.

Im 1943 wurde ihm der **Nobelpreis für Chemie** verliehen.

9

## Nuklearmedizin

1. In vitro Laboruntersuchungen
2. Volumenbestimmung von Körperräumen
3. Bestimmung der Isotopenverteilung
4. Tomographische Verfahren

10

## Nuklearmedizin

### 1. In vitro Laboruntersuchungen

RIA: Radioimmunoassay

R. Yalow - 1977, Nobelpreis für Medizin und Physiologie

Anwendung von radioaktiv markierten Substanzen/Liganden  
radioaktiv markiertes Antigen

RIA-Test: Der Test basiert auf einer Kompetitionsreaktion zwischen dem radioaktiv markierten und dem unmarkierten Antigen um den Antikörper

•sehr genaue bestimmung der Konzentration von z.B. Hormonen, Enzymen, Tumorantigenen, Infektionsantigenen, Arzneimitteln und DNA

•heute: statt Radioaktivität, sind Fluoreszenzmethoden oft benützt.

keine Strahlenbelastung

11

## Nuklearmedizin

### 2. Volumenbestimmung von Körperräumen

- das Gesamtvolumen des Wassers
- das Blutplasmavolumen
- die Menge der austauschbaren Natriumionen

- die mittlere Lebensdauer der Erythrozyten
- die Kinetik der Eisen- und Kalziumaufnahme

12

## Nuklearmedizin

### 3. Bestimmung der Isotopenverteilung

- Feststellung der Form, Größe, metabolischen Aktivität von Organen
- zweidimensionale Projektion der Anreicherung der Isotope in einzelnen Organen, Zellräumen, Kompartiments

Zeitliche Verlauf der Aktivität auch

13

## Nuklearmedizin

### 4. Tomographische Verfahren

- räumliche, dreidimensionale Verteilung der Radioisotope
  - SPECT (single photon emission computed tomography)
  - PET (positron emission tomography)

14

Physikalische Aspekte bei der Auswahl von in vivo applizierten Isotopen

**! Schutz des Patienten vor den Strahlungsschädigungen !**

- Überlegungen hauptsächlich in der Diagnostik
- In der Strahlentherapie:  
Schutz der übrigen Körperteile

15

### **Anforderung gegenüber Isotopen für Isotopendiagnostik**

- ✓ Zielsetzung: Heilen!
  - ✓ Diagnostik dient nur den Ärzten zu helfen
  - ✓ Die Aufgabe ist die durch die Isotopendiagnostik verursachten Strahlenschädigungen zu minimalisieren.
- 
- Anforderung I.: minimale Strahlenschädigung
  - Anforderung II.: entsprechend der Anf.I., Anwendung  $\gamma$ -strahlender Isotope ist erwünscht.
  - Anforderung III.: Benutzung von Isotopen kürzerer Halbwertszeit
  - Anforderung IV.: Unterschiede in Hinsicht biologischer/biochemischer Prozesse zu minimalisieren

16

## Physikalische Aspekte bei der Auswahl von in vivo applizierten Isotopen

### 1. Charakter der Strahlung

Das ideale Isotop für die Diagnostik ist der reine  $\gamma$ -Strahler (siehe Ionisationsvermögen, Reichweite)

Die Kernisomerie ist von großer Bedeutung  
→ siehe Technetiumgenerator

17

## Physikalische Aspekte bei der Auswahl von in vivo applizierten Isotopen

### 2. Die Halbwertszeit

$$\Lambda = \lambda \cdot N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N$$

Bei gleichgroßer Aktivität ist eine geringere Menge des Isotops mit kürzerer Halbwertszeit erforderlich

18

## Physikalische Aspekte bei der Auswahl von in vivo applizierten Isotopen

### 3. Die Photonenergie der $\gamma$ -Strahlung

Damit die Strahlung aus dem Organismus austreten und dann detektiert werden kann, sind höhere Energien wünschenswert

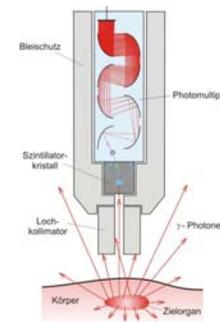
Bei geringer Photonenergie: die Strahlung wird schon von dünnen Schichten vollkommen absorbiert

Bei zu hoher Photonenergie: die Strahlung wird auch im Detektor nicht absorbiert (keine Wechselwirkung)

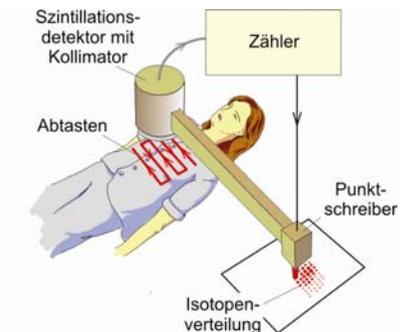
19

## Nuklearmedizinische Techniken

### Szintigraphie



Der Lochkollimator gestattet nur das Detektieren der in Lochrichtung einfallenden  $\gamma$ -Photonen



Funktionsprinzip des Szintigraphen

20

# Nuklearmedizinische Techniken

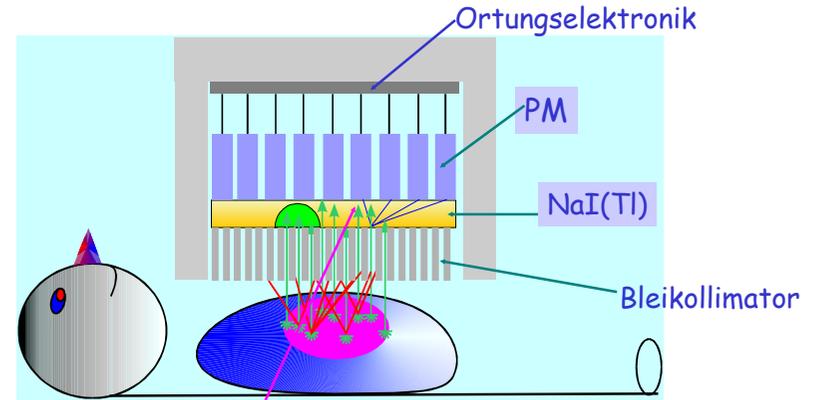
## Gammakamera

Erfinder: Hal Anger



21

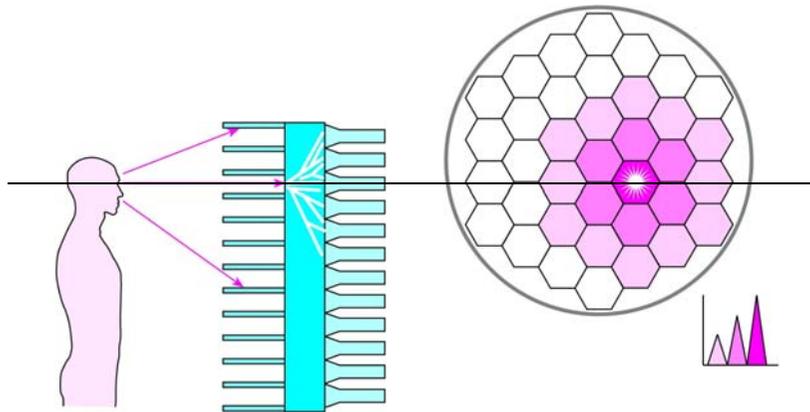
räumliche Auflösung — Bleikollimator  
 nur Strahlen parallel mit der Kollimatorachse  
 können durchdringen



Szintillation in unterschiedlicher Weite von PM  
 → Intensitätsunterschied → Ortsbestimmung

22

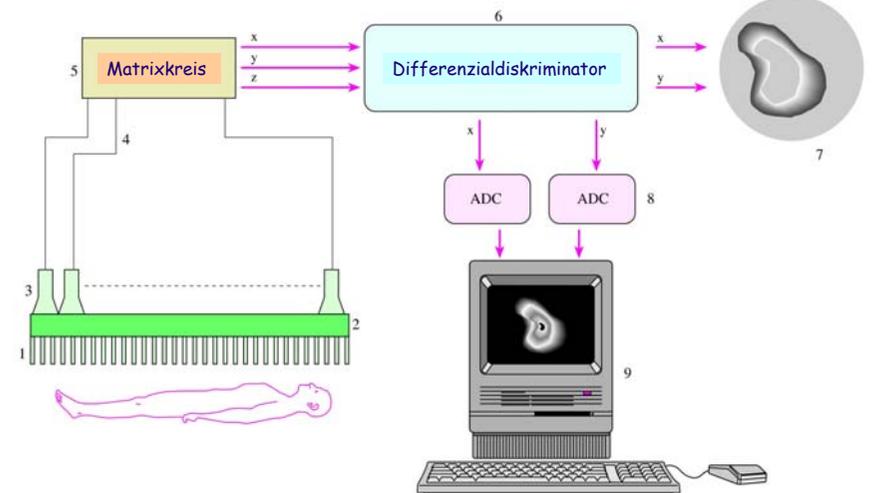
## Detektor + PM



Von den Photonen aus dem radioaktiven Zerfall erreichen nur die den Kristall, die parallel zu den Kollimatorspalten vor dem Szintillationskristall verlaufen. Die von den  $\gamma$ -Photonen generierten Lichtblitze werden von Photoelektronenvervielfachern am Kristall detektiert.

Aufsicht des Szintillationskristalls und der gekoppelten sechseckigen Photoelektronenvervielfacher

23



24

## Messverfahren mit Gammakamera

### Arten der Szintigraphie:

- Planare Szintigraphie
- Sequenzszintigraphie
- Funktionsszintigraphie
  
- SPECT (Single Photon Emission Computed Tomographie)
- Positronenemissionstomographie (PET)

Statische Szintigramme: Summationsbild einer Langzeitaufnahme

Dynamische Szintigramme: filmartige Verlaufaufnahme

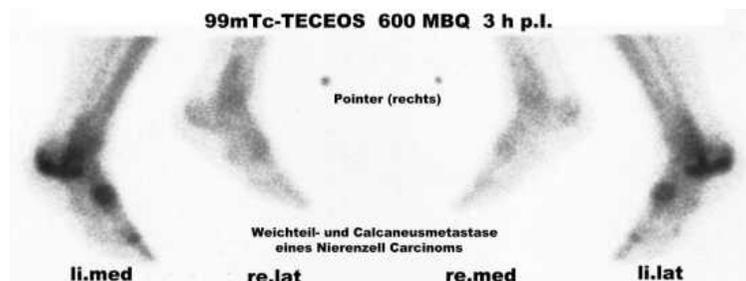
25

## Einige Charakteristiken der nuklearmedizinischen Methoden

- ✓ die nuklearmedizinischen Methoden sind Funktionsorientiert (im ggt. z.B. zur Rtg.-CT, Sonographie, Kernspintomographie); z.B.: Durchblutung, Stoffwechsel und Vitalität der Organen/Tumoren;
- ✓ Anreicherung und Verteilung der Radiopharmaka im Zielorgan;
- ✓ Zeitliche/r Aufnahme/Abbau des dem Organismetabolismus entsprechenden Radiopharmakon;
- ✓ Vergleich der Funktion der paarigen Organe

26

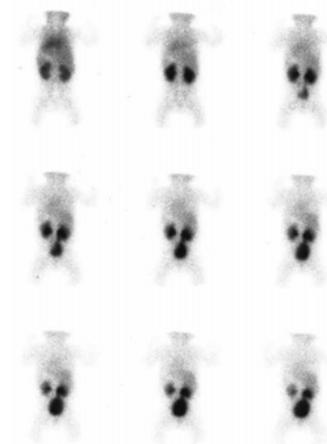
## Planare Szintigraphie



Aufnahme von einem Körperabschnitt zu einem definierten Zeitpunkt. Das dreidimensionale zu untersuchende Organ wird zweidimensional abgebildet. Sehr oft werden dabei Aufnahmen von zwei Ansichten angefertigt

27

## Sequenzszintigraphie

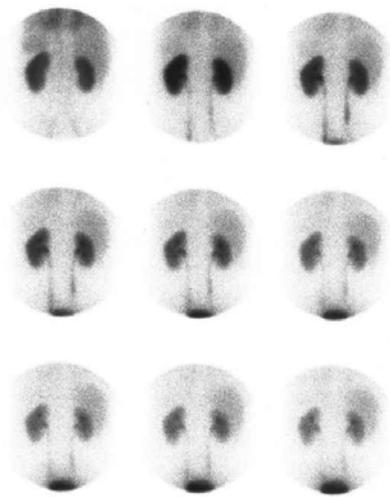


Es handelt sich um eine **fortlaufende Aufnahmeserie** mit Erstellung mehrerer, **zeitlich aufeinanderfolgender Einzelbilder**.

In den Abbildungen ist eine Sequenz von Nierenaufnahmen mit zeitgerechtem Aktivitätsdurchsatz durch das Parenchym nach Gabe von 70 MBq Tc-99m-MAG3 mit neun Bildern bei einer Aufnahmezeit von 120 Sekunden dargestellt.

28

## Sequenzszintigraphie



$^{99m}\text{Tc}$ -MAG3  
(Mercaptoacetyltriglycine)

zeitliche Folge von Nierenaufnahmen eines Säuglings

29

## Funktionsszintigraphie:

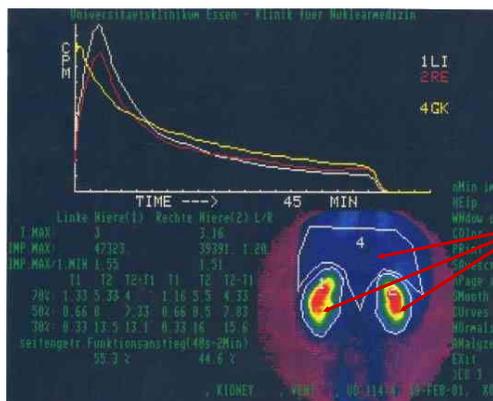
Auswertung der Tracerkinetik einer **Sequenzszintigraphie** über **Festlegung von Regions of Interest (ROI)** am Bildsichtgerät und Berechnung von **Funktionskurven**.

1. Sequenzaufnahme
2. Funktionsauswertung durch Festlegung von ROI

30

## Funktionsszintigraphie:

Aus der vorigen Abbildung ergeben sich nach Durchführung der ROI-Technik folgende **Funktionskurven** für die beiden Nieren, aus der sich eine seitengleiche regelrechte tubuläre Sekretionsleistung der Nieren und kein Anhalt für eine Harnabflußbehinderung ergibt.



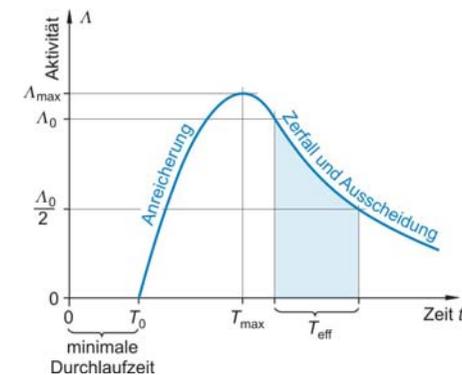
Regions of Interest (ROI)

31

## Funktionsszintigraphie:

### ZEIT-AKTIVITÄTS-KURVE

Die zeitliche Verfolgung der Stoffwechselprozesse im Organ erfolgt durch Aufnahmen der Zeit-Aktivitäts-Kurve.



s. Praktikum: Isotopendiagnostik

32

## Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT)



– das nuklearmedizinische Analogon zur Röntgen-Computer-Tomographie (CT)

- Dabei werden aus dem Patienten emittierte Einzelphotonen (Gammaquanten) gemessen.
- Die Untersuchung findet unter verschiedenen Winkeln statt → Ein bis zu drei Gammakamera rotieren um die zu untersuchende Region.
- Schnittbilder werden durch das Verfahren der gefilterten Rückprojektion rekonstruiert.
- Erzeugt werden dabei überlagerungsfreie Bilder und dreidimensionale Darstellungen der Aktivitätsverteilung.

33

## PET: Positronen Emissions Tomographie



Bild einer typischen Positronen-Emissions-Tomographie-Einrichtung

34

## Radioisotope für PET

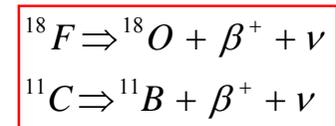
Isotop	Markermolekül	Was wird nachgewiesen	Klinische Bedeutung
$^{18}\text{F}$	Desoxyglukose	Glukosestoffwechsel	Stoffwechselveränderungen, Tumoren
$^{18}\text{F}$	$^{18}\text{F}$ -Ion	Knochenstoffwechsel	Veränderungen des Knochensystems
$^{11}\text{C}$	Aminosäuren	Aminosäurestoffwechsel	Stoffwechselveränderungen, Tumoren
$^{11}\text{C}$	Raclopride	Dopamin-(D <sub>2</sub> ) Rezeptor	Parkinson-Krankheiten
$^{15}\text{O}$	$^{15}\text{O}$ -markierte Gase	Oxygenstoffwechsel	Messung des Oxygenstoffwechsels
$^{15}\text{O}$	Butanol	Blutzirkulation, Blutvolumen	Messung des Oxygenstoffwechsels
$^{15}\text{O}$	Wasser	Blutzirkulation, Blutvolumen	z. B. Untersuchung eines Stroke-betroffenen Gebietes
$^{13}\text{N}$	Ammoniak	Blutzirkulation	Messung der Herzmuskelvitalität

35

## In der PET verwendete Radioisotope

Kurzlebige Isotope:

$^{18}\text{F}$ (T=110 min),  $^{11}\text{C}$  (T=21 min),  $^{13}\text{N}$  (T=10 min),  $^{15}\text{O}$  (T=2min)

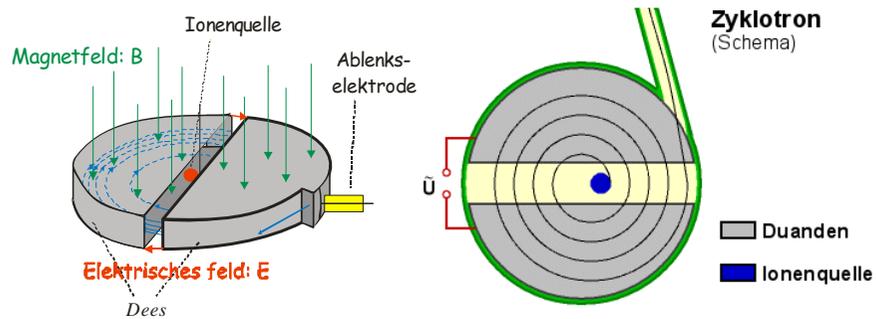


Die Herstellung ist am Applikationsort notwendig.

Die Verwendung von  $^{11}\text{C}$  erfordert daher, dass sich ein **Zyklotron** in relativer Nähe des PET-Systems befindet. Die Verwendung von  $^{13}\text{N}$  oder  $^{15}\text{O}$  erfordert sogar, dass sich das **Zyklotron** in unmittelbarer Nähe des PET-Scanners befindet.

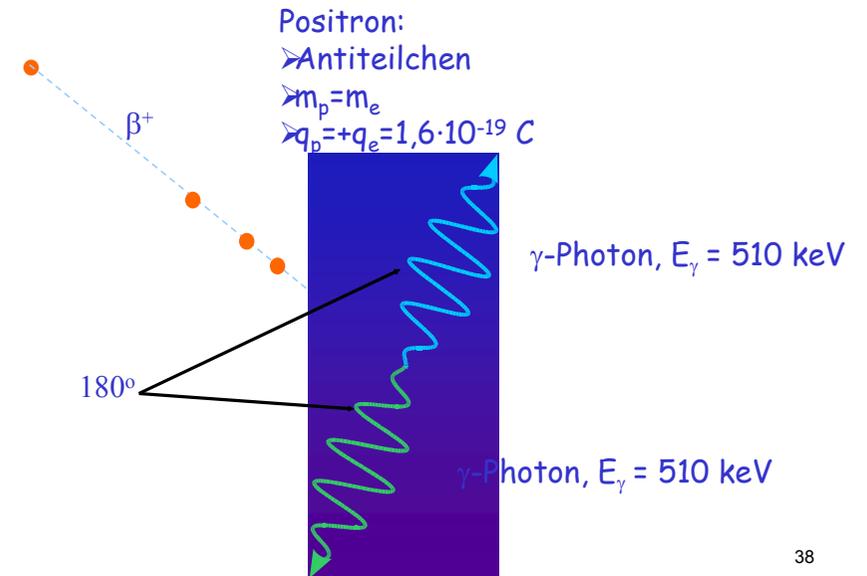
36

## Das Zyklotron

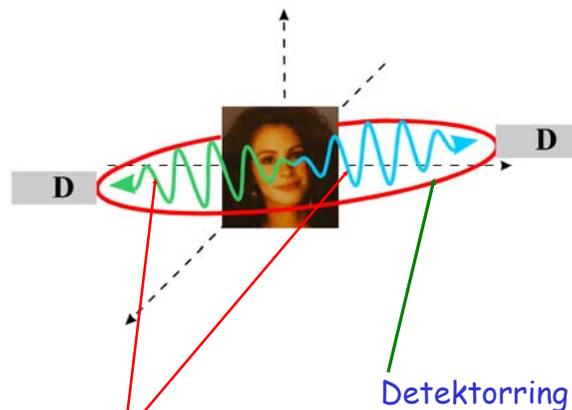


37

## PET: Positronen Emissions Tomographie



38



Diejenige  $\gamma$ -Photonen werden registriert, die fast gleichzeitig (Koinzidenzmessung innerhalb von 20 ns) die entgegengerichteten Detektoren erreichen.

39

## PE-Tomographie



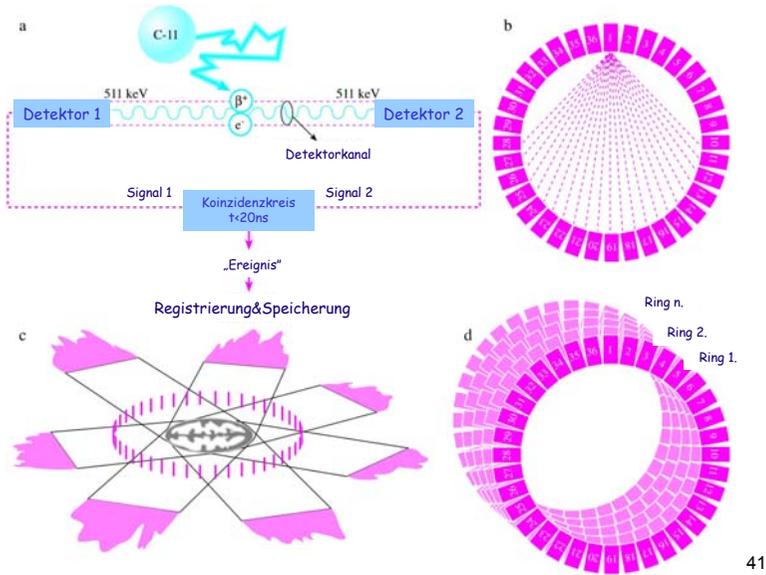
Detektorring (mehrere Szintillationsmessköpfe)

tomographische Aufnahmen von einzelnen Schichten; Bildherstellung in beliebiger Ebenen des dreidimensionalen Raums

- Sequenzaufnahmen
- Darstellung physiologischer Aspekte

40

## PE-Tomographie



41

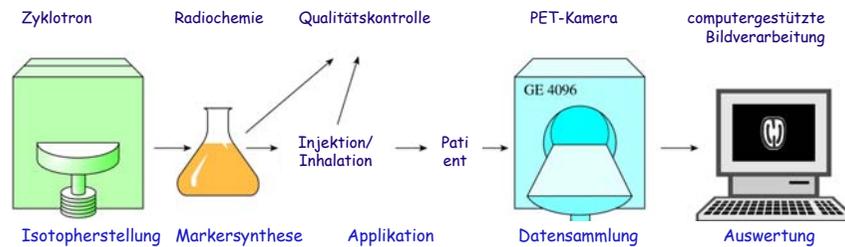
## PE-Tomographie

Breite Anwendungsgebiete in der klinischen Praxis:

- kardiologische, neurologische, psychiatrische, onkologische usw. Untersuchungen
- Frühe Diagnose und Differentialdiagnose von Tumoren
- Beurteilung der Tumorprogression, der Rezidive bzw. Metastasen
- Lokalisierung von Epilepsieherden usw. → humane Gehirnforschung

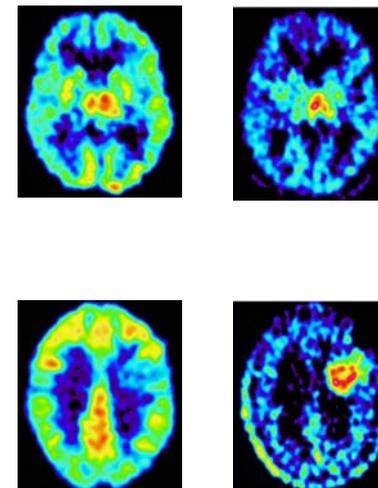
42

## PE-Tomographie



43

## PE-Tomographie



Hirntumor. PET Aufnahmen mit den Radiopharmaka  $^{18}F$ -FDG und  $^{11}C$ -Methionin (Aufnahme aus dem PET-Zentrum der DEOEC, mit Genehmigung von Prof. Lajos Trón)

44

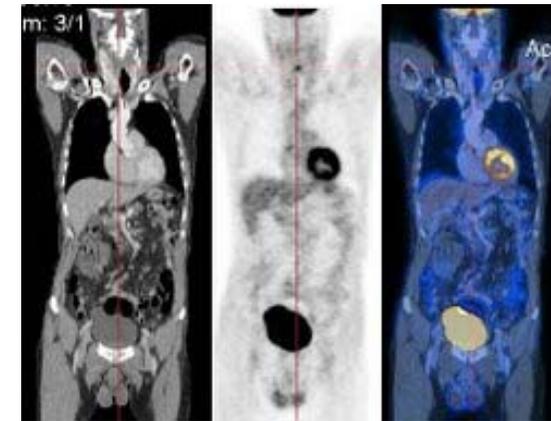
## PE-Tomographie

**Vorteil:** Informationen über die Funktion, die Stoffwechselprozesse der lebenden Organismen → funktionelle bildgebende Verfahren

**Nachteil:** die Auflösung in der transaxiale Ebene 5 mm  
in axialer Richtung 6 mm  
die Morphologie des Körpers lässt sich nur grob beurteilen

Beseitigt mit den **Bildfusionsverfahren**  
Superposition der MRT- oder CT-Aufnahme mit der PET-Aufnahme → **morphologische und funktionelle Bildgebung**

45



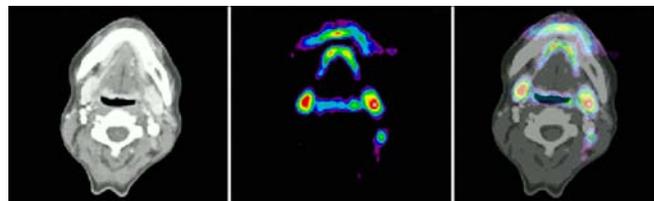
CT

PET

CT-PET

46

## PE-Tomographie



CT

11C-metionin-PET

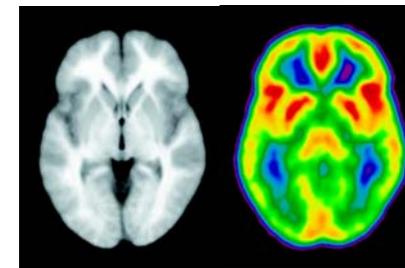
CT-PET

Primärtumor-Suche  
Mestastatische Lymphknoten an der rechten Halsseite  
(Aufnahme aus dem PET-Zentrum der DEOEC, mit Genehmigung von Prof. Lajos Trón)

47

## PE-Tomographie

MRT-Aufnahme + PET-aufnahme



T<sub>1</sub>-gewichtete MRT-Durchschnittsaufnahme und mit <sup>15</sup>O-Butanol erstellte PET-Durchschnittsaufnahme  
(Aufnahme aus dem PET-Zentrum der DEOEC, mit Genehmigung von Prof. Lajos Trón)

48