

Hintergründe Qualitätskontrollen bei PET/CT und SPECT/CT

G. A. Prenosil

*Insel Gruppe AG – Inselspital – Department of Nuclear Medicine
Department of Biomedical Research, University Bern, SWITZERLAND*

Disclosure

George A. Prenosil: CEO Zentit GmbH

Funding

- PET AG Bern
- University of Bern

Übersicht


- Qualitätskontrolle (QC) vs. Qualitätssicherung (QA)
- Wozu braucht es QA und QC?
- Voraussetzungen für quantitative Bildgebung
- Physik der quantitativen Bildgebung in PET und SPECT
- Zukunft der PET/CT und SPECT/CT Qualitätskontrolle
- Take-home message

Qualitätskontrolle (QC)

vs.


Qualitätssicherung (QA)

Gesetzliche Grundlagen der Qualitätssicherung

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

AS 2017
www.bundesrecht.admin.ch
Messgebend ist die signierte
elektronische Fassung



 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Gesundheit BAG
Direktionsbereich Verbraucherschutz

Verordnung des EDI über den Umgang mit radioaktivem Material (UraM)

Seite 1 / 6

2. Abschnitt: Qualitätssicherung bei nuklearmedizinischen Anwendungen

Art. 60 Grundsätzliches

¹ Für das Inverkehrbringen von nuklearmedizinischen Mess- und Untersuchungseinrichtungen gelten die Vorschriften der Medizinprodukteverordnung vom 17. Oktober 2001¹⁰ (MepV).

² Für die grundsätzlichen Anforderungen an den Umfang und die Frequenz der qualitätssichernden Massnahmen an nuklearmedizinische Messgeräte und Untersuchungssysteme nach Artikel 89 StSV sind die Erfahrung und der Stand von Wissenschaft und Technik wie folgt zu berücksichtigen:

- ➔ a. durch die einschlägigen nationalen und internationalen Normen;
- ➔ b. durch die Wegleitungen des BAG.

³ Die Resultate der Qualitätsprüfungen müssen protokolliert und in einer Anlage dokumentiert nach Artikel 59 abgelegt werden.

⁴ Anlässlich der Abnahme- und Zustandsprüfung müssen Referenzwerte für die Durchführung von Konstanzprüfungen ermittelt und protokolliert werden.

⁵ Die Fachfirma, welche nach Artikel 9 Absatz 1 Buchstabe g StSV zur Durchführung qualitätssichernder Massnahmen autorisiert wurde, meldet dem BAG die Durchführung und das Resultat der Abnahme- und Zustandsprüfungen.

⁶ Die Aufsichtsbehörde legt die Form der Meldung fest.

Abteilung Strahlenschutz
www.str-rad.ch

Referenz / Aktenzeichen: L-09-04.doc
Erstellt: 07.03.2018
Revisions-Nr. 1

Weisung L-09-04 Qualitätssicherung bei Gamma-, PET-, PET-CT-Kameras

1. Zweck

Die vorliegende Weisung richtet sich an die Lieferanten und Betreiber von Gamma- und PET/PET-CT-Kameras und regelt das Vorgehen betreffend qualitätssichernden Massnahmen bei **Inbetriebnahme, Gebrauch und periodischer Wartung** der Gamma- und PET/PET-CT-Kameras. Diese Weisung präzisiert die durchzuführenden Prüfungen gemäss Verordnung über den Umgang mit radioaktivem Material (UraM [1]), die unter Berücksichtigung internationaler Normen festgelegt und dem Stand der Technik angepasst wurden.

2. Ausgangslage

Gemäss der Strahlenschutzgesetzgebung sind nuklearmedizinische Untersuchungsgeräte (Gamma- und PET/PET-CT-Kameras) vor der Übergabe an den Betreiber einer vom Lieferanten durchzuführenden **Abnahmeprüfung (AP)** zu unterziehen. Weiter wird mindestens einmal jährlich eine Wartung mit **Zustandsprüfung (ZP)** durch Fachpersonal der Installationsfirmen mit BAG-Bewilligung sowie die regelmässige Durchführung von **Konstanzprüfungen (KP)** durch den Betreiber der Gamma- oder PET/PET-CT-Kamera verlangt. Diese Prüfungen sind nach internationalen Standards wie **NEMA/IEC** oder nach äquivalenten Methoden durchzuführen [2] [3] [4] [5] [6] [7]. Gemäss heutigem Stand der Technik und zur Sicherstellung aller Qualitätsanforderungen ist eine Wartung mit Zustandsprüfung gemäss den geltenden Minimalanforderungen halbjährlich durchzuführen.

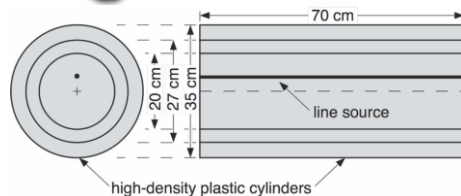
3. Prüfmittel

Grundsätzlich muss der Betreiber der Gamma- und PET/PET-CT-Kamera über die Prüfmittel (**Phantome, radioaktive Prüfquellen**) verfügen, die zur Durchführung der Konstanzprüfung notwendig sind. Diese Mittel hängen unter anderem von der Bauart der Geräte ab und müssen anlässlich der Einrichtung und Abnahmeprüfung durch die Installationsfirma festgelegt werden.

Normen der Qualitätssicherung

NEMA NU 2-2018-PET/CT

- Section 3 Spatial Resolution
- Section 4 Scatter Fraction, Count Losses, and Randoms
- Section 5 Sensitivity
- Section 6 Accuracy: Corrections for Count Losses and Randoms
- Section 7 Image Quality, Accuracy of Corrections
- Section 8 Time-of-Flight Resolution
- Section 9 PET-CT Co-registration Accuracy



NEMA NU 1-2018 für SPECT/CT

Section 1 Scope

This Standards Publication establishes definitions, quantitative measurements of performance characteristics, and reporting techniques for the specification of the following Gamma camera parameters:

- a. Intrinsic Spatial Resolution
- b. Intrinsic Spatial Linearity
- c. Intrinsic Energy Resolution
- d. Intrinsic Flood Field Uniformity
- e. Multiple Window Spatial Registration
- f. Intrinsic Count Rate Performance in Air
- g. Intrinsic Spatial Resolution at 75 kcps
- h. Intrinsic Flood Field Uniformity at 75 kcps
- i. System Spatial Resolution without Scatter
- j. System Spatial Resolution with Scatter
- k. System Planar Sensitivity and Collimator Penetration and Scatter
- l. Detector Shielding
- m. System Count Rate Performance with Scatter
- n. System Alignment
- o. SPECT Reconstructed Spatial Resolution without Scatter
- p. SPECT Reconstructed Spatial Resolution with Scatter
- q. System Volume Sensitivity
- r. Detector-Detector Sensitivity Variation
- s. Whole-body System Spatial Resolution without Scatter
- t. Tomographic Contrast and Absolute Quantification Accuracy
- u. SPECT/CT co-registration Accuracy

The following types of medical radionuclide imaging instruments are included in this standard:

- a. Single detector, single crystal planar Gamma cameras
- b. Single detector, single crystal tomographic Gamma cameras
- c. Multiple detector planar and tomographic Gamma cameras
- d. Whole-body Gamma camera devices
- e. Discrete pixel detector planar and tomographic Gamma cameras

The following types of medical radionuclide imaging instruments are not included in this standard:

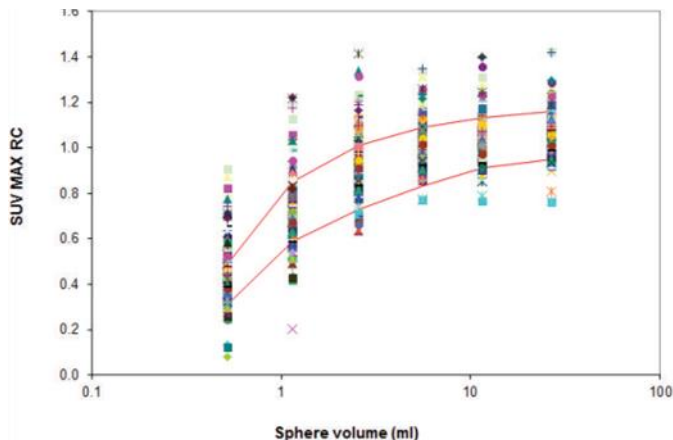
- a. Coincidence imaging Gamma cameras or systems (these are covered by NEMA NU 2-2012, "Performance Measurements of Positron Emission Tomographs").
- b. All medical radionuclide imaging devices are not included above.

Normen der Qualitätssicherung

EANM, EARL: PET/CT bald auch SPECT



The European Association of Nuclear Medicine (EANM), with its central role in the scientific community and its professional setup, today constitutes the umbrella organisation for nuclear medicine in Europe. In 2006, the leadership of the EANM launched EANM Forschungs GmbH (EARL) as an initiative to promote multicentre nuclear medicine and research.



ACR–AAPM TECHNICAL STANDARD FOR MEDICAL NUCLEAR PHYSICS PERFORMANCE MONITORING OF PET IMAGING EQUIPMENT

III. PERFORMANCE CHARACTERISTICS TO BE MONITORED

A. Acceptance Testing

Initial performance testing of imaging equipment must be performed upon installation and should be completed before clinical use. This testing should be more comprehensive than periodic performance testing and should be consistent with current acceptance testing practices [4-8].

B. Performance Evaluation

The Qualified Medical Physicist must design a quality assurance (QA) program that includes regular testing procedures to insure proper operation on a daily basis. The PET testing procedures must follow the manufacturer's prescribed schedule and must include, at a minimum, daily quality control (QC) tests as well as quarterly scanner testing to evaluate scanner calibration, uniformity, resolution, and contrast. The QA program must be reviewed at least annually by the Qualified Medical Physicist who must be onsite at least annually.

The following characteristics should be evaluated on at least an annual basis as applicable to the design of the scanner [8,9]:

1. Spatial resolution
2. Count rate performance (count rate versus activity), including count loss correction
3. Sensitivity (cps/MBq/mL)
4. Image uniformity
5. Image quality
6. Accuracy of attenuation and scatter correction, and SUV measurement
7. Safety evaluation
 - a. Mechanical
 - b. Electrical

Definitionen von QA und QC gemäss EANM

Hier: Instrumente !



	<i>Quality assurance</i>	<i>Quality control</i>
<i>Activities</i>	Set of activities for ensuring quality in processes	Set of activities for ensuring quality in products
<i>Aim</i>	To prevent defects	To identify (and correct) defects
<i>Process</i>	Proactive	Reactive
<i>Means of achievement</i>	Planned and systematic activities, including documentation	Activities or techniques to achieve and maintain the product quality, process and service
<i>Responsible persons</i>	Everyone involved in the process	Specific team that tests the product
<i>Tool</i>	QA is a managerial tool	QC is a corrective tool

EUROPEAN ASSOCIATION OF NUCLEAR MEDICINE, Quality Control of Nuclear Medicine Instrumentation and Protocol Standardization — EANM Technologists Guide, ISBN: 978-3-902785-13-8, EANM, Vienna, Austria (2017)

Definitionen von QA und QC in der Praxis

**Methoden
+
Prozesse**



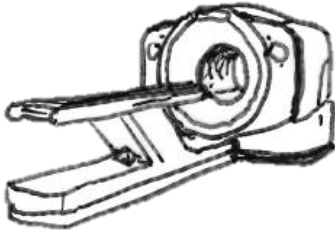
QA

QC



Protokolle und Vorschriften

Geräte



Periodische Überprüfung
Gesetzlich vorgeschrieben!

**Klinisches
Produkt**

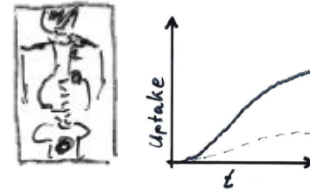
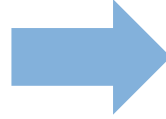
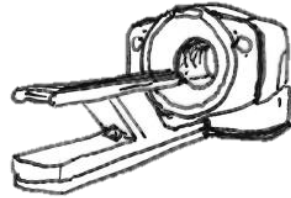
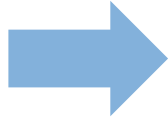


?

Wozu braucht es QC und QA?

PET CT und jetzt auch SPECT/CT sind quantitativ bildgebende Messgeräte!

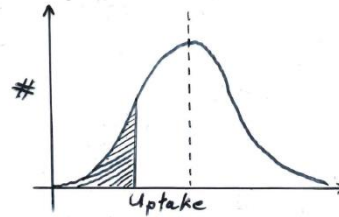
PET/CT und neuerdings auch SPECT/CT sind quantitativ und beantworten medizinische Fragestellungen...



Quantifizierbarkeit für:

- Kinetische Modelle
- AI
- Parametrische Bildgebung
- Vergleichbarkeit
- Radiomics
- Effect based therapy and reimbursement
- Entwicklung von Medikamenten

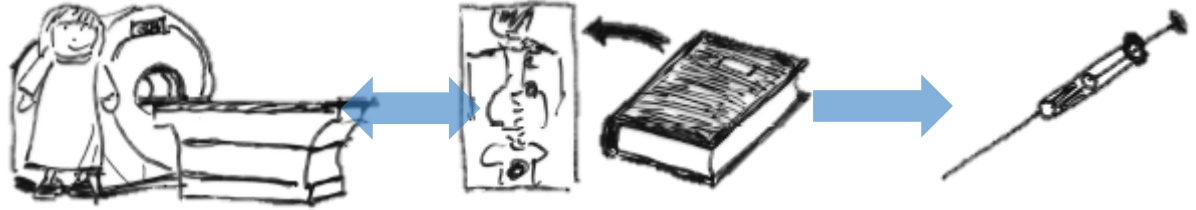
... mit diagnostischer Vergleichbarkeit!



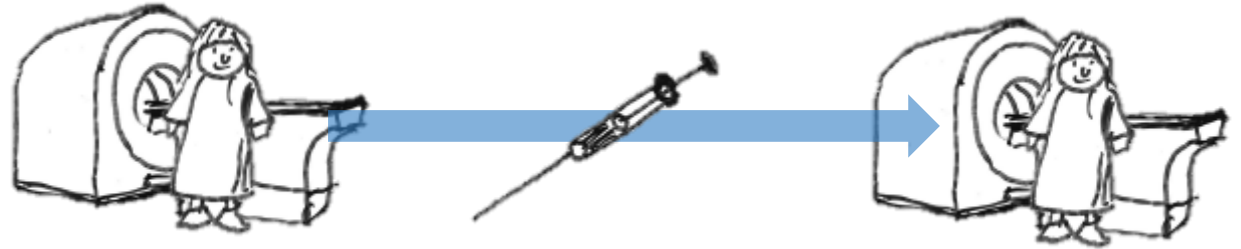
- Quantitative Messungen sind vergleichbare Messungen!
- Stellt sicher, dass der Patient das beste Bild für seine Strahlenbelastung bekommt (Strahlenschutzverordnung, BAG) 

Klinische Studien: Diagnostische Vergleichbarkeit wird essentiell für...

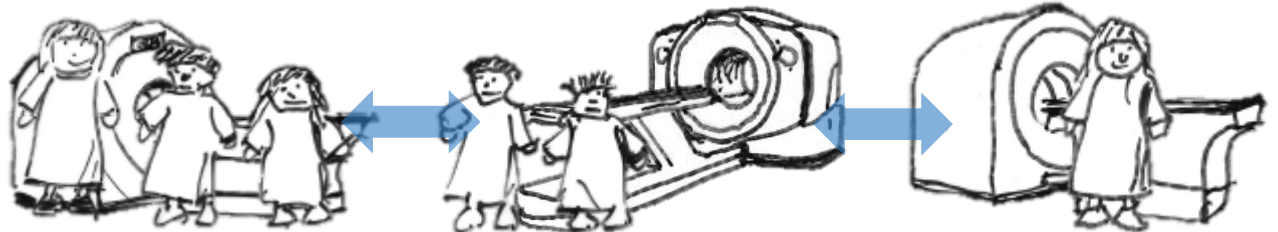
(1) Anwerbung und Therapieentscheid



(2) Therapiekontrolle



(3) Multi-zentrische Studien



Swiss PET Survey: Protocol Compliance

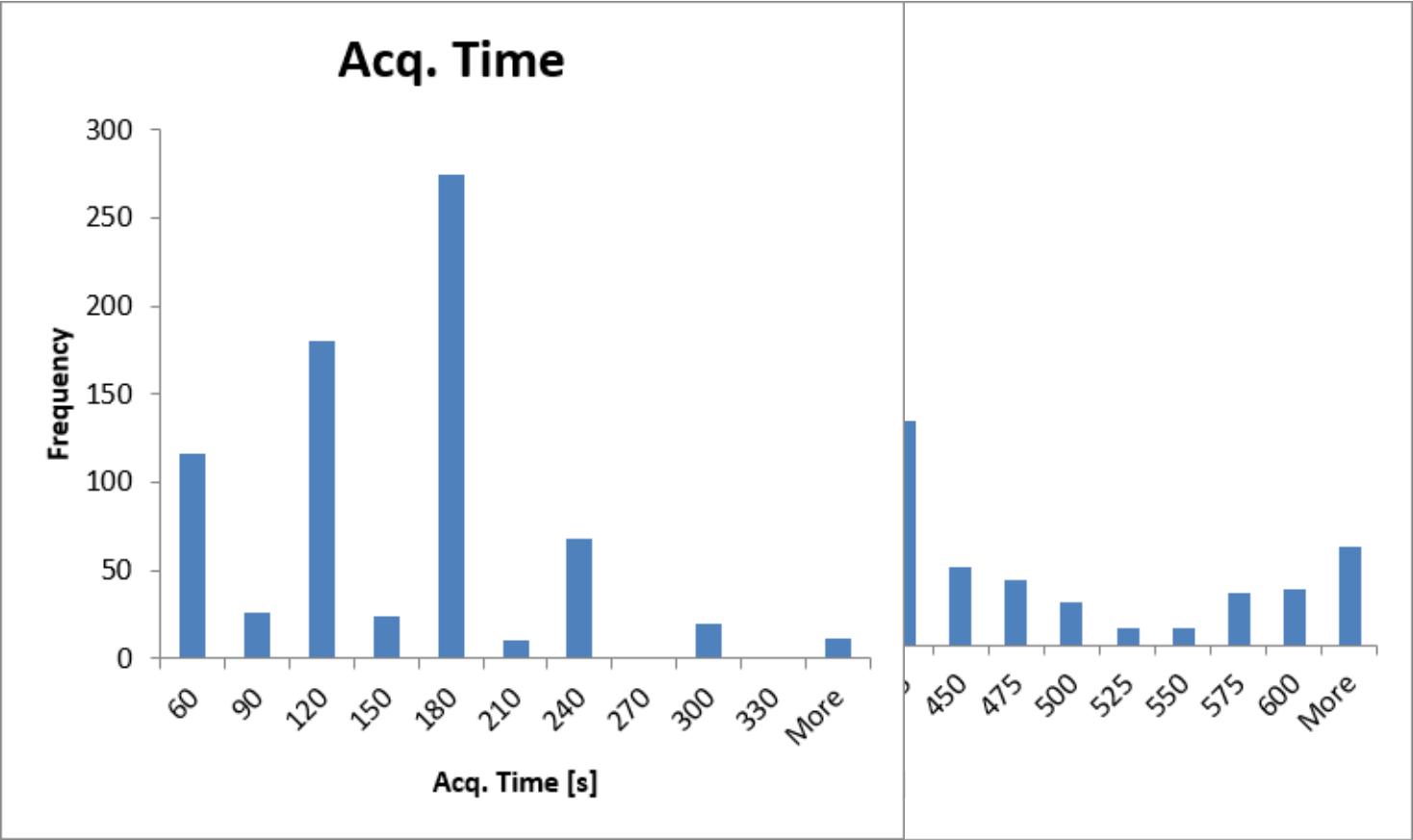
18 Devices 14 Sites		Manufacturer (Siemens, GE, Philips)		Number of datasets	not readable	not accepted	restricted	OK	according to study protocol	KP-1		KP-5	
DeviceID	DeviceTypeCode	ACQ 1	ACQ 2							ACQ 3	ACQ 4		
		28		8	20	71%	7	7	7	7			
		32		16	10	6	19%	4	4	4	4		
		28			26	2	7%	7	7	7	7		
		11		2	9	0	0%	0	0	9	0		
		31		5	19	7	23%	7	6	7	6		
		51			51	0	0%	12	12	15	12		
		34	6		20	8	24%	7	7	7	7		
		32			2	30	94%	8	8	8	8		
		32			2	30	94%	8	8	8	8		
		12		8		4	33%	4	0	0	0		
		4				24	100%	6	6	6	6		
		0				20	100%	5	5	5	5		
		3			9	19	68%	7	7	7	7		
		7			9	8	47%	4	4	4	5		
		3			14	14	50%	2	12	7	7		
		12			6	6	50%	6	6	0	0		
		10			10	0	0%	0	0	5	5		
		28			28	0	0%	7	7	8	6		

Datasets:

- expected 504*
- received 458
- not readable 6
- not accepted 31
- **evaluated 421**
- restricted 223/421 = 53%
- no BACref. 191/421 = 45%
- **as requested 160/458 = 35%**

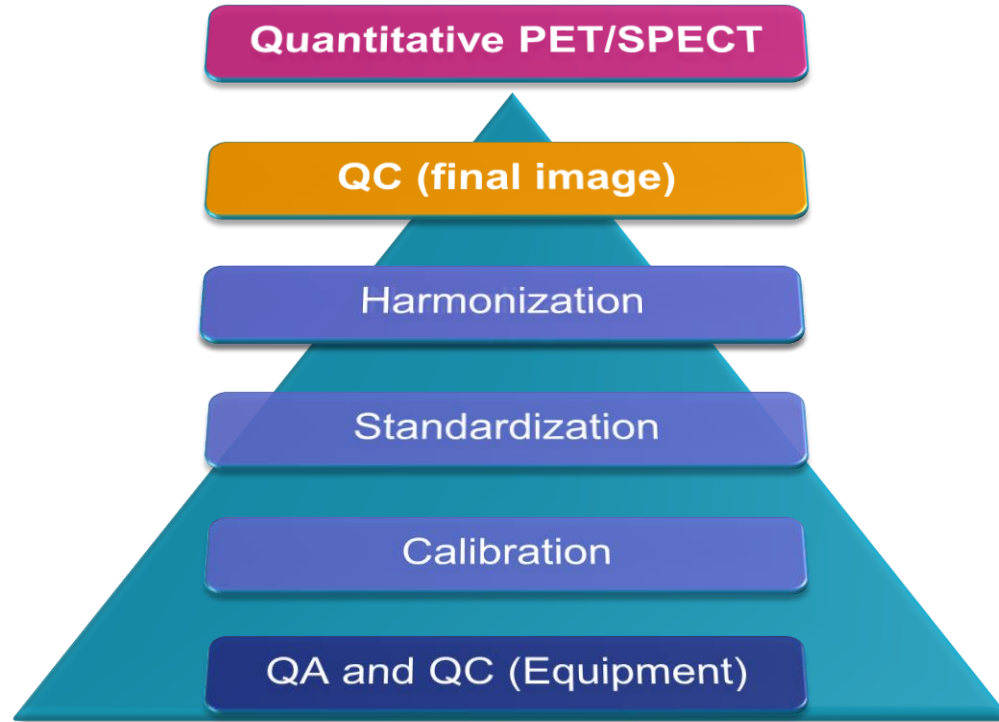
* at least 504 datasets for FBP, OSEM, PSF and site specific clinical whole body reconstructions

Qualitätskontrolle einer multi-zentrischen PET Studie eines grossen Pharmaunternehmens

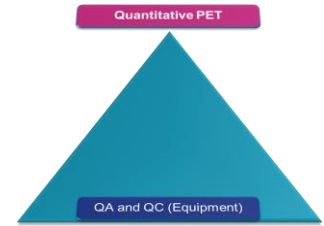


Voraussetzungen für quantitative Bildgebung

Voraussetzungen für quantitative Bildgebung



Qualitätssicherung der Geräte (QA and QC Equipment)



Medizinische Geräte haben eine Betriebsdauer von ca. 10 Jahren, deshalb ist es wichtig sicher zu stellen, dass die Bildgebung/Messung reproduzierbar ist.

Weisung L-09-04

Qualitätssicherung bei Gamma-, PET-, PET-CT-Kameras

- Abnahmeprüfung (vor der Inbetriebnahme)
- Zustandsprüfung (typisch alle 6 Monate)
- Konstanzprüfung (täglich bis wöchentlich)

NEMA Standards Publication NU 1-2012, Performance Measurements of Gamma Cameras.

NEMA Standards Publication NU 2-2001, Performance Measurements of Positron Emission Tomographs.

Kalibrierung: Standardisierte Metriken

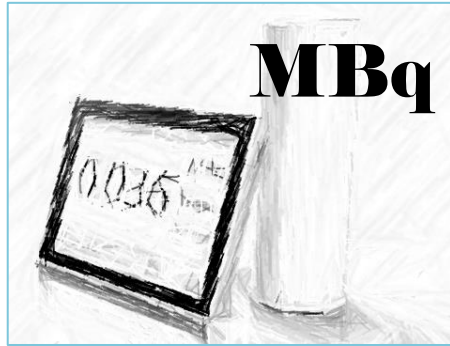
Im Tor der Zytglogge, dem alten Zugang zum Berner Markt, können noch alte Längenmasse bestaunt werden:

- Elle
- Klafter
- Meter

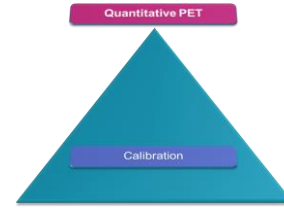
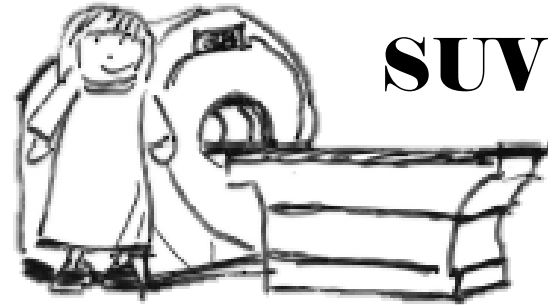
Markthändler mussten früher beim Passieren dieses Westtors zur Berner Innenstadt ihre Masse und Gewichte kalibrieren.



Kalibrieren der gemessenen Aktivitäten am Dose Calibrator

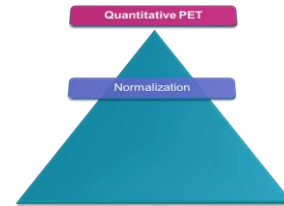


Wichtig:
Absolute Kalibrierung
Kreuz-Kalibrierung
Uhrabgleich!

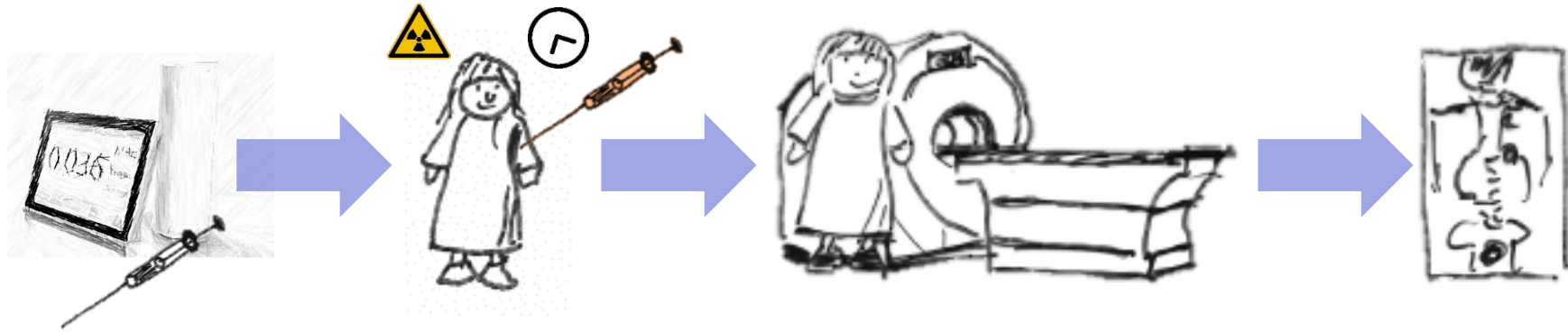


Normalisierung der gemessenen Aktivitäten im Bezug auf das Körpergewicht und gespritzte Dosis

$$SUV = \frac{\text{Activity in tumour (Bq/cc)}}{\text{Injected activity(Bq)}} \times \text{weight(g)}$$



Harmonisierung des Bildgebungsprozesses



- Technische Faktoren
- Biologische Faktoren
- Physikalische Faktoren



Voraussetzungen für quantitative Bildgebung!

Harmonisierung des Bildgebungsprozesses

Ausrüstung QC

Synchronisation Zeit
Dose Calibrator
SPECT Kalibrierung

Qualitätskontrolle
• Uniformität
• Alignment
• Sensitivität

CT Kalibrierung und QC
• HU Genauigkeit
• Uniformität

Aufnahmeprotokoll

CT Protokoll
Gespritzte Dosis
Aufnahmezeit
Patientenlagerung
Bildstatistik (Zeit und Projektionen)
Detektor und Kollimator

Sampling
• Räumlich
• Projektionen
• Zeitlich

Patient

Gewicht und Grösse
Alter
Bewegung
Tracerkinetik
Konstitution
Krankheitsverlauf
Pathologie

Bildrekonstruktion

Schwächungskorrektur
Streukorrektur
Rekonstruktionsalgorithmen
Detektor- und Kollimatorkorrekturen

Bildanalyse

Partialvolumenkorrektur
Normalisierung
VOI-Zeichnung
Referenzregionen
Korrekturen für biologische Faktoren

- Technische Faktoren
- Biologische Faktoren
- Physikalische Faktoren

Quantitative PET

Harmonization



Harmonisierung des Bildgebungsprozesses

Eur J Nucl Med Mol Imaging (2015) 42:328–354
DOI 10.1007/s00259-014-2961-x

GUIDELINES



FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0

Ronald Boellaard · Roberto Delgado-Bolton · Wim J. G. Oyen · Francesco Giammarile · Klaus Tatsch · Wolfgang Eschner · Fred J. Verzijlbergen · Sally F. Barrington · Lucy C. Pike · Wolfgang A. Weber · Sigrid Stroobants · Dominique Delbeke · Kevin J. Donohoe · Scott Holbrook · Michael M. Graham · Giorgio Testanera · Otto S. Hoekstra · Josée Zijlstra · Eric Visser · Corneline J. Hoekstra · Jan Pruim · Antoon Willemsen · Bertjan Arends · Jörg Kotzerke · Andreas Bockisch · Thomas Beyer · Arturo Chiti · Bernd J. Krause

Abstract

The purpose of these guidelines is to assist physicians in recommending, performing, interpreting and reporting the results of FDG PET/CT for oncological imaging of adult patients. PET is a quantitative imaging technique and therefore requires a common quality control (QC)/quality assurance (QA) procedure to maintain the accuracy and precision of quantitation. **Repeatability** and **reproducibility** are two essential requirements for any quantitative measurement and/or imaging biomarker. Repeatability relates to the uncertainty in obtaining the same result in the same patient when he or she is examined more than once on the same system. However, imaging biomarkers should also have adequate reproducibility, i.e. the ability to yield the same result in the same patient when that patient is examined on different systems and at different imaging sites. Adequate repeatability and reproducibility are essential for the clinical management of patients and the use of FDG PET/CT within multicentre trials. A common standardised imaging procedure will help promote the appropriate use of FDG PET/CT imaging and increase the value of publications and, therefore, their contribution to **evidence-based medicine**. Moreover, consistency in numerical values between platforms and institutes that acquire the data will potentially enhance the role of semiquantitative and **quantitative image interpretation**. Precision and accuracy are additionally important as FDG PET/CT is used to evaluate tumour response as well as for diagnosis, prognosis and staging. Therefore both the previous and these new guidelines specifically aim to achieve standardised uptake value **harmonisation in multicentre settings**.

Harmonisierung des Bildgebungsprozesses

Eur J Nucl Med Mol Imaging (2015) 42:328–354
DOI 10.1007/s00259-014-2961-x

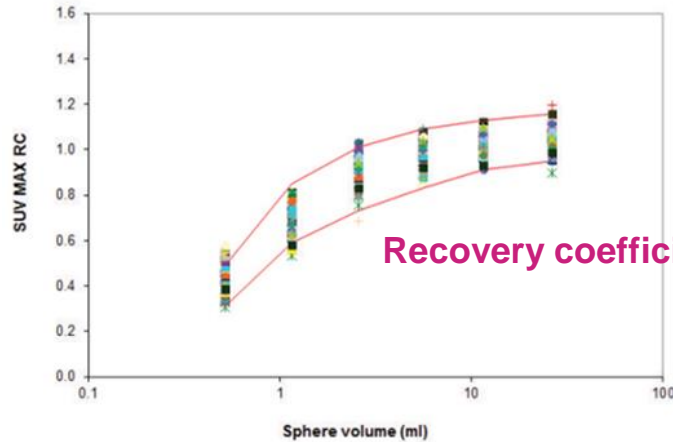
GUIDELINES

Quantitative PET

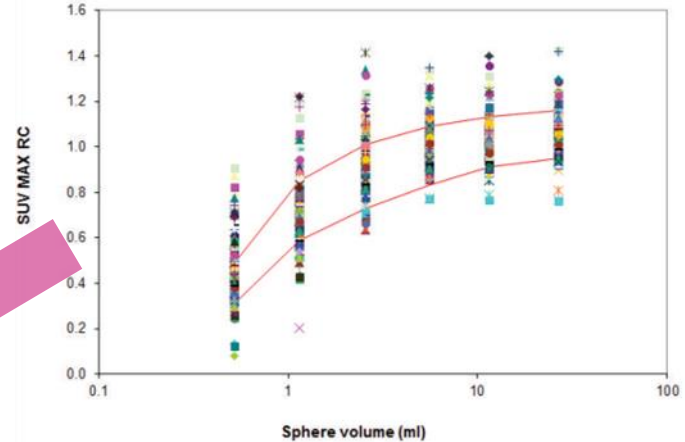
Harmonization

FDG PET/CT: EANM procedure guidelines for tumour imaging: version 2.0

Ronald Boellaard · Roberto Delgado-Bolton · Wim J. G. Oyen · Francesco Giammarile · Klaus Tatsch · Wolfgang Eschner · Fred J. Verzijlbergen · Sally F. Barrington · Lucy C. Pike · Wolfgang A. Weber · Sigrid Stroobants · Dominique Delbeke · Kevin J. Donohoe · Scott Holbrook · Michael M. Graham · Giorgio Testanera · Otto S. Hoekstra · Josee Zijlstra · Eric Visser · Corneline J. Hoekstra · Jan Pruim · Antoon Willemssen · Bertjan Arends · Jörg Kotzerke · Andreas Bockisch · Thomas Beyer · Arturo Chiti · Bernd J. Krause



Recovery coefficients +/- 10%



RESEARCH4LIFE[®]

Normalisierung: signal-to-blood standard uptake ratio (SUR)

AIF: Arterial input function

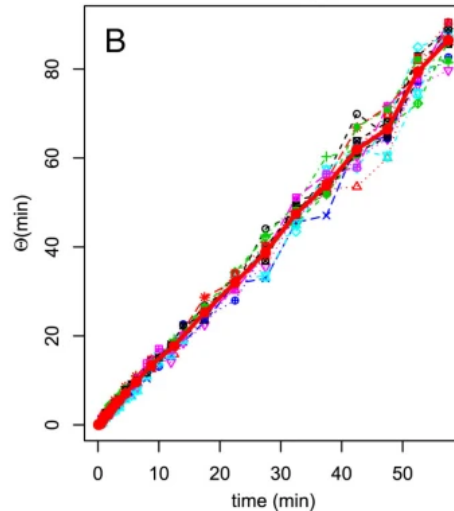
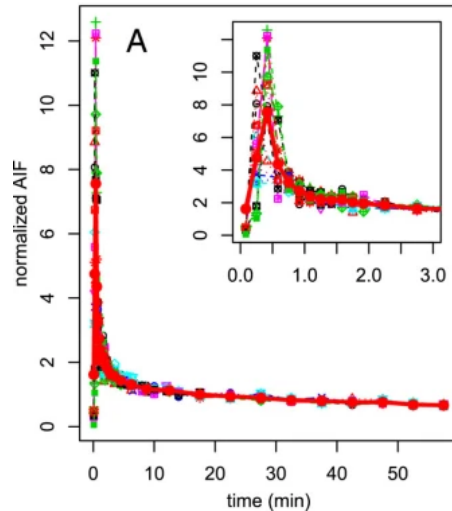
SUR: Standardize uptake ratio

c_{img} : activity concentration image (Voxel)

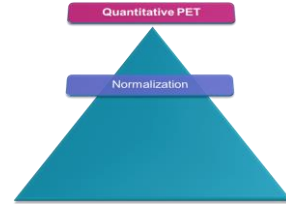
c_a : activity concentration arterial blood

$$\text{normalized AIF} = \frac{c_a(t)}{\bar{c}_a}$$

$$\Theta(t) = \frac{\int_0^t c_a(s) ds}{c_a(t)}$$

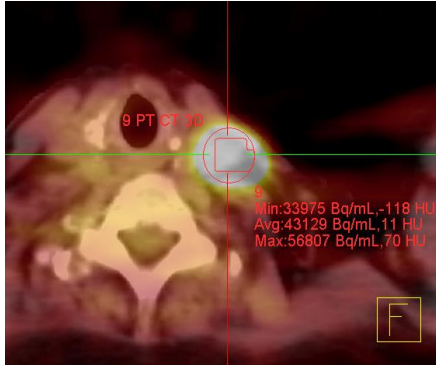


$$SUR(t) = \frac{c_{img}(t)}{c_a(t)}$$



van den Hoff, J., Oehme, L., Schramm, G. et al. The PET-derived tumor-to-blood standard uptake ratio (SUR) is superior to tumor SUV as a surrogate parameter of the metabolic rate of FDG. EJNMMI Res 3, 77 (2013). <https://doi.org/10.1186/2191-219X-3-77>

Unterschiede bei Gerätschaften beeinträchtigen die **Vergleichbarkeit!**



Patient X



**One Patient,
Differing Images:**

**Harmonization
required**

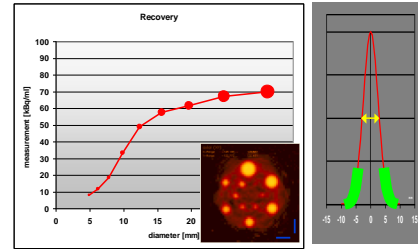
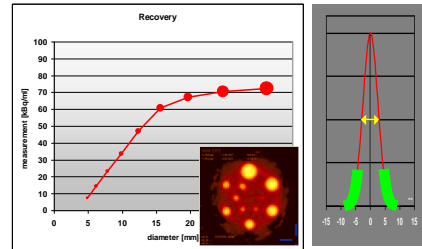
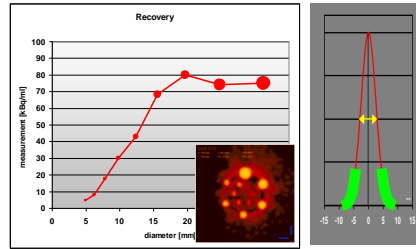
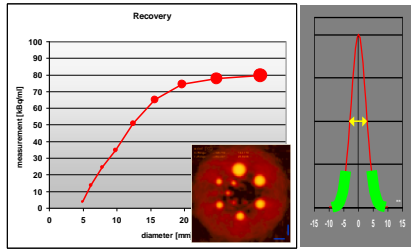
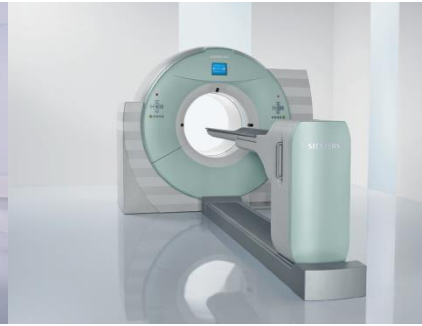
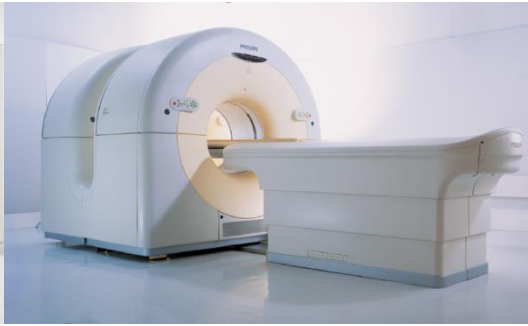


Biograph 16



mCT 128

Unterschiede bei Gerätschaften beeinträchtigen die Vergleichbarkeit!



Worin können sich bildgebende Systeme unterscheiden?

(Kurze) Physik der quantitativen Bildgebung

Die Bildqualität und dadurch Quantifizierbarkeit wird in ALLEN bildgebenden Systemen beeinträchtigt durch:

1. Bildrauschen
2. Unschärfe (Die echte räumliche Auflösung)
3. Sampling (Die vermeintliche räumliche Auflösung)
4. Quantisierung
5. Quantification (Metrics)

PET/CT is a quantitative measurement apparatus

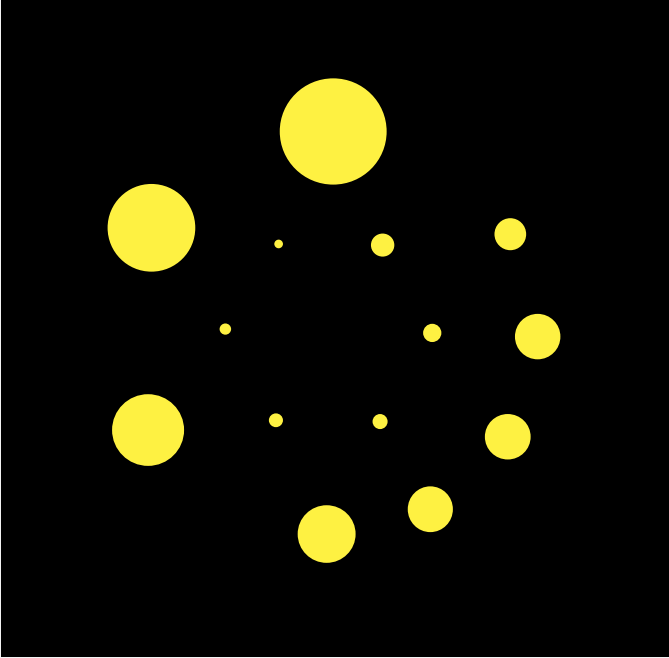
$$\text{Activity Concentration} = \frac{\text{Events}}{\text{Volume} \cdot \text{Time}}$$

However, certain measurement volume has to be defined. We cannot measure the activity concentration of an infinitesimally small point (Ideal sampling)

Because our detector crystals have a certain extent, we must cope with natural sampling and the imaging process* itself.

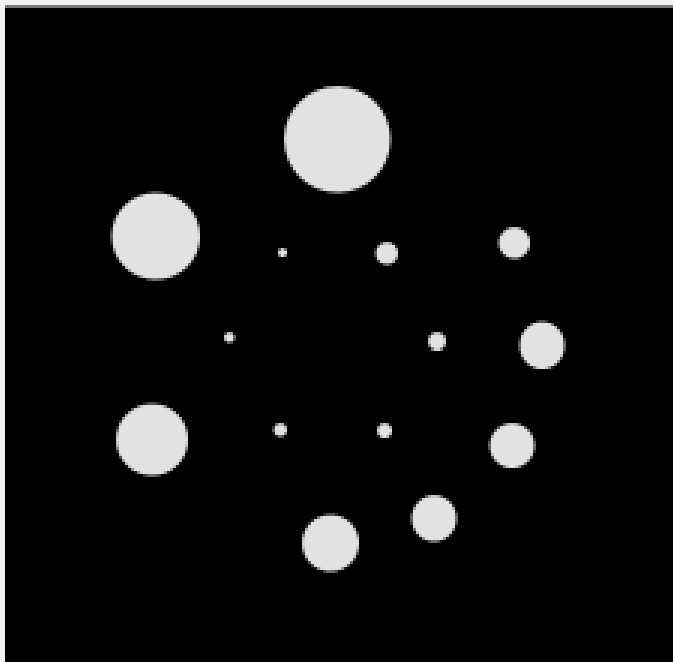
* P. B. Fellgett and E. H. Linfoot, "On the assessment of optical images," *Philos. Trans. R. Soc. London, Ser. A* **247**, 369–407 (1955).

Calibration Measurement



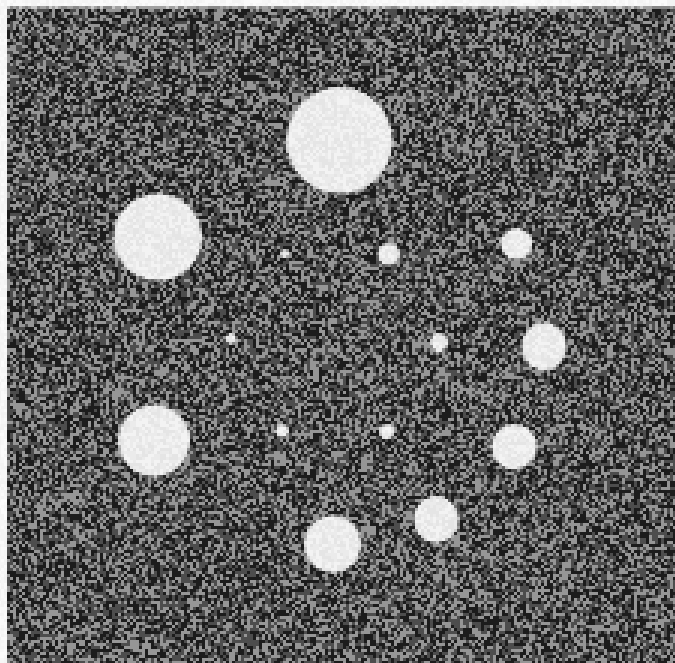
- **Noise**
- **Blur**
- **Sampling**
 - Quantization
- **Quantification**

Calibration Measurement



- Noise
- Blur
- Sampling
 - Quantization
- Quantification

Calibration Measurement



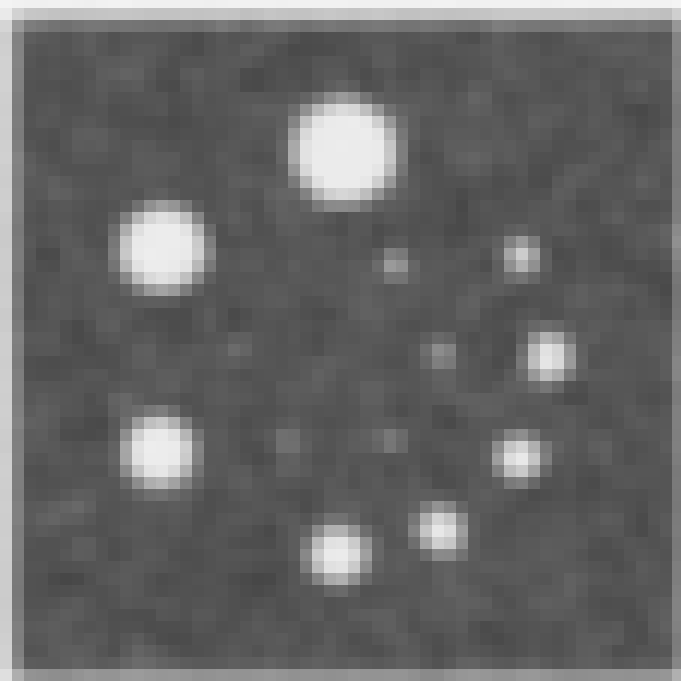
- Noise
- Blur
- Sampling
 - Quantization
- Quantification

Calibration Measurement



- μ
- σ
- Intensity
- Area
- Quantification

Case Study: The Power of Storytelling



- **Introduction**

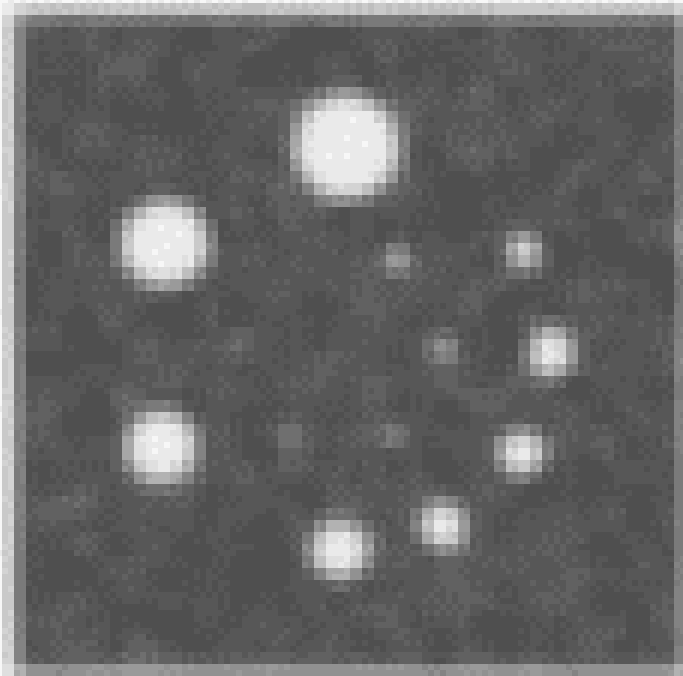
- **Storytelling**

- **Benefits**

- **Challenges**

- **Conclusion**

Systemic Inflammation and Immunity



Systemic Inflammation

Systemic Inflammation

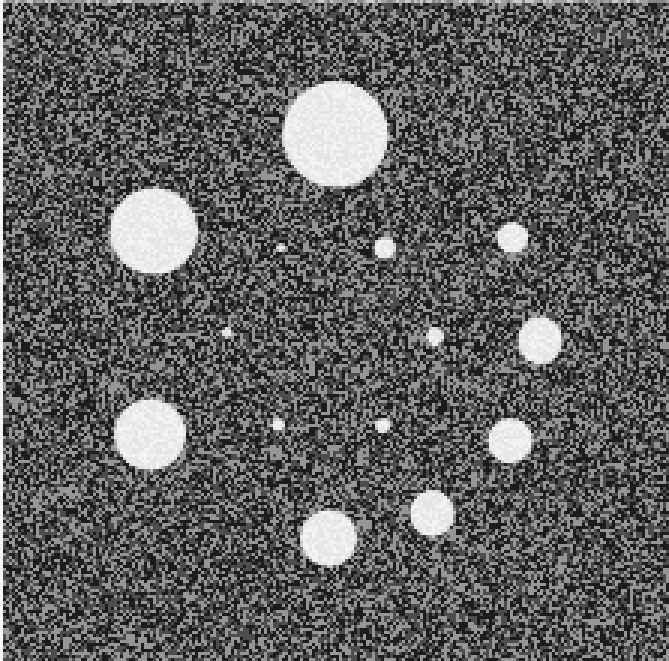
Systemic Inflammation

Systemic Inflammation

Systemic Inflammation

Bildrauschen

Calibration Measurement



- Noise
- Blur
- Sampling
 - Quantization
- Quantification

Bildrauschen

- Shot Noise (Walter Schottky, 1918): Poisson noise, photon noise
 - Independent occurrence of discrete events (Photons, decays, etc.)
 - Dark noise: Electronic noise, natural radioactivity, also Poisson statistics

$$SNR_{img} \propto \sqrt{s * r * t}$$

s: Sensitivity; r; count rate; t: acquisition duration

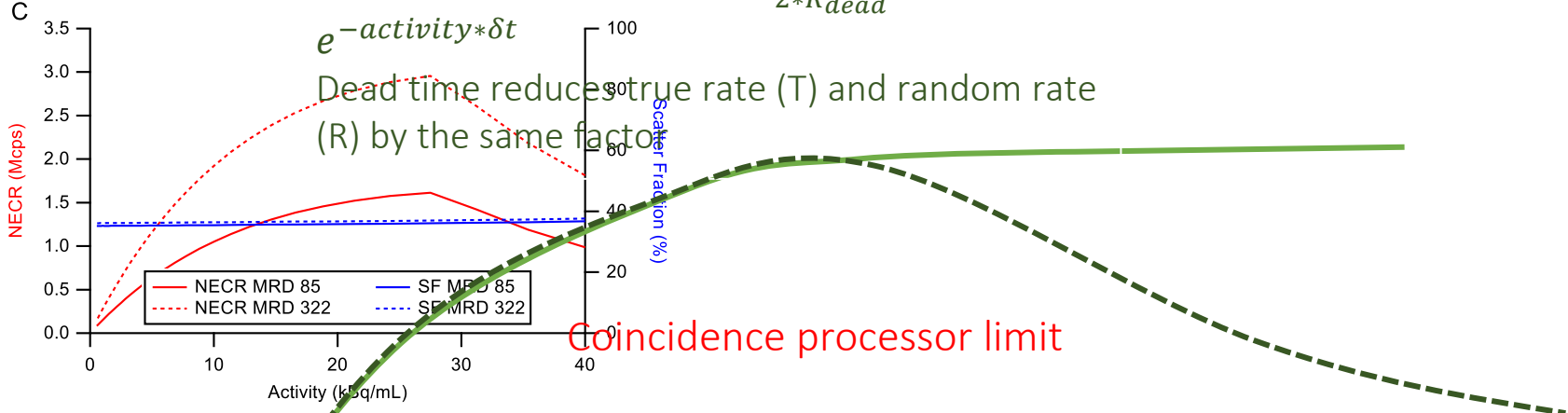
- Quantization noise: Analog-to-digital converter (*c.f.* quantization)
- Fixed pattern noise: Inhomogeneous mini blocks (Crystals)
- Anisotropic noise: Imaging systems with “preferred” directions

Bildrauschen: Noise equivalent count rate

With dead time δt : $NEC \rightarrow \frac{T_{dead}^2}{2 * R_{dead}} \rightarrow$

$e^{-activity * \delta t}$

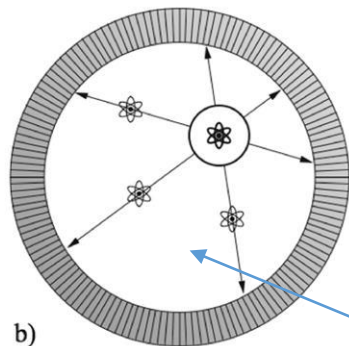
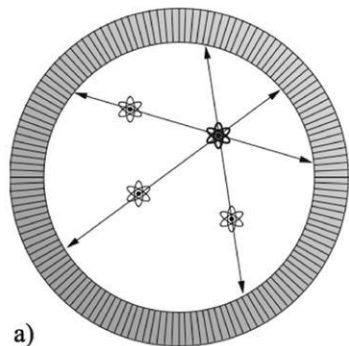
Dead time reduces true rate (T) and random rate (R) by the same factor



Coincidence processor limit

Image noise: TOF

Time of flight (TOF) reduces image noise by a factor f and improves the SNR, but it does not improve spatial resolution or other imaging parameters:



$$f = \frac{D}{\Delta x} = \frac{2D}{c\Delta t}$$

D: Source size
 Δx : Position error
 Δt : Timing error

Other LORs are excluded

Figure adapted from: Nucl Instrum Methods Phys Res A. 2007
Oct 1; 580(2): 919–924.
doi: [10.1016/j.nima.2007.06.038](https://doi.org/10.1016/j.nima.2007.06.038)

Unschärfe: Die echte räumliche Auflösung

Calibration Measurement

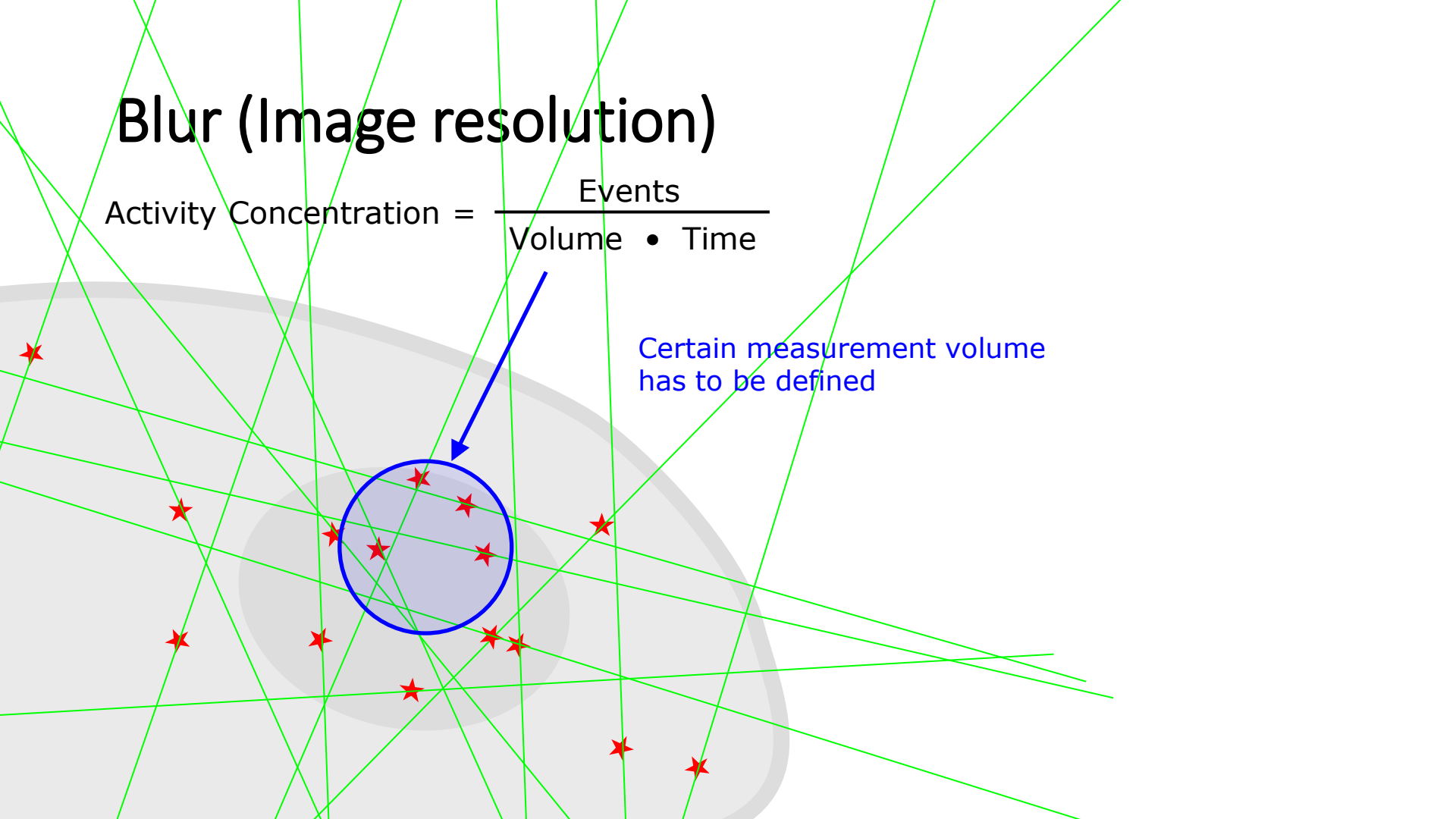


- Size
- Position
- Sampling
- Resolution
- Quantification

Blur (Image resolution)

$$\text{Activity Concentration} = \frac{\text{Events}}{\text{Volume} \cdot \text{Time}}$$

Certain measurement volume
has to be defined

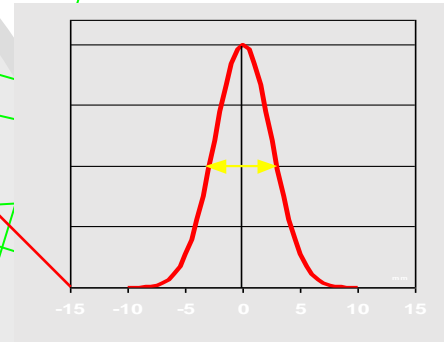


Blur

$$\text{Activity Concentration} = \frac{\text{Events}}{\text{Volume} \cdot \text{Time}}$$

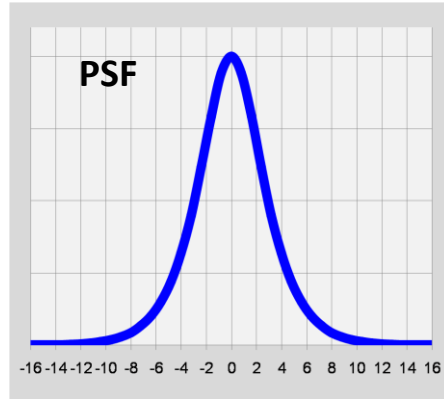
Minimal volume according to actual Point Spread Function of the tomographic system

Measured "Voxel" corresponds to weighted sum of events according to Point Spread Function



Blur

Imaging in terms of the point spread function: revisited in 3D



Point Spread Function (PSF)

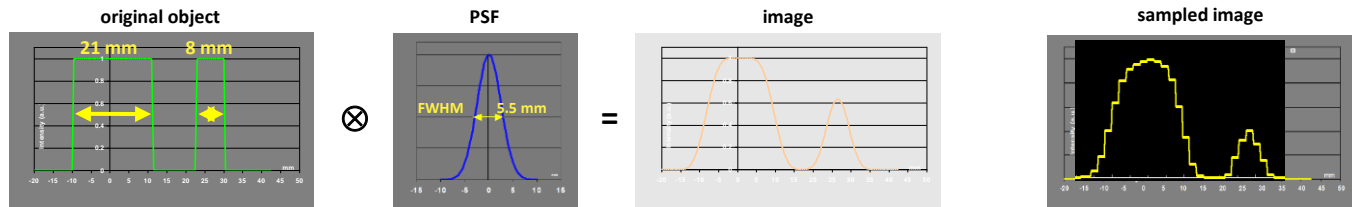
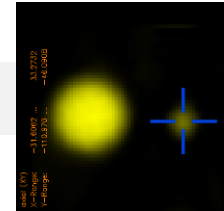
As imaging device a tomograph is characterized by its PSF.

In general PSFs are

- non Gaussian, mostly due to positron range
- anisotropic
- non stationary

The imaging process is represented in terms of

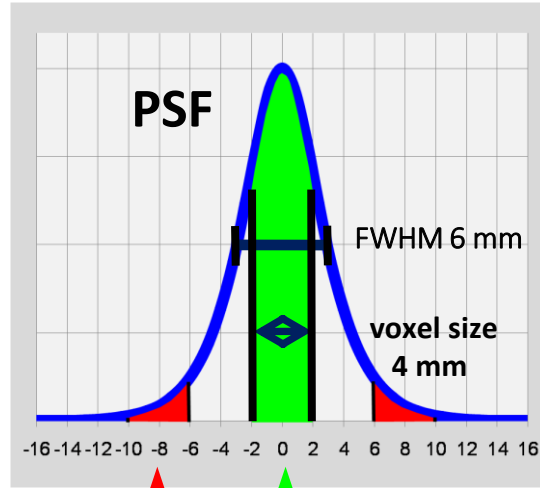
- **Convolution** employing a point spread function and
- **Sampling** to Pixels or Voxels



Imaging activity concentration along a line through two spheres.

Blur

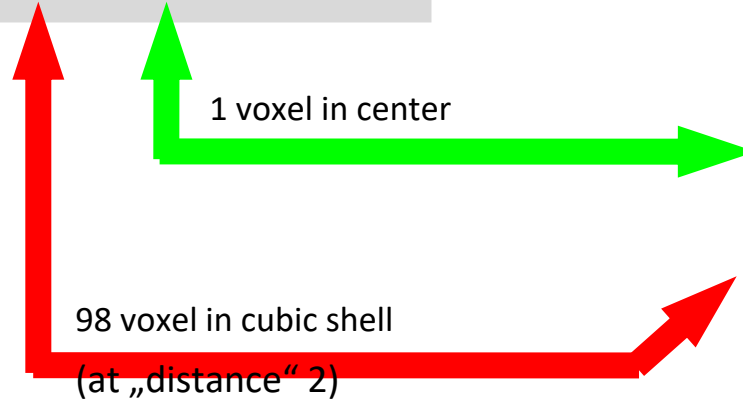
Imaging in terms of the point spread function: revisited in 3D



Point Spread Function (Example)

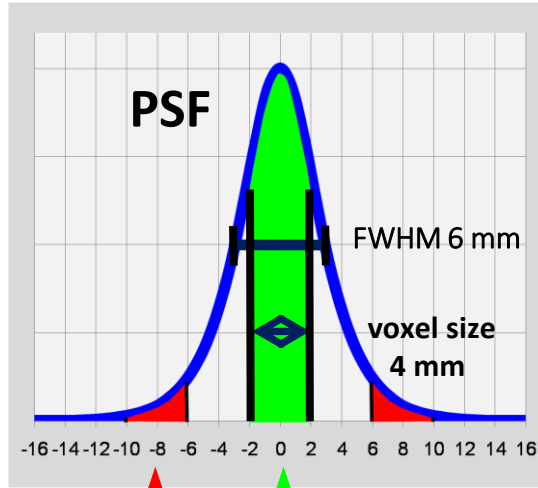
Voxels have to be smaller than full width at half maximum (FWHM).

The wings stretch out over a range of a few voxels causing “spill in” / “spill out” i.e. recovery loss due to **partial volume effect** (PVE).

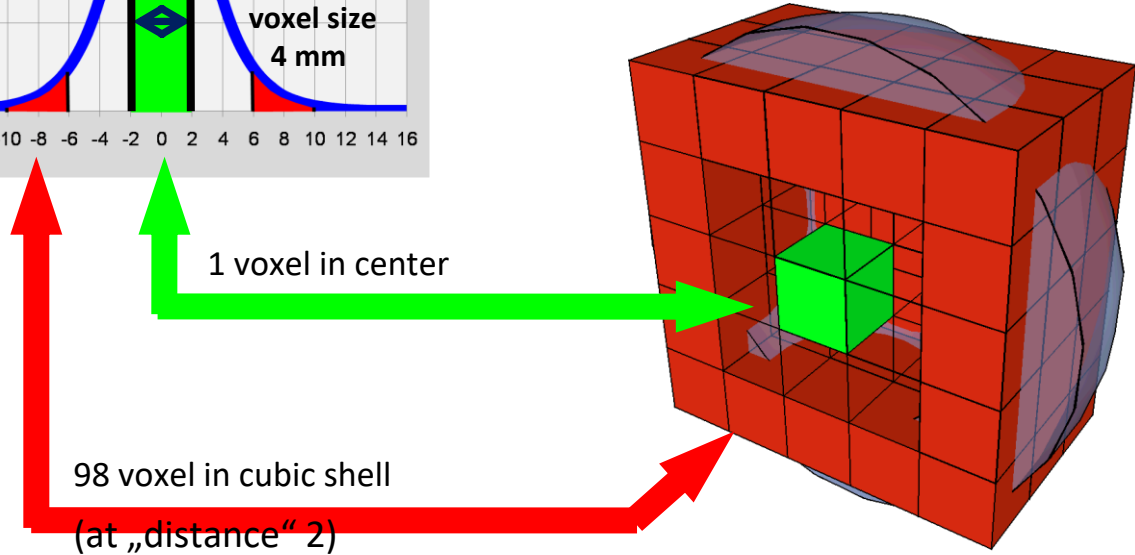


Blur

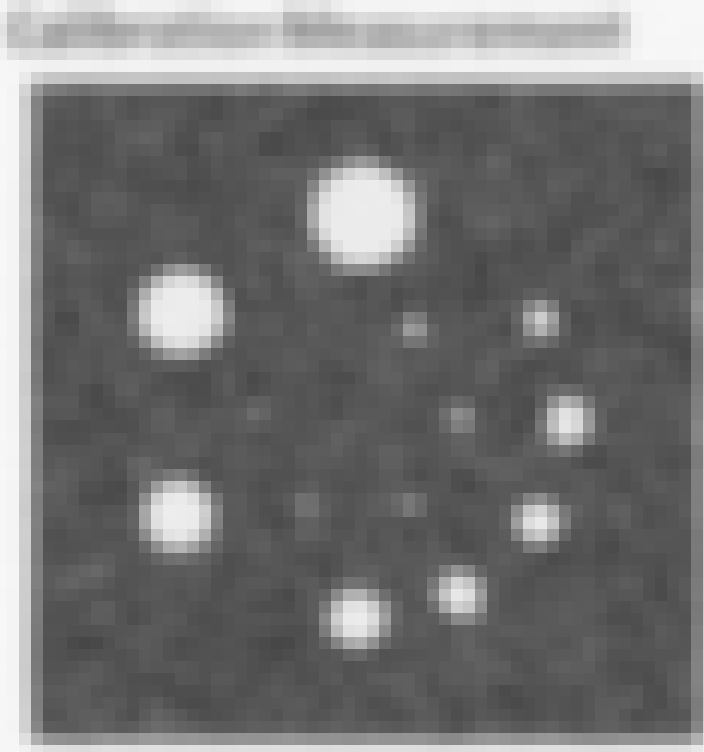
Imaging in terms of the point spread function: revisited in 3D



To characterize PVE the wings of the PSF are much more important than FWHM.



Sampling (Abtasten, Voxel): Die vermeintliche räumliche Auflösung



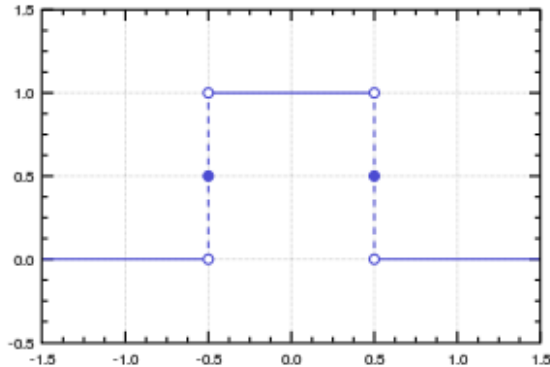
- [blurred text]
- [blurred text]
- [blurred text]
- [blurred text]
- [blurred text]

Sampling (Abtasten, Voxel): Gibbs Artefakte

Natural sampling introduces a rectangle function (boxcar function) $rect(x)$ as a *sampling function* to the image formation process. Natural sampling therefore can be understood as ideal sampling of a convolution of the image $f(x)$ with a sampling function, here the $rect$ function.

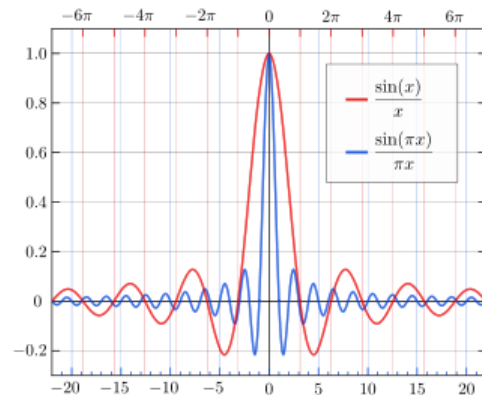
$$img(x) = obj(x) \circ psf(x) \circ rect(x)$$

$$rect(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } |x| > \frac{1}{2} \\ \frac{1}{2}, & \text{if } |x| = \frac{1}{2} \\ 1, & \text{if } |x| < \frac{1}{2} \end{cases}$$



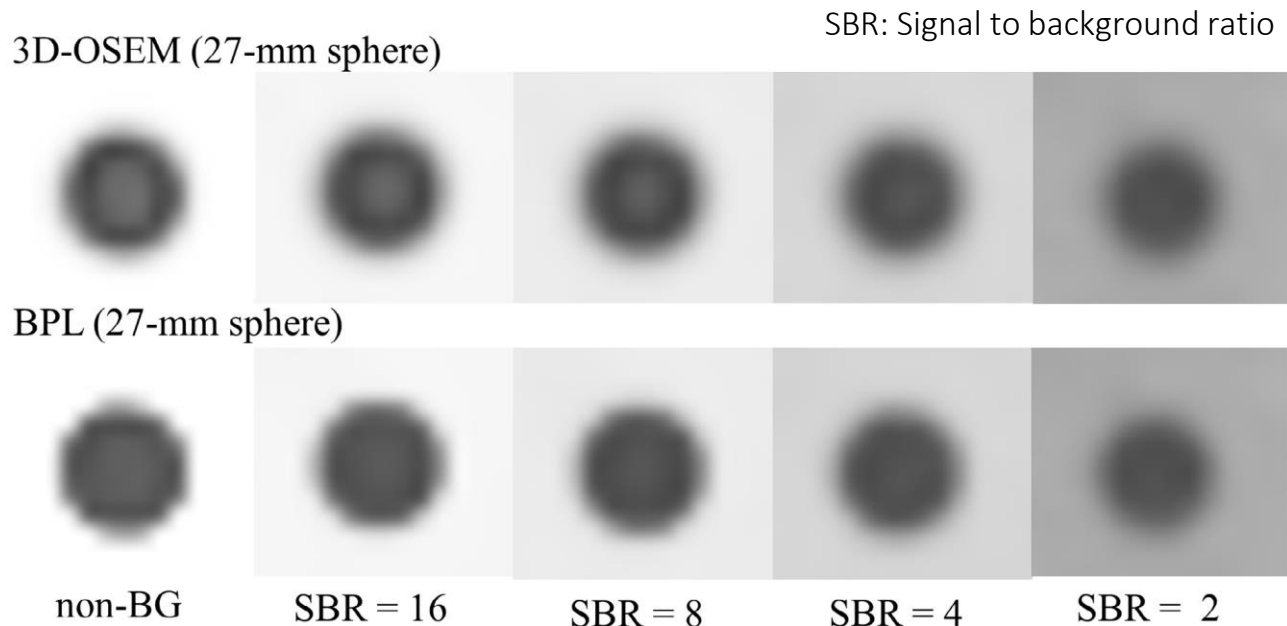
$$\mathcal{F}(rect(x)) = sinc(\xi)$$

$$sinc(\xi) = \frac{\sin(\pi\xi)}{\pi\xi}$$



Sampling (Abtasten, Voxel): Gibbs Artefakte

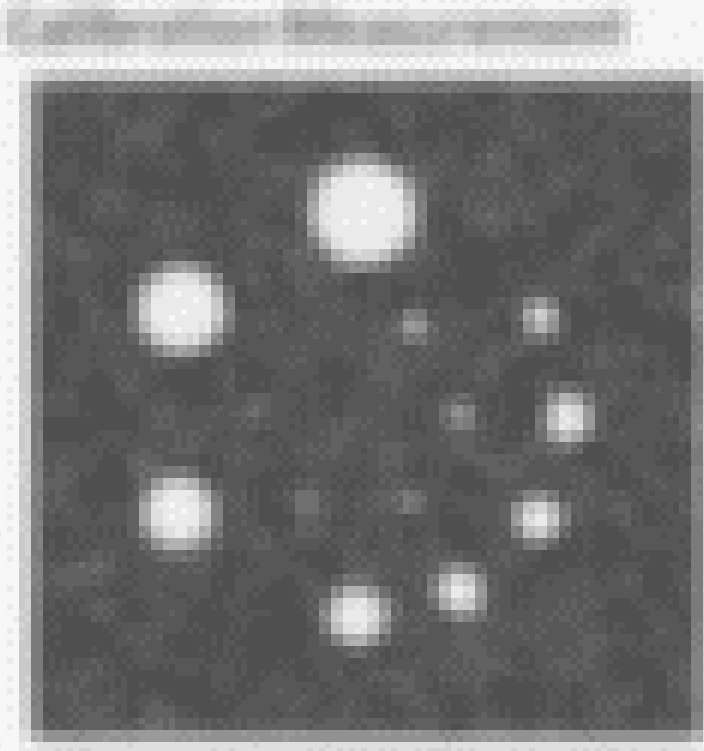
Geeignete Postrekonstruktions-Filter unterdrücken diese Artefakte



S. Yamaguchi, K. Wagatsuma, K. Miwa, K. Ishii, K. Inoue: **Bayesian penalized-likelihood reconstruction algorithm suppresses edge artifacts in PET reconstruction based on point-spread-function**

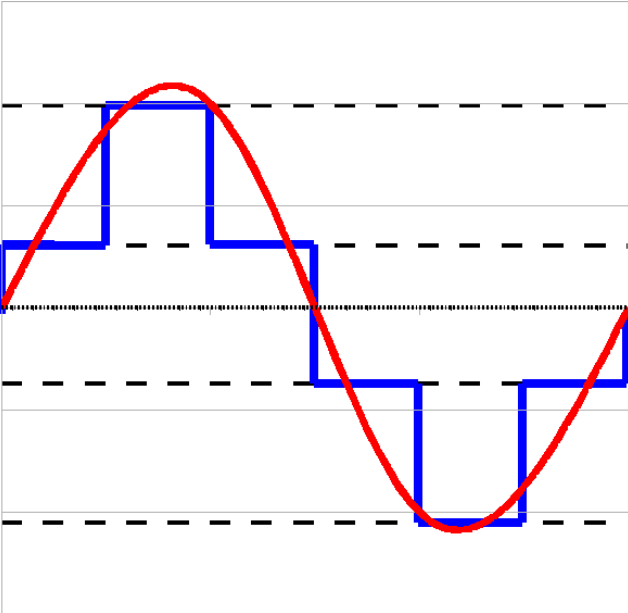
Phys Medica, 47 (2018), pp. 73-79

Quantisierung (Abtasten Signal)



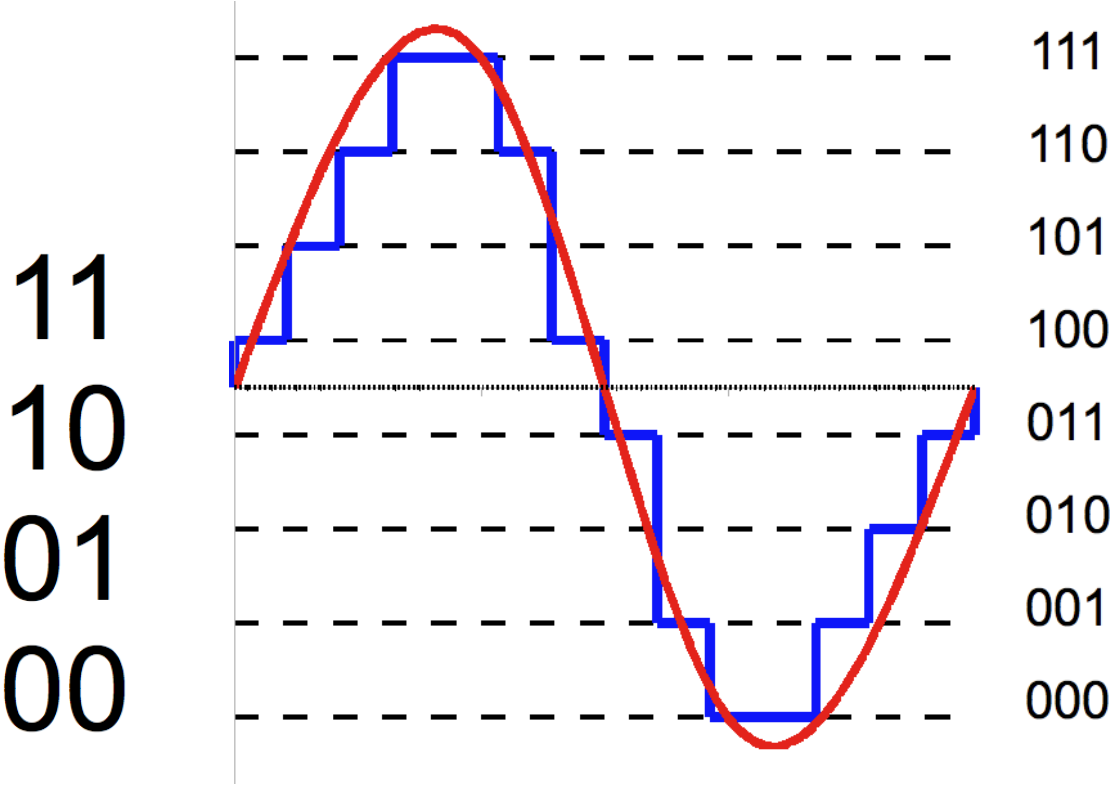
Quantisierung (Digitales Abtasten des Signals)

2-Bit Resolution



Source: Wikipedia

3-Bit Resolution



PET/CT images have usually 12 bit quantization

Zukunft der PET/CT und SPECT/CT

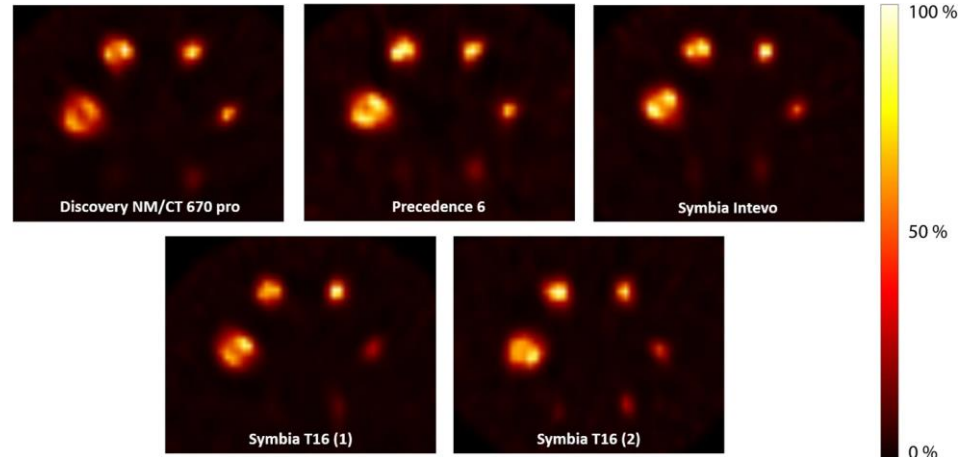
Qualitätskontrolle

1. Standardisierung quantitativer SPECT/CT
2. Neuartige PET/CT und SPECT Phantome
3. QA und QC für dedizierte PET und SPECT (Hirn-PET, Kardio-SPECT)
4. Präklinische PET und SPECT

1. Standardisierung quantitativer SPECT/CT

Quantitative SPECT/CT

- Dosimetrie
- Personalisierte Therapie mit Radionuklieden
- Dual Isotope Imaging



Schwierigkeiten

- Versch. Kollimatoren und Projektionen
- Aufwändigere Schwächungs- und Streukorrekturen als beim PET/CT
- Rekonstruktionsalgorithmen und Par...

Peters et al., *Towards standard multi-center and multi-vendor* [9]

Coming up soon
¹⁷⁷Lu SPECT/CT
Accreditation

RESEARCH4LIFE

Lu-177 EARL Quantitative SPECT

prototype

15Mar2022

0000 PETERSBURG, BERNE,
BIRMINGHAM, GENEVA, JYVASKYLÄ, LONDON, MADRID, MILAN,
MUNICH, NUREK, OSAKA, PARIS, PRAGUE, ROME, ST. PETERSBURG,
VIENNA, WASHINGTON, ZÜRICH

+43 (0)1 890 44 27 earl@eam.org
+43 (0)1 890 44 27-9 earl@eam.org

2. Neuartige PET/CT und SPECT Phantome mittels 3D-Druck

Phantommessungen für

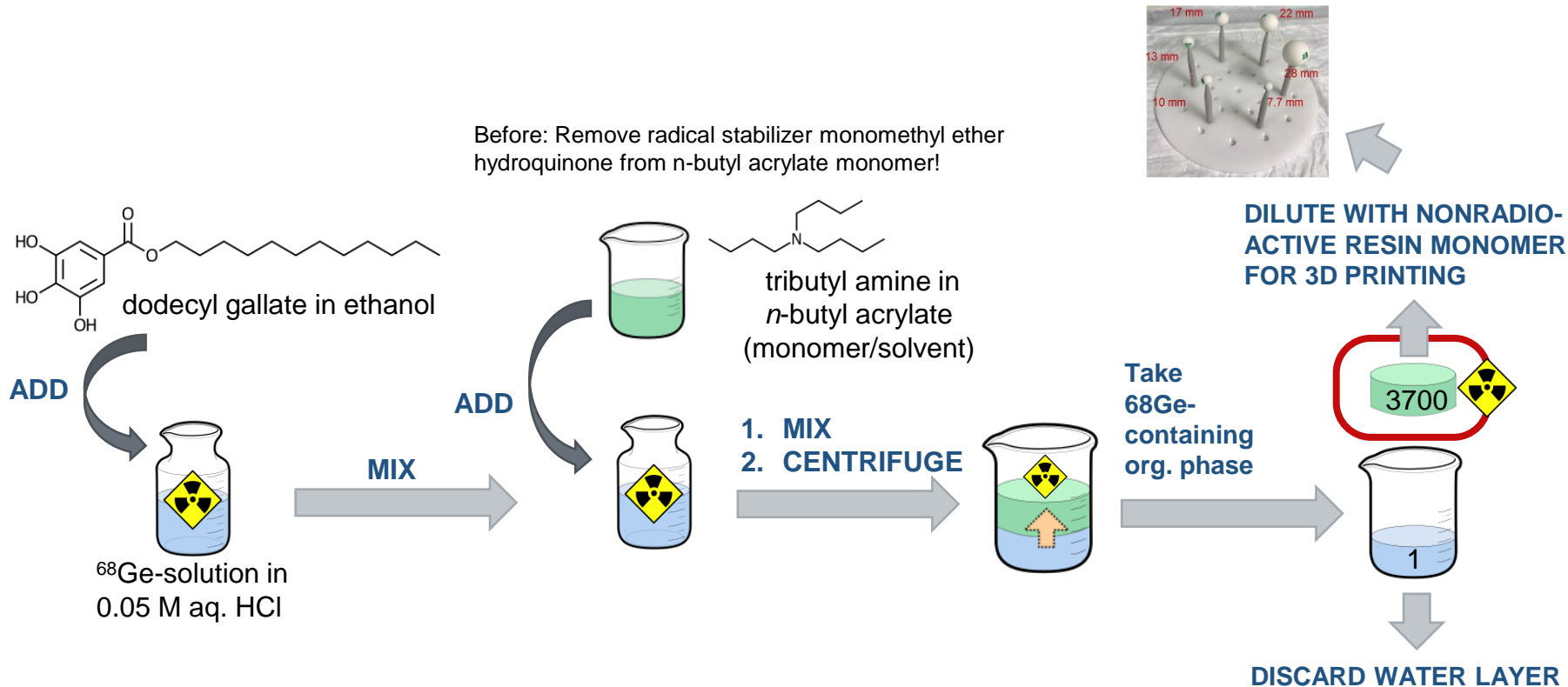
- Qualitätsmanagement
- Wiederholbarkeitsprüfungen
- Vergleichbarkeit

Probleme mit manuell befüllten Phantomen

- Strahlenschutz beim Befüllen
- Kurze Halbwertzeiten: Abfallende Zählraten!
- Artefakte durch nicht-radioaktive Wände
- Ungenauigkeiten durch das Befüllen!



2. Neuartige PET/CT und SPECT Phantome mittels 3D-Druck



Results: ^{68}Ge -extraction, SLA 3D printing and source tightness

1. ^{68}Ge -extraction

Radioactivity conc. ratio
organic/water: >3700:1

2. Stereo-lithography

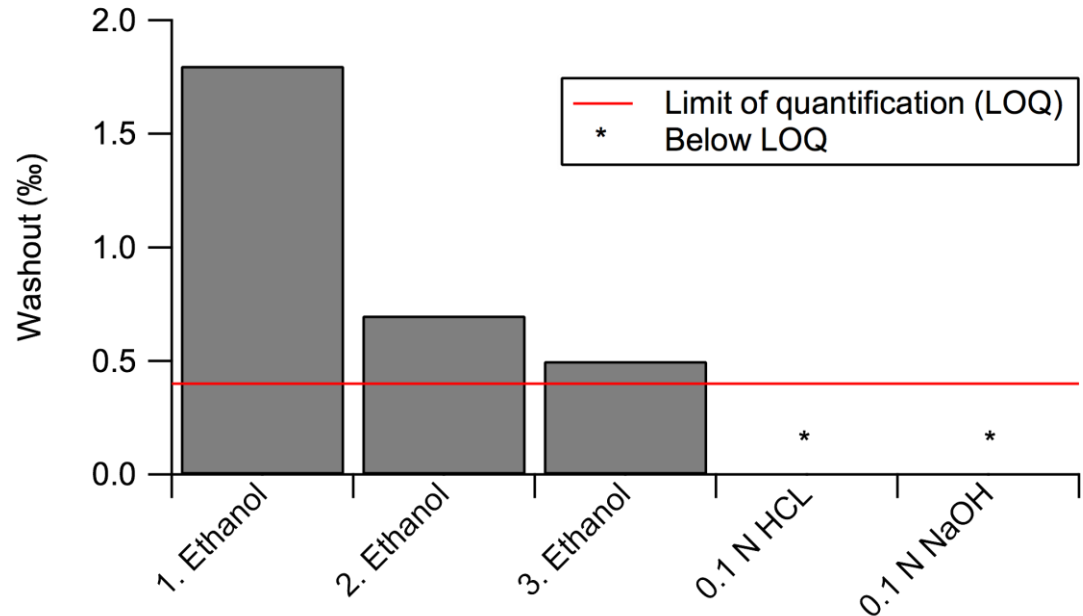


3D print,
Ge-68

3. Safety: Wipe Test

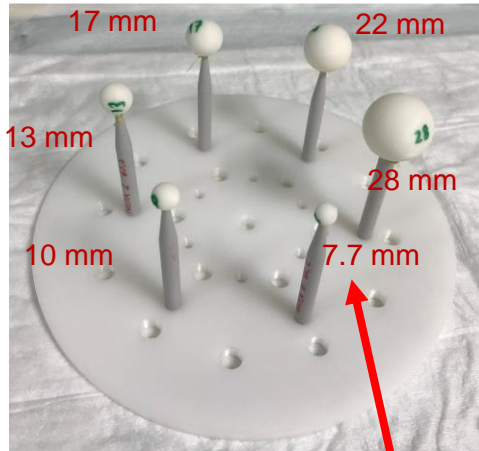
- 5x Water: Below LOQ
- 5x Ethanol: Below LOQ

4. Enhanced Safety Test: Washout at 50°C, 1h

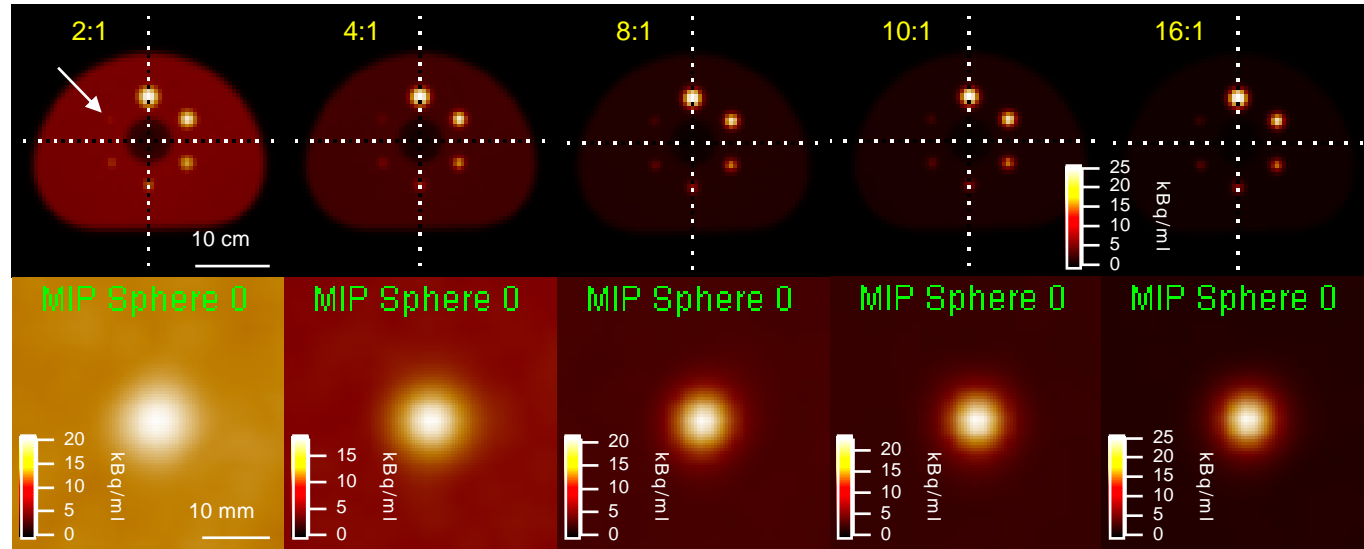


Results: PET/CT and homogeneity measurements

⁶⁸Ge NEMA Phantom with
⁶⁸Ga Background



Smaller sphere!



Recon Algorithm: PSF TOF	Matrix: 440 x 440	Iterations / Subsets: 4 / 5	Post-recon filtering: 4.8 mm Gauss
------------------------------------	-----------------------------	---------------------------------------	--

Take home message

Qualitätssicherung in der Nuklearmedizin...

- Stellt sicher, dass der Patient das beste Bild für seine Strahlenbelastung bekommt
- Ist wichtig für vergleichbare und quantifizierbare Bilder
- Muss den gesamten bildgebenden Prozess beinhalten
- Muss sich ständig weiterentwickeln und sich an den technologischen und medizinischen Fortschritt anpassen
- Sollte das klinische Produkt, nämlich das **PET- oder SPECT-Bild**, miteinbeziehen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Auch grossen Dank an das gesamte Team der NUK des Inselspitals

