

**Abschlussbericht zum  
Ressortforschungsvorhaben  
3617S42443**

Erhebung von Häufigkeit und Dosis  
nuklearmedizinischer Untersuchungsverfahren

Auftragnehmer: Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH

Autoren: M. Borowski, L. Pirl

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung der Auftraggeberin (die Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit) übereinstimmen.

## Kurzzusammenfassung

Aufgrund des Deutschen Strahlenschutzgesetzes aber auch aus übergeordneten Fragen des Strahlenschutzes ist eine regelmäßige Sichtung der Häufigkeit und Strahlenexposition nuklearmedizinischer Untersuchungen in Deutschland erforderlich. Die letzte umfassende Analyse wurde auf der Basis der Daten durchgeführt, die für die Jahre 2007 und 2008 erhoben worden waren. Die damalige Erhebung umfasste Daten zur Häufigkeit von Untersuchungen sowie den applizierten Aktivitäten. Daten zur computertomographischen (CT) Begleitdiagnostik bei der Hybridbildgebung wurden nicht erhoben.

Für die Kalenderjahre 2016 und 2017 wurden im Rahmen der vorliegenden Studie erneut Daten zu nuklearmedizinischen Untersuchungen erhoben. Der Datensatz orientierte sich an demjenigen der Vorläuferstudie, wurde jedoch an einigen Stellen erweitert. Insbesondere wurden erstmalig strukturiert Daten zur CT-Begleitdiagnostik bei PET/CT- und SPECT/CT-Untersuchungen erhoben. Daten zu Untersuchungshäufigkeiten sowie den verwendeten Radiopharmaka und applizierten Aktivitäten wurden als Gesamterhebung über beide Jahre erfasst. Daten zu computertomographischen Untersuchungen wurden weitgehend als Stichprobe zusammengetragen. Es stellte sich heraus, dass die Erhebung der benötigten Daten in etlichen Einrichtungen weiterhin mit einem relevanten Personalaufwand verbunden ist. Insbesondere die Dosisdaten zur CT-Begleitdiagnostik liegen in den meisten Einrichtungen nicht elektronisch auswertbar vor.

An der Erhebung wirkten 71 Einrichtungen mit, die Deutschland in der Fläche abdecken und den städtischen und ländlichen Raum sowie die ambulante und stationäre nuklearmedizinische Versorgung berücksichtigen. Die Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen wurde anhand von etwa 460.000 Datensätzen, die Strahlenexposition durch nuklearmedizinische Verfahren anhand von etwa 390.000 Datensätzen und die CT-Diagnostik anhand von etwa 35.000 Datensätzen analysiert.

Schilddrüsen- und Skelettuntersuchungen sind weiterhin die häufigsten Untersuchungen. Beide Bereiche sind in der relativen Häufigkeit im Vergleich zum Datensatz der Vorläuferstudie jedoch um etwa 22% rückläufig. Dem entgegen hat sich das Gewicht von PET-Untersuchungen mehr als verdoppelt. Neben F-18 basierten Tracern wurden in den Untersuchungen mit 3,5% vergleichsweise häufig Ga-68 basierte Untersuchungen beobachtet.

Es lassen sich geschlechtsspezifisch deutliche Unterschiede in den Untersuchungsverteilungen feststellen. Untersuchungen der Schilddrüse und Nebenschilddrüse werden bei Frauen etwa dreimal so häufig durchgeführt wie bei Männern. Auch bei Skelettuntersuchungen überwiegen Frauen mit einem Verhältnis von etwa 1,5 : 1. Männer sind bei Un-

tersuchungen des Herzens oder Gehirns führend. Die Untersuchungsverteilungen in Abhängigkeit vom Versicherungs- sowie Aufnahmezustand der Patienten haben sich unter Berücksichtigung der sonstigen Änderungen wenig verändert. Die Zusammensetzung durchgeführter Untersuchungen ist stark vom Alter der Patienten sowie dem Typ der leistungserbringenden Einrichtung abhängig. Im Unterschied zur Vorläuferstudie erfolgten in der aktuellen Erhebung etwa ein Viertel der Untersuchungen durch Hybridbildgebung.

Die mit nuklearmedizinischen Untersuchungen einhergehende Strahlenexposition wurde in der aktuellen Studie im Mittel mehr als 25% niedriger ermittelt als in der Vorläuferstudie. Der Hauptgrund liegt in Änderung der von der ICRP publizierten Dosiskoeffizienten. Zudem bestehen z.B. bei Untersuchungen des Gehirns oder Ganzkörpers Änderungen in den verwendeten Radiopharmaka. Ein Rückgang in der applizierten Aktivität konnte hauptsächlich bei PET-Untersuchungen beobachtet werden. Auch bei einer im Mittel guten Übereinstimmung der dokumentierten Aktivitäten mit den aktuellen diagnostischen Referenzwerten, sind bei einigen Untersuchungen deutliche Unterschiede zwischen den Einrichtungen zu beobachten. In Einzelfällen liegen die in Einrichtungen dokumentierten Aktivitäten im Mittel oberhalb der aktuell spezifizierten Höchstwerte.

Das Gewicht von Kindern wird bei der applizierten Aktivität im Mittel entsprechend der Vorgaben der EANM sowie der aktuellen diagnostischen Referenzwerte berücksichtigt. Im Einzelfall sind jedoch große Unterschiede festzustellen. Bei Erwachsenen wird das Gewicht nur von wenigen Einrichtungen systematisch bei der Festlegung zu applizierender Aktivitäten berücksichtigt.

Aufgrund von Änderungen in der Häufigkeit der Durchführung wurden zahlreiche Untersuchungen ermittelt, für die bei vergleichsweise großer Häufigkeit aktuell keine Orientierungswerte für die zu applizierende Aktivität existieren. Teilweise wurden hier zwischen Einrichtungen Unterschiede in den applizierten Aktivitäten beobachtet, die über einen Faktor drei hinausgehen.

Für die CT-Bildgebung im Zusammenhang mit PET/CT- und SPECT/CT-Untersuchungen konnten von zahlreichen Einrichtungen Dosisdaten zusammengetragen werden. Die Dosiswerte bewegen sich im Mittel auf dem Niveau der Daten, die in 2018 für die Schweiz publiziert wurden. Die Verteilungen sind vielfach jedoch breit. Mittlere Expositionswerte für die Untersuchung gleicher Körperregionen unterscheiden sich zwischen Einrichtungen um bis zu mehr als einen Faktor 8. Insbesondere überlappen die Verteilungen der mittleren Dosiswerte von Untersuchungen die in Einrichtungen als „low-dose“-CT bezeichnet werden mit denen diagnostischer CT-Untersuchungen der gleichen Körperregionen. Dem unbenommen liegen die Dosiswerte vielfach deutlich unter denjenigen vergleichbarer Untersuchungen der Röntgendiagnostik.

## Abstract

Diagnostic imaging is the main source of human made radiation exposure. Thus, a continuous supervision of the frequency of studies and their corresponding exposure is important. In Germany, by law, the German Federal Office for radiation Protection is asked to supervise the use of ionizing radiation. The last national survey on frequency and radiation exposure was based on data from the years 2007 and 2008. Within that study, data on computed tomography scans being performed in hybrid imaging have been neglected.

The previous study, now, has been repeated based on data from 2016 and 2017. Data differentiation, which was used within the previous study, was considered as starting point and has been extended to include current topics, e.g. with respect to sentinel lymph node imaging. Further, dose data from CT imaging in PET/CT and SPECT/CT studies were added. Data on frequencies, the use of radiopharmaceuticals as well as applied activities were collected for each site for the whole period. Data on CT imaging were based on samples of sufficient size in most sites. The different approach resulted from the fact that the collection of CT dose data still is a very laborious manual task, in contrast to frequency and activity data that could be collected automatically in most sites nowadays. Even though, it turned out that information technological (IT) systems do not perform on the same level as in radiation diagnostics in many sites, making such studies still laborious.

Data from 71 sites were gathered for this study. The sites cover the area of Germany, including urban and rural areas as well as stationary and ambulant medical care. For the analysis of study frequencies about 460,000 datasets were available. The analysis of the nuclear medicine dose data is based on approximately 390,000 datasets. To study CT, doses 35,000 datasets were available.

Thyroid and skeletal examinations are still the most frequent tasks in nuclear medicine imaging. Both tasks, however, showed a decline in frequency of about 22% compared to the previous study. In contrast, frequency of PET studies raised more than twofold between both studies. F-18 based studies are still the most prominent group in PET imaging. A second group of about 3.5% evolved, belonging to imaging based on Ga-68 radiopharmaceuticals.

A clear gender dependence of certain examinations was observed. Studies of the thyroid and para-thyroid are performed about three times more frequent in women than in men. In skeletal imaging women are overrepresented, too, with a frequency distribution of 1.5 : 1. Studies of the heart and brain, however, are more frequent in men.

Frequency distributions of organ examinations showed no relevant changes from the previous study with respect to health insurance status or the admission status (hospitalisation / ambulant). Patient age as well as institution type, however, showed a clear influence on the distribution of examined organs. In addition, in clear contrast to the previous study, about one fourth of all examinations have been performed in hybrid imaging technique within the data sample of the current study.

The radiation exposure from nuclear medicine studies was found to be about 25% lower than in the previous study. The change, predominantly, results from changes in dose conversion factors that are published from ICRP. In addition, for some organs, e.g. brain and oncologic whole body imaging, new tracers became into use, leading to lower radiation exposure nowadays. A relevant reduction of applied activities has been observed in PET imaging, only. The average of applied activities reproduces the current national diagnostic reference levels well. For individual sites, however, clear deviations are observed. Few sites even apply, on average, activities above the specified maximum level.

On average the weight is considered according to the recommendation of the EANM dosage card as well as the German national diagnostic reference levels for activity application for examinations on children. However, relevant deviations from the average are observed on individual site level.

Several nowadays quite frequent examinations lack guiding reference levels. Within this group the inter-site variation of applied activities is up to more than a factor three in certain cases.

It was possible to collect CT dose values for a relevant number of sites for PET/CT and SPECT/CT imaging. Average dose values for examinations of corresponding body regions are similar to those published from a Swiss national survey in 2018. Distributions within the current study are wide, however. Average exposure values for examinations of the same body part differ up to more than a factor 8 between different sites. In particular, distributions of “low-dose” examinations and those assigned to the “diagnostic” imaging group overlap clearly for equal body parts. However, in general, dose values from CT scans in hybrid imaging are below corresponding values in radiation diagnostics for similar body parts.

## Inhaltsverzeichnis

Kurzzusammenfassung.....	3
Abstract .....	5
Inhaltsverzeichnis.....	7
<b>1 Ausgangslage .....</b>	<b>9</b>
<b>2 Aufgabenstellung.....</b>	<b>11</b>
<b>3 Rekrutierung und Datenerhebung .....</b>	<b>16</b>
3.1 Rekrutierung von nuklearmedizinischen Einrichtungen.....	16
3.1.1 Vorgehen zur Rekrutierung.....	16
3.1.2 Ergebnis der Rekrutierung .....	18
3.2 Datenerhebung .....	21
3.2.1 Häufigkeits- und nuklearmedizinische Dosisdaten.....	21
3.2.2 Computertomographische Dosisdaten .....	23
3.3 Konkretisierung und Erweiterung des Parametersatzes .....	24
3.3.1 Häufigkeits- und nuklearmedizinische Dosisdaten.....	24
3.3.2 Computertomographische Dosisdaten .....	30
3.4 Datenaufbereitung und Datenanalyse .....	32
3.4.1 Aufbereitung der Häufigkeits- und nuklearmedizinische Dosisdaten.....	33
3.4.2 Aufbereitung computertomographischer Dosisdaten .....	36
3.4.3 Datenanalyse.....	36
3.5 Verteilungsparameter mitwirkender Einrichtungen .....	37
<b>4 Resultate .....</b>	<b>40</b>
4.1 Häufigkeitsdaten .....	40
4.1.1 Allgemeine statistische Daten .....	40
4.1.2 Verwendete Radionuklide und Radiopharmaka.....	44
4.1.3 Daten zu untersuchten Organsystemen.....	45
4.1.4 Häufigkeit des Einsatzes verschiedener Modalitäten.....	56
4.2 Nuklearmedizinische Dosisdaten .....	58
4.2.1 Effektive Dosis bei der Untersuchung von erwachsenen Patienten.....	58
4.2.2 Gewichtsabhängigkeit applizierter Aktivität bei Erwachsenen.....	65
4.2.3 Gewichtsabhängigkeit applizierter Aktivität bei Kindern.....	69
4.2.4 Aktivitätsverteilungen typischer Untersuchungen .....	74
4.3 Computertomographische Dosisdaten .....	83
4.3.1 Computertomographische Expositionsdaten von PET/CT Untersuchungen .....	90
4.3.2 Computertomographische Expositionsdaten von SPECT/CT Untersuchungen .....	97
<b>5 Diskussion.....</b>	<b>101</b>

---

5.1	Datenerhebung .....	101
5.2	Verteilungsparameter der Datengesamtheit .....	104
5.3	Häufigkeitsdaten .....	105
5.4	Nuklearmedizinische Dosisdaten .....	107
5.5	Computertomographische Dosisdaten .....	108
<b>6</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>110</b>
<b>7</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>111</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>112</b>
	Anlage A: exemplarische Informationsmaterialien über das Vorhaben .....	115
	Anlage B: Radiopharmaka .....	117
	Anlage C: Anteil der Aktivität, der nach der Applikation in Spritzen zurückbleibt .....	120
	Anlage D: Altersverteilung der Population der Erhebung .....	121
	Anlage E: Daten zu Häufigkeitsverteilungen .....	122
	Anlage F: Daten zur Strahlenexposition durch nuklearmedizinische Untersuchungen.....	133

## 1 Ausgangslage

Die medizinische Anwendung ionisierender Strahlung trägt zu einem relevanten Teil der Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland bei. Ihre Anwendung ist somit regelmäßig zu prüfen und zu optimieren. Hierin liegt eine der Aufgaben des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS). Gemäß §125(3) Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) ist regelmäßig die medizinische Strahlenexposition der Bevölkerung und ausgewählter Bevölkerungsgruppen zu ermitteln. Zudem sind zur Orientierung der Anwender diagnostische Referenzwerte (DRW) gemäß §125(1) StrlSchV zu erstellen.

Innerhalb der Nuklearmedizin sind DRW gemäß §1(4) StrlSchV empfohlene Aktivitätswerte bei der Anwendung radioaktiver Stoffe am Menschen. Im Einzelfall dürfen diese Werte durchaus überschritten werden. Eine beständige Überschreitung ist gleichwohl zu begründen. Gleichermaßen ist eine deutliche Unterschreitung der DRW möglich. Es ist jedoch sicherzustellen, dass die Bildqualität auch bei der verringerten Aktivität für den klinischen Anwendungszweck ausreichend gut ist. In der Nuklearmedizin ändern sich Aktivitäten, die für unterschiedliche Untersuchungen verwendet werden, im zeitlichen Verlauf nicht so stark, wie entsprechende Dosiswerte innerhalb der Röntgendiagnostik. Dennoch gibt es gute Gründe, in regelmäßigen Abständen die Häufigkeit von Untersuchungen sowie die jeweils applizierten Aktivitäten zu erfassen:

1. Diagnostische Referenzwerte machen nur für solche Untersuchungen Sinn, die entweder häufig sind oder mit einer erhöhten Strahlenexposition einhergehen. Eine regelmäßige Erhebung von Untersuchungshäufigkeiten ermöglicht es, festzustellen, ob bislang berücksichtigte Untersuchungen nicht mehr in relevanter Häufigkeit erbracht werden und anstelle dieser zukünftig andere Untersuchungen berücksichtigt werden sollten.
2. Änderungen in der Gerätetechnik oder der konkreten Anwendung führen dazu, dass sich die Höhe applizierter Aktivitäten über einen längeren Zeitraum hinweg ändert.
3. Weiterentwicklungen im Bereich radiopharmazeutischer Tracer eröffnen neue Anwendungsgebiete oder effizientere Untersuchungen von bestehenden Fragestellungen.

Im Rahmen der letzten bundesweiten Erhebung von Werten zu nuklearmedizinischen Untersuchungen waren Untersuchungsdaten von insgesamt 25 Kliniken und 23 Praxen aus den Jahren 2007 und 2008 betrachtet worden, s. [1]. Die ermittelten Daten bildeten seinerzeit die Grundlage für die aktuell gültigen DRW im Bereich der Nuklearmedizin [2]. Die Daten sind mittlerweile nicht mehr aktuell.

Innerhalb der vorliegenden Studie ergab sich über Erfassung applizierter Aktivitäten und der Häufigkeit von nuklearmedizinischen Untersuchungen hinaus eine weitergehende Fragestellung: Bisher gibt es faktisch keine Orientierungswerte für die computertomographische Diagnostik, die im Rahmen der Hybridbildgebung zur Schwächungskorrektur, anatomischen Koregistrierung sowie auch mit diagnostischen Fragestellungen bei der Positronenemissionstomographie (PET) sowie der Einzelphotonenemissionstomographie (SPECT<sup>1</sup>) eingesetzt wird. Es war das Ziel der Studie, hier erste Orientierungswerte zu ermitteln.

---

<sup>1</sup> Englisch: Single photon emission tomography

## 2 Aufgabenstellung

Das BfS beabsichtigte mit dem vorliegenden Vorhaben aktuelle Daten über die Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungsverfahren in Abhängigkeit der Art der Untersuchung, dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Untersuchung sowie deren Geschlecht, den applizierten Radiopharmaka und Aktivitäten und möglichst auch deren Versicherungsstatus über einen Zeitraum von zwei Jahren hinweg möglichst lückenlos zu erheben. Die Auswahl der an der Erhebung beteiligten nuklearmedizinischen Einrichtungen sollte für Deutschland möglichst repräsentativ sein. Hierzu sollten die berücksichtigten Einrichtungen

- a) Deutschland geographisch abdecken,
- b) Großstädtische und ländliche Regionen berücksichtigen,
- c) Universitäre und nichtuniversitäre Kliniken und Praxen beinhalten.

Es wurde gefordert, mindestens 50 Einrichtungen in der Datenerhebung zu berücksichtigen.

Das Vorhaben wurde seitens des BfS in drei Arbeitspakete gegliedert:

### AP1: Rekrutierung einer hinreichend großen Anzahl an Kliniken und Praxen:

Entsprechend der oben aufgelisteten Kriterien sollte eine bundesweite Rekrutierung von Einrichtungen erfolgen. Als Minimalkriterien wurden für das Erhebungskollektiv vorgesehen:

- a) Berücksichtigung von mindestens 15 Einrichtungen aus dem ländlichen Bereich,
- b) Berücksichtigung von mindestens 10 universitären und 10 nichtuniversitären Kliniken sowie mindestens 15 Praxen.

Die Zusammenstellung des Erhebungskollektivs war mit dem BfS im Rahmen eines Fachgesprächs vor dem Start der Erhebungsphase nach AP2 abzustimmen.

### AP 2: Datenerhebung:

Daten zur Häufigkeit und Strahlenexposition nuklearmedizinischer Untersuchungsverfahren waren in den nach AP1 rekrutierten Kliniken und Praxen für die Kalenderjahre 2016 und 2017 zu erheben. Der bei der Erhebung zur Anwendung kommende Datensatz orientierte sich stark an demjenigen der Erhebung über die Jahre 2007 und 2008, s. [1]. Hierbei wurden mindestens die in Tabelle 1 aufgeführten Parameter erfasst. Bei den Organsystemen nach Nr. 6 der Tabelle 1 waren mindestens die in Tabelle 2 aufgeführten Unterscheidungen zu berücksichtigen. Das Organsystem „Ganzkörper“ sollte dann gewählt werden, wenn eine Untersuchungen nicht auf ein spezifisches Organsystem abzielte, sondern im Ganz- oder Teilkörper nach entsprechenden Herden suchte, wie z.B.

1.	Geschlecht des Patienten
2.	Alter des Patienten bei der Untersuchung (mindestens 5-Jahreskategorien)
3.	Krankenversicherungsstatus (privat bzw. gesetzlich versicherte Patienten)
4.	Aufnahmestatus (ambulant / stationär)
5.	Institution (Klinik / Praxis)
6.	Untersuchtes Organsystem
7.	Nuklid
8.	Verwendetes Radiopharmakon
9.	Modalität
10.	Applizierte Aktivität
11.	Untersuchungsdatum
12.	Gewicht des Patienten (fakultativ)
13.	Untersuchungsart (falls zutreffend)
14.	Fragestellung (falls zutreffend)

**Tabelle 1: Parameter der nuklearmedizinischen Untersuchungen, die im Rahmen des Vorhabens zu erfassen waren.**

1.	Schilddrüse	9.	Lymphatisches System
2.	Skelett	10.	Nebenschilddrüsen
3.	Herz	11.	Gastrointestinaltrakt
4.	Lunge	12.	Nebennieren
5.	Ganzkörper	13.	Speicheldrüse
6.	Nieren	14.	ZNS
7.	Gehirn	15.	sonstige
8.	Leber / Galle		

**Tabelle 2: Organsysteme, die im Rahmen des Vorhabens zu berücksichtigen waren.**

bei der Entzündungsszintigraphien oder PET-Untersuchungen bei onkologischen Fragestellungen. Für Modalitäten, entsprechend Nr. 9 in Tabelle 1, waren die in Tabelle 3 aufgeführten Unterscheidungen vorzunehmen. Ergänzend war es vorgesehen, dosisrelevante Parameter der computertomographischen Untersuchungen zu erfassen. Hierbei war zu unterscheiden, ob es sich um diagnostische CT-Untersuchungen handelt oder solche, die als „low-dose CT“ zur Schwächungskorrektur und anatomischen Koregistrierung durchgeführt wurden.

1.	Planare Szintigraphie	4.	PET/MRT <sup>2</sup>
2.	PET	5.	SPECT
3.	PET/CT <sup>3</sup>	6.	SPECT/CT <sup>4</sup>

**Tabelle 3: Modalitäten, die im Rahmen des Vorhabens zu unterscheiden waren.**

„Untersuchungsarten“ nach Nr. 13 in Tabelle 1 waren nur bei einem Teil der nuklearmedizinischen Untersuchungen zu berücksichtigen. In Tabelle 4 sind die Organsysteme aufgeführt, bei denen eine Unterscheidung vorzunehmen war, sowie die dort zu berücksichtigenden Untersuchungsarten.

Organsystem	Untersuchungsarten
Lunge	Ventilations- und Perfusionsuntersuchungen
Niere	Statische und sequenzielle Szintigraphie
Herz	Eintagesprotokoll und Zweitagesprotokoll

**Tabelle 4: Untersuchungsarten, die im Rahmen des Vorhabens zu berücksichtigen waren.**

Bei einigen Untersuchungen, z.B. Skelettszintigraphien, ist es sinnvoll, die klinische Fragestellung zu berücksichtigen, unter welcher die Untersuchung durchgeführt wurde. Im Rahmen des Vorhabens waren mindestens die in Tabelle 5 aufgeführten Fragestellungen zu berücksichtigen.

<sup>2</sup> PET/MRT: Aufnahmeggerät zur Durchführung kombinierter magnetresonanztomographischer (MRT) und computertomographischer Untersuchungen

<sup>3</sup> PET/CT: Aufnahmeggerät zur Durchführung kombinierter PET- und CT-Untersuchungen

<sup>4</sup> SPECT/CT: Aufnahmeggerät zur Durchführung kombinierter SPECT- und CT-Untersuchungen

### AP3: Datenauswertung und Berechnung der effektiven Dosis für die einzelnen Untersuchungen

In AP3 waren die in AP2 erhobenen Untersuchungsdaten auszuwerten und die effektive Dosis für die einzelnen Untersuchungen zu berechnen.

Wenn das Gewicht der Patienten nach Nr. 12 in Tabelle 1 im Datensatz enthalten war, so sollte dieses in die Analyse einbezogen werden. Für die Berechnung der aus einer Untersuchung resultierenden Strahlenexposition waren Dosiskoeffizienten in Abstimmung mit dem BfS zu verwenden.

1.	Benigner Prozess	7.	Rezeptoren (Gehirn)
2.	Maligner Prozess	8.	Ventilation (Lunge)
3.	Blutung	9.	Perfusion (Lunge)
4.	Passage	10.	Ventrikulographie
5.	Entzündung	11.	Ejektionsfraktion
6.	Perfusion (Gehirn)	12.	sonstige

**Tabelle 5: Fragestellungen, die im Rahmen des Vorhabens zu berücksichtigen waren.**

Folgende Auswertungen waren minimal vorgesehen:

- a) Verteilung der relativen Häufigkeiten, mit denen Organsysteme nach Tabelle 2 untersucht wurden, aufgeschlüsselt nach dem Geschlecht, den Altersgruppen, dem Aufnahme- und Krankenversicherungsstatus, der untersuchenden Institution sowie der zur Untersuchung verwendeten Modalität.
- b) Mittlere effektive Dosis bei Untersuchungen der Organsysteme nach Tabelle 2, aufgeschlüsselt nach Geschlecht, Altersgruppen, Aufnahme- und Krankenversicherungsstatus, Institution und Modalität.
- c) Bei pädiatrischen Untersuchungen, Angaben über die Alters- und Gewichtsabhängigkeit der applizierten Aktivitäten.

Die Auswertungen waren mindestens für jedes untersuchte Kalenderjahr durchzuführen.

Für jedes Organsystem waren zusätzlich folgende statistischen Größen, aufgeschlüsselt nach dem Radiopharmakon und soweit zutreffend, nach der Untersuchungsart oder der Fragestellung anzugeben:

- d) Arithmetisches Mittel, Median, 5%-, 25%-, 75%- und 95%-Perzentilen der verabreichten Aktivität
- e) Arithmetisches Mittel, Median, 5%-, 2%-, 75%- und 95%-Perzentilen der effektiven Dosis.

Die Vorgehensweise war mit dem BfS im Rahmen eines Fachgesprächs zu diskutieren.

### 3 Rekrutierung und Datenerhebung

Im Folgenden sind dargestellt:

- a) Herangehensweise zur Rekrutierung von nuklearmedizinischen Einrichtungen
- b) Informationen zur Datenerhebung
- c) Konkretisierungen zum Parametersatz
- d) Informationen zur Datenaufbereitung und Datenanalyse
- e) Verteilungsparameter der an der Erhebung mitwirkenden Einrichtungen

#### 3.1 Rekrutierung von nuklearmedizinischen Einrichtungen

##### 3.1.1 Vorgehen zur Rekrutierung

Informationen über die anstehende Erhebung von Daten zu nuklearmedizinischen Untersuchungsverfahren und eine Motivation zur Teilnahme an der Erhebung erfolgten über die in Tabelle 6 aufgeführten Kanäle. Es wurde hierbei auf Herangehensweisen zurückgegriffen, die sich bei der Erhebung zum Vorgehen in den Kalenderjahren 2007 und 2008, s. [1], bewährt hatten und diese um weitere Kanäle erweitert.

In Anlage A sind exemplarische Informationsmaterialien zum Vorhaben beigefügt.

Aufgrund der persönlichen Ansprache von Einrichtungen, die bereits in der vorangehenden Erhebung mitgewirkt haben, konnten 28 Einrichtungen zur wiederholten Teilnahme motiviert werden. Hauptgründe für eine Nicht-Mitwirkung an der aktuellen Erhebung waren:

- a) Fehlendes Personal / Arbeitsverdichtung,
- b) Wechsel der Leitung der Einrichtung; fehlende Bereitschaft der aktuellen Leitung der Einrichtung zur Mitwirkung,
- c) Fehlende Einsicht in die Sinnhaftigkeit einer erneuten Datenerfassung.

Die Begründung nach (a) wurde auch von zahlreichen neu kontaktierten Einrichtungen für eine Nicht-Teilnahme angeführt. Es wurde von der Studienleitung allen Einrichtungen angeboten, mögliche Aufwendungen finanziell zu kompensieren bzw. auch darüber hinaus nach Möglichkeit zu unterstützen. Der Mangel an Personal und fehlende Zeit waren gleichwohl vielfach so groß, dass finanzielle Mittel dieses nicht ausgleichen konnten. Der Grund nach (c) wurde von einigen Einrichtungen angeführt. Weitere, häufiger genannte Gründe für eine Nicht-Zustimmung zur Mitwirkung waren

- d) Ansicht, dass Daten in ausreichendem Umfang bereits durch die ärztlichen Stellen erhoben werden,

- e) fehlende Berücksichtigung klinischer Bildqualität in der Erhebung.

Die ärztlichen Stellen konnten in unterschiedlich großem Umfang Einrichtungen ihres Zuständigkeitsbereichs motivieren. Es zeigte sich phasenweise sehr deutlich, dass eine ärztliche Stelle Informationsmaterialien zirkuliert hatte, wenn aus entsprechenden Regionen überproportional viele Rückmeldungen kamen.

Der Bund Deutscher Nuklearmediziner (BDN) unterstützte das Vorhaben aktiv und informierte hierüber bundesweit in der BDN-Info im Frühjahr 2018.

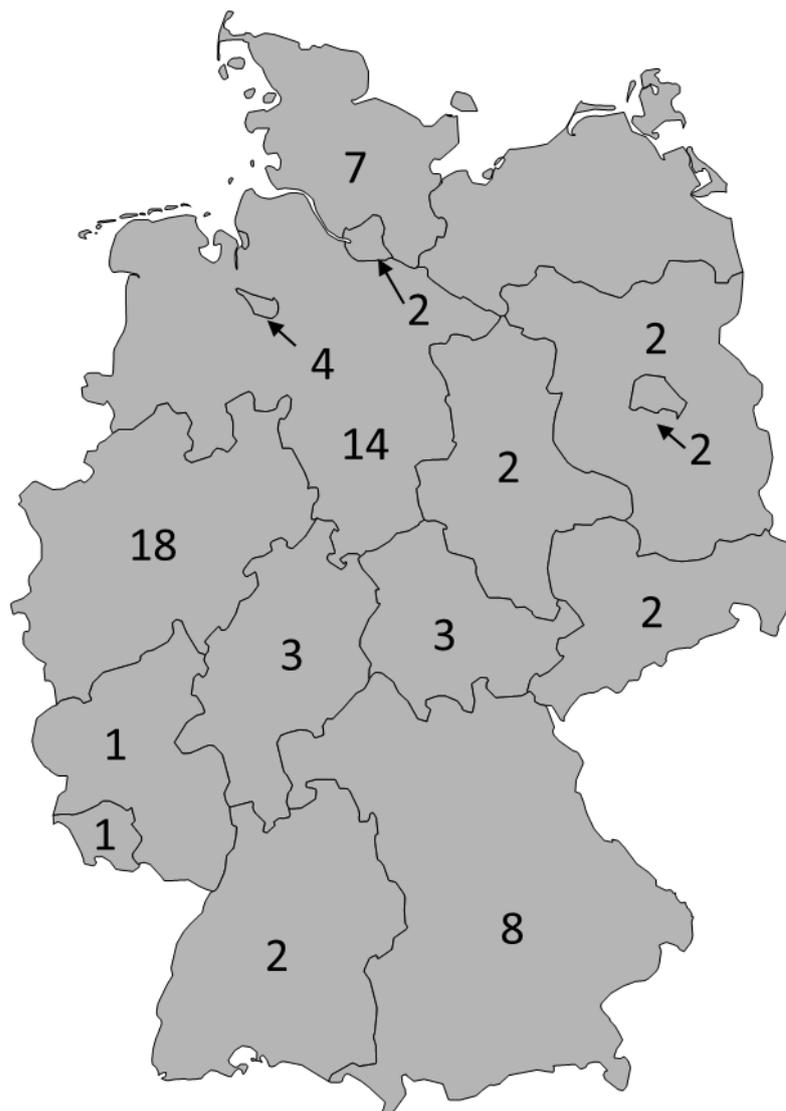
1.	Persönliche (telefonische oder schriftliche) Ansprache der Einrichtungen, die in der Erhebung zum Vorgehen in den Kalenderjahren 2007 und 2008, s. [1], mitgewirkt haben
2.	Vorstellung der anstehenden Erhebung im Rahmen der Sitzung des Zentralen Erfahrungsaustauschs der ärztlichen Stellen (ZÄS) im November 2017
3.	Direkte Ansprache (telefonisch oder schriftlich) der ärztlichen Stellen für Nuklearmedizin mit der Bitte um Unterstützung und Verteilung von Informationsmaterialien.
4.	Anfrage bei der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin (DGN) um Unterstützung und Verteilung von Informationsmaterialien.
5.	Anfrage bei dem Bund Deutscher Nuklearmediziner (BDN) – bundesweit und regional - um Unterstützung und Verteilung von Informationsmaterialien.
6.	Anfrage bei Veranstaltern von Strahlenschutzkursen um Information und Verteilung von Informationsmaterialien
7.	Anfrage bei Medizinphysikexperten im Bereich Nuklearmedizin um Information von deren betreuten Einrichtungen.
8.	Vorstellung des Vorhabens beim Jahrestreffen des Gemeinsamen Arbeitskreises Physik und Technik von DGMP und DGN (GAPTN) im Februar 2018
9.	Überregionale Verteilung von Informationsmaterialien zum Vorhaben über den Newsletter der Ärztlichen Stelle Hessen
10.	Persönliche Ansprache weiterer Einrichtungen

**Tabelle 6: Kanäle zur Information über die anstehende Erhebung von Daten zu nuklearmedizinischen Untersuchungsverfahren und zur Motivation zur Teilnahme**

Die persönliche Ansprache von weiteren Einrichtungen, Nr. 10 in Tabelle 6, wurde vor allem dann genutzt, wenn einzelne Regionen Deutschlands in der Erhebung unterrepräsentiert waren.

### 3.1.2 Ergebnis der Rekrutierung

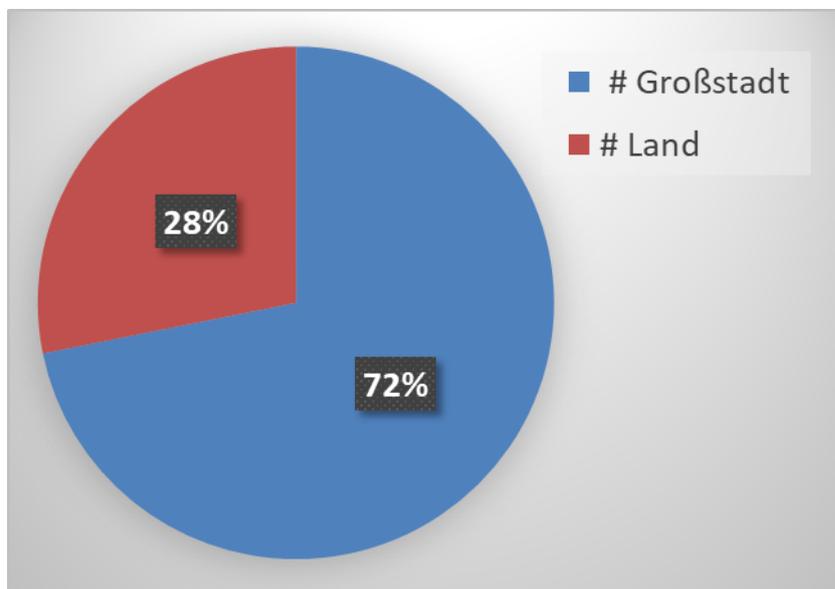
Daten aus 71 Einrichtungen flossen in die Erhebung ein. Die regionale Verteilung ist in Abbildung 1 dargestellt.



**Abbildung 1: Geographische Verteilung der an der Erhebung teilnehmenden Einrichtungen**

Es gelang, mit Ausnahme von Mecklenburg-Vorpommern, aus jedem Bundesland Einrichtungen in die Datenanalyse einzubringen. Dabei sind Schleswig-Holstein, Bremen und Niedersachsen, bezogen auf ihre Bevölkerungsanzahl überproportional vertreten. Hessen, Rheinland-Pfalz und insbesondere Baden-Württemberg sind unterproportional in der Population enthalten.

In Abbildung 2 ist die Verteilung der Einrichtungen auf den großstädtischen und ländlichen Bereich dargestellt. 20 Einrichtungen stammen aus dem ländlichen und 51 aus dem großstädtischen Raum. Hierbei wurde eine Ortschaft als Großstadt angesehen, wenn sie mehr als 100.000 Einwohner zählte.



**Abbildung 2: Verteilung der Einrichtungen zwischen dem großstädtischen und ländlichen Raum**

Den Einrichtungen wurde vor ihrer Teilnahme vollständige Anonymität zugesichert. Zahlreiche Einrichtungen waren jedoch bereit, ihre Teilnahme an der Erhebung angeben zu lassen. Die Einrichtungen, die der Nennung zugestimmt haben, sind in Tabelle 7 aufgeführt. Den aufgeführten sowie den zahlreichen weiteren Einrichtungen, die in Tabelle 7 nicht genannt sind, sei ein ganz herzlicher Dank ausgesprochen. Ohne die bestehende Zusammenarbeit und Unterstützung der Einrichtungen wäre eine Realisierung der Studie im vorliegenden Format nicht möglich.

Universitätsklinikum Augsburg	Klinikum Braunschweig
Gesundheit Nord – Klinikverbund Bremen	Zemodi (Bremen)
Institut für Radiologie und Nuklearmedizin Bremerhaven	Klinikum Chemnitz
Klinikum Dortmund	MVZ Prof. Dr. Uhlenbrock und Partner (Dortmund-Hörde, Dortmund-Brackel, Dortmund-Innenstadt, Hagen, Castrop-Rauxel)
MVZ radios GmbH (Düsseldorf)	Radiologie Erfurt
Universitätsklinikum Essen	Universitätsklinikum Frankfurt
Klinikum Frankfurt (Oder)	Universitätsklinikum Freiburg
Zentrum für Radiologie und Nuklearmedizin (Grevenbroich, Dormagen, Neuss)	Radiologische Allianz (Hamburg)
Röntgeninstitut Schlossgarten (Hamburg)	Radiologie Nuklearmedizin Langenhagen (Hannover)
Gemeinschaftspraxis am Künstlerhaus (Hannover)	Gemeinschaftspraxis für Nuklearmedizin Hildesheim / Peine
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein (Kiel, Lübeck)	Bundeswehrzentral Krankenhaus Koblenz
Med360Grad (Köln)	Praxis für Nuklearmedizin (Bad Lauterberg)
Universitätsklinikum Leipzig	Berufsausübungsgemeinschaft für Radiologie und Nuklearmedizin (Magdeburg, Stendal)
Universitätsklinikum Marburg	Universitätsklinikum München
Friedrich Ebert-Krankenhaus (Neumünster) und angeschlossene Praxis	Klinikum Nürnberg
Pius-Hospital Oldenburg	Brüderkrankenhaus St. Josef (Paderborn)
Universitätsklinikum Regensburg	Universitätsklinikum Tübingen

**Tabelle 7: Einrichtungen, die Daten in die Erhebung eingebracht haben (in Auswahl).**

## 3.2 Datenerhebung

Die Erhebung der Daten erfolgte in Abhängigkeit der Möglichkeiten in den Einrichtungen unterschiedlich. Hierbei bestanden auch innerhalb einer Einrichtung vielfach Unterschiede zwischen der Erhebung der Häufigkeits- und nuklearmedizinischen Dosisdaten auf der einen und den computertomographischen Dosisdaten auf der anderen Seite.

### 3.2.1 Häufigkeits- und nuklearmedizinische Dosisdaten

In den meisten Einrichtungen war es möglich, sämtliche verbindlich benötigten Daten aus einem lokalen Dokumentationssystem zu exportieren. Dieses erfolgte teilweise durch Personal der Einrichtungen, teilweise durch assoziierte IT-Betreuer. Durch die Vielzahl unterschiedlicher IT-Systeme sowie lokal unterschiedliche Herangehensweisen zur Dokumentation verfügten die bereitgestellten Datensätze über unterschiedlich umfangreiche Informationen. Wesentliche Unterschiede waren:

- a) Das Alter: Einige Einrichtungen übermittelten konkret das aus dem Geburtsdatum der Patienten sowie dem Untersuchungszeitpunkt berechnete „Alter“ nach Nr. 2 in Tabelle 1. Die Angabe erfolgte dabei teilweise ohne, teilweise mit der Angabe von Nachkommastellen.

Viele Einrichtungen stellten darüber hinaus direkt das Geburtsdatum zur Verfügung aus dem sich zusammen mit dem Untersuchungsdatum das Alter tagesgenau berechnen lässt. Genauso wie bei der Angabe des Alters mit oder ohne Nachkommastellen, wurde von einigen Einrichtungen mit dem Hinweis auf Datenschutzbelange auch das Geburtsdatum von der tagesgenauen auf eine monats- oder jahresgenaue Angabe vergrößert. Bei der Berechnung des Alters wurde im Rahmen der Datenaufbereitung in diesen Fällen vom fünfzehnten Tag eines Monats bei der monatsgenauen sowie dem 1. Juli bei der jahresgenauen Angabe des Geburtsdatums ausgegangen.

Bei Erwachsenen resultiert aus der oben angegebenen Variabilität der Daten kaum eine Änderung der Verteilungen. Bei kleinen Kindern ergeben sich größere Abweichungen. Insbesondere bei Kindern im Alter von weniger als einem Jahr ist bei der alleinigen Angabe des Alters in Jahren ohne Nachkommastellen keine weitergehende Differenzierung möglich. Bei der Auswertung wurde diese Gruppe von Patienten separat von denjenigen betrachtet, bei denen eine monats- oder tagesgenaue Auswertung des Alters möglich war.

- b) Der Krankenversicherungsstatus: Aus dem Krankenversicherungsstatus von Patienten lassen sich potentiell Einnahmen einer Einrichtung abschätzen. Zum Schutz

dieser Informationen wurden diese Daten von einigen Einrichtungen nicht zur Verfügung gestellt.

- c) Gewicht und Größe: Aus 19 Einrichtungen wurden zumindest für Teile der Untersuchungen Angaben zum Gewicht der Patienten bereitgestellt. Nur in wenigen Einrichtungen wird dabei das Gewicht weitgehend vollständig dokumentiert. Bei den meisten Einrichtungen sind Angaben zum Gewicht nur bei ausgewählten Gruppen von Untersuchungen oder Patienten mit deutlich auffallendem Gewicht dokumentiert. Ob die Angaben auf einer Schätzung oder einer expliziten Wägung der Patienten beruhen ist nicht bekannt.

Angaben zur Größe der Patienten wurden nur aus vier Einrichtungen zur Verfügung gestellt.

- d) Die Vollständigkeit: Auch bei den Einrichtungen, die eine Vielzahl an Informationen bereitstellen konnten, gab es in den Datensätzen Lücken. Diese sind vielfach auf eine unvollkommene Erfassung der Daten im Klinikalltag zurückzuführen und lassen sich nicht vermeiden.
- e) Fragestellung / Untersuchungsdurchführung / Befund: Einigen Einrichtungen war es möglich, Informationen zur Fragestellung, zur Durchführung der Untersuchung oder den Befund zur Verfügung zu stellen. In diesen Fällen wurden innerhalb der Datenaufbereitung Texterkennungsalgorithmen eingesetzt, um relevante Parameter, z.B. zur Fragestellung nach Nr. 14 in Tabelle 1 oder der Modalität nach Nr. 9 in Tabelle 1 aus den Daten zu entnehmen. Einige weitere Einrichtungen fügten entsprechende Informationen direkt in den Tabellen der Untersuchungsdaten ein. In Fällen, in denen die benötigten Daten nicht direkt in dem übermittelten Datensatz enthalten waren, wurden diese, soweit möglich, nachträglich bei den Einrichtungen in Erfahrung gebracht. Hierbei ließ sich nutzen, dass z.B. in Abhängigkeit von der eingesetzten Aktivität oder dem verwendeten Pharmakon in der weit überwiegenden Anzahl der Fälle eine konkrete Fragestellung nach Tabelle 5 oder Untersuchungsart nach Tabelle 4 pauschal zugeordnet werden können. Eine Restunsicherheit, dass im Einzelfall anders verfahren wurde, musste in diesen Fällen in der Auswertung akzeptiert werden. In wenigen Fällen ergaben die Rückfragen keine klaren, im Regelfall eindeutigen Vorgehensweisen. Beispielsweise gaben Teilnehmer an, dass bei etwa in der Hälfte der Skelettuntersuchungen ein zur Ganzkörperaufnahme ergänzendes SPECT durchgeführt wird. In diesen Einrichtungen wurde die Information im Primärdatensatz proportional ergänzt. Im Einzelfall lässt sich in diesen Einrichtungen eine patientengenaue Zuordnung nicht sicherstellen, im statistischen Mittel ist das Resultat jedoch korrekt.

Neben den Einrichtungen, die über eine umfangreiche Dokumentation sämtlicher Parameter in informationstechnischen (IT)-Systemen verfügen, gab es immer noch zahlreiche Einrichtungen, in denen insbesondere Angaben zur eingesetzten Aktivität bei einer Untersuchung nicht über IT-Systeme erfasst worden waren. In diesen Einrichtungen dienten die IT-Systeme hauptsächlich zur Steuerung des Patientenflusses sowie für Abrechnungszwecke. In diesen Fällen wurden, in Abstimmung mit dem BfS, die Häufigkeitsdaten aus den IT-Systemen entnommen und Angaben zu den bei Untersuchungsverfahren verwendeten Aktivitäten durch eine Stichprobe ergänzt. Um den Aufwand bei der manuellen Erfassung im Rahmen zu halten, wurde vereinbart, dass der Stichprobenumfang je Untersuchungsart und Kalendermonat nicht mehr als 10 Patienten umfassen musste. Bei häufig durchgeführten Untersuchungen ergaben sich damit 240 Datensätze für den Gesamtzeitraum. Alternativ wurden in Einzelfällen Erhebungen für einen verkürzten Zeitraum mit einer höheren Anzahl an Untersuchungen im Monat durchgeführt.

Abweichend wurden von einer Einrichtung ausschließlich Daten zu PET/CT-Untersuchungen zur Verfügung gestellt. Von zwei Einrichtungen wurden zu Schilddrüsenuntersuchungen ausschließlich Häufigkeitsdaten und von einer weder Häufigkeits- noch Aktivitätsdaten zu Schilddrüsenuntersuchungen zur Verfügung gestellt.

### **3.2.2 Computertomographische Dosisdaten**

Daten zur Strahlenexposition durch die computertomographische Begleitdiagnostik bei PET/CT sowie SPECT/CT-Untersuchungen lagen nur in wenigen Einrichtungen elektronisch auswertbar vor. Hierdurch stellte die Erfassung dieser Daten für die jeweiligen Einrichtungen einen wesentlichen Aufwand dar, den etliche Einrichtungen nicht tragen konnten. Vielfach war es erforderlich, die einzelnen Untersuchungen aus den Bildarchiven herauszusuchen und die Dosisangaben manuell zu dokumentieren. In Abstimmung mit dem BfS war es daher möglich, dass Einrichtungen Daten im Rahmen ausreichend umfangreicher Stichproben in die Erhebung einbrachten. Final konnten so Daten aus 27 Einrichtungen, mit insgesamt 26 PET/CT- sowie 14 SPECT/CT-Geräten, in der Datenauswertung berücksichtigt werden. Insbesondere bei den SPECT/CT zeigte es sich, dass vielfach CT-Untersuchungen nicht patientenindividualisiert sondern mit festen Aufnahmeparametern durchgeführt werden. In diesen Fällen war es möglich, ohne eine umfangreiche Stichprobe diese Werte als Standard der entsprechenden Einrichtung anzusehen.

### 3.3 Konkretisierung und Erweiterung des Parametersatzes

#### 3.3.1 Häufigkeits- und nuklearmedizinische Dosisdaten

Bei der Beschäftigung mit den von Einrichtungen zur Verfügung gestellten Daten sowie in Gesprächen mit den Einrichtungen zeigte es sich, dass der vom BfS vorgesehene Parametersatz sinnvoll an einigen Stellen erweitert werden konnte. Zudem war es erforderlich, an einigen Stellen Konkretisierungen vorzunehmen:

- a) Aufnahmezustand: Vom BfS wurden ausschließlich zwei Arten von Aufnahmezustand, ambulant und stationär, unterschieden. In der Praxis treten deutlich mehr Unterteilungen auf, die in der Analyse wie folgt den beiden Hauptgruppen zugeordnet wurden:
  - a. Untersuchungen an prä-, post- und teilstationären Patienten wurden der Rubrik stationärer Untersuchungen zugeordnet,
  - b. Ambulante Operationen wurden der Gruppe ambulanter Patienten zugeordnet.
- b) Institution: Vom BfS wurden ausschließlich zwei Arten von Institutionen, Klinik und Praxis, unterschieden. Es zeigte sich, dass diese Differenzierung den realen Bedingungen nicht in vollem Umfang nachkommt. Zum Beispiel wurden von etlichen Krankenhäusern Medizinische-Versorgungszentren (MVZ) für die Versorgung ambulanter Patienten etabliert. Die MVZ sind strukturell organisatorisch vom Krankenhausbetrieb losgelöste Einrichtungen. Durch sie wird ein vom Krankenhaus abweichendes Patientengut versorgt. Eine Zuordnung als Praxis erschien gleichwohl auch nicht zwingend sinnvoll. Diese an Krankenhäuser angegliederten und in enger Symbiose mit diesen betriebenen MVZ wurden daher als eigenständiger Einrichtungstyp geführt. Bei der stationären Versorgung erschien es darüber hinaus sinnvoll, die Universitätskliniken von nicht-akademischen Krankenhäusern zu separieren. Die in der Datenanalyse berücksichtigten Typen von Institutionen sind in Tabelle 8 aufgeführt.

1.	Praxis
2.	MVZ
3.	Nicht-akademisches Krankenhaus
4.	Universitätsklinikum

**Tabelle 8: Typen von Institutionen, die im Rahmen der Datenanalyse berücksichtigt wurden.**

Ergänzend ist zu erwähnen, dass Praxen, die im Rahmen ihrer Tätigkeit auch stationäre Patienten untersuchen, z.B. weil sie an ein Krankenhaus angegliedert sind oder eng mit diesem kooperieren, unter der Rubrik „Praxis“ geführt werden. Die von den Praxen versorgten stationären Patienten und deren Untersuchungen sind über den zugehörigen Aufnahmezustand zu erkennen.

- c) Organsysteme: Seitens des BfS wurden in Tabelle 2 sämtliche Untersuchungen des lymphatischen Systems zusammengefasst. Aufgrund der zunehmenden Bedeutung der Sentinel-Lymphknoten- (SLN) Diagnostik wurden bei der Datenauswertung weitergehende Differenzierungen vorgenommen. Im Rahmen der Datenanalyse wurden unterschieden: Mamma-SLN, Melanom-SLN, Vulva-SLN, Cervix-SLN, Prostata-SLN, Penis-SLN sowie sonstige und nicht differenzierbare SLN. Unter der Rubrik „Lymphatisches System“ wurden ausschließlich Lymphabflusszintigraphien wegen benigner Erkrankungen erfasst.

Erstmalig wurden ein Organsystem „SIRT“ für Untersuchungen des Leber-Lungen-Shunts vor SIRT-Therapien und ein Organsystem „Hämatologie“ z.B. für Milzuntersuchungen sowie des Knochenmarks eingeführt. In den beiden Gruppen sind jeweils nur wenige Untersuchungen enthalten. Sie ermöglichen dennoch eine genauere Unterscheidung als die undifferenzierte Gruppe „Sonstige“. Es zeigte sich darüber hinaus, dass I-123 MIBG-Untersuchungen von einigen Einrichtungen dem Organsystem „Nebennieren“ zugeordnet wurden, andere diese Untersuchungen dem das Organsystem „Ganzkörper“ zuordnen. In der Analyse der Daten wurden entsprechende Untersuchungen einheitlich als „Nebenniere“ geführt.

- d) Nuklide: Die in Tabelle 9 aufgelisteten Radionuklide wurden für nuklearmedizinische Untersuchungen in der Datenerhebung beobachtet.

1.	C-11	9.	Kr-91m
2.	O-15	10.	Tc-99m
3.	F-18	11.	In-111
4.	Cr-51	12.	I-123
5.	Co-57	13.	I-124
6.	Cu-64	14.	I-131
7.	Ga-68	15.	Tl-201
8.	Se-75		

**Tabelle 9: Radionuklide, die in der Datenerhebung beobachtet wurden.**

- e) Radiopharmaka: Bei der Datenerhebung wurden 75 Pharmaka beobachtet, die, wie beim PSMA, teilweise noch mit unterschiedlichen Radionukliden gekoppelt werden. Die berücksichtigten Pharmaka sind in Anlage B aufgelistet. Unbenommen der großen Anzahl an Pharmaka wurde versucht, Produkte, die auf gleichartige Substanzen oder Substanzklassen zurückgehen, gemeinsam zu betrachten, auch wenn sie unter unterschiedlichen Handelsnamen geführt werden. In der Auflistung in Anlage B sind die Dosiskoeffizienten beigefügt, die in der Analyse der Daten verwendet wurden. Tabelle 10 enthält einen exemplarischen Auszug der Aufstellung.

Nr.	Pharmakon	Radionuklid	Dosiskoeffizient / mSv/MBq	Quelle des Dosiskoeffizienten
1	Pertechnetat	Tc-99m	9,90E-03	BfS
2	HDP	Tc-99m	4,30E-03	BfS
3	MDP	Tc-99m	4,30E-03	BfS
4	MAG3	Tc-99m	4,00E-03	BfS (Daten für abnormale Nierenfunktion)
5	MIBI	Tc-99m	6,90E-03 (für Ruheuntersuchungen)	BfS
			6,00E-3 (für Belastungsuntersuchungen)	BfS
6	Nanocoll	Tc-99m	1,20E-03	BfS

**Tabelle 10: Auszug aus Tabelle 23 mit Informationen zu den berücksichtigten Pharmaka; die vollständige Tabelle befindet sich in Anhang B**

- f) Modalitäten: Der Typ einer Modalität, z.B. die Nutzung einer SPECT-Kamera, ist unabhängig davon, ob bei einer konkreten nuklearmedizinischen Untersuchung eine SPECT-Bildgebung erfolgt. In Abstimmung mit dem BfS wurde unter dem Parameter „Modalität“ die bei einer Untersuchung real Nutzung bei einer Untersuchung erhoben. Wenn bei Untersuchungen mehrere Teile mit unterschiedlich komplexen Datenerfassungen bestehen, z.B. Skelettuntersuchungen, bei denen neben einer Ganzkörper- und einer statischen Aufnahme auch die SPECT/CT-Untersuchung einer Körperregion erfolgt, so wurde die jeweils komplexeste Untersuchung – im Beispiel die SPECT/CT Untersuchung – in der Analyse berücksichtigt.
- g) Untersuchungsart: Ergänzend zu den in Tabelle 4 aufgeführten Untersuchungsarten wurden für Mamma-SLN-Untersuchungen der Applikationsort, vielfach peritumoral, periareolär oder subareolär, sowie die Tiefe des Applikation, intradermal oder subdermal, in den durchführenden Einrichtungen erfragt und soweit möglich bei der Datenanalyse berücksichtigt. Das Ziel der weitergehenden Erhebung war, weitergehende Daten zu dieser häufigen Diagnostik zusammenzustellen und

hierdurch Möglichkeiten der Vereinheitlichung der unterschiedlichen Herangehensweisen aufzuzeigen. Neben den bereits erwähnten Differenzierungen erfolgte natürlich auch eine bezüglich des Zeitraums zwischen Applikation und Operation. Hierauf wird im Unterpunkt (h) eingegangen. Eine Analyse der applizierten Aktivität in Bezug auf die vor der Operation erfolgte Bildgebung (planar, SPECT, SPECT/CT) wird in diesem Bericht nicht vorgestellt.

Neben der Differenzierung bei SLN-Untersuchungen wurden aus den Daten zu Myokarduntersuchungen und PET-Untersuchungen weitere Differenzierungen zur „Untersuchungsart“ entnommen und bei der Datenanalyse berücksichtigt. Die zusätzlichen Differenzierungen sind in Tabelle 11 aufgeführt.

Ergänzende Untersuchungsart	Betroffenes Organsystem
Eintagesprotokoll (1. Applikation)	Herz
Eintagesprotokoll (2. Applikation)	Herz
Eintagesprotokoll (gesamt)	Herz
Zweitagesprotokoll (1. Applikation)	Herz
Zweitagesprotokoll (2. Applikation)	Herz
Applikation: Intradermal – periareolär	Mamma-SLN
Applikation: Subdermal – periareolär	Mamma-SLN
Applikation: Intradermal – peritumoral	Mamma-SLN
Applikation: Subdermal – peritumoral	Mamma-SLN
Applikation: Subdermal (Ort nicht differenzierbar)	Mamma-SLN
Applikation: Subdermal – subareolär	Mamma-SLN
Applikation: Peritumoral (Tiefe nicht eindeutig)	Mamma-SLN
Applikation: Periareolär und subareolär	Mamma-SLN
Applikation: Peritumoral und subareolär	Mamma-SLN
Kardio-PET	Herz
Hirn-PET	Gehirn

**Tabelle 11: Im Vergleich zu Tabelle 4 ergänzende Differenzierungen der Untersuchungsart, die, soweit verfügbar, in der Datenanalyse berücksichtigt wurden.**

- h) Fragestellung: Ergänzend zu den in Tabelle 5 aufgeführten Fragestellungen wurden insbesondere für Mamma-SLN-Untersuchungen noch weitere Differenzierungen erhoben und in der Analyse berücksichtigt.

In Tabelle 12 sind die über Tabelle 5 hinausgehenden Differenzierungen aufgeführt.

Ergänzende Fragestellung	Betroffenes Organsystem
Operation am gleichen Tag	SLN-Untersuchungen
Operation am Folgetag	SLN-Untersuchungen
Radiojodtest	Schilddrüse
Neurologie	Gehirn
Myokard (nicht differenziert in Ruhe oder Stress)	Herz
Myokard (Eintagesprotokoll gesamt)	Herz

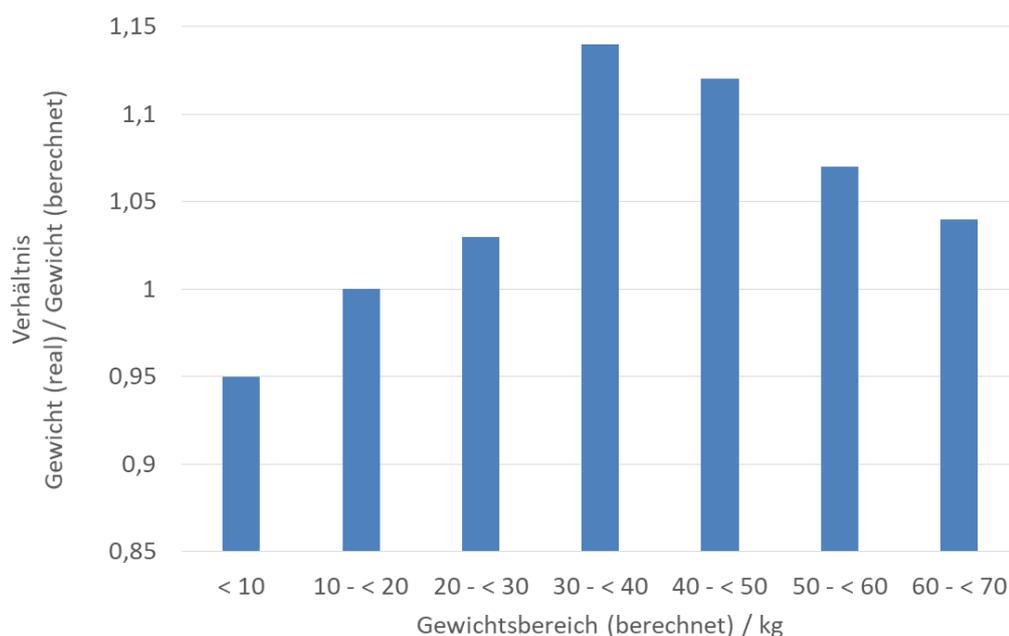
**Tabelle 12: Im Vergleich zu Tabelle 5 ergänzende Differenzierungen der Fragestellung, die, soweit verfügbar, in der Datenanalyse berücksichtigt wurden.**

- i) Versicherungsstatus: In der Analyse wurden ausschließlich gesetzlich und privat versicherte Personen unterschieden. Von einigen Einrichtungen wurden ergänzend Angaben dazu übermittelt, ob der Patient selber Versicherungsnehmer ist oder z.B. im Rahmen einer Familienmitgliedschaft versichert ist. Im Fall von weitergehenden Informationen zum Versicherungsstatus wurden folgende Zuordnungen getroffen:
- a. Gesetzlich versichert: Vollmitglieder, Familienmitglieder, Rentner, über eine Sozialstation versicherte Personen
  - b. Privat versichert: Selbstzahler, Berufsgenossenschaften
- j) Bei pädiatrischen Untersuchungen sind gemäß der aktuell gültigen diagnostischen Referenzwerte [2] gewichtsadaptierte Anteile der bei Erwachsenen für eine Untersuchung applizierten Aktivitäten vorgesehen. Nachdem von vielen Einrichtungen auch bei pädiatrischen Untersuchungen keine Informationen über das Gewicht der Patienten verfügbar waren, wurde für Personen bis zum vollendeten achtzehnten Lebensjahr eine Schätzung ihres Gewichtes anhand der aktuell im Bereich der Pädiatrie verwendeten Wachstums- und Gewichtskurven für Jungen und Mädchen vorgenommen ([3] - [4]). Die in der Analyse der Daten verwendeten Gewichte sind in Tabelle 13 aufgeführt. Die Einrichtungen, welche Gewichts-

angaben bei Kindern vermerkt haben, ermöglichten es, die angewandte Schätzung auf Plausibilität zu prüfen. In Abbildung 3 ist das bei den Kindern dokumentierte Gewicht dem ins Verhältnis gesetzt, welches sich anhand der Daten in Tabelle 13 aus dem Alter berechnet. Über den gesamten Gewichtsbereich ergeben sich keine Abweichungen oberhalb von 15%.

Endalter / a	Gewicht Jungen / kg	Gewicht Mädchen / kg
1 (Sondergruppe für die Einrichtungen, die bei Personen unter 1 Jahr keine Differenzierung ermöglichen)	9	8
0,249	6	5
0,999	9	8
1,999	12	12
2,999	14	15
3,999	16	16
4,999	18	18
5,999	21	20
6,999	23	22
7,999	25	24
8,999	30	27
9,999	32	32
10,999	35	35
11,999	39	41
12,999	45	45
13,999	52	50
14,999	57	51
15,999	61	53
16,999	64	55
17,999	65	56

**Tabelle 13: Gewichtszuordnung bei Personen bis zum vollendeten achtzehnten Lebensjahr bei fehlender Gewichtsangabe, aus [3] und [4]**



**Abbildung 3: Verhältnis der bei Kindern dokumentierten Gewichte zu den anhand der Schätzung nach Tabelle 13 berechneten Gewichte**

### 3.3.2 Computertomographische Dosisdaten

Die in Tabelle 2 zur Differenzierung angegebenen Organe sind für die Betrachtung der CT-Begleitdiagnostik bei PET/CT oder SPECT/CT-Untersuchungen weniger sinnvoll. Auch stellte sich im Austausch mit den Einrichtungen sowie bei der Datenanalyse heraus, dass die Kriterien Pharmakon und Radionuklid keine sinnvolle Differenzierung ermöglichen. Nachdem in Deutschland keine Vorgaben dazu bestanden, wie die zu computertomographischen Untersuchungsteilen bestehenden Daten sinnvoll differenziert werden können, wurden unter Berücksichtigung der Vorgehensweise aus [5] eigene Kriterien entwickelt.

- a) CT-Organsysteme: Bei PET/CT-Untersuchungen werden in einem ersten Scan üblicherweise große Körperregionen untersucht. Darauf folgen bei einigen Einrichtungen und einigen klinischen Fragestellungen Untersuchungen von Teilkörperbereichen. Bei SPECT/CT-Untersuchungen werden allgemein direkt konkrete, eingeschränkte Körperbereiche untersucht. In der Auswertung der Daten wurden die in Tabelle 14 aufgeführten Körperregionen unterschieden.

Bei PET/CT-Untersuchungen benennen den meisten Einrichtungen die Körperregion, über die hinweg die CT-Untersuchung zur Schwächungskorrektur erfolgt, als „Ganzkörper“. Die Scanlänge unterscheidet sich dabei zwischen den Einrichtungen relevant. Um an dieser Stelle die Daten systematischer betrachten zu können, wurden, auch bei der Angabe einer Ganzkörperuntersuchung durch die Einrichtungen, die in Tabelle 15 aufgeführten Bereiche unterschieden.

Nachdem insbesondere bei SPECT/CT die Anzahl an Einrichtungen, die Daten zur Verfügung gestellt haben, mäßig groß war, ist die Statistik für die einzelnen Körperbereiche und Organsysteme zum Teil nicht gut. Bei zukünftigen Analysen sollten hier ggf. Bereiche zusammengefasst werden, um die statistische Aussagekraft zu erhöhen. Es bleibt für nachfolgende Erhebungen allerdings zu erhoffen, dass die Anzahl an Datensätzen ausreichend groß sein wird, um weitere, sinnvolle Differenzierungen vorzunehmen.

1.	Ganzkörper	14.	MIBG-Nebennieren
2.	Herz	15.	Nieren
3.	Gehirn	16.	Schilddrüse
4.	Kopf-Hals	17.	Becken
5.	Teilkörper unspezifisch	18.	Abdomen
6.	Thorax	19.	Rumpf
7.	Lymphatisches System	20.	Extremitäten
8.	Nebenschilddrüse	21.	Abdomen-Becken
9.	Skelett	22.	Becken – SLN
10.	Leber	23.	Thorax – SLN
11.	Gastrointestinaltrakt	24.	Abdomen – SLN
12.	Oberes Abdomen	25.	Thorax – Abdomen
13.	Milz		

**Tabelle 14: Körperregionen und Organsysteme, die bei der Analyse der Dosisanteile computertomographischer Begleitdiagnostik differenziert wurden.**

Scanlänge	Zugeordneter Körperbereich
≥ 80 cm	Ganzkörper
≥ 60 cm und < 80 cm	Rumpf
< 60 cm	Teilkörper unspezifisch, soweit es sich nicht aus weitergehenden Informationen zuordnen ließ

**Tabelle 15: Zuordnung von Scanlängen zu Körperbereichen in Tabelle 14**

- b) Als CT-Fragestellung wurden „low-dose“ und diagnostische CT-Untersuchungen unterschieden. Unter der Rubrik low-dose CT-Untersuchungen werden dabei diejenigen Untersuchungen zusammengefasst, die zur Schwächungskorrektur oder anatomischen Koregistrierung durchgeführt wurden. Die Zuordnung basiert auf

den Angaben der jeweiligen Einrichtungen ohne die realen Dosiswerte zu berücksichtigen. Hieraus ergab es sich bei der Datenanalyse, dass die Dosisverteilungen für low-dose und diagnostische Untersuchungen überlappen.

- c) Es wurde betrachtet, ob die CT-Untersuchungen mit oder ohne eine Dosismodulation durchgeführt werden.
- d) Es wurde betrachtet, ob die CT-Untersuchungen mit oder ohne Kontrastmittelunterstützung durchgeführt werden.
- e) Im Hinblick auf die zur Verfügung gestellten Daten wurden solche unterschieden, die einer Gesamterhebung über die Jahre 2016 und 2017 entsprechen, solche, bei denen eine repräsentative Stichprobe in die Analyse eingeht und solche, bei denen ausschließlich Mittelwerte von den Einrichtungen bereitgestellt wurden.

Es ist in diesem Zusammenhang noch einmal darauf hinzuweisen, dass die Angabe von Mittelwerten bei denjenigen Untersuchungen, die ohne eine Dosismodulation bei jedem Patienten identisch gefahren werden, keine Einschränkung der Genauigkeit mit sich bringt.

Während die Häufigkeitsanalyse sowie die Daten zur eingesetzten Aktivität mit einem z.B. durch Alter, Geschlecht oder Krankenversicherungsstatus bestehenden Personenbezug ausgewertet wurden, wurden die Daten zu computertomographischen Untersuchungen ohne einen entsprechenden Personenbezug ausgewertet.

### **3.4 Datenaufbereitung und Datenanalyse**

Die von den Einrichtungen bereitgestellten Daten wurden in mehreren Schritten in drei Mastertabellen eingebracht. Auf Basis der Häufigkeits-Mastertabelle wurden nachfolgend die statistischen Größen z.B. zu Altersverteilungen oder dem Einsatz von Radiopharmaka ermittelt. Auf Basis der Dosis-Mastertabelle wurden Analysen zu eingesetzten Aktivitäten bei unterschiedlichen Untersuchungsverfahren ausgewertet. Auf Basis der CT-Mastertabelle erfolgten die Analysen zum Einsatz der computertomographischen Begleitdiagnostik. Die Inhalte der Häufigkeits- und der Dosis-Mastertabellen sind ähnlich und für zahlreiche Einrichtungen identisch. Nachdem von einigen Einrichtungen, wie erwähnt, Daten zur applizierten Aktivität jedoch nur in Form einer Stichprobe bereitgestellt werden konnten, wurden für diese Einrichtungen unterschiedliche Datensätze für beide Tabellen verwendet.

### 3.4.1 Aufbereitung der Häufigkeits- und nuklearmedizinische Dosisdaten

Die von Einrichtungen eingehenden Daten wurden in aufeinander aufbauenden Verarbeitungsschritten für die Übernahme in die Mastertabellen vorbereitet. Diese waren, soweit für die einzelne Einrichtung zutreffend:

- a) Sichtung der Daten und Entfernung von nicht studienrelevanten Inhalten, z.B. über Therapien, Sonographien oder Blutentnahmen.
- b) Überführung der Inhalte in eine erste einheitlich strukturierte Tabelle. Die Daten der Einrichtungen wiesen stark heterogene Formate auf. Innerhalb dieses Schrittes wurden die für die Analyse benötigten Inhalte aus den teilweise in Freitextform vorliegenden Daten extrahiert.
- c) Prüfung der Daten und Ergänzung fehlender Informationen, soweit möglich, durch direkte Kontaktaufnahme mit den Einrichtungen, z.B. im Hinblick auf die Durchführung von SLN-Untersuchungen. Innerhalb dieses Schrittes wurden auch offensichtliche Fehler in der Dokumentation, z.B. offensichtlich fehlerhafte Nuklide oder Pharmaka, korrigiert. In Fällen, in denen die Angaben in den Primärdaten offensichtlich fehlerhaft waren, es aber nicht möglich war, direkt eine korrekte Zuordnung zu treffen, z.B. wenn bei einer Schilddrüsenuntersuchung eine applizierte Aktivität von mehr als 1000 MBq angegeben war, so wurden die fehlerhaften Daten aus dem Datensatz entfernt.
- d) Überführung der Klartextdaten in eine standardisiert codierte Tabellenform mit Hilfe geeigneter Skripte. In diesem Schritt erfolgten, soweit für den entsprechenden Datensatz zutreffend, auch Texterkennungsanalysen, z.B. zur Ermittlung von Fragestellungen zur Untersuchung sowie zu den verwendeten Modalitäten. Nach der Überführung wurden die Daten erneut gesichtet und es wurde weiteren, auffallenden Fehlern nachgegangen.

Die Dokumentation der Aktivität unterscheidet sich zwischen unterschiedlichen Einrichtungen. In einigen Einrichtungen wird die real applizierte Aktivität dokumentiert, die sich unter Berücksichtigung des Zerfalls zwischen Präparation und Applikation sowie des in der Spritze verbleibenden Anteils ergibt. In anderen Einrichtungen wird nur der Zerfall berücksichtigt, in wiederum anderen wird ausschließlich die präparierte Aktivität dokumentiert. Vielfach unterscheidet sich die Herangehensweise in einer Einrichtung auch zwischen unterschiedlichen Untersuchungen, z.B. dahingehend, dass bei PET- oder Nierenuntersuchungen die dokumentierten Aktivitäten präziser der real applizierten Aktivität entsprechen als

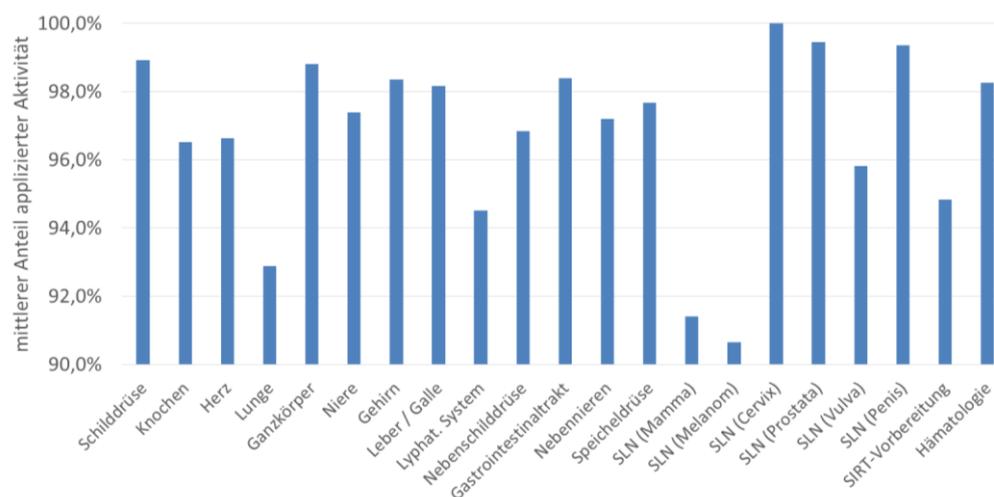
bei Skelett-Untersuchungen. Das Vorgehen der Einrichtungen wurde erfragt, sowie auch die ggf. nicht berücksichtigten Zeiträume zwischen der Präparation und Applikation bei unterschiedlichen Untersuchungen. Bei der Überführung der Daten in die codierte Tabellenform wurde aus den vorhandenen Informationen neben der dokumentierten Aktivität, eine einheitlich definierte, „korrigierte Aktivität“ berechnet, in der der Zerfall sowie die in der Spritze zurückbleibenden Anteile berücksichtigt sind. Der in der Spritze verbleibende Anteil ist im Einzelfall nicht bekannt. Anhand der Daten, die von vier Einrichtungen bereitgestellt wurden, in denen regelmäßig Rückmessungen der in den Spritzen verbleibenden Aktivität erfolgen, wurden als repräsentativ angenommene Mittelwerte berechnet und bei der Korrektur für die weiteren Einrichtungen angewandt. Über die vier benannten Einrichtungen hinaus finden Rückmessungen noch in weiteren Einrichtungen statt. Aus diesen lagen jedoch keine verwertbaren Vergleichsdaten vor. Die zur Korrektur verwendeten Anteile sind in Tabelle 24 in Anhang C aufgeführt. Die Daten der Tabelle 24 sind gewiss mit einer relevanten Unsicherheit behaftet. Sie ermöglichen gleichwohl eine ansatzweise Umrechnung der dokumentierten auf die bei Patienten real applizierte Aktivität.

In Abbildung 4 ist dargestellt, wie sich für das Kollektiv der Erhebung die im Mittel applizierten Aktivitäten durch die Berücksichtigung des Zerfalls der Aktivität zwischen Präparation und Applikation sowie des in der Spritze zurückbleibenden Anteils der Aktivität ändern. Es ist zu beachten, dass die Skala der Ordinate zur besseren Visualisierung nur Werte zwischen 90% und 100% enthält. In einzelnen Einrichtungen sind die Änderungen durchaus größer. Nachdem etliche Einrichtungen direkt applizierte Aktivitäten dokumentiert haben und auch der Unterschied zwischen der dokumentierten und der applizierten Aktivität in den Einrichtungen unterschiedlich groß ist, ergeben sich im Mittel die in Abbildung 4 angegebenen Werte.

- e) Überführung der Daten mit Hilfe geeigneter Skripte in die Master-Tabellen.
- f) Berechnung der effektiven Dosis einer Untersuchung aus der eingesetzten Aktivität mit Hilfe der Dosiskoeffizienten in Anlage B. Die Berechnung erfolgte zu diesem späten Schritt in der Datenaufbereitung, um bei möglichen Änderungen, die sich in den Dosiskoeffizienten aufgrund fortschreitender Kenntnisse der Wissenschaft ergeben, mit wenig Aufwand Möglichkeiten zur Korrektur zu haben.

Einen Sonderfall bei der Berechnung der aus Untersuchungen resultierenden effektiven Dosis stellen Lungenventilationsuntersuchungen dar. Bei der Lungenventilation wird weit mehr Aktivität präpariert als bei der Untersuchung in der Lunge

verbleibt. Bei Untersuchungen mit Tc-99m DTPA sind gemäß der aktuellen DRW, s. [2], etwa 1000 MBq vorzusehen, bei Untersuchungen mit Tc-99m Technegas etwa 350 MBq. Von der präparierten Aktivität werden gemäß Angaben in der zugehörigen DGN-Leitlinie, s. [6], in beiden Fällen allerdings nur 20 MBq bis 50 MBq in die Lunge aufgenommen. Die konkrete Höhe der Aktivität ist dabei in den meisten Fällen nicht bekannt. Bei der Berechnung der aus einer Lungenventilationsuntersuchung resultierenden Dosis wurde daher in allen Fällen eine in den Körper aufgenommene Aktivität von 35 MBq angenommen. Dieses Vorgehen weicht von dem ab, welches bei der letzten bundesweiten Erhebung von Daten zu nuklearmedizinischen Untersuchungen verwendet wurde. Bei der letzten Erhebung wurde die resultierende effektive Dosis auf Basis der eingesetzten Aktivität berechnet.



**Abbildung 4: mittlerer Anteil applizierter Aktivität unter Berücksichtigung des Zeitraums bis zur Applikation sowie dem in der Spritze zurückbleibenden Anteil an Aktivität; zur besseren Visualisierung deckt die Skala der Ordinate nur den Bereich von 90% bei 100% ab.**

- g) Auch bei einer sorgsamem Kontrolle der eingehenden Daten ist es nicht möglich, fehlerfreie Daten im gesamten Datensatz zu garantieren. An Stellen, an denen offensichtliche und nicht korrigierbare Eingabefehler in den Einrichtungen beobachtet wurden, wurden die Einträge aus dem Datensatz entfernt. Es verbleiben dennoch nicht erkannte Falscheingaben. Um hierdurch keine Verzerrung der berechneten statistischen Größen zu erhalten, wurden bei den Berechnungen der effektiven Dosen von Untersuchungen sowie der applizierten Aktivitäten die Randbereiche der Verteilungen nicht berücksichtigt. Die berechneten Mittelwerte sowie

Medianwerte in den Resultaten in Abschnitt 4.2 beziehen sich, soweit nicht explizit anders angegeben, auf die Werte im Intervall von 5% bis 95% der jeweiligen Verteilungen.

### **3.4.2 Aufbereitung computertomographischer Dosisdaten**

Die Informationen zur computertomographischen Begleitdiagnostik wurden von den Einrichtungen in stark heterogener Form bereitgestellt. In der Aufarbeitung der Daten lag jedoch auch hier eine klare Abfolge von Verarbeitungsschritten vor:

- a) Überfügen der Inhalte in eine erste strukturierte Tabelle. Der Weg zu dieser Tabelle war stark von den Eingangsdaten der Einrichtungen abhängig. Etliche Einrichtungen lieferten Daten zur computertomographischen Begleitdiagnostik in ergänzenden Spalten der Tabellen mit den Informationen zu Häufigkeits- und nuklearmedizinischen Dosisdaten. Zahlreiche andere Einrichtungen stellten die Daten in separaten Tabellen bereit. In weiteren Fällen wurden die Informationen in nicht strukturierter Form übergeben.

Soweit nicht bereits im Primärdatensatz enthalten, wurden in diesem Schritt die Scanlängen aus dem Dosislängenprodukt (DLP) und dem Volumen-CT-Dosisindex ( $CTDI_{vol}$ ) berechnet.

- b) Prüfung der Daten und Ergänzung fehlender Informationen, soweit möglich, durch direkte Kontaktaufnahme mit den Einrichtungen. Weiterhin erfolgte in diesem Schritt eine Zuordnung von Organsystemen sowie Körperregionen entsprechend Tabelle 14 durch eine Analyse der Freitext-Informationen zu den durchgeführten Untersuchungen bzw. den Untersuchungsbereichen.
- c) Überführung der Klartextdaten in eine codierte Tabellenform mit Hilfe geeigneter Skripte.
- d) Überführung der Daten mit Hilfe geeigneter Skripte in die entsprechende Master-Tabelle.

### **3.4.3 Datenanalyse**

Die Daten wurden mit Hilfe von Skripten hinsichtlich der mit dem BfS abgestimmten Parameter ausgewertet. Darüber hinaus wurden weitere Detailanalysen, z.B. zu konkreten Verteilungsmustern bei einigen häufigen Untersuchungen, angestellt. Die vollständigen Ergebnistabellen der Analysen liegen als Anlage dem Abschlussbericht bei. Auf Details wird in Kapitel 4 dieses Berichtes eingegangen.

Bei der Analyse der Daten der Mastertabellen wurden Anpassungen vorgenommen, um konsistente Daten zu erhalten. Diese sind:

- a) Zahlreiche Einrichtungen dokumentieren bei Myokardszintigraphien, die im Eintagesprotokoll durchgeführt werden, nicht jede Applikation einzeln, sondern die applizierte Gesamtaktivität. Bei der Analyse der Häufigkeitsdaten wurden entsprechende Einträge doppelt gezählt, um konsistente Daten im Vergleich zu den Einrichtungen zu erhalten, die jede Applikation separat dokumentieren.
- b) MIBG-Untersuchungen mit onkologischer Fragestellung wurden von Einrichtungen neben dem Organ „Nebennieren“] teilweise auch dem Organsystem „Ganzkörper“ zugeordnet. Beides ist plausibel. Eine separate Auswertung der Daten wäre es allerdings nicht. Daher wurden die dem Organsystem Ganzkörper zugeordneten MIBG-Untersuchungen der Nebenniere zugeschlagen und gemeinsam ausgewertet.

### 3.5 Verteilungsparameter mitwirkender Einrichtungen

In der Mastertabelle der Häufigkeitsdaten wurden 460949 Datensätze analysiert, in der Mastertabelle der nuklearmedizinischen Dosisdaten 390351 Datensätze und in der CT-Mastertabelle 34933 Datensätze.

Die quartalsweise berücksichtigten Daten der Häufigkeitsanalyse sind in Abbildung 5 halbjährlich aggregiert dargestellt.

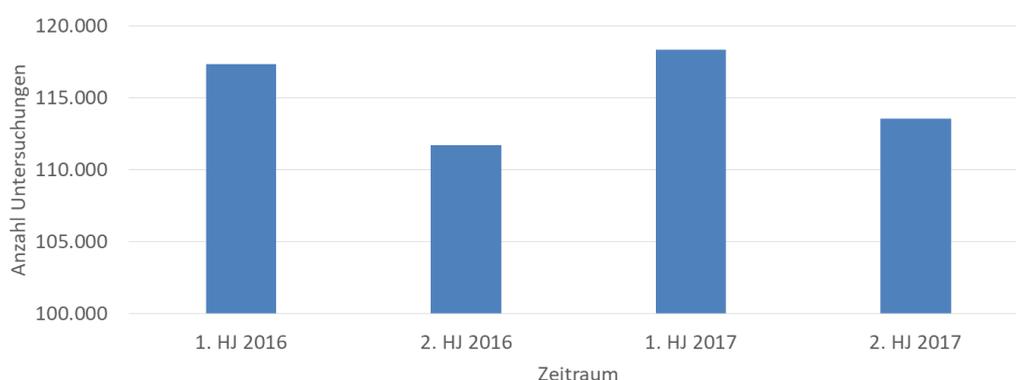
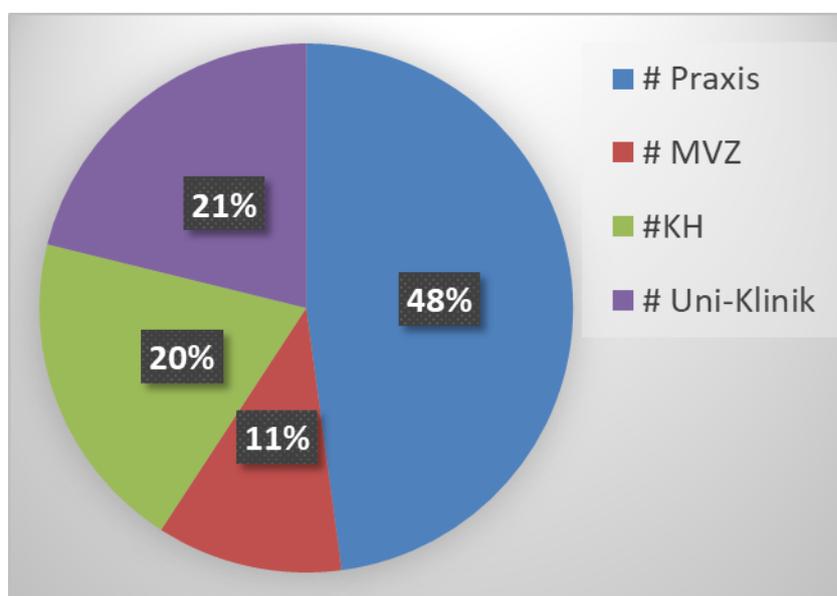


Abbildung 5: zeitlicher Verlauf an Untersuchungen innerhalb der Häufigkeitsanalyse

In Abbildung 6 ist die Verteilung der Einrichtungen auf die unterschiedlichen Einrichtungstypen dargestellt. Absolut wurden Daten aus 34 Praxen, 8 MVZ, 14 nicht-akademischen Krankenhäusern (KH) und 15 Universitätskliniken (Uni-Klinik) berücksichtigt.

In der Erhebung zu nuklearmedizinischen Daten aus den Jahren 2006 und 2007 wurden etwa 364.000 Daten aus insgesamt 28 Einrichtungen berücksichtigt. Hierbei waren 23 Praxen, 16 nicht-akademische Krankenhäuser und 9 Universitätskliniken enthalten. Im

Vergleich sind bei der aktuellen Erhebung relativ etwas mehr Einrichtungen aus der ambulanten nuklearmedizinischen Versorgung enthalten. Im stationären Bereich ist in der aktuellen Stichprobe der Anteil der Universitätskliniken gegenüber der vorangehenden Erhebung erhöht. Das Verhältnis der Anzahl an Praxen und Universitätskliniken ist in beiden Erhebungen in etwa gleich groß.



**Abbildung 6: Verteilung der Einrichtungen auf die unterschiedlichen Einrichtungstypen**

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass aufgrund lokaler Einschränkungen bei der Datenerhebung nicht von allen Einrichtungen sämtliche Daten zur Verfügung gestellt werden konnten. Der Umfang der Einrichtungen, deren Daten in die drei Analysestränge eingebracht wurden, ist in Tabelle 16 aufgelistet.

Analysestrang	Einrichtungstypen				
	Praxis	MVZ	KH	Uni-Klinik	Gesamt
Häufigkeiten	32	8	14	14	68
Nukl. Dosisdaten	33	8	14	14	69
CT Dosisdaten	6	0	11	10	27

**Tabelle 16: Anzahl an Einrichtungen, deren Daten in den drei unterschiedlichen Analysesträngen berücksichtigt wurden.**

Die Daten einer Einrichtung waren nur für das Jahr 2017 verfügbar, da die Einrichtung zuvor von einer anderen Organisation betrieben wurde.

Bei der Analyse der Häufigkeiten ergab sich die Verringerung des Datenumfangs dadurch, dass aus zwei Einrichtungen ausschließlich Stichprobendaten bereitgestellt wurden und eine Einrichtung ausschließlich Daten für die CT-Dosisdatenanalyse bereitstellte. Weiterhin einschränkend ist, dass eine Einrichtung ausschließlich PET/CT-Daten bereitstellte, eine Einrichtung alles mit der Ausnahme von Schilddrüsenuntersuchungen und bei einer Einrichtung die PET/CT-Daten als große Stichprobe, aber nicht vollständig verfügbar waren.

Bei der Analyse der nuklearmedizinischen Dosisdaten ergab sich eine Verringerung des Umfangs dadurch, dass von einer Einrichtung ergänzend zu den Häufigkeitsdaten nur so wenige Dosisdaten verfügbar waren, dass eine sinnvolle Einbringung dieser Daten in die Analyse nicht möglich war und eine Einrichtung ausschließlich Daten für die CT-Dosisdatenanalyse bereitstellte.

Bei der Analyse der CT Dosisdaten wurden MVZ, die an Kliniken angeschlossen sind, nicht gesondert betrachtet. Bei der Analyse der Häufigkeiten durchgeführter Untersuchungsarten ist die Differenzierung sinnvoll. Nachdem bei den Patienten der zugehörigen Klinik und dem MVZ jedoch die gleichen PET/CT- sowie SPECT/CT-Geräte genutzt werden und erwartungsgemäß bei den Untersuchungen nicht zwischen dem Patientengut unterschieden wird, wurden MVZ, die von einigen der berücksichtigten stationär tätigen Einrichtungen betrieben werden, nicht getrennt betrachtet. Die entsprechenden Untersuchungen wurden der zugehörigen Klinik zugeordnet. Aus den 27 Einrichtungen wurden Daten zu 26 PET/CT und 14 SPECT/CT bereitgestellt.

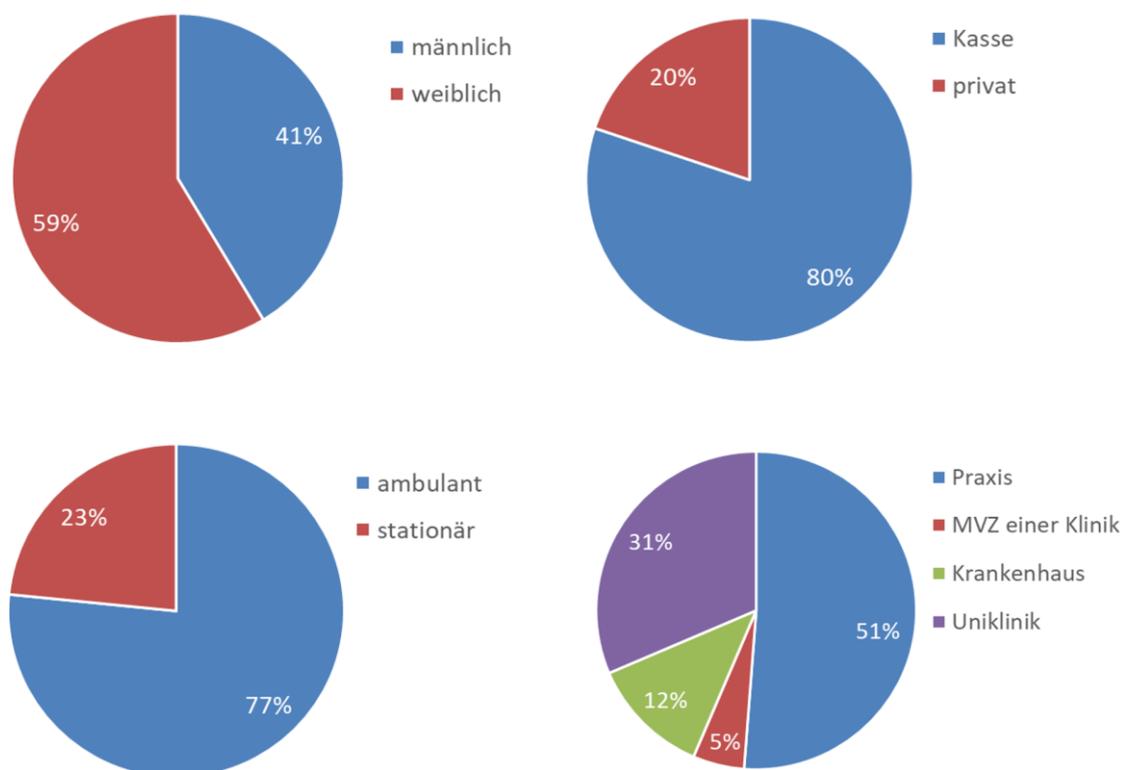
## 4 Resultate

In den drei folgenden Unterkapiteln werden wesentliche Resultate zur Analyse der Häufigkeitsdaten, der nuklearmedizinischen Dosisdaten sowie der Dosisdaten zur computertomographischen Begleitdiagnostik präsentiert. Sie basieren auf den bereits benannten drei Mastertabellen, die für eigene, weitergehende Analysen dem Bericht beigelegt wurden. Den Ergebnissen der aktuellen Erhebung sind an den Stellen, an denen es sinnvolle Korrelate in der vorangehenden Erhebung, s. [1], gibt, entsprechende Ergebnisse zum Vergleich beigelegt.

### 4.1 Häufigkeitsdaten

#### 4.1.1 Allgemeine statistische Daten

In Abbildung 7 sind als grundlegende Informationen zur Zusammensetzung der Datengesamtheit Informationen zur Geschlechteraufteilung, den relativen Anteilen im Bezug auf den Versicherungsstatus, den Aufnahmezustand sowie den in der Erhebung differenzierten Institutionen dargestellt.



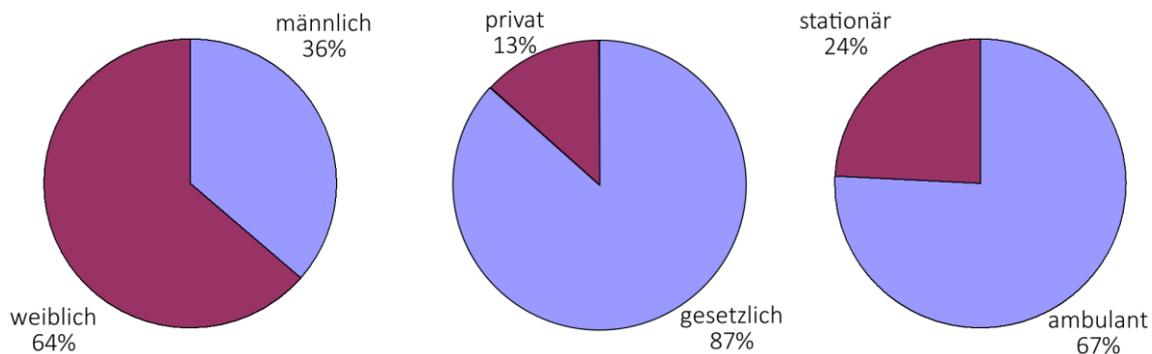
**Abbildung 7: Relative Häufigkeiten der in der Datengesamtheit enthaltenen Patienten unterschieden nach Geschlecht (oben links), Versicherungsstatus (oben rechts), Aufnahmezustand (unten links) und untersuchender Institution (unten rechts).**

Kategorie	Anzahl
Männlich	190366
Weiblich	269539
Ambulant	314306
Stationär	96076
gesetzlich versichert	260570
privat versichert	64432
Praxis	236077
MVZ eines Krankenhauses	23945
Krankenhaus	56009
Universitätsklinik	144918

**Tabelle 17: Absolutwerte der Patienten, die in der Häufigkeitsanalyse berücksichtigt wurden.**

Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, dass sich unter den stationären Patienten auch solche mit einem prä-, post- oder teilstationären Aufenthaltsstatus befinden.

Die zugehörigen Absolutwerte der Patienten sind in Tabelle 17 aufgeführt. Die Summe der einzelnen Kategorien ergibt bei den unterschiedlichen Differenzierungen unterschiedliche Werte. Dieses ist dadurch begründet, dass von Teilen der Patienten nicht sämtliche Informationen vorlagen. Insbesondere wurden, wie bereits erwähnt, nicht von allen Einrichtungen Daten zum Versicherungsstatus der Patienten übermittelt.

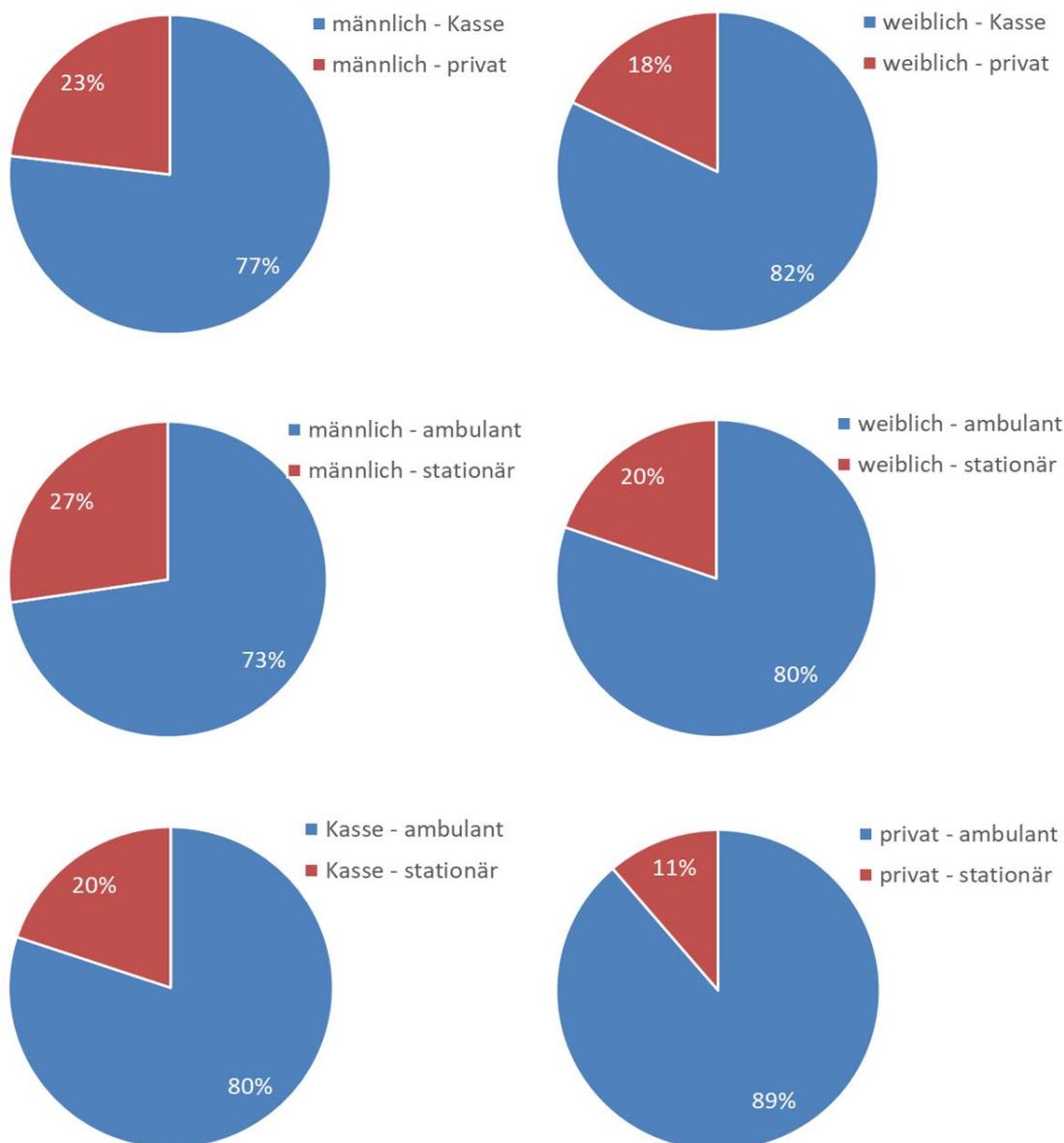


**Abbildung 8: Geschlechterverhältnis (links) der untersuchten Personen, sowie deren Aufteilung nach ihrem Versicherungsstatus (Mitte) und Aufnahmezustand (rechts), aus**

[1].

Zum Vergleich sind in Abbildung 8 die korrespondierenden Daten der Jahre 2007 und 2008 aus [1] dargestellt. Die Verteilung der Patienten zwischen den beiden Aufnahmestatus ist in beiden Erhebungen nahezu unverändert. In der aktuellen Erhebung sind jedoch leicht (5%) mehr männliche Patienten und etwas deutlicher (7%) mehr privat versicherte Patienten enthalten.

Die Analyse ergibt, dass die Parameter Geschlecht, Versicherungsstatus und Aufnahmestatus relevanten Einfluss auf die untersuchten Organsysteme haben. In Abbildung 9 sind Daten zu möglichen Korrelationen zwischen den Parametern dargestellt.

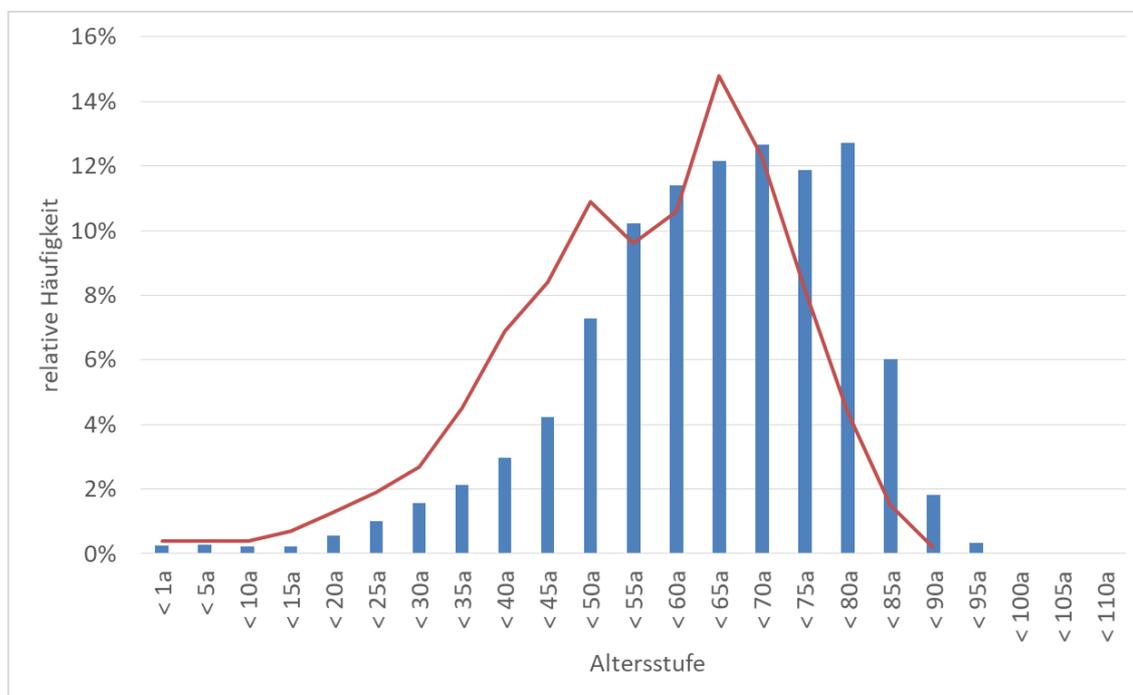


**Abbildung 9: Korrelationen zwischen den Parametern Geschlecht, Versicherungsstatus und Aufnahmestatus im Datensatz**

Es ist zu erkennen, dass im untersuchten Kollektiv im Vergleich zu weiblichen Patienten, männliche Patienten vermehrt privat versichert sind und Untersuchungen im stationären Kontext erhalten. Die Unterschiede sind im Hinblick auf die großen Unterschiede, die bei der Verteilung untersuchter Organsysteme beobachtet werden, wahrscheinlich jedoch eher als untergeordnet anzusehen. Bei einer Korrelation des Versicherungsstatus mit dem Aufnahmezustand ist allerdings zu erkennen, dass privat versicherten Patienten weit häufiger in ambulanten als im stationären Kontext beobachtet werden.

Abbildung 10 zeigt die Altersverteilung der Patienten innerhalb der aktuellen Erhebung als Säulen sowie diejenige der Patienten der vorangehenden Erhebung aus [1] in Form einer Linie. Es ist zu erkennen, dass im Vergleich zur Vorgängerstudie eine Verschiebung hin zu einem älteren Patientengut erfolgt ist, wobei im Altersbereich zwischen 50 Jahren und 80 Jahren in den aktuellen Daten eine relative Gleichverteilung besteht. Die Absolut- und relativen Werte der Altersstufen der aktuellen Erhebung sind in Anlage D in Tabelle 25 aufgelistet. In der Graphik sind Untersuchungen der Patienten mit einem Alter von bis zu einem Jahr zusammengefasst dargestellt. In Tabelle 25 sind diese Patienten in drei Gruppen differenziert:

- a) Patienten von weniger als einem Jahr, ohne weitere Information,
- b) Patienten im Alter von weniger 3 Monaten
- c) Patienten im Alter zwischen 3 Monaten und einem Jahr.



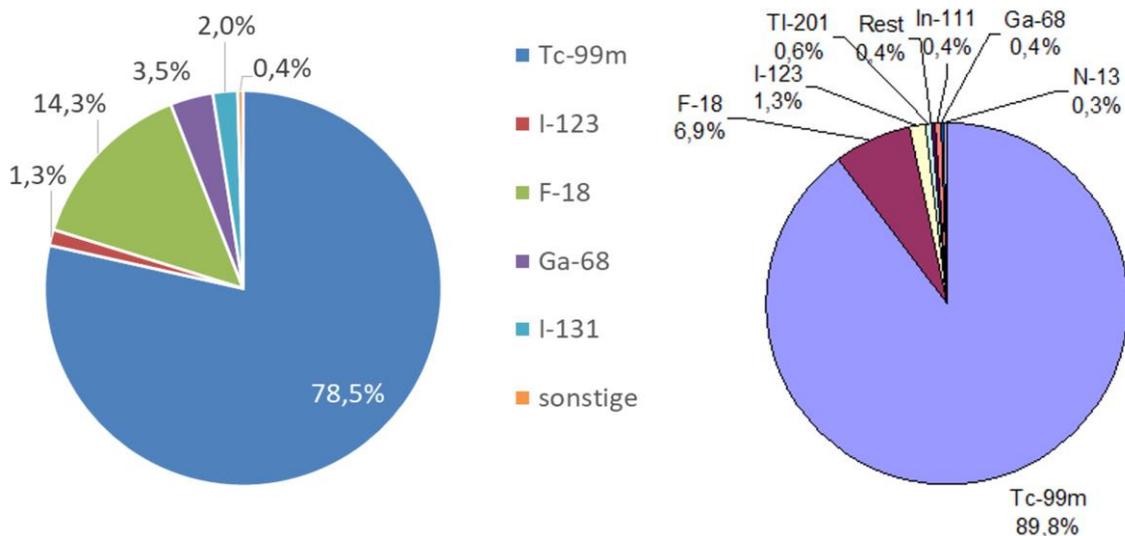
**Abbildung 10: Altersstruktur der Patienten innerhalb der aktuellen Erhebung (Säulen) sowie innerhalb der vorangehenden Erhebung (Linie)**

### 4.1.2 Verwendete Radionuklide und Radiopharmaka

Weiterentwicklungen in den nuklearmedizinischen Untersuchungsverfahren wirken sich unmittelbar auf die relative Häufigkeit aus, mit der unterschiedliche Radiopharmaka eingesetzt werden. In Abbildung 11 ist hierzu im linken Teil die relative Häufigkeit der Radionuklide dargestellt, die in Untersuchungen aus der aktuellen Erhebung verwendet wurden. Im rechten Teil ist eine entsprechende Darstellung der Vorläuferstudie, s. [1], ergänzt. Ganz deutlich ist der Anstieg der Häufigkeit von Untersuchungen zu erkennen, die mit PET-Nukliden, insbesondere F-18 und Ga-68, durchgeführt werden. Dieses ist konsistent mit der Tatsache, dass in der vorangehenden Erhebung in 13 von 48 Einrichtungen, entsprechend 27%, PET-Untersuchungen durchgeführt wurden. In der aktuellen Erhebung sind dieses 37 von 70 Einrichtungen, entsprechend 52%, was nahezu einer Verdoppelung der relativen Häufigkeit an Einrichtungen im Kollektiv entspricht, bei denen PET-Diagnostik stattfindet.

Die Anzahl an durchgeführten PET-Untersuchungen je Einrichtung ist dabei deutlich unterschiedlich. So werden von den etwa 78.000 PET-Untersuchungen, die in der Erhebung enthalten sind, etwa 64.000 in den 14 in der Studie enthaltenen Universitätskliniken durchgeführt. Die weiteren 23 Einrichtungen mit einem Zugriff auf PET-Diagnostik erbringen zusammen etwas mehr als 14.000 Untersuchungen im Erhebungszeitraum.

Neben der deutlichen Zunahme der relativen Häufigkeit der PET-Nuklide ist ein deutlicher Rückgang bei einigen anderen Nukliden zu erkennen. So trugen Tl-201 und In-111 in der Vorgängerstudie noch nennenswert zur Gesamthäufigkeit an Untersuchungen bei. Bei



**Abbildung 11: Relative Häufigkeit, mit der unterschiedliche Nuklide zum Einsatz kommen; links: Daten der aktuellen Erhebung, rechts: Daten der Jahre 2007 und 2008 aus**

[1]

der aktuellen Erhebung sind hingegen nur noch 29 Tl-201 und 266 In-111 Untersuchungen enthalten.

In-111 Untersuchungen werden dabei mit 16 erbringenden Einrichtungen noch an etlichen Orten durchgeführt, wenn auch mit einer sehr geringen Häufigkeit. Tl-201 wurde nur noch von 6 Einrichtungen verwendet. Sämtliche Zahlen zur Häufigkeit verwendeter Nuklide sind in Tabelle 18 aufgelistet. Die I-131 Untersuchungen entsprechen fast ausschließlich Radiojodtesten, die konzeptionell der Gruppe der Untersuchungen zugeordnet wurden.

Nuklid	Anzahl
Tc-99m	327798
F-18	59514
Ga-68	14551
I-131	8427
I-123	5446
C-11	659
O-15	459
In-111	266
Kr-81	254
Se-75	69
I-124	56
Tl-201	29
Cu-64	22
Cr-51	2

**Tabelle 18: Häufigkeit von in der Erhebung verwendeten Radionukliden**

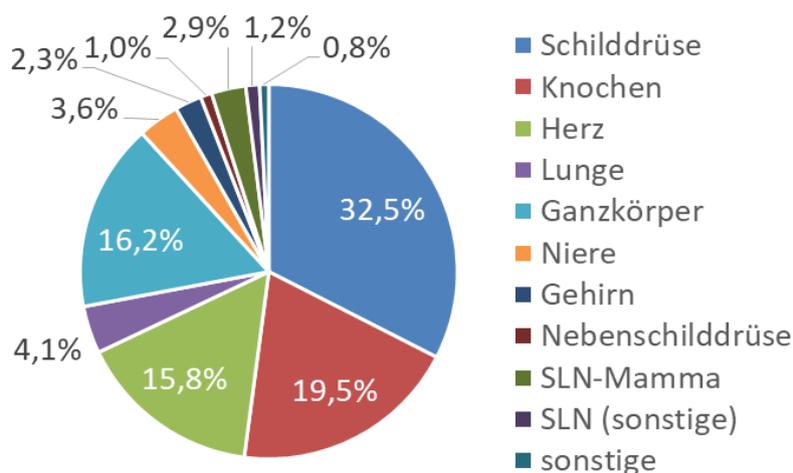
#### 4.1.3 Daten zu untersuchten Organsystemen

Im folgenden Abschnitt sind Daten zu den in unterschiedlichen Populationen untersuchten Organsystemen dargestellt. Hierbei wurden Organe, die mit einer relativen Häufigkeit von weniger als 1% untersucht wurden, in der Gruppe „sonstige“ zusammengefasst. Im Bereich der Sentinel-Lymphknoten Diagnostik wurde eine gesonderte Rubrik „SLN (sonstige)“ für die Untersuchungen vorgesehen, bei denen keine Informationen über das betroffene Organsystem bzw. den Körperbereich bekannt waren. Die Rubrik enthält zum

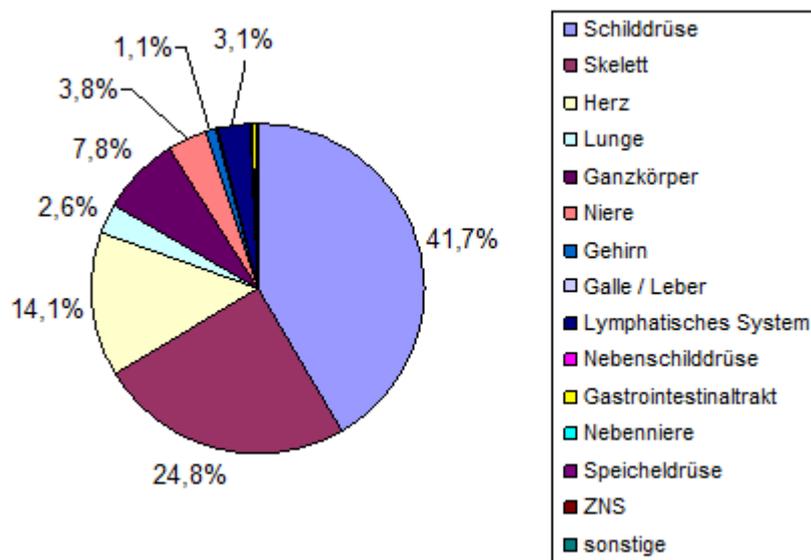
überwiegenden Anteil SLN-Untersuchungen aufgrund von Melanomen. Die absoluten und relativen Häufigkeiten sämtlicher Organe der folgenden Grafiken sind in Tabellen in Anhang E beigelegt.

Abbildung 12 stellt die relative Häufigkeit dar, mit der unterschiedliche Organsysteme in der Erhebung auftreten. Es ist zu erkennen, dass Schilddrüsenuntersuchungen mit etwa einem Drittel der Gesamtzahl den dominanten Anteil an Untersuchungen bilden, gefolgt von Skelettuntersuchungen mit etwa 20% sowie Herz- und Ganzkörperuntersuchungen mit jeweils etwa 16%. Alle weiteren Untersuchungsarten tragen jeweils weniger als 5% bei.

In Abbildung 13 ist die in der Vorläuferstudie ([1]) beobachtete Verteilung zum Vergleich dargestellt. Es sind einige deutliche Änderungen in der relativen Häufigkeit zwischen den beiden Zeiträumen erkennbar. Allen voran ist die wesentliche Zunahme an Ganzkörperuntersuchungen, die im Wesentlichen PET-Untersuchungen sind, zu erkennen. Der Anteil dieser Untersuchungen hat sich zwischen den beiden Zeiträumen mehr als verdoppelt. Die Häufigkeitszunahme der PET-Untersuchungen geht im Wesentlichen zu Lasten der Schilddrüsen- und Skelettuntersuchungen, deren relativer Anteil in der Erhebung um etwa 9% bzw. 5% zurück gegangen ist, was bezogen auf ihre jeweilige Häufigkeit einem anteiligen Rückgang um jeweils etwa 22% entspricht. Von den Organsystemen mit kleinerer Gesamthäufigkeit haben etliche Gruppen, z.B. Lungenuntersuchungen, Untersuchungen des Gehirns, der Nebenschilddrüse sowie SLN-Untersuchungen relativ zugenommen. Die relative Häufigkeit von Nierenuntersuchungen blieb zwischen den beiden Erhebungen nahezu unverändert.



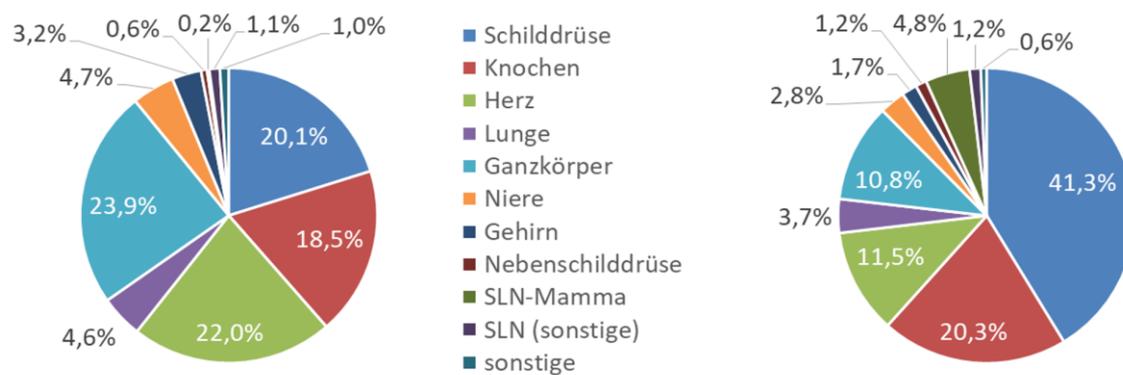
**Abbildung 12: Relative Häufigkeit von Untersuchungen spezieller Organsysteme; Organsysteme mit einem relativen Häufigkeitsbeitrag von weniger als 1% wurden unter „sonstige“ gruppiert.**



**Abbildung 13: Relative Häufigkeit der Untersuchung der Organsysteme in 2007 und 2008 aus [1]**

Größere Veränderungen in den relativen Häufigkeiten zwischen beiden Erhebungen lassen gewiss auf Trends schließen. Kleine Änderungen dürfen nicht überbewertet werden. Da sie bei der immer noch überschaubar großen Stichprobe Schwankungen unterworfen sind, die auf die teilnehmenden Einrichtungen zurückgeführt werden können.

In Abbildung 14 sind im linken Teil die relativen Häufigkeiten dargestellt, mit der Organsysteme bei männlichen Patienten untersucht werden, im rechten Teil der Abbildung entsprechende Daten für Patientinnen. Unmittelbar fällt das relativ doppelte Gewicht der Schilddrüsenuntersuchungen bei Frauen auf. Diese machen bei Frauen etwa 40% der durchgeführten Untersuchungen aus und damit in etwa doppelt so viel wie bei Männern. Während Untersuchungen des Skeletts in beiden Kollektiven mit annähernd gleicher relativer Häufigkeit durchgeführt werden, tragen Herz- und Ganzkörperuntersuchungen bei Männern mit etwa 22% bzw. 24% in etwa doppelt so viel bei, wie entsprechende Untersuchungen bei Frauen. Bei Frauen ist, aufgrund der besonderen Rolle bei der Therapie des Mammakarzinoms, die entsprechende SLN-Diagnostik mit etwa 5% der Gesamtuntersuchungen prominent vertreten. Bei Männern werden bei geringer absoluter Häufigkeit relativ deutlich häufiger Untersuchungen der Niere sowie des Gehirns durchgeführt.

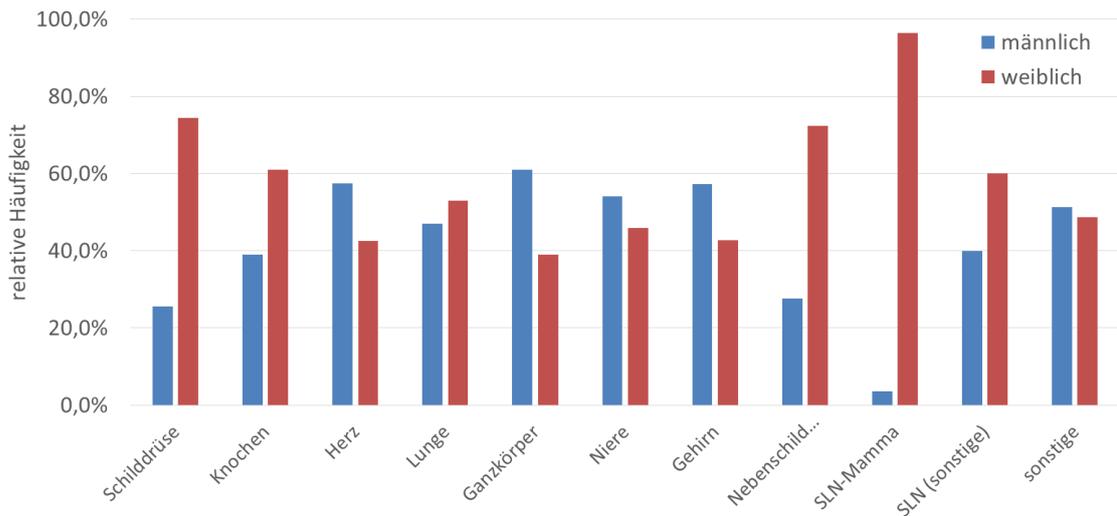


**Abbildung 14: Relative Häufigkeit der Untersuchung von Organsystemen bei männlichen Patienten (links) sowie bei Patientinnen (rechts)**

Im Vergleich zu entsprechenden Verteilungen der Studie zu dem Vorgehen in 2007 und 2008, s. [1], zeigen sich unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Ganzkörperuntersuchungen insgesamt häufiger durchgeführt werden und auch die SLN-Diagnostik beim Mamma-Karzinom etwas an Gewicht zugelegt hat, keine wesentlichen Änderungen.

In Abbildung 15 ist für die in der genaueren Betrachtung befindlichen Organbereiche das relative Verhältnis dargestellt, mit dem eine Untersuchung bei männlichen oder weiblichen Personen erfolgt. Besonders auffallend sind Untersuchungen der Schilddrüse, die in etwa dreimal so häufig bei Frauen, wie bei Männern durchgeführt werden sowie Untersuchungen der Nebenschilddrüse mit einem ähnlichen Verhältnis. Werden Untersuchungen dieser beiden Organsysteme sowie der Mamma-SLN-Diagnostik nicht berücksichtigt, so werden Männern um etwa 6% häufiger als Frauen untersucht. Die weit überproportionale Häufigkeit der Schilddrüsen- und Nebenschilddrüsenuntersuchungen bei Frauen ist auf die für diese Bevölkerungsgruppe bekanntermaßen erhöhte Inzidenz bei Erkrankungen dieser Organe zurückzuführen.

Untersuchungen des Skelettsystems erfolgen etwa eineinhalb Mal so häufig bei Frauen wie bei Männern. Dem entgegen werden Herz- und Gehirnuntersuchungen vornehmlich bei Männern durchgeführt. Bei diesen Organsystemen werden Männer etwa ein Drittel häufiger untersucht als Frauen. Ganzkörperuntersuchungen werden bei Männern sogar etwa eineinhalbmal so oft durchgeführt wie bei Frauen.



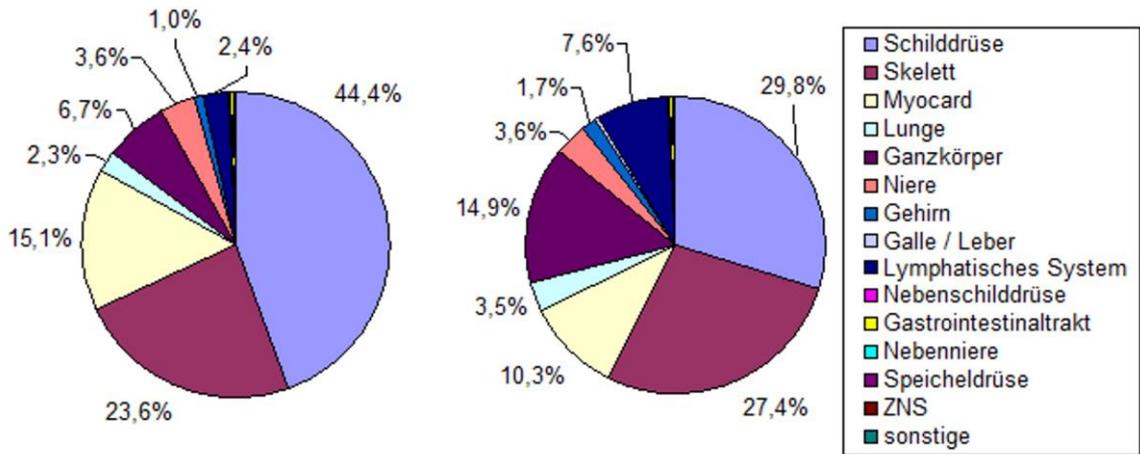
**Abbildung 15: Relative Häufigkeit, mit der die Untersuchung eines Organsystems bei männlichen oder weiblichen Patienten erfolgt.**

In Abbildung 16 sind die Verteilungen der relativen Häufigkeiten untersuchter Organsysteme in Abhängigkeit des Versicherungsstatus der Personen dargestellt. Im Vergleich fällt auf, dass bei privat versicherten Patienten in etwa doppelt so häufig Ganzkörper- sowie Mamma-SLN-Untersuchungen durchgeführt werden, wie bei gesetzlich versicherten Personen. Das große Gewicht dieser beiden untersuchten Organbereiche wird durch geringere relative Häufigkeiten bei Herz- und Schilddrüsenuntersuchungen kompensiert. Für Nieren-, Lungen- und Skelettuntersuchungen liegen die relativen Häufigkeiten in beiden Patientenkollektiven auf gleichem Niveau. Die von der Gesamthäufigkeit her seltenen Untersuchungen des Gehirns sowie der Nebenschilddrüse werden im Kollektiv privat versicherter Personen um etwa einen Faktor 1,5 bzw. 2 häufiger erbracht.

In Abbildung 17 sind entsprechende Daten zum Zeitraum 2007 und 2008 aus [1] dargestellt. Im Vergleich zur vorangehenden Erhebung ist insbesondere der Zuwachs an Ganzkörperuntersuchungen in beiden Kollektiven zu erkennen, der in beiden Fällen in etwa



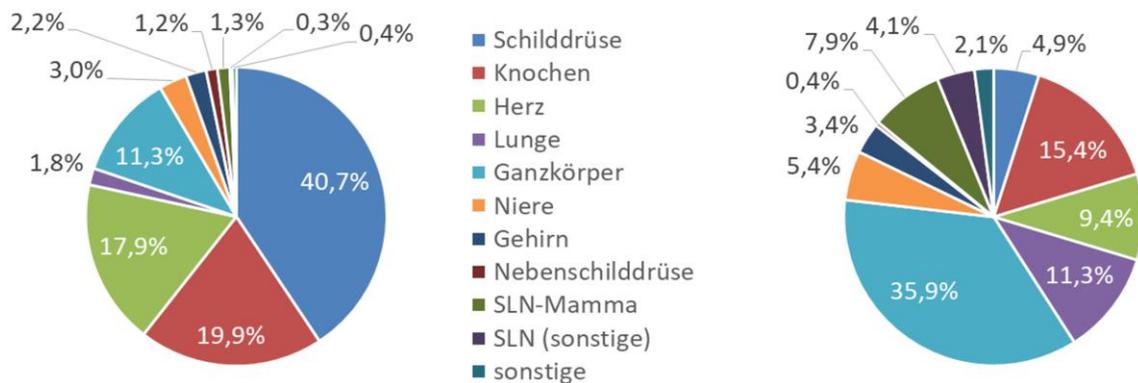
**Abbildung 16: Relative Häufigkeit der Untersuchung von Organsystemen bei gesetzlich (links) sowie privat (rechts) versicherten Patienten**



**Abbildung 17: Relative Häufigkeit der Untersuchung von Organsystemen bei gesetzlich (links) sowie privat (rechts) versicherten Patienten in den Jahren 2007 und 2008 aus [1]**

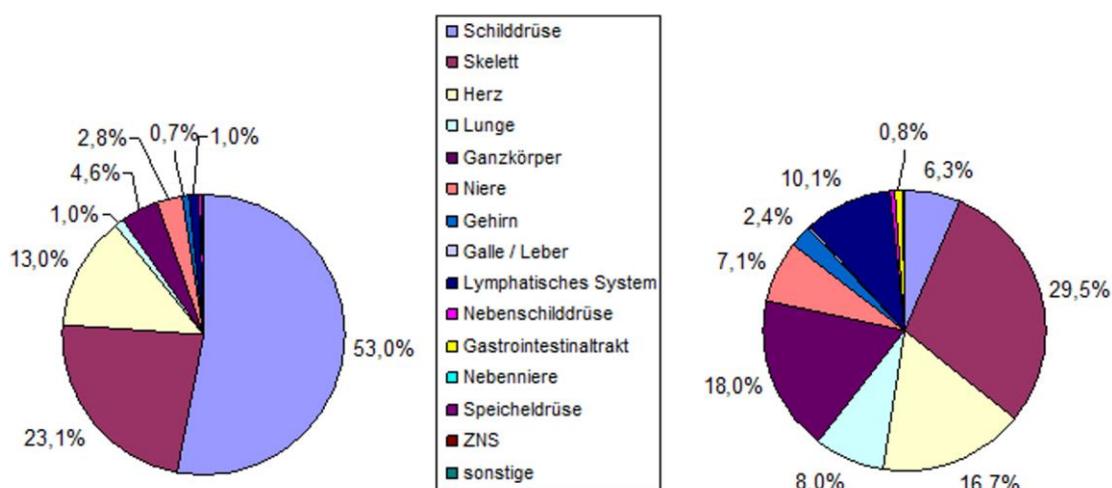
gleich stark ausfällt. Ebenso haben Herz-Untersuchungen in beiden Kollektiven leicht zugenommen. Dem entgegen sind in beiden Kollektiven Untersuchungen des Skeletts sowie der Schilddrüse rückläufig. Grundlegende Änderungen haben sich, abgesehen von den erwähnten Details, nicht ergeben.

In Abbildung 18 sind die relativen Häufigkeiten untersuchter Organsysteme in Abhängigkeit des Aufnahmezustand der Personen dargestellt. Sehr deutlich ist die Prominenz von Untersuchungen der Schilddrüse im ambulanten Bereich zu erkennen, die mehr als 40% ausmachen. An zweiter Stelle folgen Untersuchungen des Skeletts mit etwa 20% sowie des Herzens mit etwa 18%. Die drei Organsysteme zusammen machen mehr als drei Viertel der durchgeführten Untersuchungen aus. Einzig nennenswert sind darüber hinaus noch Ganzkörperuntersuchungen mit etwa 11%. Alle weiteren Untersuchungsbereiche zusammen machen im ambulanten Bereich nur etwa 7% aus.



**Abbildung 18: Relative Häufigkeit der Untersuchung von Organsystemen bei ambulanten (links) sowie stationär versorgten (rechts) Patienten**

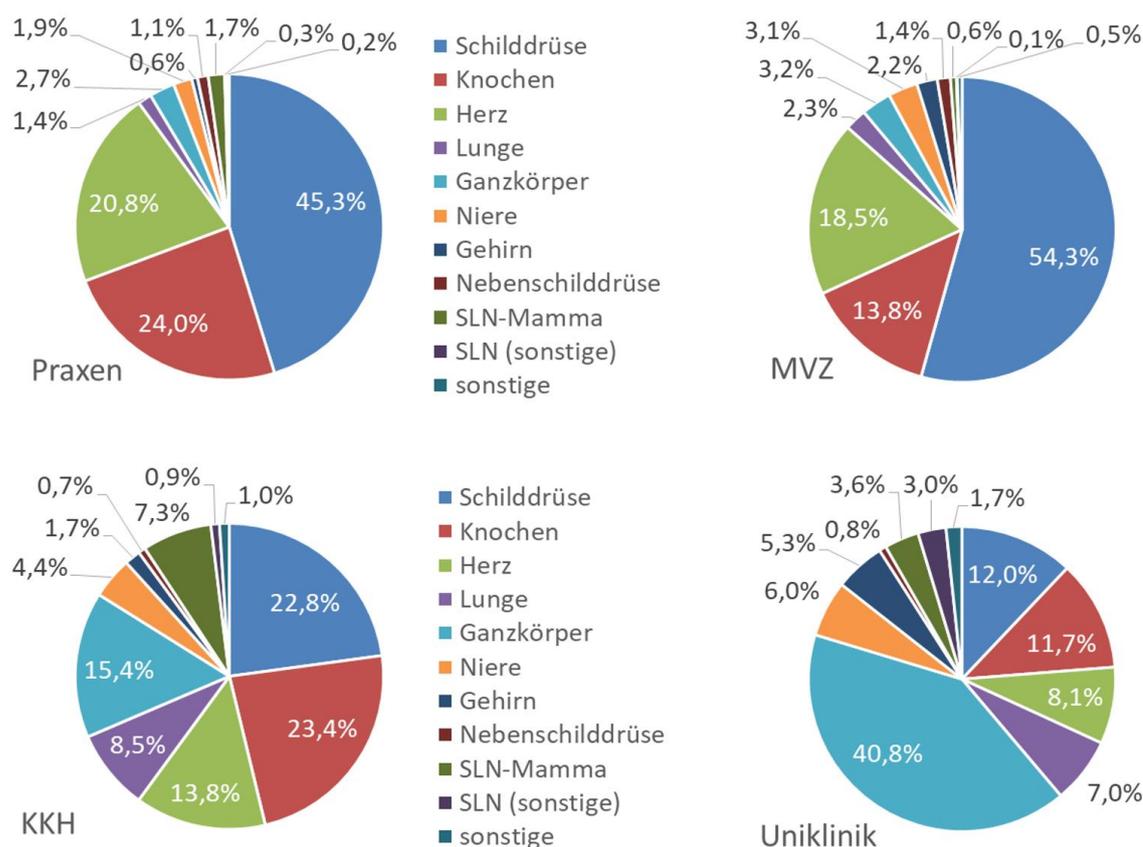
Im stationären Bereich ist die Verteilung deutlich abweichend. Hier werden mit etwa 36% mit großem Abstand am häufigsten Ganzkörperuntersuchungen durchgeführt, gefolgt von Skelettuntersuchungen mit etwa 15%. Untersuchungen der Lunge sowie die Gesamtheit der SLN-Untersuchungen liegen in etwa bei jeweils 11%. Diese beiden Organbereiche werden damit im stationären Bereich um etwa einen Faktor sechs bzw. sieben häufiger durchgeführt als im ambulanten Bereich. Auch Untersuchungen der Nieren sowie des Gehirns sind im stationären Bereich relativ häufiger. Hingegen werden mit etwa 5% im nur in unbedeutendem Umfang Schilddrüsenuntersuchungen stationär durchgeführt.



**Abbildung 19: Relative Häufigkeit der Untersuchung von Organsystemen bei ambulanten (links) sowie stationär versorgten (rechts) Patienten in den Jahren 2007 und 2008 aus [1]**

In Abbildung 19 sind die korrespondierenden Daten der Vorgängerstudie dargestellt. Im Vergleich der beiden Zeiträume ist zu erkennen, dass sich im ambulanten Bereich der Anteil der Ganzkörperuntersuchungen auf das etwa zweieinhalbfache erhöht hat. Auch im Bereich der Herzdiagnostik gibt es eine leichte Erhöhung. Dem gegenüber sind die Skelett- und insbesondere die Schilddrüsendiagnostik rückläufig. Es muss an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass sich die Zahlen als Mittelwerte aus der untersuchten Gesamtpopulation ergeben. In einzelnen Einrichtungen weicht die Situation teilweise fundamental von diesem Mittelwert ab. So sind in der aktuellen Erhebung auch Einrichtungen enthalten, die ausschließlich Schilddrüsenuntersuchungen durchführen.

Im stationären Bereich trat über den Zeitraum zwischen beiden Erhebungen in etwa eine Verdopplung der Ganzkörperuntersuchungen auf. Auch die relative Häufigkeit von Lungenuntersuchungen nahm leicht zu. Die Zugewinne gehen hier auf Kosten der Herz- und Skelettdiagnostik.



**Abbildung 20: Relative Häufigkeit der Untersuchung von Organsystemen in Praxen (oben links), MVZ von Kliniken und Krankenhäusern (oben rechts), Krankenhäusern (unten links) sowie Universitätskliniken (unten rechts)**

Die vier Teilabbildungen der Abbildung 20 zeigen die relative Häufigkeit, mit der Untersuchungen unterschiedlicher Organbereiche in den vier Institutionstypen erbracht werden, die in der Erhebung unterschieden wurden. Es zeigt sich bei der hier vorgenommenen Differenzierung sehr deutlich, in welchen Einrichtungen PET-Untersuchungen, die den weit überwiegenden Anteil der Ganzkörperuntersuchungen ausmachen, erbracht werden. In dem Kollektiv der Universitätskliniken machen diese Untersuchungen mehr als 40% aus. Mit großem Abstand folgen Krankenhäuser mit etwa 15%. In den MVZ sowie nuklearmedizinischen Praxen ist diese Form der Diagnostik hingegen mit nur etwa 3% der erbrachten Untersuchungen vertreten. Den konkreten Gegensatz hierzu bilden Untersuchungen der Schilddrüse, die in Praxen und MVZ mit etwa 45% bzw. 55% durchgeführt werden, in Krankenhäusern und Universitätskliniken hingegen nur mit etwa 23% bzw. 12%. Gleichermäßen, wenn auch nicht mit einem so ausgeprägten Unterschied, werden Herzuntersuchungen vornehmlich in Praxen und MVZ erbracht, wohingegen Nierenuntersuchungen und Untersuchungen des Gehirns vornehmlich im Untersuchungsumfang von Universitätskliniken und begrenzt auch von Krankenhäusern liegen. Selbiges gilt für SLN-Untersuchungen, wobei diese bei nicht akademischen Krankenhäusern mit etwa 7,5% der Leistungen das im Vergleich der vier Gruppen größte Gewicht haben.

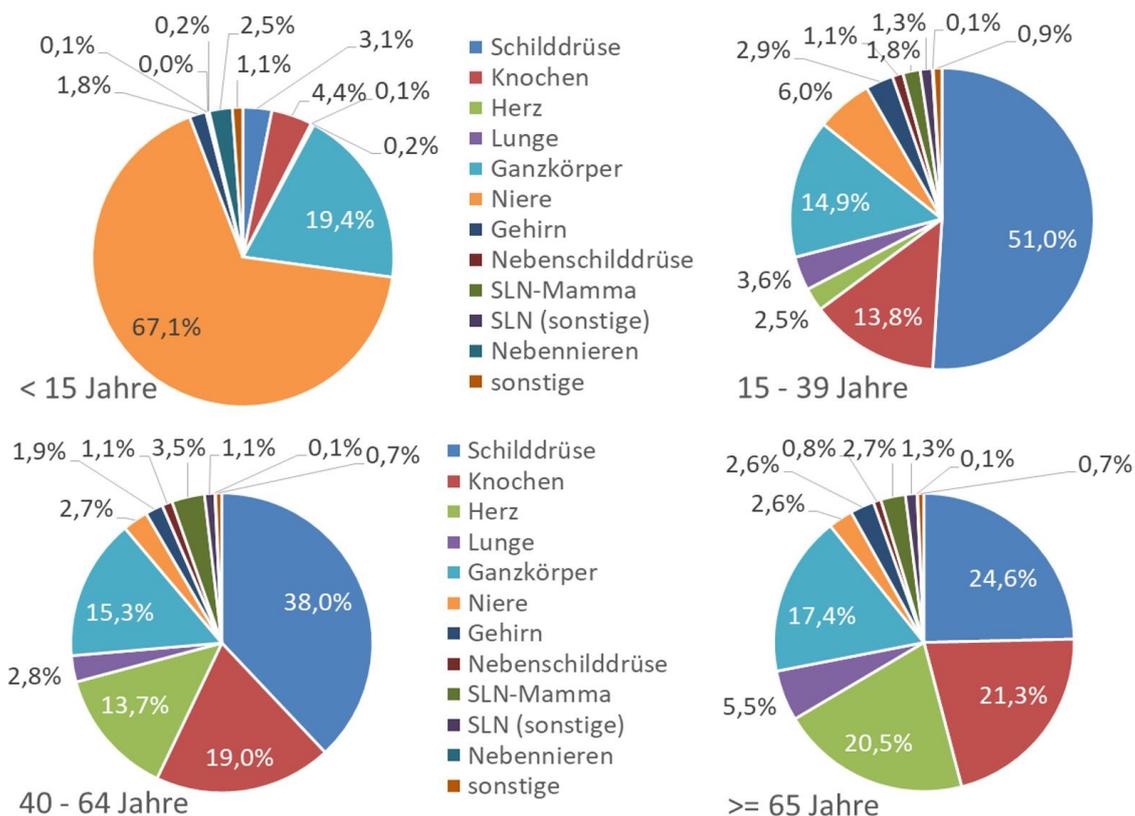
Die Untersuchung von Organbereichen in Abhängigkeit unterschiedlicher Altersstufen ist in Abbildung 21 dargestellt. Im Bereich oben links sind Daten für Personen bis zum vollendeten fünfzehnten Lebensjahr zusammengefasst, oben rechts diejenigen für Personen im Alter von fünfzehn Jahren bis zum vollendeten vierzigsten Lebensjahr. Unten links folgen Personen bis zum vollendeten fünfundsechzigsten Lebensjahr und unten rechts Personen ab einem Alter von fünfundsechzig Jahren.

Es zeigt sich ganz prominent, dass in der jüngsten Altersgruppe mit über 65% vornehmlich Nierenuntersuchungen durchgeführt werden. Diese gehen in der zweiten Altersgruppe um mehr als einen Faktor 10 auf etwa 6% zurück und verbleiben bei den beiden Gruppen noch älterer Patienten bei etwa 2,7%. Im Vergleich zur Vorgängerstudie ist der relative Anteil der Nierenuntersuchungen in der zweiten Altersstufe von etwa 4,5% auf 6% gestiegen, in den sonstigen Altersstufen in etwa konstant geblieben.

In allen Altersstufen hat sich der Anteil der Ganzkörperuntersuchungen im Vergleich zur Vorgängerstudie gleichmäßig erhöht. Erstaunlicherweise liegt die relative Häufigkeit der Ganzkörperuntersuchungen dabei unabhängig vom Alter im Bereich zwischen etwa 15% und 19,5% und ist damit bei unterschiedlicher absoluter Häufigkeit relativ doch recht konstant. Die erhöhte Anzahl an Ganzkörperuntersuchungen geht in der Kindergruppe ganz eindeutig auf Kosten der Skelettuntersuchungen, deren relative Häufigkeit von über 12% auf unter 5% abnimmt. Dieses geschieht allerdings bei einer insgesamt niedrigen Untersuchungshäufigkeit in dieser Altersgruppe. Die Gesamtzahl an Untersuchungen in dieser Gruppe liegt bei weniger als 4500. Im Vergleich dazu sind in den beiden ältesten Altersstufen über 200.000 Untersuchungen berücksichtigt. Die zweite Altersstufe umfasst etwa 38.000 Untersuchungen.

Schilddrüsenuntersuchungen werden relativ am häufigsten in der Altersstufe der Patienten bis zum vierzigsten Lebensjahr durchgeführt. Bei Kindern treten diese selten auf. Bei älteren Altersgruppen geht die relative Häufigkeit kontinuierlich zurück. Die Werte dieser Erhebung entsprechen vom Verlauf her denen der Vorgängerstudie, wobei die relativen Häufigkeiten aufgrund der allgemein beobachteten niedrigeren Häufigkeit von Schilddrüsenuntersuchungen nur noch in etwa gut 80% bei den beiden mittleren Altersstufen und nur noch etwa 75% bei der ältesten Gruppe bezogen auf die Vorgängerstudie erreichen.

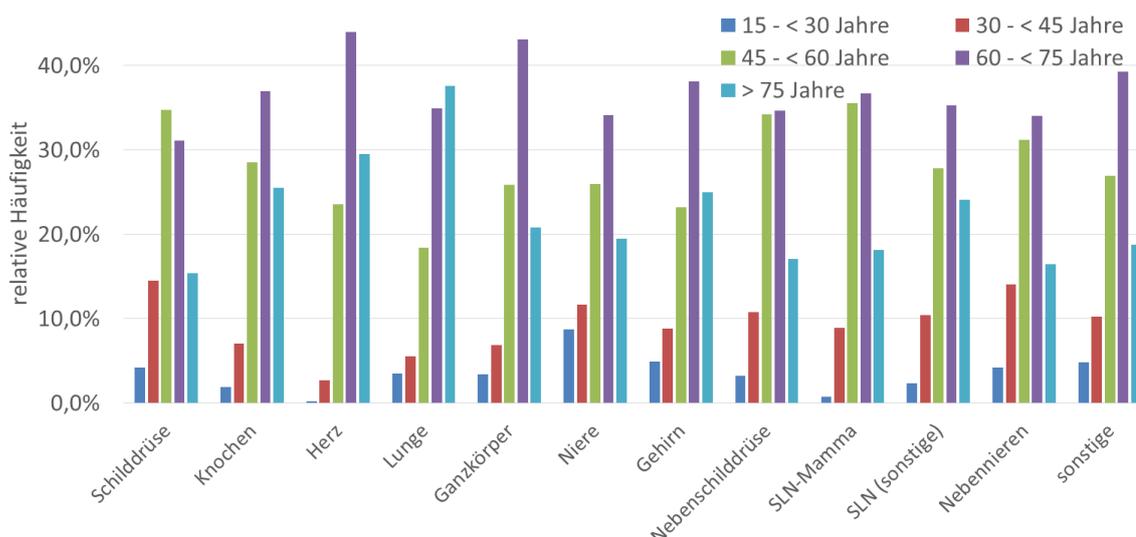
Der Anteil der Skelettuntersuchungen beläuft sich im Vergleich zur Vorgängerstudie in der zweiten Altersgruppe auf etwa 90% und nimmt über etwa 80% in der dritten Gruppe auf etwa 70% in der ältesten Gruppe ab.



**Abbildung 21: Relative Häufigkeit, mit der Untersuchungen in Patientenkollektiven unterschiedlichen Alters durchgeführt werden. Oben links: Personen bis zum vollendeten fünfzehnten Lebensjahr; oben rechts: Personen von fünfzehn Jahren bis zum vollendeten vierzigsten Lebensjahr; unten links: Personen von 40 Jahren bis zum vollendeten fünfundsechzigsten Lebensjahr; unten rechts: Personen ab einem Alter von fünfundsechzig Jahren**

Die relativen Häufigkeiten der Herzuntersuchungen sind in den drei älteren Kollektiven in etwa konstant geblieben. Lungenuntersuchungen haben in allen Altersstufen leicht zugelegt.

In Abbildung 22 ist die relative Häufigkeit dargestellt, mit der Untersuchungen eines Organsystems an Patienten einer spezifischen Altersgruppe durchgeführt werden. Die Summe der relativen Häufigkeiten in jedem Organsystem summiert sich daher zu 100%. Es wurden jeweils Kohorten von 15 Jahren, beginnend mit der Gruppe der fünfzehn bis vierunddreißigjährigen Personen, unterschieden.

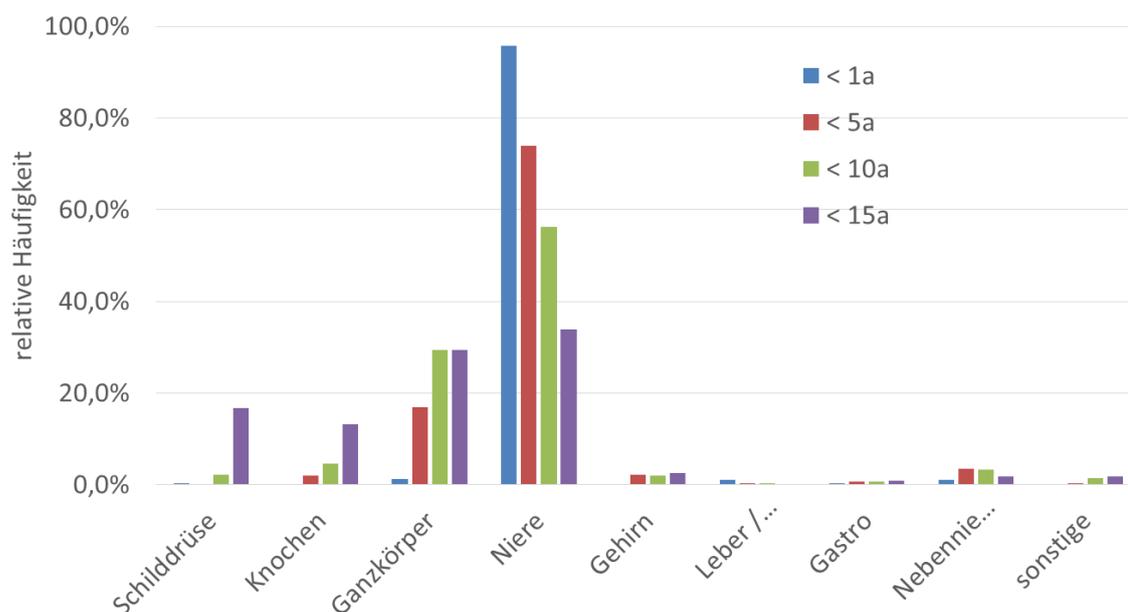


**Abbildung 22: Relative Häufigkeit, mit der Untersuchungen von Organsystemen an Patienten eines speziellen Altersbereichs durchgeführt werden**

Es ist zu erkennen, dass die einzelnen Organsysteme vielfach hauptsächlich in zwei der Altersstufen untersucht werden. In einigen Fällen liegen auch prominent Zuordnungen zu einer Altersstufe vor. Dieses fällt insbesondere bei Herz- und Ganzkörperuntersuchungen aber auch im kleineren Umfang bei Nieren- sowie Hirnuntersuchungen auf, bei denen die Gruppe der sechzig bis vierundsiebzigjährigen klar überwiegt. Bei Untersuchungen der Lunge überwiegen Personen im Alter ab fünfundsiebzig Jahren, bei Schilddrüsen die Gruppe der fünfundvierzig- bis sechzigjährigen Personen. Bei Mamma-SLN-Untersuchungen fällt der Alterszeitraum auf, in dem Frauen innerhalb des Mammographiescreenings einer regelmäßigen Untersuchung auf Brustkrebs unterliegen.

Nachdem Ursachen für Untersuchungen an Kindern sehr stark von deren Alter abhängen, kann die Gruppierung der Personen bis zum vollendeten fünfzehnten Lebensjahr nur einen Anhalt über das reale Geschehen geben. In Abbildung 23 sind daher für Kinder bis zum vollendeten ersten Lebensjahr sowie danach in Fünfjahresstufen die relativen Häufigkeiten von Untersuchungen dargestellt. Bei dieser Abbildung summieren sich die relativen Häufigkeiten einer Altersstufe in allen berücksichtigten Organsystemen zu 100%.

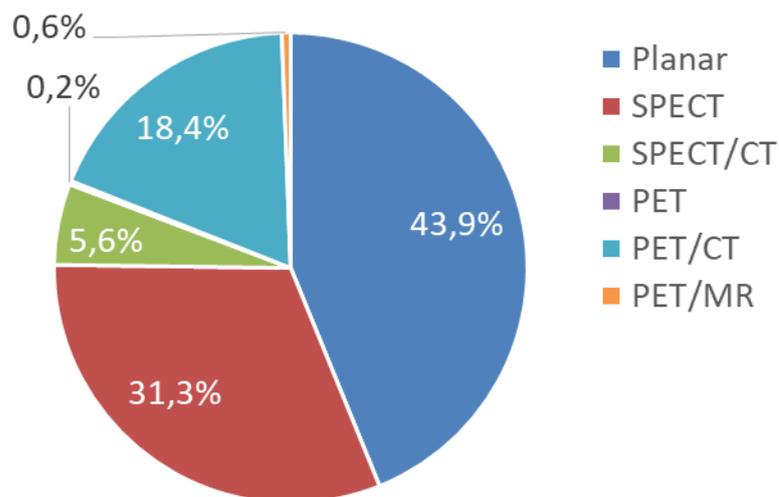
Die Auftragung zeigt deutlich die Änderung in der relativen Häufigkeit von Nierenuntersuchungen im Kindesalter. In der Gruppe der Personen unterhalb von einem Jahr liegt die relative Häufigkeit für Untersuchungen dieses Organsystems bei über 95%. Bei älteren Gruppen geht sie bis auf unter 35% zurück. Ganzkörperuntersuchungen treten in der jüngsten Altersgruppe fast nicht auf und erreichen über einen Wert von 17% bei den Kindern bis zum vollendeten fünften Lebensjahr einen stabilen Wert von nahezu 30% bei den beiden ältesten Stufen. Untersuchungen der Schilddrüse oder des Skeletts treten nennenswert erst in der ältesten Gruppe auf.



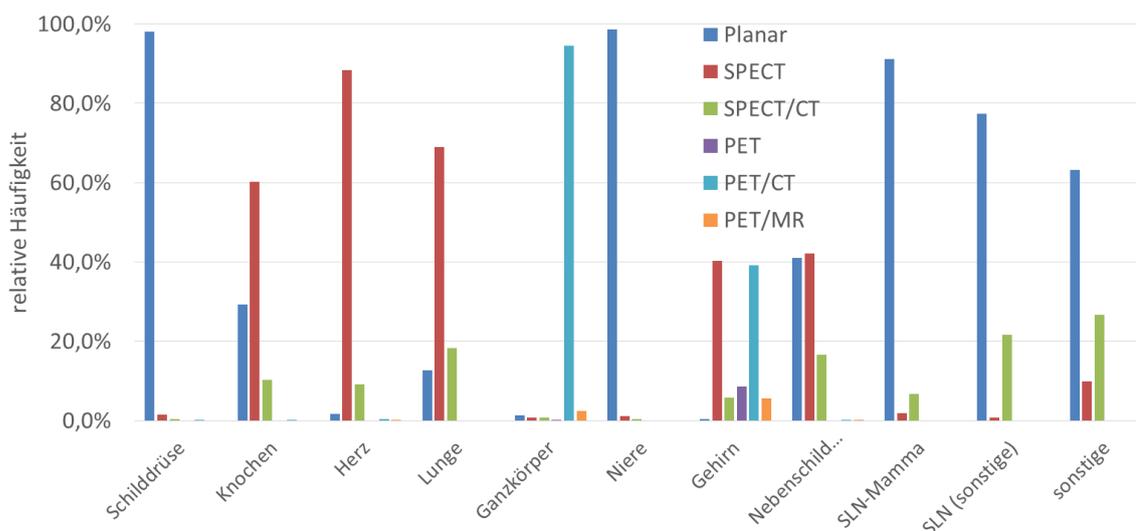
**Abbildung 23: Relative Häufigkeit der Untersuchung von Organsystemen innerhalb von vier Altersgruppen bis zum vollendeten fünfzehnten Lebensjahr**

#### 4.1.4 Häufigkeit des Einsatzes verschiedener Modalitäten

In Abbildung 24 ist die relative Häufigkeit der Nutzung unterschiedlicher Bildgebungsmodalitäten bei Untersuchungen im Datenbestand der Erhebung dargestellt. Es ist zu erkennen, dass im Erhebungszeitraum bereits etwa ein Viertel aller Untersuchungen als Hybridbildgebung durchgeführt wurden.



**Abbildung 24: Relative Häufigkeit der Nutzung unterschiedlicher Bildgebungsmodalitäten**

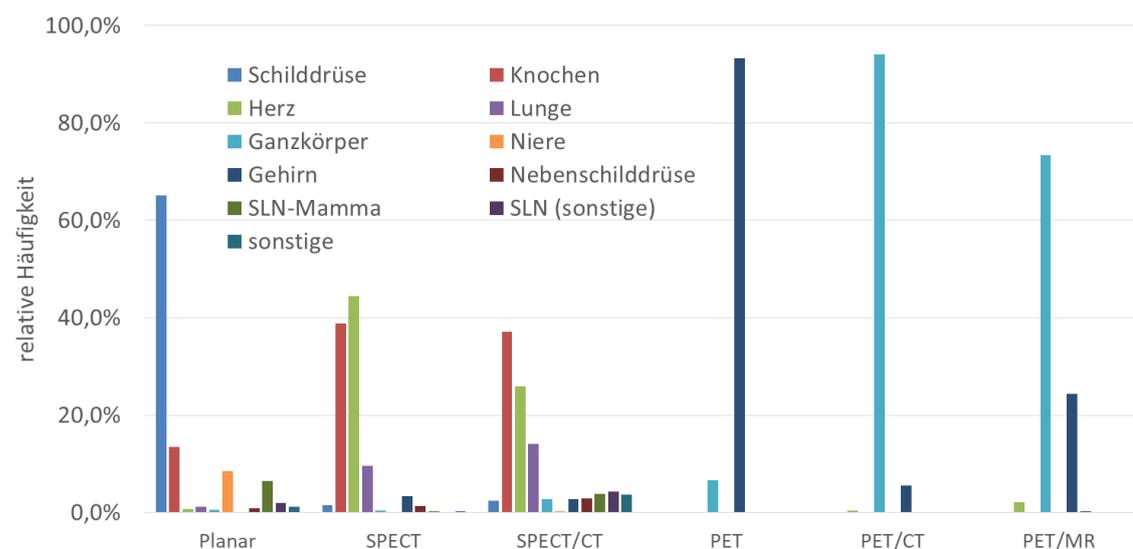


**Abbildung 25: Relative Häufigkeit, mit der unterschiedliche Bildgebungsverfahren bei der Untersuchung von Organsystemen zum Einsatz kommen.**

Die Verteilung im Hinblick auf unterschiedliche Organsysteme ist in Abbildung 25 dargestellt. Sie entspricht von der Auftragung her Abbildung 22, d.h. die relativen Häufigkeiten in einem Organsystem summieren sich zu 100%.

Es ist zu erkennen, dass neben den klassischen Verfahren der planaren Szintigraphie sowie der SPECT insbesondere bei Untersuchungen der Lunge, der Nebenschilddrüse sowie bei SLN-Untersuchungen in komplexeren Szenarien SPECT/CT-Untersuchungen im deutlich zweistelligen Prozentanteil zum Einsatz kommen. PET/CT-Untersuchungen tragen zu etwa 95% der Ganzkörperuntersuchungen sowie 40% der Hirnuntersuchungen bei. Ein isoliertes PET wird hingegen nur noch in wenigen Ausnahmefällen betrieben. Im Gesamtdatensatz der Erhebung fand sich nur noch ein einziges Gerät. Die Gesamtzahl der PET/MRT-Untersuchungen ist weiterhin gering. Für spezielle Fragestellungen im Ganzkörper- sowie Hirn-Bereich trägt diese Bildgebung inzwischen aber auch erkennbar bei.

In Abbildung 26 sind die Daten zur Nutzung von Modalitäten noch einmal unter einem anderen Blickwinkel aufgetragen. In der Abbildung wird visualisiert, für welche Organsysteme einzelne Bildgebungsverfahren besonders eingesetzt werden. Erneut summieren sich die relativen Häufigkeiten in einer Rubrik, hier für jede Modalität, zu 100%. Die planare Bildgebung wird mit über 60% der durchgeführten Leistungen, prominent in der Schilddrüsendiagnostik eingesetzt. SPECT findet vornehmlich bei Herz- und Skelettuntersuchungen Anwendung. Die SPECT/CT hat ebenso einen Schwerpunkt in der Herz- und Skelettdiagnostik. Die Anwendung bei weiteren Organsystemen ist jedoch ausgeprägter als beim reinen SPECT. Bei den PET-Modalitäten wird das PET/CT mit etwa 95% fast ausschließlich in der Ganzkörperbildgebung eingesetzt, während das PET/MRT eine Aufteilung auf in etwa drei Viertel Ganzkörper und ein Viertel Gehirnuntersuchungen erfährt.



**Abbildung 26: Relative Häufigkeit, mit der unterschiedliche Organsysteme von Bildgebungsverfahren untersucht werden.**

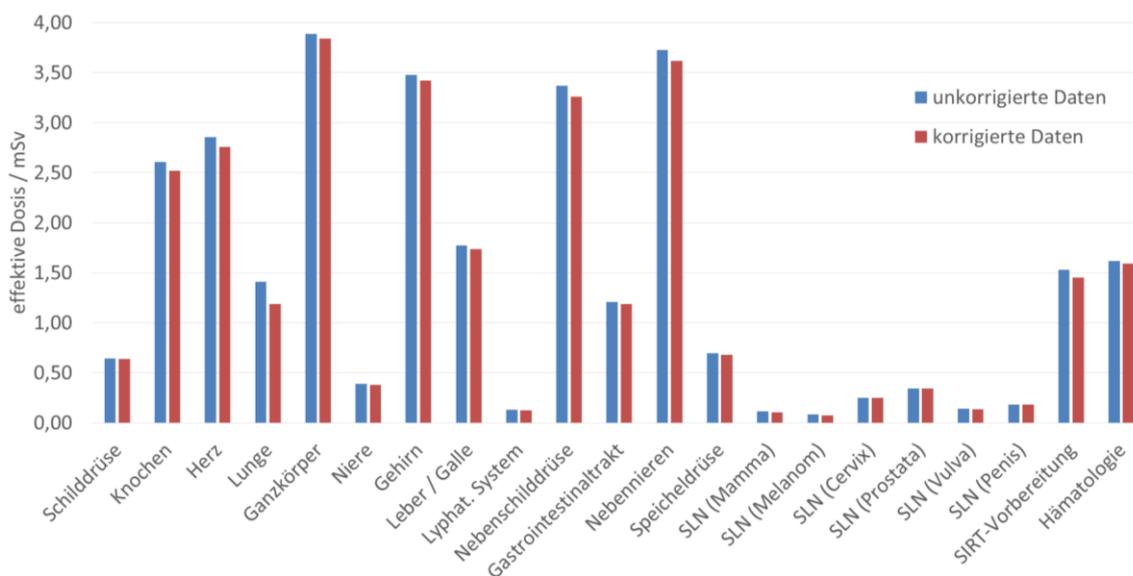
Es wird noch einmal darauf hingewiesen, dass die den voran dargestellten Graphiken zugrunde liegenden Daten in Anhang E in tabellarischer Form ergänzt sind.

## 4.2 Nuklearmedizinische Dosisdaten

### 4.2.1 Effektive Dosis bei der Untersuchung von erwachsenen Patienten

Die mittlere effektive Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungen der in der Studie unterschiedenen Organsysteme ist in Abbildung 27 dargestellt. Sie berechnet sich als Mittelwert aus sämtlichen Untersuchungen eines Organsystems innerhalb der Datengesamtheit. In der Abbildung ist nebeneinander die Dosis aufgetragen, die sich anhand der dokumentierten Aktivität zusammen mit dem verwendeten Radiopharmakon berechnet sowie diejenige, die resultiert, wenn der Nuklidzerfall zwischen Präparation und Applikation sowie der in der Spritze zurückbleibenden Anteil berücksichtigt wird, s. Abschnitt 3.4.1. Nachdem die Differenz im Mittel gering ist, sind ab Abbildung 28 ausschließlich die unkorrigierten Daten berücksichtigt.

Die angegebenen Dosiswerte beinhalten nicht den Anteil der Exposition, der sich aus computertomographischer Begleitdiagnostik ergibt. Unterschiedliche Untersuchungen eines Organsystems, z.B. mit unterschiedlicher Fragestellung oder unterschiedlichen Radiopharmaka, sind in den Darstellungen zusammengefasst. Eine Besonderheit stellen Ventilationsuntersuchungen der Lunge dar. Bei diesen verbleibt, wie bereits erwähnt, nur ein Anteil von etwa 10% der präparierten Aktivität in der Lunge. Die im Einzelfall einer Untersuchung in der Lunge verbleibende Aktivität ist in den meisten Fällen nicht genau



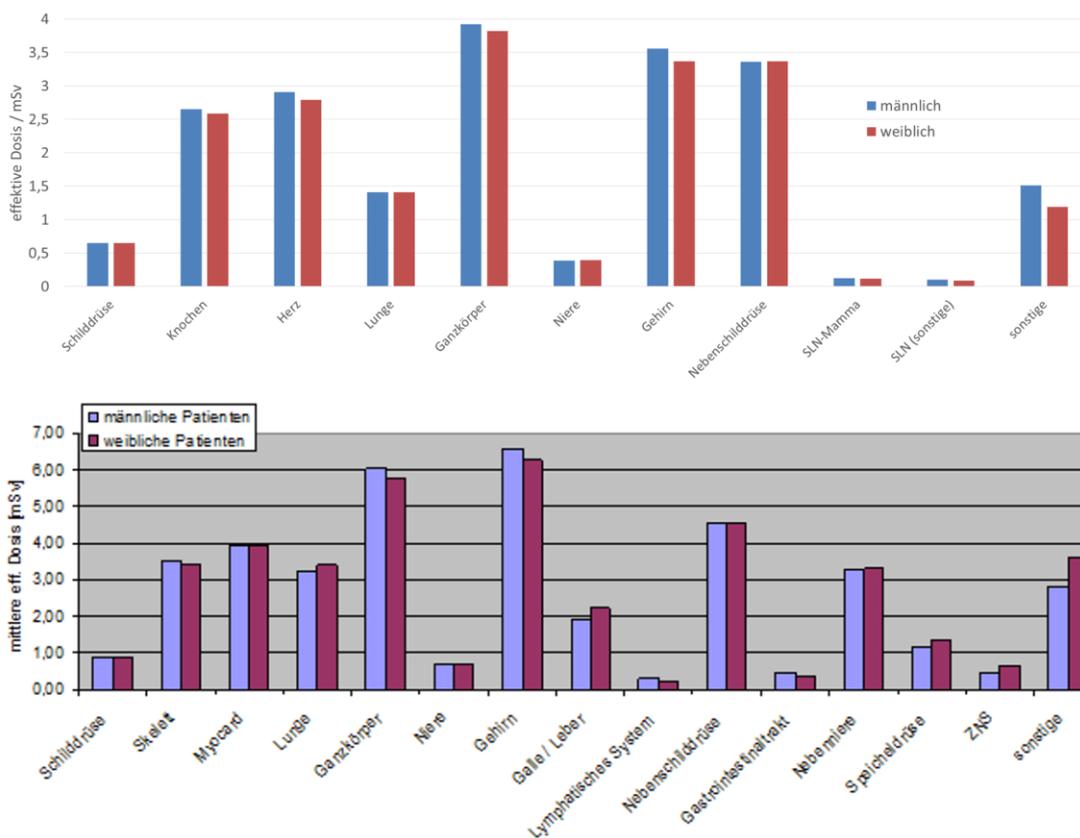
**Abbildung 27: Mittlere effektive Dosis, die sich aufgrund der bei der Untersuchung unterschiedlicher Organsysteme applizierten Aktivität ergibt.**

bekannt. Bei der Berechnung der effektiven Dosis wurde, wie in Abschnitt 3.4.1 ausgeführt, daher einheitlich eine in der Lunge verbleibende Aktivität von 35 MBq angenommen. Es erscheint in dem Zusammenhang relevant, zu erwähnen, dass bei den aktuell gültigen diagnostischen Referenzwerten die präparierte und nicht die in der Lunge verbleibende Aktivität zugrunde gelegt und kontrolliert wird.

Die analysierten Daten im gesamten Abschnitt 4.2 beziehen sich auf Untersuchungen von Personen ab Vollendung des achtzehnten Lebensjahres. Daten zu jüngeren Personen werden separat im Abschnitt 4.2.3 betrachtet.

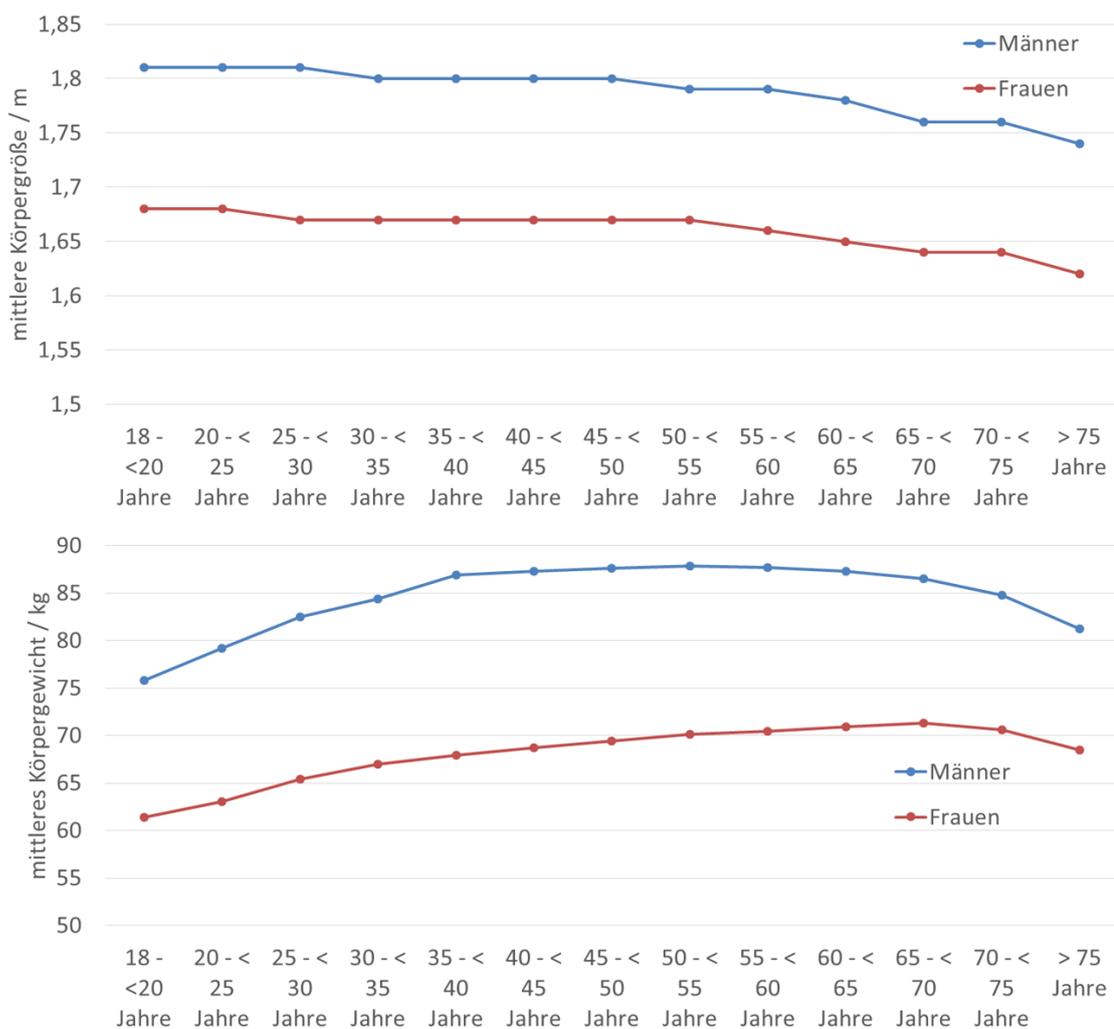
Nachdem zahlreiche Organsysteme nur mit einer sehr geringen relativen Häufigkeit untersucht werden, sind in den folgenden Darstellungen nur diejenigen Organe berücksichtigt, die gemäß der Häufigkeitsstatistik nach Abschnitt 4.1 mit einer Häufigkeit von mindestens 1% untersucht wurden. Vollständige Daten, in denen auch die weiteren Organsysteme differenziert sind, sind in den Tabellen in Anhang F enthalten.

In Abbildung 28 sind die Werte der mittleren effektiven Dosis differenziert nach dem Geschlecht der Patienten dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bei beiden Geschlechtern die Untersuchungen mit ähnlichen Werten für die effektive Dosis einhergehen, d.h. im Wesentlichen gleiche Aktivitäten bei Untersuchungen genutzt werden.



**Abbildung 28: Mittlere effektive Dosis, die sich aufgrund der bei der Untersuchung unterschiedlicher Organsysteme applizierten Aktivität ergibt, unterschieden nach männlichen und weiblichen Patienten. Oben: Daten der aktuellen Studie; unten: Daten der Vorläuferstudie aus [1]**

Es erscheint sinnvoll, in diesem Zusammenhang die mittlere Körpergröße sowie das mittlere Körpergewicht von Männern und Frauen zu betrachten. Daten hierzu sind in Abbildung 29 gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass Frauen im Mittel um etwa 8% kleiner sind als Männer, jedoch eine im Mittel um etwa 25% kleinere Masse aufweisen. Hinzu kommt, dass aufgrund anatomischer Gegebenheiten die Massenverteilung im Körper von Frauen und Männern unterschiedlich ist.



**Abbildung 29: Altersabhängigkeit der Körpergröße und des Körpergewichts für Männer und Frauen, aus [7]**

Eine größere Differenzierung in der eingesetzten Aktivität, z.B. in mehreren Gewichtsstufen, sowie der daraus resultierenden effektiven Dosis erscheint dadurch zumindest plausibel. In Abschnitt 4.2.2 sind Daten für Einrichtungen zusammengestellt, bei denen das Gewicht der Patienten im übermittelten Datensatz enthalten war und in denen es teilweise konsequent zur patientenindividuellen Festlegung der applizierten Aktivität verwendet wurde.

Im oberen Teil von Abbildung 28 sind die Daten der aktuellen Erhebung dargestellt, im unteren Teil diejenigen der Vorläuferstudie nach [1]. Es ist allgemein ein relevanter Rückgang der mit den Untersuchungen verbundenen Strahlenexposition festzustellen. So beträgt die effektive Dosis für Schilddrüsen-, Skelett-, Herz- und Nebenschilddrüsenuntersuchungen noch etwa drei Viertel und bei Nierenuntersuchungen noch knapp 60% des vorherigen Wertes. Dieser Rückgang ist allerdings im Wesentlichen nicht auf eine Verringerung der applizierten Aktivitäten zurückzuführen sondern ergibt sich in den meisten Fällen durch die in der Zwischenzeit erfolgte Änderung der Dosiskoeffizienten.

In Tabelle 19 sind für ausgewählte, häufig verwendete, Radiopharmaka die Dosiskoeffizienten für Erwachsene aus der aktuellen sowie der Vorläuferstudie gegenübergestellt. Es ist zu erkennen, dass der festgestellte Rückgang in der effektiven Dosis in etwa demjenigen entspricht, um den sich die Dosiskoeffizienten aufgrund neuerer Berechnungen geändert haben. Die Änderungen in den Dosiskoeffizienten gehen auf die Vorgaben der ICRP Publikation 103 [8] zurück. Für Ganzkörperuntersuchungen sowie Untersuchungen des lymphatischen Systems gehen die in der Erhebung festgestellten Änderungen der mittleren effektiven Dosis gleichwohl relevant über die Änderungen der Dosiskoeffizienten hinaus. Die hier festgestellten Änderungen sind auf eine Verringerung der im Zusammenhang mit den Untersuchungen eingesetzten Aktivität zurückzuführen.

	$K_D(\text{alt}) / \mu\text{Gy}/\text{MBq}$	$K_D(\text{neu}) / \mu\text{Gy}/\text{MBq}$	Änderung
Tc-99m Perchnetat	13,0	9,9	24%
Tc-99m HDP	5,7	4,3	25%
Tc-99m MIBI	9,0	6,9	23%
Tc-99m MAG3	7,0	4,0	47%
F-18 FDG	19,0	16,0	16%
Tc-99m Nanocoll	1,6	1,2	25%

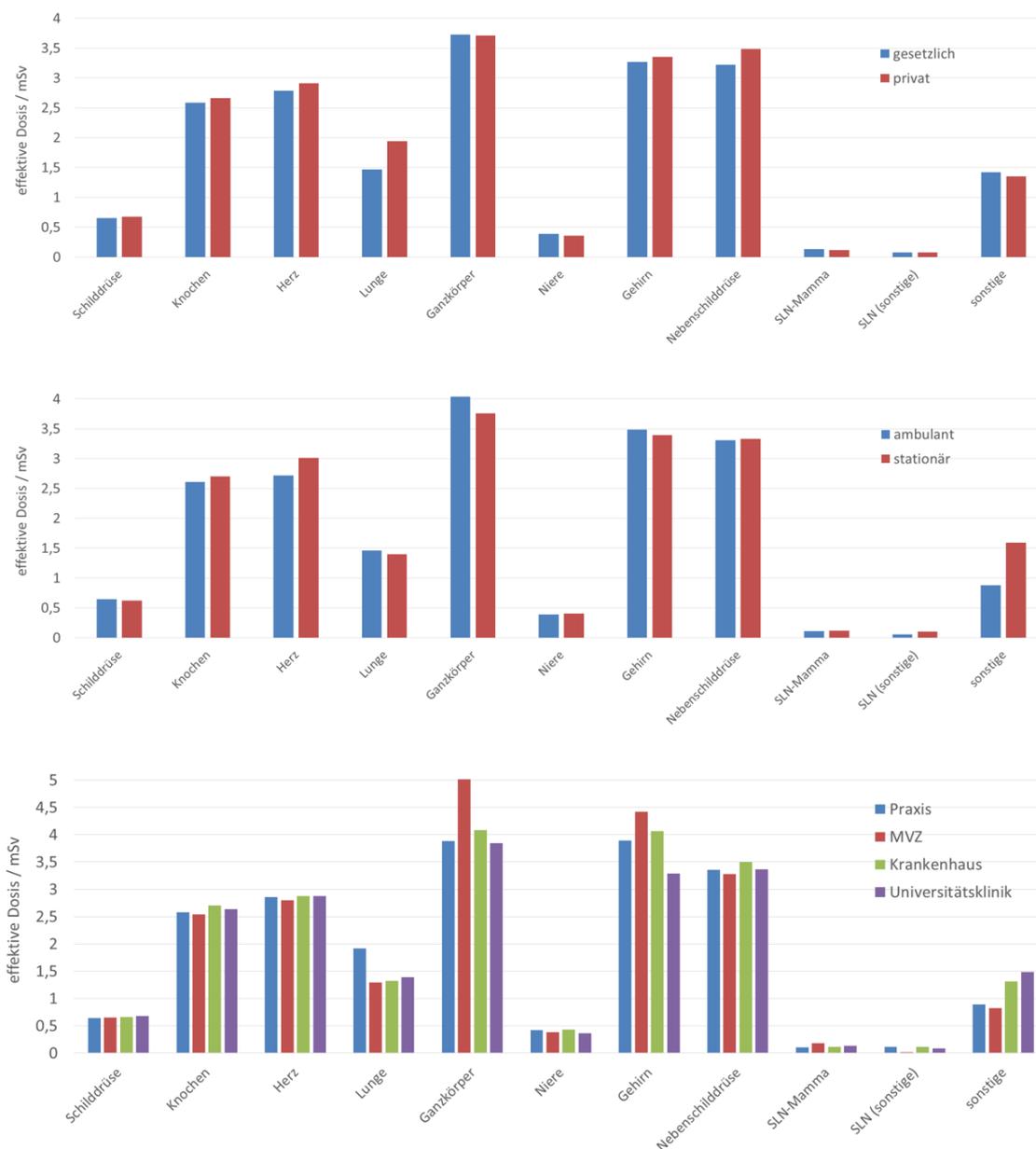
**Tabelle 19: Ausgewählte Dosiskoeffizienten aus der Vorläuferstudie (2007/08) und der aktuellen Erhebung (2016/17) sowie Angabe zu der relativen Änderung**

Der um mehr als einen Faktor zwei geringere Wert für die effektive Dosis bei Lungenuntersuchungen innerhalb der aktuellen Erhebung ist weitgehend darauf zurückzuführen, dass bei der Vorläuferstudie die effektive Dosis bei Ventilationsuntersuchungen anhand der eingesetzten und nicht anhand der in der Lunge verbleibenden Aktivität berechnet wurde.

In Abbildung 30 sind die Werte für die mittlere effektive Dosis in Abhängigkeit des Versicherungsstatus und Aufnahmezustand der Patienten sowie des Typs der untersuchenden Institution dargestellt.

Hinsichtlich des Versicherungs- sowie Aufnahmezustand sind keine relevanten Unterschiede in den Patientengruppen festzustellen. Im Hinblick auf die untersuchenden Institutionen ist bei Lungen- sowie Hirnuntersuchungen sowie den Ganzkörperuntersuchungen eine relevante Abhängigkeit der resultierenden effektiven Dosis von den leistungserbringenden Institutionen zu erkennen. Bei der Lungendiagnostik liegen die Werte der effektiven Dosis von Untersuchungen, die in Krankenhäusern, MVZ und Universitätskliniken

durchgeführt werden um über 40% unter derjenigen in Praxen. Dieser Unterschied ist weitgehend auf eine unterschiedliche Zusammensetzung an Untersuchungen in den Institutionen zurückzuführen. Nachdem Lungenperfusionsuntersuchungen zu einer effektiven Dosis von etwa 2 mSv führen, die Dosis der Ventilationsuntersuchungen jedoch deutlich unter einem Millisievert liegt, ergeben sich bei abweichender Zusammensetzung der Untersuchungen direkt deutliche Unterschiede.

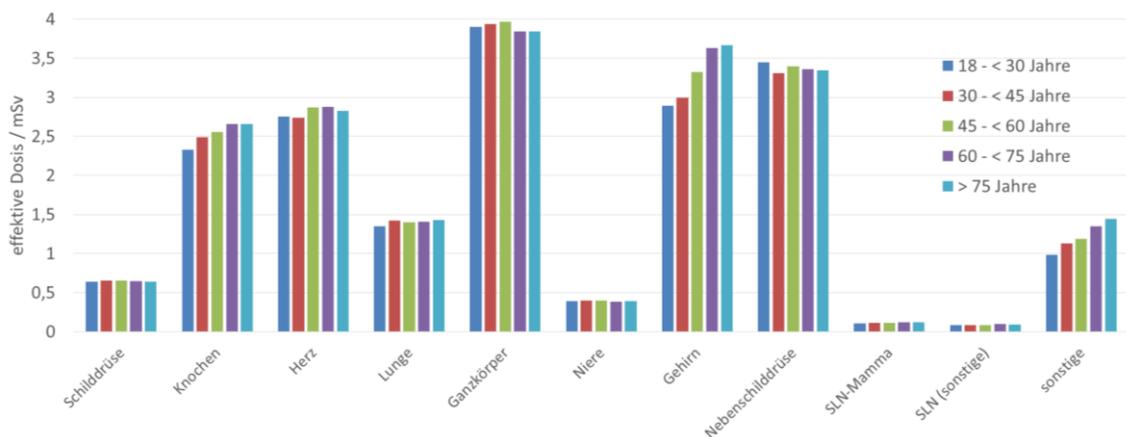


**Abbildung 30: Mittlere effektive Dosis, die sich aufgrund der bei der Untersuchung unterschiedlicher Organsysteme applizierten Aktivität ergibt, unterschieden nach dem Versicherungsstatus (oben), und dem Aufnahmezustand (Mitte) der Patienten sowie dem Typ der untersuchenden Institution (unten).**

Bei Untersuchungen des Gehirns liegt der Mittelwert der effektiven Dosis in den Universitätskliniken um etwa ein Viertel unter derjenigen in den anderen Einrichtungstypen. Der hier festgestellte Unterschied ergibt sich ebenso im Wesentlichen aus einer unterschiedlichen Zusammensetzung von Untersuchungen des Gehirns, die hier zusammengefasst werden und die mit unterschiedlicher Strahlenexposition der Patienten einhergehen. So ist der Anteil der PET-Diagnostik bei Untersuchungen des Gehirns in Universitätskliniken gegenüber anderen Instituten deutlich erhöht. Exemplarisch liegt die effektive Dosis von I-123 DatSCAN Untersuchungen bei etwa 4,3 mSv, diejenige von F-18 FDG und F-18 Amyloid PET bei etwa 2,7 mSv.

Bei Ganzkörperuntersuchungen liegt die mittlere effektive Dosis in MVZ um etwa 20% oberhalb derjenigen anderer Einrichtungen. Der hier festgestellte Unterschied scheint auf die in der Erhebung enthaltenen Einrichtungen der jeweiligen Typen sowie die in diesen applizierte Aktivität und die damit einhergehende Strahlenexposition zurückzuführen zu sein. Exemplarisch werden in dem Kollektiv der MVZ-Einrichtungen im Mittel F-18 FDG Untersuchungen mit einer effektiven Dosis von etwa 4,9 mSv durchgeführt, innerhalb der anderen Kollektive mit im Mittel 4,1 mSv. Gleichmaßen führen die mit In-111 Oktreotid oder Tc-99m Tektrotyd durchgeführten Untersuchungen in den MVZ im Mittel zu einer Exposition von etwa 6 mSv, in den anderen Einrichtungen zu einer von etwa 4,9 mSv, insbesondere aufgrund eines deutlich höheren Anteils von In-111 Oktreotiduntersuchungen im MVZ-Kollektiv.

In Abbildung 31 ist die mittlere effektive Dosis für Personen unterschiedlicher Altersstufen dargestellt. Bei den meisten Organsystemen ist keine starke Abhängigkeit von der Altersstufe festzustellen. Anders bei Untersuchungen des Gehirns. Diese gehen bei jüngeren Patienten im Mittel mit einer relevant niedrigeren Dosis einher. Aufgrund der

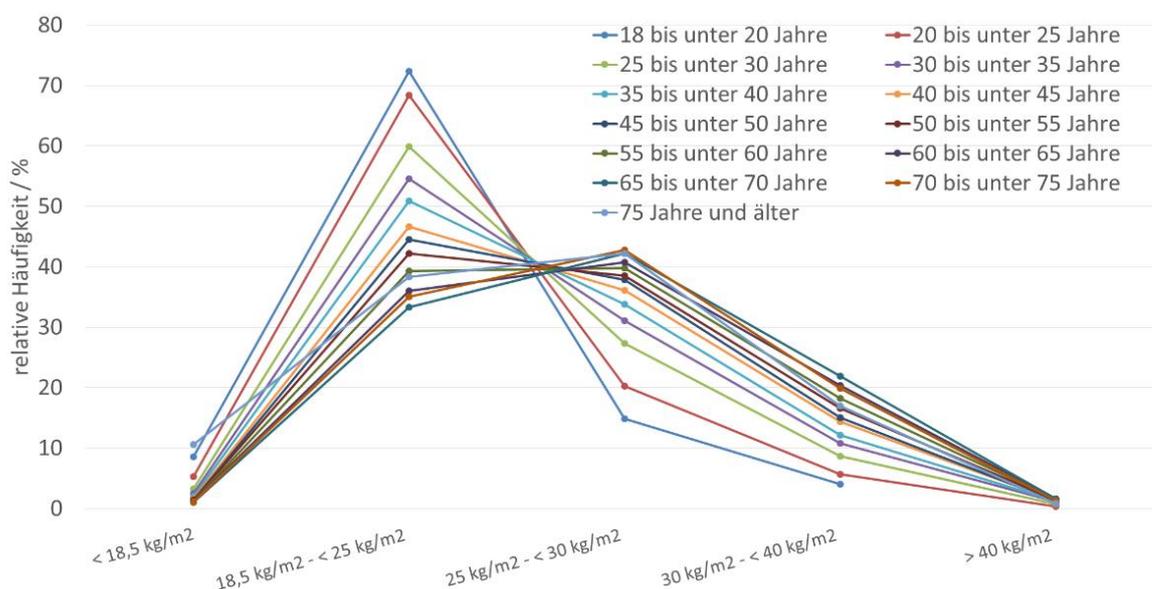


**Abbildung 31: Mittlere effektive Dosis, die sich aufgrund der bei der Untersuchung unterschiedlicher Organsysteme applizierten Aktivität in unterschiedlichen Altersgruppen ergibt.**

großen Vielfalt unterschiedlicher Radiopharmaka, die bei Untersuchungen des Gehirns zum Einsatz kommen, lässt sich jedoch keine einfache Erklärung geben, die auf nur eine oder wenige Untersuchungen abzielt.

#### 4.2.2 Gewichtsabhängigkeit applizierter Aktivität bei Erwachsenen

In Abschnitt 4.2.1 wurde bereits der Unterschied im mittleren Gewicht sowie der mittleren Größe von Frauen und Männern angesprochen. In Abbildung 32 ist ergänzend die Verteilung des Body-Mass-Index der Deutschen Bevölkerung für unterschiedliche Altersgruppen aufgetragen. Die Verteilungen legen nahe, dass es zumindest für manche Untersuchungen sinnvoll sein kann, die Höhe der applizierten Aktivität vom Körpergewicht oder der Größe der Patienten abhängig zu machen.



**Abbildung 32: Relative Häufigkeit des Body-Mass-Index bei Personen unterschiedlichen Alters in Deutschland, aus [9]**

Für die Größe der Patienten befanden sich in dem Gesamtdatensatz Angaben aus nicht mehr als vier Einrichtungen. Eine Detailauswertung zu diesem Parameter wurde daher nicht durchgeführt. Angaben zum Gewicht der Patienten wurden von einer leicht größeren Anzahl an Einrichtungen bereitgestellt. Diese Daten wurden ausgewertet. Resultate sind in den Graphiken in Abbildung 33 und Abbildung 34 dargestellt. Um statistische Ausreißer zu unterdrücken sind in der Auswertung nur enthalten:

1. Einträge von Einrichtungen, die für eine Untersuchungsart über alle Gewichtsbereiche mindestens 10 Angaben zum Gewicht gemacht haben,
2. Einträge zur effektiven Dosis in einem Gewichtsbereich, wenn die entsprechende Einrichtung in dieser Stufe Angaben zu mindestens drei Patienten getätigt hat.

Aufgetragen ist in den Abbildungen jeweils der Median der relativen applizierten Aktivität bei Patienten, von denen eine Gewichtsangabe vorliegt. Die Vergleichsgröße ist bei den Auftragungen der Median. Dieser wurde gewählt, da die Größe bei wenigen Daten weniger stark von Ausreißern beeinflusst wird, als der Mittelwert der Verteilung. Nachdem von etlichen Einrichtungen nur vergleichsweise wenige Daten zum Gewicht der Patienten vorlagen, wurde der Median für diese Auswertung anhand aller Daten ermittelt, d.h. ohne die Abtrennung der oberen und unteren 5%.

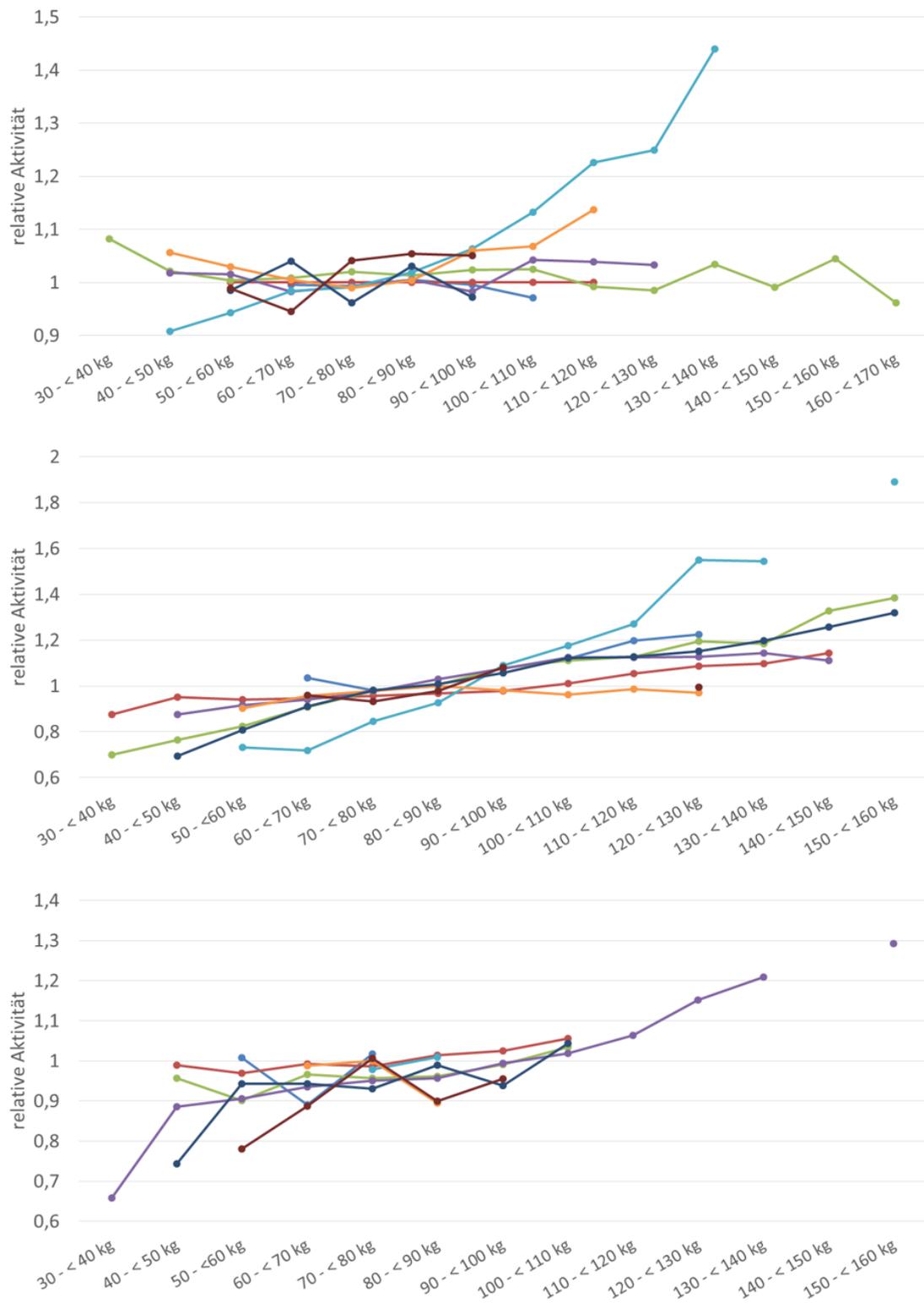
In Abbildung 33 und Abbildung 34 ist die Gewichtsabhängigkeit der in Einrichtungen applizierten Aktivität für sechs unterschiedliche Untersuchungen dargestellt:

1. Schilddrüsenuntersuchungen mit Tc-99m Perchnetat - Abbildung 33 (oben)
2. Herzuntersuchungen im Zweitagesprotokoll mit Tc-99m MIBI - Abbildung 33 (Mitte)
3. Lungenuntersuchungen als Perfusionsuntersuchung mit Tc-99m MAA - Abbildung 33 (unten)
4. Ganzkörperuntersuchungen mit F-18 FDG - Abbildung 34 (oben)
5. Untersuchungen des Skeletts aufgrund benigner Veränderungen mit Tc-99m Phosphaten - Abbildung 34 (Mitte)
6. Untersuchung der Nieren mit Tc-99m MAG3 - Abbildung 34 (unten)

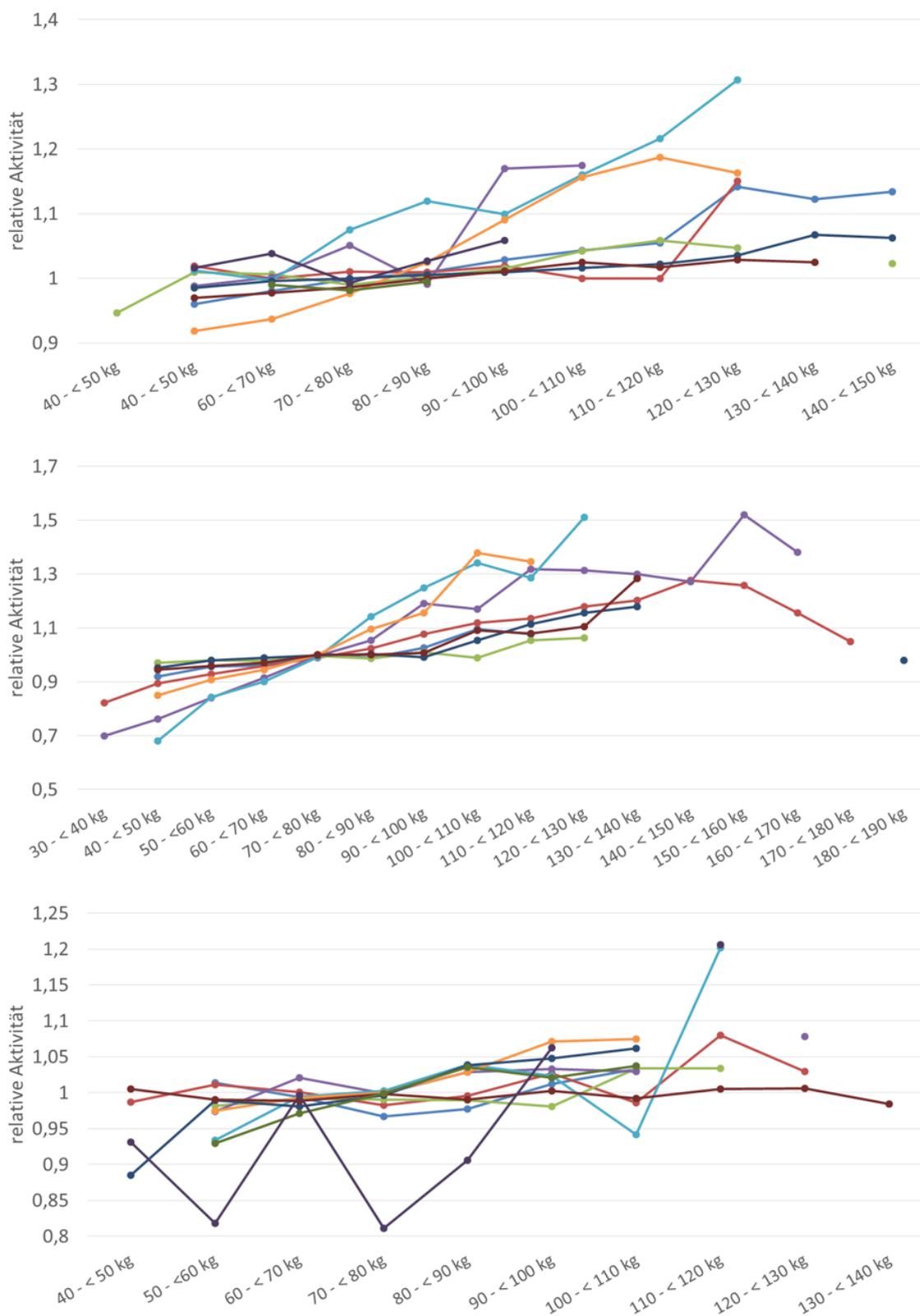
Die Datenpunkte und Verbindungslinien einer Farbe entsprechen in jede Abbildung jeweils der gleichen Einrichtung. Gleiche Farben in unterschiedlichen Abbildungen können auch zu unterschiedlichen Einrichtungen gehören. Bei einigen Auftragungen, z.B. den beiden unteren Graphiken von Abbildung 33 sind isolierte Punkte enthalten. Diese treten dann auf, wenn in einer Einrichtung nicht in allen Gewichtsbereichen, in diesem Fall im Bereich 140 kg bis 150 kg, Daten vorlagen.

Der berücksichtigte Gewichtsbereich reicht von weniger als 40 kg Körpergewicht bis zu nahezu 170 kg, wird jedoch nicht bei allen betrachteten Untersuchungen ausgeschöpft.

Es ist zu erkennen, dass unabhängig von der jeweiligen Untersuchung zumindest in einigen Einrichtungen eine gewichtsadaptierte Applikation von Aktivität erfolgt. Diese ist bei Nierenuntersuchungen sowie solchen der Schilddrüse allerdings eher selten und wenig ausgeprägt. Bei der Untersuchung des Herzens im Zweitagesprotokoll sowie der Lunge als Perfusionsuntersuchung mit MAA ist hingegen bei zahlreichen Einrichtungen eine Gewichts Anpassung der applizierten Aktivität deutlich zu erkennen. Doch auch bei diesen Untersuchungen gibt es Einrichtungen, die die Information des Gewichts der Patienten nicht merklich zu einer Anpassung der applizierten Aktivität nutzen. Das Verhalten fällt insbesondere bei den beiden Randbereichen auf. Patienten mit einem Gewicht von weniger als 70 kg fallen in den Gewichtsbereich, bei dem für Kinder eine Aktivitätsanpassung



**Abbildung 33: Gewichtsabhängigkeit der in Einrichtungen applizierten Aktivität bezogen auf den jeweiligen Median der Aktivität für Untersuchungen der Schilddrüse mit Tc-99m Pertechnetat (oben), des Herzens im Zweitagesprotokoll mit Tc-99m MIBI (Mitte) sowie der Lunge als Perfusionsuntersuchung mit Tc-99m MAA (unten).**



**Abbildung 34: Gewichtsabhängigkeit der in Einrichtungen applizierten Aktivität bezogen auf den jeweiligen Median der Aktivität für Untersuchungen des Skeletts mit Tc-99m Phosphaten aufgrund benigner Veränderungen (oben), Ganzkörpers mit F-18 FDG (Mitte) sowie der Nieren mit Tc-99m MAG3.**

vorgesehen ist. Gemäß der aktuellen DRW [2] ist eine Berücksichtigung des Gewichtes bei Erwachsenen, anders als bei Kindern, nicht verpflichtend. Sie wäre allerdings plausibel. Etliche Einrichtungen vollziehen diese Anpassung nicht. Auf dem gegenüberliegenden Ende der Gewichtsskala führt ebenso eine Körpermasse von mehr als 120 kg bei einigen Einrichtungen immer noch nicht zu einer relevanten Erhöhung der im Mittel applizierten Aktivität.

#### **4.2.3 Gewichtsabhängigkeit applizierter Aktivität bei Kindern**

Gemäß der „Dosage Card“ der Europäischen Gesellschaft für Nuklearmedizin (EANM) sowie auch aufgrund der Vorgaben der in Deutschland gültigen diagnostischen Referenzwerte ist es vorgesehen, dass Kinder mit einer an ihrem Körpergewicht orientierten, verringerten Aktivität untersucht werden. Für die an Kindern häufiger durchgeführten Untersuchungen

- Nierenuntersuchungen mit Tc-99m MAG3,
- Ganzkörperuntersuchungen mit F-18 FDG,
- Ganzkörperuntersuchungen mit I-123 MIBG,
- Skelettuntersuchungen mit Tc-99m Phosphaten,
- Schilddrüsenuntersuchungen mit Tc-99m Pertechnetat,

sind die Aktivitäten, die im Mittel in Gewichtsklassen zwischen 4 kg und über 70 kg Körpergewicht appliziert werden, in Abhängigkeit des Körpergewichts in Abbildung 35 und Abbildung 36 dargestellt. Die Darstellungen geben die im Mittel in allen Einrichtungen applizierte Aktivität wieder. Einzelne Einrichtungen können von diesem Mittelwert relevant nach oben oder unten abweichen, s. Abbildung 37. In der Darstellung berücksichtigt wurden nur mittlere Aktivitäten, die in einem Gewichtsbereich auf mindestens drei Einträgen beruhen. Bei einer kleineren Anzahl an Einträgen wurden die Werte nicht berücksichtigt, um statistische Ausreißer nicht überzubetonen. Bei Einrichtungen, welche die konkreten Körpergewichte von Kindern nicht mitgeteilt haben, wurden wahrscheinliche Gewichte gemäß des in Abschnitt 3.3.1 benannten Algorithmus abhängig vom Alter der Kinder berechnet.

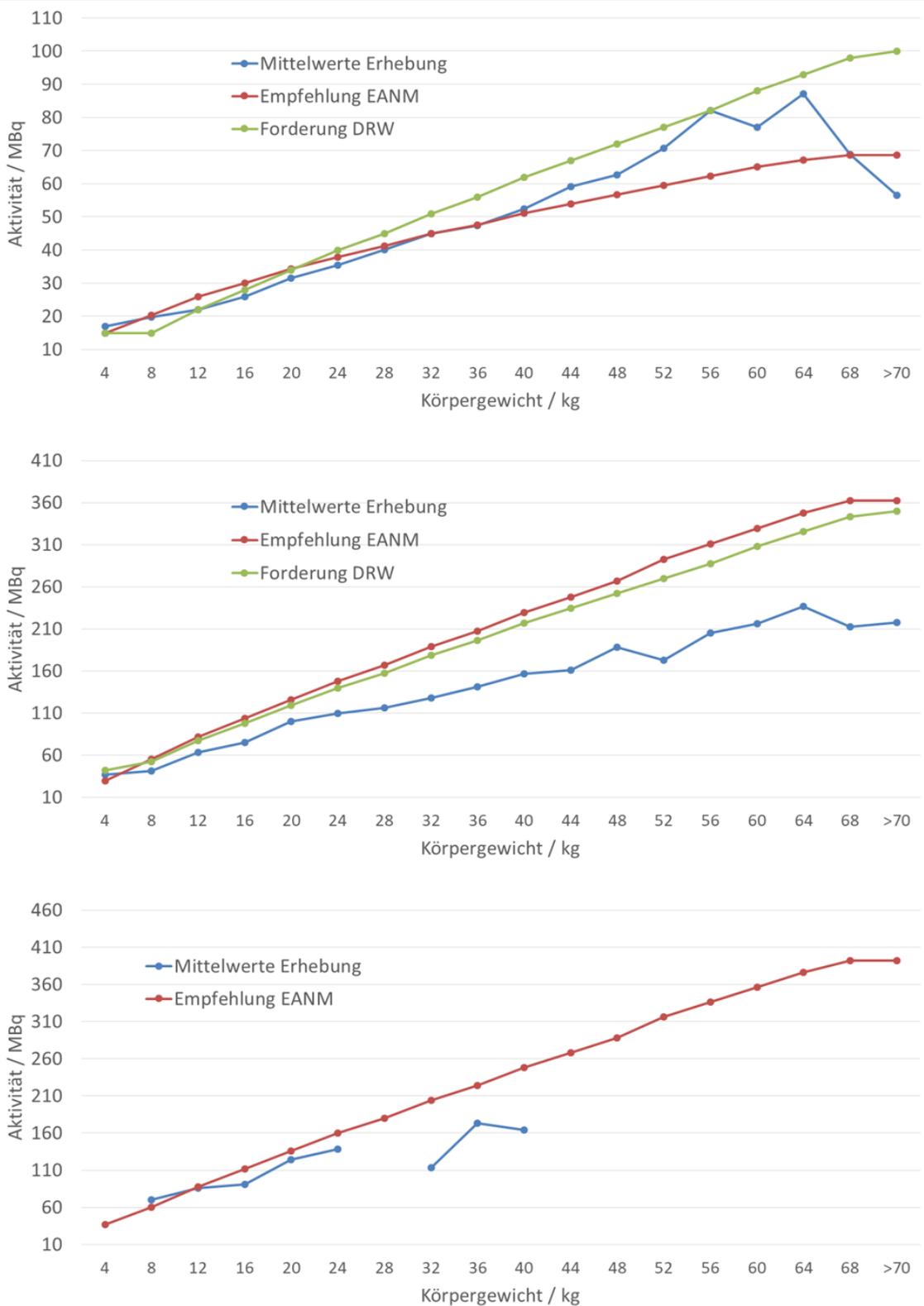
In der untersten Gewichtsstufe sind Kinder bis zu einem Körpergewicht von 6 kg zusammengefasst. Bei den höheren Gewichtsstufen wurden Intervalle von 4 kg verwendet. Das angegebene Gewicht entspricht hier der Mitte des Intervalls.

Bei den DRW sind für Untersuchungen des Skeletts zwei Werte angegeben, einmal für Untersuchungen aufgrund benigner Veränderungen und einmal für solche aufgrund maligner Prozesse. Bei der Auftragung wurde von einer über beide Anwendungsfälle gemittelten Aktivität von 575 MBq für eine Untersuchung bei Erwachsenen ausgegangen.

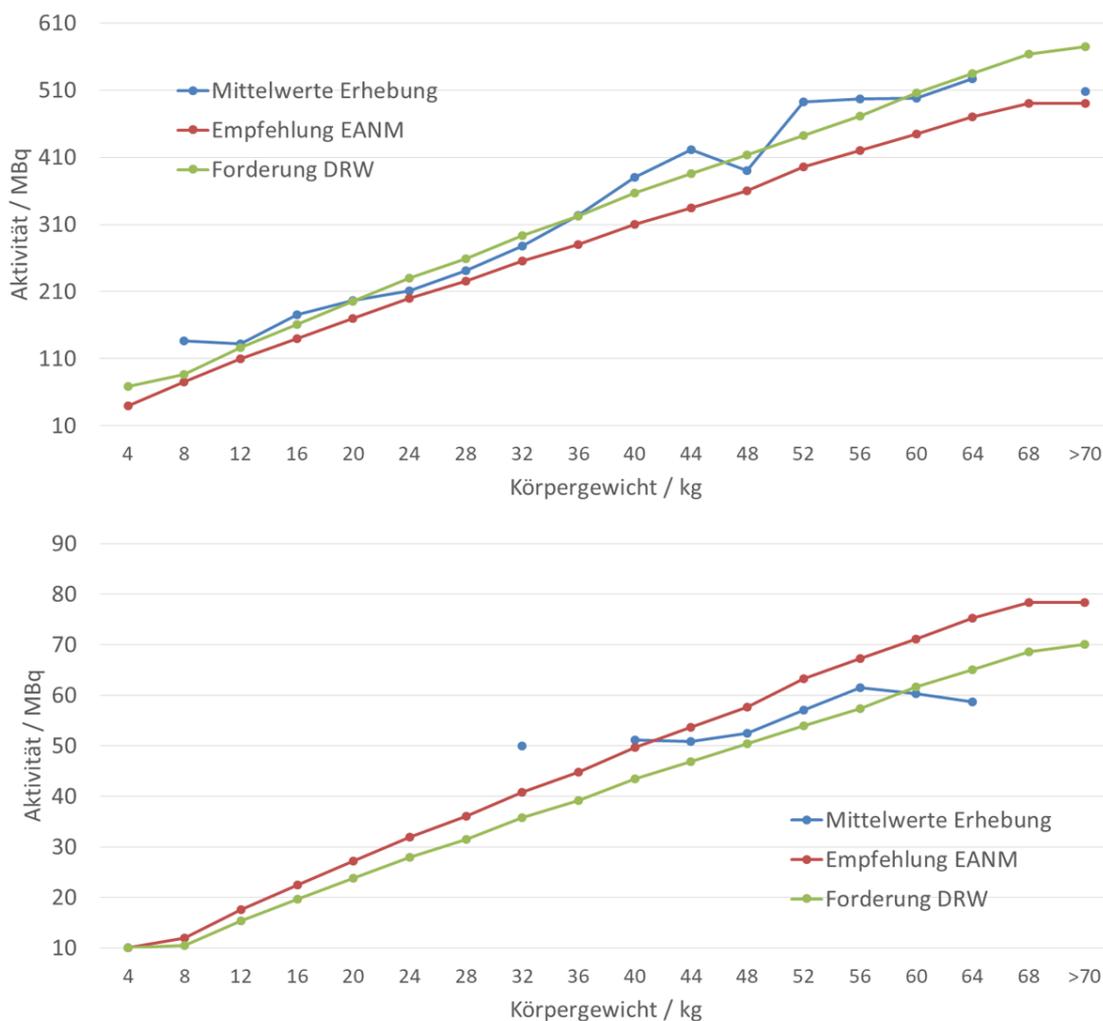
Es ist zu erkennen, dass die im Mittel bei den betrachteten Untersuchungen applizierten Aktivitäten gut im Einklang mit den Vorgaben der DRW sowie der dosage card sind. Bei F18-FDG PET-Untersuchungen sowie Schilddrüsenuntersuchungen bleiben die Aktivitäten darüber hinaus deutlich unter den Vorgaben. Dieses ist im Einklang mit der Beobachtung bei Untersuchungen an Erwachsenen, bei denen für diese Untersuchungen ebenso im Mittel Aktivitäten genutzt werden, die relevant unter den aktuellen DRW liegen.

Die alleinige Auftragung der Mittelwerte verbirgt, dass teilweise relevante Unterschiede zwischen unterschiedlichen Einrichtungen bestehen. Entsprechendes war bereits in der Vorläuferstudie beobachtet worden, vgl. Tabelle 6 aus dem Abschlussbericht der Studie, s. [1]. In Abbildung 37 sind daher die Daten aus Abbildung 35 für Untersuchungen der Nieren mit Tc-99m MAG3 sowie dem Ganzkörper mit F-18 FDG um Informationen zu individuellen Einrichtungen ergänzt dargestellt.

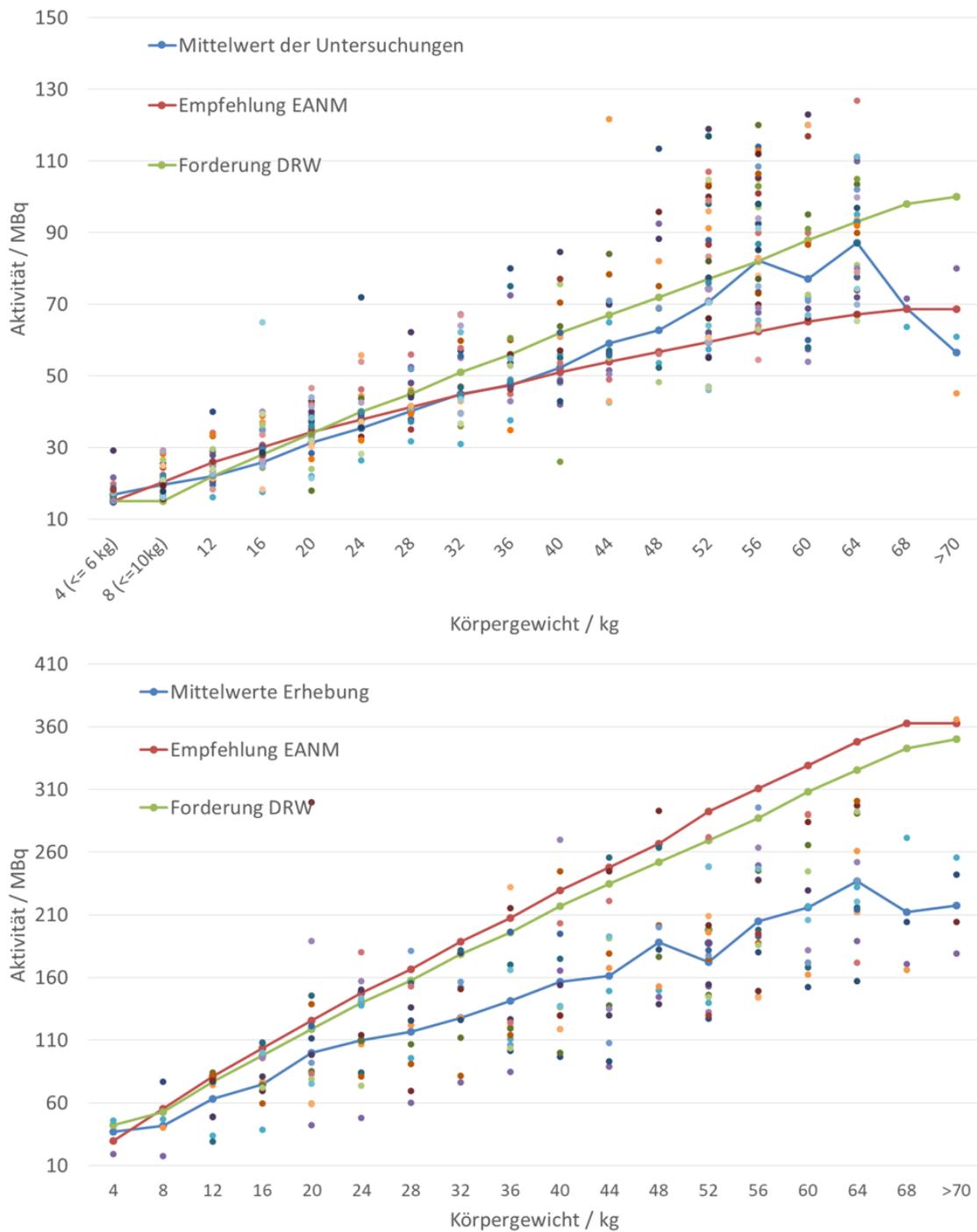
Es ist zu erkennen, dass der Unterschied zwischen der von unterschiedlichen Einrichtungen bei einem Körpergewichtsbereich im Mittel applizierten Aktivität in der gleichen Größenordnung ist, wie die applizierte Aktivität an sich. Hier scheint lokal ein relevanter Bedarf zu einer Optimierung zu bestehen. Neben Einrichtungen, die eine auffallend hohe Aktivität applizieren, fallen dabei auch solche auf, die weit weniger Aktivität verwenden als es gemäß den Vorgaben der DRW bzw. den EANM-Empfehlungen vorzusehen ist. In letzteren Einrichtungen wäre zu befürchten, dass die Bildqualität nicht in allen Fällen vollumfänglich den klinischen Anforderungen genügt.



**Abbildung 35: Mittlere Aktivitäten die bei Untersuchungen der Nieren mit Tc-99m MAG3 (oben), des Ganzkörpers mit F-18 FDG (Mitte) sowie des Ganzkörpers mit I-123 MIBG (unten) in Abhängigkeit des Körpergewichts bei Kindern appliziert werden**



**Abbildung 36: Mittlere Aktivitäten die bei Untersuchungen des Skeletts mit Tc-99m Phosphaten (oben) sowie der Schilddrüse mit Tc-99m Pertechnetat (unten) in Abhängigkeit des Körpergewichts bei Kindern appliziert werden.**



**Abbildung 37: Mittlere Aktivitäten die bei Untersuchungen der Nieren mit Tc-99m MAG3 (oben) sowie des Ganzkörpers mit F-18 FDG (Mitte) in Abhängigkeit des Körpergewichts bei Kindern appliziert werden. Neben den Informationen aus Abbildung 35 sind als Punkte die Mittelwerte der applizierten Aktivität in den einzelnen Einrichtungen dargestellt.**

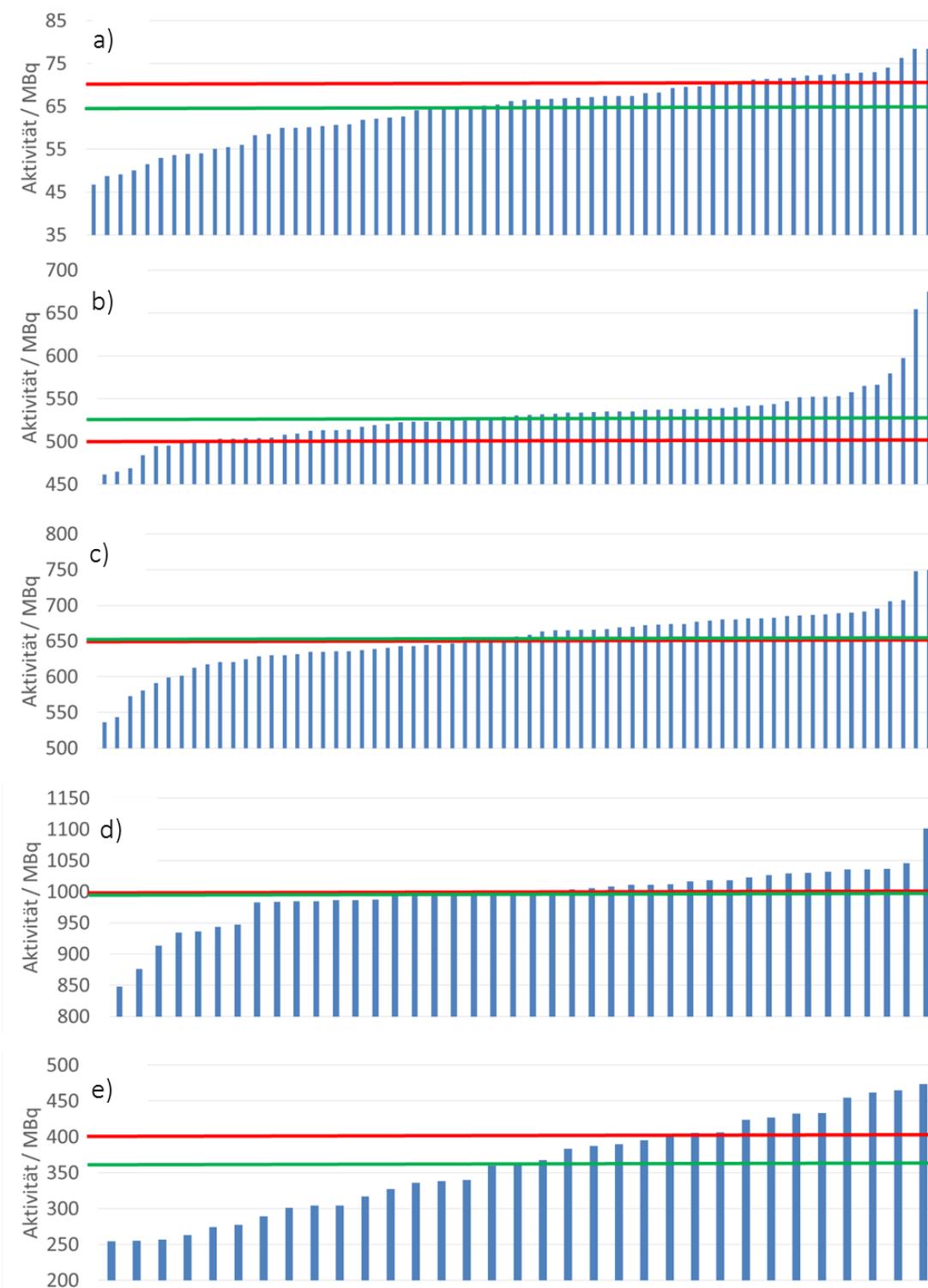
#### 4.2.4 Aktivitätsverteilungen typischer Untersuchungen

In Abschnitt 4.2.1 wurden Daten zu Untersuchungen präsentiert, die über ganze Organsysteme gemittelt waren. Es wurde dabei nicht zwischen verschiedenen Fragestellungen, Durchführungsformen der Untersuchungen oder verwendeten Radiopharmaka unterschieden. In diesem Abschnitt werden für ausgewählte Untersuchungen die Daten separat vorgestellt. Dabei werden im Unterschied zu den vorangehenden Abschnitten keine über sämtliche Einrichtungen gemittelten Daten verwendet sondern die jeweiligen Mittelwerte der einzelnen Einrichtungen getrennt betrachtet. In den Darstellungen sind als rote Linien die aktuellen DRW sowie als grüne Linien die als Mittelwert der Mittelwerte aller Einrichtungen berechneten Daten eingetragen. Berücksichtigt wurden Einrichtungen, die eine Untersuchung mindestens acht Mal im Erhebungszeitraum durchgeführt haben. Weitergehende statistische Daten zu den Verteilungen sind in Anhang E zusammengestellt.

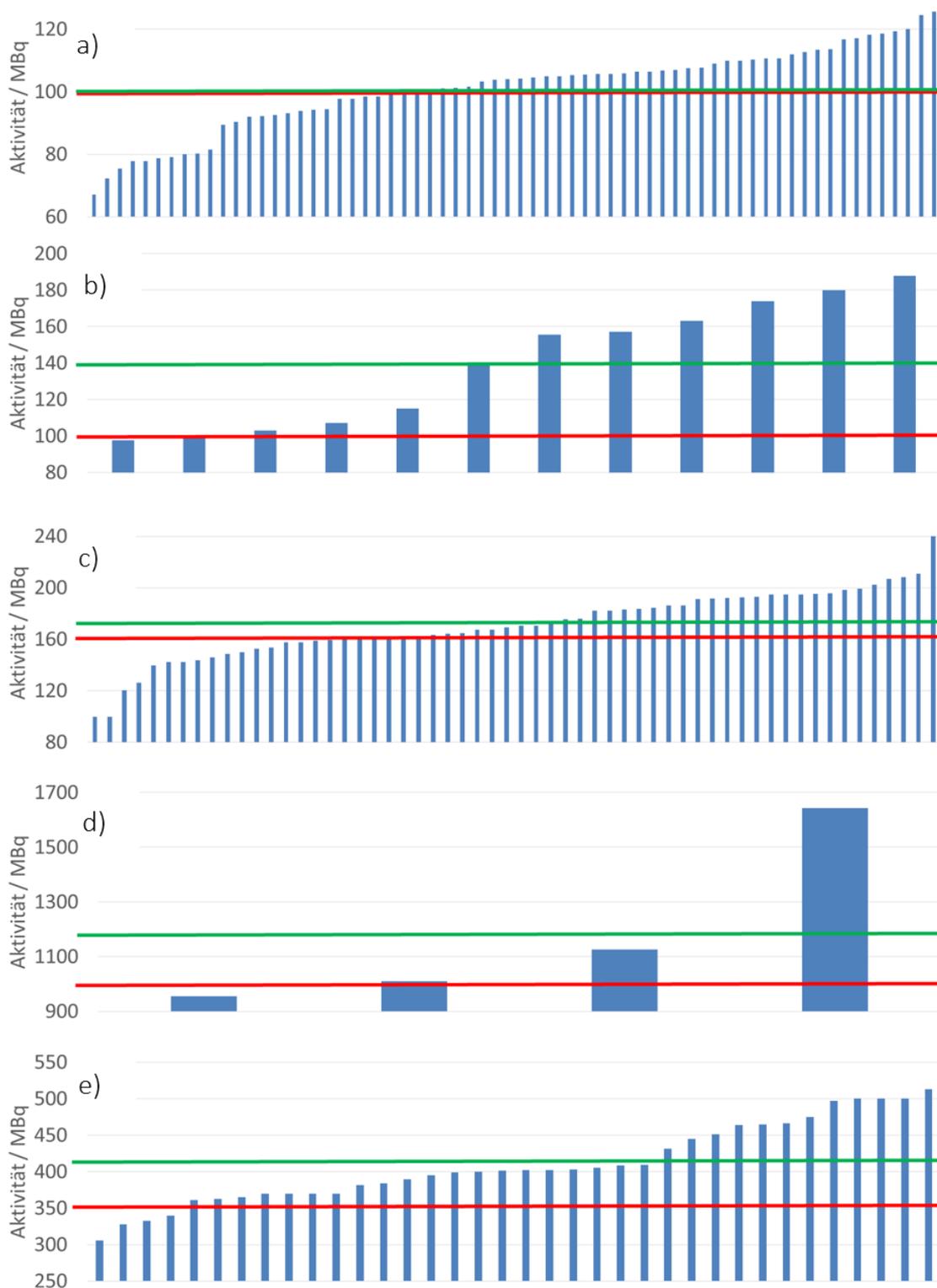
Die Skala der Ordinate ist bei den einzelnen Untersuchungen unterschiedlich gewählt, um den Bereich der in den einzelnen Einrichtungen auftretenden Aktivitäten gut zu überdecken aber dennoch bestehende Unterschiede gut erkennen zu können.

Die berücksichtigten Untersuchungen decken etwa 93% der Gesamtzahl an Untersuchungen im Datensatz ab.

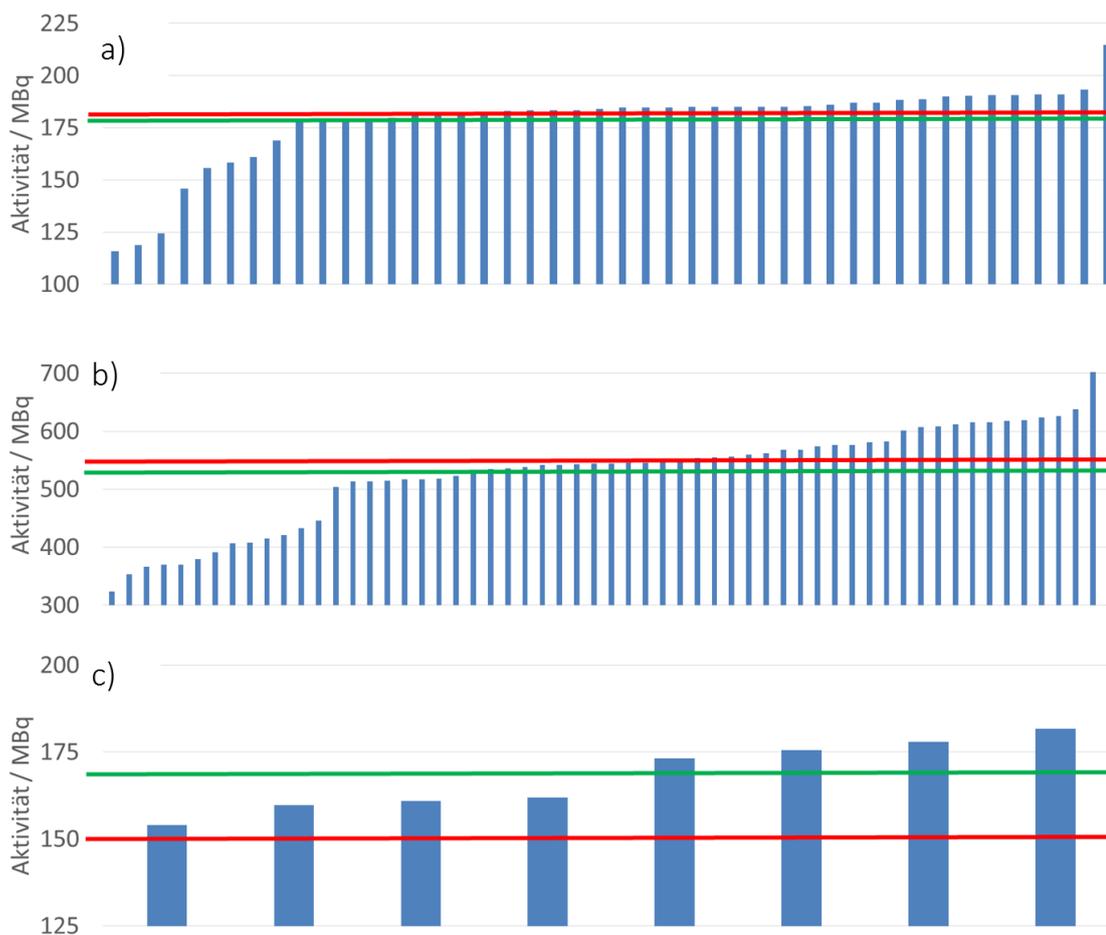
In Abbildung 38 bis Abbildung 40 sind die mittleren Aktivitäten einzelner Einrichtungen für die Untersuchungen der konventionellen Nuklearmedizin dargestellt, für die DRW festgelegt wurden. Bei zahlreichen Untersuchungen ist der Mittelwert der Mittelwerte der Einrichtungen nahe bei dem zugehörigen DRW. In zahlreichen Fällen ist die Spannweite zwischen den Einrichtungen, die die geringsten und denen, die die höchsten Aktivitäten einsetzen, jedoch groß. Es ist erfreulich festzustellen, dass bei vielen Untersuchungen einige Einrichtungen in der Lage sind, geeignete Bilddaten mit Aktivitäten zu erzielen, die z.T. mehr als 25% unterhalb der zugehörigen DRW liegen. Nachdem die DRW in der Nuklearmedizin vom Konzept her als Optimum im Fall einer mittleren Geräte- und Aufnahmetechnik anzusehen sind, ist in diesen Einrichtungen von einem besonderen Bemühen um eine dosissparende, gute Aufnahmetechnik auszugehen. Auf der anderen Seite lassen sich bei etlichen Untersuchungen einige Einrichtungen erkennen, deren Mittelwert der Aktivität sogar noch oberhalb des in der Publikation der diagnostischen Referenzwerte angegebenen Höchstwertes liegt.



**Abbildung 38: Mittlere Aktivitäten einzelner Einrichtungen für die Untersuchung (a) der Schilddrüse mit Tc-99m Pertechnetat, (b) des Skeletts mit Tc-99m Phosphaten bei einer benignen Veränderung, (c) des Skeletts mit Tc-99m Phosphaten bei einem malignen Prozess, (d) des Herzens mit Tc-99m als gesamte applizierte Aktivität bei einem Eintagesprotokoll, (e) des Herzens mit Tc-99m MIBI als Einzelapplikation bei einem Zweitagesprotokoll; rote Linie: aktueller DRW, grüne Linie: Mittelwert der Einträge**



**Abbildung 39: Mittlere Aktivitäten einzelner Einrichtungen für die Untersuchung (a) der Nieren mit Tc-99m MAG3, (b) der Lungen als Perfusionsstudie bei planarer Untersuchungstechnik, (c) der Lungen als Perfusionsstudie bei SPECT-Untersuchungstechnik, (d) der Lungen als Ventilationsstudie mit Tc-99m DTPA, (e) der Lungen als Ventilationsstudie mit Tc-99m Technegas; rote Linie: aktueller DRW, grüne Linie: Mittelwert der Einträge**



**Abbildung 40: mittlere Aktivitäten einzelner Einrichtungen für die Untersuchung (a) des Gehirns mit I-123 DatSCAN, (b) der Nebenschilddrüse mit Tc-99m MIBI sowie (c) des Ganzkörpers mit In-111 Octreotid; rote Linie: aktueller DRW, grüne Linie: Mittelwert der Einträge**

Die größte relative Abweichung zwischen dem aktuellen DRW und dem Mittelwert des Kollektivs ist bei Lungenperfusionsaufnahmen in planarer Aufnahmetechnik festzustellen. Der ermittelte Mittelwert liegt in diesem Fall um 40% oberhalb des aktuellen DRW, wobei die mittleren Aktivitäten der vier Einrichtungen mit den höchsten mittleren Aktivitäten sogar noch oberhalb des DRW für Lungenperfusionsaufnahmen in SPECT-Technik liegen. In fünf weiteren Untersuchungen weicht der Mittelwert um mindestens 10% vom aktuellen DRW ab. Dieses sind

- a) Untersuchungen der Schilddrüse mit Tc-99m Perchnetat: Mittelwert 14% kleiner als der DRW
- b) Untersuchungen des Herzens mit Tc-99m MIBI als Zweitagesprotokoll: Mittelwert 10% kleiner als der DRW
- c) Lungenventilationsuntersuchungen mit Tc-99m DTPA: Mittelwert 18% größer als der DRW

- d) Lungen ventilationsuntersuchungen mit Tc-99m Technegas: Mittelwert 17% größer als der DRW
- e) Ganzkörperuntersuchungen mit In-111 Octreotid: Mittelwert 12% größer als der DRW

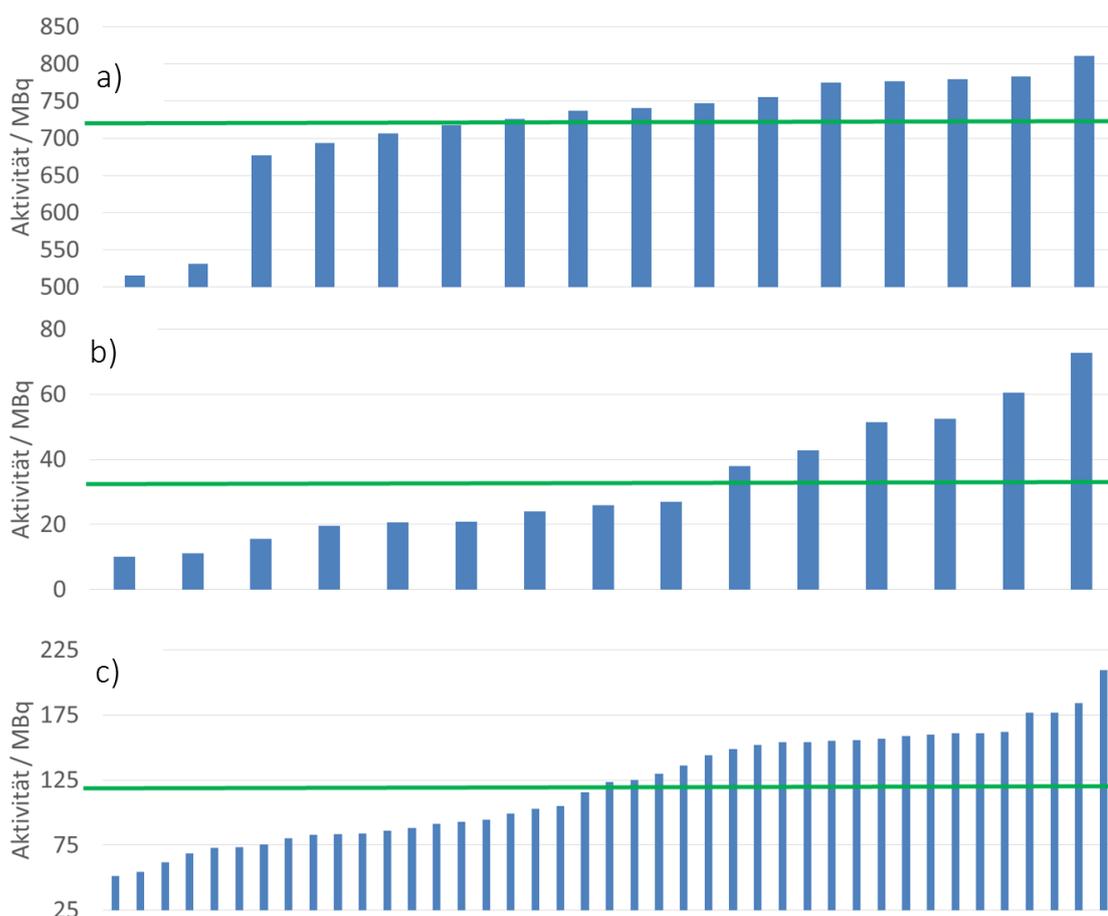
Die Abweichung des Mittelwertes bei der Lungenventilation ist sorgsam zu bewerten, da, wie bereits erwähnt, nicht das gesamte präparierte Material beim Patienten eingesetzt wird. Insofern ist hier auch die Funktion des DRW zu hinterfragen.

DRW werden gemäß des Konzeptes der ICRP [10] für häufige Untersuchungen oder solche vorgesehen, die mit einer besonders hohen Strahlenexposition einhergehen. Vor diesem Hintergrund ist es gerechtfertigt, sich die Untersuchungen des Ganzkörpers mit In-111 Octreotid sowie die Lungen ventilationsuntersuchungen mit Tc-99m DTPA anzuschauen. Die Untersuchungen treten im Gesamtkollektiv von etwa 375.000 Untersuchungen nur 223 bzw. 217 Mal auf. Sie sind damit seltener als zahlreiche andere Untersuchungen, für die keine DRW festgelegt sind. Die In-111 Octreotid-Untersuchungen gehören dabei mit einer mittleren effektiven Dosis von etwa 9 mSv gewiss zu den nuklearmedizinischen Untersuchungen, die mit der höchsten Strahlenexposition verbunden sind. Die Tc-99m DTPA-Ventilationsuntersuchungen erreichen jedoch selbst unter der Annahme einer vollständigen Inhalation des Materials nur eine effektive Dosis von etwa 4,5 mSv. Untere Berücksichtigung der real vom Patienten aufgenommenen Aktivität liegt der Wert deutlich unterhalb von 1 mSv. Insofern bleibt zu überlegen, ob es für die Untersuchungen auch in der Zukunft noch sinnvoll DRW geben soll.

In Abbildung 41 sind die Aktivitätsverteilungen für drei Untersuchungen dargestellt, die relativ häufig im Kollektiv auftreten, für die bislang jedoch keine DRW festgelegt wurden:

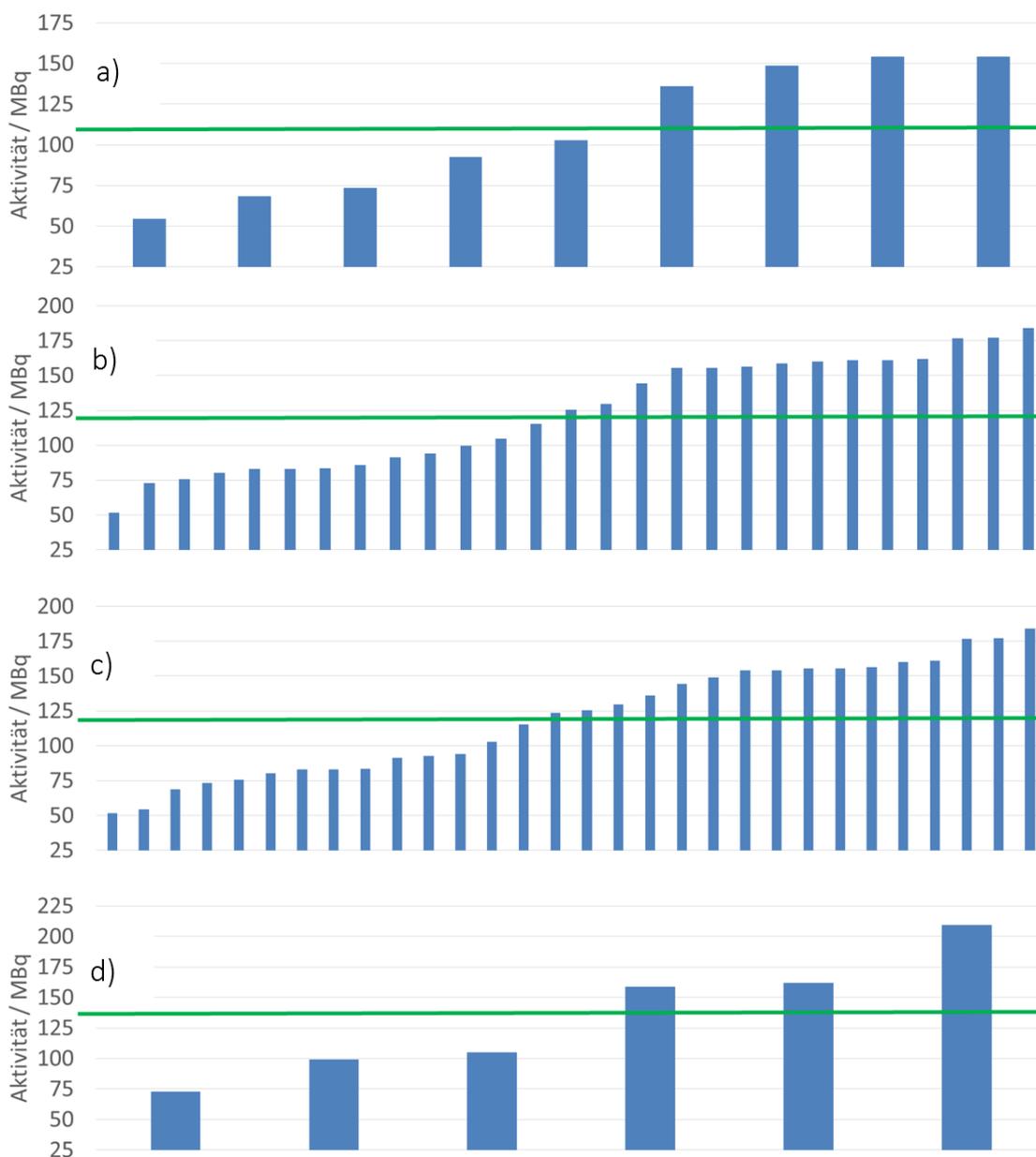
- a) Untersuchungen des Ganzkörpers mit Tc-99m Tektrotyd, das 585 Mal im Kollektiv, jedoch in 28 der 70 Einrichtungen, durchgeführt wurde,
- b) Sentinel-Lymphknoten-Diagnostik der Mamma mit einer Operation am Tag der Nuklidapplikation, die 2123 Mal im Kollektiv in insgesamt 27 Einrichtungen durchgeführt wurde,
- c) Sentinel-Lymphknoten-Diagnostik der Mamma mit einer Operation am Folgetag der Nuklidapplikation, die 10793 Mal im Kollektiv in insgesamt 46 Einrichtungen durchgeführt wurde.

Es erscheint sinnvoll, insbesondere bei der Sentinel-Lymphknoten-Diagnostik orientierende Werte für die zu applizierende Aktivität anzugeben. Aktuell weichen hier die verwendeten Aktivitäten weit voneinander ab und sind teilweise in einer Höhe, die einen rechtskonformen Umgang mit der Restaktivität in SLN-Präparaten in Frage stellen.



**Abbildung 41: Mittlere Aktivitäten einzelner Einrichtungen für die Untersuchung (a) des Ganzkörpers mit Tc-99m Tektrotyd und der Sentinel-Lymphknoten-Diagnostik der Mamma (b) bei Operationen am Tag der Applikation sowie (c) am Folgetag der Applikation; grüne Linie: Mittelwert der Einträge**

Bei der SLN-Diagnostik unterscheiden sich die Vorgehensweisen der Einrichtungen hinsichtlich der Applikationsorte und Applikationsweise deutlich mehr als bei anderen Untersuchungen. Mit dem Ziel, den Einfluss der unterschiedlichen Vorgehensweisen auf die im Mittel applizierte Aktivität festzustellen, sind in Abbildung 42 Daten für Teilgruppen der Einrichtungen aufgetragen, die eine SLN-Diagnostik der Mamma mit einer Operation am Folgetag durchführen. Unterschieden wurden dabei zum einen die beiden primären Applikationstiefen intradermal sowie subdermal bzw. subareolär und zum anderen die beiden primären Applikationsorte periareolär bzw. subareolär und peritumoral. Einrichtungen, die keine eindeutige Angabe zu der Applikationsart oder dem Applikationsort gemacht haben oder bei denen unterschiedliche Formen vorkommen, wurden nicht berücksichtigt.

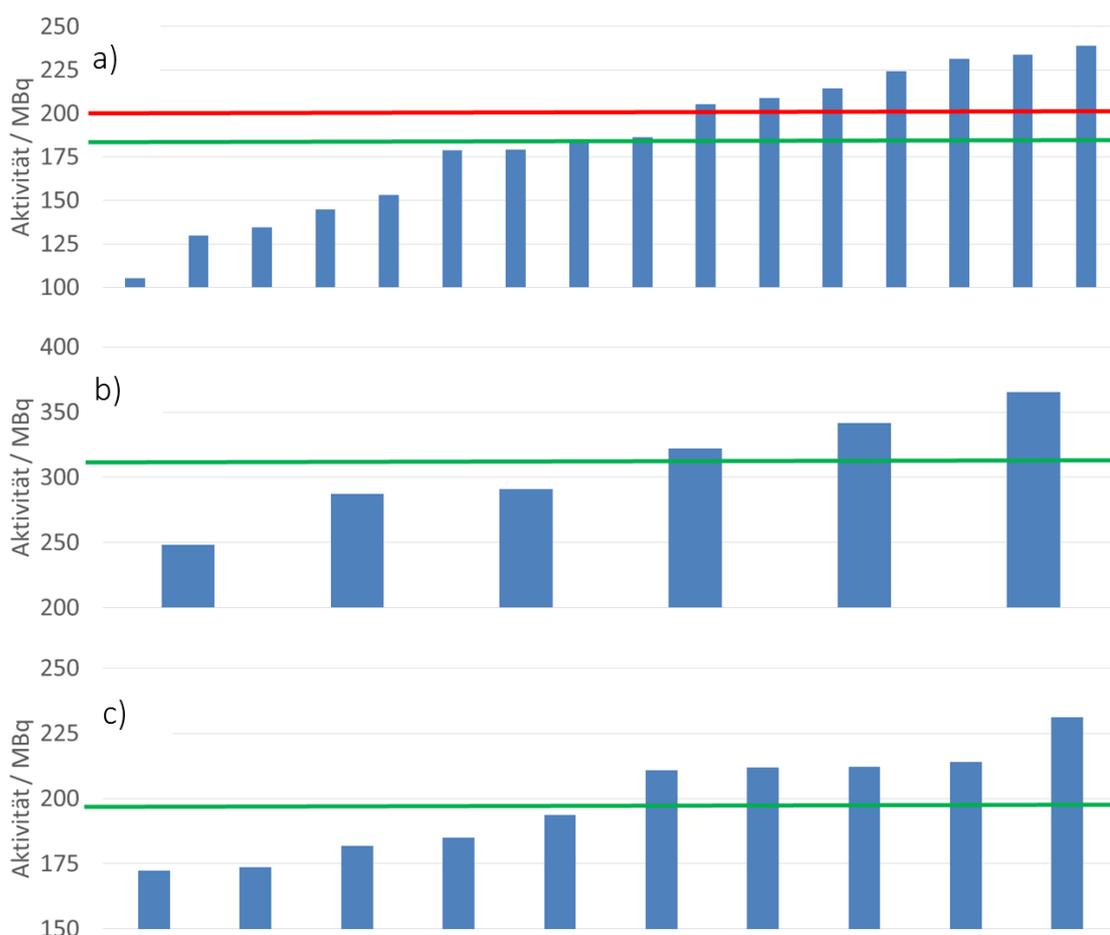


**Abbildung 42: Mittlere Aktivitäten einzelner Einrichtungen für die Sentinel-Lymphknoten-Diagnostik der Mamma bei Operationen am Folgetag der Applikation; bei (a) intradermaler bzw. (b) subdermaler oder subareolärer Applikation sowie (c) peri- sowie subareolärer und (d) peritumoraler Applikation; grüne Linie: Mittelwert der Einträge**

Im Kollektiv der Erhebung erfolgen in den meisten Einrichtungen Applikationen subdermal und peri- oder subareolär. Die Statistik der Mittelwerte sowie der Verteilungen ist daher für diese beiden Gruppen deutlich besser als für Applikationen, die intradermal bzw. peritumoral erfolgen. Die dortigen Mittelwerte sind daher mit einer größeren Unsicherheit behaftet. Die Mittelwerte der einzelnen Verteilungen betragen etwa 109 MBq für die intradermale sowie 123 MBq für die subdermale Applikation und etwa 120 MBq für die periareoläre sowie 134 MBq für die peritumorale Applikation. Die Verteilungen

applizierter Aktivitäten bei den jeweils alternativen Herangehensweisen überlappen jedoch stark. Es ist daher bei der verfügbaren Anzahl an Daten keine systematische Abhängigkeit der im Mittel applizierten Aktivität von der Applikationsart (Teilabbildung a und b von Abbildung 42) oder vom Applikationsort (Teilabbildung c und d von Abbildung 42) festzustellen. Ob eine solche Abhängigkeit besteht und z.B. bei intradermaler Applikation eine geringere Aktivität für eine erfolgreiche SLN-Diagnostik ausreichend ist, müssten weitergehende Erhebungen zeigen, in denen z.B. Daten der ärztlichen Stellen einfließen.

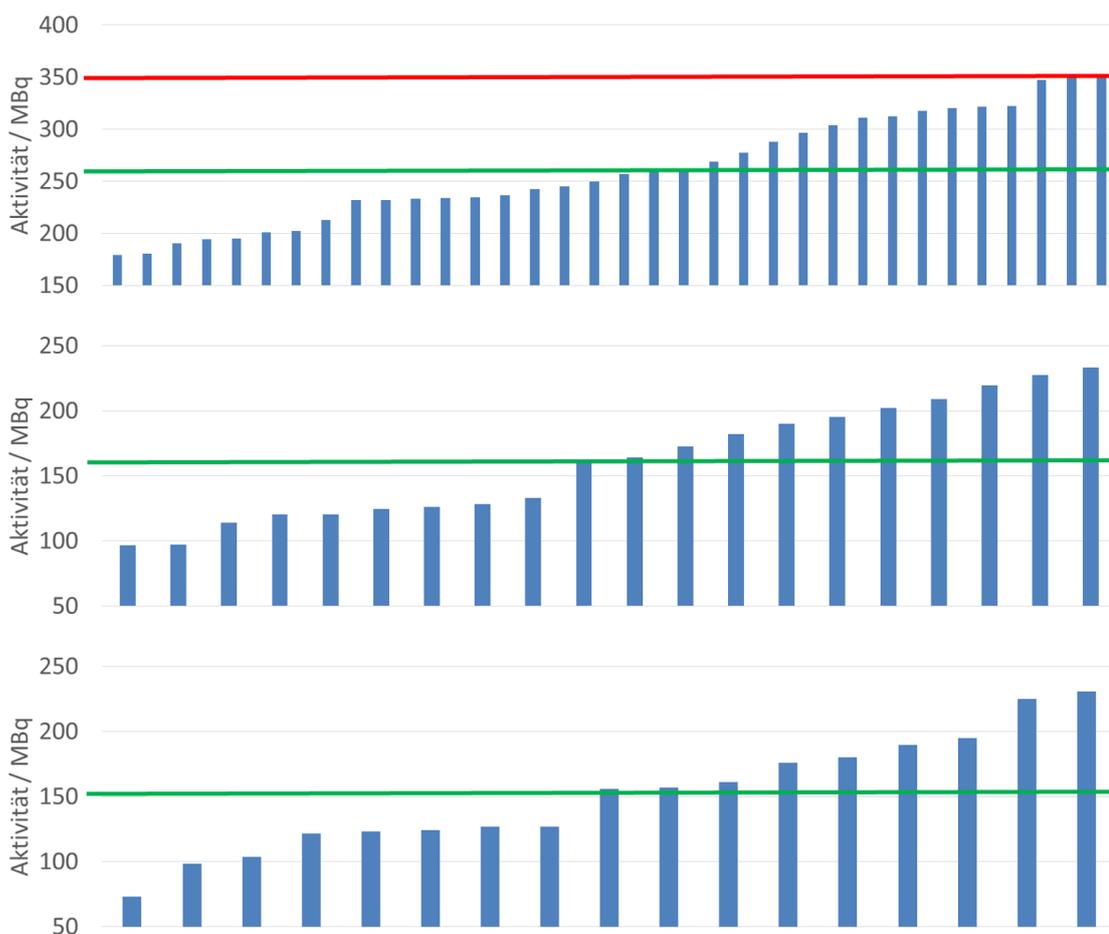
In Abbildung 43 und Abbildung 44 sind Aktivitätsverteilungen für häufigere PET-Untersuchungen des Gehirns sowie des Ganzkörpers aufgetragen. Bei den F-18 FDG-Untersuchungen des Gehirns wird von etwa einem Drittel der Einrichtungen eine deutlich niedrigere Aktivität appliziert, als diese in dem DRW vorgesehen ist. Der Rest der Einrichtungen bewegt sich auf dem Niveau des DRW. Diejenigen Einrichtungen, die ihn überschreiten, liegen aber noch immer unter dem Höchstwert der Veröffentlichung des BfS.



**Abbildung 43: Mittlere Aktivitäten einzelner Einrichtungen für die Untersuchung des Gehirns (a) mit F-18 FDG, (b) mit F-18 Amyloidtracern sowie (c) F-18 FET; grüne Linie: Mittelwert der Einträge**

Ergänzend zum F-18 FDG sind in Abbildung 43 Daten zu Untersuchungen des Gehirns mit zwei neueren Tracern enthalten, F-18 Amyloidtracern zur Diagnostik neurologischer Fragestellungen sowie zum F-18 FET, das bei onkologischen Fragestellungen zum Einsatz kommt. Innerhalb des Gesamtdatensatzes treten Untersuchungen mit Amyloidtracern in acht Einrichtungen 269 Mal auf. F-18 FET wurde in 12 Einrichtungen insgesamt 1705 Mal eingesetzt.

In Abbildung 44 sind PET-Untersuchungen des Ganzkörpers dargestellt. Ergänzend zum F-18 FDG wurden hier zwei Untersuchungen mit Ga-68 basierenden Tracern ausgewählt. Die in der Mitte dargestellten Ga-68 PSMA Untersuchungen zur Diagnostik bei Prostatakarzinomen werden von 20 Einrichtungen im Kollektiv in etwa 8500 Mal durchgeführt. Untersuchungen unter Verwendung von Ga-68 DOTA-Peptiden wurden in 17 Einrichtungen etwa 5.400 Mal erbracht. In der Zusammenstellung der DOTA-Peptide wurden dabei DOTATOC, DOTANOC und DOTATATE zusammen betrachtet. Beide Untersuchungen sind damit so häufig, dass die Festlegung von orientierenden Werten sinnvoll erscheint.



**Abbildung 44: Mittlere Aktivitäten einzelner Einrichtungen für die Untersuchung des Ganzkörpers (a) mit F-18 FDG, (b) mit Ga-68 PSMA sowie (c) Ga-68 DOTA-Peptiden; rote Linie: aktueller DRW, grüne Linie: Mittelwert der Einträge**

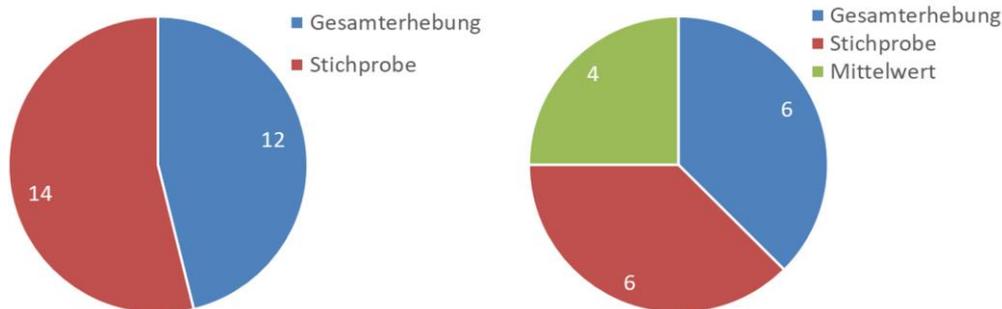
Bei der Graphik der F-18 FDG Untersuchungen ist deutlich zu erkennen, dass der Mittelwert der Aktivität, die bei einer Untersuchung appliziert wird, um etwa 25% unter dem aktuellen DRW liegt. Nur drei der Einrichtungen verwenden im Mittel die gemäß DRW vorgegebene Aktivität und weitere neun Einrichtungen in etwa 300 MBq. Die sonstigen Einrichtungen verwenden zwischen etwa 180 MBq und 260 MBq.

### 4.3 Computertomographische Dosisdaten

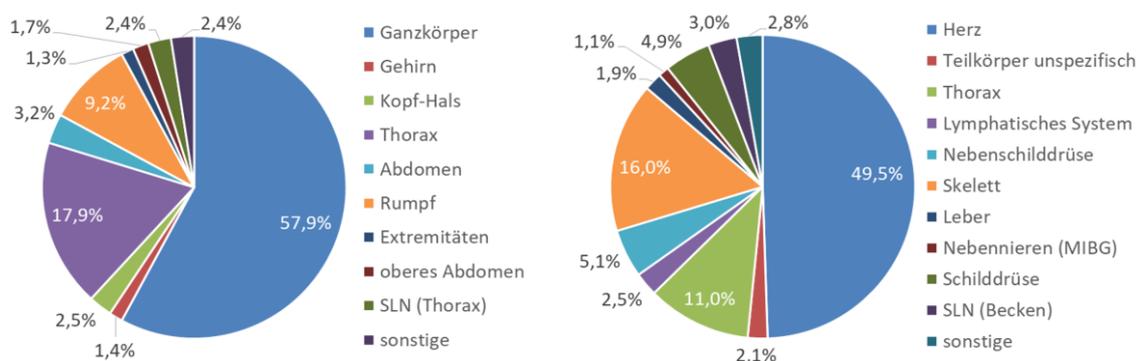
Im Unterschied zu den Daten, die in den Abschnitten 4.1 und 4.2 analysiert wurden, stand für die Analyse der computertomographischen Dosisdaten mit einem Umfang von 35.012 Einträgen ein um mehr als einen Faktor 10 kleiner Datensatz zur Verfügung. Von den bereitgestellten Daten stammen etwas mehr als 30.000 aus PET/CT-Untersuchungen und etwa 4.700 Datensätze aus SPECT/CT-Untersuchungen. Bei der computertomographischen PET/CT-Begleitdiagnostik sind mit etwa 14.000 low-dose Untersuchungen und 16.000 Diagnostikuntersuchungen beide Varianten etwa gleich häufig vertreten. Bei SPECT/CT-Untersuchungen treten mit 4.589 zu 164 Einträgen weit überwiegend low-dose Untersuchungen auf. Die Zuordnung von Untersuchungen zu den Gruppen „low-dose“ bzw. „Diagnostik“ erfolgte dabei nicht aufgrund der festgestellten Expositionshöhe sondern, wie bereits erwähnt, auf Basis der Zuordnung der durchführenden Einrichtungen sowie der Benennung der verwendeten Untersuchungsprotokolle. Anhand der in den Abschnitten 4.3.1 und 4.3.2 dargestellten Expositionsdaten ist zu erkennen, dass die Zuordnung von Untersuchungen in die beiden Bereiche stark individuell ist und in einigen Fällen deutlich von der realen Expositionshöhe abweicht.

Die Daten der Einrichtungen wurden in etwa der Hälfte der Einrichtungen als Stichprobe oder Mittelwerte übermittelt, in der anderen Hälfte im Rahmen einer Gesamterhebung. In Abbildung 45 ist die Aufteilung der Datenbasis für PET/CT- sowie SPECT/CT-Untersuchungen dargestellt. Bei der SPECT/CT übermittelten zwei Einrichtungen sowohl Stichproben- als auch Mittelwertdaten. Sie treten in der Statistik daher in beiden Gruppen auf.

Die Verteilung der Organsysteme, bei deren Untersuchung eine computertomographische Begleitdiagnostik in low-dose oder diagnostischer Qualität eingesetzt wurde, ist in Abbildung 46 dargestellt. Es wurden hierbei Organe berücksichtigt, die mit mindestens 1% zur Gesamthäufigkeit beitragen. Weitere Organe sind in der Rubrik „sonstige“ zusammengefasst.



**Abbildung 45: Graphische Darstellung der Datenbasis für die Analyse der Strahlenexposition der computertomographischen Begleitdiagnostik bei PET/CT (links) sowie SPECT/CT (rechts) Untersuchungen**



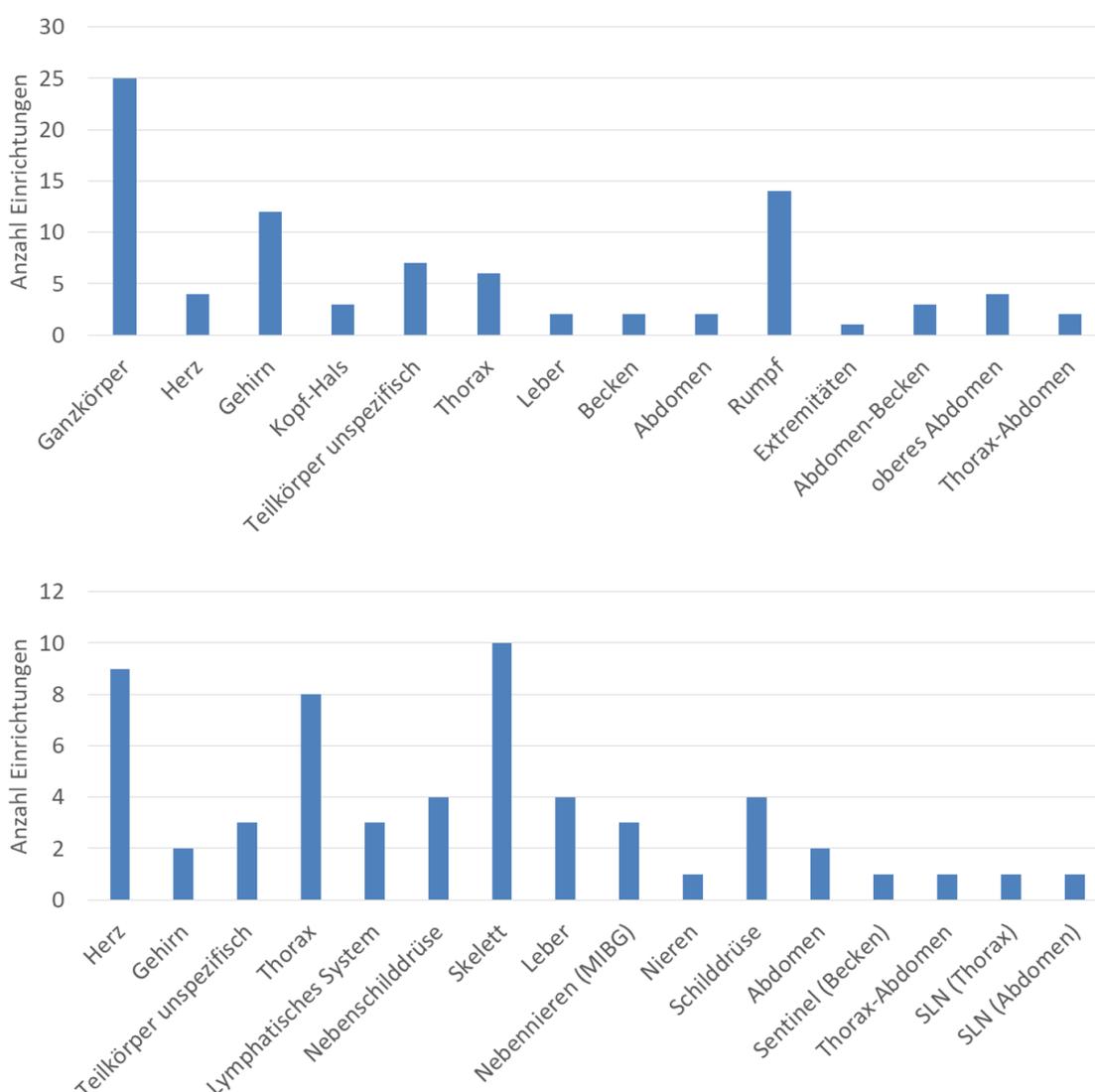
**Abbildung 46: Relative Häufigkeit der Organbereiche, bei denen eine computertomographische Begleitdiagnostik zu Einsatz kommt; links: PET/CT; rechts: SPECT/CT**

Die relativen Häufigkeiten wurden anhand der im Gesamtdatensatz enthaltenen Untersuchungen berechnet. Nachdem die Datensätze unterschiedlicher Einrichtungen in unterschiedlichem Umfang vollständig sind – teilweise wurden, wie benannt, auch bei größeren Untersuchungszahlen nur Einzelwerte angegeben, z.B. wenn die Dosiswerte aufgrund der Verwendung von Festströmen unverändert waren – sind die konkreten Prozentangaben mit einer relevanten Unsicherheit behaftet. Dem unbenommen liefern die beiden Graphiken in Abbildung 46 einen guten Anhaltspunkt für häufigere und weniger häufig im Rahmen der Hybridbildgebung untersuchte Körperregionen.

Für die PET/CT machen Untersuchungen des Ganzkörpers, des Thorax sowie des Rumpfes zusammen 85% der Untersuchungen aus. Hierbei sind die CT-Untersuchung des Ganzkörpers sowie des Rumpfes in vielen Fällen die primäre computertomographische Untersuchung eines Patienten, die je nach Einrichtung einen unterschiedlich großen Bereich abdeckt. Die Untersuchung des Thorax entspricht einem zweiten Scan über einen separaten Körperbereich. Untersuchungen aller weiteren Bereiche sind selten. Untersuchungen des

Schädels nehmen aufgrund dedizierter Hirn-PET-Untersuchungen eine gesonderte Stellung ein. Diese werden zwar in etwa zwei Drittel der Einrichtungen durchgeführt, die relative Häufigkeit der Untersuchungen liegt allerdings bei weniger als 1,5%.

In oberen Teil von Abbildung 47 ist die Anzahl der Einrichtungen dargestellt, die computertomographische Untersuchungen eines bestimmten Körperbereichs bei PET/CT-Untersuchungen im Datensatz mindestens acht Mal enthalten. Hier ist zu erkennen, dass mit zwölf Einrichtungen ein vergleichsweise großer Anteil Untersuchungen des Gehirns regelmäßig durchführt, wenngleich in einer im Vergleich zu Untersuchungen des Körperstamms deutlich geringeren Häufigkeit. Untersuchungen des Gehirns werden dabei mit einer Ausnahme als low-dose Untersuchungen durchgeführt.



**Abbildung 47: Anzahl der Einrichtungen die bei PET/CT-Untersuchungen (oben) computertomographische Dosisdaten für einen Körperbereich für mehr als 8 Untersuchungen übermittelt haben; bei SPECT/CT (unten) ist das Kriterium a) mehr als 8 Untersuchungen oder b) Übermittlung von Mittelwerten**

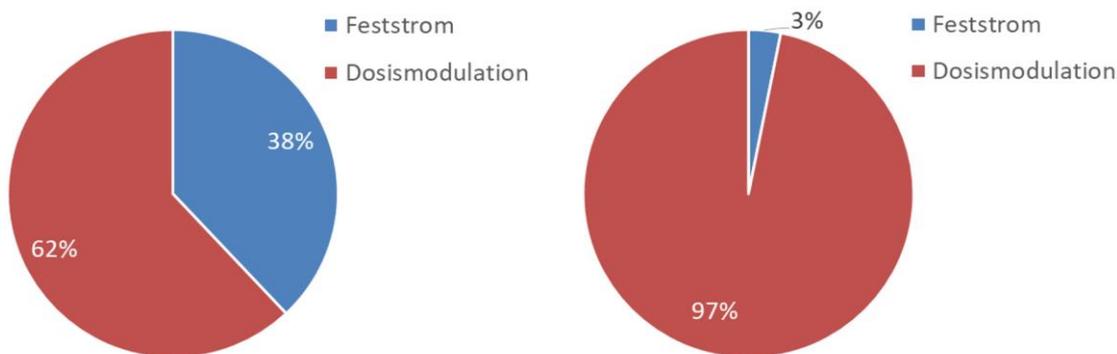
Im unteren Teil von Abbildung 47 ist die Anzahl an Geräten aufgetragen, die Körperbereiche bei SPECT/CT-Untersuchungen im Datensatz mindestens acht Mal enthalten haben. Ergänzend wurden hier auch die Einrichtungen berücksichtigt, die für einen Körperbereich ausschließlich einen Mittelwert bei der Expositionshöhe angegeben haben. Die relative Häufigkeit von Untersuchungen ist im rechten Teil von Abbildung 46 aufgetragen.

Bei SPECT/CT-Untersuchungen liegt, gemessen an der Gesamthäufigkeit der Untersuchungen sowie der Einrichtungen, die Untersuchungen häufiger durchführen, ein deutliches Gewicht bei Untersuchungen des Herzens, Skeletts sowie des Thorax. Die drei Bereiche machen zusammen etwas mehr als 75% aller Untersuchungen aus. Im Unterschied zur PET/CT wird aufgrund des abweichenden Einsatzbereichs jedoch auch eine Vielzahl weiterer Organsysteme auf niedrigem Niveau ebenso durch eine computertomographische Begleitdiagnostik unterstützt.

Für die an Häufigkeit der Untersuchungszahlen sowie der durchführenden Einrichtungen bedeutsamen PET/CT- sowie SPECT/CT-Untersuchungen sind Daten zu der zugeordneten Strahlenexposition in den Abschnitten 4.3.1 und 4.3.2 dargestellt. Aufgetragen sind sowohl die  $CTDI_{vol}$ -Werte als Maß für die lokale Strahlenintensität sowie die DLP-Werte der Untersuchungen, die darüber hinaus die jeweiligen Scanlängen berücksichtigten. Für Untersuchungen des Schädels wurden Werte auf Basis des 16 cm CTDI-Phantoms angegeben, für alle weiteren Körperbereiche Daten auf Basis des 32 cm CTDI-Phantoms.

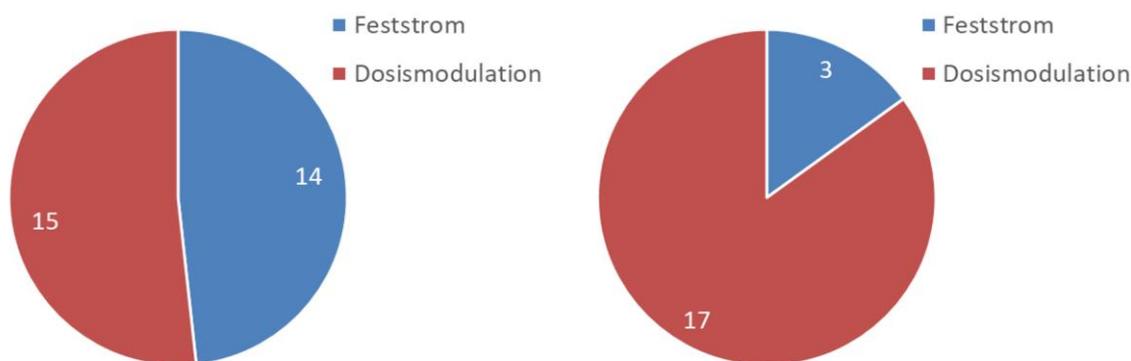
Die Anwendung einer Dosismodulation bietet die Möglichkeit einer patientenindividuel-  
leren Anpassung von Expositionsparametern. Bei Untersuchungen von Körperbereichen mit geringer Variabilität, z.B. dem Kopf, sowie bei low-dose Untersuchungen nutzen etliche Einrichtungen allerdings feste Standardparameter für die computertomographische Begleitdiagnostik.

Abbildung 48 enthält eine Darstellung der relativen Häufigkeit, mit der Feststrom bzw. Dosismodulation bei PET/CT Untersuchungen angewendet werden, die in low-dose Technik bzw. mit einer diagnostischen Intention durchgeführt werden. Bei low-dose Untersuchungen wird in 62% der Untersuchungen eine Dosismodulation angewendet. 38% der Untersuchungen werden mit einem Feststrom durchgeführt. Anders bei diagnostischen Untersuchungen, hier wird die Dosismodulation mit wenigen Ausnahmen immer angewendet.



**Abbildung 48: Relative Häufigkeit, mit der computertomographische Begleitdiagnostik bei PET/CT Untersuchungen mit einer Dosismodulation bzw. einem Feststrom erfolgt für (links) low-dose oder (rechts) diagnostische CT-Untersuchungen.**

In Abbildung 49 ist für low-dose sowie diagnostische CT-Untersuchungen die Anzahl der Einrichtungen aufgetragen, die mindestens 10% der Untersuchungen als Feststrom bzw. mit einer Dosismodulation durchführen. Wenn in einer Einrichtung beide Aufnahmeweisen häufiger als bei 10% der Untersuchungen genutzt werden, ist die entsprechende Einrichtung in beiden Bereichen berücksichtigt.

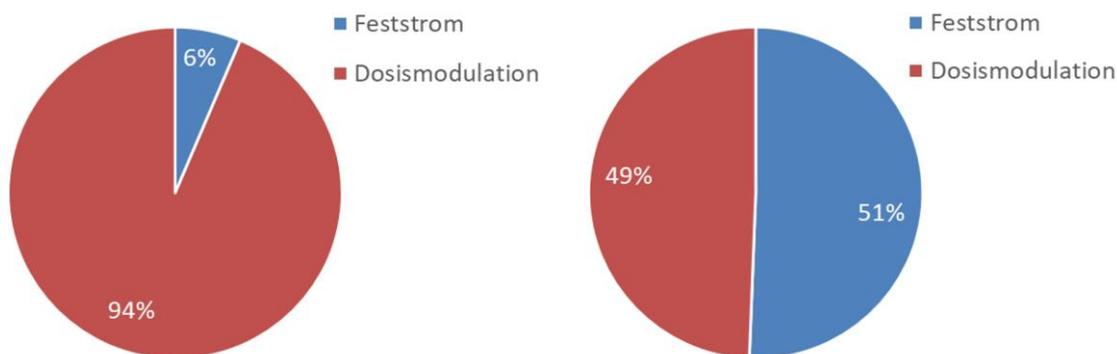


**Abbildung 49: Anzahl an Einrichtungen, die in mindestens 10% ihrer PET/CT-Untersuchungen einen Feststrom bzw. eine Dosismodulation im Bereich von low-dose Untersuchungen (links) sowie bei diagnostischen (rechts) CT-Untersuchungen einsetzen.**

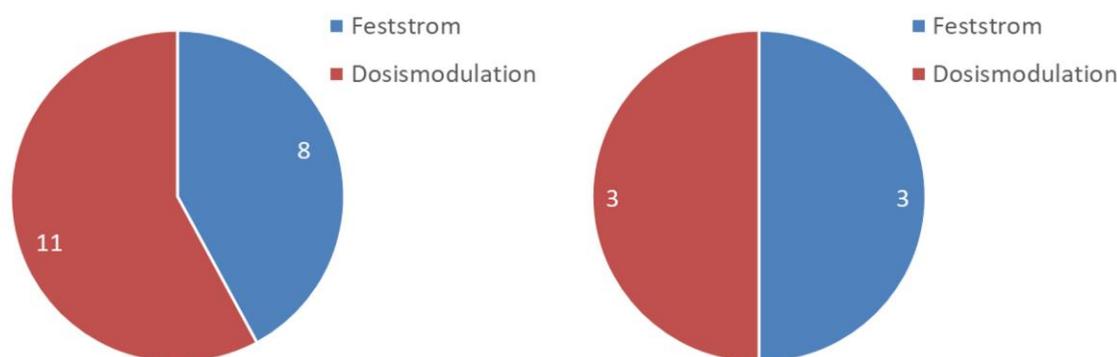
In den meisten Einrichtungen wird durchgehend nur eine der beiden Techniken verwendet. Einige der Einrichtungen nutzen jedoch beide, so dass sich in der Summe Zahlen ergeben, die größer sind als die der Einrichtungen, von denen Daten bereitgestellt wurden. Für die low-dose Diagnostik entspricht die Verteilung der Erwartung anhand der Daten von Abbildung 48. Auffallend ist hingegen, die vergleichsweise hohe Anzahl an Einrichtungen, die in relevantem Umfang diagnostische Untersuchungen ohne eine Dosismodulation durchführen. Konkret werden in einer Einrichtung sogar sämtliche Untersuchungen, low-dose sowie diagnostisch, mit einem Feststrom durchgeführt. In einer zweiten

Einrichtung betrifft dieses die Schädeluntersuchungen, in einer dritten Einrichtung einen kleinen Anteil der Gesamtuntersuchungen, der allerdings oberhalb von 10% liegt.

In Abbildung 50 sowie Abbildung 51 sind entsprechende Daten zur Verteilung bei SPECT/CT-Untersuchungen dargestellt. Aufgrund der geringen Zahlen, insbesondere bei den diagnostischen CT-Scans, sind diese jedoch als unsicher anzusehen.



**Abbildung 50: Relative Häufigkeit, mit der computertomographische Begleitdiagnostik bei SPECT/CT Untersuchungen mit einer Dosismodulation bzw. einem Feststrom erfolgt für (links) low-dose oder diagnostische (rechts) CT-Untersuchungen.**

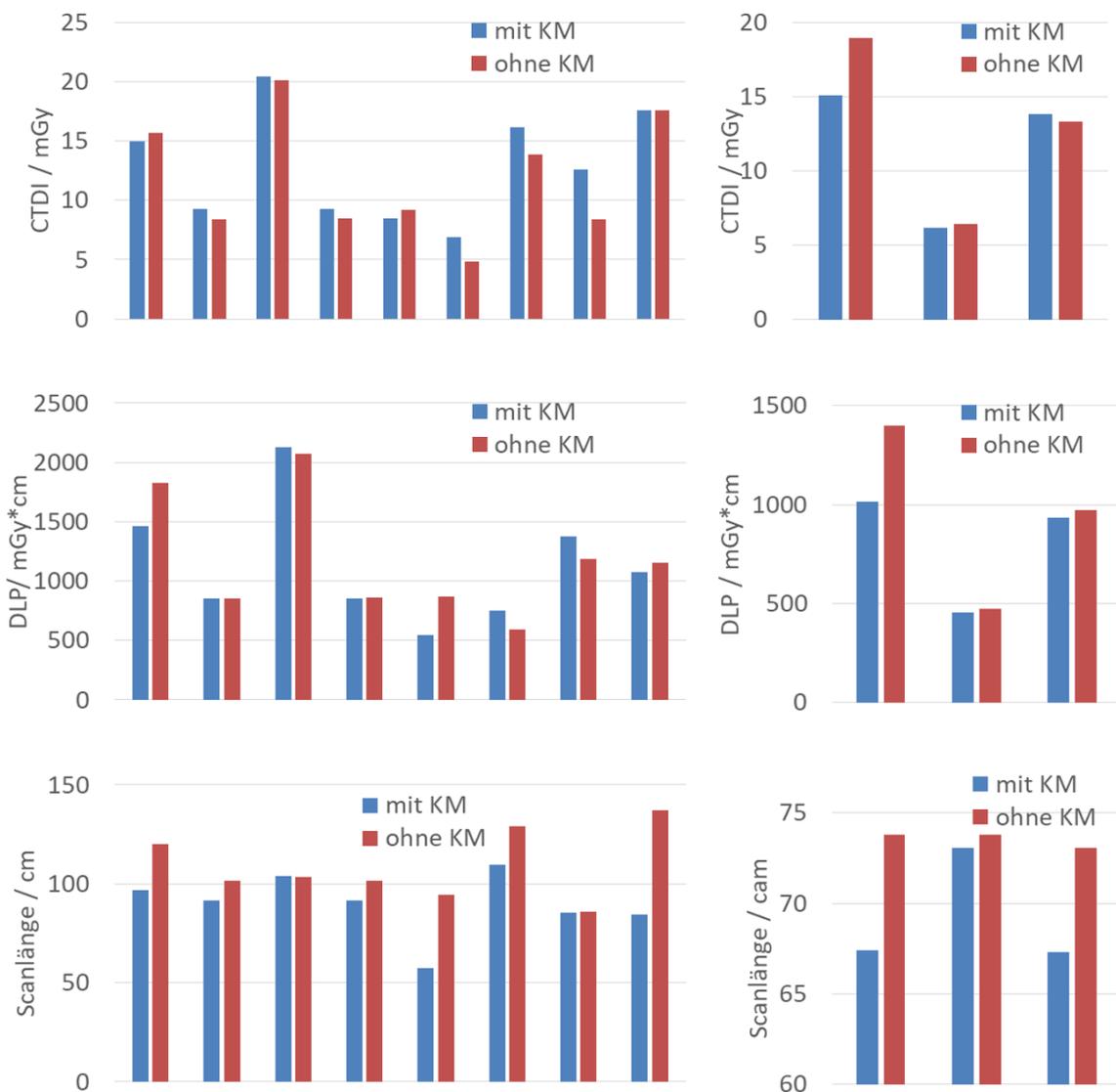


**Abbildung 51: Anzahl an Einrichtungen, die in mindestens 10% ihrer SPECT/CT-Untersuchungen einen Feststrom bzw. eine Dosismodulation im Bereich von low-dose Untersuchungen (links) sowie bei diagnostischen (rechts) CT-Untersuchungen einsetzen.**

Die Verwendung von Kontrastmittel bei CT-Untersuchungen wurde untersuchungsspezifisch erhoben. Bei SPECT/CT Untersuchungen wurde in keinem Einzelfall die Verwendung von CT-Kontrastmitteln bejaht. Bei low-dose Computertomographien im Zusammenhang mit einer PET/CT-Untersuchung gab nur eine Einrichtung an, in erhöhtem Umfang Untersuchung unter Verwendung von Kontrastmittel durchzuführen. Eine Auswertung dieser Daten erfolgte daher nicht. Bei diagnostischen Computertomographien im Zusammenhang mit PET/CT-Untersuchungen wird regelmäßig Kontrastmittel angewendet. Dennoch wurde auch in dieser Gruppe in etwa zweieinhalb Mal so häufig angegeben, kein Kontrastmittel zu nutzen.

In Abbildung 52 ist exemplarisch für diagnostische CT-Untersuchungen des Ganzkörpers sowie des Rumpfes der mittlere  $CTDI_{vol}$ , der DLP sowie die mittlere Scanlänge der Einrichtungen aufgetragen. Gegenübergestellt wurden für jede Einrichtung die Mittelwerte der Daten mit bzw. ohne die Anwendung von Kontrastmittel. Berücksichtigt wurden Einrichtungen, die in jeweils mindestens drei Fällen die Nutzung von Kontrastmittel bejahten bzw. verneinten.

Bei dem CTDI sind im Einzelfall Unterschiede zwischen Untersuchungen mit und ohne Kontrastmittel festzustellen, die jedoch klein und nicht systematisch sind. Der einzig größere Unterschied ist bei einer Einrichtung bei Untersuchungen des Rumpfes festzustellen. Hier werden Untersuchungen ohne Kontrastmittelanwendung mit etwa 25% höherer



**Abbildung 52: Gegenüberstellung der  $CTDI_{vol}$  (oben), DLP (Mitte) und Scanlänge (unten) für diagnostische CT-Untersuchungen des Ganzkörpers (links) sowie Rumpfes (rechts) bei Einrichtungen, die Angaben über die Nutzung von Kontrastmittel bei ihren Untersuchungen machten.**

Dosis durchgeführt. Nachdem in der Gruppe der Untersuchungen ohne Kontrastmittel bei dieser Einrichtung jedoch nur 6 Einträge sind, ist der Unterschied auf statistische Schwankungen zurückzuführen.

Die Verteilung des DLP ähnelt derjenigen des CTDI, wobei im Vergleich Untersuchungen ohne Kontrastmittelanwendung einen etwas höheren DLP aufweisen. Der festgestellte Unterschied ist auf unterschiedliche Scanlängen zurückzuführen. So liegt die mittlere Scanlänge bei Untersuchungen des Ganzkörpers ohne Kontrastmittel um etwa 20% oberhalb derjenigen mit Kontrastmittel. Der Mittelwert wird dabei vornehmlich von zwei Einrichtungen beeinflusst, bei denen der Unterschied bis über 60% betrug. Der Unterschied der Medianwerte beider Gruppen beträgt etwa 10%.

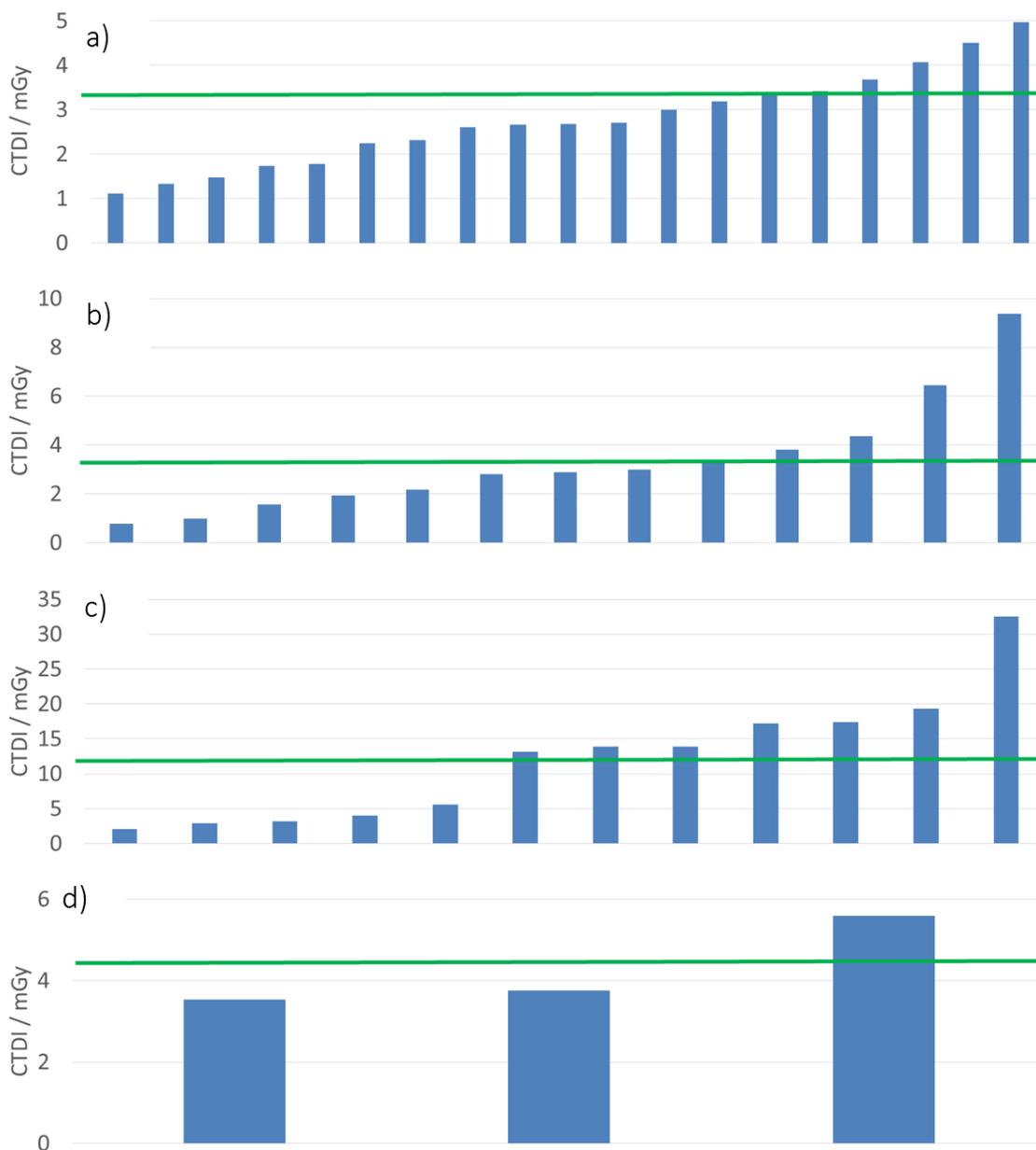
Aufgrund des uneinheitlichen und im Mittel geringen Einflusses der Kontrastmittelgabe auf die Strahlenexposition wird diese bei der Detailbetrachtung der Strahlenexposition in Abschnitt 4.3.1 nicht gesondert berücksichtigt.

#### **4.3.1 Computertomographische Expositionsdaten von PET/CT Untersuchungen**

In Abbildung 53 sind für computertomographische low-dose Untersuchungen des Ganzkörpers, des Rumpfes, des Thorax sowie des Kopfes die in unterschiedlichen Einrichtungen verwendeten mittleren CTDI-Werte für die Untersuchungen dargestellt. Hierbei wurden ausschließlich Einrichtungen berücksichtigt, die Daten zu mindestens drei Untersuchungen eines Körperbereichs bereitgestellt haben. In Abbildung 54 sind entsprechende Daten für diagnostische Untersuchungen zusammengestellt. Die grünen Linien entsprechen jeweils den über die Mittelwerte der Einrichtungen gemittelten Werten. Nachdem die Verteilung der Expositionen zum Teil deutlich von einer Normalverteilung abweicht, liegen Median und Mittelwert der Verteilungen teilweise relevant auseinander. In Tabelle 20 sind die beiden Werte für low-dose sowie diagnostische Untersuchungen gegenübergestellt.

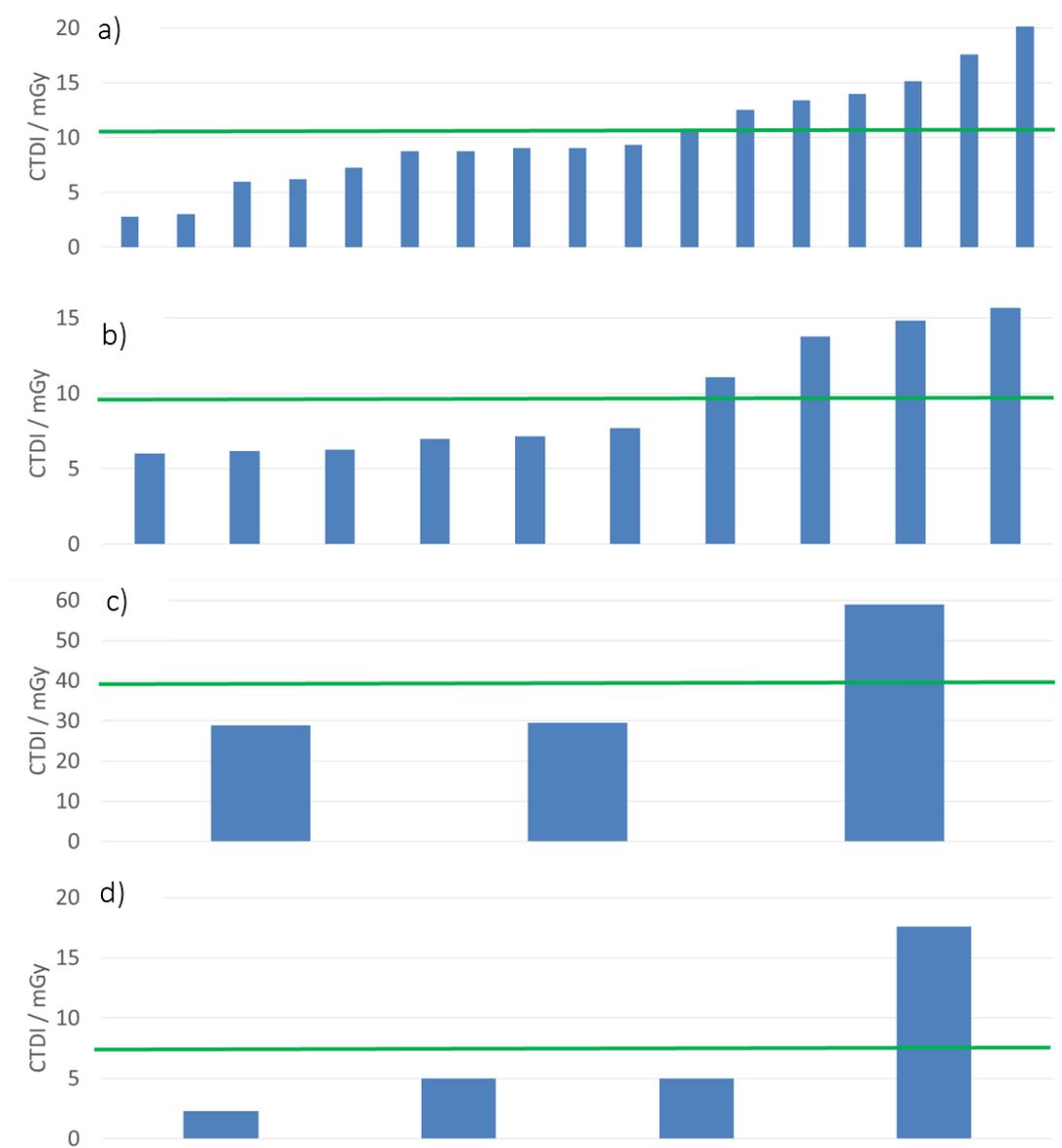
Die CTDI-Werte des Ganzkörpers sowie des Rumpfes liegen im Mittel um etwa einen Faktor drei unterhalb des DRW für Untersuchungen des Rumpfes im Bereich der Röntgendiagnostik [11]. Bei Thoraxuntersuchungen, für die in [11] Daten für eine low-dose Untersuchung festgelegt sind, liegt der Mittelwert der drei Einrichtungen, die als Einzige entsprechende Daten in dieser Erhebung übermittelt haben, um etwa ein Drittel oberhalb des DRW aus [11]. Für Untersuchungen des Schädels werden im Rahmen der PET/CT im Mittel CTDI-Werte genutzt, die um etwa einen Faktor 5 unterhalb derer der Röntgendiagnostik für Hirnschädeluntersuchungen liegen.

Bei den als diagnostisch bezeichneten Untersuchungen des Ganzkörpers sowie Rumpfes liegen die CTDI-Werte im Mittel um etwa einen Faktor drei oberhalb der Werte entsprechender low-dose Untersuchungen, wobei sich die Verteilungen in den Grenzbereichen überlappen, s. Abbildung 55. In der Abbildung wurden Untersuchungen beider Körperbereiche zum Erhalt einer besseren Statistik zusammen betrachtet, nachdem die Körperbereiche stark überlappen und die mittleren CTDI<sub>vol</sub>-Werte der Einrichtungen sehr ähnlich sind.



**Abbildung 53: Mittelwert des CTDI-Wertes für eine computerdiagnostische low-dose Untersuchung (a) des Ganzkörpers, (b) des Rumpfes, (c) des Kopfes sowie (d) des Thorax im Rahmen der PET/CT. Die in den Darstellungen berücksichtigten Einrichtungen haben mindestens für drei Untersuchungen Expositionsdaten bereitgestellt; grüne Linie: Mittelwert der Einträge**

Anhand der ineinander übergehenden Verteilungen de CTDI<sub>vol</sub>-Werte von low-dose und diagnostischen Untersuchungen ist es naheliegend, anzunehmen, dass in Einrichtungen unterschiedliche Einschätzungen darüber bestehen, wann eine Untersuchung als low-dose und wann als diagnostisch anzusehen ist. Noch deutlicher ist dieses bei Untersuchungen des Thorax. Bei den als diagnostisch bezeichneten Untersuchungen liegt der Mittelwert einer Einrichtung bei 17,6 mGy und damit deutlich oberhalb des DRW für Thoraxuntersuchungen aus [11]. Dem gegenüber liegen die Mittelwerte der drei anderen



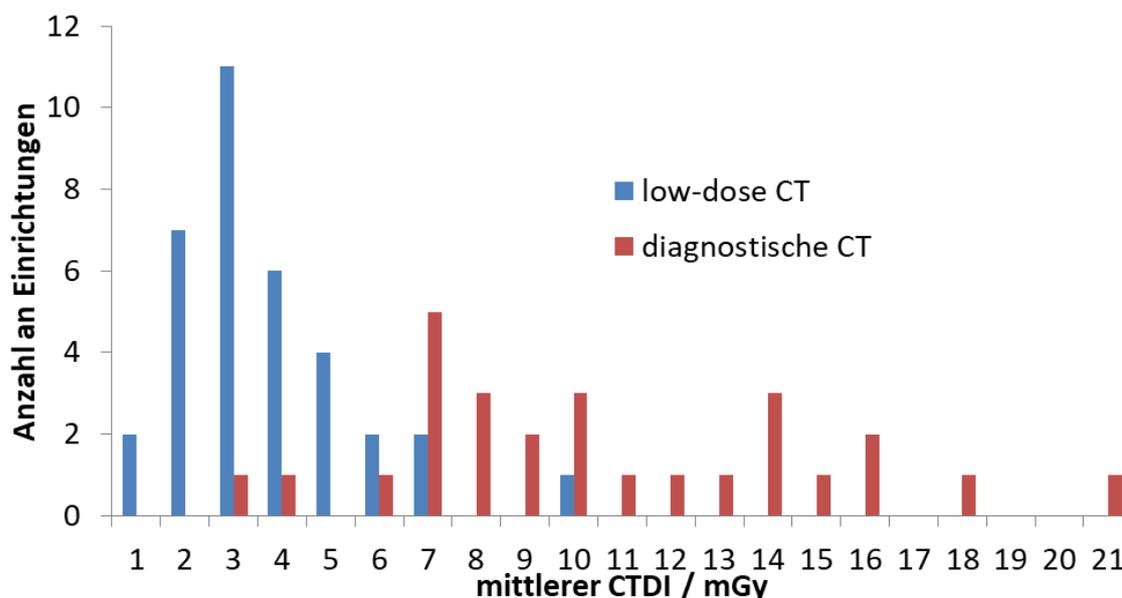
**Abbildung 54: Mittelwert des CTDI-Wertes für CT-Untersuchungen (a) des Ganzkörpers, (b) Rumpfes, (c) Kopfes sowie (d) Thorax in diagnostischer Qualität im Rahmen von PET/CT-Untersuchungen. Die in den Darstellungen berücksichtigten Einrichtungen haben mindestens für drei Untersuchungen Expositionsdaten bereitgestellt; grüne Linie: Mittelwert der Einträge**

Einrichtungen bei kleiner oder gleich 5 mGy, was gegenüber den als low-dose bezeichneten Untersuchungen aus Abbildung 53 keinen nennenswerten Unterschied darstellt. Bei den als diagnostisch bezeichneten Schädeluntersuchungen liegt der mittlere CTDI-Wert in einer Einrichtung bei etwa 60 mGy, was dem DRW aus [11] entspricht. Die Mittelwerte der beiden anderen Einrichtungen bewegen sich bei etwa 30 mGy.

Körperbereich	Mittelwert / mGy		Median / mGy	
	low-dose	diagnostisch	low-dose	diagnostisch
Ganzkörper	3,2	10,2	2,9	9,1
Rumpf	3,3	9,6	2,9	7,4
Kopf	12,1	39,1	13,5	29,4
Thorax	4,3	7,5	3,8	5,0

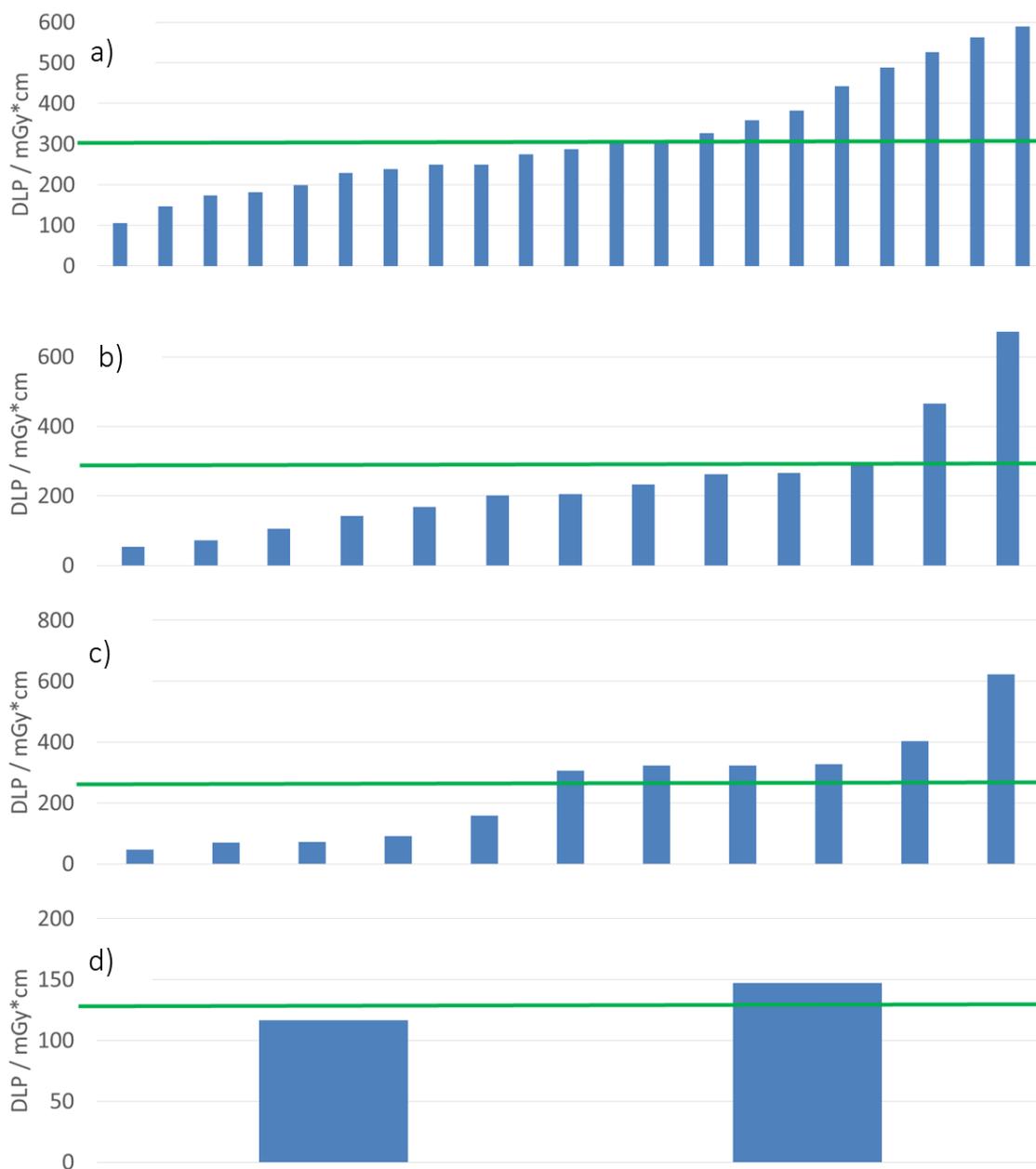
**Tabelle 20: Mittelwerte und Mediane der Verteilungen des CTDI<sub>vol</sub> aus Abbildung 53 und Abbildung 54**

In Abbildung 56 und Abbildung 57 sind Verteilungen der DLP-Werte für die Untersuchungen des Ganzkörpers, Rumpfes, Kopfes sowie Thorax in low-dose Technik sowie in diagnostischer Qualität dargestellt. Ergänzend zu den CTDI-Werten, die, wie zuvor bereits diskutiert, von denen der Röntgendiagnostik abweichen, tragen bei den DLP die Scanlängen



**Abbildung 55: Darstellung der kumulativen Häufigkeit, des mittleren CTDI<sub>vol</sub> bei low-dose sowie diagnostischen CT-Untersuchungen im Zusammenhang von PET/CT-Untersuchungen des Ganzkörpers sowie des Rumpfes**

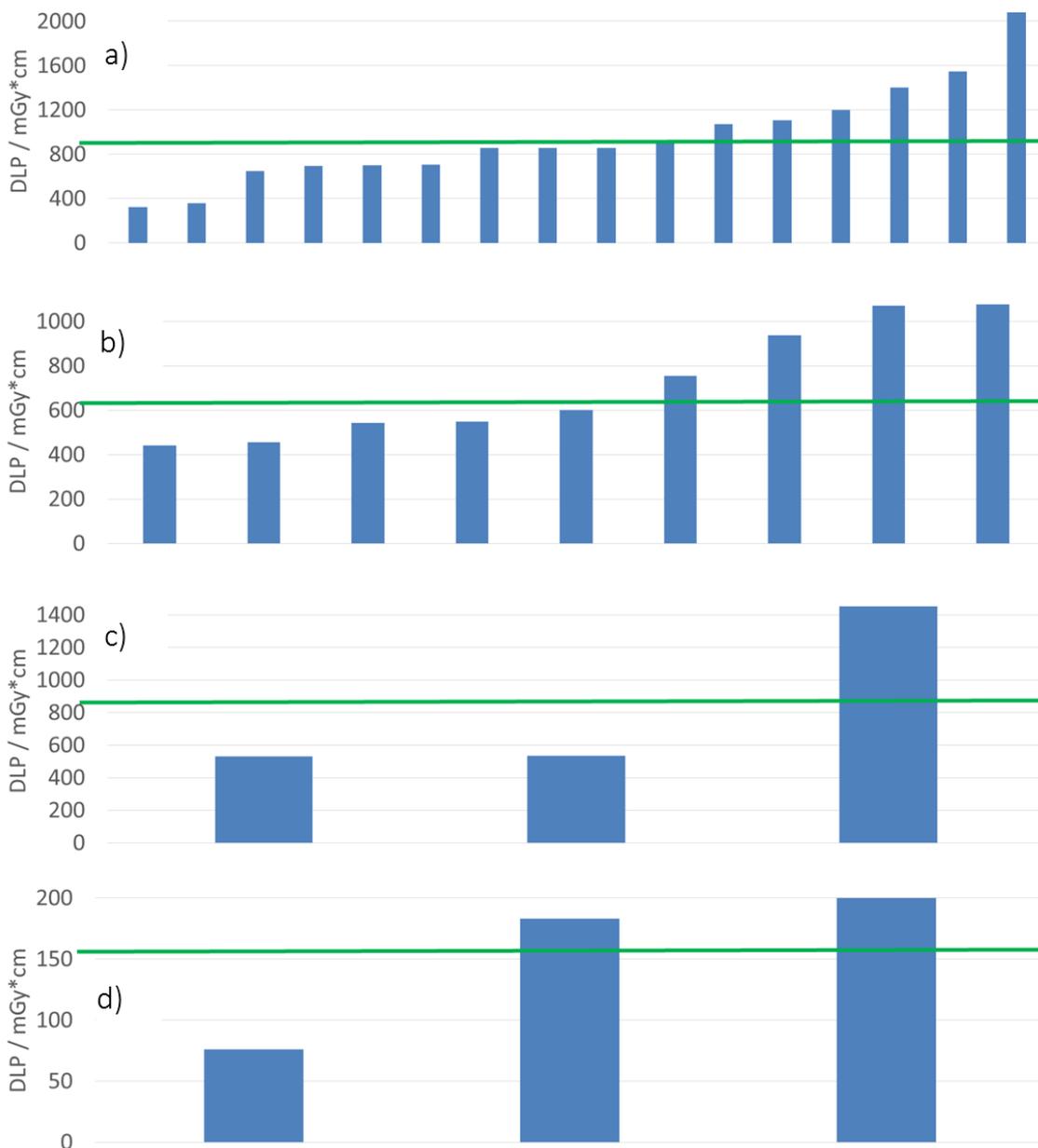
bei, die durch die Anforderungen der PET-Bildgebung beeinflusst sind. Dieses trifft insbesondere bei den Untersuchungen zur Schwächungskorrektur zu, bei denen aufgrund der festen Scanlängen der PET-Aufnahmen nicht beliebige Scanlängen möglich sind. Vielmehr müssen sich die Scanlängen der Computertomographie an den im Rahmen der PET-Bildgebung möglichen Längen orientieren.



**Abbildung 56: Mittelwert des DLP-Wertes für eine computerdiagnostische low-dose Begleitdiagnostik (a) des Ganzkörpers, (b) des Rumpfes, (c) des Kopfes sowie (d) des Thorax. Die in den Darstellungen berücksichtigten Einrichtungen haben mindestens für drei Untersuchungen Expositionsdaten bereitgestellt; grüne Linie: Mittelwert der Einträge**

Die Anzahl der Einrichtungen in Abbildung 56 und Abbildung 57 ist von den in Abbildung 53 sowie Abbildung 54 abweichend, da eine Einrichtung ausschließlich CTDI- und keine DLP-Werte für die Untersuchungen übermittelt hat.

Aufgrund von unterschiedlichen Scanlängen in den Einrichtungen unterscheiden sich die Verteilungen der CTDI- und die der DLP-Werte. Die DLP-Werte der Ganzkörper-scans haben keinen Vergleichswert in der Publikation der DRW in [11]. Im Bereich der low-dose Untersuchungen liegt der Mittelwert bei etwa 300 mGy\*cm mit Maximalwerten um die



**Abbildung 57: Mittelwert des DLP-Wertes für eine diagnostische CT-Untersuchung (a) des Ganzkörpers, (b) des Rumpfes, (c) des Kopfes sowie (d) des Thorax. Die in den Darstellungen berücksichtigten Einrichtungen haben mindestens für drei Untersuchungen Expositionsdaten bereitgestellt; grüne Linie: Mittelwert der Einträge**

600 mGy\*cm. Bei den Diagnostikuntersuchungen erreicht die Einrichtung mit dem höchsten DLP bei der Kombination eines CTDI von etwa 20 mGy und einer Scanlänge von im Mittel etwa 100 cm einen Wert von mehr als 2000 cGy\*cm.

Für den Rumpf wurde ein DRW von 1000 mGy\*cm in der Röntgendiagnostik festgelegt, s. [11]. Dieser Wert wird von zwei Einrichtungen bei diagnostischen Computertomographien überschritten. Im Mittel liegen die DLP-Werte der low-dose Untersuchungen bei etwa 240 mGy\*cm und die der diagnostischen Scans bei etwa 710 mGy und damit in beiden Fällen deutlich unter dem DRW der Röntgendiagnostik. Die Vorgehensweise der Einrichtungen bei CT-Untersuchungen des Rumpfes ist erkennbar unterschiedlich. So liegen die Einrichtungen, die low-dose Untersuchungen mit den höchsten Dosiswerten durchführen, um mehr als einen Faktor zwölf oberhalb derjenigen mit den niedrigsten DLP. Bei Diagnostik-Scans ist die Spannbreite kleiner, aber immer noch größer als einen Faktor zwei.

Eine ähnlich große Spannbreite zwischen den resultierenden Dosiswerten wie bei den low-dose Rumpf-Untersuchungen ist bei Untersuchungen des Kopfes festzustellen. Hier liegt das DLP der Einrichtung mit der höchsten Strahlenexposition in etwa auf Höhe des DRW für Hirnschädeluntersuchungen in der Röntgendiagnostik, wohingegen die Einrichtung mit der kleinsten Exposition um mehr als einen Faktor 17 dahinter zurückbleibt. Bei den diagnostischen Untersuchungen des Kopfes erreicht die Einrichtung mit der höchsten Exposition ein DLP, das im Mittel in etwa dem 1,7-fachen des DRW für Untersuchungen des Hirnschädels in der Röntgendiagnostik entspricht. Die beiden anderen Einrichtungen bleiben mit etwa 530 mGy\*cm deutlich dahinter zurück. Allgemein werden die Untersuchungen im Kopfbereich im Zusammenhang mit PET/CT-Untersuchungen mit einem im Vergleich zu Hirnschädelaufnahmen in der Röntgendiagnostik leicht größeren Scanbereich durchgeführt.

Im Thoraxbereich liegen die DLP im Zusammenhang mit PET/CT-Untersuchungen zwischen dem DRW für ein low-dose CT und dem eines diagnostischen CT in der Röntgendiagnostik. Hierbei ist die Scanlänge bei der CT-Begleitdiagnostik leicht kleiner als diejenige, die bei den DRW in der Röntgendiagnostik angenommen wird.

Die Mittelwerte und Medianwerte des DLP sind, genauso wie bei den CTDI-Werten, in tabellarischer Form in Tabelle 21 zusammengestellt. Genauso wie bei diesen weichen aufgrund der Verteilungsform Median und Mittelwert teilweise mehr als 20% voneinander ab.

Einen Vergleich zu der aktuellen Erhebung bietet die in der Schweiz durchgeführten Erhebung zur Durchführung von computertomographischen Untersuchungen in der

Körperbereich	Mittelwert / mGy*cm		Median / mGy*cm	
	Low-dose	Diagnostisch	Low-dose	diagnostisch
Ganzkörper	300,8	956,6	287,33	855,4
Rumpf	241,2	714,6	204,6	601,7
Kopf	249,2	838,3	306,0	534,0
Thorax	131,9	153,1	131,9	183,2

**Tabelle 21: Mittelwerte und Mediane der Verteilungen des DLP aus Abbildung 56 und Abbildung 57**

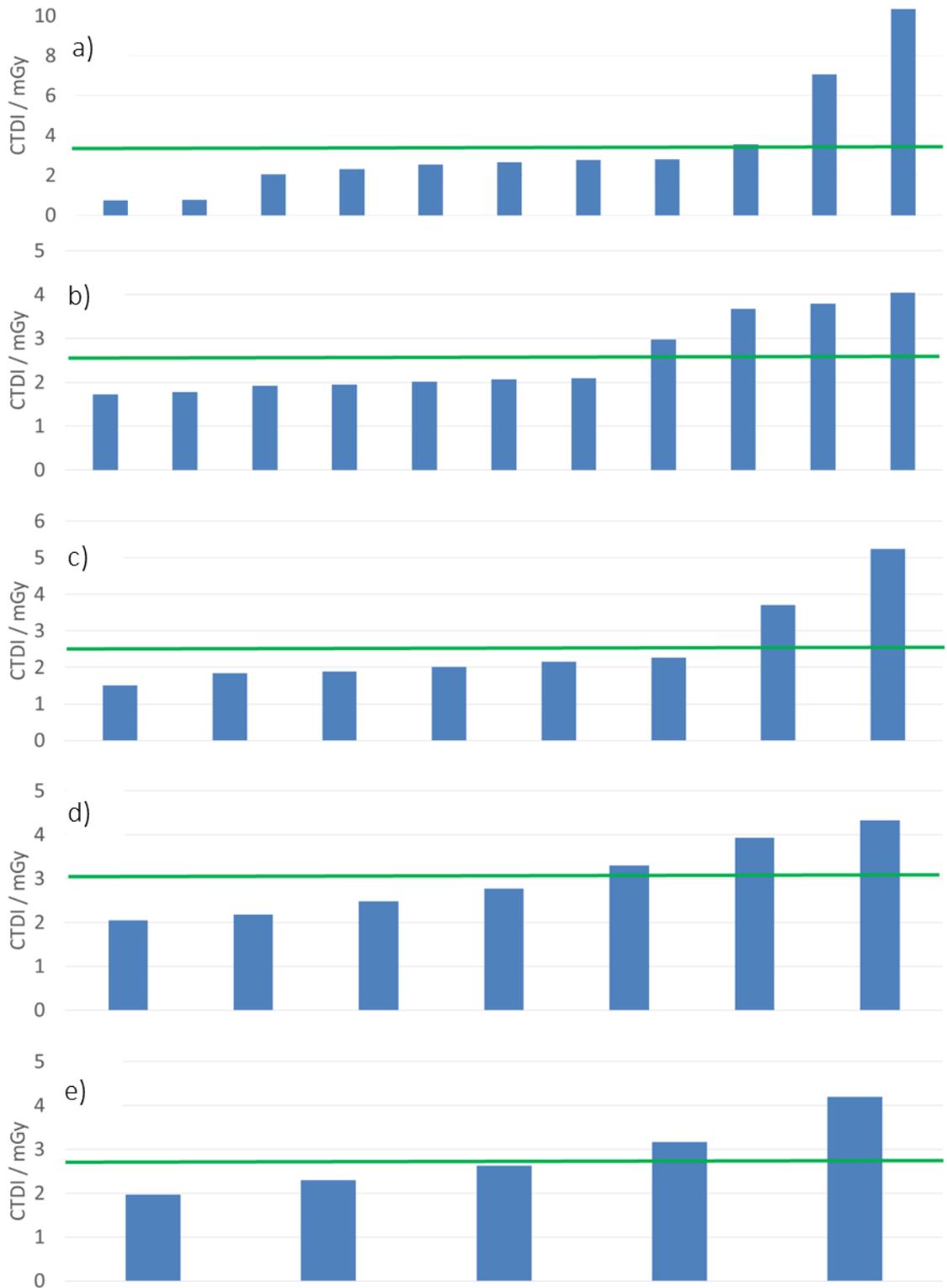
Hybridbildgebung [5]. In der aktuellen Erhebung liegen die Expositionswerte für Untersuchungen des Ganzkörpers sowie des Rumpfes im Mittel leicht unterhalb der Werte der Erhebung aus der Schweiz, für Untersuchungen des Kopfes sowie des Thorax liegen die Werte leicht oberhalb derjenigen der Schweiz.

#### **4.3.2 Computertomographische Expositionsdaten von SPECT/CT Untersuchungen**

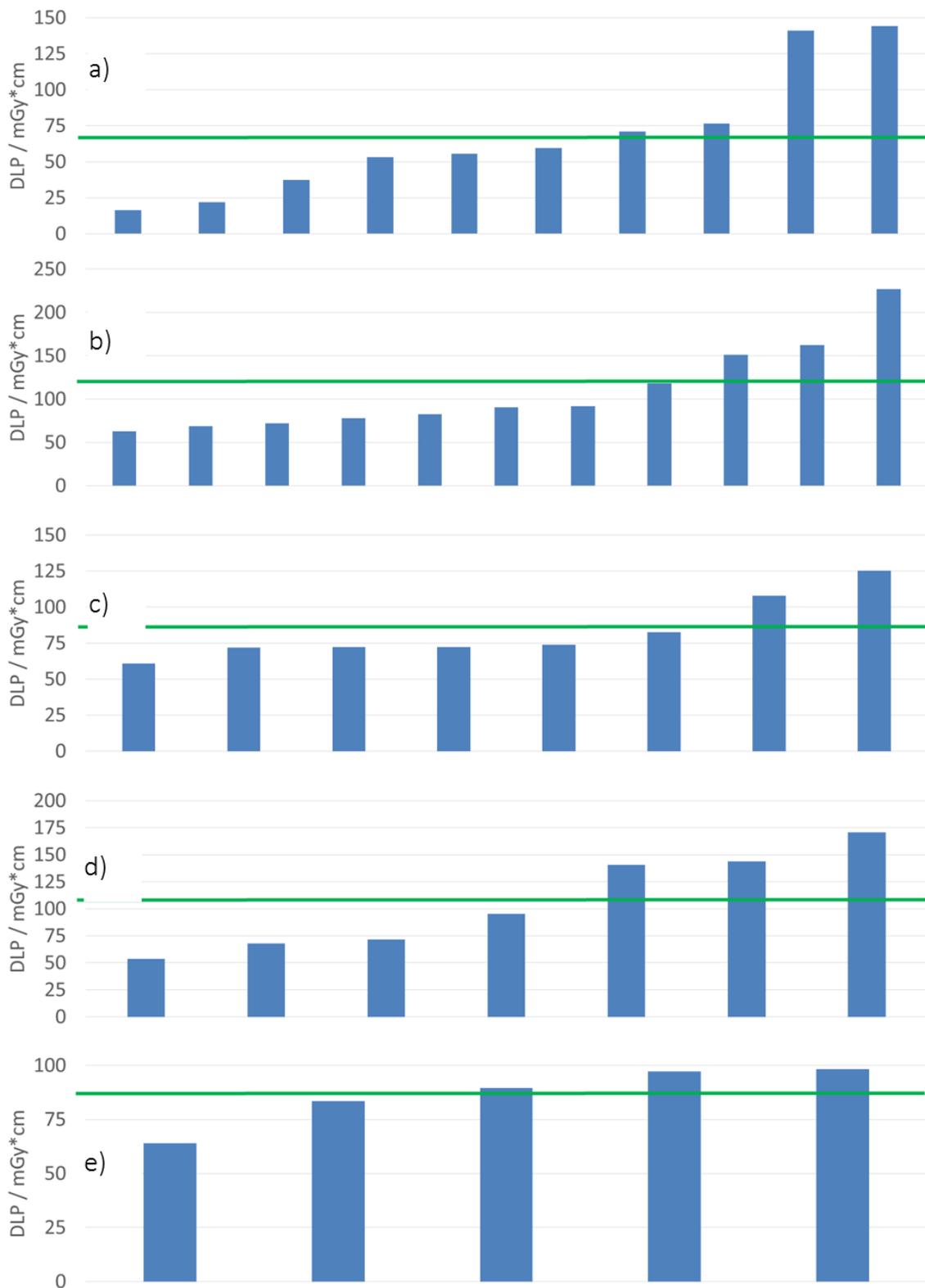
CT-Untersuchungen mit einer angestrebten Diagnostikqualität treten im Zusammenhang mit SPECT-Untersuchungen in der aktuellen Erhebung so selten auf, dass die Daten nicht weiter sinnvoll auszuwerten waren. In diesem Abschnitt werden daher ausschließlich Daten zu low-dose Untersuchungen diskutiert.

In Abbildung 58 sind Verteilungen der CTDI<sub>vol</sub>-Daten dargestellt, die bei der Untersuchung des Herzens, Skeletts und Thorax, der Nebenschilddrüse sowie der Schilddrüse in low-dose Technik im Mittel beobachtet wurden. Berücksichtigt wurden in den Graphiken Einrichtungen, die entweder mindestens Daten von drei Untersuchungen oder die Mittelwerte der Expositionsdaten bereitgestellt haben. Genauso wie bei den PET/CT-Untersuchungen ist der über die Mittelwerte der Einrichtungen gemittelte Wert als grüne Linie angegeben.

Es ist zu erkennen, dass sich der über die Mittelwerte der Geräte gemittelte CTDI-Wert sich zwischen den Untersuchungsbereichen nicht wesentlich unterscheidet. Bei Untersuchungen des Skeletts ist er mit etwa 2,6 mGy am niedrigsten. Die Werte der anderen Organe liegen mit Ausnahme des Wertes für Herz-Untersuchungen im Bereich bis zu 2,8 mGy. Bei Herzuntersuchungen beträgt der Mittelwert 3,4 mGy.



**Abbildung 58: Mittelwert des CTDI-Wertes für eine computerdiagnostische low-dose Begleitdiagnostik bei SPECT/CT-Untersuchungen (a) des Herzens, (b) des Skeletts, (c) des Thorax sowie (d) der Nebenschilddrüse und (e) der Schilddrüse; grüne Linie: Mittelwert der Einträge**



**Abbildung 59: Mittelwert des DLP-Wertes für eine computerdiagnostische low-dose Begleitdiagnostik bei SPECT/CT-Untersuchungen (a) des Herzens, (b) des Skeletts, (c) des Thorax sowie (d) der Nebenschilddrüse und (e) der Schilddrüse. ; grüne Linie: Mittelwert der Einträge**

Die Mittelwerte der CTDI-Werte der einzelnen Geräte unterscheidet sich mit Ausnahme der Herzuntersuchungen deutlich weniger stark voneinander als bei der PET/CT-Begleitdiagnostik. Bei den Untersuchungen der Schilddrüse, Nebenschilddrüse sowie des Skeletts liegen die höchsten und niedrigsten Werte in etwa nur um einen Faktor zwei auseinander. Bei der Thorax-Diagnostik beträgt die Spanne etwa einen Faktor drei. Dem gegenüber beträgt bei der Herzdiagnostik die Spanne mehr als einen Faktor zehn.

Die Verteilung der DLP-Daten für eine computerdiagnostische Begleitdiagnostik bei SPECT/CT-Untersuchungen ist in Abbildung 59 dargestellt. Hier geht für jede Einrichtung neben dem  $CTDI_{vol}$  die jeweilige Scanlänge ein. Diese bewegt sich in fast allen Fällen im Bereich von etwa 18 cm bis etwa 42 cm, bei der Skelettdiagnostik zwischen 32 cm und 56 cm.

Die Scanlängen bei der Untersuchung gleicher Körperregionen unterscheiden sich weit mehr zwischen unterschiedlichen Einrichtungen als dieses bei PET/CT-Untersuchungen der Fall ist. Hieraus resultieren weitergehende Unterschiede zwischen den Verteilungen des  $CTDI_{vol}$  und DLP als sie im PET/CT beobachtet werden. Es erscheint daher sinnvoll, zu überlegen, für mögliche orientierende Werte für die CT-Begleitdiagnostik bei SPECT/CT Untersuchungen ausschließlich den  $CTDI_{vol}$  anzugeben.

Die beobachteten Werte für den  $CTDI_{vol}$  sowie das DLP bewegen sich auf ähnlichem Niveau wie bei der Erhebung in der Schweiz ([5]). Für Untersuchungen der Schilddrüse sowie Nebenschilddrüse sind die in dieser Erhebung festgestellten Werte leicht unter denen der Schweizer Erhebung. Für Untersuchungen des Skeletts, Thorax sowie Herzens liegen die CTDI-Werte dieser Erhebung leicht über denen der Schweiz. Die DLP-Werte der aktuellen Erhebung liegen aufgrund abweichender Scanlängen teilweise leicht unter denen der Schweiz. Tabellarische Angaben zu den CTDI- und DLP-Werten der low-dose CT-Begleitdiagnostik bei SPECT/CT-Untersuchungen sind in Tabelle 22 aufgeführt.

Körperbereich	Mittelwert		Median	
	$CTDI_{vol} / \text{mGy}$	$DLP / \text{mGy} \cdot \text{cm}$	$CTDI_{vol} / \text{mGy}$	$DLP / \text{mGy} \cdot \text{cm}$
Herz	3,4	61,5	2,7	55,6
Skelett	2,5	109,4	2,1	90,5
Thorax	2,6	83,4	2,1	73,2
Nebenschilddrüse	3,0	107,0	2,8	95,2
Schilddrüse	2,8	86,6	2,6	89,6

**Tabelle 22: Mittelwerte und Mediane der Verteilungen des  $CTDI_{vol}$  und des DLP aus Abbildung 58 und Abbildung 59**

## 5 Diskussion

### 5.1 Datenerhebung

Es war erneut möglich, eine große Anzahl an akademischen und nicht-akademischen Einrichtungen aus dem Bereich der stationären und der ambulanten nuklearmedizinischen Versorgung für die Teilnahme an der Erhebung von Daten zur Häufigkeit und Strahlenexposition nuklearmedizinischer Untersuchungen zu motivieren. Dabei zeigte es sich, dass der mit der Erhebung in den Einrichtungen verbundene Aufwand weiterhin sehr unterschiedlich ist. In einem Teil der Einrichtungen sind IT-Systeme im Einsatz, die es den Einrichtungen oder den betreuenden IT-Dienstleistern mit wenig Aufwand ermöglichen, die benötigten Daten in guter Vollständigkeit und Qualität bereit zu stellen. Daneben gibt es jedoch weiterhin einen relevanten Teil an Einrichtungen, in dem die elektronisch verfügbare Dokumentation nur der Patientensteuerung und der Abrechnung von Leistungen dient. Für die Studie relevante Informationen, wie z.B. die applizierten Aktivitäten oder die verwendeten Radiopharmaka sind hier vielfach nicht oder zumindest nicht mit ausreichender Qualität elektronisch verfügbar. Für diese Einrichtungen ist eine Teilnahme an Erhebungen wie der hier durchgeführten mit einem relevanten Aufwand verbunden, der aufgrund fortschreitender Aufgabenverdichtung eher schwieriger zu realisieren war als noch bei der vorangehenden Erhebung. Für den Fall zukünftiger Erhebungen mit gleicher oder ähnlicher Fragestellung mag es hier von Vorteil sein, den Fokus gezielt auf einzelne, neuere Untersuchungsverfahren oder seltene Untersuchungen zu legen. Exemplarisch ist die Erfassung von Daten zu Schilddrüsenuntersuchungen im Bereich der ambulanten Versorgung sehr aufwändig, da es sich teilweise um etliche tausend Untersuchungen im Erhebungszeitraum handelt, ohne dass die Untersuchungen jedoch mit einer außergewöhnlich hohen Strahlenexposition verbunden sind oder in einer Einrichtung größeren Schwankungen unterliegen. Durch eine entsprechende Einschränkung ließe sich wahrscheinlich die Bereitschaft von Einrichtungen zur Teilnahme erhöhen. Im Rahmen der Rekrutierung wurde von einigen Einrichtungen gerade mit dem Hinweis auf die große Anzahl an diesen Untersuchungen eine Mitwirkung abgelehnt.

Der Bereich der CT-Begleitdiagnostik bei Hybriduntersuchungen wurde in der aktuellen Erhebung für Deutschland erstmalig in größerem Rahmen analysiert. Hier wurden erste Erfahrungen in der Erhebung derartiger Daten in nuklearmedizinischen Einrichtungen gesammelt. Für die CT-Diagnostik war es von wenigen Einrichtungen abgesehen, erforderlich, Daten manuell zu erheben. Durch einen vermehrten Einsatz von Dosismanagementsystemen (DMS) mag dieses in der Zukunft einfacher werden. Das wird allerdings nur dort zutreffen, wo aufgrund der Größe einer Einrichtung, z.B. bei einer nuklearmedizinisch-

radiologischen Großpraxis oder in einem Krankenhaus ohnehin ein Dosismanagementsystem genutzt werden wird. Einzelpraxen oder nuklearmedizinische Kliniken, die IT-technisch von der Röntgendiagnostik getrennt sind, werden auch in Zukunft eher keine DMS nutzen. Hier ist daher weiterhin von einem relevanten Aufwand bei der Erhebung auszugehen, der die Verfügbarkeit der Daten in Frage stellt. Weiterhin ergab es sich in einigen Einrichtungen, dass in der Nuklearmedizin zwar Zugriff auf computertomographische Daten aus SPECT/CT Untersuchungen bestanden, Daten zum PET/CT jedoch in der Hoheit der zugeordneten Radiologie lagen. Durch diese Trennung war ein Zugriff auf die Daten relevant erschwert und teilweise unmöglich.

Erhebungen im Stil dieser Studie ermöglichen einen weit umfangreicheren Blick auf die bestehende Situation, als es Daten der ärztlichen Stellen ermöglichen. Sie haben jedoch konzeptionell den Mangel, dass die Teilnahme einer Einrichtung an der Erhebung vollständig freiwillig ist. Dieses führt dazu, dass sich in dem Kollektiv an Einrichtungen vermehrt solche befinden werden, die aufgrund der persönlichen Ausrichtung ein Interesse an Qualität haben und von sich aus auch davon ausgehen, „gute Daten“ vorzulegen. Einrichtungen in denen das Gefühl vorherrscht, dass möglicherweise Probleme bestehen, werden in dem Kollektiv unterrepräsentiert sein. Um dieses Faktum, dass sich konzeptionell nicht beheben lässt, abzuschwächen oder auszuräumen, wäre es wünschenswert, dass durch weitergehende Vorteile, die mit einer Teilnahme verbunden sind, oder einer erhöhte Verbindlichkeit der Teilnahme Einrichtungen erreicht werden könnten, die anderenfalls nicht mitwirkten. Es erscheint auch sinnvoll, im Rahmen einer weitergehenden Erhebung zu vergleichen, in welchem Umfang die erzielten Daten mit denen der ärztlichen Stellen im Einklang sind. Hier wäre es insbesondere von Interesse, zwischen ärztlichen Stellen zu unterscheiden, die unterschiedliche Strategien bei der Auswahl vorzulegender Prüfunterlagen verfolgen. Für den Fall, dass es sich herausstellt, dass eine Vorgehensweise bei der Anforderung von Unterlagen in ärztlichen Stellen es ermöglicht, die in der aktuellen Erhebung gewonnenen Ergebnisse nachzuvollziehen, so erscheint es möglich für häufige Untersuchungen, die sich bereits im Prüfkanon der ärztlichen Stellen befinden, auf deren Resultate zurückzugreifen und den Fokus vornehmlich auf weitergehende Untersuchungen zu legen.

In der Erhebung wurden im Unterschied zur Vorläuferstudie zahlreiche weitere Organ- und Körperbereiche berücksichtigt. Dieses erschien möglich, da insbesondere die Sentinel-Lymphknoten-Diagnostik inzwischen in einer großen Anzahl an Einrichtungen und in hoher Frequenz erfolgt. Zudem ist zumindest die SLN-Diagnostik des Melanoms neben der des Mamma-Karzinoms etabliert. Ob es sinnvoll ist, die Bereiche Leber / Galle oder die Nebennieren, die ohnehin je nach Einrichtung dem Ganzkörper zugeordnet werden,

auch in der Zukunft separat zu betrachten, bleibt zu überlegen. Die Gesamtzahl an Untersuchungen in diesem Bereich ist weit geringer als die in dem neu betrachteten Bereich der SIRT-assoziierten Diagnostik von Lungenschwamm. Hier zeigen sich Änderungen in der Zusammenstellung von Untersuchungsschwerpunkten auf, die bei zukünftigen Erhebungen berücksichtigt werden sollten.

Im Rahmen der Erhebung wurden neben anderen Angaben Informationen zum Gewicht sowie der Größe von Patienten erfragt. Daten zum Gewicht wurden von einigen Einrichtungen, Daten zur Größe von fast keiner Einrichtung bereitgestellt. Dieses ist wenig verwunderlich, da in den aktuellen diagnostischen Referenzwerten beide Größen nicht berücksichtigt sind. In den Abschnitten 4.2.1 und 4.2.2 wurde diskutiert, dass eine Berücksichtigung des Gewichtes bei der Festlegung der zu applizierenden Aktivität auch für Untersuchungen an Erwachsenen nicht abwegig ist. Möglicherweise ließe sich überlegen, Empfehlungen für die zu applizierende Aktivität nach drei Gewichtsklassen einzuteilen, um mit geringem Aufwand zumindest eine ansatzweise Differenzierung zu erreichen. Einige Einrichtungen berücksichtigen das Gewicht bereits jetzt systematisch bei der Festlegung zu applizierender Aktivitäten. Sollte sich dazu entschieden werden, dass es übergeordnet bedeutsam ist, das Gewicht zu berücksichtigen, so wird der Parameter zukünftig eine hohe Relevanz haben. Sollte die bisherige Vorgehensweise beibehalten werden, so bleibt zu hinterfragen, ob der Parameter in der Zukunft weiter zu erheben ist. Dabei erscheint es durchaus bedenkenswert zu sein, bei welchen Untersuchungen der Parameter Gewicht in welchem Umfang bedeutsam ist. Bei Untersuchungen des Skeletts, mag eher die Knochenmenge und daher die Größe relevant sein, bei Untersuchungen des Herzens der Oberkörperumfang, der bei Männern und Frauen deutlich verschieden sein kann.

In der Betrachtung der computertomographischen Daten wurden low-dose Untersuchungen und diagnostische Untersuchungen unterschieden. Es zeigte sich in der Erhebung und auch insbesondere bei der Auswertung der Daten, dass in unterschiedlichen Einrichtungen die Begriffe deutlich abweichend belegt waren. In den Daten, s. Abschnitt 4.3, führte dieses zu überlappenden Verteilungen der Dosiswerte beider Kategorien. In einigen Einrichtungen wurden low-dose Untersuchungen und diagnostische danach unterschieden, ob in den Prozess ein Radiologe eingebunden wurde. In anderen Einrichtungen ging es darum, ob es einen formellen Befund für den computertomographischen Teil gab. Wiederum andere orientierten sich an den an den Geräten hinterlegten Protokollbezeichnungen. Es verblieb der Eindruck, dass an dieser Stelle eine Vereinheitlichung der Begrifflichkeiten und der Nutzung von low-dose oder diagnostischen Untersuchungen sinnvoll ist.

In der Erhebung der Daten wurde erfasst, ob in Einrichtungen real applizierte Aktivitätswerte dokumentiert werden, oder Anteile unberücksichtigt bleiben, die in der Spritze verbleiben sowie im Zeitraum zwischen der Präparation und Applikation zerfallen. Hier zeigte sich ein uneinheitliches Vorgehen, welches im Einzelfall zu Differenzen von deutlich mehr als 10% führen kann. Diese Abweichungen sind bei der Festlegung der DRW bislang nicht berücksichtigt. Bei der Prüfung der applizierten Aktivitäten durch die Ärztlichen Stellen, kann es durch die Differenz dazu kommen, dass Einrichtungen auffällig hohe Aktivitätswerte übermitteln, ohne dass diese Aktivitäten in voller Höhe den Patienten appliziert werden. In diesen Fällen mag es sinnvoll sein, die Dokumentationsweise einer Einrichtung bei der Bewertung möglicher Überschreitungen von DRW zu berücksichtigen.

Bei möglichen weiteren Erhebungen im gleichen Stil, wie die vorliegende Studie bleibt der Themenpunkt des Datenschutzes genau zu betrachten. Exemplarisch sind die Anforderungen an die von Einrichtungen zur Verfügung zu stellenden Altersangaben der Patienten in der Leistungsbeschreibung vergleichsweise ungenau. Dieses führte dazu, dass Daten einiger Einrichtungen mit Verweis auf den Datenschutz auch nur auf diesem Aggregationsniveau bereitgestellt wurden, was im Konflikt zu der im Laufe der Studie vom BfS gewünschten feineren Granularität der Auswertung stand. Nachdem Fragen des Datenschutzes in Einrichtungen ein großes Gewicht haben und in einigen Fällen auch der Grund für eine Nicht-Teilnahme an der Studie waren, ist es erforderlich, dass sämtliche gewünschten Ergebnisse und die hierfür benötigten Daten im Vorfeld der Studie festgelegt sind.

## **5.2 Verteilungsparameter der Datengesamtheit**

Es gelang Daten zu erheben, die gleichmäßig über den Erhebungszeitraum sowie das Gesamtgebiet Deutschlands verteilt sind. Die regionale Verteilung stellte dabei einen relevanten Aufwand dar. Durch eine gute Zusammenarbeit mit den ärztlichen Stellen einiger Länder sowie ein regional unterschiedliches Verhalten, war es möglich in einigen Bundesländern, z.B. Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Hessen, Bremen und Hamburg, mit überschaubarem Aufwand eine ausreichend hohe Teilnahme sicherzustellen. Dem entgegen gelang es trotz wiederholter Anstrengungen bis zum Schluss nicht, eine Einrichtung aus Mecklenburg-Vorpommern zur Teilnahme zu bewegen.

Die vom BfS geforderte Anzahl an Untergruppen, z.B. Einrichtungen aus dem ländlichen sowie städtischen Raum, wurde in der Gesamtheit erreicht. Dabei war allerdings festzustellen, dass weniger Einrichtungen in kleineren Städten bzw. ländlichen Regionen ver-

füßbar waren, als noch bei der Vorgängerstudie. Sollte dieser Prozess weiter voranschreiten, wird sich bei nachfolgenden Erhebungen ein Problem ergeben, die Anforderungen des BfS zu erfüllen.

In der aktuellen Erhebung wurden in Abstimmung mit dem BfS erstmalig Medizinische Versorgungszentren berücksichtigt, die an Einrichtungen zur stationären Versorgung angegliedert sind und diesen eine Versorgung ambulanter Patienten ermöglichen. Als Gegenbewegung gibt es zunehmend auch Praxen, die primär in der ambulanten medizinischen Versorgung tätig sind, darüber hinaus aber auch stationäre Patienten versorgen. Darüber hinaus gibt es weiterhin Einrichtungen für primär stationäre Patienten, die aufgrund von Ermächtigungen auch ambulante Patienten versorgen. Dabei ist das Verteilungsbild zwischen privat und gesetzlich versicherten Patienten in den Einrichtungen unterschiedlich. Es erscheint sinnvoll, für zukünftige Erhebungen zu überlegen, welcher Differenzierungsgrad für die Beantwortung der angestrebten Fragen sinnvoll und erforderlich ist.

### 5.3 Häufigkeitsdaten

Im Vergleich zu der Vorläuferstudie ist eine Verschiebung der Altersstruktur der Patienten hin zu einem älteren Patientenkollektiv festzustellen. Zudem erreicht, anders als zuvor, die relative Häufigkeit in der Altersstufe der 50 bis 55jährigen ein Plateau, welches bis zu der Gruppe der bis zu 80jährigen reicht und erst bei älteren Patienten abfällt. Dieses ist zum Teil auf eine alternde Bevölkerung zurückzuführen. Die Änderungen in der Alterspyramide können die beobachtete Änderung in den Häufigkeiten jedoch nur zum Teil erklären. Was eher bedeutsam zu sein scheint, ist die ebenso beobachtete Änderung in der Zusammensetzung an Untersuchungen. So ging der Anteil an Schilddrüsenuntersuchungen, die vornehmlich in der mittleren Altersstufe durchgeführt werden, zwischen den beiden Erhebungen um etwa ein Viertel zurück. Hingegen hat sich die Häufigkeit der onkologischen Untersuchungen, die in den älteren Altersstufen durchgeführten werden sowie die der Sentinel-Lymphknoten-Diagnostik, die bei Frauen ab dem fünfzigsten Lebensjahr durch das bundesweite Mammographiescreening bedeutsam wird, nahezu verdoppelt.

Die Anwendung moderner Diagnostikverfahren der PET führt zu einer wesentlichen Änderung der Zusammensetzung im Nuklideinsatz. In der Vorläuferstudie betrug der Anteil an Untersuchungen mit PET-Tracern 7,6%, im Unterschied zu jetzt etwa 18%. Dabei wird aktuell neben F-18, das über die FDG-basierte Diagnostik mit 14,3% aller Untersuchungen weit vertreten ist, auch Ga-68 mit etwa 3,5% vergleichsweise oft eingesetzt. Die Ga-68 Diagnostik ist in etwa im Verhältnis 1,6 : 1 zwischen Untersuchungen unter Verwendung

von PSMA und DOTA-Peptiden aufgeteilt. Wie sich dieses bei einer vermehrten Verfügbarkeit von F-18 PSMA, das in der aktuellen Erhebung nur in Einzelfällen verwendet wurde, ändern wird und welche weiteren Entwicklungen das Gesamtbild prägen werden, bleibt abzuwarten. Insbesondere der Bereich der Hirnuntersuchungen, der in akademischen Einrichtungen bereits jetzt mit einer Vielzahl unterschiedlicher PET-Tracer durchgeführt wird, wird potentiell bei einer leichteren Verfügbarkeit der Substanzen in der Zukunft auch im nicht-akademischen Bereich vermehrt Anwendung finden.

Die Ausrichtung auf modernere Diagnostikmethoden wirkt sich merklich auf die relative Häufigkeit der Untersuchung unterschiedlicher Organsysteme aus. Während in der Vorläuferstudie Schilddrüsen- und Skelettuntersuchungen zwei Drittel der Untersuchungen ausmachten, sind es jetzt nur noch etwas mehr als 50%. Hierbei ließ sich in dieser Erhebung eine deutliche Geschlechtsabhängigkeit bei den untersuchten Organen feststellen. So werden Untersuchungen der Schilddrüse etwa dreimal so oft bei Frauen durchgeführt, wie bei Männern. Bei Untersuchungen der Nebenschilddrüse ist das Verhältnis ähnlich ungleich. Auch bei Untersuchungen des Skelett überwiegen Frauen mit einem Verhältnis von etwa 1,5 : 1. Untersuchungen mit einem klaren Übergewicht von Männern sind die des Ganzkörpers, bei denen eine Verhältnis von 1,5 : 1 zugunsten der Männer vorliegt sowie des Herzens mit etwa einem Drittel mehr Männern als Frauen unter den untersuchten Personen.

Der Krankenversicherungsstatus hat, genauso wie in der Vorläuferstudie, einen Einfluss auf die Zusammensetzung durchgeführter Untersuchungen. Dieser ist aufgrund des allgemeinen Rückgangs der Schilddrüsen- und Skelettuntersuchungen nicht mehr so ausgeprägt wie noch in der Vorläuferstudie. Gleichwohl ist weiterhin die relative Häufigkeit der Ganzkörper- und Mamma-SLN-Untersuchungen bei den privat versicherten Personen höher als bei gesetzlich versicherten Personen, wohingegen der Anteil der Herz- und Schilddrüsenuntersuchungen bei den gesetzlich versicherten Personen überwiegt.

Die Zusammensetzung der Untersuchungen weist eine deutliche Altersabhängigkeit auf. Bei Patienten bis zum vollendeten fünfzehnten Lebensjahr werden, von wenigen Ausnahmen abgesehen, Untersuchungen der Niere sowie des Ganzkörpers durchgeführt, wobei Untersuchungen der Nieren im Mittel zwei Drittel der Gesamtheit ausmachen. Bei Patienten unter einem Jahr tragen diese sogar zu mehr als 95% der Untersuchungen bei. Bei Patienten im Alter zwischen fünfzehn und neununddreißig Jahren machen Schilddrüsenuntersuchungen mit über 50% den klaren Hauptteil aus. In der Gruppe der bis zu vierundsechzigjährigen treten mit etwa 14% erstmalig in relevantem Umfang Untersuchungen des Herzens auf, die bei der Gruppe der Patienten mit einem Alter ab fünfundsechzig Jahren auf etwa 20% anwachsen. Interessant ist, dass im Unterschied zu den Organen, in

denen die relative Häufigkeit stark vom Alter abhängt, Untersuchungen des Ganzkörpers in allen Altersgruppen mit einem Anteil zwischen etwa 15% und 19,5% vertreten sind.

Neben der Verwendung moderner Tracer hat sich auch die Nutzung moderner Gerätetechnik stark entwickelt. So machen Untersuchungen in Hybridbildgebung in der Erhebung etwa 25% aus. Bei SPECT-Untersuchungen wird in etwa jede sechste Untersuchung als SPECT/CT durchgeführt. Bei den PET-Untersuchungen war nur ein Gerät ohne eine CT-Komponente enthalten. PET/MRT-Untersuchungen tragen mit etwa 0,6% weiterhin nur untergeordnet zur Häufigkeit bei.

#### **5.4 Nuklearmedizinische Dosisdaten**

Die mit nuklearmedizinischen Untersuchungen verbundene Strahlenexposition von Patienten ging im Vergleich zur Vorläuferstudie deutlich zurück. Wesentlich dazu beigetragen haben Änderungen in den Dosiskoeffizienten, die im Mittel um ein Viertel niedriger als noch vor zehn Jahren festgelegt wurden. Hiervon abgesehen gibt es insbesondere bei Untersuchungen des Gehirns in der aktuellen Erhebung einen erhöhten Anteil von Untersuchungen mit PET-Tracern, die zu einer kleineren Strahlenexposition der Patienten führen. Die bei Untersuchungen eingesetzten Aktivitäten haben sich bei den Untersuchungen, die mit diagnostischen Referenzwerten versehen sind, mit Ausnahme derjenigen unter Verwendung von F-18 FDG im Mittel vielfach nicht wesentlich geändert. Bei F-18 FDG-Untersuchungen des Ganzkörpers ging die im Mittel eingesetzte Aktivität um etwa ein Drittel zwischen den beiden Untersuchungszeiträumen zurück.

Auch bei einer im Mittel guten Übereinstimmung der dokumentierten Aktivitäten mit den aktuellen diagnostischen Referenzwerten, sind bei einigen Untersuchungen Abweichungen der Mittelwerte einzelner Einrichtungen von mehr als einem Drittel bezogen auf den Mittelwert aller Einrichtungen festzustellen. Bei F-18 FDG-Untersuchungen des Gehirns beträgt der Unterschied zwischen den Einrichtungen mit den im Mittel höchsten und denen mit den niedrigsten Aktivitäten in etwa einen Faktor zwei, ebenso bei Untersuchungen des Gehirns mit I-123 DaTSCAN oder Untersuchungen der Nebenschilddrüse mit Tc-99m MIBI. Auffallend ist, dass bei etlichen Untersuchungen ein relevanter Anteil der Einrichtungen im Mittel eine Anwendung von Aktivitäten oberhalb der DRW dokumentiert, in Einzelfällen auch Anwendungen oberhalb der in der Publikation des BfS benannten Höchstwerte. Auch vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, die im Rahmen der aktuellen Erhebung gewonnen Daten mit denen ärztlicher Stellen zu vergleichen. Es wäre zu erwarten, dass aufgrund von Hinweisen ärztlicher Stellen an die Anwender derart starke Überschreitungen im Mittel nicht zu beobachten sind.

Verglichen mit der Vorläuferstudie haben einige Untersuchungen, vielfach unter der Verwendung von PET-Tacern, deutlich an Bedeutung gewonnen. In diesen Untersuchungen werden aktuell in Einrichtungen Aktivitäten verwendet, die bis zu mehr als einem Faktor vier auseinander liegen. Dem entgegen ist die Bedeutung einiger hergebrachter Untersuchungen relevant gesunken. Die beobachteten Änderungen sollten bei einer Neufestlegung von diagnostischen Referenzwerten berücksichtigt werden.

Bei einem im Mittel um 25% höheren Körpergewicht von Männern ist kein relevanter Unterschied in der im Mittel bei Personen beiderlei Geschlechtes applizierten Aktivitäten festzustellen. Dieses gilt ebenso für die Altersabhängigkeit applizierter Aktivitäten bei Erwachsenen, wobei aufgrund des stark vom Alter abhängigen Body-Mass-Index anderes bei einer gewichtsadaptierten Applikation zu erwarten wäre. Es erscheint an dieser Stelle sinnvoll, über weitergehende Untersuchungen zu ermitteln, in welchem Umfang eine gewichtsadaptierte Applikation von Aktivitäten zu einer über unterschiedliche Gewichtsklassen und Körperformen möglichst einheitliche Qualität der Diagnostik führen kann.

Einrichtungen, die Informationen zum Gewicht der Patienten zur Verfügung gestellt haben, ermöglichen es, die in diesen Einrichtungen erfolgte Skalierung der Aktivität mit dem Körpergewicht zu analysieren. Bei einigen Untersuchungen und Einrichtungen ändert sich die applizierte Aktivität im Bereich beobachteter Körpergewichte bis um einen Faktor zwei. In vielen Einrichtungen ist die Änderung jedoch kleiner und teilweise kaum zu beobachten.

Bei Untersuchungen an Kindern folgen die im Mittel applizierten Aktivitäten der aufgrund des Alters bzw. Körpergewichtes erwarteten Höhe. Bei einer Detailbetrachtung der einzelnen Einrichtungen ist jedoch zu erkennen, dass zum Teil wesentliche Abweichungen hin zu höheren sowie auch niedrigeren Aktivitäten auftreten, die im Hinblick auf die Strahlenexposition der Kinder sowie auch die zu erwartenden Bildqualität bemerkenswert erscheinen.

## **5.5 Computertomographische Dosisdaten**

Erstmalig wurden im Rahmen dieser Erhebung in größerem Umfang Daten zur CT-Begleitdiagnostik bei der Hybridbildgebung in Deutschland erhoben. Die Erhebung der Daten war, wie bereits erwähnt, aufwändig. Dennoch wurden für 26 PET/CT- und 14 SPECT/CT-Systeme Daten zur Verfügung gestellt.

Im Unterschied zur röntgendiagnostischen Anwendung von Computertomographen wurden in der aktuellen Erhebung 40% der low-dose Computertomographien ohne eine Dosismodulation durchgeführt.

Während das bei den PET/CT-Untersuchungen primär untersuchte Organ der Ganzkörper ist, findet die CT bei SPECT/CT-Untersuchungen bei zahlreichen Fragestellungen Anwendung. Am häufigsten sind hierbei Untersuchungen des Herzens mit etwa 50% der Anwendungen, mit großem Abstand gefolgt von Untersuchungen des Skeletts mit 16% sowie solchen des Thorax, der Schilddrüse und Nebenschilddrüse.

Die Expositionswerte bewegen sich in etwa auf Höhe derjenigen der Erhebung der Schweiz [5]. CTDI-Werte liegen vielfach deutlich unter denjenigen vergleichbarer Untersuchungen der Röntgendiagnostik. Es bestehen jedoch große Spannbreiten innerhalb einzelner Untersuchungen und teilweise Überschneidungen zwischen extrem dosisintensiven Untersuchungen, die von den Einrichtungen als low-dose gekennzeichnet wurden und sehr dosissparenden, jedoch als diagnostisch gekennzeichneten Untersuchungen anderer Einrichtungen. Die mittleren CTDI liegen, mit Ausnahme der Untersuchungen des Schädels, für low-dose Untersuchungen im PET/CT und SPECT/CT im Bereich zwischen etwa 3 mGy und 4 mGy. Diagnostische Untersuchungen wurden in relevanter Häufigkeit nur bei PET/CT beobachtet. Die CTDI-Werte liegen für Untersuchungen des Ganzkörpers bzw. Rumpfes hier bei etwa 10 mGy, der Thorax bei etwa 7,5 mGy.

Die DLP-Werte unterscheiden sich zum Teil wesentlich zwischen einzelnen Einrichtungen, was auf Unterschiede in den verwendeten mittleren Scanlängen zurückzuführen ist, die sich um bis zu mehr als einen Faktor zwei für die Untersuchung gleicher Organsysteme unterscheiden. Es erscheint daher aktuell sinnvoll, Orientierungswerte für Untersuchungen auf der Basis des  $CTDI_{vol}$  anzugeben. Ursachen für die deutlich unterschiedlichen Scanlängen sind im Rahmen weiterer Erhebungen zu ermitteln und zu diskutieren.

## 6 Danksagung

Wir bedanken uns ganz herzlich bei den zahlreichen nuklearmedizinischen Einrichtungen, die Daten für die durchgeführte Erhebung bereitgestellt und bei den erforderlichen Rückfragen, die zum Erhalt einer guten Datenqualität erforderlich waren, bereitwillig Auskunft gegeben haben. Ohne Ihre Mithilfe wäre die Erhebung und wären die damit gewonnenen Erkenntnisse nicht möglich gewesen. Vielen Dank! Zahlreiche der mitwirkenden Einrichtungen sind in Tabelle 7 aufgeführt. Weitere Einrichtungen wollten nicht namentlich aufgeführt werden. Auch diesen einen ganz herzlichen Dank.

Der Dank gilt auch den ärztlichen Stellen sowie dem Bund Deutscher Nuklearmediziner, die über die Erhebung auf unterschiedliche Kanäle informiert haben und Einrichtungen zur Mitwirkung motivierten! Vielen Dank gleichfalls an Frau Prof. Geworski und Herrn Prof. Burchert für die Möglichkeit, über das Vorhaben im Rahmen des GAPTN-Treffens 2018 zu informieren.

Vielen Dank auch dem Bundesamt für Strahlenschutz, insbesondere Frau Dr. Kamp sowie Herrn Dr. Giussani, für die Begleitung des Vorhabens, der guten und konstruktiven Zusammenarbeit in der Gestaltung und Durchführung der Erhebung sowie bei der Analyse der Daten.

Ganz herzlichen Dank an dieser Stelle auch Herrn Dr. Pethke sowie Herrn Dr. Jochens für die kritische Durchsicht des Manuskripts zum Abschlussbericht sowie Hinweise zu möglichen Verbesserungen.

Unser Dank gilt gleichermaßen auch den weiteren Unterstützern der Arbeit, die aus welchen Gründen auch immer hier nicht namentlich erwähnt sind. Fühlen Sie sich bitte nicht zurückgesetzt sondern gleichermaßen gewürdigt und wertgeschätzt!

---

## 7 Abkürzungsverzeichnis

*Bundesamt für Strahlenschutz BfS*

Bund Deutscher Nuklearmediziner *BDN*

Computertomographie *CT*

Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin *DGN*

Dosislängenprodukt *DLP*

Dosismanagementsystem *DMS*

*diagnostische Referenzwerte DRW*

Einzelphotonenemissionstomographie *SPECT*

Gemeinsamer Arbeitskreis Physik und Technik der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik und der Deutschen Gesellschaft für Nuklearmedizin *GAPTN*

informationstechnisch *IT*

Magnetresonanztomographie *MRT*

Medizinisches Versorgungszentrum *MVZ*

Positronenemissionstomographie *PET*

Selektive Interne Radiotherapie *SIRT*

Sentinel-Lymphknoten *SLN*

*Strahlenschutzverordnung StrlSchV*

Volumen-CT-Dosisindex *CDTI<sub>vol</sub>*

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] M. Borowski, „Abschlussbericht um UFOPlan Vorhaben S40003 "Erhebung von Häufigkeit und Dosis für nuklearmedizinische Untersuchungsverfahren",“ 2011.
- [2] Bundesamt für Strahlenschutz, „Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für nuklearmedizinische Untersuchungen,“ Bundesanzeiger, 2012.
- [3] Pharmacia, *Wachstums- und Gewichtskurven in Perzentilen (Jungen 0 - 18 Jahre)*, Erlangen: Pharmacia GmbH, Endokrinologie und Stoffwechsel / Best-Nr. PC 01.
- [4] Pharmacia, *Wachstums- und Gewichtskurven in Perzentilen (Mädchen 0 - 18 Jahre)*, Erlangen: Pharmacia GmbH, Endokrinologie und Stoffwechsel / Best-Nr. PC 02.
- [5] T. Lima und et. al., „Swiss survey on hybrid imaging CTs doses in Nuclear Medicine and proposed national dose reference levels,“ *Zeitschrift für Medizinische Physik*, pp. 265-275, 12 2018.
- [6] Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin, „DGN-Handlungsempfehlung (S1-Leitlinie) Lungenzintigraphie,“ Deutsche Gesellschaft für Nuklearmedizin, Göttingen, 2017.
- [7] G. d. Bundes, „Durchschnittliche Körpermaße der Bevölkerung (Größe in m, Gewicht in kg). Gliederungsmerkmale: Jahre, Deutschland, Alter, Geschlecht,“ [Online]. Available: [http://www.gbe-bund.de/oowa921-install/servlet/oowa/aw92/dboowasys921.xwdevkit/xwd\\_init?gbe.isgbetol/xs\\_start\\_neu/&p\\_aid=i&p\\_aid=37094332&nummer=223&p\\_sprache=D&p\\_indsp=99999999&p\\_aid=18037253](http://www.gbe-bund.de/oowa921-install/servlet/oowa/aw92/dboowasys921.xwdevkit/xwd_init?gbe.isgbetol/xs_start_neu/&p_aid=i&p_aid=37094332&nummer=223&p_sprache=D&p_indsp=99999999&p_aid=18037253). [Zugriff am 08 06 2020].
- [8] ICRP, „ICRP Publication 103 - The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection,“ Elsevier, 2007.
- [9] G. Gesundheitsberichtserstattung des Bundes, „Body-Mass-Index (im Durchschnitt und Verteilung der Bevölkerung auf Body-Mass-Index-Gruppen (in Prozent)). Gliederungsmerkmale: Jahre, Deutschland, Alter, Geschlecht, Body-Mass-Index,“ 2017. [Online]. Available: [http://www.gbe-bund.de/oowa921-install/servlet/oowa/aw92/WS0100/\\_XWD\\_FORMPROC#SVG](http://www.gbe-bund.de/oowa921-install/servlet/oowa/aw92/WS0100/_XWD_FORMPROC#SVG). [Zugriff am 10 06 2020].

- 
- [10] ICRP, „ICRP Publication 73 - Radiological Protection and Safety in Medicine,“ Pergamon, 1996.
- [11] Bundesamt für Strahlenschutz, „Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen,“ Bundesanzeiger, 2016.
- [12] N. Verhoeff und et.al., „Dosimetry of iodine-123 iodobenzamide in health volunteers,“ *European Journal of Nuclear Medicine*, pp. 747-752, 06 1993.
- [13] F. Giesel und et.al., „F-18 labelled PSMA-1007: biodistribution, radiation dosimetry and histopathological validation of tumor lesions in prostate cancer patients,“ *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, pp. 678-688, 11 2017.
- [14] C. Santos-Cuevas und et.al., „Tc-99m-labelled PSMA inhibitor: Biocinetics and radiation dosimetry in healthy subjects and imaging of prostate cancer tumors in patients,“ *Nuclear Medicine and Biology*, pp. 1-6, 09 2017.
- [15] B.-R. Sah und et.al., „Dosimetry and First Clinical Evaluation of the New 18-18-Radiolabeled Bombesin Analogue BAY 864367 in Patients with Prostate Cancer,“ *The Journal of Nuclear Medicine*, pp. 372-378, 02 2015.
- [16] M.-J. Ribeiro und et.al., „Biodistribution and radiation dosimetry of C-11-raclopride in ealthy volunteers,“ *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, pp. 952-958, 04 2005.
- [17] B. Sattler und et.al., „Inkorporationsdosimetrische Untersuchungen von F-18-Flubatine - Vergleich an Tiermodellen erhobenen Daten mit first-in-man Ergebnissen,“ in *Nuklearmedizin 2012*, 2012.
- [18] B. Sattler und et.al., „First-in-man incorporation dosimetry of (S)-(-)-[18F]fluspidine,“ *The Journal of Nuclear Medicine*, p. supplement 2 1022, 05 2016.
- [19] C. Laymon und e. et.al., „Human dosimetry of the PET radioligand [C-11]flumazenil (FMZ),“ *The Journal of Nuclear Medicine*, p. supplement 2 1846, 05 2009.
- [20] D. Mankoff und et.al., „[18F]fluroestradiol radiation dosimetry in human PET studies,“ *The Journal of Nuclear Medicine*, pp. 679-684, 04 2001.

- [21] I. Hsiao und et.al., „Biodistribution and Radiation Dosimetry for the Tau Tracer  $^{18}\text{F}$ -THK-5351 in Healthy Human Subjects,“ *The Journal of Nuclear Medicine*, pp. 1498-1503, 09 2017.

## Anlage A: exemplarische Informationsmaterialien über das Vorhaben



Klinikum  
Braunschweig

Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH  
Institut für Röntgendiagnostik und Nuklearmedizin  
Salzdahlumer Straße 90 • 38126 Braunschweig

An  
in Kliniken und Praxen tätige  
Nuklearmediziner

Institut für  
Röntgendiagnostik und  
Nuklearmedizin

Dr. Markus Borowski

Tel.: 0531-595-2137

E-Mail: [m.borowski@klinikum-braunschweig.de](mailto:m.borowski@klinikum-braunschweig.de)

### Erhebung von Daten zu nuklearmedizinischen Untersuchungsverfahren

Sehr geehrte Damen und Herren,

die Nuklearmedizin ist ein dynamisches Fach. Neben Techniken, die sich bewährt haben und über die Zeit bestehen, kommen neue Untersuchungs- und Therapieverfahren hinzu, während andere abgelöst werden.

Vor etwa acht Jahren wurden zum bislang letzten Mal umfassend Daten zur Häufigkeit und Strahlenexposition nuklearmedizinischer Untersuchungen innerhalb der ambulanten und stationären Versorgung in Deutschland erhoben. Die damaligen Daten bildeten die Basis für die erste Überarbeitung der Diagnostischen Referenzwerte (DRW) im Bereich der Nuklearmedizin.

Die Erhebung wird auf Veranlassung des Bundesamtes für Strahlenschutz von 2018 an wiederholt. Es ist das Ziel, die damaligen Informationen auf einen aktuellen Stand zu bringen und Untersuchungen zu berücksichtigen, die sich in der Zwischenzeit geändert haben bzw. neu hinzugekommen sind. Mit der Studienleitung wurde, genauso wie vor acht Jahren, das Klinikum Braunschweig beauftragt.

Es würde mich sehr freuen, wenn Sie bereit wären, Daten Ihrer Einrichtung in die aktuelle Erhebung einfließen zu lassen. Bitte helfen Sie mit, gute, an die klinische Versorgung angepasste Daten zu erheben, in denen große und kleine Einrichtungen, Einrichtungen im städtischen und ländlichen Bereich sowie die Versorgung von ambulanten und stationären Patienten gleichermaßen berücksichtigt werden. Die resultierenden Ergebnisse werden voraussichtlich erneut die Basis für die anstehende Novellierung der Diagnostischen Referenzwerte bilden. Nutzen Sie die Möglichkeit mit Ihrer Teilnahme direkt Einfluss auf zukünftige Rahmenbedingungen Ihrer Tätigkeit zu nehmen!

Die Erhebung der Daten ist im Normalfall mit einem minimalen Aufwand auf Ihrer Seite verbunden. Bei erhöhtem Aufwand ist eine finanzielle Kompensation nach Absprache möglich. Der erhobene Datensatz enthält keine personenidentifizierenden Merkmale. Er ist datenschutzrechtlich unbedenklich. Sämtliche Informationen werden vertraulich behandelt und nur in aggregierter, nicht rückführbarer Form publiziert.

Bei Rückfragen stehen wir Ihnen jederzeit gerne zur Verfügung. Nehmen Sie hierzu gerne über die E-Mail-Adresse [m.borowski@klinikum-braunschweig.de](mailto:m.borowski@klinikum-braunschweig.de) bzw. die Rufnummer 0531-5952125 oder die Fax-Nummer 0531-5952786 mit uns Kontakt auf.

Mit freundlichen Grüßen



Dr. M. Borowski



## **Weitergehende Informationen zur Erhebung von Häufigkeit und Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungen in Deutschland**

### **Ziel der Untersuchung:**

- Aktualisierung der Daten zur Häufigkeit und Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungen in Deutschland
- Bereitstellung von Basisdaten für die Aktualisierung der diagnostischen Referenzwerte für die Nuklearmedizin

### **Datenbasis:**

- Retrospektive Daten der Jahre 2016 und 2017
- (möglichst) vollständige Daten der Untersuchungen aus dem Zeitraum
- **Sonderregelung:** In Einrichtungen mit einer eingeschränkten IT-Infrastruktur werden ergänzend zu den üblicherweise im Abrechnungssystem enthaltenen Daten für maximal je 10 Untersuchungen je Untersuchungsart und Monat die applizierten Aktivitäten erfasst

### **Erfasste Parameter:**

- Daten zur Untersuchung (Untersuchungsart / Organsystem, Untersuchungsdatum)
- Daten zur Strahlenexposition (Radiopharmakon, applizierte Aktivität)
- Patientendaten (Alter, Geschlecht)
- Aufnahmestatus (ambulant/stationär)
- Fakultativ weiterhin: Patientengewicht, Krankenversicherungsstatus

Bei Hybridgeräten (PET/CT, SPECT/CT) sollen stichprobenhaft Daten zur begleitenden CT-Untersuchung erfasst werden.

Bei Rückfragen stehen wir Ihnen unter der Rufnummer 0531-5952137 oder per E-Mail unter [m.borowski@klinikum-braunschweig.de](mailto:m.borowski@klinikum-braunschweig.de) gerne zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

## Anlage B: Radiopharmaka

Nr.	Pharmakon	Radionuklid	Dosiskoeffizient / mSv/MBq	Quelle des Dosiskoeffizienten
1	Pertechnetat	Tc-99m	9,90E-03	BfS
2	HDP	Tc-99m	4,30E-03	BfS
3	MDP	Tc-99m	4,30E-03	BfS
4	MAG3	Tc-99m	4,00E-03	BfS (Daten für abnormale Nierenfunktion)
5	MIBI	Tc-99m	6,90E-03	BfS (für Ruheuntersuchungen)
			6,00E-03	BfS (für Belastungsuntersuchungen)
6	Nanocoll	Tc-99m	1,20E-03	BfS
7	MAA	Tc-99m	1,20E-02	BfS
8	DPD	Tc-99m	4,30E-03	BfS
9	Technegas	Tc-99m	1,50E-02	BfS
10	Anti-Granulozyten-Antikörper	Tc-99m	8,00E-03	Fachinformation zum Radiopharmakon
11	DatScan	I-123	2,40E-02	BfS
12	MIBG	I-123	1,50E-02	BfS
13	Erythrozyten	Tc-99m	9,30E-03	BfS
14	HIDA	Tc-99m	9,50E-03	BfS (für normale Leberfunktion / höchster Wert)
15	Neurolite	Tc-99m	5,50E-03	BfS
16	Iodid	I-123	1,80E-01	BfS (mittlerer SD-Uptake)
		I-124	8,60	BfS (mittlerer SD-Uptake)
		I-131	1,60E-01	BfS (mittlerer SD-Uptake)
17	IBZM	I-123	3,40E-2	aus [12]
18	FDG	F-18	1,60E-02	BfS
19	FEC	F-18	1,80E-02	BfS
20	Bridatec	Tc-99m	1,70E-02	Fachinformation zum Radiopharmakon
21	Tetrofosmin	Tc-99m	5,90E-03	BfS (für Ruheuntersuchungen)
			5,40E-03	BfS (für Belastungsuntersuchungen)
22	Venticoll	Tc-99m	1,50E-02	Fachinformation zum Radiopharmakon
23	DTPA	Tc-99m	4,10E-03	BfS (für abnormale Nierenfunktion)
24	Tektrotyd	Tc-99m	5,00E-03	Fachinformation zum Radiopharmakon
25	Neurospect	Tc-99m	9,30E-03	Fachinformation zum Radiopharmakon
26	Dotatoc	Tc-99m	2,20E-02	BfS

Nr.	Pharmakon	Radionuklid	Dosiskoeffizient / mSv/MBq	Quelle des Dosiskoeffizienten
27	PSMA	Ga-68	1,80E-02	BfS
		F-18	2,20E-02	aus [13]
		Tc-99m	4,60E-03	aus [14]
28	FET	F-18	1,40E-02	BfS
29	Dotatate	Ga-68	2,00E-02	BfS
30	Ultratag	Tc-99m	4,05E-03	Fachinformation zum Radiopharmakon
31	Octreotid	In-111	5,40E-02	BfS
32	DMSA	Tc-99m	6,90E-03	BfS
33	HMPAO	Tc-99m	8,00E-03	BfS
34	Pyrophosphat	Tc-99m	9,30E-03	Gemäß ICRP identisch zu Erythrozyten (Nr. 13)
35	Thalliumchlorid	Tl-201	9,80E-02	BfS
36	Dopa	F-18	1,20E-02	BfS
37	Chromat	Cr-51		
38	Oxin	In-111	3,70E-01	Fachinformation zum Radiopharmakon
39	Sehcat	Se-75	9,20E-01	BfS
40	Florbetaben	F-13	1,60E-02	BfS
41	Florbetapir	F-18	2,10E-02	BfS
42	Dotanoc	Ga-68	1,60E-02	BfS
43	Pentixafor	Ga-68	1,40E-02	BfS
44	ARG	Tc-99m		
45	Pittsburgh Compound	C-11	5,00E-03	BfS
46	FLT	F-18	1,60E-02	BfS
47	MISO	F-18	1,60E-02	BfS
48	Bombesin	Ga-68	1,60E-02	aus [15]
49	Wasser	O-15	1,10E-03	BfS
50	Ceretec	Tc-99m	8,00E-03	BfS
51	Vitamin B12	Co-57		
52	Fluorid	F-18	1,30E-02	BfS
53	Methionin	C-11	4,90E-03	BfS
54	EHIDA	Tc-99m	1,70E-02	Fachinformation zum Radiopharmakon (für normale Leberfunktion, da höchster Wert)
55	Amyloid	F-18	3,20E-02	BfS
56	FMC	F-18	1,80E-02	BfS
57	Fallypyride	F-18	2,10E-02	BfS
58	Cholin (unbestimmt)	F-18	1,80E-02	BfS
59		C-11	4,80E-03	BfS
60	Metastron	Tc-99m		
61	Metomidat	I-123		
62	MRB	C-11	5,90E-03	BfS
63	EDTA	Cr-51	5,20E-03	Fachinformation zum Radiopharmakon

Nr.	Pharmakon	Radionuklid	Dosiskoeffizient / mSv/MBq	Quelle des Dosiskoeffizienten
64	Antikörper	Cu-64		
65	Methylphenidat	C-11		
66	Domitate	Ga-68	6,70E-03	aus [16]
67	Raclopride	C-11	4,30E-03	BfS
68	Gas	Kr-81m		
69	DASB	C-11		
70	Flubatine	F-18	2,26E-02	aus [17]
71	Fluspidine	F-18	2,10E-02	aus [18]
72	Flumazenil	C-11	7,10E-03	aus [19]
73	Fluoroestradiol	F-18	2,20E-03	aus [20]
74	GE180	F-18		
75	THK5351	F-18	2,27E-02	aus [21]

**Tabelle 23: Daten zu den in der Analyse verwendeten Radiopharmaka**

## Anlage C: Anteil der Aktivität, der nach der Applikation in Spritzen zurückbleibt

Pharmakon	Zurückbleibender Anteil / %
Anti-Granulozyten-Antikörper	4,5
DatSCAN	3,3
DMSA	3,5
Dotatoc	2,5
DPD	3,9
STPA	5,5
EHIDA	3,1
FDG	2,8
HDP	5,0
HMPAO	4,0
MAA	6,9
MAG3	6,5
MDP	6,2
Metastron	7,6
Metomidat	5,0
MIBG	4,3
MIBI	4,1
Nanocoll (SLN)	16,3
Oktrotid	11,8
Oxin	1,0
Pertechnetat	4,2
PSMA	1,9
Tektrodyd	3,8

**Tabelle 24: in der Korrektur der eingesetzten Aktivität berücksichtigter, in der Spritze  
zurückbleibender Anteil**

## Anlage D: Altersverteilung der Population der Erhebung

Altersbereich	<1a nicht differenziert	<3 Monate	<1 Jahr	< 5 Jahre	<10 Jahre	<15 Jahre	<20 Jahre
Anzahl Patienten	375	287	438	1100	1262	1037	1049
Relative Häufigkeit	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,3%	0,2%	0,2%
Altersbereich	<25 Jahre	<30 Jahre	<35 Jahre	<40 Jahre	<45 Jahre	<50 Jahre	< 55 Jahre
Anzahl Patienten	4625	7192	9834	13695	19521	33591	47141
Relative Häufigkeit	1,0%	1,6%	2,1%	3,0%	4,2%	7,3%	10,2%
Altersbereich	<60 Jahre	<65 Jahre	<70 Jahre	<75 Jahre	<80 Jahre	<85 Jahre	<90 Jahre
Anzahl Patienten	52564	56015	58351	54690	58558	27793	8351
Relative Häufigkeit	11,4%	12,2%	12,7%	11,9%	12,7%	6,0%	1,8%
Altersbereich	<95 Jahre	<100 Jahre	<105 Jahre	<110 Jahre			
Anzahl Patienten	1553	133	6	6			
Relative Häufigkeit	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%			

**Tabelle 25: Altersverteilung der Patienten der aktuellen Erhebung**

## Anlage E: Daten zu Häufigkeitsverteilungen

Organsystem	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Schilddrüse	149966	32,5%
Knochen	90034	19,5%
Herz	72978	15,8%
Lunge	18850	4,1%
Ganzkörper	74819	16,2%
Niere	16409	3,6%
Gehirn	10619	2,3%
Leber / Galle	161	0,0%
Lymphatisches System	675	0,1%
Nebenschilddrüse	4476	1,0%
Gastrointestinaltrakt	652	0,1%
Nebennieren	396	0,1%
Speicheldrüse	446	0,1%
SLN (Mamma)	13591	2,9%
SLN (Melanom)	2720	0,6%
SLN (Cervix)	56	0,0%
SLN (Prostata)	186	0,0%
SLN (Vulva)	151	0,0%
SLN (Penis)	32	0,0%
SLN (unbekannt)	2299	0,5%
Speichel + Schilddrüse	63	0,0%
SIRT	1164	0,3%
Hämatologie	33	0,0%
Sonstige	5	0,0%
Gesamt	460781	100,0%

**Tabelle 26: Häufigkeit von Organsystemen innerhalb des Datensatzes der Erhebung**

Organsystem	Männliche Personen		Weibliche Personen	
	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Schilddrüse	38336	20,1%	111281	41,3%
Knochen	35120	18,5%	54757	20,3%
Herz	41881	22,0%	30972	11,5%
Lunge	8831	4,6%	9979	3,7%
Ganzkörper	45514	23,9%	29094	10,8%
Niere	8855	4,7%	7519	2,8%
Gehirn	6073	3,2%	4535	1,7%
Leber / Galle	92	0,0%	68	0,0%
Lymphatisches System	180	0,1%	467	0,2%
Nebenschilddrüse	1232	0,6%	3234	1,2%
Gastrointestinaltrakt	290	0,2%	361	0,1%
Nebennieren	189	0,1%	206	0,1%
Speicheldrüse	209	0,1%	237	0,1%
SLN (Mamma)	474	0,2%	13047	4,8%
SLN (Melanom)	1419	0,7%	1297	0,5%
SLN (Cervix)	0	0,0%	56	0,0%
SLN (Prostata)	186	0,1%	0	0,0%
SLN (Vulva)	0	0,0%	151	0,1%
SLN (Penis)	32	0,0%	0	0,0%
SLN (unbekannt)	533	0,3%	1766	0,7%
Speichel + Schilddrüse	20	0,0%	43	0,0%
SIRT	827	0,4%	336	0,1%
Hämatologie	20	0,0%	13	0,0%
Sonstige	4	0,0%	1	0,0%
<b>Gesamt</b>	<b>190317</b>	<b>100,0%</b>	<b>269420</b>	<b>100,0%</b>

**Tabelle 27: Häufigkeit der Untersuchung von Organsystemen bei männlichen Patienten (links) sowie bei Patientinnen (rechts)**

Organsystem	Gesetzlich versichert		Privat versichert	
	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Schilddrüse	99565	38,2%	17808	27,7%
Knochen	50116	19,2%	12966	20,2%
Herz	43874	16,8%	7863	12,2%
Lunge	7828	3,0%	2354	3,7%
Ganzkörper	35280	13,5%	13869	21,6%
Niere	8314	3,2%	2310	3,6%
Gehirn	4945	1,9%	1972	3,1%
Leber / Galle	66	0,0%	17	0,0%
Lymphatisches System	238	0,1%	104	0,2%
Nebenschilddrüse	2047	0,8%	1218	1,9%
Gastrointestinaltrakt	337	0,1%	63	0,1%
Nebennieren	105	0,0%	31	0,0%
Speicheldrüse	62	0,0%	29	0,0%
SLN (Mamma)	4232	1,6%	2737	4,3%
SLN (Melanom)	814	0,3%	269	0,4%
SLN (Cervix)	44	0,0%	9	0,0%
SLN (Prostata)	97	0,0%	39	0,1%
SLN (Vulva)	44	0,0%	31	0,0%
SLN (Penis)	0	0,0%	0	0,0%
SLN (unbekannt)	1716	0,7%	457	0,7%
Speichel + Schilddrüse	0	0,0%	0	0,0%
SIRT	778	0,3%	158	0,2%
Hämatologie	11	0,0%	13	0,0%
Sonstige	2	0,0%	2	0,0%
<b>Gesamt</b>	<b>260515</b>	<b>100,0%</b>	<b>64319</b>	<b>100,0%</b>

**Tabelle 28: Häufigkeit der Untersuchung von Organsystemen bei gesetzlich (links) so- wie privat (rechts) versicherten Patienten**

Organsystem	ambulant		stationär	
	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Schilddrüse	127820	40,7%	4701	4,9%
Knochen	62407	19,9%	14819	15,4%
Herz	56162	17,9%	8997	9,4%
Lunge	5677	1,8%	10835	11,3%
Ganzkörper	35567	11,3%	34473	35,9%
Niere	9451	3,0%	5160	5,4%
Gehirn	6938	2,2%	3239	3,4%
Leber / Galle	63	0,0%	78	0,1%
Lymphatisches System	389	0,1%	271	0,3%
Nebenschilddrüse	3791	1,2%	390	0,4%
Gastrointestinaltrakt	264	0,1%	258	0,3%
Nebennieren	161	0,1%	195	0,2%
Speicheldrüse	332	0,1%	96	0,1%
SLN (Mamma)	4166	1,3%	7557	7,9%
SLN (Melanom)	117	0,0%	2388	2,5%
SLN (Cervix)	1	0,0%	55	0,1%
SLN (Prostata)	42	0,0%	144	0,1%
SLN (Vulva)	33	0,0%	107	0,1%
SLN (Penis)	1	0,0%	31	0,0%
SLN (unbekannt)	659	0,2%	1187	1,2%
Speichel + Schilddrüse	63	0,0%	0	0,0%
SIRT	10	0,0%	1085	1,1%
Hämatologie	22	0,0%	8	0,0%
Sonstige	2	0,0%	2	0,0%
<b>Gesamt</b>	<b>314138</b>	<b>100,0%</b>	<b>96076</b>	<b>100,0%</b>

**Tabelle 29: Häufigkeit der Untersuchung von Organsystemen bei ambulanten (links) sowie stationär versorgten (rechts) Patienten**

Organsystem	Praxen		MVZ	
	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Schilddrüse	106759	45,3%	13002	54,3%
Knochen	56614	24,0%	3310	13,8%
Herz	49032	20,8%	4439	18,5%
Lunge	3399	1,4%	554	2,3%
Ganzkörper	6262	2,7%	757	3,2%
Niere	4583	1,9%	745	3,1%
Gehirn	1444	0,6%	517	2,2%
Leber / Galle	13	0,0%	12	0,1%
Lymphatisches System	151	0,1%	4	0,0%
Nebenschilddrüse	2642	1,1%	330	1,4%
Gastrointestinaltrakt	115	0,0%	38	0,2%
Nebennieren	29	0,0%	7	0,0%
Speicheldrüse	84	0,0%	57	0,2%
SLN (Mamma)	4066	1,7%	152	0,6%
SLN (Melanom)	148	0,1%	1	0,0%
SLN (Cervix)	0	0,0%	0	0,0%
SLN (Prostata)	0	0,0%	15	0,1%
SLN (Vulva)	38	0,0%	1	0,0%
SLN (Penis)	0	0,0%	0	0,0%
SLN (unbekannt)	457	0,2%	1	0,0%
Speichel + Schilddrüse	63	0,0%	0	0,0%
SIRT	0	0,0%	0	0,0%
Hämatologie	9	0,0%	3	0,0%
Sonstige	1	0,0%	0	0,0%
<b>Gesamt</b>	<b>235909</b>	<b>100,0%</b>	<b>23945</b>	<b>100,0%</b>

**Tabelle 30: Häufigkeit der Untersuchung von Organsystemen in Praxen (links) und MVZ von Kliniken und Krankenhäusern (rechts)**

Organsystem	Krankenhaus		Universitätsklinik	
	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit	Absolute Häufigkeit	Relative Häufigkeit
Schilddrüse	12786	22,8%	17419	12,0%
Knochen	13122	23,4%	16988	11,7%
Herz	7703	13,8%	11804	8,1%
Lunge	4772	8,5%	10125	7,0%
Ganzkörper	8643	15,4%	59157	40,8%
Niere	2452	4,4%	8629	6,0%
Gehirn	939	1,7%	7719	5,3%
Leber / Galle	8	0,0%	128	0,1%
Lymphatisches System	257	0,5%	263	0,2%
Nebenschilddrüse	417	0,7%	1087	0,8%
Gastrointestinaltrakt	147	0,3%	352	0,2%
Nebennieren	48	0,1%	312	0,2%
Speicheldrüse	10	0,0%	295	0,2%
SLN (Mamma)	4093	7,3%	5280	3,6%
SLN (Melanom)	414	0,7%	2157	1,5%
SLN (Cervix)	3	0,0%	53	0,0%
SLN (Prostata)	4	0,0%	167	0,1%
SLN (Vulva)	69	0,1%	43	0,0%
SLN (Penis)	3	0,0%	29	0,0%
SLN (unbekannt)	14	0,0%	1827	1,3%
Speichel + Schilddrüse	0	0,0%	0	0,0%
SIRT	96	0,2%	1068	0,7%
Hämatologie	8	0,0%	13	0,0%
Sonstige	1	0,0%	3	0,0%
<b>Gesamt</b>	<b>56009</b>	<b>100,0%</b>	<b>144918</b>	<b>100,0%</b>

**Tabelle 31: Häufigkeit der Untersuchung von Organsystemen in nicht akademischen Krankenhäusern (links) und Universitätskliniken (rechts)**

Organsystem	Altersstufen				
	<1 Jahr (nicht unterschieden)	<3 Monate	<1 Jahr	<5 Jahre	<10 Jahre
Schilddrüse	2	1	0	2	22
Knochen	0	0	2	26	48
Herz	0	0	0	1	3
Lunge	0	0	0	1	7
Ganzkörper	1	4	9	214	304
Niere	358	278	417	932	583
Gehirn	2	0	0	28	21
Leber / Galle	7	4	0	3	3
Lymphatisches System	0	0	0	1	0
Nebenschilddrüse	0	0	0	0	1
Gastrointestinaltrakt	0	0	4	8	8
Nebennieren	5	0	6	44	34
Speicheldrüse	0	0	0	0	0
SLN (Mamma)	0	0	0	1	0
SLN (Melanom)	0	0	0	1	2
SLN (Cervix)	0	0	0	0	0
SLN (Prostata)	0	0	0	0	0
SLN (Vulva)	0	0	0	0	0
SLN (Penis)	0	0	0	0	0
SLN (unbekannt)	0	0	0	0	1
Speichel + Schilddrüse	0	0	0	0	0
SIRT	0	0	0	0	0
Hämatologie	0	0	0	0	0
Sonstige	0	0	0	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>375</b>	<b>287</b>	<b>438</b>	<b>1262</b>	<b>1037</b>

**Tabelle 32: Häufigkeit, mit der Untersuchungen in Patienten bis zum vollendeten zehnten Lebensjahr durchgeführt werden (fünf separate Patientenkollektive)**

Organsystem	Altersstufen				
	<15 Jahre	<20 Jahre	<25 Jahre	<30 Jahre	<35 Jahre
Schilddrüse	175	860	2228	3849	5333
Knochen	138	304	548	946	1417
Herz	6	21	35	106	247
Lunge	0	88	268	308	283
Ganzkörper	308	691	837	997	1265
Niere	355	400	361	432	467
Gehirn	27	82	217	219	275
Leber / Galle	0	1	2	7	10
Lymphatisches System	1	7	9	32	22
Nebenschilddrüse	7	19	44	85	112
Gastrointestinaltrakt	10	20	19	27	17
Nebennieren	18	5	4	3	8
Speicheldrüse	0	3	5	10	11
SLN (Mamma)	1	3	9	84	198
SLN (Melanom)	3	9	23	48	76
SLN (Cervix)	0	0	0	2	7
SLN (Prostata)	0	0	0	0	0
SLN (Vulva)	0	0	0	0	4
SLN (Penis)	0	0	0	0	1
SLN (unbekannt)	0	6	13	27	63
Speichel + Schilddrüse	0	1	1	1	4
SIRT	0	2	1	5	10
Hämatologie	0	0	1	0	1
Sonstige	0	0	0	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>1049</b>	<b>2522</b>	<b>4625</b>	<b>7188</b>	<b>9831</b>

**Tabelle 33: Häufigkeit, mit der Untersuchungen in Patienten vom zehnten bis zum vollendeten fünfunddreißigsten Lebensjahr durchgeführt werden (fünf separate Patientenkollektive)**

Organsystem	Altersstufen				
	<40 Jahre	<45 Jahre	<50 Jahre	<55 Jahre	<60 Jahre
Schilddrüse	7448	10080	15307	18961	17817
Knochen	1981	3216	6207	9160	10491
Herz	604	1374	3412	6084	8409
Lunge	374	392	741	1104	1628
Ganzkörper	1621	2235	4050	6361	8719
Niere	516	600	930	1276	1301
Gehirn	281	372	588	809	1059
Leber / Galle	6	12	10	13	18
Lymphatisches System	36	45	65	63	65
Nebenschilddrüse	167	224	404	541	586
Gastrointestinaltrakt	27	33	61	64	65
Nebennieren	16	16	24	43	22
Speicheldrüse	20	19	32	51	46
SLN (Mamma)	382	632	1297	1916	1619
SLN (Melanom)	94	111	166	267	291
SLN (Cervix)	9	7	6	7	6
SLN (Prostata)	0	0	1	6	16
SLN (Vulva)	5	5	15	15	16
SLN (Penis)	0	2	2	4	3
SLN (unbekannt)	80	105	205	266	219
Speichel + Schilddrüse	5	5	8	2	7
SIRT	20	26	38	101	136
Hämatologie	0	0	0	2	3
Sonstige	0	1	0	1	0
<b>Gesamt</b>	<b>13692</b>	<b>19512</b>	<b>33569</b>	<b>47117</b>	<b>52542</b>

**Tabelle 34: Häufigkeit, mit der Untersuchungen in Patienten vom fünfunddreißigsten bis zum vollendeten sechzigsten Lebensjahr durchgeführt werden (fünf separate Patientenkollektive)**

Organsystem	Altersstufen				
	<65 Jahre	<70 Jahre	<75 Jahre	<80 Jahre	<85 Jahre
Schilddrüse	16957	15963	13265	13140	6066
Knochen	10675	11424	11302	12700	6671
Herz	10130	10977	11412	12698	5877
Lunge	1998	2239	2352	3364	2216
Ganzkörper	10194	11261	10402	10164	4069
Niere	1574	1570	1476	1534	743
Gehirn	1135	1379	1521	1758	675
Leber / Galle	20	18	11	12	3
Lymphatisches System	69	87	66	63	35
Nebenschilddrüse	554	521	477	476	190
Gastrointestinaltrakt	55	77	70	60	21
Nebennieren	32	35	30	36	8
Speicheldrüse	64	51	52	47	29
SLN (Mamma)	1802	1830	1363	1514	711
SLN (Melanom)	279	312	348	425	203
SLN (Cervix)	6	3	1	1	1
SLN (Prostata)	33	48	40	37	3
SLN (Vulva)	12	11	16	21	21
SLN (Penis)	3	2	5	6	2
SLN (unbekannt)	230	305	262	302	152
Speichel + Schilddrüse	7	10	5	4	1
SIRT	160	200	188	177	87
Hämatologie	3	11	6	3	2
Sonstige	1	2	0	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>55993</b>	<b>58336</b>	<b>54670</b>	<b>58542</b>	<b>27786</b>

**Tabelle 35: Häufigkeit, mit der Untersuchungen in Patienten vom sechzigsten bis zum vollendeten fünfundachtzigsten Lebensjahr durchgeführt werden (fünf separate Patientenkollektive)**

Organsystem	Altersstufen				
	<90 Jahre	<95 Jahre	<100 Jahre	<105 Jahre	<110 Jahre
Schilddrüse	1906	337	34	1	0
Knochen	2250	441	22	2	1
Herz	1387	168	3	0	4
Lunge	1044	386	53	3	0
Ganzkörper	982	116	13	0	0
Niere	216	36	4	0	0
Gehirn	157	14	0	0	0
Leber / Galle	1	0	0	0	0
Lymphatisches System	8	1	0	0	0
Nebenschilddrüse	53	6	2	0	0
Gastrointestinaltrakt	5	0	0	0	0
Nebennieren	2	1	0	0	0
Speicheldrüse	6	0	0	0	0
SLN (Mamma)	204	24	0	0	1
SLN (Melanom)	54	7	1	0	0
SLN (Cervix)	0	0	0	0	0
SLN (Prostata)	2	0	0	0	0
SLN (Vulva)	6	3	1	0	0
SLN (Penis)	1	0	0	0	0
SLN (unbekannt)	55	8	0	0	0
Speichel + Schilddrüse	1	1	0	0	0
SIRT	10	3	0	0	0
Hämatologie	0	1	0	0	0
Sonstige	0	0	0	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>8350</b>	<b>1553</b>	<b>133</b>	<b>6</b>	<b>6</b>

**Tabelle 36: Häufigkeit, mit der Untersuchungen in Patienten vom fünfundachtzigsten bis zum vollendeten einhundertzehnten Lebensjahr durchgeführt werden (fünf separate Patientenkollektive)**

## Anlage F: Daten zur Strahlenexposition durch nuklearmedizinische Untersuchungen

Organsystem	Unkorrigierte effektive Dosis	Korrigierte effektive Dosis	Anzahl Untersuchungen
Schilddrüse	0,65	0,64	149966
Knochen	2,61	2,52	90034
Herz	2,86	2,76	72978
Lunge	1,41	1,19	18850
Ganzkörper	3,89	3,84	74819
Niere	0,39	0,38	16409
Gehirn	3,48	3,42	10619
Leber / Galle	1,77	1,74	161
Lymphatisches System	0,13	0,12	675
Nebenschilddrüse	3,37	3,26	4476
Gastrointestinaltrakt	1,21	1,19	652
Nebennieren	3,72	3,62	396
Speicheldrüse	0,69	0,68	446
SLN (Mamma)	0,12	0,11	13591
SLN (Melanom)	0,08	0,08	2720
SLN (Cervix)	0,25	0,25	56
SLN (Prostata)	0,34	0,34	186
SLN (Vulva)	0,14	0,14	151
SLN (Penis)	0,18	0,18	32
SLN (unbekannt)	0,07	0,07	2299
SIRT	1,53	1,45	1164
Hämatologie	1,62	1,59	33
Sonstige	1,21	1,16	5

**Tabelle 37: mittlere effektive Dosis, die sich aufgrund der bei der Untersuchung unterschiedlicher Organsysteme applizierten Aktivität ergibt, ohne sowie mit Berücksichtigung des Nuklidzerfalls sowie der bei der Applikation in der Spritze zurückbleibenden Aktivität. Der Wert für die Anzahl entspricht der erhobenen Häufigkeit an Untersuchungen des Organs.**

Organsystem	Männer	Frauen
Schilddrüse	0,65	0,65
Knochen	2,65	2,58
Herz	2,90	2,79
Lunge	1,41	1,41
Ganzkörper	3,92	3,82
Niere	0,39	0,40
Gehirn	3,56	3,37
Leber / Galle	1,72	1,77
Lymphatisches System	0,15	0,12
Nebenschilddrüse	3,36	3,37
Gastrointestinaltrakt	1,56	0,94
Nebennieren	3,45	3,99
Speicheldrüse	0,71	0,68
SLN (Mamma)	0,12	0,12
SLN (Melanom)	0,08	0,08
SLN (Cervix)	0,00	0,25
SLN (Prostata)	0,34	0,00
SLN (Vulva)	0,00	0,14
SLN (Penis)	0,18	0,00
SLN (unbekannt)	0,07	0,08
SIRT	1,53	1,53
Hämatologie	2,28	1,07
Sonstige	1,21	1,16

**Tabelle 38: mittlere effektive Dosis, die sich aufgrund der bei der Untersuchung unterschiedlicher Organsysteme applizierten Aktivität ergibt, unterschieden nach männlichen und weiblichen Patienten**

Organsystem	Gesetzlich versichert	Privat versichert
Schilddrüse	0,65	0,68
Knochen	2,59	2,67
Herz	2,79	2,91
Lunge	1,47	1,94
Ganzkörper	3,72	3,71
Niere	0,39	0,36
Gehirn	3,27	3,35
Leber / Galle	1,77	1,38
Lymphatisches System	0,11	0,11
Nebenschilddrüse	3,22	3,48
Gastrointestinaltrakt	1,11	1,82
Nebennieren	4,59	4,25
Speicheldrüse	0,78	0,77
SLN (Mamma)	0,13	0,12
SLN (Melanom)	0,06	0,05
SLN (Cervix)	0,25	0,25
SLN (Prostata)	0,34	0,35
SLN (Vulva)	0,10	0,20
SLN (Penis)	0,00	0,00
SLN (unbekannt)	0,07	0,07
SIRT	0,07	0,07
Hämatologie	0,07	0,07
Sonstige	0,93	0,69

**Tabelle 39: mittlere effektive Dosis, die sich aufgrund der bei der Untersuchung unterschiedlicher Organsysteme applizierten Aktivität ergibt, unterschieden nach dem Versicherungsstatus**

Organsystem	Ambulant	stationär
Schilddrüse	0,64	0,62
Knochen	2,61	2,70
Herz	2,72	3,01
Lunge	1,46	1,40
Ganzkörper	4,03	3,76
Niere	0,39	0,40
Gehirn	3,49	3,39
Leber / Galle	1,67	1,95
Lymphatisches System	0,11	0,16
Nebenschilddrüse	3,31	3,33
Gastrointestinaltrakt	0,55	1,80
Nebennieren	3,29	3,93
Speicheldrüse	0,68	0,74
SLN (Mamma)	0,11	0,12
SLN (Melanom)	0,08	0,08
SLN (Cervix)	0,27	0,25
SLN (Prostata)	0,24	0,35
SLN (Vulva)	0,05	0,17
SLN (Penis)	0,19	0,18
SLN (unbekannt)	0,04	0,09
SIRT	1,70	1,53
Hämatologie	1,82	1,48
Sonstige	0,14	1,48

**Tabelle 40: mittlere effektive Dosis, die sich aufgrund der bei der Untersuchung unterschiedlicher Organsysteme applizierten Aktivität ergibt, unterschieden nach dem Aufnahmestatus**

Organsystem	Praxis	MVZ	Krankenhaus	Universitätsklinik
Schilddrüse	0,65	0,65	0,66	0,68
Knochen	2,58	2,54	2,70	2,63
Herz	2,85	2,80	2,87	2,88
Lunge	1,92	1,29	1,33	1,39
Ganzkörper	3,88	5,02	4,09	3,85
Niere	0,42	0,39	0,43	0,37
Gehirn	3,90	4,42	4,06	3,29
Leber / Galle	7,01	0,61	3,37	1,69
Lymphatisches System	0,12	0,17	0,16	0,11
Nebenschilddrüse	3,36	3,28	3,50	3,36
Gastrointestinaltrakt	0,83	0,50	1,77	1,21
Nebennieren	3,28	4,35	5,15	3,49
Speicheldrüse	0,78	0,67	0,74	0,68
SLN (Mamma)	0,10	0,18	0,12	0,13
SLN (Melanom)	0,06	0,05	0,11	0,08
SLN (Cervix)	0,00	0,00	0,19	0,25
SLN (Prostata)	0,00	0,00	0,00	0,34
SLN (Vulva)	0,09	0,14	0,14	0,20
SLN (Penis)	0,00	0,00	0,15	0,19
SLN (unbekannt)	0,14	0,13	0,14	0,07
SIRT	0,00	0,00	1,60	1,52
Hämatologie	0,00	1,39	2,33	1,28
Sonstige	0,15	0,00	2,83	1,03

**Tabelle 41: mittlere effektive Dosis, die sich aufgrund der bei der Untersuchung unterschiedlicher Organsysteme applizierten Aktivität ergibt, unterschieden nach dem Typ der untersuchenden Institution**

Organsystem	18-29 Jahre	30-44 Jahre	45-59 Jahre	60-74 Jahre	≥ 75 Jahre
Schilddrüse	0,64	0,66	0,65	0,65	0,64
Knochen	2,33	2,49	2,55	2,65	2,65
Herz	2,75	2,74	2,87	2,88	2,83
Lunge	1,35	1,42	1,40	1,41	1,43
Ganzkörper	3,90	3,94	3,97	3,84	3,84
Niere	0,39	0,40	0,40	0,39	0,39
Gehirn	2,89	2,99	3,32	3,63	3,67
Leber / Galle	2,33	2,53	1,63	1,75	1,47
Lymphatisches System	0,12	0,11	0,13	0,13	0,16
Nebenschilddrüse	3,45	3,31	3,40	3,36	3,34
Gastrointestinaltrakt	0,88	0,61	0,97	1,56	1,95
Nebennieren	3,73	4,13	3,82	3,54	3,52
Speicheldrüse	0,67	0,68	0,70	0,70	0,70
SLN (Mamma)	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12
SLN (Melanom)	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
SLN (Cervix)	0,23	0,26	0,25	0,24	0,27
SLN (Prostata)	0,00	0,00	0,35	0,34	0,32
SLN (Vulva)	0,00	0,09	0,15	0,15	0,16
SLN (Penis)	0,00	0,19	0,19	0,17	0,20
SLN (unbekannt)	0,08	0,06	0,07	0,08	0,08
SIRT	1,50	1,28	1,41	1,55	1,68
Hämatologie	4,13	0,00	1,61	1,71	1,26
Sonstige	0,00	2,83	0,15	1,03	0,00

**Tabelle 42: mittlere effektive Dosis, die sich aufgrund der bei der Untersuchung unterschiedlicher Organsysteme applizierten Aktivität in unterschiedlichen Altersgruppen ergibt**

Anzahl Untersuchungen		Mittleres Körpergewicht / kg																	
Organ	Radiopharmakon	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	>70
Niere	Tc-99m MAG3	158	1047	292	269	198	141	75	88	49	63	50	32	84	75	40	47	3	9
Ganzkörper	F-18 FDG	3	9	42	70	80	57	37	47	51	44	55	45	108	99	54	92	12	41
Nebenniere	I-123 MIBG		16	17	19	16	16		4	7	7								
Skelett	Tc-99m Phosphat		6	6	9	18	13	3	11	13	13	24	9	64	45	15	28		3
Schilddrüse	Tc-99m Pertechnetat								3		5	6	5	62	73	12	27		

Tabelle 43: Anzahl an Untersuchungen bei denen die Gewichtsabhängigkeit der applizierten Aktivität bei Kindern analysiert wurde

Mittelwert Aktivität / MBq		Mittleres Körpergewicht / kg																	
Organ	Radiopharmakon	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	>70
Niere	Tc-99m MAG3	17,1	19,7	21,9	25,9	31,3	35,5	40,0	44,9	47,4	52,3	59,1	62,8	70,8	81,3	77,1	87,2	68,9	56,5
Ganzkörper	F-18 FDG	37,0	41,6	63,1	74,9	100,1	106,6	116,5	127,8	141,5	156,8	161,2	188,3	172,6	204,7	216,0	236,6	212,4	217,6
Nebenniere	I-123 MIBG		70,5	86,0	91,0	123,9	138,0		113,0	173,0	163,7								
Skelett	Tc-99m Phosphat		136,5	131,5	175,0	196,5	211,0	241,0	278,0	323,0	380,0	421,0	390,0	492,0	497,0	498,0	527,0		508,0
Schilddrüse	Tc-99m Pertechnetat								50,0		51,2	50,8	52,5	57,0	61,5	60,4	58,8		

Tabelle 44: mittlere Aktivität für Untersuchungen bei denen die Gewichtsabhängigkeit der applizierten Aktivität bei Kindern analysiert wurde

Aktivität nach EANM		Mittleres Körpergewicht / kg																	
Organ	Radiopharmakon	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	>70
Niere	Tc-99m MAG3	15,00	20,35	25,94	30,11	34,27	37,84	41,29	44,86	47,60	51,05	53,91	56,76	59,50	62,36	65,09	67,24	68,66	68,66
Ganzkörper	F-18 FDG	29,53	55,43	81,33	103,60	125,87	147,89	166,54	188,81	207,20	229,47	247,86	266,51	292,41	310,80	329,19	347,84	362,60	362,60
Nebenniere	I-123 MIBG	37,00	59,92	87,92	112,00	136,08	159,88	180,04	204,12	224,00	248,08	267,96	288,12	316,12	336,00	355,88	376,04	392,00	392,00
Skelett	Tc-99m Phosphat	40,00	74,90	109,90	140,00	170,10	199,85	225,05	255,15	280,00	310,10	334,95	360,15	395,15	420,00	444,85	470,05	490,00	490,00
Schilddrüse	Tc-99m Perchnetat	10,00	11,98	17,58	22,40	27,22	31,98	36,01	40,82	44,80	49,62	53,59	57,62	63,22	67,20	71,18	75,21	78,40	78,40

**Tabelle 45: gemäß der EANM dosage card vorgesehene Aktivität für Untersuchungen bei denen die Gewichtsabhängigkeit der applizierten Aktivität bei Kindern analysiert wurde**

Aktivität nach DRW		Mittleres Körpergewicht / kg																	
Organ	Radiopharmakon	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	>70
Niere	Tc-99m MAG3	15	15	22	28	34	40	45	51	56	62	67	72	77	82	88	93	98	100
Ganzkörper	F-18 FDG	42	52,5	77	98	119	140	157,5	178,5	196	217	234,5	252	269,5	287	308	325,5	343	350
Nebenniere	I-123 MIBG																		
Skelett	Tc-99m Phosphat	69	86,25	126,5	161	195,5	230	258,75	293,25	322	356,5	385,25	414	442,75	471,5	506	534,75	563,5	575
Schilddrüse	Tc-99m Perchnetat	10	10,5	15,4	19,6	23,8	28	31,5	35,7	39,2	43,4	46,9	50,4	53,9	57,4	61,6	65,1	68,6	70

**Tabelle 46: gemäß den aktuellen DRW ( [2] ) vorgesehene Aktivität für Untersuchungen bei denen die Gewichtsabhängigkeit der applizierten Aktivität bei Kindern analysiert wurde**

<b>Untersuchung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Median</b>	<b>75%- Perzentile</b>	<b>DRW</b>
Schilddrüsenuntersuchung mit Tc-99m Perchnetat	64	46,8	78,4	64,5	65,8	70,2	75
Skelettszintigraphie wegen einer benignen Veränderung mit T-99m Phosphaten	65	461,4	597,3	530,0	530,3	539,2	500
Skelettszintigraphie wegen eines malignen Prozesses mit T-99m Phosphaten	65	536,1	707,7	653,3	656,8	680,3	650
Myokardszintigraphie mit Tc-99m MIBI im Eintagesprotokoll (gesamt)	42	847,6	1101,4	995,0	1001,3	1018,7	1000
Myokardszintigraphie mit Tc-99m MIBI im Zweitagesprotokoll (Einzelapplikation)	33	254,4	473,5	359,9	364,6	406,8	400
Nierenuntersuchung mit Tc-99m MAG3	66	67,1	125,7	101,1	104,0	109,7	100
Lungenperfusionsuntersuchung (planare Aufnahme)	12	97,5	187,9	139,9	147,2	165,7	100
Lungenperfusionsuntersuchung (SPECT-Aufnahme)	58	99,6	240,0	171,0	169,9	192,1	160
Lungenventilationsuntersuchung mit Tc-99m DTPA (präparierte Aktivität)	4	955,8	1643,1	1183,7	1068,0	1254,6	1000
Lungenventilationsuntersuchung mit Tc-99m Technegas (präparierte Aktivität)	36	305,5	512,8	410,1	401,9	454,3	350

Untersuchung	Anzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	75%-Perzentile	DRW
Untersuchung des Gehirns mit I-123 DatSCAN	44	115,7	214,6	178,2	184,5	187,0	180
Untersuchung des Nebenschilddrüse mit Tc-99m MIBI	59	323,2	729,6	530,2	544,7	579,1	550
Untersuchung des Ganzkörpers mit In-111 Oktreotid	8	154,0	181,8	168,1	167,5	176,2	150
Untersuchung des Ganzkörpers mit Tc-99m Tekrotyd	16	515,3	810,9	716,9	738,8	775,5	
SLN-Diagnostik bei Mamma-Ca bei OP am gleichen Tag	15	10,1	72,8	32,8	25,9	47,1	
SLN-Diagnostik bei Mamma-Ca bei OP am Folgetag	41	51,5	209,5	120,7	123,5	155,5	
SLN-Diagnostik bei Mamma-Ca bei OP am Folgetag bei intradermaler Applikation	9	54,5	154,3	109,5	103,0	148,8	
SLN-Diagnostik bei Mamma-Ca bei OP am Folgetag bei subdermaler oder subareolärer Applikation	27	51,5	184,2	123,3	125,3	159,5	
SLN-Diagnostik bei Mamma-Ca bei OP am Folgetag bei peri- sowie subareolärer Applikation	30	51,5	184,2	119,8	124,4	155,1	
SLN-Diagnostik bei Mamma-Ca bei OP am Folgetag bei peritumoraler Applikation	6	73,0	209,5	134,6	131,9	161,2	

**Tabelle 47: Statistische Daten zu ausgewählten Untersuchungen der konventionellen nuklearmedizinischen Diagnostik; Als „Anzahl“ ist die Summe der Einrichtungen benannt, die eine Untersuchung im Erhebungszeitraum mindestens achtmal durchgeführt haben. Wenn für eine Untersuchung ein DRW existiert, wurde dieser mit angegeben.**

<b>Untersuchung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Median</b>	<b>75%- Perzentile</b>	<b>DRW</b>
Untersuchung des Gehirns mit F-18 FDG	16	105,1	238,8	184,6	185,7	216,9	200
Untersuchung des Gehirns mit F-18 FET	6	248,3	365,1	309,2	306,4	336,7	
PET-Untersuchung des Gehirns mit Amyloidtracern	10	172,4	231,2	198,6	202,2	212,0	
Untersuchung des Ganzkörpers mit F-18 FDG	34	179,3	350,3	260,5	253,4	309,2	350
Untersuchung des Ganzkörpers mit Ga-68 PSMA	20	96,7	233,1	160,9	163,0	197,0	
Untersuchung des Ganzkörpers mit Ga-68 DOTA-Peptiden	17	73,3	230,8	151,1	155,7	180,3	

**Tabelle 48: Statistische Daten zu ausgewählten PET-Untersuchungen; Als „Anzahl“ ist die Summe der Einrichtungen benannt, die eine Untersuchung im Erhebungszeitraum mindestens achtmal durchgeführt haben. Wenn für eine Untersuchung ein DRW existiert, wurde dieser mit angegeben.**