

Medizinische Strahlenexposition in der Diagnostik und ihre Bewertung

Gemeinsame Klausurtagung der Strahlenschutzkommission und der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität
21./22. Januar 2002

Urban und Fischer, München

Veröffentlichungen
der Strahlenschutzkommission • Band 51

Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Medizinische Strahlenexposition in der Diagnostik und ihre Bewertung

Gemeinsame Klausurtagung der Strahlenschutzkommis-
sion und der
Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und
Überwachung der Radioaktivität
21./22. Januar 2002

Redaktion: H. Heller

Bundesamt für Strahlenschutz
Geschäftsstelle der Strahlenschutzkommission
Postfach 12 06 29
53048 Bonn

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Medizinische Strahlenexposition in der Diagnostik und ihre Bewertung.

Gemeinsame Klausurtagung der Strahlenschutzkommission und der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität am 21./22. Januar 2002 / [hrsg. im Auftr. des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit von der Geschäftsstelle der Strahlenschutzkommission beim Bundesamt für Strahlenschutz. Red.: H. Heller]. – München : Urban und Fischer, 2003

(Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission ; Bd. 51)

ISBN 3-437-XXXXX-X.

© Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit · 2003

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Satz und Layout: L. Aghai, Bundesamt für Strahlenschutz, Bonn

Druck und Verarbeitung: Köllen Druck + Verlag, Bonn

Printed in Germany

Vorwort

Inhalt

Vortragsmanuskripte

<i>J.-F. Valley:</i>	
Ermittlung der Dosen in der Röntgendiagnostik.....	1
<i>A. Aroua, J.-P. Vader und J.-F. Valley:</i>	
Swiss National Dosimetry Survey in Diagnostic Radiology.....	13
<i>J. Griebel und D. Noßke:</i>	
Häufigkeit und Dosis röntgendiagnostischer und nuklearmedizinischer Untersuchungen in Deutschland.....	31
<i>J. Roth und H.W. Roser:</i>	
Häufigkeit und Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungen in der Schweiz	43
<i>H.-D. Nagel:</i>	
Dosisentwicklung bei neueren Verfahren	59
<i>J.P. De Landtsheer:</i>	
Breast Cancer Screening Programme in Vaud - Quality Assurance Process and Results.....	77
<i>R. Veit:</i>	
Diagnostische Referenzwerte: Konzept und Anwendung in der Röntgendiagnostik	99
<i>R. Loose, Th. Schmidt und M. Wucherer:</i>	
Bewertung der medizinischen Strahlenexposition in der Röntgendiagnostik	111
<i>S. Ladner, Chr. Reiners, M. Laßmann und R. Lorenz.:.</i>	
Die Anwendung der effektiven Dosis bei der Betrachtung der Strahlen- exposition durch die nuklearmedizinische Diagnostik	123

Ermittlung der Dosen in der Röntgendiagnostik

J.-F. Valley
Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée, Lausanne

Inhalt

1	Einführung.....	5
2	Methode.....	5
3	Bestimmung der repräsentativen dosimetrischen Größen.....	6
3.1	Radiographie.....	6
3.2	Durchleuchtung.....	7
3.3	Computertomographie.....	7
3.4	Mammographie.....	8
3.5	Bestimmung der Konversionsfaktoren.....	9
4	Schlussfolgerungen.....	10
5	Referenzen.....	10

1 Einführung

Die für das Risiko einer diagnostischen Untersuchung repräsentative Größe wurde während langer Zeit kontrovers diskutiert [1]. Die Benutzung der effektiven Dosis (E) wird angefochten mit dem Argument, dass die Organwichtungsfaktoren (W_T) bestimmt worden sind, um das Risiko des Arbeiterkollektivs zu charakterisieren. Im Fall des Patienten kennt man im allgemeinen Alter und Geschlecht; die Benutzung von alters- und geschlechtspezifischen Faktoren wäre also prinzipiell möglich. Ein etwas vereinfachter Vorschlag beruht darauf, die effektive Dosis durch einen globalen Faktor zu korrigieren. Verschiedene Sets von solchen Faktoren sind in der Literatur vorgeschlagen worden [2-4; siehe auch den Beitrag von Ewen]. Ihre Anwendung auf ein Patientenkollektiv reduziert die mittlere effektive Dosis ungefähr um den Faktor 2.

Die effektive Dosis ist einer Messung nicht direkt zugänglich. Ein Modell zur Erfassung dieser Größe anhand der am Patienten gemessenen Größen oder anhand der Geräteparameter wird in diesem Beitrag präsentiert. Dieses Modell übernimmt und vereinheitlicht die für die verschiedenen radiologischen Modalitäten angewendeten Methoden und lässt sich von den im Strahlenschutz benutzen Konversionsfaktoren leiten.

2 Methode

Die Grundidee besteht darin, bei jeder Untersuchung eine "extensive" dosimetrische Größe (EDG) zu messen oder zu bestimmen; diese Größe soll den Umfang der Untersuchung berücksichtigen. Sie ist einerseits vom Patienten (Größe) und andererseits von der radiologischen Technik (Geräteparameter, Empfindlichkeit des Bilddetektors) abhängig. Der Übergang zur effektiven Dosis (E) besteht in der Multiplikation der EDG mit einem Konversionsfaktor (e_{EDG}). Diese letzte Größe ist "intensiv", d.h. unabhängig vom Dosiswert, und stellt einfach das Verhältnis der effektiven Dosis zur EDG dar. In erster Näherung darf man annehmen, dass dieser Koeffizient nicht vom Patienten abhängig ist. Damit erhält man:

$$E = \text{EDG} \cdot e_{\text{EDG}} \quad (1)$$

mit EDG: "extensive" dosimetrische Größe der entsprechenden Untersuchung
 e_{EDG} : Konversionsfaktor vom Übergang von EDG zur effektiven Dosis

Die Wahlkriterien der EDG bei den verschiedenen Röntgenuntersuchungen sind erstens ihre Repräsentativität (proportional zum Risiko) und zweitens die Einfachheit ihrer Bestimmung. Die meistens benutzten EDG sind die folgenden:

- bei der Radiographie: Energiedosis an der Oberfläche des Patienten im Eintrittsstrahl (Oberflächendosis: OD),
- bei der Durchleuchtung: Produkt der Luftkerma mit der Nutzstrahlfläche (Dosisflächenprodukt: DFP),
- bei der Computertomographie: Produkt der Scanlänge mit der mittleren Dosis auf der Rotationsachse (Dosislängenprodukt: DLP),
- in der Mammographie: Luftkerma an der Brustoberfläche (BOK).

3 Bestimmung der repräsentativen dosimetrischen Größen

3.1 Radiographie

Die Oberflächendosis kann direkt am Patienten gemessen werden oder anhand der Geräteparameter bestimmt werden. Die folgende einfache empirische Formel kann in guter Näherung angewendet werden:

$$\text{OD} = C \cdot \left(\frac{U(\text{kV})}{100} \right)^2 \cdot Q \cdot \frac{1}{(\text{FPD})^2} \cdot \frac{3}{F(\text{mm Al})} \cdot \text{BSF} \cdot F_{\text{KD}} \quad (2)$$

mit C : Luftkermakonstante der Röhre $\left(\frac{\text{mGy} \cdot \text{m}^2}{\text{mAs}} \right)$; entspricht der Luftkerma
in einer Distanz von 1 m vom Fokus bei einer Spannung von 100 kV,
einer Ladung von 1 mAs und einer Filterung der Röhre von 3 mm Aluminium

U : Röhrenhochspannung (kV)
Q : Ladung durch die Röhre (mAs)
FPD : Fokuspatientendistanz (m)

F	:	Totale Röhrenfilterung (mm Al)
BSF	:	Rückstreufaktor ($\sim 1,35$)
F _{KD}	:	Gewebedosis pro Luftkerma (~ 1).

Ohne spezifische Kenntnis über die Anlage kann mit einem Wert von $C = 0,1 \text{ mGy}\cdot\text{m}^2/\text{mAs}$ gerechnet werden. Die individuelle Streuung dieses Parameters liegt bei einem Faktor 2.

3.2 Durchleuchtung

Die Benutzung von Formel (2), mit Berechnung der Ladung Q als Strom I mal Durchleuchtungszeit t , ist nicht direkt anwendbar, da im allgemeinen die Röhre während der Untersuchung bewegt wird und die Geräteparameter sich ändern. So verzichtet man im Allgemeinen auf die Berechnung einer repräsentativen dosimetrischen Größe anhand der Geräteparameter. Als Ersatz wird das Dosisflächenprodukt direkt mit einer Transmissions-Ionisationskammer gemessen.

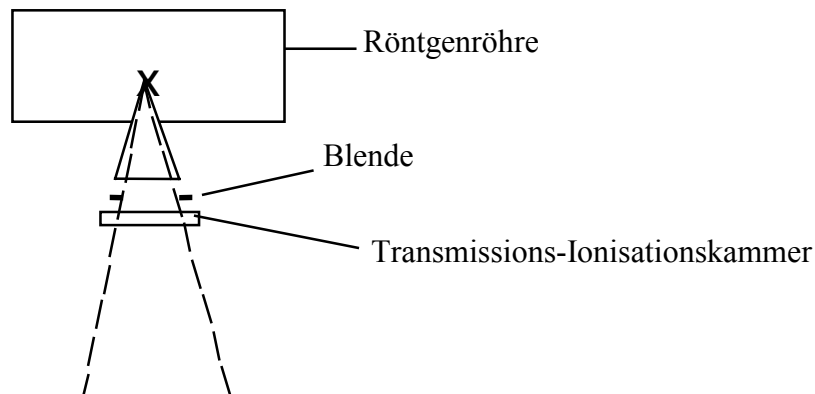


Abb. 1: Messung des Dosisflächenprodukts.

3.3 Computertomographie

Das Dosislängenprodukt (DLP) lässt sich anhand der Geräteparameter mit folgender Formel berechnen:

$$\text{DLP} = Q \cdot {}_n \text{CTDI}_w \cdot T \cdot N \quad (3)$$

mit Q' : Exposition der Röhre pro Umdrehung
 ${}_n\text{CTDI}_w$: normierte gewichtete CTDI (computed tomography dose index); entspricht der mittleren Dosis im Schnitt pro mAs
 T : Schichtdicke
 N : Anzahl Schichten

Die Größen ${}_n\text{CTDI}_w$ sind für einen spezifischen CT ziemlich konstant und sind in der Literatur zu finden [5]. Als Defaultwerte können folgende Zahlen benutzt werden:

$$\begin{aligned}{}_n\text{CTDI}_w &= 0,075 \text{ mGy/mAs für den Rumpf} \\{}_n\text{CTDI}_w &= 0,15 \text{ mGy/mAs für den Kopf.}\end{aligned}$$

Im Fall eines Spiral-CT ist einfach das Produkt " $T \cdot N$ " durch " L_T/p " zu ersetzen in der Formel (3), wo L_T die totale Scanlänge und p den Pitch (Tichvorschub durch Strahldicke) bedeutet.

3.4 Mammographie

Die Formel (2) lässt sich nicht gut anwenden in der Mammographie, da die Variation des Röhrenoutputs mit der Spannung stark von der Anoden-Filter-Kombination abhängig ist. Andererseits hat es sich eingebürgert, nicht die Oberflächendosis anzugeben, sondern die Luftkerma am Eintrittspunkt ohne Rückstreuung. So erhält man für die Brustoberflächenkerma:

$$\text{BOK} = \Gamma_K \cdot Q \cdot \frac{1}{(\text{FPD})^2} \quad (3)$$

mit Γ_K : Luftkermakonstante ($\text{mGy} \cdot \text{m}^2/\text{mAs}$).

Die Größe Γ_K ist für verschiedene Anoden/Filter-Kombinationen in der Literatur zu finden [6]. Als Beispiel erhält man für eine Molybdän/Molybdän-Kombination bei 28 kV einen Wert von $0,05 \text{ mGy} \cdot \text{m}^2/\text{mAs}$.

3.5 Bestimmung der Konversionsfaktoren

Die Konversionsfaktoren sind in der Literatur zu finden. Sie wurden durch Monte Carlo-Simulationen [7-10] oder durch Modellierung [11, 12] der Dosisverteilung im Patienten berechnet oder sogar gemessen [13-15].

Die numerischen Methoden erlauben eine genaue Behandlung des Strahlungstransports im Patienten, sind aber stark abhängig vom morphologischen Patientenmodell, das oft sehr vereinfacht wird. Durch die Anwendung von Monte Carlo-Programmen, basierend auf einer CT- oder MR-Patientenbeschreibung (Voxel Monte Carlo), wird die Genauigkeit wesentlich verbessert.

Die Modellierung der Dosisverteilung (wie zum Beispiel mit der Software ODS-60 von RADOS) erlaubt eine dem Patienten (Größe, Gewicht) angepasste Dosis zu berechnen.

Die auf der Messung basierende Methode ist sicher schwerfälliger; sie erlaubt aber eine unabhängige Kontrolle der numerischen Methoden.

Zur Dosisabschätzung kann man approximative Konversionsfaktoren anwenden, wie sie zum Beispiel in Tabelle 1 zu finden sind. Die Unsicherheit einer solchen Berechnung liegt bei einem Faktor 2.

Tab. 1: Schätzwerte für Konversionsfaktoren.

EDG	Lokalisierung	e_{EDG}
OD	Schädel	0,02 mSv/mGy
	Rumpf	0,2 mSv/mGy
	Extremitäten	< 0,01 mSv/mGy
DFP	Schädel	$5 \cdot 10^{-5}$ mSv/(mGy.cm ²)
	Rumpf	$3 \cdot 10^{-4}$ mSv/(mGy.cm ²)
	Extremitäten	$< 2 \cdot 10^{-5}$ mSv/(mGy.cm ²)
DLP	Schädel	$0,5 \cdot 10^{-2}$ mSv/(mGy.cm)
	Rumpf	$2 \cdot 10^{-2}$ mSv/(mGy.cm)
BOK	Mammographie (2 Inzidenzen pro Brust)	$2 \cdot 10^{-2}$ mSv/mGy

4 Schlussfolgerungen

Die vorgeschlagene Methode bietet eine vereinfachte Möglichkeit zur Abschätzung der Patientendosen. Die Variablen trennung in eine "extensive" messbare oder anhand der Geräteparameter leicht bestimmbare Größe und in eine "intensive" Größe, die dem im Strahlenschutz klassischen Dosisfaktor entspricht und in erster Näherung relativ unabhängig von der spezifischen Patientenmorphologie ist, stellt einen kohärenten Ansatz dar.

Auf der Seite der "extensiven" Größe ist die Kenntnis der Gerätekonstanten notwendig. Wenn man eine Genauigkeit besser als einen Faktor 2 erreichen will, so soll die spezifische Gerätekonstante gemessen werden.

Betreffend der Konversionsfaktoren ist ihre Unabhängigkeit von der Patientenmorphologie sicher begrenzt. So sind die Faktoren für Kinder wesentlich von denjenigen Erwachsener verschieden. Eine bessere Kenntnis der Unsicherheit aufgrund der Anwendung von Standardfaktoren im Einzelfall wäre wünschenswert.

Die Anwendung des vorgeschlagenen Schemas erfordert die Mitarbeit der Medizin-Physiker in der Röntgendiagnostik, um die zur Optimierung notwendige Beurteilung der Dosen vorzunehmen.

5 Referenzen

- [1] J.H. Bernhardt, R. Veit, and B. Bauer: Radiation Exposure of the German Population from X-Ray Diagnostic Procedures; Proceedings of IRPA9, 3, 383–385, 1996.
- [2] International Commission on Radiological Protection, ICRP Committee 3: Minutes of the Würzburg Meeting; September 1995.
- [3] A. Kaul, B. Bauer, J.H. Bernhardt, D. Nosske, and R. Veit: Collective and per Caput Effective Doses to Members of the Public from the Diagnostic Application of X-Rays and Radiopharmaceuticals in Germany; paper dedicated to Prof. Dr. F.-E. Stieve on the occasion of his 80th birthday, 1995.

- [4] P.C. Shrimpton, B.F. Wall, J.R. Croft and G.A.M. Webb: Medical Exposure: Guidance on the 1990 Recommendations of ICRP; in Documents of the NRPB: Occupational, Public and Medical Exposure; Vol. 4, No. 2, Didcot, 1993.
- [5] Strahlenexposition in der Computertomographie, Herausgeber: H.D. Nagel, Fachverband Elektromedizinische Technik, 1999.
- [6] D.J. Simpkin and R.L. Dixon: Secondary Shielding Barriers for Diagnostic X-Ray Facilities: Scatter and Leakage Revisited, Health Physicist, 74, 350-365, 1998.
- [7] G. Drexler, W. Panzer, L. Widenmann, G. Williams and M. Zankl: The Calculation of Dose from External Photon Exposures Using Reference Human Phantoms and Monte Carlo Methods, Part III: Organ Doses in X-Ray Diagnosis; GSF-Bericht S-1026 (1984). Revised and amended: GSF-Bericht 11/90, 1990.
- [8] A. Calzado, E. Vañó, P. Morán, C. Castellote, S. Ruiz and L. González: Estimation of Doses to Patients from "Complex" Conventional X-Ray Examinations; Brit. J. Radiol. 64, 539–546, 1991.
- [9] M. Zankl, W. Panzer, and G. Drexler: The Calculation of Dose from External Photon Exposures Using Reference Human Phantoms and Monte Carlo Methods, Part VI: Organ Doses from Computed Tomographic Examinations; GSF-Bericht 30/91, 1991.
- [10] D. Hart, D.G. Jones and B.F. Wall: Estimation of Effective Dose in Diagnostic Radiology from Entrance Surface Dose and Dose-Area Product Measurements; NRPB-262, 1994.
- [11] A. Sermovaa, S. Rannikko and I. Ermakov: Assessment of Effective Dose in X-Ray Imaging in View of the Proposed ICRP Risk Factors; Radiat. Prot. Dosim., 43, 225–227, 1992.
- [12] A. Antonioni, R. Borio, S. Chiocchini, R. Cicioni, P. Degli Esposti, A. Rongoni, P. Sabatini, P. Salvadori, and P. Scampoli: Mean Organ Doses in Diagnostic Radiology from Experimental Measurements on Rando Phantom; Physica Medica, Vol VIII, No. 1, January-March 1992.

- [13] T. Maruyama, Y. Kumamoto, Y. Noda, K. Iwai, N. Mase, K. Nishizawa and Y. Furuya: Determinations of Organ or Tissue Doses and Collective Effective Dose Equivalent from Diagnostic X-Ray Examinations in Japan; *Radiat. Prot. Dosim.*, 43 (1/4), 213–216, 1992.

- [14] A. Calzado, S. Ruiz Sanz, M. Melchor and E. Vañó: A Comparison of Measured and Calculated Organ Doses from CT Examinations; *Radiat. Prot. Dosim.*, 57 (1–4), 381–385, 1995.

- [15] M. Toivonen, S. Rannikko, K. Karila, C. Aschan and S. Savolainen: Organ Dose Determinations of X-Ray Examinations Using TL Detectors for Verification of Computed Doses; *Radiat. Prot. Dosim.*, 66, 289–294, 1996.

SWISS NATIONAL DOSIMETRY SURVEY IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY

Project financed by the Federal Office of Public Health. Contract Number 316.96.0576

A. Aroua¹, J.-P. Vader² et J.-F. Valley¹

¹ Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée, Lausanne

² Institut Universitaire de Médecine Sociale et Préventive

Inhalt

Abstract	17
1 Introduction	17
2 Material and Methods.....	19
3 Results	23
3.1 Integral results.....	23
3.2 Distribution with the category of examination.....	23
3.3 Distribution with the category of establishment	24
3.4 Distribution with the age of the patient.....	25
3.5 Data comparison	26
4 Conclusions	27
5 References	29

Abstract

The survey described here, like the previous ones carried out in Switzerland, aims at determining:

- the radiation doses delivered to the patient by the various types of X-ray examinations,
- the frequency of each type as a function of the age and gender of the patient and
- the associated collective radiological impact on the Swiss population.

The study consisted in surveying the frequencies of more than 250 types of examinations, covering the various modalities in diagnostic and interventional radiology, as well as in establishing, by modelling, for each examination type, the radiation dose received by the patient. The collective impact has been evaluated by convoluting both types of information using appropriate radiological risk models.

The results of the survey indicate that around 9,5 million radiodiagnostic examinations are performed each year in Switzerland (1,34 examinations per caput). In terms of doses, the survey reveals that the average annual effective dose per caput equals 1,0 mSv, and that the average annual effective dose corrected for the patient's age effect is about 0,6 mSv per caput. The results of the survey also show the distribution of the total number of examinations and the collective dose with the category of examinations and the type of establishment practising diagnostic and interventional radiology in Switzerland. This survey indicates that Switzerland stands at the same level as other European countries in terms of number of examinations and the collective dose.

The detailed results of this survey are given in the full report (both in French and English) available at: <http://www.hospvd.ch/public/instituts/ira/>.

1 Introduction

In countries with similar health level as Switzerland, the average dose of ionising radiation to the population from medical exposure is estimated to about 0,2-2 mSv/annum [1]. This represents the highest contribution of man-made irradiation and around a quarter of the total dose received by the population.

Since the 1970s, many countries have carried out surveys on the frequencies of examinations and on their associated doses. In its regular reports to the UN general assembly, the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations (UNSCEAR) provides a comprehensive analysis of medical exposures on the basis of surveys carried out by member states. UNSCEAR's last survey covered part of the 1990s and was published in 2000 [1].

Switzerland has a long tradition in this field going back over forty years [2-5]. The last Swiss survey on medical exposure was undertaken in 1992, but no evaluation of the collective dose was made. Since then, several factors associated with demographic evolution, with changing indications prescription for examinations and with the techniques used, have altered the average dose to the population. A new evaluation of the latter quantity was therefore useful.

The present survey falls within the same framework as earlier ones and its main objectives are:

- to determine the radiation doses delivered in Switzerland by the various radiological examinations (diagnostic and interventional radiology),
- to determine the frequencies of examinations according to patient age and gender,
- to infer the global impact of diagnostic and interventional radiology on the Swiss population,
- to study the diversity of medical practices involving the use of radiological examinations,
- to formulate recommendations in order to reduce the doses if need be.

The survey has been carried out under the aegis of the Office Fédéral de la Santé Publique by the Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée (IRA - University Institute of Applied Radiation Physics) at Lausanne, which is responsible for the whole project and its coordination. The IRA also covers dosimetry-related matters and the final determination of the population impact indicators, and the Institut Universitaire de Médecine Sociale et Préventive (IUMSP -University Institute of Social and Preventive Medicine) at Lausanne, which provides expertise on the survey on the frequency of radiodiagnostic examinations and on survey consolidation methods. The Radiation Physics Institute of Isle Hospital at Berne and the Department of Diagnostic and Interventional Radiology of the Centre Hospitalier Universitaire Vaudois (CHUV - University Hospital of Vaud) at Lausanne both provided the expertise on sev-

eral aspects: definition of examinations, working-out typical values for technical parameters, processing the data gathered in earlier surveys, etc. moreover, the survey was supervised closely by a support group led by the Office Fédéral de la Santé Publique and made up of the representatives of the main Swiss medical societies. The support group provided:

- expertise on the methodology of the survey,
- assistance to gather the data from physicians,
- expertise to analyse the results and draw the conclusions, and
- support for the publication of the results and recommendations.

2 Material and Methods

The survey's approach consists in determining the frequencies of the different types of examinations, on the one hand, and in finding out the dose delivered to the patient for each type of examination. The collective impact of radiodiagnostics is evaluated by convoluting these two data using appropriate risk models. The main outlines of the survey are given in Figure 1.

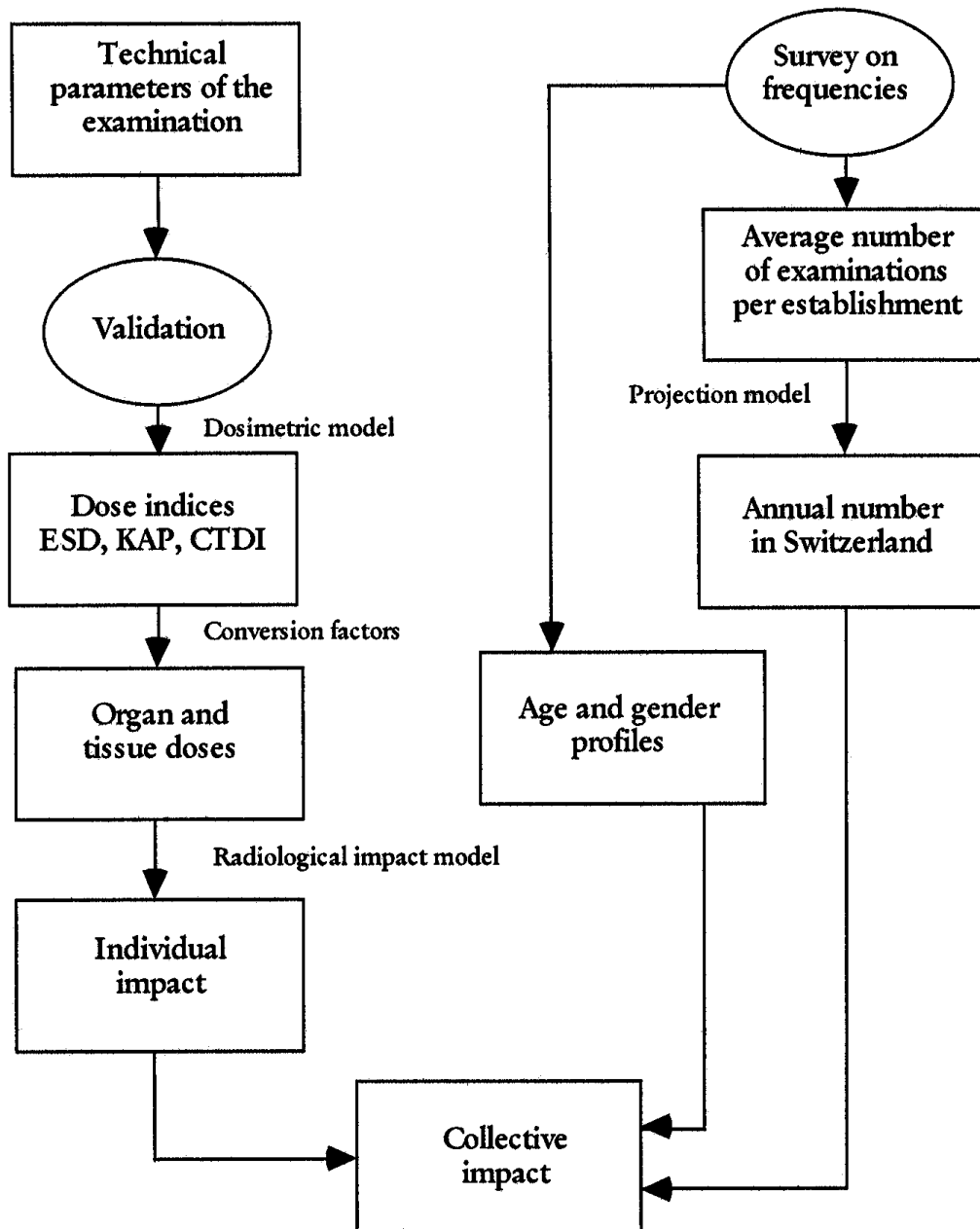


Fig. 1: Methodology of the survey.

Concerning the dosimetric study, the basic quantities considered are the dosimetric indices obtained from the parameters of the examinations on the basis of dosimetric models. These models require a precise characterisation of each examination. The characterisation is first performed on the basis of the data gathered at the CHUV; it is then checked using a referee for each speciality and validated by a survey covering a sample of surgeries and several hospitals. The dose indices (ESD: entrance surface dose, KAP: kerma-area product, CTDI: CT dose index) are converted into doses to organs and effective doses using conversion factors taken from the literature and adapted to particular situations. The

survey on the frequencies of examinations, which covers a larger sample, provides data on the frequency distribution of the various types of examinations according to patient age and gender. It enables the inference of their distributions by speciality, by type of establishment and by geographical area. Seasonal variations are studied using monthly statistics provided by a sample of surgeries and hospitals. Finally, both the individual radiological impact and the collective impact of radiodiagnostics are evaluated using appropriate models built from our current understanding of the subject.

257 types of examinations were considered in order to obtain the finest definition. These types covered several broad categories: radiography (54 types), radiography and fluoroscopy (33 types), angiography (35 types), interventional radiology (43 types), computed tomography (47 types), mammography (2 types), bone densitometry (4 types), conventional tomography (6 types) and dental radiology (33 types).

The set of establishments which carry out radiodiagnostic examinations in Switzerland has been divided into four large categories:

- 1) 11 big hospitals with more than 500 beds, for which detailed annual statistics were requested,
- 2) hospitals with less than 500 beds, which participated in a fifteen day survey,
- 3) medical and dental surgeries and chiropractic clinics, which took part in a fifteen day survey (one week in the case of dental surgeons),
- 4) particular services (school, prison and army medicines, etc.), for which global annual statistics were requested.

More than 3.000 establishments were approached. The general practitioners (including general internists) were randomly sampled at a 20% rate and the dentists at 10%. For all the other specialities, the total number of establishments was considered. A geographic stratification was performed using the most recent regionalisation system of Switzerland.

The questionnaire sent to the participants was structured around three axes:

- 1) the equipment, that is the radiological unit and the films used,
- 2) the radiological examinations; for each examination carried out during the survey it was a matter of recording the type of examination, the patient's

age and gender, and answering three subsidiary questions pertaining to the prescription of the examination: nature of the affection, objective of the examination, and seriousness of the case, and

- 3) the 1997 annual statistics of the number of examinations per type of examination.

The data convolution procedure consists of combining all the quantities determined by the survey to infer a quantity that measures the radiological impact of radiodiagnostics. Only the data contributing to the evaluation of the impact are taken into account. The collective equivalent dose corrected for age using the model (n), H^*_{col} , and associated to an organ (k) by an examination of type (i) in speciality (j) takes the form:

$$\begin{aligned} H^*_{col}(k, i, j, n) &= \sum_{l,m} H(k, i, l) \times N(i, j) \times A(i, j, l, m) \times C(i, l, m) \times F_s(i) \times K(k, l) \\ &\quad \times F(m, n) \\ &= N(i, j) \times F_s(i) \times \sum_{l,m} H(k, i, l) \times A(i, j, l, m) \times C(i, l, m) \times K(k, l) \\ &\quad \times F(m, n) \end{aligned}$$

where

- 1) The annual number of examinations N depends on the type of examination (i) and the establishment category or speciality (j): $N(i, j)$
- 2) The equivalent dose to the organ is a function of the organ (k), the examination type (i) and the gender (l): $H(k, i, l)$
- 3) The fraction of examinations per age group varies with the examination type (i), the establishment category or speciality (j), the gender (l) and the age group (m): $A(i, j, l, m)$
- 4) The correction, if need be, for the sensitivity of the film-screen set depends on the examination type (i): $F_s(i)$
- 5) The correction for the build of the patient is a function of the examination type (i), the gender (l) and the age group (m): $C(i, l, m)$
- 6) The correction for age varies according to age group (m) and radiological risk model used (n): $F(m, n)$
- 7) The radiosensitivity of the organ depends on the organ (k): $W(k)$
- 8) The presence of the organ is a function of the organ (k) and the gender (l):

$$K(k, I)$$

The collective effective dose corrected für age using the model (n), E^*_{col} , associated to an examination of type (i) in the specialty (j) is:

$$E^*_{col}(i, j, n) = H^*_{col}(k, i, j, n) \times W(k)$$

3 Results

3.1 Integral results

As shown in table 1 the survey revealed that around 9,5 million radiodiagnostic examinations are performed each year in Switzerland, i.e. 1,34 examination per caput. In terms of doses, the associated annual collective dose is of the order of 7.100 Sv, which for a population of 7.096.894 corresponds to an average annual effective dose per caput of 1,0 mSv.

Table 1: Integral frequency and dosimetric results.

	<i>collective ($\times 10^6$)</i>	<i>per caput</i>
Average annual number of examinations	9,5	1,34
Average annual dose (mSv)	7,3	1,03

3.2 Distribution with the category of examination

Table 2 presents the distribution of the annual number of examinations and the collective dose with the different categories of examination. In terms of the number of examinations, the radiography and dental radiology have the highest contributions to the total number (48% and 43% respectively). The other modalities represent together 9% of the total. In terms of dose, radiography, tomodensitometry and conventional fluoroscopy have the highest contribution to the collective dose (41%, 28% and 17% respectively). The other modalities represent 14% of the collective dose.

Table 2: Annual number of examinations and collective dose in mSv (rounded figures) per category of examination.

<i>Category</i>	<i>Annual number</i>	<i>Fraction (%)</i>	<i>Collective dose</i>	<i>Fraction (%)</i>
Radiography	4.500.000	48	2.900.000	41
Dental radiology	4.000.000	43	72.000	1,0
Computed tomography	300.000	3,4	2.000.000	28
Mammography	200.000	2,3	43.000	0,61
Radiography & fluoroscopy	150.000	1,6	1.300.000	17
Angiography	70.000	0,74	550.000	7,8
Interventional radiology	30.000	0,28	260.000	3,6
Bone densitometry	30.000	0,34	40	0,0
Conventional tomography	10.000	0,12	48.000	0,68
Total	9.500.000	100	7.100.000	100

3.3 Distribution with the category of establishment

Table 3 presents the distribution of the annual number of examinations and the collective dose with the different categories of establishment.

Table 3: Annual number of examinations and Collective dose in mSv (rounded figures) per category of establishment.

<i>Category</i>	<i>Annual number</i>	<i>Fraction (%)</i>	<i>Collective dose</i>	<i>Fraction (%)</i>
General and internal medicine	1.500.000	15,8	670.000	9,4
Radiology	250.000	2,6	480.000	6,8
Small hospitals (< 500 beds)	2.000.000	21,1	3.300.000	46
Big hospitals (> 500 beds)	950.000	10,0	1.900.000	27
Dental medicine	4.000.000	42,1	70.000	0,99
Chiropractic	60.000	0,6	140.000	2,0
Others	700.000	7,4	550.000	7,7
Total	9.500.000	100	7.100.000	100

In terms of the annual number of examinations, the dentists are on top position with 42% of the total, followed by the hospitals with 31% and the general prac-

tioners with 16%. The other categories contribute together for 11%. In terms of the collective dose, the hospitals alone contribute for about 73%. The general practitioners contribute for almost 10% and the radiology institutes for almost 7%. The contribution of the other categories all together is about 10%.

3.4 Distribution with the age of the patient

The distribution of the collective dose with the age of the patient is given in figure 2. It peaks between 60 and 70 years and is quite different from that of the general population. The shift of the age distribution of the collective dose is estimated to about 15 years towards higher ages. If a correction for the age of the patient is performed according to an appropriate risk model, the mean annual effective dose is reduced to about 0,6 mSv per caput.

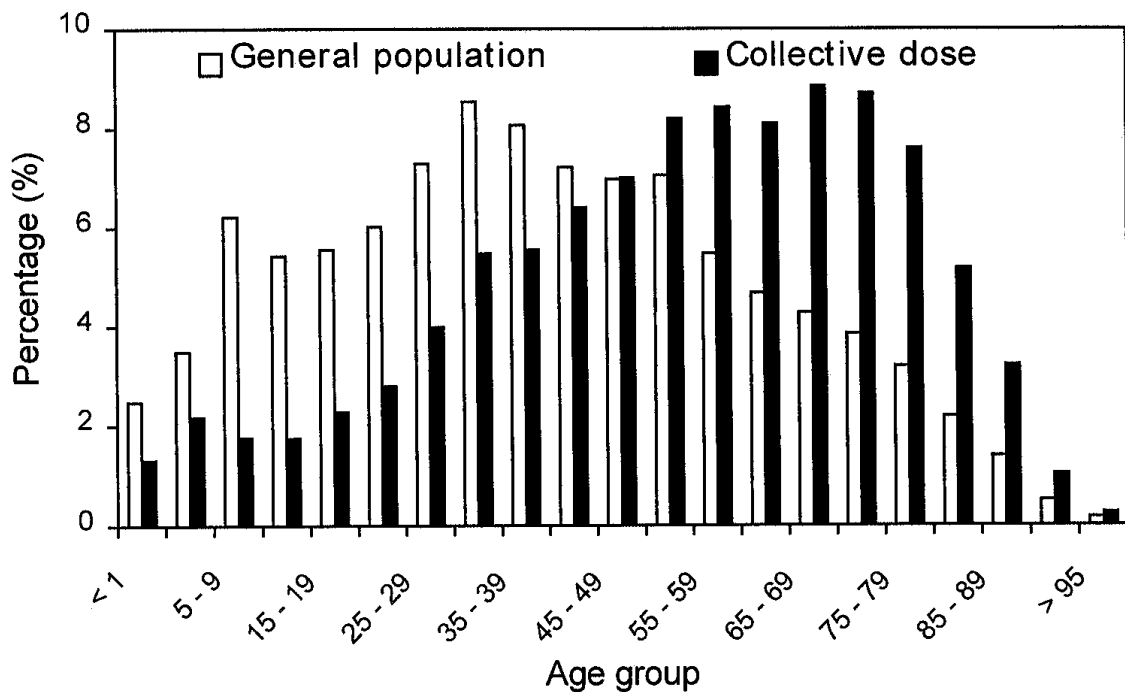


Fig. 2: Distribution of the collective dose with the age of the patient.

3.5 Data comparison

Table 4 compares the results found in this work with those reported by other countries of similar health care level. In general one notices a great variability of the reported data. The results of this study are within the range of variation and compare well with average values.

Table 4: Annual frequencies of X-ray examinations per 1.000 population [1].

<i>Country</i>	<i>Medical</i>	<i>Dental</i>	<i>Mammography</i>	<i>Angiography</i>	<i>Interventionel</i>	<i>CT</i>
Canada	892	-	79	7	0,31	41
Denmark	510	471	-	-	-	-
Finland	704	290	34	-	1,7	25
France	-	-	-	-	-	33
Germany	1.254	276	68	24	2,2	64
Italy	-	-	-	-	-	29
Japan	1.477	839	-	5.6	-	
Luxembourg	1.046	469	50	13	-	76
Netherlands	598	182	47	0,63	1,3	32
Norway	708	-	-	11	-	48
Sweden	568	739	80	8,1	3	39
United Kingdom	489	212	27	5,2	4,5	21
United States	962	-	-	-	-	91
Average	920	310	25	7,6	3,0	57
Switzerland	760	581	31	9,9	3,8	46

Table 5 presents the results established by previous Swiss surveys. The annual number of X-ray views (or examinations) are compared with those found in this work. Relative to the 1978 data the total number of examinations appears to be roughly constant. However, the distribution with the different categories of examinations has changed significantly.

Table 5: Annual number of X-ray views (examinations) performed in Switzerland.

<i>Number of views</i>	<i>1957</i>	<i>1971</i>	<i>1978</i>	<i>1998</i>
Diagnostics (medical)	2.850	12.491	12.516	11.686
Diagnostics (dental)	1.102	2.404	2.992	4.811
Fluorophotography	653	969	968	51
Total number	4.605	15.864	16.476	16.549
<i>Total number of examinations</i>	<i>5.018</i>	<i>8.555</i>	<i>8.703</i>	<i>9.530</i>

4 Conclusions

This survey provided valuable data on the situation of diagnostic and interventional radiology in Switzerland for the year 1998. The results indicate that around 9,5 million radiodiagnostic examinations are performed each year in Switzerland, i.e. 1,34 examination per caput, and that the associated annual collective dose is of the order of 7.100 Sv, which corresponds to an average annual effective dose per caput of 1,0 mSv.

It appears that both the total number of examinations and the collective dose has not increased since 1970 but their distribution over the different modalities has changed drastically, and that Switzerland stands at the same level as other European countries in terms of number of examinations and collective dose.

At the end of this study a number of recommendations are suggested aiming at keeping the exposure due to diagnostic and interventional radiology as low as practically achievable.

The effort of dose reduction should cover all the modalities, but the types of examinations which contribute strongly to the total collective dose should receive special attention. With regard to radiographies, a particular effort should be made in order to encourage surgeries and radiology services of hospitals to conform to values recommended for the sensitivity of screen-film combinations. This would have an important direct effect on the doses given. As regards dental examinations, the dentists should be encouraged to use sensitive films (E class) as well as a rectangular collimator to reduce the needless irradiation of the patient.

The radiological detectors using screen-film combinations will be progressively

replaced by digital systems. If this transition is well managed it could reduce the doses significantly (higher sensitivity for the same quality, saving data on over-exposed or under-exposed negatives). A reverse trend should not be ruled out, in particular if increasing the quality of the image is sought unilaterally. We recommend that the introduction of digital techniques be carefully monitored with regard to the doses to patients.

An effort should be made to reduce the effective dose per fluoroscopic examination, especially during angiographic and interventional examinations. The technical parameters must be optimised. The standard procedures prescribed by the manufacturers (series number, number of images per series, etc.) can often be simplified without degrading the diagnostic quality of the examination. Moreover, in the case of intensive examinations, the dose given to the patient must be accessible in real time during the examination to prevent exceeding the threshold of deterministic radiation effects. All fluoroscopic installations should be equipped with direct display instruments which measure the dose-area product.

With regard to CT examinations, the characterisation measurements of the CT scanners and the optimisation of examination protocols are important (number of passages, scanned volume, thickness and spacing of slices, etc.). They enable a significant reduction of the doses given.

The knowledge of the doses involved and the availability of guiding or reference values against which one can make comparisons are essential for all the examinations. Furthermore, it would be useful to establish a national dosimetric database for collecting all the measured doses to patients in Switzerland. Such a database should focus on angiography and interventional radiology (recording the values of the dose-area products on radiographic and fluoroscopic installations) and on CT (recording the values of the length-dose products on CT scanners). Clearly medical physicists would have a central role to play in such a programme. The database thus constructed and continuously updated should be made available to all institutions and individuals interested.

The process of reducing the doses in diagnostic and interventional radiology cannot be effective unless all the relevant parties are involved: patients, physicians, technicians in medical radiology, medical assistants and physicists.

In order to guarantee the efficiency of any dose reduction programme, it should be evaluated periodically with a quantification of the results by means of a follow-up mechanism. The impact of diagnostic and interventional radiology should be re-assessed by means of a smaller survey, ideally in a 5-year basis.

5 References

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources and Effects of Ionizing Radiation. 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes; New York, United Nations, 2000.
- [2] Zuppinger, A., Minder, W., Sarasin, R. and Schär, M.: Die Strahlenbelastung der schweizerischen Bevölkerung durch röntgendiagnostische Massnahmen; Radiol. clin. 30, 1961.
- [3] Poretti, G., Ionesco, R. und Lanz, W.: Erhebung über die Strahlenbelastung der Schweizer Bevölkerung infolge röntgendiagnostischer Untersuchungen; Schweiz. Vereinigung für Atomenergie (Hrsg.), 1971.
- [4] Mini, R. und Poretti, G.: Die Bestimmung der Strahlenbelastung einer Bevölkerungsgruppe gemäss ICRP26; Tagungsbericht der Schweizerischen Gesellschaft für Strahlenbiologie und Strahlenphysik SGSP, 1984.
- [5] Mini, R.L.: Dosisbestimmungen in der medizinischen Röntgendiagnostik; Verlag Max Huber, ISBN 3 906401 146, 1992.

Häufigkeit und Dosis röntgendiagnostischer und nuklearmedizinischer Untersuchungen in Deutschland

*J. Griebel und D. Noßke
Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Institut für Strahlenhygiene,
Neuherberg*

Inhalt

1	Einleitung	35
2	Röntgendiagnostik.....	35
2.1	Häufigkeit für 1997.....	35
2.2	Kollektive effektive Dosis für 1997	38
3	Nuklearmedizinische Diagnostik	40
3.1	Häufigkeit für 1997.....	40
3.2	Kollektive effektive Dosis für 1997	40
4	Zusammenfassende Bewertung und Ausblick	41
5	Literatur	42

1 Einleitung

Die zum Teil rasante Entwicklung der therapeutischen Möglichkeiten in der Medizin erfordert eine hoch qualifizierte und differenzierte Diagnostik. Einen wichtigen Beitrag leistet hier die radiologische Diagnostik. Da die Exposition mit ionisierender Strahlung stets mit einem - wenn auch geringen - Risiko verbunden ist, müssen an die Anwendung ionisierender Strahlung in der medizinischen Diagnostik hohe Anforderungen gestellt werden – sowohl in Hinsicht auf die klinische Indikationsstellung als auch auf die Qualität der Untersuchung. Eine kontinuierliche Nutzen/Risiko-Optimierung in der Röntgendiagnostik und Nuklearmedizin stellt somit einen wesentlichen Bestandteil einer modernen Qualitäts- und Sicherheitskultur dar. Im Bewusstsein des Strahlenrisikos und aus Sorge um die Sicherheit der Patienten hat es die Europäische Union in der Patientenschutz-Richtlinie 97/43/EURATOM den Mitgliedsstaaten zur Pflicht gemacht, die Strahlenexposition der Bevölkerung und einzelner Bevölkerungsgruppen zu erfassen. Die neue Strahlenschutzverordnung hat diese Aufgabe dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) übertragen.

Die im Rahmen dieser europaweiten Bemühungen geforderte Erfassung der medizinischen Strahlenexposition basiert auf zwei Komponenten: der Häufigkeit der Röntgen- bzw. nuklearmedizinischen Untersuchungen sowie deren Dosis. Zur Abschätzung dieser beiden Komponenten führt das BfS seit 1991 Erhebungen durch. Aufgrund dieser Daten können Veränderungen im Bereich der radiologischen Diagnostik erfasst und bewertet werden.

2 Röntgendiagnostik

2.1 Häufigkeit für 1997

Für die Abschätzung der Untersuchungshäufigkeit hat es sich bewährt, auf die Daten der Kostenträger wie der kassenärztlichen und kassenzahnärztlichen Bundesvereinigungen sowie des Verbandes der privaten Krankenversicherungen zurück zu greifen. Diese erfassen - zum Teil in Gänze, zum Teil aber auch nur stichprobenartig - die Häufigkeit der Abrechnung röntgendiagnostischer Leistungen durch niedergelassene Ärzte und liquidationsberechtigte Ärzte an Krankenhäusern.

Daraus lässt sich eine Gesamtzahl von etwa ca. 136 Millionen Röntgenuntersuchungen einschließlich zahnmedizinischer Untersuchungen pro Jahr in Deutschland abschätzen. Eine grobe Fehlerabschätzung ergibt eine Schwankungsbreite von ca. $\pm 10\%$. Der Vergleich mit den Erhebungen aus dem Jahr 1994 ist nur mit Einschränkung möglich. Zum einen war die damalige Datenlage wegen der Umstellung des Medizinalwesens in den neuen Bundesländern sehr lückenhaft. Zum anderen erfolgte zwischenzeitlich eine Umstellung der Gebührenordnungen, wobei die Zuordnungen einzelner Leistungspositionen zu organbezogenen Untersuchungen nicht mehr in derselben Weise möglich ist. Weiterhin wurden bei der Auswertung für das Jahr 1997 einige Leistungspositionen zusätzlich berücksichtigt, die 1994 noch nicht erfasst werden konnten. Mit diesen Einschränkungen ergibt sich eine Steigerung der Gesamtuntersuchungshäufigkeit zwischen 1994 und 1997 von etwa 3 – 4%, also grob geschätzt von 1% pro Jahr.

Die Auswertung für die einzelnen Untersuchungsarten lässt unterschiedliche, zum Teil gegenläufige Änderungen der relativen Häufigkeit im Vergleich zu 1994 erkennen (Abb. 1). Einerseits zeigte sich eine Abnahme der Häufigkeiten von Untersuchungen im Bauchraum einschließlich des Magen-Darm-Trakts, des Gallensystems und des Harntrakts um 10 – 50%. Dies lässt darauf schließen, dass der bereits früher beschriebene Trend zu Untersuchungsarten ohne die Anwendung ionisierender Strahlen wie Ultraschall, Endoskopie oder Magnetresonanztomographie weiter anhält. Andererseits zeigte sich eine Zunahme der Röntgenuntersuchungen des Schädels um ca. 24% und der weiblichen Brust um ca. 12%, wobei erstere im wesentlichen durch eine erweiterte Diagnostik im Rahmen der Zahnmedizin bedingt ist, während die Zunahme der Mammographien die Bedeutung dieser Methode bei der Brustkrebsfrüherkennung unterstreicht. Weitere Zunahmen fanden sich bei dosisintensiven Techniken wie der Computertomographie (CT) um ca. 11% und der Arteriographie einschließlich interventioneller Eingriffe um ca. 67%. Eine strenge klinische Indikationsstellung vorausgesetzt, stellen aber gerade die letztgenannten Techniken einen großen diagnostischen und therapeutischen Gewinn für die Patienten dar.

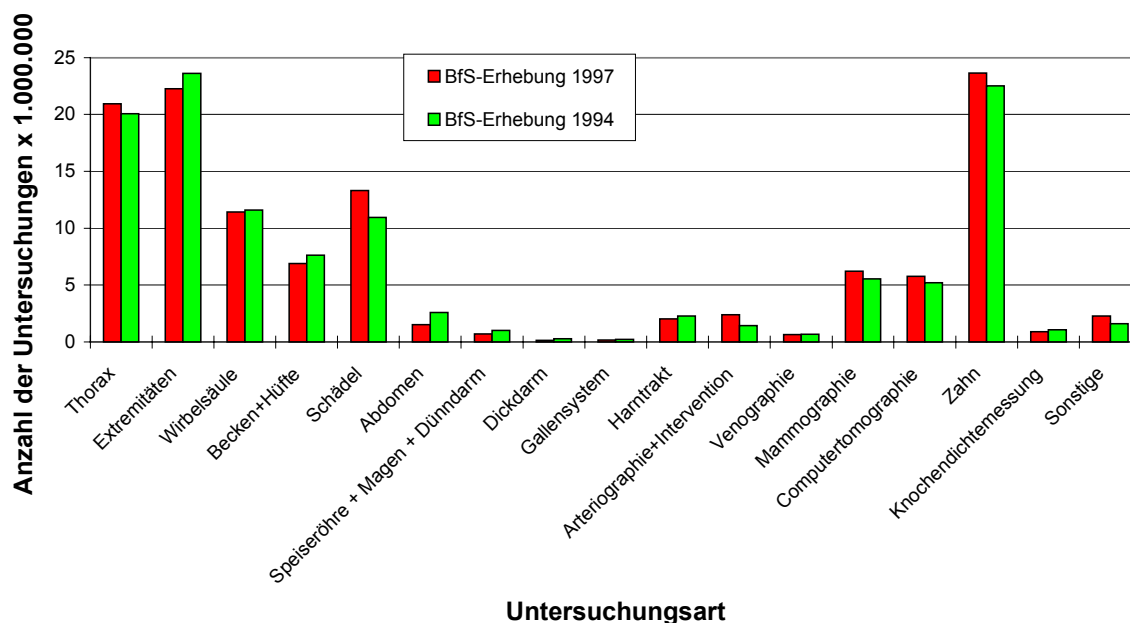


Abb.1: Vergleich der Häufigkeiten der verschiedenen Untersuchungsarten für 1997 und 1994. Um einen sinnvollen Vergleich zu gewährleisten, wurde das Auswertschema 1994 auf die Daten 1997 angewandt. Dargestellt sind die medizinischen Röntgenuntersuchungen für die ambulante und stationäre Patientenversorgung, einschließlich Zahnmedizin.

Im europäischen Vergleich nimmt Deutschland mit - rein rechnerisch - ca. 1.655 Röntgenuntersuchungen pro 1.000 Einwohner eine Spitzenstellung ein. Weltweit wird es nur von Japan übertroffen [1].

Hauptfehlerquelle ist die unsichere Datenlage bei der Erfassung der stationären Leistungen der allgemeinen Pflegeklasse. Das betrifft die stationären Patienten, die nicht als Privatpatienten mit dem Chefarzt abrechnen. Da für diese Patienten keine Einzelleistungen mit den Kostenträgern abgerechnet werden, mussten die durchgeführten Röntgenuntersuchungen aufgrund einer früheren Stichprobenerhebung an Krankenhäusern sowie einer Trendanalyse im kassenambulanten und privatärztlichen Bereich abgeschätzt werden. Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) geförderten Forschungsvorhabens soll durch eine bundesweite Stichprobenerhebung die Datenlage speziell in diesem Bereich deutlich verbessert werden.

2.2 Kollektive effektive Dosis für 1997

Die Bestimmung der Dosis für jede einzelne röntgendiagnostische Untersuchungstechnik basiert sowohl auf eigenen, stichprobenartigen Messungen in Krankenhäusern und Arztpraxen als auch auf Dosiserhebungen im Rahmen von Forschungsvorhaben, die vom Bundesumweltministerium gefördert wurden. Dosiswerte für häufige Röntgenuntersuchungen sind in Abb. 2 zusammengestellt.

Untersuchungsart	effektive Dosis E / mSv
Röntgenuntersuchungen in einer oder 2 Ebenen	
Zahnaufnahme	< 0,01
Extremitäten	0,01 - 0,1
Schädel	0,03 - 0,1
Halswirbelsäule in 2 Ebenen	0,09 - 0,15
Thorax, 1 Aufnahme	0,02 - 0,05
Mammographie beidseits in 2 Ebenen	0,4 - 0,6
Brustwirbelsäule in 2 Ebenen	0,5 - 0,8
Lendenwirbelsäule in 2 Ebenen	0,8 - 1,8
Beckenübersicht	0,5 - 1,0
Abdomenübersicht	0,6 - 1,1
Röntgenuntersuchungen mit Durchleuchtung	
Magen	6 - 12
Darm (Dünndarm bzw. Dickdarm)	10 - 18
Galle	1 - 5
Harntrakt (Urogramm)	2,5 - 7
Bein-Becken-Phlebographie	0,5 - 2
Arteriographie und Intervention	10 - 20
CT-Untersuchungen	
Kopf	2 - 4
Wirbelsäule	3 - 10
Thorax	6 - 10
Abdomen	10 - 25

Abb. 2: Dosiswerte für häufige Röntgenuntersuchungen.

Für die Abschätzung der kollektiven effektiven Dosis wurde das Produkt von Untersuchungshäufigkeit und Untersuchungsdosis für jede Leistungsposition berechnet und die jeweiligen Beiträge auf 17 Kategorien – entsprechend den vorher festgelegten Untersuchungsarten wie Untersuchung des Thorax, der Extremitäten, der Wirbelsäule etc. – verteilt. Mit diesem Schema ist es möglich, sowohl die kollektive effektive Dosis insgesamt zu berechnen als auch den An-

teil einer bestimmten Untersuchungsart.

Die – rein rechnerische – effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung in Deutschland im Jahr 1997 lag nahezu unverändert bei etwa 2 mSv. Eine grobe Fehlerabschätzung ergibt eine Schwankungsbreite von ca. $\pm 25\%$.

Den prozentualen Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der kollektiven effektiven Dosis zeigt Abb. 3. Im Vergleich zu den für das Jahr 1994 vom Bundesamt für Strahlenschutz angegebenen Daten [2] fällt insbesondere der Anstieg bei Arteriographie und interventioneller Radiologie von etwa 18% auf jetzt 28% auf. Demgegenüber bleibt der Anteil der CT mit 37% weitgehend unverändert. Hier ist zu vermuten, dass die Zunahme der Untersuchungshäufigkeit durch eine Dosisersparung je Untersuchung aufgrund neuer Gerätetechniken kompensiert wird.

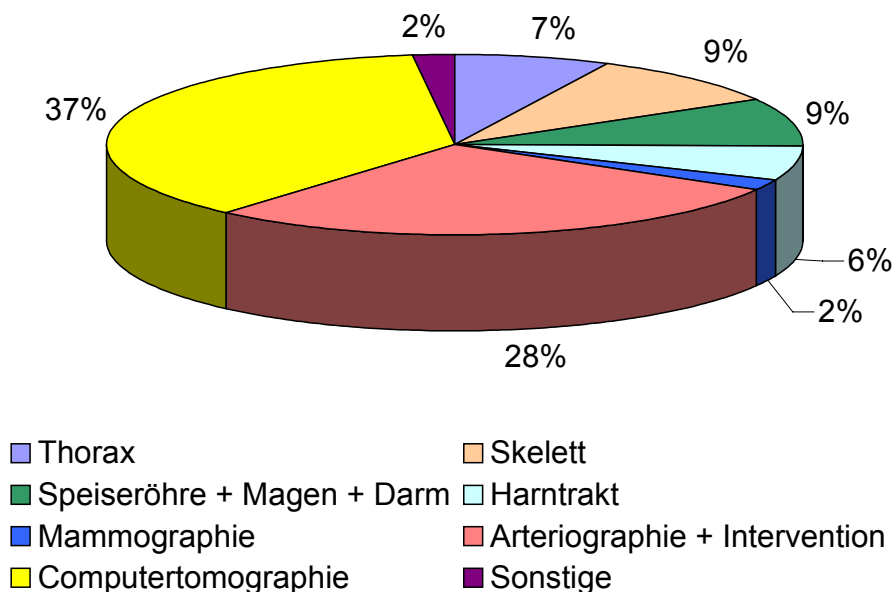


Abb. 3: Prozentualer Anteil der verschiedenen Untersuchungsarten an der kollektiven effektiven Dosis für 1997.

Eine wichtige Fehlerquelle liegt in der Schwankungsbreite der Dosen für die einzelnen Untersuchungen. Hier sind die individuellen Verhältnisse bei den Patienten - insbesondere die Körpermaße der Patienten, die Durchleuchtungszeit und die Schwierigkeit der Diagnosestellung - ebenso maßgeblich wie die Schwierigkeit, aus einer abgerechneten Leistungsposition auf die genaue Art der Durchführung einer Untersuchung zu schließen.

3 Nuklearmedizinische Diagnostik

3.1 Häufigkeit für 1997

Mit denselben Methoden, die bei der Röntgendiagnostik zur Anwendung kamen, wurde für das Jahr 1997 ermittelt, dass in Deutschland ca. 4 Millionen nuklearmedizinische Untersuchungen durchgeführt wurden, was 49 Untersuchungen pro 1.000 Einwohnern entspricht. Am häufigsten fanden Schilddrüsen-, Skelett- und Myokardszintigraphien statt (37, 25 bzw. 9%).

3.2 Kollektive effektive Dosis für 1997

Zur Ermittlung der Dosis durch nuklearmedizinische Untersuchungen wurde auf Ermittlungen zurückgegriffen, die durch die nuklearmedizinische Klinik der LMU München (Prof. Hahn) durchgeführt wurden. In 10 Kliniken und 7 Praxen wurde die Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen ermittelt, wobei auch das verwendete Radiopharmakon und die applizierte Aktivität erhoben wurden. Daraus wurde mit den Daten der ICRP Publikation 53 die effektive Dosis berechnet. Die Daten wurden dann zu den jeweiligen Untersuchungsarten zusammengefasst und daraus das arithmetische Mittel berechnet. Die höchsten Dosiswerte wurden für PET-Untersuchungen bzw. Myokard-, Gehirn- und Knochenszintigraphien ermittelt (8,6; 7,0; 5,8 bzw. 5,1 mSv je Untersuchung).

Aus den Daten zu Häufigkeit und Dosis wurde für das Jahr 1997 für Deutschland eine kollektive effektive Dosis von 11.600 manSv durch nuklearmedizinische Untersuchungen abgeschätzt, was einer mittleren effektiven Dosis von 0,14 mSv pro Einwohner entspricht. Den größten Beitrag zur kollektiven effektiven Dosis lieferten Skelett-, Myokard- und Schilddrüsenzintigraphien mit 43, 22 bzw. 10%. Die häufigste Untersuchung, die Schilddrüsenzintigraphie, verursacht nur eine relativ geringe Dosis pro Untersuchung, weshalb sie bezüglich des Beitrages zur kollektiven effektiven Dosis nur an dritter Stelle liegt.

4 Zusammenfassende Bewertung und Ausblick

Die Strahlenexposition der Bevölkerung durch die Röntgendiagnostik hat mit etwa 2 mSv pro Einwohner und Jahr in den letzten Jahren nicht zugenommen, obwohl die Untersuchungshäufigkeit eine Zunahme von ca. 1% pro Jahr erkennen lässt. Dies dürfte wesentlich auf verbesserte Untersuchungstechniken zurückzuführen sein. Demgegenüber ist der Beitrag der Nuklearmedizin mit ca. 0,14 mSv pro Einwohner und Jahr strahlenhygienisch deutlich geringer zu bewerten.

Eine Nutzen/Risiko-Abschätzung für die radiologische Diagnostik muss vor allem berücksichtigen, dass medizinische Strahlenexpositionen nicht die gesamte Bevölkerung betreffen, sondern nur Patienten, also den Teil der Bevölkerung, der aus der Exposition einen unmittelbaren diagnostischen oder therapeutischen Nutzen zieht. Dies gilt im besonderen Maße für dosisintensive Verfahren wie z.B. CT oder Arteriographie einschließlich Interventionen.

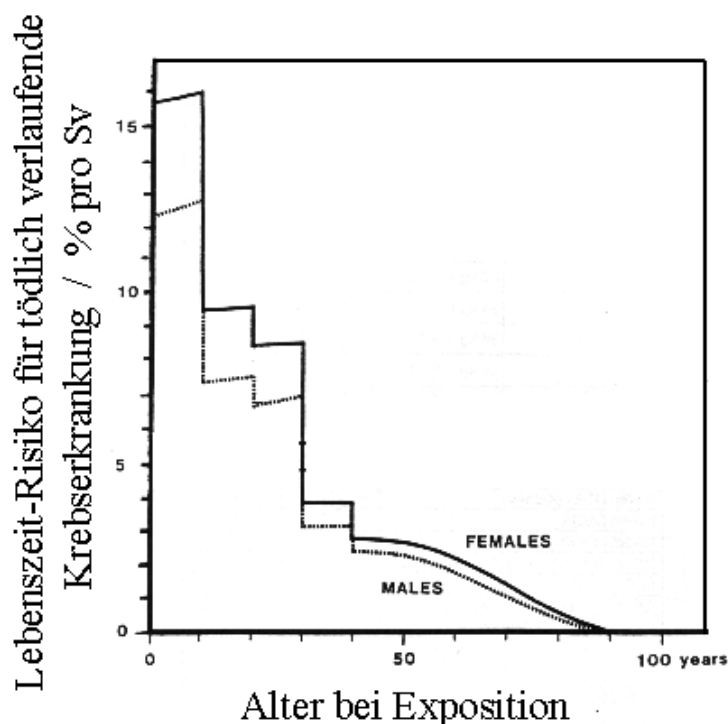


Abb. 4: Lebenszeit-Risiko für tödlich verlaufende Krebserkrankungen in Abhängigkeit vom Alter bei Strahlenexposition (Quelle: ICRP 60).

Außerdem ist das im Vergleich zur Bevölkerung im Mittel höhere Alter der Patienten zu berücksichtigen, sowie die Abnahme des Lebenszeit-Risikos für tödlich verlaufende, strahleninduzierte Krebserkrankungen mit zunehmendem Al-

ter (Abb. 4) und die im Vergleich zur Normalbevölkerung oft verkürzte Lebenserwartung von schwer erkrankten Patienten. Gerade diese Patienten werden aber aufgrund ihrer Erkrankung häufig auch mehrfach untersucht.

5 Literatur

- [1] United Nations: Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Annex D. United Nations Publication, United Nations, New York, 2000.
- [2] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Jahresbericht 1999, 18-20.

Häufigkeit und Dosis nuklearmedizinischer Untersuchungen in der Schweiz

*J. Roth und H.W. Roser
Abteilung für Radiologische Physik, Kantonsspital / Universitätskliniken
Basel*

Inhalt

1	Zusammenfassung	47
2	Einleitung	47
3	Material und Methoden	48
3.1	Erhebung	48
3.2	Dosisberechnung	48
3.3	Strahlenrisiko	49
4	Ergebnisse	49
5	Diskussion	55
6	Literatur	56

1 Zusammenfassung

Die Berechnung der Organdosen in Abhängigkeit vom Radiopharmakon und von der applizierten Aktivität bildet die Grundlage für die Bestimmung der effektiven Dosis bei einer bestimmten Untersuchung. Mit einer Erhebung bei allen 43 Bewilligungsinhabern in der Schweiz im Jahre 1989/1990 konnte die Verteilung der verschiedenen Untersuchungen bestimmt werden. Es resultiert daraus eine effektive Dosis von 0,04 mSv/Jahr. Der Anteil des Tc-99m an der Aktivitätsverteilung beträgt etwa 90% und beeinflusst die nuklearmedizinische Strahlenexposition äußerst günstig. Da das mediane Alter der untersuchten Patienten mehr als 20 Jahre höher liegt als der entsprechende Medianwert der Gesamtbevölkerung, so reduziert sich die mittlere effektive Dosis infolge nuklearmedizinischer Untersuchungen in der Schweiz auf einen alterskorrigierten Wert von 0,02 mSv/Jahr.

2 Einleitung

Das Hauptziel der in der Schweiz durchgeführten Erhebung über die Anwendung von offenen radioaktiven Stoffen am Menschen war die Bestimmung der Strahlenexposition durch nuklearmedizinische Untersuchungen. Dabei stand die Berechnung der Organdosen im Patienten und das daraus abgeleitete Strahlenrisiko im Vordergrund des Interesses. Weitere Resultate der Erhebung sind die Häufigkeiten der einzelnen Untersuchungsarten, deren Beitrag zur Kollektivdosis aller Untersuchungen sowie die Altersverteilung der Patienten. Da das Strahlenrisiko mit steigendem Alter des Individuums abnimmt und das mediane Alter der untersuchten Patienten deutlich höher als das entsprechende Alter der Gesamtbevölkerung ist, führt eine Berechnung dieses Risikos nach einer Methode, die das gesamte Bevölkerungskollektiv als Basis voraussetzt, zu einer Überbewertung. Deshalb muss ein altersabhängiges Risiko berücksichtigt werden, was zu einer Reduktion des Beitrags der nuklearmedizinischen Diagnostik zum gesamten Strahlenrisiko der Bevölkerung führt.

3 Material und Methoden

3.1 Erhebung

Eine in den Jahren 1989 und 1990 durchgeführte Erhebung mit Beteiligung aller 43 Bewilligungsinhaber für die Anwendung von offenen radioaktiven Stoffen am Menschen in der Schweiz ermöglichte eine vollständige Übersicht über Art und Anzahl von nuklearmedizinischen Anwendungen in der Schweiz [5, 6]. Es wurden während mindestens einem Monat für jeden Patienten neben dem Alter und dem Geschlecht Angaben über die Untersuchungsart, das verwendete Radioisotop, das Pharmakon, die Applikationsart und die applizierte Aktivität erhoben. Der Erhebungszeitraum pro Institution lag zwischen einem und zwölf Monaten. Um die Resultate der Erhebung breit abzustützen und zu diskutieren, wurde die Projektgruppe bei den Auswertungen und Interpretationen der Daten von sechs verschiedenen Institutionen und Fachgruppen unter dem Patronat des Bundesamtes für Gesundheit begleitet.

Die erhobenen Daten der ca. 7.800 Patienten wurden in einem Datenbanksystem für die weitere Auswertung gespeichert. Alle Angaben wurden soweit sinnvoll auf ein Jahr umgerechnet. Aus den Untersuchungs- und Patientenangaben wurden die effektiven Dosen für die verschiedenen Untersuchungsarten und Altersgruppen sowie die mittleren Dosen pro Patient respektive Einwohner in der Schweiz ermittelt.

3.2 Dosisberechnung

Die Berechnungen der Organdosen erfolgten für die einzelnen Untersuchungsarten nach ICRP 53 [3]. Sie beruhen einerseits auf der Verteilung der Radiopharmaka im Körper mit Hilfe von biokinetischen Verteilungsdaten und andererseits auf den kernphysikalischen Zerfallsdaten der eingesetzten Radionuklide. Die größte Unsicherheit besteht dabei in der Annahme einer normalen Biokinetik für Personen mit z.T. pathologischen Veränderungen im Organismus. Die Altersabhängigkeit der Organdosen bei einer bestimmten Untersuchung wird durch die Einreihung jedes Patienten in eine von fünf Altersklassen berücksichtigt (0 bis 2 Jahre, 3 bis 7 Jahre, 8 bis 12 Jahre, 13 bis 17 Jahre sowie 18 und mehr Jahre). Die Gründe für diese Abhängigkeit liegen in den Organmassen und -größen, den Abständen zwischen den Organen und der Biokinetik, die sich alle mit dem Alter ändern.

3.3 Strahlenrisiko

Die Berechnung der effektiven Dosen erfolgt auf der Grundlage von ICRP 60 [1]. Die effektive Dosis ist ein gewichteter Mittelwert über die Organdosen. Dabei entsprechen die Gewebewichtungsfaktoren dem relativen Krebsrisiko der einzelnen Organe bzw. dem genetischen Risiko bei einer Bestrahlung. Die effektive Dosis ist damit auch bei inhomogener Bestrahlung ein Maß für das gesamte Strahlenrisiko und erlaubt den Vergleich unterschiedlicher Strahlenexpositionen untereinander bezüglich dieses Risikos.

Die für die Ermittlung der effektiven Dosis in ICRP 60 aufgeführten Organwichtungsfaktoren sind alters- und geschlechtsunabhängig und basieren auf mittleren Risiken für das Kollektiv der arbeitenden Bevölkerung (18 bis 65 Jahre). Nuklearmedizinische Untersuchungen werden jedoch hauptsächlich an älteren Personen durchgeführt. Sowohl das strahleninduzierte organspezifische Krebs- als auch das genetische Risiko nehmen beide mit steigendem Alter ab [1, 2] und zeigen ebenfalls eine Geschlechtsabhängigkeit. Die effektive Dosis als Risikogröße müsste daher geschlechtsabhängig ermittelt und für eine bestimmte Untersuchungsart mit steigendem Alter der betroffenen Person im allgemeinen nach unten korrigiert werden (eine Ausnahme stellt der Altersverlauf des Lungenkrebsrisikos dar [1]). So würde beispielsweise für über 70-jährige Personen praktisch eine Risikogröße von Null resultieren, was dem sehr geringen zusätzlichen Krebsrisiko (unter Berücksichtigung der Latenzzeit) und dem inexistenten genetischen Risiko entspricht.

4 Ergebnisse

Von den ca. 69.000 nuklearmedizinischen Applikationen pro Jahr in der Schweiz entfallen 97,5% auf die Diagnostik und 2,5% auf die Therapie. Dies entspricht im Mittel ca. 10 Untersuchungen pro Jahr und 1.000 Einwohner in der Schweiz. Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern ist dieser Wert niedrig [9]. Nach Angaben des Bundesamtes für Gesundheit stehen in der Schweiz etwa 110 Gamma-Kameras in Betrieb. Somit werden im Durchschnitt 612 Untersuchungen pro Kamera und Jahr durchgeführt.

Die wichtigsten Untersuchungsarten sind zusammen mit den verwendeten Isotopen und Pharmaka, den Mittelwerten und Ranges der applizierten Aktivitäten und den damit zusammenhängenden effektiven Dosen pro Applikation in Tab. 1 zusammengestellt. Das Knochenszintigramm mit Tc-99m-Phosphat und einem Anteil von 43,0% an der Gesamtanzahl der Untersuchungen ist die häufigste

Untersuchungsart, gefolgt von Schilddrüsenuntersuchungen (15,1%) mit I-123, Tc-99m oder I-131 und Lungenperfusionen mit Tc-99m-Mikrosphären (13,7%). Weitere relativ häufige diagnostische Anwendungen sind Lungen-Ventilations- und -Inhalationsuntersuchungen, Untersuchungen des Herzmuskels, des Herzbinnenraumes, der Nieren und des Hirns mit verschiedenen Radiopharmaka (Abb. 1). PET-Untersuchungen (mit 7 Kameras) machen heute erst einen Anteil von etwa 1,7% aus.

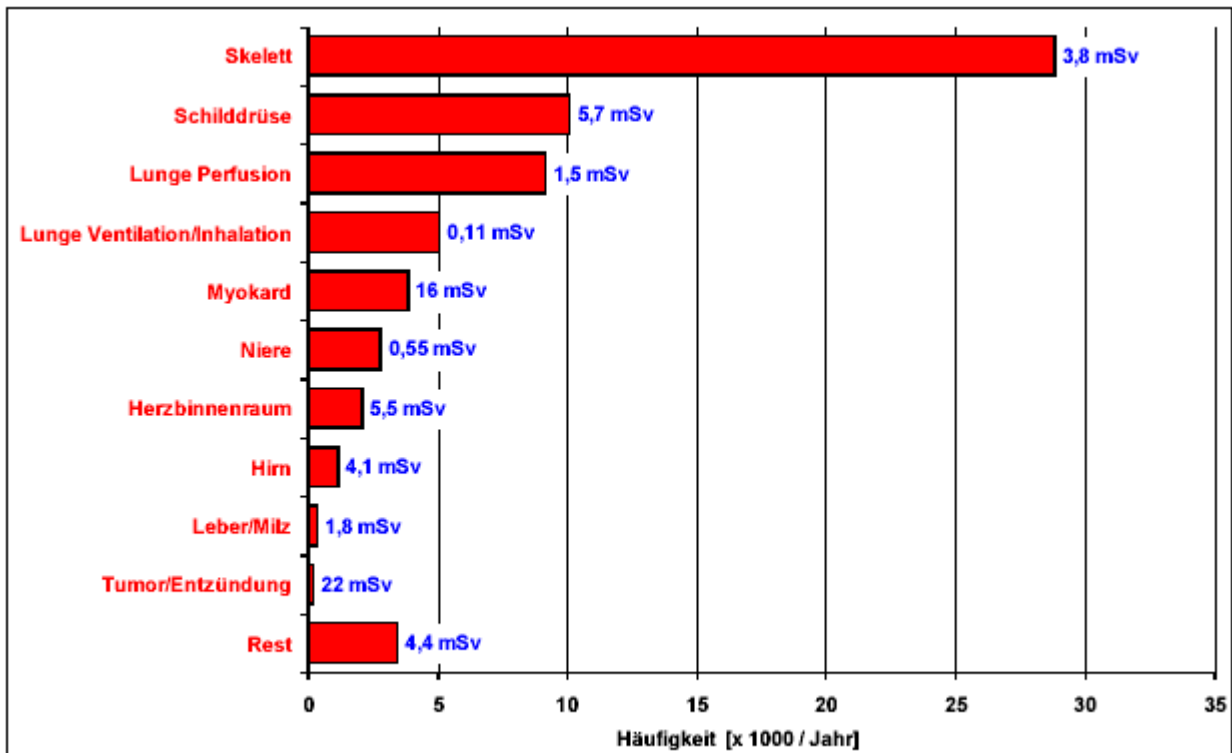


Abb. 1: Häufigkeiten der nuklearmedizinischen Untersuchungen in der Schweiz und die damit verbundenen mittleren effektiven Dosen pro Untersuchung.

Die insgesamt applizierte Aktivität beträgt 26,0 TBq pro Jahr für die Diagnostik. Die Verteilung der Aktivitäten auf die verschiedenen Isotope ist in Abb. 2 dargestellt. Von den insgesamt 15 verwendeten Radioisotopen für diagnostische Anwendungen wird Tc-99m (Aktivitätsanteil 89,5%) und Xe-133 (7,5%) am häufigsten appliziert.

Tabelle 1: Nuklearmedizinische Untersuchungen in der Schweiz.

Untersuchung	Häufigkeit (Untersuchung)	Isotop	Pharmakon	Häufigkeit (Pharmakon)	applizierte Aktivität (MBq)		eff. Dosis (mSv)
					Mittelwert	Range	
Skelett	43,0%	Tc-99m	Phosphat	100,0%	620	150 - 1000	3,6
Schilddrüse	15,1%	I-123	Jodid	46,9%	13	5 - 20	2,1
		I-131	Jodid	11,2%	2	1 - 7	34
		Tc-99m	Pertechnetat	41,9%	90	30 - 200	1,1
Lungen Perfusion	13,7%	Tc-99m	MAA	100,0%	140	70 - 230	1,5
Lungen Ventilation	6,4%	Xe-133	Gas	87,4%	390	110 - 750	0,07
		Xe-127	Gas	11,2%	220	100 - 370	0,03
		Xe-133	NaCl-Lösung	1,4%	370	370 - 370	0,07
Lungen Inhalation	1,3%	Tc-99m	Aerosol	100,0%	45	15 - 150	0,27
Myokard	5,7%	Tl-201		91,1%	80	70 - 110	18
		Tc-99m	MIBI	8,9%	570	110 - 740	4,8
Nieren	4,2%	Tc-99m	DTPA	5,1%	360	10 - 800	1,9
		Tc-99m	DMSA	6,3%	60	20 - 130	0,52
		Tc-99m	MAG3	17,3%	110	100 - 150	0,80
		I-123	Hippuran	45,8%	20	5 - 40	0,24
		I-131	Hippuran	10,6%	13	11 - 37	0,69
		Verschiedene		14,9%			
Herzbinnenraum	3,1%	Tc-99m	Erythrozyten	53,7%	910	670 - 930	6,0
		Tc-99m	HSA	46,3%	810	370 - 1100	4,9
Hirn	1,7%	Tc-99m	Pertechnetat	38,2%	620	460 - 930	7,4
		Tc-99m	HMPAO	18,6%	610	370 - 740	5,7
		Xe-133	Gas	40,8%	930	930 - 930	0,17
			Verschiedene		2,4%		
Leber/Milz	0,5%	Tc-99m	Kolloid	53,1%	120	20 - 160	1,1
		Tc-99m	IDA	46,9%	100	10 - 200	1,5
Tumor/Entzündung	0,3%	Ga-67	Citrat	100,0%	190	40 - 450	21
Myeloszintigraphie	0,3%	In-111	DTPA	100,0%	55	20 - 110	1,2
Nebennieren	0,2%	I-123	MIBG	94,6%	230	20 - 480	3,2
		I-131	MIBG	5,4%	40	40 - 40	5,6
Lymphoszintigraphie	0,2%	Tc-99m	Kolloid	100,0%	180	150 - 500	1,7
Verschiedene	4,3%						4,4

Die Altersverteilungen der Patientinnen und Patienten, die sich einer nuklearmedizinischen Untersuchung unterziehen müssen, unterscheiden sich deutlich von den Altersverteilungen der Schweizer Bevölkerung [7]. Die in Abb. 3 dargestellten Verteilungen ergeben Medianwerte für das Alter der untersuchten Patientinnen und Patienten von ca. 58 Jahren, die mit den entsprechenden Medianwerten der Bevölkerung von 36 Jahren für die Frauen und 33 Jahren für die Männer verglichen werden müssen. Das im Vergleich zur Gesamtbevölkerung mehr als 20 Jahre höhere mediane Alter der untersuchten Patientinnen und Patienten ist von Bedeutung für die Bewertung des Strahlenrisikos durch die nuklearmedizinische Diagnostik im Vergleich zu Expositionen, von der alle Altersklassen der Bevölkerung gleichmäßig betroffen sind (z.B. natürliche Strahlenexposition).

Die Bestimmung der Organdosen nach ICRP 53 [3] wurde unter der Annahme einer normalen Biokinetik durchgeführt. Für einzelne Untersuchungen kann die Variationsbreite des Einflusses einer abweichenden pathologischen Biokinetik auf die Organdosen angegeben werden (z.B. größere Aufnahme, veränderte Verteilung und längere Retention des Radiopharmakons in den Knochen bei Skelettuntersuchungen, Variation der Iod-Aufnahme und -Retention in der Schilddrüse). Die Unsicherheiten in der Bestimmung der Organdosen durch unvollständige Kenntnis der biokinetischen Parameter werden jedoch tendenziell durch die nachfolgende Mittelung der Dosen zur effektiven Dosis vermindert. Für die effektive Dosis kann für die meisten Untersuchungen eine Unsicherheit von etwa einem Faktor zwei angenommen werden [4]. Tab. 3 zeigt als Beispiel die Zusammenstellung der berechneten Organdosen für eine Skelettuntersuchung mit Tc-99m-Phosphat. Es ist ersichtlich, dass wie erwartet bei dieser Untersuchungsart die Knochenoberflächen und die Blasenwand (Ausscheidung) am stärksten exponiert werden.

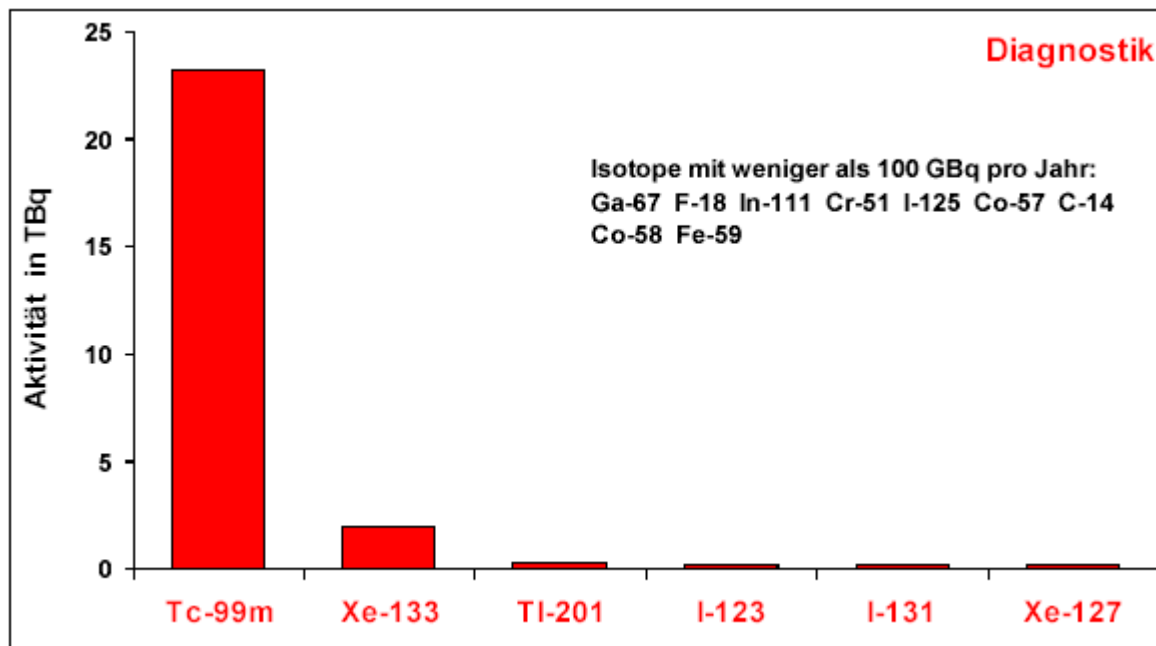


Abb. 2: Verteilung der pro Jahr in der Schweiz applizierten Aktivitäten der Radioisotope in der diagnostischen Nuklearmedizin.

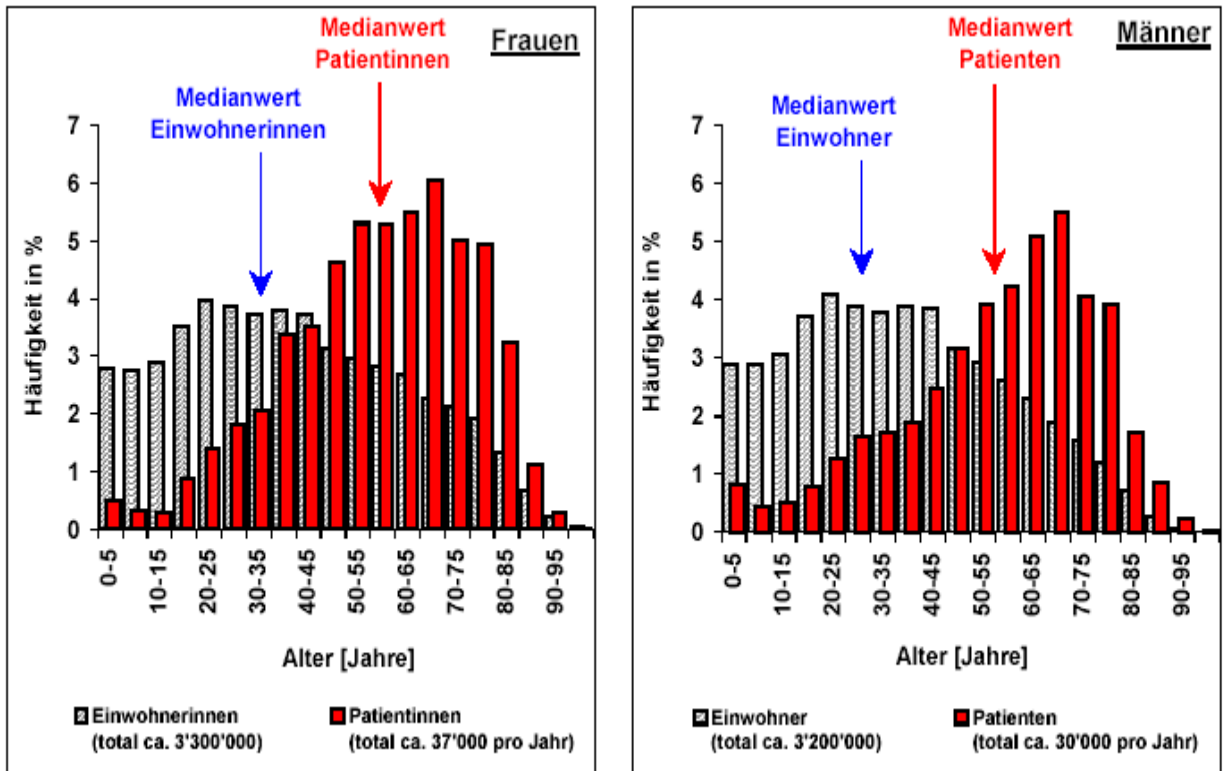


Abb. 3: Altersverteilungen der Patientinnen und Patienten in der Schweiz in der nuklearmedizinischen Diagnostik, verglichen mit den Altersverteilungen der Frauen und Männer der Schweizer Bevölkerung [7]. Die eingezeichneten Pfeile markieren die Lage der Medianwerte der entsprechenden Altersverteilungen.

Für die Berechnung der effektiven Dosis nach ICRP 60 [1] werden die in der Tab. 2 angegebenen alters- und geschlechtsunabhängigen Organwichtungsfaktoren verwendet. Die mit Daten aus ICRP 60 [1] erstellte Abb. 4 zeigt das lebenslange Todesrisiko für fatalen Krebs durch Bestrahlung als Funktion des Alters zum Zeitpunkt der Exposition und des Geschlechts.

Tabelle 2: Organdosen, Wichtungsfaktoren und effektive Dosis für eine Skelettuntersuchung mit 600 MBq Tc-99m-Phosphat an einer erwachsenen Person (für die Speiseröhre und die Haut werden in ICRP 53 [3] keine Dosisangaben gemacht).

Organ	Organdosen (mSv)	Wichtungsfaktoren
Ovarien	2,1	} 0,20
Testes	1,4	
Rotes Knochenmark	5,8	0,12
Colon *	2,3	0,12
Lunge	0,8	0,12
Magenwand	0,7	0,12
Blasenwand	30,0	0,05
Brust	0,5	0,05
Leber	0,8	0,05
Speiseröhre	-	0,05
Schilddrüse	0,6	0,05
Haut	-	0,01
Knochenoberfläche	37,8	0,01
Nebennieren	1,1	} 0,05
Colon	1,2	
Dünndarm	1,4	
Niere	4,4	
Pankreas	1,0	
Milz	0,8	
Uterus	3,7	
andere Gewebe	1,1	
effektive Dosis nach ICRP 60	3,5 mSv	

Für jeden Patienten im Kollektiv der Erhebung wurde die effektive Dosis der entsprechenden Untersuchung berechnet und anschließend die oben besprochene Alters- und Geschlechtskorrektur durchgeführt. Nach der Summation über alle Patientendosen gelangen wir zur kollektiven effektiven Dosis von 283 Personen-Sv pro Jahr in der Schweiz. Die mittlere effektive Dosis pro Jahr und Einwohner ergibt für die ca. 7 Millionen Einwohner der Schweiz somit den Wert 0,04 mSv. Der alterskorrigierte Mittelwert von 0,02 mSv für die Schweiz wurde analog aus den alterskorrigierten effektiven Dosen gewonnen. Die Reduktion der mittleren Dosen bei Berücksichtigung des Alters ist plausibel, wenn man die Verschiebung des medianen Alters der untersuchten Patienten im Vergleich zu dem der Gesamtbevölkerung von mehr als 20 Jahren (Abb. 3) und den Risikoverlauf mit dem Alter in ICRP 60 [1] berücksichtigt. Der erwähnte Sachverhalt wird weiter verdeutlicht durch die Altersverteilungen der Patientinnen und Patienten, die zeigen, dass vorwiegend ältere Personen mit entsprechend geringerem Strahlenrisiko den Mittelwert bestimmen. Der Beitrag der einzelnen Untersuchungsarten zur kollektiven effektiven Dosis (respektive zur alterskor-

rigierten kollektiven effektiven Dosis) ist in Abb. 4 dargestellt. Durch Vergleich mit den Häufigkeiten der nuklearmedizinischen Untersuchungen in Abb. 1 ist ersichtlich, dass sich die Verteilung der einzelnen Untersuchungen verschiebt, wenn die Kollektivdosisanteile betrachtet werden.

5 Diskussion

Der jährliche Beitrag der nuklearmedizinischen Diagnostik von 0,04 mSv zur totalen mittleren effektiven Dosis der Schweizer Bevölkerung von ca. 4,0 mSv/Jahr ist klein. Dies gilt um so mehr, wenn die alterskorrigierte Größe von 0,02 mSv/Jahr betrachtet wird. Es darf aber nicht außer acht gelassen werden, dass für den einzelnen exponierten Patienten die mittlere Bevölkerungsdosis eine geringe Bedeutung hat. Im Mittel beträgt die effektive Dosis für eine einzelne Untersuchung ca. 4 mSv (Range 0,03-30 mSv), was in der Größenordnung der mittleren jährlichen Exposition in der Schweiz entspricht. Je nach Untersuchung können die effektiven Dosen jedoch bis zu 30 mSv und mehr betragen.

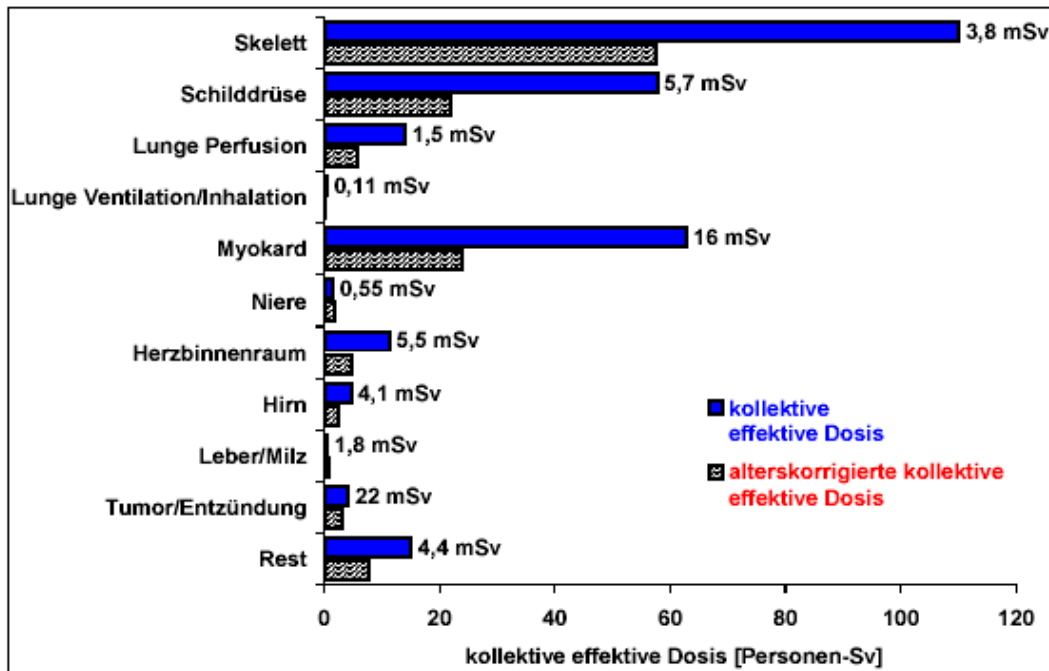


Abb. 4: Beiträge nuklearmedizinischer Untersuchungen zur kollektiven effektiven Dosis und zur altersabhängigen kollektiven effektiven Dosis in der Schweiz und die damit verbundenen mittleren effektiven Dosen pro Untersuchung.

Obwohl die Angabe der effektiven Dosis für die Einzelperson unter Umständen mit einer großen Unsicherheit behaftet ist (z.B. pathologisch veränderte Biokinetik), ist diese Größe doch sehr nützlich für den Vergleich von verschiedenen Untersuchungsarten bezüglich Strahlenexposition untereinander oder zur Beurteilung des Nutzen-Risiko-Verhältnisses bei der Indikation einer nuklearmedizinischen Untersuchung.

Die Bestimmung der absorbierten Strahlenenergie in einem Zielorgan kann neuerdings mit einem Voxel-Modell erfolgen [8]. Die Formen der einzelnen Organe und deren geometrische Beziehung zueinander können realistischer berücksichtigt werden. Damit kann das bisher verwendete MIRD-Modell mit den geometrisch geformten Organen ersetzt werden.

Die Berücksichtigung des Alters bei der Bewertung des Risikos einer Einzelperson bei medizinischer Strahlenexposition wird als sehr wichtig angesehen, dies insbesondere bei jungen Menschen (größeres Risiko) und bei älteren Patienten (stark verringertes Risiko). Aus diesem Grund muss eine alters- und geschlechtsabhängige effektive Dosis angegeben werden, die insbesondere die Strahlenexposition in der Medizin im Vergleich zu Expositionen, die alle Teile der Bevölkerung zu gleichen Teilen betreffen (z.B. die natürliche Strahlenexposition), besser berücksichtigt. Damit wird auch das wegen der Altersverteilung der Patientinnen und Patienten (im Mittel ältere Personen) verminderte mittlere Risiko der medizinischen Strahlenexpositionen im Vergleich zu den anderen Expositionen nicht überbewertet.

6 Literatur

- [1] International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 60, Annals of the ICRP **21**, 1991.
- [2] International Commission on Radiological Protection. Problems Involved in Developing an Index of Harm. ICRP Publication 27, Annals of the ICRP **1**, 1977.
- [3] International Commission on Radiological Protection. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53, Annals of the ICRP **18** (1987) und Addendum 1 zu ICRP Publication 53, Annals of the ICRP **22** (1991).

- [4] Rödler, H.D.; Pittelkow, E.: Biokinetik radioaktiver Stoffe und Modelle zu Berechnung der Strahlenexposition. Tagungsberichte der Schweizerischen Gesellschaft für Strahlenbiologie und Medizinische Physik; Basel 1989, 15-26.
- [5] Roser, H.W.; Roth, J.: Erhebung zur Häufigkeit und Altersverteilung sowie der kollektiven Dosis in der Nuklearmedizin in der Schweiz. Strahlenexposition in der medizinischen Diagnostik. Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission, Band 30; Stuttgart 1995, 301-316.
- [6] Roser, H.W.; Roth, J.: Nuklearmedizinische Strahlenexposition in der Schweiz. Strahlenschutzpraxis **4** (1995) 36-40.
- [7] Statistisches Jahrbuch der Schweiz 1991. Verlag Neue Zürcher Zeitung; Zürich, 1990.
- [8] Stabin, M.G.; Yoriyaz, H.: Photon specific absorbed fractions calculated in the trunk of an adult male voxel-based phantom. Health Physics **82** (2002) 21-44.
- [9] UNSCEAR 2000 Report: Sources and effects of ionizing radiation. Volume I: Sources. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations; New York, 2000.

Dosisentwicklung bei neueren Verfahren

*H.D. Nagel
Philips Medizin Systeme GmbH, Abt. Wissenschaft und Technik, Hamburg*

Inhalt

1	Einleitung	63
2	Digitale Radiographie und Fluoroskopie.....	63
3	Einzel-schicht-CT	66
4	Mehrschicht-CT.....	69
5	Neue CT-Anwendungen.....	73
6	Resumée.....	74
7	Literatur	75

1 Einleitung

Die Computertomographie und die konventionellen, bildverstärkergestützten Röntgenabbildungsverfahren machen zusammen zwar nur rund 10% aller Röntgenuntersuchungen aus. An der kollektiven effektiven Dosis aus medizinischen Anwendungen sind sie jedoch zu etwa zwei Dritteln beteiligt [1]. Daher sind die apparativen und anwendungstechnischen Entwicklungen auf diesem Sektor für die Frage, wie sich die medizinisch bedingte Strahlenexposition der Bevölkerung in den kommenden Jahren verändern wird, von großer Bedeutung. In diesem Beitrag sollen die aktuellen Neuerungen auf den Gebieten digitale Radiographie und Fluoroskopie, Einzelschicht-CT, Mehrschicht-CT und neue CT-Anwendungen dargestellt und die daraus resultierenden Trends abgeschätzt werden.

2 Digitale Radiographie und Fluoroskopie

Die Markteinführung des digitalen Flachdetektors stellt die wichtigste technische Neuerung im Bereich der digitalen Radiographie und Fluoroskopie dar. Flachdetektoren bestehen aus einer TFT (Thin Film Transistor)-Matrix aus amorphem Silizium. Diese ist mit einem Eintrittsschirm, dem eigentlichen Absorber für Röntgenstrahlung, verbunden. Hierfür wird – je nach Fabrikat – entweder Cäsiumjodid (CsJ) oder amorphes Selen verwendet (Abb. 1). Der für die Dosis entscheidende Aspekt ist, dass die Eintrittsschirme aufgrund ihrer Materialeigenschaften im Vergleich zu herkömmlichen Verstärkungsfolien oder Speicherfolien wesentlich dicker gehalten werden können, ohne dass diese Dicken-erhöhung zu Lasten der Ortsauflösung geht. Hieraus resultiert ein Effizienzgewinn von rund einem Faktor 2. Untersuchungen an Aufnahmegegeräten, die mit derartigen Detektoren ausgestattet sind, haben diesen Dosisvorteil durchweg bestätigt.

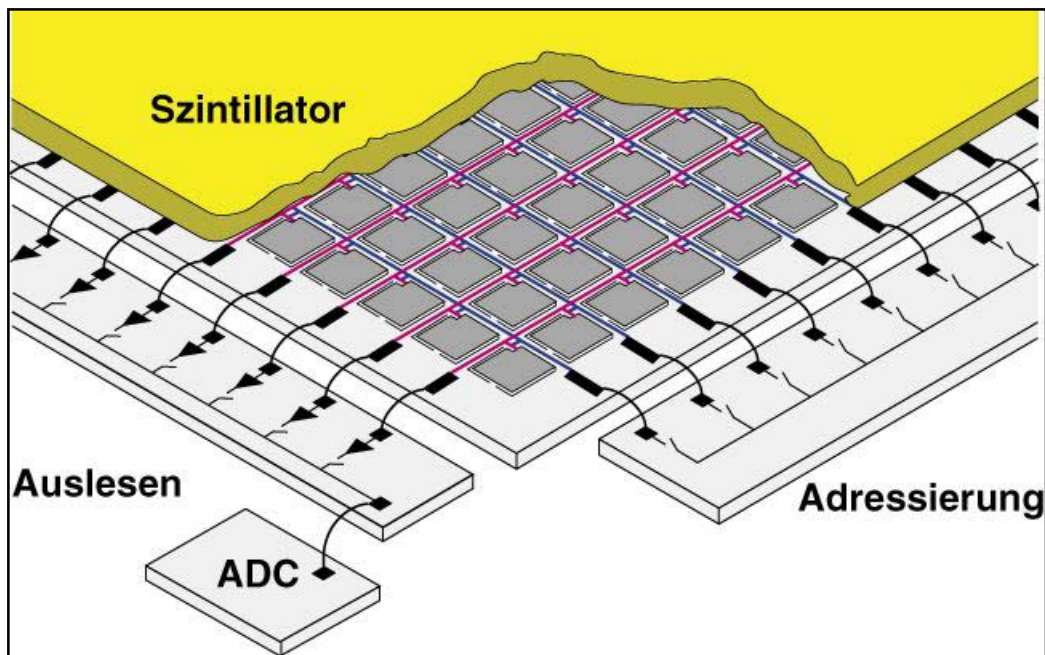


Abb. 1: Digitaler Flachdetektor, bestehend aus einer TFT-Matrix aus amorphem Silizium und einem Eintrittsschirm, der je nach Fabrikat entweder von einem Szintillator aus Cäsiumjodid (CsJ) oder einem Photoleiter aus amorphem Selen gebildet wird.

Digitale Flachdetektoren sind prinzipiell auch für den Durchleuchtungsbetrieb geeignet. Allerdings erfolgt hier die Entwicklung aufgrund des Eigenrauschens, das im Vergleich zu herkömmlichen Bildverstärker-TV-Systemen derzeit noch höher ist, mit einem gewissen Zeitversatz. Erste Prototypen für kardiologische Anwendungen befinden sich jedoch bereits in Erprobung. Da die Eintrittsschirme konventioneller Bildverstärker mit denen von CsJ-basierten Flachdetektoren identisch sind, also über das gleiche Absorptionsvermögen verfügen, und die Abbildungsketten moderner BV-TV-Anlagen ebenfalls digital arbeiten, ist vom Flachdetektor in der Fluoroskopie und Fluorographie kein zusätzliches Dosisreduktionspotential zu erwarten.

Neben dem Flachdetektor ist als weitere technische Neuerung die Ausweitung des Anwendungsspektrums digitaler Durchleuchtungsgeräte zu nennen, die seit kurzem auch zur Erzeugung von Schnittbildern verwendet werden können. Allerdings beschränken sich diese Anwendungen aufgrund der Abbildungsbedingungen und Detektoreigenschaften auf Hochkontrast-Fragestellungen. Deren Dosisbedarf ist im Vergleich zum CT mit entsprechender Niedrigkontrast-Auflösung deutlich geringer. Der bevorzugte Einsatzbereich dieser C-Bögen mit 3D-Datenerfassung liegt in der Chirurgie. Bei bedachtem Einsatz dieser Technik sollte sich der Dosisbeitrag des chirurgischen Sektors insgesamt nur mäßig erhöhen. Unter Umständen wird diese Erhöhung im Rahmen von Ersatzbeschaf-

fungen durch moderne, dosissparende Geräten mehr als kompensiert.

Eine ähnliche Technik wird seit kurzem auch im zahnärztlichen Sektor unter der Bezeichnung „Digitaler Volumen-Tomograph“ angeboten. Der Dosisbedarf der mit diesem Gerätetyp vorgenommenen Untersuchungen im Kopfbereich ist vergleichbar mit entsprechend optimierten CT-Untersuchungen derselben Region in Low-Dose-Technik. Die aus dieser Anwendungstechnik resultierenden Effektivdosen liegen allerdings erheblich über den niedrigen Werten, die für das zahnärztliche Anwendungsspektrum (einschließlich Dentalpanorama-Aufnahme) bislang typisch sind. Die Frage der erforderlichen Fachkunde zur Anwendung dieser neuen Technik sollte daher sorgfältig geprüft werden.

Aufgrund des relativ hohen Preises der mit einem Flachdetektor ausgestatteten Geräte wird sich das Dosiseinsparpotential dieser neuen Technik nur allmählich auswirken; außerdem wird es sich im wesentlichen auf den weniger kritischen Aufnahmesektor beschränken. Umso wichtiger ist es daher, dass dosissparende Techniken, die für den Durchleuchtungssektor bereits seit einigen Jahren verfügbar sind, endlich flächendeckend genutzt werden. Gemeint sind hiermit Lösungen wie die gepulste Durchleuchtung, das Last-Image-Hold und die Bildaddition (zeitliche oder rekursive Filterung). Mit ihrer Hilfe lassen sich die durchleuchtungsbedingten Dosisanteile einer Prozedur auf einen Bruchteil dessen, was bei Anlagen mit konventioneller, kontinuierlicher Durchleuchtung üblich ist, reduzieren. Eine zu stark auf den Bestandsschutz abgestellte Zulassungspraxis hat bislang die notwendige Modernisierung auf diesem Gebiet verzögert. Es ist zu hoffen, dass mit Novellierung der RÖV und der nachgeordneten Richtlinien dem Stand der Technik auf diesem Gebiet endlich zum Durchbruch verholfen wird.

Ein weiteres Problem, das einer nachhaltigen Dosisverringerung im Wege steht, ist die hohe Anzahl von Aufnahmen, die bei Bildverstärker-Anlagen mit Serienbild-Funktion in der Praxis angefertigt werden. Dieses Problem ist in erster Linie anwendungsbedingt. Angiographische Untersuchungen mit insgesamt 200 bis 400 Einzelaufnahmen und einer Einzeldosis, die der von üblichen Film-Folien-Kombinationen entspricht, sind durchaus keine Seltenheit. Entscheidend für diese Entwicklung ist der Wegfall früherer Regulierungsmechanismen (Filmverbrauch, Unbrauchbarkeit der Aufnahmen bei Überbelichtung). Dosisanzeigen, die eine getrennte Registrierung nach Durchleuchtungs- und Aufnahmeanteil vornehmen, sind bislang nicht obligatorisch. Die Bereitstellung derartiger Informationen ist notwendig, um dem Anwender die Problematik zu verdeutlichen und Ansatzpunkte für notwendige Optimierungsmaßnahmen zu geben.

3 Einzelschicht-CT

Wie die im Jahre 1999 von DRG und ZVEI durchgeführte bundesweite Umfrage zur CT-Expositionspraxis gezeigt hat, ist die durchschnittliche Effektivdosis pro Untersuchung im Vergleich zur Abschätzung des BfS zu Anfang der 90er Jahre um rund 30% zurückgegangen [4]. Hauptgrund für diesen Rückgang ist die zunehmende Verbreitung der Spiral-CT-Technik. Wegen der höheren Anforderungen an die Belastbarkeit der Röntgenröhre zwingt Spiral-CT im Endeffekt zu einer dosissparenderen Arbeitsweise (Pitcherhöhung, Röhrenstrombegrenzung). Im Vergleich zu mehr als 7 Jahre alten oder nicht-spiralfähigen Scannern werden die weniger als 7 Jahre alten Spiralscanner durchschnittlich mit einer um 40% geringeren Effektivdosis betrieben (Abb. 2). Waren 1999 erst 70% aller erfassten Geräte spiralfähig, so sind es unter den weniger als 4 Jahre alten Scannern praktisch alle. Das Dosisreduktionspotential eines Spiralscanners liegt in etwa bei einem Faktor 1,5. Mittelfristig dürfte sich dieser Trend durch den Ersatz des älteren, nicht spiralfähigen Drittels der installierten Geräte fortsetzen.

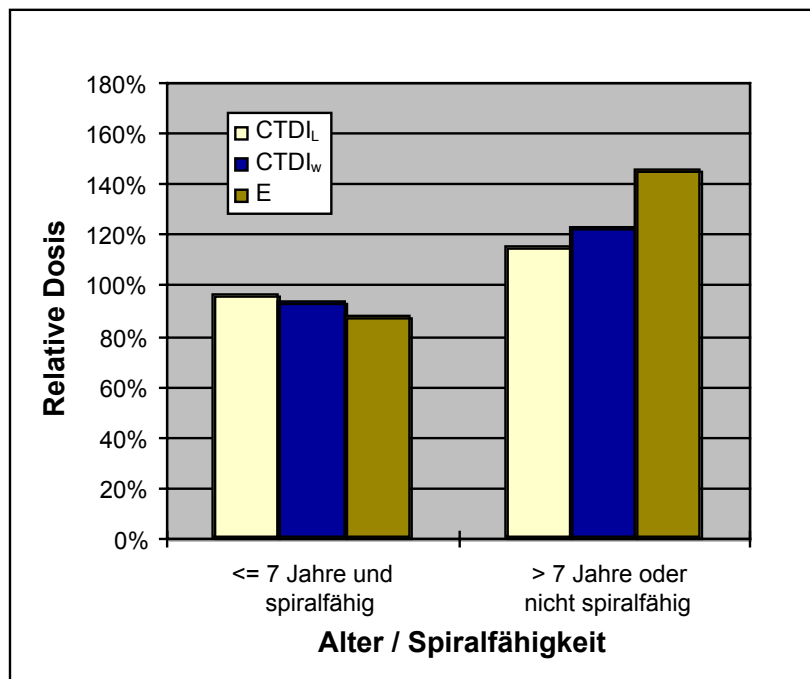


Abb. 2: Dosiswerte von Anwendern spiralfähiger und nicht spiralfähiger Scanner relativ zum jeweiligen Dosiswert für die Gesamtheit aller Teilnehmer an der CT-Umfrage und aller abgefragten Untersuchungsregionen (CTDI_L = Achsendosis frei Luft, CTDI_w = gewichteter CTDI, E = Effektivdosis).

Dagegen hat der Ersatz von Geräten mit Gasetektor durch solche mit Festkörperdetektor (Dosisreduktionspotential: ca. Faktor 1,3) in der Praxis bislang noch keinen entscheidenden Beitrag leisten können. Zum einen liegt dies in der vergleichsweise schleppenden Zunahme der Geräte mit FK-Detektor [Anteil: knapp 30% (alle Geräte) bzw. knapp 40% (Geräte < 4 Jahre)]. Zum anderen wird das Dosisersparungspotential dieser Geräte bislang nur zum Teil genutzt. Geräte mit FK-Detektor werden im Mittel nur mit einer geringfügig niedrigeren Effektivdosis betrieben als solche mit Gasetektor. Mittlerweile werden jedoch fast nur noch Geräte mit FK-Detektoren angeboten. Daher dürften sich zumindest die Voraussetzungen für weitere Dosisreduktionen im Zuge von Ersatzbeschaffungen verbessern.

Dass das Dosisniveau entscheidend von der Kombination aus apparativen Voraussetzungen und dosisoptimierter Arbeitsweise bestimmt wird, belegt eine Reihe repräsentativer Beispiele aus dem Kreis der Umfrageteilnehmer (Abb. 3).

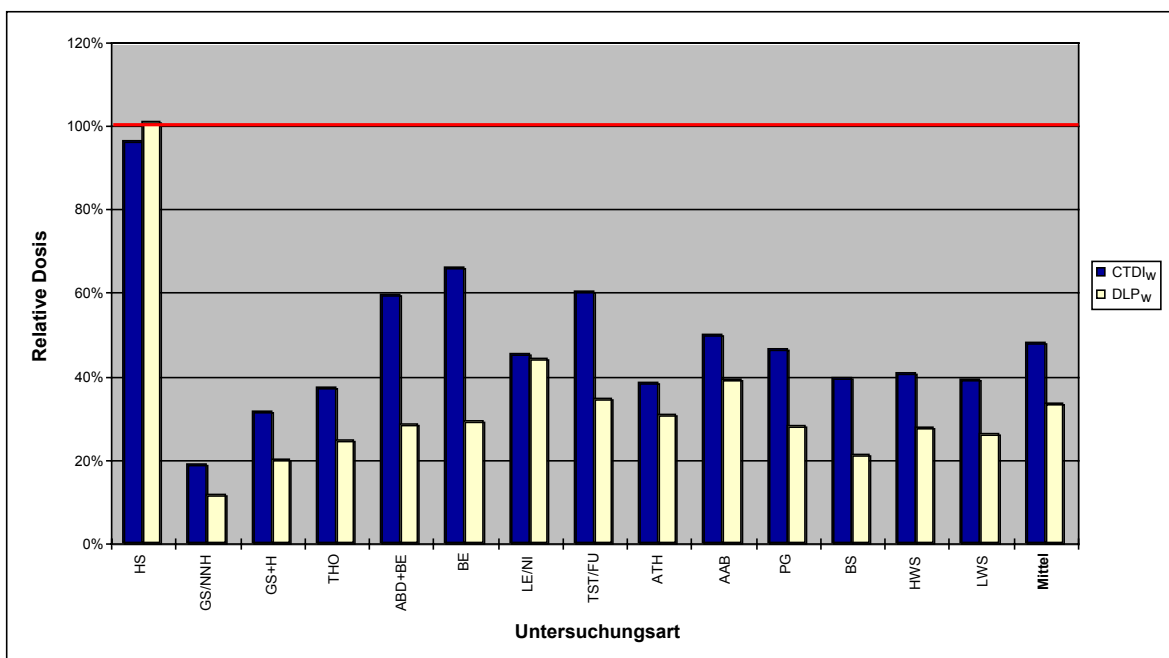


Abb. 3: Benchmarking-Diagramm eines weitgehend dosisoptimiert arbeitenden Anwenders. Dargestellt sind die Relativwerte der beiden Dosisgrößen gewichteter CTDI ($CTDI_w$) und Dosislängenprodukt (DLP_w) für insgesamt 14 Standard-CT-Untersuchungen. Bei jeder Untersuchungsart und Dosisgröße entsprechen 100 % dem jeweiligen Durchschnitt aller Umfrageteilnehmer. Im Mittel liegt die lokale Dosis bei der Hälfte, die integrale Strahlenexposition bei einem Drittel des durchschnittlichen Dosisniveaus der Umfrage.

So liegt die lokale Dosis (d.h. der gewichtete CTDI) dieser Anwender bei der Hälfte, die integrale Strahlenexposition (d.h. Dosislängenprodukt und Effektivdosis) bei nur einem Drittel des Durchschnitts aller Umfrageteilnehmer. Eine detaillierte Analyse der verwendeten Scanprotokolle widerlegt eindeutig mögliche Befürchtungen, dass in solchem Umfang vorgenommene Reduktionen zu Lasten der Diagnosesicherheit gehen.

Die auf Initiative der Industrie vor knapp vier Jahren ins Leben gerufene ‚Konzertierte Aktion Dosisreduktion CT‘ hat in der Zwischenzeit eine Reihe vielversprechender Projekte gestartet, die größtenteils bereits abgeschlossen werden konnten. Ziel dieser Bemühungen ist es, die CT-Anwenderschaft durch Bereitstellung entsprechender Mittel (Fachliteratur, Weiterbildungsangebote, Basisdaten, Verfahren zur Dosisermittlung, Referenzwerte, Optimierungsmaßnahmen) zu einer dosissparenden Arbeitsweise zu befähigen. Die überaus große Resonanz seitens der Anwender berechtigt zu der realistischen Annahme, dass mittelfristig beim Betrieb von Einzelschicht-CT-Geräten im Vergleich zur 99er Umfrage eine Halbierung des mittleren Dosisniveaus erreichbar ist.

Gestützt wird dieser Optimismus durch neue apparative Entwicklungen, die Möglichkeiten für zusätzliche Dosisreduktionen bieten:

- CT-Belichtungsautomatik: Im Gegensatz zu konventionellen Röntgengeräten benötigen CT-Geräte nicht zwangsläufig eine Vorrichtung, die die applizierte Dosis an die unterschiedlichen Absorptionsverhältnisse der Patienten (Durchmesser, Röhrenspannung) automatisch anpasst. Folge ist, dass bislang in der Regel ohne eine entsprechende Variation der Scanprotokolle, die eher für adipösere Patienten zugeschnitten sind, gearbeitet wird. Die künftige Verbreitung derartiger Automaten wird nicht nur für mehr ‚Gerechtigkeit‘, sondern im Mittel auch für eine Dosisreduktion sorgen.
- Dosisanzeige: Die kürzlich novellierten IEC-Herstellernormen [6] legen für alle neu auf den Markt gebrachten CT-Geräten eine Dosisanzeige auf Basis der Messgröße ‚Gewichteter CTDI, dividiert durch Pitch‘ fest. Zwar ist hiermit ein wichtiger Schritt zur Verbesserung des Dosisbewusstseins unternommen worden, doch leider ist die gewählte Lösung nicht mit dem europaweit verabredeten System der Dosisreferenzwerte [3] kompatibel. So ist beispielsweise die Anzeige des Dosislängenprodukts, in dem sich sämtliche dosisrelevanten Faktoren einer CT-Untersuchung wiederfinden, nicht obligatorisch. Ebenso wenig korreliert bei der Mehrzahl der Geräte die gewählte Anzeigegröße mit der Bildqualität (Rauschen). Hinzu kommt, dass die nicht eindeutige Bezeichnung der Anzeigegröße Anlass zu Verwechslungen bietet. Dies kann dazu führen, dass Spiral-CT-Geräte mit unnötig hoher Dosis betrieben werden.

- **Röhrenstrom-Modulation:** Die Anpassung des Röhrenstroms an die unterschiedlichen Absorptionsverhältnisse im Patientenquerschnitt (zirkular) und entlang der Patientenlängsachse (longitudinal) erlaubt ein Arbeiten mit reduzierten Dosiswerten ohne Kompromisse bei der Bildqualität. Durch die lokale Anpassung der Expositionsparameter entfällt die Notwendigkeit, die DosisEinstellung entsprechend der jeweils ungünstigsten Projektion im Querschnitt bzw. innerhalb des Untersuchungsbereichs wählen zu müssen. Die größten Einsparungen (zirkular: bis zu 40%) ergeben sich in Bereichen mit maximaler Abweichung von der Kreisform wie Schulter und Becken [7]. Die longitudinale Strommodulation mit ausschließlicher Anpassung an die Absorptionsverhältnisse führt allerdings nicht in allen Fällen zu den gewünschten Ergebnissen. So sorgt diese Automatik beispielsweise im Beckenbereich für erhöhte Dosiswerte, während aufgrund der besseren Kontrastierung in dieser Region eher mit reduzierten Werten gearbeitet werden sollte. Außerdem werden Dosisabschätzungen durch die von Schicht zu Schicht unterschiedlichen Expositionsparameter erheblich erschwert. Longitudinale Strommodulation sollte daher nur zum Einsatz kommen, wenn für die gescannte Region zugleich das Dosislängenprodukt, zumindest aber das Gesamt-mAs-Produkt oder das mittlere mAs-Produkt angegeben wird.
- **Multiplanare Volumenrekonstruktion:** Hierunter ist die nachträgliche Addition mehrerer dünner Schichten zu einer dickeren Schicht zu verstehen. Die Akquisition dünner Schichten reduziert das Auftreten von Artefakten, erzeugt jedoch stärker verrauschte Bilder. Dem kann anstelle einer Dosiserhöhung durch Schichtaddition begegnet werden. Das Verfahren wird bislang vorwiegend zur Artefaktreduktion verwendet, lässt sich jedoch auch für eine entsprechende Dosisreduktion nutzen.

4 Mehrschicht-CT

Mehrschicht-CT-Geräte (MS-CT) weisen im Vergleich zu Einzelschicht-Geräten (ES-CT) eine Reihe von Besonderheiten auf. Diese wirken sich unter Dosisgesichtspunkten teils vorteilhaft, teils nachteilig aus.

- **Günstigere Lage der Messdaten:** Beim Spiral-CT ist zur Rekonstruktion einer bestimmten Schicht bekanntlich eine Interpolation zwischen benachbarten Messpunkten erforderlich (z-Interpolation). Beim 180°-LI-Algorithmus, dem beim ES-CT wegen der besseren Schichtprofile vorwiegend genutzten Verfahren, erfolgt die Interpolation zwischen statistisch voneinander abhängigen Messdaten. Gegenüber dem 360°-LI-Algorithmus ist das Rauschen

deshalb im Mittel um den Faktor $\sqrt{2}$ erhöht. Beim MS-CT sind dagegen sämtliche Messdaten in der näheren Umgebung der zu rekonstruierenden Schicht statistisch voneinander unabhängig. Hieraus resultiert prinzipiell im Mittel ein Dosisvorteil in Höhe von einem Faktor 2 [12].

- **Mehrfachnutzung der Messdaten:** Aus einem mit enger Kollimierung aufgenommenen Datensatz (z.B. $4 \cdot 1$ mm) lassen sich retrospektiv Schichten mit beliebig größerer Dicke rekonstruieren. Hierdurch entfällt bei bestimmten Fragestellungen (z.B. Thorax) die Notwendigkeit, neben dem Standard-Datensatz einen zweiten, hochauflösenden Datensatz akquirieren zu müssen.
- **Geometrische Effizienz:** Durch die zusätzliche Unterteilung des Detektors in z-Richtung vergrößert sich der nicht zur Detektion beitragende Anteil an der Detektorfläche. Einzeilige Detektoren besitzen eine geometrische Effizienz von typischerweise 85%; bei mehrzeiligen Detektoren liegt der entsprechende Wert dagegen bei nur ca. 70%.
- **Überstrahlung des Detektors:** Halbschatteneffekte aufgrund der endlichen Größe des Röhrenbrennflecks führen zu einer mehr oder weniger ausgeprägten Überstrahlung des Detektors („Overbeaming“) [10,13]. Bei Geräten mit ein- oder zweizeiligem Detektor spielt dieser Effekt keine Rolle, da die Abmessung der Detektorelemente in z-Richtung größer gehalten werden kann als die maximale Schichtdicke. Bei Detektoren mit mehr als 2 Zeilen muss die Gesamt-Kollimation jedoch entsprechend vergrößert werden, um eine gleichförmige Exposition der einzelnen Schichten sicherzustellen. Bei weiter Kollimation ($4 \cdot 5$ mm) fällt die Überstrahlung je nach Gerätetyp mit 10 bis 25% noch einigermaßen moderat aus. Dagegen liegen die Werte bei enger Kollimation ($4 \cdot 1$ mm) zwischen 40 und 100% und bei Verwendung von Submillimeter-Schichten deutlich über 100% (Abb. 4). Beim MS-CT werden derart dünne Schichten applikatorisch bevorzugt (Stichwort: „Isotrope Voxel“). Ermöglicht wird diese Schnittführung durch die verbesserte Ausnutzung der Röhrenleistung. Beim ES-CT ist dies aus Leistungsgründen dagegen eher die Ausnahme. Die signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gerätetypen sind vorwiegend konstruktiv bedingt, die Effekte damit nur bedingt verringerbar. Mit der unmittelbar bevorstehenden Markteinführung von Geräten mit 8 und 16 gleichzeitig aufgenommenen Schichten wird allerdings eine merkliche Reduktion dieses Handicaps einhergehen. Bei identischen Kollimationsbedingungen führt eine Gesamtkollimation von $16 \cdot 1,25$ mm zu einer ähnlich moderaten Überstrahlung wie im Falle der Kollimation $4 \cdot 5$ mm.

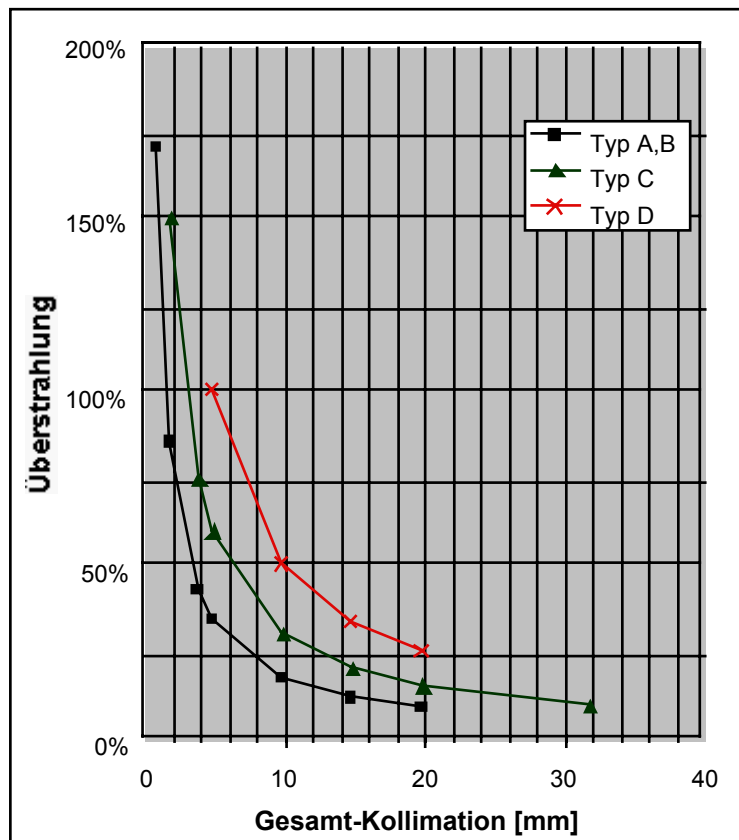


Abb. 4: Ausmaß der Überstrahlung (Dosisüberhöhung) in Abhängigkeit von der gewählten Gesamt-Kollimation $N \cdot h$ für vier unterschiedliche MSCT-Geräte.

- Geänderte Rolle des Pitchfaktors: Neben der Begriffsverwirrung, hervorgerufen durch die vorwiegende Verwendung einer nicht dosisrelevanten Pitchdefinition, ist weiter zu beachten, dass der Pitchfaktor bei den meisten MSCT-Geräten eine gänzlich andere Rolle als beim ES-CT spielt. Beim ES-CT geht eine Pitcherhöhung – neben der erwünschten Dosisreduktion – mit einer mehr oder weniger großen Verbreiterung des Schichtprofils einher. Sofern beim MS-CT die Dateninterpolation über die sog. z-Filterung erfolgt, tritt bei Variation des (dosisrelevanten) Pitchfaktors zwischen 0,25 und 2,0 dagegen keine Schichtverbreiterung mehr auf [11]. Dies ist bei allen MS-CT-Geräten mit Ausnahme der Geräte von General Electric der Fall. Der Preis für diesen Bildqualitätsvorteil besteht in einer Anpassung des mAs-Produkts proportional zum verwendeten Pitchfaktor (Erhöhung bei $p > 1$, Absenkung bei $p < 1$). Diese Anpassung ist notwendig, um die damit verbundene Zu- bzw. Abnahme des Rauschens zu kompensieren. Bei einigen Geräten (Philips, Siemens) erfolgt diese Anpassung automatisch, bei anderen (Toshiba) muss sie der Anwender dagegen explizit vornehmen. Unter Dosisgesichts-

punkten wird die Pitchveränderung damit zum Nullsummenspiel: Keine Dosisverringerung bei Pitcherhöhung, aber auch keine Dosiserhöhung bei überlappender Scanweise ($p < 1$).

Erste Berichte in der Fachliteratur (z.B. [5]) sowie die Auswertung der Scanprotokolle einiger Anwender und der Anwendungsempfehlungen von drei Herstellerfirmen weisen darauf hin, dass der Betrieb von MS-CT-Geräten derzeit mit einer signifikanten Dosiserhöhung einhergeht. Das mutmaßliche Dosisniveau liegt im Vergleich zum Durchschnitt der '99er Umfrage bei 100 – 150% (Abb. 5). Gemessen an den Anwendern mit neueren ES-CT-Geräten, die bei einem Dosisniveau von ca. 70% arbeiten, bedeutet dies eine Erhöhung um den Faktor 1,5 bis 2. Um diesen Trend und seine Ursachen mit soliden Zahlen belegen und geeignete Maßnahmen zur Dosisreduzierung einleiten zu können, ist zum Jahresbeginn 2002 gemeinsam von BfS, DRG und ZVEI eine Zusatzumfrage unter den MS-CT-Anwendern in der BRD gestartet worden. Wie die eingangs genannten Daten andeuten, ist der Wiederanstieg in erster Linie in der bevorzugten Verwendung dünnerer Schichten zu suchen.

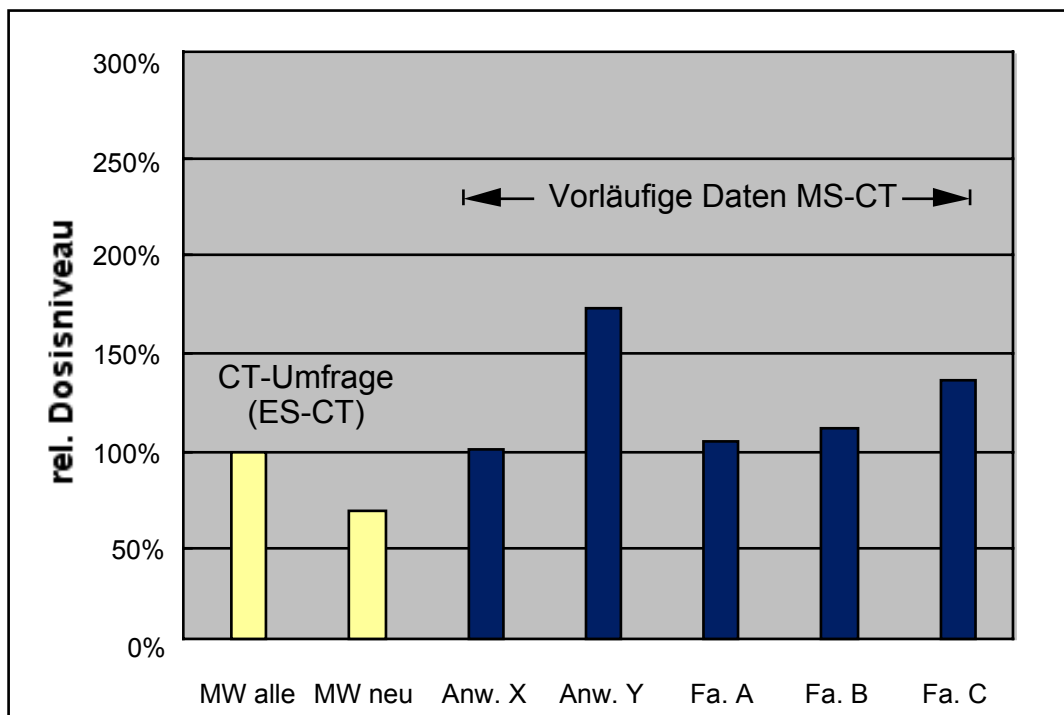


Abb. 5: Relatives Dosisniveau (Basis: Dosislängenprodukt) der Scanprotokolle zweier MS-CT-Anwender und der Dosisempfehlungen dreier Gerätehersteller im Vergleich zum durchschnittlichen Niveau aller Umfrageteilnehmer. Gegenüber Anwendern mit neueren ES-CT-Geräten (MW neu) ist das Dosisniveau der MS-CT-Protokolle um einen Faktor 1,5 bis 2 erhöht.

Um das verstärkte Rauschen zu kompensieren, wird die Dosis entsprechend erhöht. Erschwerend kommen die bei dünnen Schichten besonders ausgeprägten Überstrahlungseffekte hinzu.

Die wichtigste Maßnahme zur Überwindung dieses Problems ist die Multiplanare Volumenrekonstruktion (MPVR). Zwar sollte die Datenerfassung beim MS-CT trotz der Überstrahlungseffekte möglichst mit mittlerer oder enger Kollimation erfolgen, um optimale Voraussetzungen für die Bildrekonstruktion (Partialvolumen-Effekt, MPR, 3D-Rekonstruktionen) zu haben. MS-CT-Anwender sollten sich jedoch künftig verstärkt darum bemühen, bei der Bildbetrachtung generell die Erhöhung der Schichttiefe mit einzubeziehen. Hierdurch wird eine Datenerfassung mit erhöhter Dosis, die bei Betrachtung dünner Schichten unumgänglich ist, vermieden. Idealerweise erfolgt die Variation der Schichttiefe interaktiv, d.h. der Betrachter kann die Schichttiefe in Echtzeit variieren und somit die Sicherheit seiner Diagnose in kritischen Abbildungssituationen verbessern. Entsprechende Entwicklungen hierfür sind bereits im Gange.

Zusammenfassend ist beim MS-CT derzeit ein deutlicher Trend zu höheren Dosiswerten zu beobachten. Bei entsprechender Aufklärung und konsequenter Nutzung der apparativen Möglichkeiten erscheint es jedoch möglich, das Dosisniveau beim MS-CT auf ähnliche Werte wie bei modernen ES-CT-Geräten zu senken.

5 Neue CT-Anwendungen

Die applikatorischen Vorteile der MS-CT-Technik (schnellere und/oder feinere Erfassung der Untersuchungsregion) haben die Voraussetzungen für eine Reihe von Untersuchungen, die mit der ES-CT nicht optimal durchzuführen waren, deutlich verbessert. Hierzu zählen das Cardio-CT, das Thorax-CT und die virtuelle Endoskopie des Colon.

Die diesen drei Untersuchungsarten zugrundeliegenden Krankheitsbilder (Herzinfarkt, Bronchialkarzinom, Kolorektalkarzinom) zählen in allen Ländern zu den häufigsten Todesursachen. In den industrialisierten Ländern sind Herz- und Krebserkrankungen für mehr als die Hälfte aller Todesfälle ursächlich. Da der Nutzen effizienter Früherkennungsmaßnahmen relativ hoch eingeschätzt wird, ist derzeit eine intensive Diskussion auf diesem Gebiet im Gange [2,8]. Dabei spielt der Einsatz des MS-CT eine ganz wesentliche Rolle.

Neben Fragen der Sensitivität und Spezifität derartiger Untersuchungen, der optimalen Geräteausstattung und geeigneter Verfahren zur automatisierten Befundungsunterstützung ist die Frage der Strahlenexposition für den routinemäßigen Einsatz derartiger Früherkennungsmaßnahmen von entscheidender Bedeutung. Zumindest beim Thorax und Colon scheint es aufgrund der günstigen Voraussetzungen (Hochkontrast-Fragestellung) möglich zu sein, derartige Untersuchungen als Low-Dose-CT bei einem Fünftel bis einem Zehntel der sonst üblichen Dosiswerte vorzunehmen. Bedingung ist allerdings, dass es sich dabei um Untersuchungen handelt, die ausschließlich auf die eingeschränkte Fragestellung zugeschnitten sind. Ist man dagegen auf die gleichzeitige Miterfassung anderer Organe aus, so wird es nicht zu umgehen sein, weitestgehend mit den sonst üblichen Dosisinstellungen zu arbeiten.

Inwieweit Low-Dose-CT bei Herzuntersuchungen in Frage kommt, ist derzeit noch nicht hinreichend geklärt. Wegen der erforderlichen Zeitauflösung sind diese nur im überlappenden Spiralmodus mit retrospektivem Gating durchführbar, wobei ein Teil der applizierten Dosis ungenutzt bleibt [9].

Ob die genannten Früherkennungsmaßnahmen und die damit einhergehende Zunahme der CT-Untersuchungsfrequenzen eine signifikante Erhöhung des CT-bedingten Anteils an der Kollektivdosis haben wird, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht absehbar. Neben den genannten apparativen und anwendungstechnischen Maßnahmen wird die Frage, ob und in welchem Umfang die Kosten für derartige Maßnahmen von den Krankenkassen übernommen werden, von entscheidender Bedeutung sein. Solange diese Früherkennungsmaßnahmen nur bei enger Indikationsstellung an zahlungswilligen Privatpatienten vorgenommen werden, dürfte der daraus resultierende Anstieg der Kollektivdosis gering bleiben. Im anderen Extrem wird ein erheblicher Anstieg der Kollektivdosis trotz aller Bemühungen um Dosisreduzierung unvermeidbar sein. Dieser sollte allerdings nicht isoliert, sondern auch vor dem Hintergrund verringerter Invasivität und verbesserter Heilungschancen bewertet werden.

6 Resumée

Auf den Gebieten digitale Radiographie und Fluoroskopie, Einzelschicht-CT, Mehrschicht-CT und neue CT-Anwendungen haben in den vergangenen Jahren eine Reihe bemerkenswerter Neuerungen stattgefunden. Die damit verbundenen apparativen Entwicklungen lassen sich in der Mehrzahl für deutliche Dosisreduzierungen nutzen. Die erweiterten Möglichkeiten, die diese neuen Techniken bieten, können jedoch anwendungsbedingt insgesamt zu einer signifikanten Dosiserhöhung führen, wenn nicht entsprechend gegengesteuert wird. Hierzu sind

Maßnahmen wie gezielte Aus- und Weiterbildungsangebote, Forderung nach aussagefähigen Dosisinformationssystemen, Bereitstellung von Orientierungshilfen (Dosisreferenzwerte, Beratung) und ein angemessener Zwang zur Modernisierung des Gerätebestands erforderlich.

7 Literatur

- [1] Bernhardt, J.; Veit, R. und Bauer, B.: Erhebung zur Strahlenexposition der Patienten bei der Röntgendiagnostik; *Z. Med. Phys.*, 1995; 5: 33 – 39.
- [2] Diederich, S.; Wormanns, D.; Heindel, W.: Radiologisches Screening des Bronchialkarzinoms: Aktueller Stand und zukünftige Perspektiven; *Fortschr. Röntgenstr.*, 2001; 173: 873 – 882.
- [3] European Commission: European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262 EN. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1999: 69 – 78.
- [4] Galanski, M.; Nagel, H.D.; Stamm, G.: CT-Expositionspraxis in der Bundesrepublik Deutschland – Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage im Jahre 1999; *Fortschr. Röntgenstr.* 2001; 173: R1 – R66.
- [5] Giacomuzzi, S.M. et al.: Untersuchung zur Strahlenexposition bei der Einzelschicht- und Mehrschicht-Spiral-CT (eine Phantomstudie); *Fortschr. Röntgenstr.*, 2001; 173: 643 – 649.
- [6] International Electrotechnical Commission: Medical electrical equipment - part 2: Particular requirements for the safety of x-ray equipment for computed tomography; IEC-Standard 60601-2-44, Geneva: IEC, 1999.
- [7] Kalender, W.A.; Wolf, H.; Suess, C.; Gies, M.; Gress, H.; Bautz, W.A.: Dose reduction in CT by anatomically adapted current modulation: Principles and first results. In: Krestin GP, Glazer GM (eds.). *Advances in CT IV*. Berlin; Springer Verlag, 1998: 27 – 34.
- [8] Luboldt, W.; Fletcher, J.G.; Vogl, T.J.: Colonography: Current status, research directions and challenges – update 2001. Submitted to *Eur. Radiol.*, 2001.

- [9] Mahnken, A.H.; Sinha, A.M.; Wildberger, J.E.; Krombach, G.A.; Schmitz-Rode, T.; Günther, R.W.: Der Einfluss rekonstruktionsbedingter Bewegungsartefakte auf den koronaren Kalziumscore bei der Mehrschicht-Spiral-CT; Fortschr. Röntgenstr. 2001; 173: 888 – 892.
- [10] McCollough, C.H.; Zink, F.E.: Performance evaluation of a multi-slice CT system; Med. Phys. 1999; 26: 2223 – 2230.
- [11] Siemens AG Medical Engineering. Multi-slice CT - basics and applications. In: Chen X (ed.) Somatom Sessions 6th issue. Erlangen: Siemens AG Medical Engineering, 1999: 3 – 8.
- [12] Taguchi, K. and Aradate, H.: Algorithm for image reconstruction in multi-slice helical CT; Med. Phys. 1998; 25: 550 – 561.
- [13] Toth, T.L.; Bromberg, N.E.; Pan, T.S.; Rabe, J.; Woloschek, S.J.; Ling, J.; Seidenschnur, G.E.: A dose reduction x-ray beam positioning system for high-speed multislice CT scanners; Med. Phys. 2000; 27: 2659 – 2668.

Breast Cancer Screening Program in Vaud – Quality Assurance Process and Results

J.P. De Landtsheer
Fondation pour le Dépistage du Cancer du Sein

Inhalt

1	Introduction	81
2	Description of the breast cancer screening program in canton of Vaud	83
3	Overview of the quality assurance program	84
3.1	Equipment control.....	85
3.2	Radiographer's supervision	85
3.2.1	Preliminary stage	85
3.2.2	Special mammography training.....	86
3.2.3	Daily supervision of mammograms quality	86
3.2.4	Periodic seminars.....	86
3.2.5	Quantitative evaluation of mammograms	87
3.3	Quality assurance for Radiologist.....	87
3.3.1	Multiple reading procedure	87
3.3.2	Monitoring sheets	88
3.3.3	Reading statistics	89
3.3.4	Quarterly seminars.....	89
4	Some results of the quality control process	89
4.1	Audits about equipment's control.....	89
4.2	Radiographers supervision: assessment of quality of mammograms performed by radiographers	90
4.3	Quality assurance for radiologists	91
5	References	95

1 Introduction

Breast cancer is the most frequent and most lethal cancer among women in the western world. Switzerland has one of the highest incidence and mortality rate for this disease. In this country, every year, more than 4.500 women are diagnosed with a breast cancer while around 1.400 will decrease from that disease. These figures illustrate at what extend breast cancer is a public health problem in industrialised countries and how much it is important to develop strategies in order to reduce this public health problem.

At present, there is no efficient mean to prevent breast cancer. Several factors increasing for women the risk of developing breast cancer have been identified such as family or personal history of breast cancer, early age for first menstruation, late age for first pregnancy and for menopause, and most probably nutrition habits. However the association between these factors and the probability to have breast cancer is not strong enough to allow for an efficient preventive strategy. The strongest association is still between breast cancer and age: risk of breast cancer increases with age.

The only efficient mean to reduce mortality due to breast cancer is its early diagnosis. Indeed, making diagnosis of breast cancer at an early stage of the disease improves the efficiency of its treatment in many cases although it is also true that for some breast cancers, such an early diagnosis could not help to improve treatment.

Among the different tests which could be used to make diagnosis of breast cancer it is generally agreed that mammography (breast X-ray) is the most appropriate test to be used for screening breast cancer considering feasibility, acceptability and cost of different potential tests which could be applied for screening.

Several trials have been conducted in USA, Sweden, and Netherlands which have demonstrated the ability of mammography to reduce mortality induced by breast cancer. The reduction of the mortality rate depending of procedures which are applied and of the efficiency of the screening varies from 20 to 40% among women who attend the screening. Some experts are still questioning the efficiency of breast cancer screening programs. Generally they are mentioning the limited impact of such screenings on general mortality rate among populations and the adverse effects of breast cancers screening programs in their arguments. It is true that such programs have only a limited effect on mortality but it is also important to underline that at present, there is no other way to reduce mortality due to breast cancer.

Most of the western countries where breast cancer is a serious health problem have implemented national programs of breast cancer screening by mammography. The European Union in its program “Europe against cancer” recommends to nation members to implement a breast cancer screening program. Guidelines have been defined in order to maximise the benefit of these programs.

Indeed, it is very important to obtain from those programs the maximum benefit that they could provide since from the beginning we know that mortality reduction will be only limited.

The two requirements that each program should satisfy to be efficient are the following:

Since mammography is the test which allows to make an early diagnosis of breast cancer it is essential that most of the women among the target population undergo this test. In other words, the attendance of women to the program should be as high as possible in order to be able to diagnose as much as possible breast cancer which could benefit of an early diagnosis. If attendance is too low, there will be a dilution effect of the benefit when this one is calculated in the target population. Experts agree that the attendance rate should be at least of 60 to 70% among eligible population in order to record an impact on breast cancer mortality rate. This condition makes very important to implement information campaigns among the public in order to obtain the highest possible participation of concerned women. Many scientific articles have shown how it is difficult to achieve good attendance rates since breast cancer is still a frightening disease for women and considering that mammography is not a mean to prevent breast cancer but a test which could only make women aware of the fact that they have breast cancer. It is also important to inform women about advantages and adverse effects of screening, specially the fact that it could happen that a breast cancer is present which will not be seen on the screening mammogram (false negative test).

Not only the attendance should be as high as possible but also the quality of the mammogram should be maximised in order to avoid as much as possible any false result of the test. This requirement is essential since in a screening program, not like in a diagnosis approach, the only information which is submitted to the radiologist is the mammogram. Therefore, the mammogram must be of the highest quality and provide to the radiologist all its information potential.

2 Description of the breast cancer screening program in canton of Vaud

The breast cancer screening program in canton of Vaud is the first program which was implemented in Switzerland. From October 1993 until January 1999, it was a pilot program conducted in 3 districts of the canton covering around 15.000 women aged from 50 to 70 years. The aim of this pilot program was to demonstrate the feasibility and the acceptability of such a program in the cultural and health environment of Switzerland. The program's procedures were mostly inspired from the European guidelines. The evaluation of the pilot program have confirmed that it was possible to reach the quality level required to obtain a benefit from the program. Concerning participation, although the program did not succeed to have a minimal attendance of 60% it was shown that 50% of the invited women underwent a screening mammogram. In addition, at least 20% of the invited women notified that they were making a mammogram outside the program. Therefore the general coverage of the target population by mammography was at least of 70%, including women who made their mammogram outside the program.

From march 1999, after that the federal social insurance law was adapted and included screening mammogram among preventive medical acts which should be reimbursed by the health insurance companies, the screening program was extended to the entire territory of canton of Vaud. During the same year, Wallis and Geneva started a similar screening program.

In canton of Vaud, the breast cancer screening program systematically invites every woman aged from 50 to 69 included to perform a screening mammogram in one of the radiology unit which applied to participate to the screening program. Every eligible woman is advised to consult her physician who is expected to inform her about advantages and limitations of the screening and to make a clinical examination to confirm that the woman is asymptomatic. Women aged 70 years and over are not invited for a breast cancer screening mammogram. However, since the federal law did not define any upper limit to the screening mammography, the program accepts any woman of these age if she has prescription from her physician.

In the invitation letter sent to the eligible women are joined a small information booklet explaining what is a screening mammogram as well as a list of the different radiology units working with the program where the invited woman could go for the screening test.

The radiology units applying to be included in the screening program should satisfy to the following requirements:

- The unit has to accept procedures and fees which were defined in a convention signed by the Insurance companies, the cantonal medical society (Société Vaudoise de Médecine) and the coordination unit (Fondation pour le Dépistage) which is responsible for the program.
- Radiologists and radiographers are required to get appropriate training and experience in the field of senology.
- The radiology units have to accept quality assurance program conducted by the coordination unit.
- Radiologist have to follow the reading procedures defined by the coordination unit.

3 Overview of the quality assurance program

As it was underlined in the introduction, it is essential that the screening program follows strict procedures in order to guarantee the best possible quality. European guidelines published by the program “Europe against cancer” are recommending quality control procedures and the Federal Office of social insurance submitted reimbursement of screening mammogram to the implementation of these procedures.

When a radiology unit applies to contribute to the screening program, as a first step, acceptance test is done in order to certify that the equipment used by this unit is good enough to be able to achieve the quality requirements.

In canton of Vaud the Quality assurance program includes three main parts:

- 1) Quality control of the equipment.
- 2) Quality control of the radiographers.
- 3) Quality control of the radiologists.

3.1 Equipment control

Quality control of the equipment includes all procedures which aim to insure that equipment used to perform mammograms is working optimally providing the best compromise between image quality and lowest possible dose of X-ray.

As soon as this unit starts to be part of the program, periodic measurements will be performed in the unit. These measurement concern mammographer, films and accessories used to produce mammograms, alternators, dark room as well as development machine and chemicals. According to the type of measurement performed some test are done by the radiographers and other by physicians.

Radiographers attached to the radiology units perform daily tests (sensito- and densitometry) which aim to control development chain's quality as well as weekly tests (phantom) which are needed to control film quality.

Quality control of the mammographer are performed once a year. They include several tests of the physical characteristics of the equipment and aim to insure that the equipment is working well.

3.2 Radiographer's supervision

3.2.1 Preliminary stage

Every radiographer working in a radiology unit which participates to the program should attend at least one session of screening performed by the radiographers of the coordination unit. This session gives the opportunity to assess the quality of mammograms performed by the applicant radiographer and also to make him/her familiar with the screening procedure. Indeed while the procedure applied by the radiographer for a diagnostic mammography is limited to positioning the patient, in the screening procedure, the radiographer is the only professional with whom the woman has a contact. Therefore the radiographer has an important role in making the woman relax, answering to her questions and administrating a questionnaire about her breast status. In addition, since there are no other investigations performed at the time of the screening, positioning of the patient is of highest importance to ensure that there is no missing part of the breast on the films. If such a problem happens there is no other way that to call back the woman to make a new mammogram. Such a situation should be avoided.

3.2.2 Special mammography training

For radiographers who would perform mammograms for the screening program and who have not the required experience, a special training is organised jointly by the school for radiographers and by the coordination unit including a theoretical approach of the screening programs as well as practical training in radiology units participating to the program.

3.2.3 Daily supervision of mammograms quality

One of the characteristics of the Vaud program is the centralisation for second reading of mammograms in the coordination unit. The radiographers of the coordination unit are in charge of displaying mammograms on alternators where radiologists will perform the 2nd and eventually 3rd reading. When displaying these mammograms they have the opportunity to detect any trouble with the quality of the mammograms (positioning, exposure, compression etc.) and to react without any delay by informing the concerned radiographers with the problems met.

3.2.4 Periodic seminars

Three to four times a year, seminars are organised also jointly by the school for radiographers and by the coordination unit. These seminars are composed of two parts:

- The first one is managed by the coordination unit and reviews the screening process in order to identify the potential problems which could be perceived from the radiology unit as well as from the coordination unit.
- The second part has a training objective and is devoted to a presentation by an expert in a field related to breast cancer screening program.

These seminars are of a great importance in a program like this one implemented in canton of Vaud. Indeed this program is decentralised since the mammograms are performed in radiology units which are not a part of the program organisation and are spread all over the canton. Therefore, it is really necessary to organise meetings where all professional working for the program could exchange their experience and feel that they share the running of the program.

3.2.5 Quantitative evaluation of mammograms

Since 2001, was initiated a procedure of quantitative evaluation of quality of mammograms performed by radiographers. The method is largely inspired of that one which was developed in United Kingdom and adapted in Luxembourg. The main interest of this method is to make as much as possible objective the evaluation by defining in advance the criteria which are evaluated and by specifying the severity of each one of these criteria.

In canton of Vaud one of the main goal of this procedure was to use that evaluation as a learning process. For that reason, all radiographers who are concerned by the mammograms which are evaluated are systematically invited to be present at time of evaluation in order to give them the opportunity to discuss the evaluation and to give them the chance to appreciate the validity of scores allocated to the mammograms they performed. Indeed in a decentralised program like this one, it is not realistic to apply constraining procedure since the personal is not administratively employed by the program. So it is important to obtain a voluntary process in which the radiographers understand what they could do to improve their mammograms.

Limitations of the procedure is mainly due to the fact that only a sample of mammograms could be evaluated and that the size of this sample is not large enough to be representative of all mammograms performed in each radiology unit. We also noted that the method should be adapted to become more significant in the specific context of our program.

The results of evaluation performed last year show a rather good homogeneity in the results from one unit to another (see table 2). The scores are generally not as good as in UK and the scores for medio-lateral incidence are generally worst than those for cranio-caudal incidence. One of the main reason of these results is probably the method of evaluation itself which should be adapted next year.

3.3 Quality assurance for Radiologist

3.3.1 Multiple reading procedure

As it is recommended by the European guidelines, every mammogram performed in the screening program is read successively by two radiologists independently. In case of discordance between the two readers, a third one will make a final reading after he considered the reading of the two first readers.

One of the challenge of a program like this conducted in canton of Vaud is the fact that screening is just starting and therefore it is not possible to ask from radiologists to have an extended experience in that field. For that reason, this multiple reading procedure is very much helpful because it centralises among a more experienced team of radiologists the second reading of each mammogram, giving an opportunity to improve the reading's quality.

Results of the pilot program have shown some interesting remarks:

- On a total of 85 cancers diagnosed during the pilot program, 29 radiologists did not detect abnormalities reflecting a breast cancer which was notified by the other radiologist and confirmed by the third one (see table 4). This underlines how it is crucial to ask for a multiple reading in order to decrease the rate of false negative readings.
- The third reading in case of discordance between the two first readers of mammograms was a procedure which led to a slight improvement of both sensitivity and specificity of the screening process (see table 3).

When the program was extended to the entire territory of the canton, many radiologists started to collaborate to the program. Many of them are entitled only to perform first reading of mammogram. A study of readings performed last year has shown the benefit which is provided by this multiple reading procedure. Indeed, more than one out of two positive mammograms of the first reader becomes negative after the second reading and is confirmed as negative by the third reader (see table 5). So this seems to demonstrate that it is possible to maintain a low level of positive mammograms by the more selective ability of second and third reader not to ask for additional investigations for minor abnormalities. This would have to be confirmed later by verifying the number of false negative cases of the program.

3.3.2 Monitoring sheets

For each mammogram which was positive at the end of the reading process, the coordination unit is making a follow-up enquiry in order to get information about the final diagnosis and treatment. Every radiologist who was involved in the reading process of these mammogram will receive a monitoring sheet which makes him able to assess his accuracy in reading mammograms (see annex 1).

3.3.3 Reading statistics

Since the reading process is standardised and that all readings of mammograms are recorded on the screening software, periodically are issued statistics of reading for every radiologist participating to the program. The aim of those statistics is to provide radiologists with information about their own performances compared to those of the whole group of radiologists as well as to compare their readings to the final results of investigations for positive mammograms (see annex 2).

The most significant information for them is about

- their own proportion of positive mammograms compared to that of all radiologists,
- the number of breast cancers which were diagnosed among mammograms they read negative.

3.3.4 Quarterly seminars

Periodically, radiologists are invited to screening seminars where all cases for which a anatomo-pathologic diagnosis was performed in order to compare the radiology diagnosis with the histologic diagnosis. All cases with a breast cancer are reviewed by this method as well as many non malignant diagnosis for which an open biopsy was performed.

4 Some results of the quality control process

4.1 Audits about equipment's control

Since the year 2000, the “Institut de radiophysique appliqué” (IRA) in Lausanne is in charge of performing once a year visits of each radiology unit participating to the breast cancer program. Results of last year are showed in table 1. They indicate that every unit has a satisfactory compromise between X-ray dose and image quality according to the standards defined by the guidelines issued by Europe against cancer program.

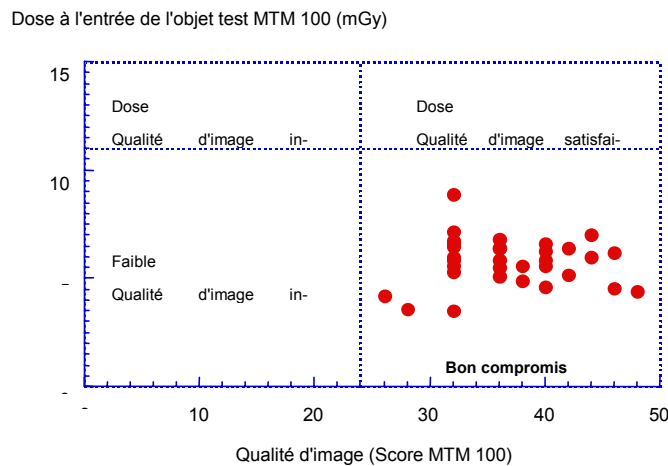


Table 1: Ratio image quality/X-ray dosis for each radiology unit (Source : F.-R. Verdun et al.: Programme d'assurance de qualité pour le dépistage mammographique Bilan des Aspects techniques ; Bulletin des médecins suisses 2001 ; 82 : Nr 12).

Such a result demonstrates that even when many different units are participating to a screening program it is possible to achieve a good level of quality of the screening.

4.2 Radiographers supervision: assessment of quality of mammograms performed by radiographers

Table 2 indicates that for almost all the radiology units, the proportion of non adequate mammograms is below 10% (mean = 7%). According to the UK standards it should be less or equal to 3%. However, the method used in Vaud is still experimental and needs to be adapted before to be entitled to reflect accurately the quality of mammograms performed by radiographers.

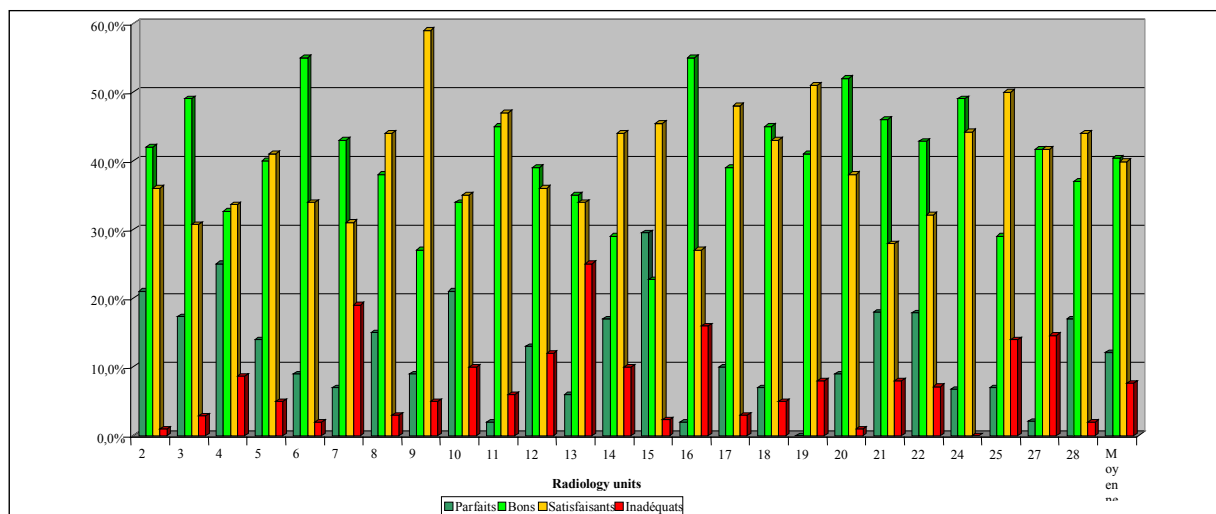


Table 2: Distribution of quality of mammograms for each radiology unit.

4.3 Quality assurance for radiologists

4.3.1 Effects of multiple reading during the pilot program

Effect on sensitivity and specificity of the screening

Table 3 shows how the third reading has influenced sensitivity and specificity of screening during the pilot program (1993-1998). 234 of the 491 mammograms with one positive result (48%) were maintained as positive mammogram after the third reading while 257 (52%) became negative mammograms after the third reading.

1st/2nd readings positive/negative	Result of 3th reading	1st/2nd readings positive/ positive
491 (81%)	positive 340 (56%)	106 (91%)
234 (48%)	←	←
257 (52%)	negative 267 (44%)	10 (9%)
		116 (19%)

Table 3: Influence of 3rd reading on sensitivity and specificity of screening.

2 readings		3 readings	
24 screened cancers (28% of all screened cancers)		61 screened cancers (72% of all screened cancers)	
First screening	Following screenings	First screening	Following screenings
17 cancers (32% of screened cancers at the first screening)	7 cancers (22% of screened cancers at the following screenings)	36 cancers (68% of screened cancers at the first screening)	25 cancers (78% of screened cancers at the following screenings)
Cancers not detected by one of the two first readers		15 (21% of all readings)	14 (28% of all readings)

Table 4: Effect of multipole reading on breast cancer detection during the pilot program (1993-1998).

In addition 10 mammograms which were positive for both first and second reader but showing discordance in the kind of abnormality, were shifted as negative mammograms by the third reader. Without third reading and supposing that half of mammograms with positive and negative mammograms would be considered as positive we would expect to count 361 positive mammograms ($491/2 + 116$). At the end of the third reading process, we have 340 positive mammograms instead of 361, a decrease of 5,8%. This demonstrates that third reading will slightly decrease the recall rate and increase the sensitivity of mammography of 6%. We may consider that specificity was also slightly increased by this method since after a delay of 2 years no one cancer was diagnosed among the cases which were shifted from positive to negative after the third reading.

Table 4 summarises the effect of multiple reading during the pilot program on breast cancer diagnosis.

It shows that three quarters of the breast cancers needed 3 readings. This could be easily explained by the fact that the presence of serious abnormalities will increase the probability to be described differently by the two first radiologists and therefore the probability of discordance between them. The proportion of three readings is not significantly higher for prevalent cancers (cancers diagnosed at the first round of screening) than for incident breast cancers (cancers diagnosed at a subsequent round).

As already noted this table shows how multiple reading is a good method in order to decrease errors of interpretation. Since the non detection of a breast cancer could have happened for the first or for the second reader the frequency noted in the table has to be divided by two if we want to record the probability of misinterpretation (10% during the first screening and 14% during the following screenings).

4.3.2 Effect of multiple reading during the extended program

Radiology unit	First reading			Definitive reading		
	Number of mammograms considered for 1 st reading	positive mammograms after 1 st reading		Number of mammograms considered for definitive reading	positive mammograms after definitive reading	
		N	%		N	%
Institut A	622	69	11,1	548	32	5,8
Institut B	337	21	6,2	347	11	3,2
Institut C	163	26	16,0	163	22	5,7
Instituts D + E	672	60	8,9	386	36	6,5
Instituts F + G	539	96	17,8	554	36	6,5
Institut H	554	65	11,7	564	27	4,8
Instituts I + J	182	21	11,5	192	13	6,8
Institut K	883	110	12,5	886	46	5,2
Institut L	308	68	22,1	186	12	6,5
Institut M	442	51	11,5	443	16	3,6
Instituts A à M	4.702	587	12,5	4.269	227	5,3

Table 5: Influence of multiple reading on the screening quality during the extended program.

Since the extended program started only two years ago this is a preliminary result which should have to be confirmed later. This table shows clearly that even if many radiologists have not an appropriate experience of reading mammograms, still the reading quality may be there if we ensure that second and third readers have such an experience. Indeed, the recall rate which is too high at the end of the first reading (average of 12.5%) according to the European guidelines, we see that at the end of the multiple reading, this recall rate is in the range recommended by European guidelines (between 5 to 7%). It is im-

portant to remind that second radiologist makes his reading without knowing the result of the first one. Therefore he could not be influenced in a way or another by knowing who has performed the first reading. However, he will shift in negative result more than half of the positive readings of the first reader and be confirmed most of the time by the third reader.

5 References

- [1] Levi, F.; La Vecchia, C.: L'épidémiologie du cancer du sein et ses implications pour le dépistage. *Méd Hyg*, 48: 2868-2873, 1990.
- [2] Kerlikowske, K.; Grady, D.; Rubin, S.; Sandrock, C.; Ernster, V.: Efficacy of screening mammography. A meta-analysis. *JAMA*, 273: 149-154, 1995.
- [3] Quality assurance in the epidemiology of breast cancer screening in "European guidelines for quality assurance in mammography screening". Bruxelles, European commission-Europe Against Cancer. 3rd edition (January 2001) Editors: N. Perry, M. Broeders, C. de Wolf, S. Törnberg.
- [4] F.R. Verdun, J.-P. De Landtsheer, C. Jemelin, B. Delanoy Ortega, C. Hessler, J.-F. Valley: "Dépistage du cancer du sein organisé. Qu'en est-il de l'irradiation des patientes?" *Médecine et Hygiène 2000*; **2176-2186**, Nr 58.
- [5] J.-P. De Landtsheer, B. Delanoy Ortega et C. Jemelin: Dépistage du cancer du sein: analyse comparée de trois programmes suisses; *Médecine et Hygiène 2000*; **1407-1410**, Nr 58.
- [6] J.-P. De Landtsheer, C. Hessler, F. Levi, J.-F. Delaloye, P. De Grandi, F. Paccaud: Dépistage organisé du cancer du sein et pratique médicale. L'expérience vaudoise: bilan et perspectives; *Bulletin des médecins suisses 1998* ;79 : Nr34.
- [7] Procédure concernant le contrôle de qualité des installations de mammographie impliquées dans programme pilote de dépistage du cancer du sein; Institut de Radiophysique Appliquée, Lausanne, 1998.
- [8] F.-R. Verdun, J.-P. De Landtsheer, C. Jemelin, B. Delanoy Ortega, C. Hessler, J.-F. Valley: "Programme d'assurance de qualité pour le dépistage mammographique Bilan des Aspects techniques"; *Bulletin des médecins suisses 2001* ; 82 : Nr 12.

Annex 1: monitoring sheet

FONDATION POUR LE DÉPISTAGE DU CANCER DU SEIN FICHE DE TRANSMISSION AUX RADIOLOGUES
--

Dossier N° 22732/286
 Patiente : XXXX
 Née le 22.11.1936
 Médecin traitant : YYYY

PROTOCOLE DE LECTURE

Date de la mammographie: 03.12.1999
 Examen N° : 1
 Première lecture :
 Deuxième lecture :
 Troisième lecture :

Lectures	Codes diagnostics							
1ère lect.	SG							N
2ème lect.	SM	Calc	CR	RG		QSEG		PB
3ème lect.	SG	Les	FI	BS	DE	QSED		PB

Recommandations: compression localisée
 échographie

PROCEDURES D'INVESTIGATION**Lésion 1 :**

Diagnostic clinique :	tumeur non palpée	
Mammographie de contrôle :	15.12.1999	malin
Echographie de contrôle :	15.12.1999	malin
Cytoponction :	non faite	
Biopsie chirurgicale :	13.01.2000	
	IPA	malin
Repérage :	radiologique avec hameçon	

DIAGNOSTIC ET TRAITEMENT

Diagnostic : Carcinome canalaire invasif avec carcinome in situ
 Localisation: QSE sein droit

Tumeur maligne

Stade évolutif de la tumeur

- stade clinique :	T0
- grade :	I
- ganglions prélevés :	18
- ganglions positifs :	0
- effraction capsulaire	non
- stade T :	T1b
- métastases :	non

Traitement instauré : Tumorectomie le 13.01.2000
 Reprise de tumorectomie et curage axillaire le 09.02.2000
 Radiothérapie
 Date du début du traitement 09.12.1999

Follow-up: Sortie du dépistage

Annex 2 : Readings statistics

NAME Firstname (radiologist N° X)

Table 1

Période 1

		← A →												← B →											
		1st / 2nd readings						Third readings																	
								← Groupe 1 →				← Groupe 2 →				← Groupe 3 →									
		Total rad. X		All radiologists		Total of 1st/2nd readings submitted to a 3th reading				1st/2nd readings confirmed by the 3th reading				1st/2nd readings not confirmed by the 3th reading											
Nb		%		Nb		%		Nb		%		Nb		%		Nb		%							
Negative readings																									
Positive readings	PB																								
	PM																								
	M																								
	Total																								
Total of readings																									

Table 2

Période 1 with deduction of 6 months

		← C →												← D →								
		1st / 2nd readings						Third readings						Investigated mammograms			Cancers diagnosed					
								← Groupe 1 →			← Groupe 2 →			← Groupe 4 →			← Groupe 5 →					
		Total rad. X		All radiologists		Total rad. X		All radiologists		Total rad. X		All radiologists		Total rad. X	All radiologists		Total rad. X	All radiologists				
Nb		%		Nb		%		Nb		%		Nb	%		Nb	%*						
Negative readings																						
Positive readings	PB																					
	PM																					
	M																					
	Total																					
Total of readings																						

*: pourcentage of screened cancers among investigated mammograms

**Diagnostische Referenzwerte:
Konzept und Anwendung in der
Röntgendiagnostik**

*R. Veit
Bundesamt für Strahlenschutz, Institut für Strahlenhygiene,
Abteilung für Medizinische Strahlenhygiene, Neuherberg*

Inhalt

1	Einleitung.....	103
2	Konzept der diagnostischen Referenzwerte (DRW)	103
3	Anforderungen der Europäischen Kommission	103
4	Umsetzung in Deutschland	104
5	Grenzen des Konzepts der DRW und „Achievable Doses“	107
6	Literatur.....	109

1 Einleitung

Die diagnostischen Referenzwerte (DRW) wurden von der ICRP erstmals in ihrer Publikation 73 als Mittel der Optimierung des Strahlenschutzes in der Medizin empfohlen. Durch Übernahme des Konzepts der DRW in die Richtlinie 97/43/EURATOM, die sog. Patientenschutzrichtlinie der Europäischen Kommission, sind die Mitgliedsstaaten der EU nun zur Einführung der DRW in das nationale Strahlenschutzrecht verpflichtet.

2 Konzept der diagnostischen Referenzwerte (DRW)

In der ICRP-Publikation 73 [1] ist das Konzept der DRW ausführlich dargestellt: Mit Hilfe der DRW sollen zunächst unnötig hohe Patientendosen erkannt und dann dadurch vermieden werden, dass ihre Ursachen gefunden und beseitigt werden. Das gelingt am einfachsten durch die Wahl der DRW als Prozentwert einer erhobenen Patientendosisverteilung vieler Anwender, z.B. als 75%-Perzentile. Eine solche Festlegung würde bedeuten, dass die 25% der Anwender, deren Mittelwerte der Patientendosis über dem DRW liegen, ihre Verfahren bzw. ihre Gerätetechnik so ändern, dass auch sie den DRW einhalten. Bei periodischen Überprüfungen der mittleren Patientendosen aller Anwender auf Einhaltung der DRW führt dieses Procedere automatisch zu einer Verschiebung der Patientendosisverteilung zu niedrigeren Dosen und, wegen der Wahl der 75%-Perzentile, auch zu niedrigeren DRW. Diese modifizierten DRW können wiederum zu einer weiteren Dosisreduktion führen, bis schließlich mehr oder weniger alle Anwender optimierte Verfahren und Techniken verwenden. Die Realisierbarkeit dieses Konzepts wurde in Großbritannien schon Mitte der 90er Jahre gezeigt.

3 Anforderungen der Europäischen Kommission

Die Patientenschutzrichtlinie der EU [2] definiert DRW für den Bereich der Röntgendiagnostik als „Dosiswerte für typische Untersuchungen, für Gruppen von Standardpatienten oder Standardphantome und für allgemein definierte Gerätearten, die bei guter und üblicher Praxis nicht überschritten werden sollen“. Sie fordert die Erstellung und Anwendung von DRWn unter Berücksichtigung europäischer DRW sowie die Erstellung schriftlicher Protokolle für alle Stan-

dardanwendungen an allen Geräten. Bei beständiger Überschreitung der DRW sind lokale Überprüfungen und ggf. Abhilfemaßnahmen vorzunehmen. Der Betreiber der radiologischen Anlage muss geeignete Qualitätssicherungsprogramme einschließlich der Ermittlung der Patientendosis durchführen. Die zuständigen Behörden müssen spezifische Kriterien für die Zulässigkeit der Geräte festlegen und dafür sorgen, dass die Betreiber Unzulänglichkeiten und Mängel der Geräte beheben. Neue Geräte müssen, „sofern durchführbar, eine Einrichtung zur Unterrichtung der anwendenden Fachkraft über die Menge der vom Gerät während des radiologischen Verfahrens erzeugten Strahlung besitzen“, also mit anderen Worten: eine Dosisanzeige haben.

Die „Guidance on diagnostic reference levels for medical exposures“ [3] der Europäischen Kommission von 1999 gibt etwas konkretere Anleitungen zur Einführung der DRW: Danach sind einheitliche DRW in der EU zu bevorzugen. Falls Mitgliedsstaaten eigene nationale DRW festlegen wollen, müssen Dosismessungen durchgeführt werden. Nach Einführung der DRW sollen periodische Ermittlungen der Patientendosis bei allen Anwendern an allen Geräten erfolgen (Ziel: jährlich), die Dosismittelwerte sollen mit den DRWn verglichen werden. Die Verwendung eines Phantoms soll nur dann möglich sein, wenn die DRW für ein Phantom gelten, dieses überall verfügbar ist und Konversionsfaktoren von Phantom zu Patient existieren. Der Mittelwert der Dosis von allen (unselektierten) Patienten (Minimum 10) wird im Allgemeinen als hinreichend genauer Wert für die Dosis eines Standardpatienten (70 ± 3 kg) angesehen. Die Verwendung des Dosis-Flächen-Produktes (DFP) wird als praktischste Messgröße für DRW empfohlen.

4 Umsetzung in Deutschland

Zur Unterstützung des zuständigen Ministeriums (BMU) bei der Einführung der DRW in Deutschland wurde eine Expertengruppe aus Ärzten und Medizinphysikern unter Leitung des BfS gegründet. Nach bisher 4 Fachgesprächen wurde vorgeschlagen, für Deutschland eigene DRW festzulegen und zwar auf der Basis aktuell gemessener Patientendosiswerte, die im Rahmen von Drittmittelprojekten des BMU erhoben wurden. Bei der Computertomographie (CT) wird zusätzlich eine bundesweite Umfrage bei den Anwendern durch die Deutsche Röntgengesellschaft (DRG) und den Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) [4] ausgewertet.

Bezüglich der Messgrößen für die Patientendosen wurden folgende Vereinbarungen getroffen: Bei Röntgenaufnahmen können drei Messgrößen parallel verwendet werden, nämlich das DFP (Priorität), die Oberflächendosis oder die

Einfalldosis. Als Alternative kann die Einfalldosis auch aus der Anzeige des Röhrenstrom-Zeit-Produkts (mAs-Anzeige) und der Dosisausbeute (bzw. der Kenndosis) des Röntgengeräts nach DIN 6809-7 [5] abgeschätzt werden. Das geht allerdings nur dann, wenn das betreffende Gerät eine mAs-Anzeige besitzt, und die Dosisausbeute (Dosis frei in Luft im Normabstand pro mAs als Funktion der Hochspannung in kV) in der Abnahmeprüfung und/oder Sachverständigenprüfung gemessen wird, was bisher nicht der Fall ist.

Bei Durchleuchtungsuntersuchungen dient das DFP als Messgröße. Für die Geräte, an denen solche Untersuchungen gemacht werden, müsste also, z.B. über entsprechende Mindestanforderungen in der Richtlinie zur Sachverständigenprüfung (RW 13), die Nachrüstung mit einem entsprechenden Messgerät verlangt werden.

Bei der CT soll es zwei Messgrößen geben: den gewichteten CT-Dosisindex $CTDI_w$ als Maß für die Dosis einer Schicht sowie das Dosis-Längen-Produkt (DLP) als Maß für die Dosis einer gesamten CT-Untersuchung. Da die Messung des normierten, gewichteten CT-Dosisindex $nCTDI_w$ ($CTDI_w$ pro mAs) in der Konstanzprüfung für ältere CT-Geräte noch nicht vorgeschrieben ist, kann dieser Wert, der ja Gerätetyp-spezifisch ist, auch aus Herstellerangaben oder aus der Literatur übernommen werden, um damit durch Multiplikation mit dem verwendeten mAs-Produkt den $CTDI_w$ zu berechnen.

Es muss noch erwähnt werden, dass für die Mammographie die Einfalldosis bzw. die Entrance Surface Air Kerma (ESAK) als Messgröße vorgesehen ist, wobei deren Ermittlungsverfahren aus dem European Protocol on Dosimetry in Mammography [6] übernommen werden soll.

Für die Interventionelle Radiologie wurden bereits für drei Untersuchungsarten die folgenden konkreten DFP-Werte als DRW vorgeschlagen: $100 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$ für PTA, $120 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$ für PTCA und $250 \text{ Gy} \cdot \text{cm}^2$ für TIPSS.

Schließlich sollen auch für die dentale Radiologie DRW festgelegt werden und zwar als DFP-Werte für intraorale Aufnahmen, Panorama-Schichtaufnahmen und Schädel-Fernaufnahmen.

Die aktuellen Ergebnisse der Dosiserhebung bei häufigen Röntgenaufnahmen, Durchleuchtungs- und CT-Untersuchungen sowie die korrespondierenden DRW der EU (EU-DRW) sind in den Tabellen 1 bis 3 zusammengefasst. Als Faustregel wurde vereinbart, dass nur dann ein eigener deutscher Referenzwert eingeführt werden soll, wenn der Mittelwert der Patientendosis aus den Erhebungen um mehr als den Faktor 2 vom europäischen DRW abweicht.

Tab. 1: In den Jahren 1998/99 ermittelte Dosiswerte für häufige Röntgenaufnahmen.

Aufnahme	n	Mittelwerte der Patientenexposition			EU-DRW ESD [mGy]
		DFP [cGy * cm ²]	AK ⁽¹⁾ [mGy]	ESD ⁽²⁾ [mGy]	
Schädel ap/pa	151	44	1,5	2,0*	5,0
Schädel lat	74	72	1,7	2,2*	3,0
Thorax pa	353	12,7	0,13*	0,18	0,3
Thorax lat	308	46,3	0,5*	0,7*	1,5
HWS ap	186	38,7	1,1*	1,4*	-
HWS lat	192	20,2	0,6*	0,8*	-
BWS ap	163	146	3,4	4,6*	-
BWS lat	142	164	4,5	6,1*	-
LWS ap	317	231	5,3	7,2*	10
LWS lat	325	476	12,7	17,1*	30
Becken ap	360	196	2,5	3,5*	10
Abdomen RL	165	228	3,3	4,6*	10 ⁺
Abdomen LSL	21	235	2,8*	4*	10 ⁺

⁽¹⁾ Einfalldosis (Air Kerma) * berechnet aus DFP, Geometrie und Rückstrefaktor (RF)

⁽²⁾ Oberflächendosis (AK*RF) + Abdomen

Tab. 2: In den Jahren 1998/99 erhobene Daten für Durchleuchtungsuntersuchungen

Untersuchung	n	Mittelwert DFP [cGy * cm ²]	EU-DRW DFP [cGy * cm ²]
(Oesophagus)	71	824	-
Magen	65	3.881	2.500 *
Dünndarm	292	5.795	-
Kolon KE	129	5.626	6.000 ⁺
Phlebographie Bein-Becken	108	702	-
Arteriographie Becken-Bein	54	7.746	-

* *barium meal*

⁺ *barium enema*

Tab. 3: 1998/99 erhobene Daten zur Patientenexposition bei CT-Untersuchungen.

Unter- suchung	Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage (DRG/ZVEI) [4] bzw. Auswertung von n CT-Protokollen im Raum Nürnberg (RN)						EU- Referenzdosiswert (EUR 16262)	
	Zahl (#) der CT- Systeme DRG / ZVEI	# der Anwend- er / n RN	75 %-Perzentile CTDI _w [mGy]		75 %-Perzentile DLP [mGy · cm]		CTDI _w [mGy]	DLP [mGy · cm]
			DRG / ZVEI	RN	DRG / ZVEI	RN		
Gehirn	810	4 / 189	<u>66</u>	<u>61,5</u>	<u>1175</u>	917,7	60	1.050
Thorax	798	4 / 211	22	14,5	<u>648</u>	512,1	30	650
Abdomen	791	4 / 362	24	14,5	<u>1505</u>	662,9	35	780
Becken	763	3 / 14	28	14,5	<u>784</u>	291,4	35	570
Ges.Sch.	792	3 / 44	<u>46</u>	31,4	<u>890</u>	258,0	35	360
NNH	792	3 / 102	<u>56</u>	24,7	<u>626</u>	215,9	35	360
Leber	782	3 / 36	25	10,9	771	483,6	35	900
LWS	794	3 / 74	47	16,7	283	307,2	-	-

Zunächst soll die Datenlage in einem weiteren Fachgespräch diskutiert werden, bevor konkrete DRW für die verschiedenen Untersuchungen festgelegt werden. Diese Aufgabe, Erstellung und Veröffentlichung der DRW, soll nach dem aktuellen Stand der Novellierung der Röntgenverordnung (RöV) das BfS übernehmen.

Noch nicht ganz geklärt sind auch die praktischen Aspekte der Dosismessungen in Kliniken und Praxen zur Einhaltung der DRW und deren Kontrolle. Nach dem derzeitigen Stand der RöV soll die Kontrolle der DRW durch die Ärztlichen Stellen erfolgen, deren Aufgaben dadurch wesentlich erweitert wird. Einzelheiten sollen in entsprechenden Richtlinien zur RöV geregelt werden.

5 Grenzen des Konzepts der DRW und „Achievable Doses“

In einer neueren Veröffentlichung des NRPB [7] wurden kürzlich die Grenzen des Konzepts der DRW aufgezeigt. Danach geht dieses Konzept nur so lange auf, wie große Dosisunterschiede für die gleiche Untersuchungsart bei den Anwen-

dem vorliegen. Durch konsequente Anwendung der DRW sollte jedoch mit der Zeit die Variationsbreite der Patientendosis abnehmen und das Niveau der Dosen sinken. Aus physikalischen Gründen ist aber eine unbegrenzte Dosisreduktion bei gegebener Technik unmöglich ohne eine Verschlechterung der Bildqualität.

Im Allgemeinen existiert jedoch gleichzeitig ein Spektrum verschiedener Gerätetypen mit unterschiedlicher Technik. Durch die Anwendung der DRW wird die schlechtere Technik nach und nach eliminiert. Für diejenigen unter den 75 % der Anwender, deren Patientendosen schon aufgrund der verwendeten Technik unterhalb der DRW liegen, sind die DRW keine Motivation zu weiterer Optimierung. Deshalb wird die Verwendung von „achievable doses“ vorgeschlagen. Das sind Dosiswerte, die bei Einhaltung einer bestimmten Technik bei einer Gruppe von Patienten leicht erreichbar sind unter Wahrung der adäquaten Bildqualität, jedoch keine Optimaldosen. Sie sollen, nach Ansicht des NRPB, zusätzlich zu den DRW eingeführt werden, und zwar: kurz- und mittelfristig als Ergänzung der DRW, langfristig als Ersatz für die DRW.

Tabelle 4 gibt einige Werte aus [7] für „achievable doses“ an, wobei die verwendete Technik vergleichbar ist mit der in den Leitlinien der Bundesärztekammer empfohlenen Technik. Sie liegen um ca. einen Faktor 2-3 unter den vergleichbaren EU-DRW.

Tab. 4: Beispiele für „achievable doses“ für Röntgenaufnahmen (aus [7]).

Radiograph	1993 reference dose (mGy)	Achievable dose (mGy)
Lumbar spine AP	10	5
LAT	30	12
LSJ	40	24
Abdomen AP	10	6
Pelvis AP	10	4
Skull AP/PA	5	1,5
LAT	3	1

Die Expertengruppe zur Einführung der DRW hat sich ebenfalls, zumindest für Röntgenaufnahmen, für die zusätzliche Festlegung von „erreichbaren Dosen“ ausgesprochen. Hierbei bietet es sich an, diese Werte der „achievable doses“ in einem ersten Schritt als „erreichbare Dosen“ zu übernehmen.

Die Einführung der DRW bedeutet also noch nicht das Ende der Optimierung im Strahlenschutz in der Medizin, sondern die Bemühungen zur Reduktion der

Strahlenexposition des Patienten müssen weiter gehen, auch auf der Ebene der Rechtfertigung mit dem Versuch, eine strengere Indikationsstellung für Röntgenuntersuchungen zu erreichen.

6 Literatur

- [1] ICRP Publication 73: Radiological Protection and Safety in Medicine; Pergamon Press, Oxford 1996.
- [2] Council Directive 97/43/EURATOM of 30 June 1997 on Health Protection of individuals against the dangers of ionising radiation in relation to medical exposure; Official Journal of the European Commission, No L 180.
- [3] Radiation Protection 109: Guidance on diagnostic reference levels (DRLs) for medical exposures; European Commission, Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, 1999.
- [4] M. Galanski, H.D. Nagel, G. Stamm: Expositionsdosis bei CT-Untersuchungen: Ergebnisse einer bundesweiten Umfrage; Fortschr. Röntgenstr. 2000; 172, M164-M168.
- [5] DIN 6809-7: Klinische Dosimetrie: Verfahren zur Ermittlung der Patientendosis in der Röntgendiagnostik (in Überarbeitung).
- [6] J. Zoetelief, M. Fitzgerald, W. Leitz, M. Säbel: European Protocol on Dosimetry in Mammography, EUR 16263 EN, 1996.
- [7] Guidelines on Patient Dose to Promote the Optimisation of Protection for Diagnostic Medical Exposures, Documents of the NRPB, Volume 10 No 1, 1999.

Bewertung der medizinischen Strahlenexposition in der Röntgendiagnostik

*R. Loose, Th. Schmidt & M. Wucherer
Klinikum der Stadt Nürnberg*

Inhalt

1	Einleitung	115
2	Nutzen und Schaden	116
3	Altersverteilung und Risiko	117
4	Literatur	121

1 Einleitung

Wohl in keinem anderen Bereich der Medizin ist Nutzen, Risiko und Altersverteilung so schlecht bekannt wie in der radiologischen Diagnostik. Dabei wird der Strahlenschaden häufig aus Unwissenheit überschätzt und irrational diskutiert. Insbesondere bei der Schadensabschätzung wird die Altersabhängigkeit des stochastischen Risikos nicht berücksichtigt. Dabei ist die Altersverteilung von Patienten im Prinzip heute mittels RIS relativ leicht ermittelbar. Literaturrecherchen über Altersverteilung von Patienten in Abhängigkeit von Untersuchungsmethoden ergeben jedoch ein eher dürftiges Ergebnis. Der Gesamtschaden einer röntgendiagnostischen Untersuchung beinhaltet sowohl den Gesundheitsschaden (juristischer Tatbestand der Körperverletzung) einschließlich Minderung der Lebensqualität. Das Strahlenrisiko einer Untersuchung ist, solange in der diagnostischen Radiologie deterministische Schäden ausgeschlossen werden können, als Strahlenrisiko unter gewissen Annahmen [1] berechenbar. Die Lebensqualität kann durch falsch positive Befunde beeinflusst werden. Die Risiken dieser Schadensereignisse sind charakterisiert durch Prävalenz und Spezifität der Untersuchungsart. Sowohl das Strahlenrisiko als auch Prävalenz, und bedingt auch Spezifität, weisen eine starke Altersabhängigkeit auf. Insbesondere bei Screening-Verfahren und im Hinblick auf die „Rechtfertigende Indikation“ (RöV) ist die Prävalenz von großem Interesse.

Auch wenn einige Ansätze zur Quantifizierung des Nutzens (Stender und Hagemann [2]) existieren, ist die Datenlage zur Angabe des Nutzens der diagnostischen Radiologie eher kümmerlich. Schon Stender und Hagemann spalten dabei den Nutzen in mindestens zwei Gruppen unterschiedlicher Prävalenz auf:

- Nutzen bei Vorliegen von Krankheitssymptomen und
- Nutzen bei sog. Routineuntersuchungen (z.B. Screening).

Grundsätzlich ist der Nutzen eines diagnostischen Verfahrens immer mit den damit verbundenen therapeutischen Konsequenzen gekoppelt, d.h. durch die diagnostischen Aussagen kann die Lebensqualität verbessert, Leben verlängert bzw. gerettet werden.

Angerstein [3] schlägt zur Quantifizierung des Nutzens, bei einer bestimmten Fragestellung den Quotienten Q ,

$$Q = \frac{\text{Anzahl der Untersuchungen}}{\text{Anzahl der Untersuchungen mit Aussagewert}}$$

vor. Ausschlussdiagnosen müssen hierbei zu den Untersuchungen mit Aussagewert gerechnet werden, da diese sicher Einfluss für weitere diagnostische Maßnahmen und Therapieentscheidungen haben.

2 Nutzen und Schaden

In Anlehnung an Angerstein [3] und Stender [2] ist in Tab. 1, bei Vorliegen von Symptomen, der mögliche Nutzen röntgendiagnostischer Maßnahmen zusammengestellt. Dabei wird in Tab. 1 sowohl der Nutzen einer Untersuchung mit therapeutischen Folgen als auch der Nutzen einer Ausschlussdiagnostik aufgeführt.

Tab. 1: Nutzen röntgendiagnostischer Maßnahmen (Auswahl) nach [2] und [3].

- Klärung der Symptome
- Differentialdiagnostik und damit Hinweise für therapeutisches Vorgehen
- Informationen zur Morphologie und Funktion (Hinweise für Chirurgie und andere therapeutische Verfahren)
- Ausschluss von Infektionsquellen (z.B. Tbc)
- Kombination von Diagnostik und Therapie (Interventionelle Radiologie)
- Therapie-Verlaufskontrolle

Der in der Röntgenverordnung (RöV) eingeführte Begriff der “rechtfertigenden Indikation“ orientiert sich an diesem Nutzen, unter gleichzeitiger Berücksichtigung eines evtl. Schadens. Beim Schaden ist dabei nicht nur an den Strahlenschaden zu denken. In Tab. 2 ist an einem speziellen Beispiel (PTCA) versucht, die Größenordnung der Schäden einander gegenüberzustellen.

Tab. 2: Risiken bei Koronarerkrankungen (PTCA).

Strahlenrisiko	=	f (Dosis, Alter, ...)	$\approx 10^{-3} - 10^{-4}$
	<<	Risiko des Eingriffs (Kontrastmittel, usw.)	$\approx 10^{-3}$
	<<	Operationsrisiko (einschl. Narkoserisiko)	$\approx 10^{-2} - 10^{-3}$
	<<	Spontanverlauf	$\approx 10^0$

Untersuchungen asymptomatischer Bevölkerungsgruppen, wie das z.Zt. in Deutschland nicht zugelassene und in den Ministerien heftig diskutierte Mammographiescreening oder die früher zugelassene Lungenreihenuntersuchung zeigen, unterliegen anderen Kriterien. Hier wird der Nutzen an der Anzahl der vermiedenen Todesfälle (im Vergleich zu einer Kontrollgruppe) gemessen. Die falsch positiven Befunde verdienen bei diesen Verfahren besondere Betrachtung.

3 Altersverteilung und Risiko

Alle diagnostischen Maßnahmen – und dies gilt auch für die Radiologie – sind mit Risiken verknüpft. In den nachfolgenden Betrachtungen interessiert jedoch nur das Strahlenrisiko. Dabei soll hier der allgemein von WHO, UNSCEAR, ICRP, BEIR, NRPB, SSK usw. akzeptierte lineare Zusammenhang zwischen Strahlenrisiko und -exposition mit dem teilweise leicht unterschiedlichen Risikokoeffizienten als gegeben hingenommen werden.

Die Nutzung der Größe der effektiven Dosis für die Bewertung der Strahlenexposition des Patienten in der Röntgendiagnostik hat sich trotz der Vorbehalte von ICRP [1] durchgesetzt. Dies gilt sowohl für den einzelnen Patienten als auch für die Beschreibung der mittleren, kollektiven Strahlenexposition der Bevölkerung [4]. Während die effektive Dosis für einen Methodenvergleich sicherlich eine geeignete Größe darstellt, ist sie als Grundlage für die Berechnung des Strahlenrisikos nur unter bestimmten Voraussetzungen geeignet. Die Strahlenschutzkommission [5] hat hierzu eine eigene Empfehlung formuliert.

In der Regel wird ein nicht vernachlässigbarer Fehler bei der Risikoberechnung von Patientengruppen in der Röntgendiagnostik gemacht, wenn die Risikokoeffizienten der ICRP [1], die für die Gesamtbevölkerung bzw. für beruflich Strahlenexponierte bestimmt wurden, verwendet werden. Diese Risikokoeffizienten können in der Pädiatrie zu einer Unterschätzung des Risikos um ca. den Faktor 2 und in der Geriatrie zu einer Überschätzung um ca. den Faktor 5 führen. Neben der Altersverteilung von Patienten muss auch deren Geschlecht bzw. deren Verteilung mit berücksichtigt werden.

Zur Berücksichtigung des Alters sind mehrere Möglichkeiten denkbar. In Tab. 3 sind zwei Methoden angedeutet.

Tabelle 3: Berücksichtigung der Altersverteilung von Patienten zur Bestimmung des mittleren Strahlenrisikos von Patientengruppen bzw. der Bevölkerung.

Altersgewichtete effektive Dosis [6]	Altersgewichteter Risikokoeffizienten [5]
$E_{\text{age},j} = k_{\text{age},j} \cdot E_j$ <p>mit $k_{\text{age},j} = \sum_i \frac{r_i}{r} \cdot v_{i,j}$ und $\sum_i v_{i,j} = 1$</p> $E_{\text{age}} = \sum_j f_j \cdot E_{\text{age},j} \quad \text{mit } \sum_j f_j = 1$ $R_j = r \cdot E_{\text{age},j}$ $R = r \cdot E_{\text{age}}$	$r_{\text{age},j} = \sum_i r_i \cdot v_{i,j} \quad \text{mit } \sum_i v_{i,j} = 1$ $R_j = r_{\text{age},j} \cdot E_j$ $R = \sum_j f_j \cdot R_j \quad \text{mit } \sum_j f_j = 1$
<p>$E_{\text{age},j}$ = mittlere altersbewertete effektive Dosis der Untersuchung j</p> <p>$k_{\text{age},j}$ = Alterskorrekturfaktor der effektiven Dosis für die Untersuchung j</p> <p>E_j = mittlere effektive Dosis der Untersuchung j</p> <p>$v_{i,j}$ = rel. Anteil der Altersgruppe i bezogen auf die gesamte Patientengruppe für die Untersuchung j</p> <p>r_i = gemittelter Strahlenrisikokoeffizient der Altersgruppe i</p> <p>r = mittlerer Strahlenrisikokoeffizient der Bevölkerung</p> <p>f_j = relative Häufigkeit der Untersuchung j</p> <p>R_j = mittleres Strahlenrisiko der Untersuchung j</p> <p>R = mittleres Strahlenrisiko der Bevölkerung</p>	

Das Verfahren der altersgewichteten effektiven Dosis wird z.B. von der Schweiz [6] das Verfahren des gewichteten Risikokoeffizienten von Deutschland [5] favorisiert. Die NRPB hat 1993 sehr ausführliche Empfehlungen zur Bevölkerungsexposition und zur medizinischen Exposition [10] herausgegeben. In diesem Dokument werden für die medizinische Exposition alters- und geschlechterabhängige Risikokoeffizienten angegeben. Dabei wird auch gezeigt, dass die Altersabhängigkeit des Risikokoeffizienten für Patienten mit der Untersuchungsregion (-art) bzw. von den jeweils besonders betroffenen Organen / Geweben und deren jeweiligen altersabhängigen Organrisikokoeffizienten variiert. Es ist jedoch zu bedenken, dass Risikoberechnungen nicht zu kompliziert werden und dadurch für die Anwendung zu sehr an Wert verlieren. Außerdem spiegeln zu detaillierte Risikomodelle eine nicht vorhandene Datensicherheit vor, die auf Grund der vorliegenden Daten nicht gegeben ist.

Wünschenswert ist eine Vereinheitlichung, um z. Zt. bestehende Verwirrungen auszuräumen.

In beiden Fällen ist jedoch die Kenntnis der Alters- (und Geschlechts-) verteilung der untersuchten Patienten in Abhängigkeit von der Untersuchungsart notwendig. Altersverteilungen sind nur beispielhaft bekannt [5,7]. Während in Kliniken diese Verteilungen erfasst werden und erfragt werden können, liegen aus dem ambulanten Bereich nur in Ausnahmefällen Verteilungen vor. Es ist jedoch anzunehmen, dass zwischen diesen Patientenkollektiven erhebliche Unterschiede bestehen können. Um verlässliche Daten auch aus dem ambulanten Bereich zu erhalten, plant z.Zt. das BfS die Vergabe einer entsprechenden Erhebung. Wie Tab. 4 zeigt, bestehen zwischen der Altersverteilung der Bevölkerung [8] und der Altersverteilung der mit Röntgenstrahlung untersuchten Patienten erhebliche Unterschiede, die bei speziellen Fragestellungen (z.B. PTCA) noch extremer sein können. Da letztere meist nur in Kliniken durchgeführt werden, ist die Altersverteilung bei dieser Untersuchung nahezu vollständig erhebbar und damit im untersuchungsspezifischen Risikokoeffizienten bzw. in der altersgewichteten effektiven Dosis berücksichtigbar.

Mit Ausnahme der Wirbelsäulenaufnahmen haben sich gegenüber 1992 [5] geringe Änderungen ergeben; bei den Wirbelsäulenaufnahmen hat sich das mittlere Alter um nahezu 8 Jahre nach oben verschoben.

Tab. 4: Mittleres Lebensalter von Patienten für verschiedene Untersuchungen (Auswahl). Zum Vergleich: mittleres Alter der Bevölkerung 40 Jahre.

Untersuchungsart bzw. Region	mittleres Alter in Jahren
alle	61*
BWS / LWS	46
Thorax	58
CT	62*
PTA	65*
PTCA	73*

* nur Klinik

Wie Schicha und Wellner [9] mit Recht annehmen, sollte außerdem, da es sich bei den Patienten um eine Selektion aus der Bevölkerung handelt, deren von der Gesamtbevölkerung verschiedene Lebenserwartung berücksichtigt werden. Abb. 1 demonstriert diese Einflüsse an einem Beispiel eindrucklich.

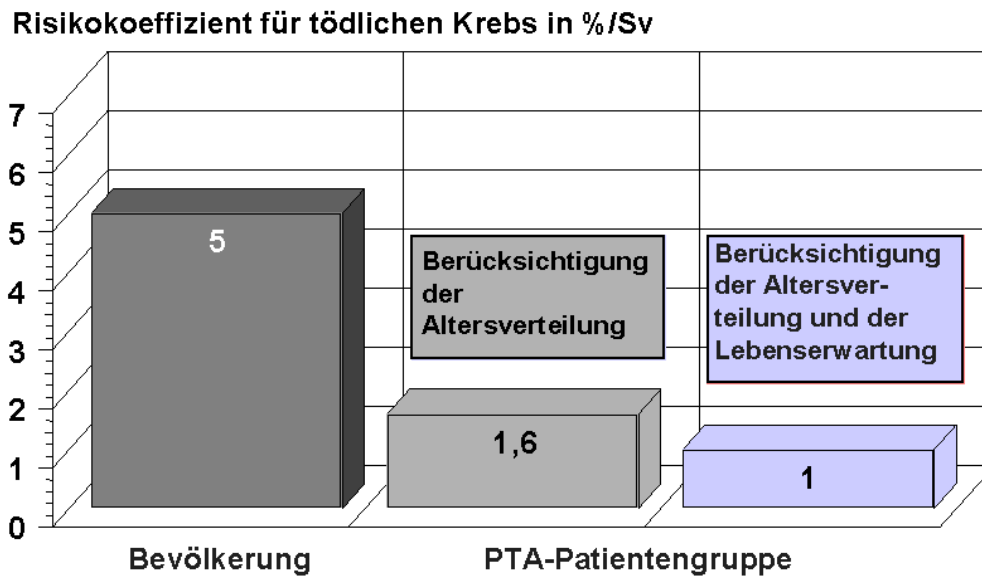


Abb. 1: Vergleich der Risikoeffizienten Gesamtbevölkerung – PTA-Patientengruppe.

4 Literatur

- [1] ICPR 60: Recommendations of the international commission on radiological protection; Pergamon Press, Oxford, 1991.
- [2] Stender, H.-St.; Hagemann, G.: Nutzen / Risiko – Betrachtungen in der radiologischen Diagnostik im Vergleich zu alternativen Verfahren; Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 30, Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, New York, 1995.
- [3] Angerstein, W.: Nutzen und Risiko der Röntgendiagnostik; Röntgenpraxis 48 (1995), 261-264.
- [4] Unterrichtung durch die Bundesregierung: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2000; Bundesdrucksache 14 / 6905.
- [5] Anwendung der effektiven Dosis bei medizinischen Untersuchungen; Empfehlungen der Strahlenschutzkommission 1997, Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 4, Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, Lübeck, Ulm.
- [6] Private Mitteilung, Prof. J. Roth, Basel, 1998.
- [7] Schmidt, Th.: Strahlenexposition bei digitalen Verfahren, Veröffentlichung der Strahlenschutzkommission Band 30, Gustav Fischer, Stuttgart, Jena, New York, 1995.
- [8] Statistisches Jahrbuch, Wiesbaden.
- [9] Schicha, H., Wellner, U.: Nutzen / Risiko – Betrachtungen in der nuklearmedizinischen Diagnostik; Nucl. – Med. 33 (1994), 155-166.
- [10] NRPB: Occupational, Public and Medical Exposure; Guidance on the 1990 Recommendations of ICRP. Doc. NRPB, 4, No. 2, 1993.

Die Anwendung der effektiven Dosis bei der Betrachtung der Strahlenexposition durch die nuklearmedizinische Diagnostik

*S. Ladner, Chr. Reiners, M. Laßmann und R. Lorenz
Universität Würzburg, Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin*

Inhalt

Kurzfassung.....	127
1 Einleitung	127
2 Studien zur Anwendung der effektiven Dosis in der Nuklearmedizin.....	128
3 Häufigkeit und effektive Dosis durch nuklearmedizinische Untersuchungen im Jahr 1997	129
4 Stichprobenuntersuchung zur Abschätzung effektiver Dosen unter Berücksichtigung der Altersverteilung der untersuchten Patienten.....	133
5 Schlussfolgerung	135
6 Literatur	135

Kurzfassung

Nach aktuellen Schätzungen wurden im Jahr 1997 3,3 Mio. nuklearmedizinische Untersuchungen in Deutschland durchgeführt. Diese führen pro Jahr zu einer hypothetischen effektiven Dosis pro Kopf der Bevölkerung von rund 0,12 mSv, wobei dieser Wert zu hoch geschätzt ist, da er die Altersverteilung der untersuchten Patienten nicht berücksichtigt. Anhand einer eigenen Stichprobenuntersuchung wurde die Altersverteilung der Patienten im Vergleich zur Altersverteilung der Bevölkerung untersucht. Berücksichtigt man das im Mittel 10 bis 15 Jahre höhere Lebensalter der Patienten, so reduziert sich die effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung durch nuklearmedizinische Untersuchungen um etwa 50% auf 0,06 mSv pro Jahr. In diesen Betrachtungen ist die bei einem Teil der Patienten durch ihre Erkrankung deutlich eingeschränkte Lebenserwartung noch nicht berücksichtigt.

The use of the effective dose evaluating radiation exposure in nuclear medicine

According to recent surveys, 3,3 million diagnostic studies have been performed by nuclear medicine physicians in Germany in the year 1997. This results in an annual hypothetical effective dose of 0,12 mSv per caput of the population. This dose, however, is too high as the age distribution of the patients studied is not considered. According to samples of patients studied at the Department of Nuclear Medicine of the University of Würzburg, the age distribution of patients has been compared to the age distribution of the population. If patient's age, which is approximately 10–15 years higher than the mean age of the population, is taken into consideration, the effective dose per caput of the population can be reduced by approximately 50% to 0,06 mSv per year. These estimations do not consider the life expectancy of patients, which is limited in a considerable proportion of the patients studied.

1 Einleitung

Die Deutsche Strahlenschutzkommission hat in ihrer Empfehlung aus dem Jahr 1997 [1] zur „Anwendung der effektiven Dosis bei medizinischen Untersuchungen“ kritisch zur Empfehlung des „United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR)“ [2] von 1993 Stellung genommen, die effektive Dosis auch für die Quantifizierung der medizinischen Strahlenexposition zu verwenden. Ursprünglich war die effektive Dosis von der In-

ternationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) eingeführt worden [3], um ein nominelles stochastisches Strahlenrisiko vor allem nach Exposition mit ionisierender Strahlung im Berufsleben abschätzen zu können. Im Gegensatz zur beruflichen Strahlenexposition muss bei der Bewertung medizinischer Untersuchungsverfahren mit Hilfe der effektiven Dosis neben dem möglichen Risiko auch der Nutzen der Strahlenexposition berücksichtigt werden. Des Weiteren ist es notwendig, die Ungenauigkeiten bei der Ermittlung der Ausgangsdaten zur Risikoabschätzung, die Altersverteilung der exponierten Patienten im Vergleich zur Altersverteilung der Gesamtbevölkerung und die oftmals eingeschränkte Lebenserwartung der Patienten zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass die von der ICRP zur Ermittlung der effektiven Dosis empfohlenen Organ- bzw. Gewebewichtungsfaktoren Mittelwerte über Altersklassen (0 bis 75 Jahre) für beide Geschlechter und Durchschnittswerte für eine Gesamtbevölkerung darstellen. Sie repräsentieren damit eine Altersverteilung, die von der der Patienten in der röntgenologischen und nuklearmedizinischen Diagnostik deutlich abweicht [1]. Auch der Risikoeffizient für das sog. Detriment nach ICRP 60 (im Zusammenhang mit der nuklearmedizinischen Diagnostik die Wahrscheinlichkeit, an einem strahleninduzierten Krebs zu sterben) von 5% pro Sv ist über alle Altersklassen und Geschlechter gemittelt [4].

2 Studien zur Anwendung der effektiven Dosis in der Nuklearmedizin

Die eigene Arbeitsgruppe hat sich bereits in der Vergangenheit mit der Betrachtung der Strahlenexposition in der nuklearmedizinischen Diagnostik auf der Basis von Schätzungen der Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen befasst [5, 6]. Dabei ergab sich, dass eine nuklearmedizinische Untersuchung mit einer durchschnittlichen effektiven Dosis von 3,5 mSv verbunden ist, was – bei einer Häufigkeit von 2,3 Mio. nuklearmedizinischen Untersuchungen im Jahr 1992 – einer effektiven Dosis pro Kopf von 0,12 mSv entsprach. Korrigierte man die kollektive effektive Dosis, die nach den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission nur mit äußerster Vorsicht zur Abschätzung des Strahlenrisikos einer Population verwendet werden darf, für das Geschlecht und das Lebensalter der Untersuchten, so reduzierte sie sich auf 1,4 mSv pro Untersuchung bzw. 0,06 mSv pro Kopf [6].

In der Folgezeit hat sich die Arbeitsgruppe um H. Schicha weitergehend mit Nutzen/ Risikobetrachtungen unter Berücksichtigung des Alters der Patienten, vor allem aber der Prognose der zu untersuchenden Erkrankung, der Prävalenz pathologischer Befunde und des möglichen therapeutischen Nutzens aus der

Diagnostik befasst [7, 8]. Am Beispiel der Skelettszintigraphie ergab sich, dass bei 74% der untersuchten Patienten ein malignes Tumorleiden vorlag. 28% der Patienten verstarben innerhalb eines Jahres nach Untersuchung; bei Ende des Beobachtungszeitraums (mindestens 15 Jahre nach der Skelettszintigraphie) waren insgesamt 58% der Patienten verstorben. Die theoretische Lebenszeitverkürzung aufgrund der Strahlenexposition mit 6 mSv betrug bei der betrachteten Patientengruppe 0,9 Tage, während sie bei der allgemeinen Bevölkerung für die gleiche mit der Skelettszintigraphie verbundene Dosis 2,6 Tage betragen hätte. Nach den Betrachtungen von Schicha et al. war der theoretische Lebenszeitverlust für die Patientengruppe alleine aufgrund der anderen Altersstruktur um rund 28% gegenüber dem der Gesamtbevölkerung reduziert. Die klinische Prognose hatte mit 30% einen etwa ebenso großen Einfluss auf den theoretischen Lebenszeitverlust. An einem anderen Beispiel machen Schicha und Wellner [7] klar, dass das hypothetische Strahlenrisiko – berechnet als Verlust an Lebenserwartung – nach einer Myokardszintigraphie mit Thallium-201-Chlorid mit einer effektiven Dosis von 20 mSv für einen 50-Jährigen Patienten nach Myokardinfarkt 0,7 Tage beträgt. Mit der Myokardszintigraphie lässt sich unter Umständen eine nicht mehr indizierte Bypassoperation bei Patienten mit vollständig avitalem Gewebe im Versorgungsgebiet des zur Operation in Betracht gezogenen Herzkranz-Gefäßes vermeiden. Da eine solche Bypassoperation bei einem Patienten im Alter von 65 Jahren bei einer Operationsletalität von 2% mit einem Verlust der Lebenserwartung von etwa 110 Tagen verbunden ist, ergibt sich durch die effektiv eingesetzte Myokardszintigraphie ein „Lebenszeitgewinnfaktor“ von ungefähr 160!

Im Rahmen des folgenden Beitrags wird zunächst eine aktuelle Schätzung zur Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen vorgelegt; auf der Grundlage der SSK-Empfehlungen von 1997 werden die damit verbundenen effektiven Dosen geschätzt. Wesentliches Ziel der Studie ist die Ermittlung eines „Altersreduktionsfaktors“, der die von der Gesamtbevölkerung abweichende Altersverteilung der untersuchten Patienten berücksichtigt.

3 Häufigkeit und effektive Dosis durch nuklearmedizinische Untersuchungen im Jahr 1997

Ähnlich wie bei der vorangehenden Auswertung zur Strahlenexposition durch nuklearmedizinische Untersuchungen für das Jahr 1992 [6] konnten für die vorliegende Analyse Daten der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) zur Häufigkeit nuklearmedizinischer Untersuchungen herangezogen werden. Die im Jahr 2000 zur Verfügung stehende aktuellste Auswertung bezog sich auf das

Jahr 1997 und erfasste alle ambulanten gesetzlich versicherten Patienten. Analog zur Vorgehensweise von Kaul et al. [9] für die Röntgendiagnostik, nach der auf die Häufigkeit der ambulanten Untersuchungen für den stationären Bereich 42% und für den privatärztlichen Bereich 13% zuzuschlagen sind, wurde die Gesamtzahl der nuklearmedizinisch untersuchten Patienten geschätzt. Die Häufigkeitsverteilung dieser Untersuchungen ist in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.

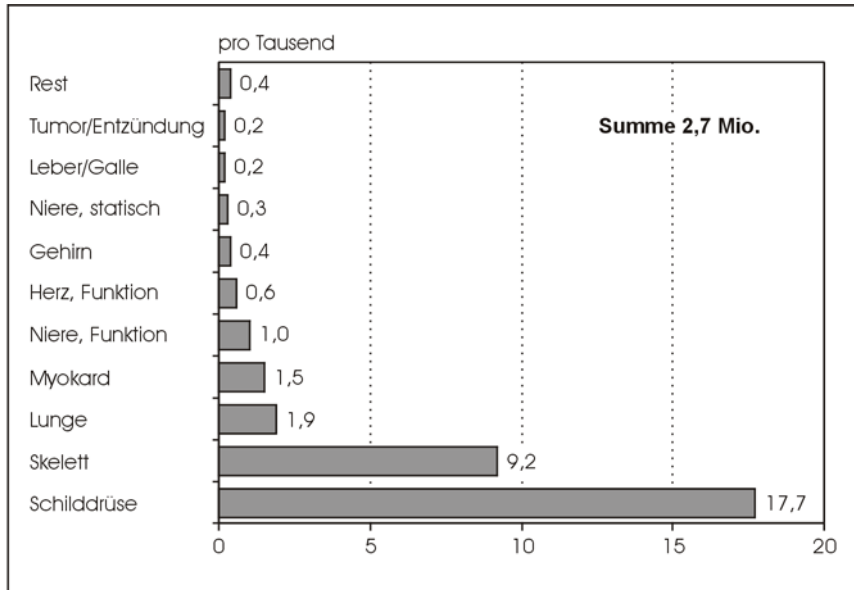


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung nuklearmedizinischer Untersuchungen 1992.

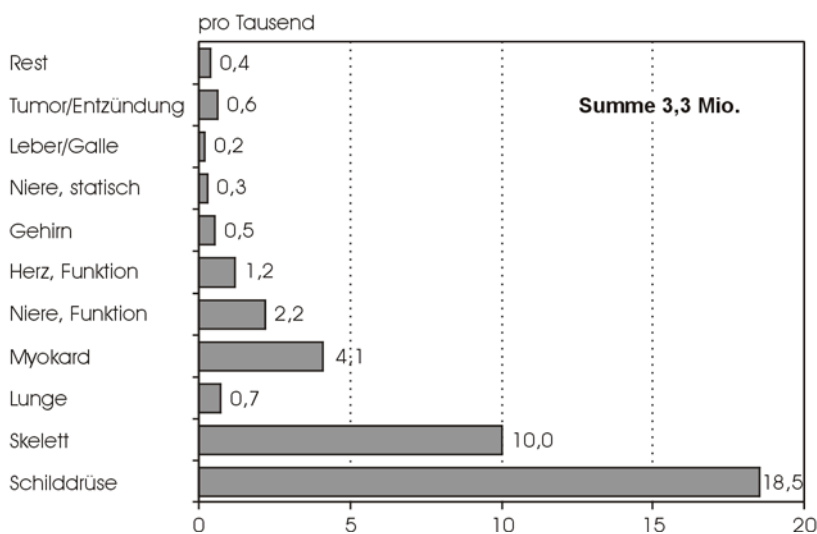


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung nuklearmedizinischer Untersuchungen 1997.

Im Vergleich zu der Publikation des Bundesamtes für Strahlenschutz [9], in der eine Analyse für das Jahr 1994 vorgenommen worden war, ist die geschätzte Gesamtzahl nuklearmedizinischer Untersuchungen von 2,7 Mio. auf 3,3 Mio. bei der aktuellen eigenen Analyse für das Jahr 1997 angestiegen. Dies ist wohl in erster Linie darauf zurückzuführen, dass Myokardszintigraphien und Nierenfunktionsuntersuchungen in letzter Zeit deutlich häufiger durchgeführt werden. Unter Anwendung der von der SSK kürzlich empfohlenen Referenzaktivitäten [10] für nuklearmedizinische Untersuchungen (Tab. 1) wurden effektive Dosen für die häufigsten nuklearmedizinischen Untersuchungen nach den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP 53 [11] und ICRP 62 [12] errechnet.

Tab. 1: Beispiele für Referenzaktivitäten nach den SSK-Empfehlungen 2000 [10].

Organ	Untersuchungsverfahren	Radiopharmakon	Aktivität [MBq]
Schilddrüse	Scan/Uptake	Tc-99m-Perchnetat	75
Skelett	Knochen	Tc-99m-MDP	750
Herz	Myokard	Tc-99m-MIBI o.ä.	800
	Funktion	Tc-99m-Ery	750
Nieren	ERPF	Tc-99m-MAG3	200
	GFR	Tc-99m-DTPA	150
	Scan/Uptake	Tc-99m-DMSA	70
Lunge	Perfusion	Tc-99m-MAA	200
	Ventilation	Tc-99m-Aerosol	1.000 (10% inhaliert)
Gehirn	Durchblutung	Tc-99m-HMPAO o.ä.	550
Leber	Gallefluss	Tc-99m-HIDA	150
Tumor	Vitalität	F-18-FDG	400

Diese zunächst nicht alterskorrigierten effektiven Dosen sind in Abbildung 3 dargestellt; sie reichen von 0,6 mSv für die Nierenfunktionsszintigraphie mit Tc-99m-MAG3 bis 10 mSv für den Tumor/Entzündungs-Nachweis mit F-18-FDG. Ordnet man diese effektiven Dosen den Häufigkeiten der nuklearmedizinischen Untersuchungen für die Erhebung aus dem Jahr 1997 zu und berechnet daraus kumulative effektive Dosen in Millisievert pro Kopf der Bevölkerung, so ergibt sich einerseits eine durchschnittliche effektive Dosis pro Kopf für nukle-

armedizinische Untersuchungen von 0,12 mSv. Den größten Anteil zur kumulativen effektiven Dosis tragen die Myokardszintigraphie und die Skelettszintigraphie bei (Abb. 4).

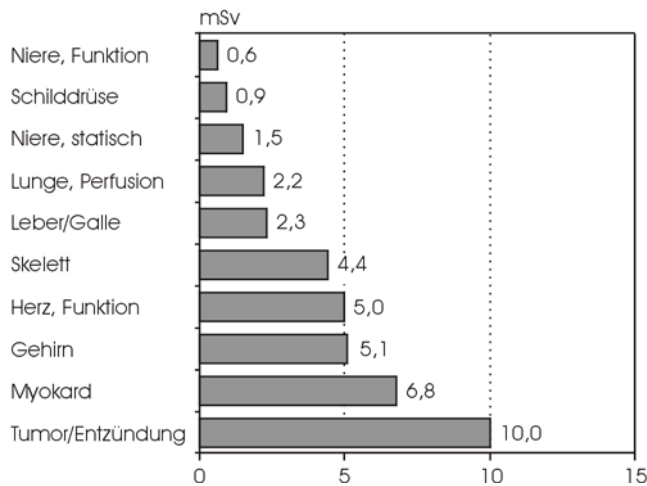


Abb. 3: Effektive Dosen nuklearmedizinischer Untersuchungen.

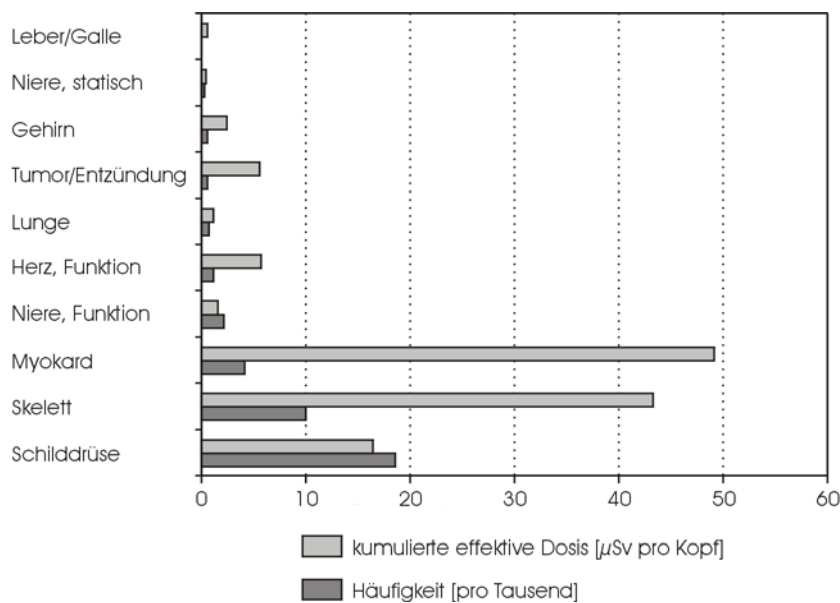


Abb. 4: Kummulative effektive Dosen nuklearmedizinischer Untersuchungen.

4 Stichprobenuntersuchung zur Abschätzung effektiver Dosen unter Berücksichtigung der Altersverteilung der untersuchten Patienten

In einer Stichprobe von je 100 Personen haben wir die Altersverteilung nuklearmedizinisch untersuchter, vorwiegend stationärer Patienten im Vergleich zur Gesamtbevölkerung analysiert. Dabei haben wir uns auf die häufigsten Untersuchungsverfahren, die insgesamt rund 93% aller nuklearmedizinischer Untersuchungen ausmachen, beschränkt (Schilddrüsen-, Skelett-, Myokard-, Nierenfunktions-, Lungenperfusions- und Hirnszintigraphie). Abbildung 5 stellt zunächst die Altersverteilung der nuklearmedizinisch untersuchten Patienten der Altersverteilung der Bevölkerung, die den Angaben des Statistischen Bundesamtes entnommen ist, gegenüber. Es ist deutlich erkennbar, dass der Median der Altersverteilung der Bevölkerung bei etwa 40 Jahren liegt, während der Median der Patienten 15 Jahre später anzusetzen ist.

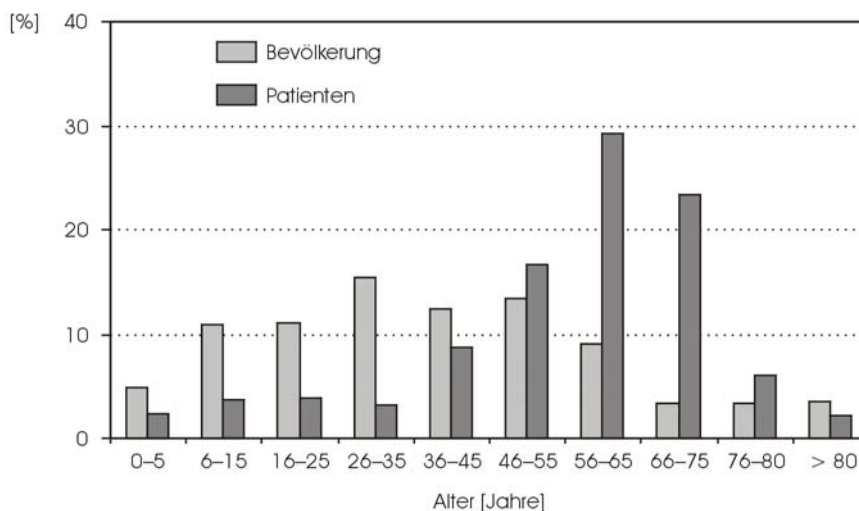


Abb. 5: Altersverteilungen der nuklearmedizinisch untersuchten Patienten und der Bevölkerung.

In Tabelle 2 sind nähere Angaben zu den verschiedenen Untersuchungsverfahren und den Ergebnissen der Stichprobenauswertung dargestellt. Dabei wurden zunächst individuelle effektive Dosen auf der Basis der tatsächlich verabreichten Aktivität für das von der ICRP angegebene durchschnittliche Detriment von 5% pro Sv errechnet. Für die detaillierte Analyse unter Bezug auf das individuelle Lebensalter des untersuchten Patienten wurden nach ICRP 60 folgende Anpassungsfaktoren für das Detriment zugrunde gelegt: Altersgruppe 0–15 Jahre 2,4; 16–40 Jahre 1,25; 41–65 Jahre 0,44; älter als 65 Jahre 0,19.

Tab. 2: Angaben zu verschiedenen Untersuchungsverfahren.

Stichprobe (n = 100)	Schilddrüse	Skelett	Myokard	Nieren	Lunge	Gehirn
Radiopharmakon	Tc-99m-Per technetat	Tc-99m-MDP	Tc-99m-MIBI	Tc-99m-MAG3	Tc-99m-MAA	Tc-99m-HMPAO
mittl. Aktivität [MBq]	51,4 ± 8,9	609 ± 39,4	1.007 ± 179	120 ± 42,8	123 ± 19,2	918 ± 273
mittl. effektive Dosis [mSv]	0,62 ± 0,11	3,55 ± 0,22	8,55 ± 1,53	1,08 ± 0,19	1,38 ± 0,16	8,60 ± 2,55
mittl. Alter [Jahre]	59 ± 12,3	61 ± 13,7	63 ± 10	33 ± 25	58 ± 16	56 ± 17
mittl. effektive Dosis [mSv] „alterskorrigiert“	0,27 ± 0,05	1,45 ± 0,09	3,01 ± 0,54	1,39 ± 9,25	0,68 ± 0,09	4,30 ± 1,28
„Risikoreduktionsfaktor“	0,43	0,41	0,35	1,29	0,49	0,50

Die Tabelle macht deutlich, dass die unter Verwendung tatsächlich verabreichter Aktivitäten auf die Altersverteilung der untersuchten Patienten bezogene mittlere effektive Dosis rechnerisch ziemlich genau halb so groß ist wie die effektive Dosis, die sich ergeben würde, wenn man Referenzaktivitäten und die Altersverteilung der Gesamtbevölkerung zugrunde legen würde. Dabei gibt es eine Ausnahme: Bei der Nierenfunktionsszintigraphie resultiert nicht ein Dosisreduktionsfaktor, sondern ein Dosissteigerungsfaktor. Dies hat damit zu tun, dass das Durchschnittsalter der untersuchten Gruppe mit 33 Jahren im Vergleich zu den anderen Patientengruppen um mehr als 20 Jahre niedriger liegt. Die große Streubreite der Altersverteilung bei den Nierenuntersuchungen ist im Übrigen damit zu erklären, dass sich hierunter nicht selten auch Kinder finden, die wegen angeborener Fehlbildung des Harntrakts untersucht werden. Diese Besonderheit der Altersverteilung bei der Nierenszintigraphie ist Abbildung 6 zu entnehmen.

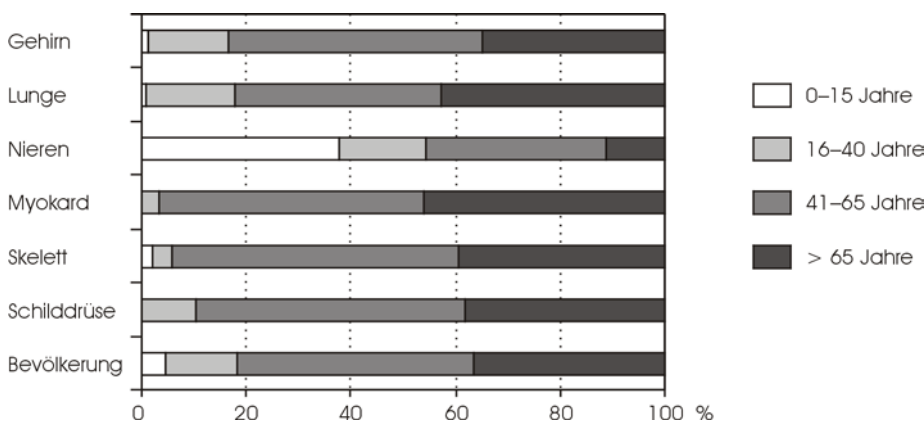


Abb. 6: Altersverteilung verschiedener nuklearmedizinischer Untersuchungen.

5 Schlussfolgerung

Nach der vorliegenden Untersuchung führen 3,3 Mio. nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr zu einer hypothetischen effektiven Dosis pro Kopf der Bevölkerung von rund 0,12 mSv, wobei dieser Wert zu hoch geschätzt ist, da er die Altersverteilung der untersuchten Patienten nicht berücksichtigt. Setzt man den anhand der eigenen Stichprobenuntersuchung ermittelten Reduktionsfaktor von rund 50% an, so reduziert sich die effektive Dosis pro Kopf der Bevölkerung durch nuklearmedizinische Untersuchungen pro Jahr auf 0,06 mSv.

Im Rahmen der vorliegenden Analyse wurde die bei einem Teil der Patienten deutlich eingeschränkte Lebenserwartung nicht kalkulatorisch berücksichtigt. Es sollte jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass – je nach Untersuchungsverfahren – zwischen 20 und 80% der Patienten aus der Stichprobe unter Erkrankungen mit limitierter Prognose litten (wie Krebserkrankungen, schwere Herz-Kreislaufkrankheiten, Diabetes mellitus und chronische Lungenerkrankungen).

6 Literatur

- [1] Strahlenschutzkommission (SSK): Anwendung der effektiven Dosis bei medizinischen Untersuchungen; Bundesanzeiger Nr. 213, 14.11.1997.
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR): Sources and Effects of Ionising Radiation. Report to the General Assembly, United Nations New York, 1993.
- [3] International Commission on Radiological Protection (ICRP): Recommendations of the International Commission on Radiological Protection; Publication 26, Oxford Pergamon, 1997.
- [4] International Commission on Radiological Protection (ICRP): Recommendations of the International Commission on Radiological Protection; Publication 6, Oxford Pergamon, 1991.
- [5] Reiners, Chr.: Die Strahlenexposition in der nuklearmedizinischen Diagnostik: Risikovergleiche auf der Basis effektiver Dosen; Nuklearmedizin 32 (1993) 47–51.

- [6] Reiners, Chr.; Sonnenschein, W.: Die Strahlenexposition durch nuklearmedizinische Untersuchungen in Deutschland 1992 (alte Bundesländer); *Nuklearmedizin* 33 (1994) 254–262.
- [7] Schicha, H.; Wellner, U.: Nutzen/Risiko-Betrachtungen in der nuklearmedizinischen Diagnostik; *Nuklearmedizin* 33 (1994) 155–166.
- [8] Smolarz, K.; Eschner, W.; Schicha, H.: Einfluss von Krankheitsprognose und Alter auf das Strahlenrisiko durch nuklearmedizinische Diagnostik (am Beispiel der Skelettszintigraphie); *Nuklearmedizin* 37 (1998) 286–291.
- [9] Kaul, A.; Bauer, B.; Bernhard, J.; Nosske, W.; Veit, R.: Effective Doses to Members of the Public from the Diagnostic Application of Ionising Radiation in Germany; *Euro. Radiol.* 7 (1997) 1127–1132.
- [10] Strahlenschutzkommission (SSK): Diagnostische Referenzwerte in der Nuklearmedizin; 06./07.07.2000.
- [11] International Commission on Radiological Protection (ICRP): Radiation Doses to Patients from Radiopharmaceuticals; Publication 53, Oxford Pergamon Press, 1988.
- [12] International Commission on Radiological Protection (ICRP): Radiological Protection in Biomedical Research; Publication 62, Oxford Pergamon, 1991.