

Melanie Panzer

Routineeinführung eines Systems zur Dokumentation der
beruflichen Strahlenexposition

Bachelorarbeit

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Mathematik/Naturwissenschaften/Informatik



Mittweida, 2010

Melanie Panzer

Routineeinführung eines Systems zur Dokumentation der
beruflichen Strahlenexposition

eingereicht als

Bachelorarbeit

an der

HOCHSCHULE MITTWEIDA

UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Fakultät Mathematik/Naturwissenschaften/Informatik

Leipzig, 2010

Erstprüfer: Prof. Dr. Ralf Hinderer
Hochschule Mittweida
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernhard Sattler
Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin
Universitätsklinikum Leipzig

Vorgelegte Arbeit wurde verteidigt am:

Bibliographische Beschreibung

Melanie Panzer:

Routineeinführung eines Systems zur Dokumentation der beruflichen Strahlenexposition.-2010.-73 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Mathematik/Naturwissenschaften/Informatik, Bachelorarbeit 2010

Referat

Um beruflich strahlenexponierte Personen hinreichend im Sinne des § 40 bis § 42 der Strahlenschutzverordnung zu überwachen und somit vor einer übermäßigen Strahlenbelastung zu schützen, müssen von diesen Personen Dosimeter getragen werden.

Ziel des Bachelorprojekts ist die Einführung einer routinemäßig durchgeführten Dokumentation der beruflichen Strahlenexposition der Mitarbeiter der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin des Universitätsklinikums Leipzig mittels elektronischer Personendosimeter. Dazu gehört das automatische Auslesen und Dokumentieren der täglichen Personendosis in einer Datenbank, personenbezogener Import von amtlichen Filmdosimeterwerten in die Datenbank sowie die Möglichkeit, die gespeicherten Daten je nach Erfordernis auszuwerten, mit den amtlichen Dosiswerten zu vergleichen und ggf. einer Behörde zu Nachweiszwecken vorlegen zu können.

Es sollen die Hard- und Software, sowie deren Funktionen und Modi näher beschrieben und ein Überblick über die Möglichkeiten der Dokumentation und Auswertung mit der Software *Dosmo2000* dargestellt werden.

Inhaltsverzeichnis

Bibliographische Beschreibung.....	I
Referat	I
Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
Variablenverzeichnis.....	VIII
Begriffsverzeichnis	IX
1 Einleitung.....	1
1.1 Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin am Universitätsklinikum Leipzig AöR	1
1.2 Notwendigkeit der Dokumentation der beruflichen Strahlenexposition	1
1.3 Projektzielstellung.....	3
2 Grundlagen.....	4
2.1 Nuklearmedizinisch relevante radioaktive Zerfälle	4
2.1.1 Betaminuszerfall	4
2.1.2 Betapluszerfall	5
2.1.3 Elektroneneinfang (EC)	6
2.1.4 Gammazerfall	6
2.2 Wechselwirkungsprozesse von Photonen mit Materie	7
2.2.1 Photoeffekt	7
2.2.2 Compton-Effekt.....	8
2.2.3 Paarbildung und Paarvernichtung	9
2.3 Dosisgrößen im Strahlenschutz.....	10
2.3.1 Energiedosis.....	10
2.3.2 Dosismessgrößen.....	10
2.3.2.1 Äquivalentdosis.....	11
2.3.2.2 Ortsdosen	12
2.3.2.3 Personendosis	12
2.3.3 Körperdosisgrößen	13
2.3.3.1 Organdosis	13
2.3.3.2 Effektive Dosis	14
2.4 Amtliche Dosimeter	15

2.4.1	Filmdosimeter	15
2.4.1.1	Aufbau	15
2.4.1.2	Funktionsweise	17
2.4.2	TLD-Fingerring	17
2.4.2.1	Aufbau	18
2.4.2.2	Funktionsweise TLD-Fingerring	19
2.5	Elektronische Personendosimeter (EPD)	20
2.5.1	Funktionsweise von halbleiterdetektorbasierten EPDs	21
2.6	Datenübertragung mittels Infrarottechnik	22
2.6.1	Infrarot-Leuchtdioden (IRED)	22
2.6.2	Photodioden/Phototransistoren	23
2.6.3	Prinzip der Datenübertragung	24
3	Material und Methoden	25
3.1	Elektronisches Personendosimeter <i>Isotrak DoseGuard S₁₀</i>	25
3.2	Dosimeter-Auslesestation	27
3.3	Bedien- und Auswerteprogramm <i>Dosmo2000</i>	28
3.3.1	Personenauswahl und Mess- bzw. Auslesemodi	28
3.3.2	Datenbank	30
3.3.3	Amtliche und nichtamtliche Dosiswerte	31
3.3.3.1	Amtliche Werte	31
3.3.3.2	Nichtamtliche Werte	32
3.3.4	Kontrollbereich-Übersicht	33
3.3.5	Dosis-Übersichten	34
3.4	Überwachte Personengruppe	36
4	Ergebnisse und Diskussion	38
4.1	Aufgetretene Probleme und deren Lösung	38
4.1.1	Warnschwellenüberschreitung	38
4.1.2	Nichtaktivierung der Dosimeter	39
4.1.3	Statusunstimmigkeiten der Dosimeter	39
4.1.4	Systemausfälle	41
4.1.5	Falsche Dosisberechnungen	41
4.1.6	Registrierung und Überwachung von Fremdpersonal	42
4.1.7	Anwendungsfehler	43
4.2	Auswertemöglichkeiten mit <i>Dosmo2000</i>	44
4.2.1	Arbeitsplatzbezogen	45
4.2.2	Personenbezogen	45
4.3	Analyse der Praktikabilität	46

5	Ausblick	49
6	Anhang	X
7	Literatur- und Quellenverzeichnis.....	XIX
	Erklärung zur selbständigen Anfertigung	XXII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Flächendiagramm der wichtigsten relativen.....	7
Abbildung 2-2: Schematische Darstellung des Photoeffektes [7]	8
Abbildung 2-3: Schematische Darstellung des Compton-Effektes [7].....	9
Abbildung 2-4: Schematische Darstellung der Paarbildung [9].....	9
Abbildung 2-5: Aufbau eines Filmdosimeters [12].....	16
Abbildung 2-6: Messfilm mit Messfilmverpackung [11]	16
Abbildung 2-7: links: Aufbau TLD Photonen-Fingerring [21],.....	18
Abbildung 2-8: Glühkurve eines TLD [13]	19
Abbildung 2-9: Grundaufbau LED/ IRED	22
Abbildung 2-10: Prinzipieller Aufbau einer Si-Planar-Photodiode im Querschnitt [3]....	23
Abbildung 2-11: Prinzipieller Aufbau eines Si-Planar-Phototransistors im Querschnitt [3]	24
Abbildung 3-1: Dosimeter Konfigurationssoftware	26
Abbildung 3-2: Elektronisches Personendosimeter <i>Isotrak DoseGuard S₁₀</i> [4]	27
Abbildung 3-3: Auslesestation ADR-1	28
Abbildung 3-4: Manuelle Eingabe der Dosis (links im Modus 1, rechts im Modus 2)....	33
Abbildung 3-5: Beispiel für Personen-Monatsübersicht	34
Abbildung 3-6: Beispiel für Personen-Jahresübersicht	35
Abbildung 4-1: Beispiel Warnschwellenüberschreitung	38
Abbildung 4-2: Auswahlliste für Nutzer von nicht zugeordneten Dosimetern	42
Abbildung 4-3: Arbeitsplatzbezogene Dosisanzeige aller Arbeitsplätze	44
Abbildung 4-4: Ausschnitt der Dosisanzeige bezogen auf die Herren-Umkleide.....	45
Abbildung 4-5: Dosisanzeige der verschiedenen Arbeitsplätze bezogen auf Melanie Panzer.....	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: In der Nuklearmedizin häufig verwendete Nuklide und deren Zerfallsarten	4
Tabelle 2-2: Zusammenhang L und Qualitätsfaktor Q(L) nach [8]	11
Tabelle 2-3: Empfohlene Strahlungs-Wichtungsfaktoren nach [8]	14
Tabelle 2-4: Gewebe-Wichtungsfaktoren nach ICRP 103 [8]	15
Tabelle 3-1: Dosiswarnschwellen der überwachten Personengruppen	37

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläuterung
ABS	Acryl-Butadien-Styrol
EPD	Elektronisches Personendosimeter
HFK	Hand-Fuss-Kontaminationsmonitor
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements
LB	Leitungsband
LET	linear energy transfer (lineares Energieübertragungsvermögen)
LPS	Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung
MTRA	Medizinisch-technische/r Radiologieassistent/in
PID	Personalidentifikationsnummer
RöV	Röntgenverordnung
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung
TLD	Thermolumineszenzdetektor
UKL	Universitätsklinikum Leipzig
VB	Valenzband

Variablenverzeichnis

Variable	Einheit	Erläuterung
D	Gy	Energiedosis
$D_{T,R}$	Gy	Organenergiedosis
E	Sv	Effektive Dosis
E	keV	Strahlungsenergie elektromagnetischer Strahlung
H	Sv	Äquivalentdosis
$H^*(d)$	Sv	Umgebungs-Äquivalentdosis
$H'(d, \vec{\Omega})$	Sv	Richtungs-Äquivalentdosis
$H_p(0,07)$	Sv	Äquivalentdosis in ICRU-Weichteilgewebe in 0,07 mm Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeters gemessen
$H_p(10)$	Sv	Äquivalentdosis in ICRU-Weichteilgewebe in 10 mm Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeters gemessen
H_T	Sv	Organdosis
L	keV/ μm	LET-Wert, lineares Energieübertragungsvermögen
L_p	dB	Schalldruckpegel
Q	-	Qualitätsfaktor
w_R	-	Strahlungs-Wichtungsfaktor
w_T	-	Gewebe-Wichtungsfaktor

Begriffsverzeichnis

Begriff	Erklärung
Ansprechzeit	Zeit, die ein Regelkreis benötigt, um auf ein eingehendes Signal zu reagieren.
Bändermodell	Im <i>Valenzband</i> befinden sich unbewegliche Ladungsträger, die durch Energiezufuhr in das höherliegende <i>Leitungsband</i> angehoben werden können, in dem sie dann beweglich sind. Zwischen den Bändern befindet sich die „ <i>verbotene Zone</i> “, die bei Silizium 1,12 eV beträgt [23].
durchdringende Strahlung	In dieser Arbeit immer Röntgen- und Photonenstrahlung.
Fading	Die auf den metastabilen Zwischenniveaus gespeicherten Elektronen eines Thermolumineszenzdetektor gelangen mit der Zeit wieder in den Grundzustand, so dass ein Verlust des Messsignals erfolgt.
Halbleiter	Halbleiter sind Stoffe, deren spezifischer Widerstand bei Normaltemperatur, d.h. um 20°C, zwischen dem der Nichtleiter und der Leiter liegt.
ICRU Weichteilgewebe	Für dosimetrische Zwecke definiertes gewebeäquivalentes Material der Dichte 1 g/cm ³ , das aus 76,2 % Sauerstoff, 11,1 % Kohlenstoff, 10,1 % Wasserstoff und 2,6 % Stickstoff besteht.
ICRU-Kugel	Kalibrierphantom für Ortsdosismessungen. Kugel aus gewebeäquivalenten Material (ICRU Weichteilgewebe) der Dichte 1 g/cm ³ mit einem Durchmesser von 30 cm
Kapton	ein Polyamid
LET-Wert	Wert für das lineares Energieübertragungsvermögen
Modulation	Verändern eines Trägersignals um ein Nutzsignal zu übertragen.
n-dotiert	Gezieltes Verunreinigen von hochreinen Halbleiter-Einkristallen mit 5-wertigen Fremdatomen.
p-dotiert	Gezieltes Verunreinigen von hochreinen Halbleiter-Einkristallen mit 3-wertigen Fremdatomen.
Strahlung geringer Eindringtiefe	„z.B. Betastrahlung mit $E_{\max} < 2 \text{ MeV}$ oder sehr niederenergetische Röntgenstrahlung mit $E_g < 15 \text{ keV}$ “ [9]
Strahlungsart	Elektronen oder Photonen
Strahlungsqualität	Beurteilung nach Energie und Halbwertschichtdicke der Strahlung
Switch	Kopplungselement in der Computertechnik um Netzwerksegmente miteinander zu verbinden. Ein Wechsel der Übertragungsmedien ist möglich. (im UKL: Glasfaserpatchkabel <----> Kupferpatchkabel)
Visulett-Linse	diskusförmige Linse aus Polycarbonat

1 Einleitung

1.1 Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin am Universitätsklinikum Leipzig AöR

Das Universitätsklinikum Leipzig AöR (UKL) ist eines der größten Krankenhäuser in Sachsen und beherbergt 28 Kliniken und acht Institute verschiedenster medizinischer Fachrichtungen und Forschungsgebiete.

In diesem Krankenhaus der Maximalversorgung werden jährlich etwa 51.000 voll- bzw. teilstationäre Patienten behandelt, wofür insgesamt 1314 Betten zur Verfügung stehen. Zudem werden im Jahr ca. 326.000 ambulante Patienten versorgt.

Als einer der größten regionalen Arbeitgeber gehört das UKL auch im Bereich der Forschung und Wissenschaft sowie der Ausbildung medizinischen Personals zu den führenden Einrichtungen Sachsens.

Im Jahr 1993 erfolgte eine Umstrukturierung, wodurch die Abteilung für Nuklearmedizin fortan eine eigenständige Klinik war. Bis heute besteht sie aus drei Struktureinheiten: dem PET-Zentrum, einer Therapiestation und der Diagnostischen Abteilung.

PET-Zentrum, Radiochemie (Zyklotron) und Therapiestation befinden sich in einem Gebäude in der Stephanstraße, die Diagnostische Abteilung räumlich getrennt davon in der Liebigstraße.

Das Mitarbeiterteam der Klinik setzt sich aus Fach- und Assistenzärzten, Naturwissenschaftlern (Radiochemiker, Physiker, Biologen, Ingenieure), Medizinisch-technischen Radiologie Assistenten, Verwaltungsangestellten und dem Pflegepersonal zusammen. Bei all jenen Mitarbeitern, die Zugang zu Kontrollbereichen haben, ist eine ständige Überwachung der beruflichen Strahlenexposition erforderlich.

1.2 Notwendigkeit der Dokumentation der beruflichen Strahlenexposition

In den Paragraphen 40 bis 42 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) ist festgelegt, dass bei Personen, die sich in Kontrollbereichen aufhalten, die Körperdosis zu ermitteln ist.

Zu Kontrollbereichen gehören die Bereiche, „in denen Personen im Kalenderjahr eine effektive Dosis von mehr als 6 mSv oder höhere Organdosen als 45 mSv für die Augenlinse oder 150 mSv für die Haut, die Hände, die Unterarme, die Füße und Knöchel erhalten können“ [25].

Im Kontrollbereich dürfen Personen selbstständig arbeiten, die als beruflich strahlenexponiert eingestuft wurden. Diese müssen personendosimetrisch überwacht werden [25].

Die Überwachung ist grundsätzlich notwendig, um Personen vor den schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlung bei Überschreitung der festgelegten Dosisgrenzwerte (20 mSv effektive Dosis im Kalenderjahr für beruflich strahlenexponierte Personen) zu schützen.

Für die Messung der Personendosis sind zurzeit nur amtlich zugelassene Filmdosimeter zu verwenden. Es gibt aber schon seit einigen Jahren Projekte, elektronische Personendosimeter, wie sie im Rahmen der Bachelorarbeit verwendet werden, amtlich zuzulassen [18]. Dafür müssen allerdings noch verschiedene Datenübertragungssysteme getestet werden. Diese müssen vor allem gewährleisten, dass die Dosismessdaten zur zuständigen Messstelle übertragen werden „ohne dass eine Beeinflussung eines ggf. vorhandenen betrieblichen Dosimetriesystems erfolgt.“ [19].

Bis zur Zulassung von elektronischen Dosimetern als amtliche Dosimeter werden aufgrund dieser und noch weiterer Anforderungen zur Realisierung des Gesamtsystems noch einige Jahre vergehen. In besonderen Fällen kann es aber dazu kommen, dass die Verwendung von direkt ablesbaren, elektronischen Dosimetern durch die zuständige Behörde angeordnet wird (z.B. Schwangerschaft).

Die Verwendung zusätzlicher elektronischer Personendosimeter und die Dokumentation der damit gemessenen Werte erlauben einen direkten Vergleich mit den Werten der amtlichen Filmdosimeter. Dadurch ist eine Plausibilitätskontrolle möglich.

Vorteilhaft im Vergleich zu den Filmdosimetern ist die Möglichkeit auch Dosiswerte unterhalb der Nachweisgrenze der Filme ($100 \mu\text{Sv}$) zu erfassen.

Die Messung der Dosisleistung ermöglicht der überwachten Person weiterhin, höhere Strahlenexpositionen zu vermeiden, sowie Orte zu hoher Strahlenexposition (Warnung durch Piepton) zu verlassen. Der Warnton wird ausgelöst durch einstellbare Dosisleistungsschwellwerte. Durch diese Warnmöglichkeit kann flexibler auf potentielle hohe Strahlenexpositionen reagiert werden.

1.3 Projektzielstellung

Ziel des Projektes ist die Einführung einer routinefähigen elektronischen Dokumentation der täglichen beruflichen Strahlenexposition aller Mitarbeiter der Nuklearmedizin mit Zugang zum Kontrollbereich mittels direkt ablesbarer elektronischer Personendosimeter.

Jedem amtlich überwachten Mitarbeiter (beruflich strahlenexponierte Person) soll zusätzlich ein elektronisches Dosimeter zugeordnet werden. Das Dosimetriesystem *Dosmo2000* ermöglicht die Erfassung der zwischen Betreten und Verlassen des Kontrollbereiches im Dosimeter gespeicherten Dosis. Unter Zuhilfenahme einer Auslesestation erfolgt dabei die An- bzw. Abmeldung der überwachten Person im Kontrollbereich des Systems, sowie die automatische Aktivierung bzw. Deaktivierung der elektronischen Dosimeter. Jede messbare Strahlenexposition soll damit erfasst und dokumentiert werden.

In nachfolgender Arbeit werden zunächst die Grundlagen zum Strahlenschutz und zur Personendosimetrie behandelt. Es wird auf das Funktionsprinzip der verwendeten Dosimeter und Auslesestationen näher eingegangen und im Verlauf soll die Einführung und die verschiedenen Funktionalitäten der Bedien- und Auswertesoftware *Dosmo2000* dargestellt und diskutiert werden.

2 Grundlagen

2.1 Nuklearmedizinisch relevante radioaktive Zerfälle

Unter radioaktivem Zerfall versteht man die Eigenschaft instabiler Atomkerne, sich unter Strahlungsemission und Energieabgabe spontan in stabile Kerne umzuwandeln [9].

In der Nuklearmedizin werden Nuklide verwendet, die über den Gammazerfall Photonenstrahlung aussenden oder Nuklide, die durch Emission von Betaplusstrahlung Paarvernichtung bewirken und damit Gammastrahlung freisetzen. Die nach diesen Kernumwandlungsprozessen abgestrahlte Gammastrahlung wird zur Bildgebung genutzt.

In der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin finden folgende, in Tabelle 2-1 dargestellte Nuklide, häufig Anwendung:

Tabelle 2-1: In der Nuklearmedizin häufig verwendete Nuklide und deren Zerfallsarten

Radionuklid	β^+ - Zerfall	β^- - Zerfall	Elektroneneinfang	γ - Zerfall
Technetium-99m				X
Iod-123			X	X
Iod-131		X		X
Fluor-18	X		X	
Stickstoff-13	X		X	
Sauerstoff-15	X			
Kohlenstoff-11	X		X	
Samarium-153		X		X
Yttrium-90	X	X		
Lutetium-177		X		X

2.1.1 Betaminuszerfall

Für den Betaminuszerfall ist die schwache Wechselwirkung ursächlich. Durch sie ist es möglich, einen Neutronenüberschuss im Kern abzubauen, indem sich im Kern des Mutternuklids ein Neutron in ein Proton umwandelt.

Bei der dabei emittierten elektrischen Elementarladung handelt es sich um ein Elektron, das als Betaminus-Teilchen bezeichnet wird. Aufgrund des Leptonenerhaltungssatzes wird zusätzlich ein Antineutrino $\bar{\nu}$ emittiert, um das neu entstandene Elektron zu kompensieren. Die zugehörige Zerfallsgleichung (2-1) und Kerngleichung (2-2) lauten:



Das Antineutrino wechselwirkt nur sehr schwach mit Materie. Daher ist es nur schwer nachzuweisen und für den Strahlenschutz nicht von Belang.

Die Energie, die beim Zerfall frei wird, verteilt sich als kinetische Energie auf das Elektron und das Antineutrino.

Unter Betaminusstrahlung versteht man die Gesamtheit aller beim Betaminuszerfall emittierten Elektronen. Sie weist ein kontinuierliches Energiespektrum (Betaspektrum) auf.

2.1.2 Betapluszerfall

Der Betapluszerfall tritt bei Nukliden mit einem Protonenüberschuss/Neutronendefizit auf.

Um einen stabilen Zustand zu erlangen, wird im Atomkern ein Proton spontan in ein Positron (Betaplusteilchen) und ein Neutron umgewandelt. Zur Kompensation des Positrons wird außerdem ein Neutrino emittiert. Die zugehörige Zerfallsgleichung (2-3) und Kerngleichung (2-4) lauten:



Da das Neutrino, wie auch das Antineutrino beim Betaminuszerfall, nur schwach mit Materie wechselwirkt, ist es für die Belange des Strahlenschutzes uninteressant.

Trifft ein Positron beim Durchgang durch Materie auf ein Elektron, kommt es zur Paarvernichtung und Abstrahlung von zwei 511 keV Gammaquanten (siehe Kapitel 2.2.3). Betapluszerfälle sind somit immer von durchdringender Vernichtungsstrahlung begleitet, was im Strahlenschutz Beachtung finden muss.

Auch die Betaplusstrahlung hat ein kontinuierliches Energiespektrum.

2.1.3 Elektroneneinfang (EC)

Der Elektroneneinfang ist ein Konkurrenzprozess zum Betapluszerfall, der stattfindet, wenn sich das Atom in einem energetisch ungünstigen Zustand befindet und dadurch kein Betapluszerfall möglich ist. Er dient ebenfalls dazu, einen Protonenüberschuss im Atomkern abzubauen.

Dies geschieht, indem der Atomkern ein Elektron aus einer der inneren Elektronenschalen (meist aus der K-Schale) einfängt. Das eingefangene Elektron und ein Proton bilden über schwache Wechselwirkungen ein Neutron und ein Neutrino. Das Neutrino hat die Aufgabe, die freiwerdende Energie abzuführen [9]. Die zugehörige Zerfallsgleichung (2-5) und Kerngleichung (2-6) lauten:



Da in einer inneren Schale immer ein Elektronenloch zurückbleibt, folgt auf einen Elektroneneinfang immer die Emission charakteristischer Hüllenstrahlung oder Augerelektronenemission.

2.1.4 Gammazerfall

Wird bei einem radioaktiven Zerfall nicht der Grundzustand, sondern ein angeregter Zustand des Tochternuklids erreicht, kann der Tochterkern seine Anregungsenergie in Form eines Gammaquants abgeben und so in den Grundzustand oder einen geringer angeregten Zustand gelangen. Der Gammazerfall wird auch als Isomerieübergang bezeichnet. Ausgelöst wird er durch elektromagnetische Wechselwirkungen. Er tritt meist als unmittelbare Folge eines Alpha- oder Betazerfalls auf.

Die Massenzahl des Kerns bleibt unverändert. Nur die Energie des Kerns wird um den durch das Photon abtransportierten Energieanteil vermindert und ändert somit den Anregungszustand des Kerns. Das Gammaquant ist elektrisch neutral.

Die zugehörige Kerngleichung (2-7) lautet:



Das Spektrum der Gammastrahlung ist monoenergetisch. Für jedes Nuklid kann eine bestimmte charakteristische Energie angegeben werden.

2.2 Wechselwirkungsprozesse von Photonen mit Materie

Strahlung, die beim Durchgang durch Materie Atome bzw. Moleküle ionisiert, wird als ionisierende Strahlung bezeichnet.

Es können zwei Arten unterschieden werden:

- Teilchenstrahlung, bestehend aus geladenen oder neutralen Teilchen wie Elektronen, Protonen, Schwerionen, α -Teilchen, β -Teilchen, Ionen (von Null verschiedene Ruhemasse)
- Photonenstrahlung, Röntgen- oder Gammastrahlung (keine Ruhemasse)

Da die Verwendung von Körperdosimetern vorrangig zu Strahlenschutz Zwecken dient, soll im Weiteren auf die für diesen Zweck vorrangig relevante Photonenstrahlung (Gammastrahlung) und auf die häufigsten Wechselwirkungen von Photonenstrahlung mit Materie eingegangen werden.

In Abbildung 2-1 sind die drei wichtigsten Wechselwirkungsprozesse von Photonen mit Materie dargestellt.

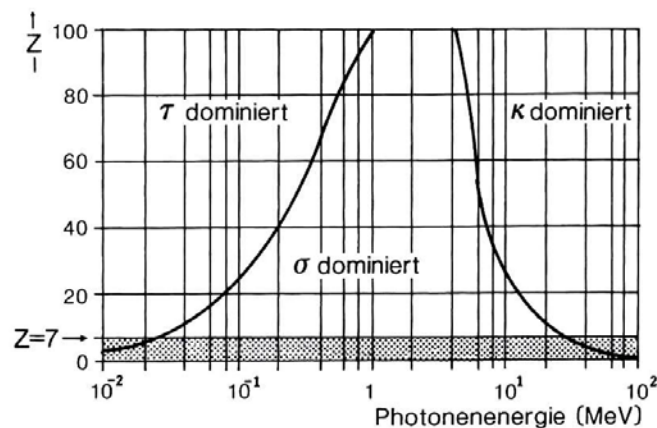


Abbildung 2-1: Flächendiagramm der wichtigsten relativen Anteile der Photonen-Wechselwirkungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von Photonenenergie und Ordnungszahl des Absorbers (τ : Photoeffekt, σ : Comptonstreuung, κ : Paarbildung) [9]

2.2.1 Photoeffekt

Beim Photoeffekt wird ein auf ein Atom auftreffendes Photon von einem inneren Hüllenelektron (K-, L- Schale) absorbiert, wobei die gesamte Energie des Photons übertragen wird.

Das Hüllenelektron wird durch die aufgenommene Energie, sofern sie mindestens so groß wie die Bindungsenergie des Elektrons ist, als Photoelektron aus dem Atom herausgeschlagen und hinterlässt ein Elektronenloch. Bis auf den

ordnungszahlabhängigen Bindungsenergieanteil übernimmt das Elektron die gesamte Photonenenergie als kinetische Energie.

Elektronen aus höheren Schalen können das Elektronenloch wieder besetzen. Dabei kommt es zur Emission von charakteristischer Hüllenstrahlung oder Auger-Elektronen. Der Prozess wird in Abbildung 2-2 veranschaulicht.

Im medizinischen Bereich spielt der Photoeffekt nur in der Röntgendiagnostik eine größere Rolle [9].

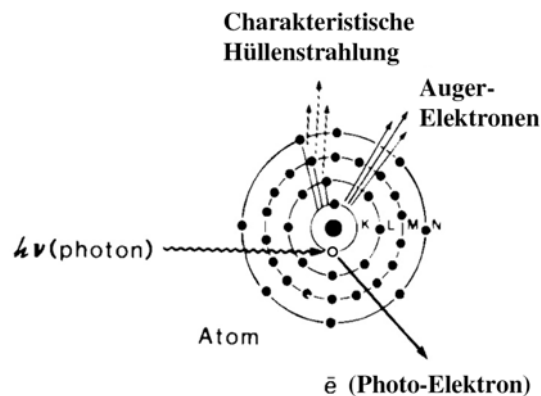


Abbildung 2-2: Schematische Darstellung des Photoeffektes [7]

2.2.2 Compton-Effekt

Der Comptoneffekt ist die inelastische Streuung von Photonen an äußeren, schwach gebundenen Hüllenelektronen eines Absorbers. Dabei gibt das Photon einen Teil seiner Energie und seines Impulses an das Elektron ab und wird gestreut, d.h. aus seiner Ausbreitungsrichtung abgelenkt. Gestreute Photonen werden auch als Compton-Photonen bezeichnet und bilden die sogenannte Streustrahlung.

Das Elektron wird durch die Energieaufnahme aus der Atomhülle herausgeschlagen, verlässt sie als Compton-Elektron und hinterlässt ein ionisiertes Atom. In Abbildung 2-3 wird dieser Prozess grafisch verdeutlicht.

Im menschlichen Weichteilgewebe und anderen Substanzen mit niedriger Ordnungszahl ist der Comptoneffekt bei therapeutischen Photonenenergien der dominierende Wechselwirkungsprozess [9].

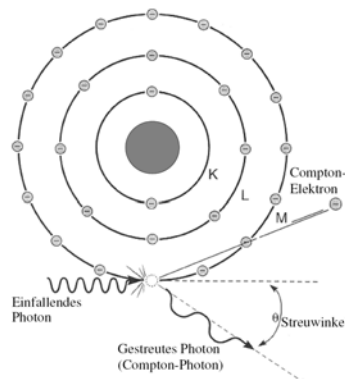


Abbildung 2-3: Schematische Darstellung des Compton-Effektes [7]

2.2.3 Paarbildung und Paarvernichtung

Wenn ein einfallendes Photon eine Energie größer 1,022 MeV besitzt, kann es über den Paarbildungsprozess absorbiert werden [9].

Bei diesem Effekt zerfällt im starken elektrischen Feld des Atomkerns (Coulombfeld) ein Photon spontan in ein Elektronen-Positronen-Paar. Energie, die nicht zur Teilchenerzeugung benötigt wird, wird als kinetische Energie beliebig auf beide Teilchen verteilt. Aufgrund der Abstoßung durch das elektrische Feld erhält allerdings das positiv geladene Positron eine geringfügig höhere Bewegungsenergie als das negative Elektron, das durch die Kernanziehung gebremst wird. Aufgrund der Impulserhaltung werden die Teilchen nach vorne emittiert, wie in Abbildung 2-4 dargestellt ist.

Nach ihrer Entstehung bewegen sich Elektron und Positron durch den Absorber und geben durch Stöße ihre Energie in kleinen Anteilen an diesen ab.

Ist das Positron durch die Wechselwirkungen fast bzw. vollständig zur Ruhe gekommen (d.h. es hat seine Bewegungsenergie fast bzw. vollständig abgegeben), rekombiniert es mit einem Hüllenelektron des Absorbers. Die Ruhemasse beider Teilchen wird in die so genannte Vernichtungsstrahlung, zwei 511 keV Photonen, umgewandelt und unter einem Winkel von 180° zueinander abgestrahlt. Diesen Umkehrvorgang zur Paarbildung bezeichnet man als Paarvernichtung.

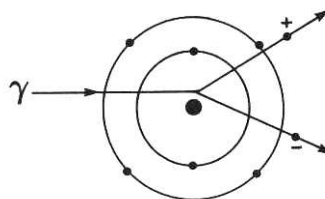


Abbildung 2-4: Schematische Darstellung der Paarbildung [9]

2.3 Dosisgrößen im Strahlenschutz

2.3.1 Energiedosis

Für alle Berechnungen von Dosisgrößen bildet die Energiedosis bzw. die Organenergiedosis die Grundlage, da alle Strahlenwirkungen im Grunde auf der Absorption von Strahlungsenergie im menschlichen Gewebe zurückgeführt werden können.

Die Energiedosis D ist der Quotient aus der auf das Material übertragenen Strahlungsenergie dE und der Masse dm des Materials:

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (2-8)$$

Da sich die Energiedosis nur auf ein kleines Massenelement dm bezieht und in der Praxis keine Dosisgrößen von Punktgrößen gemessen werden sollen, wurde die Organenergiedosis $D_{T,R}$ aus der Energiedosis D abgeleitet und wie folgt definiert:

$$D_{T,R} = \frac{E_R}{m_T} \quad (2-9)$$

E_R lässt sich als gesamte Strahlungsenergie interpretieren, die von der Strahlungsart R auf das Organ T übertragen wird. m_T stellt die Masse des Organs T dar. Die Organenergiedosis bezieht sich auf das ganze Organ und ist keine Punktgröße. Sie ist die Basis für alle nachfolgend erläuterten Körperdosisgrößen.

Die SI-Einheit von Energiedosis und Organenergiedosis ist Joule pro Kilogramm (1 J/kg = 1 Gy). Die Einheit Gray erhielt ihren Namen zu Ehren des englischen Physikers Louis Harold Gray (1905 -1965) und wird für rein physikalische Größen verwendet.

2.3.2 Dosismessgrößen

Für die Orts- und Personendosimetrie ist die Äquivalentdosis H grundlegend. Mit ihr können Ortsdosen sowie Personendosen berechnet werden, die zur praktischen Bestimmung von Schätzwerten der Körperdosen verwendet werden. Dabei wird die Eindringtiefe in den menschlichen Körper berücksichtigt.

Orts- und Personendosis sind direkt messbare Größen mit physikalisch eindeutigen Definitionen und können bei allen Strahlenarten und auch bei Messungen in gemischten Strahlenfeldern angewandt werden [24].

Um die Einheit der Dosismessgrößen und auch Körperdosisgrößen (siehe Kapitel 2.3.3) von der Energiedosis und Organenergiedosis unterscheiden zu können, wurde hierfür die Einheit Sievert ($1\text{Sv} = 1\text{ J/kg}$) eingeführt. Sievert wird verwendet, um zu signalisieren, dass es sich um Angaben bezüglich des Strahlenschutzes und einer Größe mit Wichtung der Strahlenqualität und/oder Strahlensensibilität handelt.

2.3.2.1 Äquivalentdosis

Die Äquivalentdosis H stellt die Summe der zeitgleichen oder zeitversetzten Einwirkungen verschiedener Strahlungsqualitäten und Strahlenfelder dar.

Sie berechnet sich aus der Gewebe-Energiedosis und einem Wichtungsfaktor (Qualitätsfaktor Q):

$$H = Q \cdot D \quad (2-10)$$

Bei verschiedenen Strahlungsarten, die in einem Zielvolumen wirken, ergibt sich die Äquivalentdosis aus der Summe der einzelnen Äquivalentdosen. Bei verschiedenen Zielvolumina dürfen die einzelnen Äquivalentdosen hingegen nicht addiert werden.

$$H = \sum_i Q_i \cdot D_i \quad (2-11)$$

Der Qualitätsfaktor berücksichtigt vereinfacht die komplizierten biologischen Effekte, die während der Strahlenexposition im Gewebe auftreten. Per Definition ist er für Photonenstrahlung gleich eins, für alle anderen Strahlungsarten hängt er von der Art und Energie der Strahlung ab. Der Qualitätsfaktor wird immer so gewählt, dass gleiche Äquivalentdosen verschiedener Strahlungsqualitäten dieselben biologischen Wirkungen haben. In der Veröffentlichung Nr. 51 der ICRU sind die Qualitätsfaktoren aller Strahlungsarten definiert und festgelegt (siehe Tabelle 2-2). Dabei wird der Qualitätsfaktor in Abhängigkeit des linearen Energieübertragungsvermögens L (auch LET genannt) angegeben. „Das lineare Energieübertragungsvermögen ist die Energie dE , die ein geladenes Teilchen der Energie E auf einer Wegstrecke ds an die Materie abgibt.“ [2].

Tabelle 2-2: Zusammenhang L und Qualitätsfaktor $Q(L)$ nach [8]

LET (keV/ μm) in Wasser	$Q(L)$
< 10	1
10 - 100	$0,32L-2,2$
>100	$\frac{300}{\sqrt{L}}$

Mit Hilfe der Äquivalentdosis können die Dosismessgrößen Ortsdosis und Personendosis experimentell bestimmt werden [25].

2.3.2.2 Ortsdosen

Als Ortsdosis bezeichnet man die Äquivalentdosis eines bestimmten Raumpunktes. Durch sie wird es möglich, die effektive Dosis einer Person (Körperdosis) abzuschätzen, wenn sich diese am Ort der jeweiligen Ortsdosis aufhalten würde. Die Orientierung der Person zum Strahlenfeld ist nicht bekannt.

Anhand von Ortsdosismessungen werden Strahlenschutzbereiche festgelegt.

Es können zwei Arten von Ortsdosen in Abhängigkeit von der Strahlungsart und -qualität für die Berechnung genutzt werden: die *Umgebungs-Äquivalentdosis* $H^*(d)$ und die *Richtungs-Äquivalentdosis* $H'(d, \vec{\Omega})$.

Die Messung erfolgt meist mittels Kugel- oder Zylinderionisationskammerdetektoren mit dünner Kammerwand in Phantomen. In der Regel wird ein ICRU-Kugel-Phantom verwendet [9].

Die Messung der *Umgebungs-Äquivalentdosis* $H^*(d)$ wird bei durchdringender Strahlung angewandt.

Bei entsprechender Detektorkonstruktion haben diese eine weitgehend von der Einstrahlrichtung unabhängige Empfindlichkeit, was zu einer unabhängigen Dosimeteranzeige bezüglich der einfallenden durchdringenden Strahlenfelder führt (gekennzeichnet durch „*“).

„d“ steht für die Bezugsmesstiefe im Phantom in mm. Sie ist eine Bezugstiefe für die Kalibrierung der Umgebungssonden.

Soll die Ortsdosis an einem Ort mit wenig durchdringender Strahlung bestimmt werden, wird die *Richtungs-Äquivalentdosis* $H'(d, \vec{\Omega})$ berechnet.

Da die Strahlung wenig durchdringend ist, ist die Messanzeige eines Detektors von der Strahleneinfallrichtung abhängig, was durch „'“ im Formelzeichen angezeigt wird.

„d“ steht ebenfalls für die Bezugsmesstiefe im Phantom in mm und $\vec{\Omega}$ für den Richtungsvektor des Strahleneinfalls.

2.3.2.3 Personendosis

Die Personendosis ist „ein personenbezogenes und individuelles Maß für die Strahlenexposition einer bestimmten Person durch externe Strahlungsfelder.“ [9].

Gemessen wird die Äquivalentdosis an einer für die Strahlenexposition repräsentativen Stelle am Körper mittels Personendosimeter. Anders als die Ortsdosis ist die Personendosis im tatsächlichen Strahlenfeld klar definiert.

Ist die Strahlung durchdringend, so wird als Personendosis die Äquivalentdosis in ICRU-Weichteilgewebe in 10 mm Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeters gemessen. Sie wird mit $H_p(10)$ bezeichnet und dient der Abschätzung von effektiver Dosis und Organdosis.

Für Strahlung mit geringer Eindringtiefe wird die Personendosis mit $H_p(0,07)$ angegeben. Sie berechnet sich aus der Äquivalentdosis für ICRU Weichteilgewebe in 0,07 mm Tiefe im Körper an der Tragestelle des Personendosimeters und dient der Abschätzung der Hautdosis.

2.3.3 Körperdosisgrößen

Als Körperdosisgrößen werden die Organdosis und die effektive Dosis bezeichnet. Sie sind die Basis für die Abschätzung möglicher Strahlenschäden und wurden zur Festlegung der gesetzlichen Personendosisgrenzwerte herangezogen.

Anders als die Dosismessgrößen sind Körperdosisgrößen berechnete Größen, die in der Praxis nicht direkt gemessen werden können.

2.3.3.1 Organdosis

Mit der Organdosis ist es möglich, die Wahrscheinlichkeit der schädigenden Strahlenwirkung als strahlenbiologische Größe zu quantifizieren.

Um sie zu berechnen, wurde die Organdosis H_T definiert.

Die Basis zur Berechnung bildet die mittlere Energiedosis $D_{T,R}$ im Organ, Gewebe oder Körperteil T, die durch die Strahlungsart R verursacht wurde. Berechnet wird die Organdosis durch Multiplikation dieser Organenergiedosis $D_{T,R}$ mit einem Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R für die vorherrschende Strahlungsart und -energie:

$$H_T = w_R \cdot D_{T,R} \quad (2-12)$$

Bei gemischten Strahlenfeldern wird die Organdosis über alle Strahlungsarten R aufsummiert:

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R} \quad (2-13)$$

Die Werte der Strahlungs-Wichtungsfaktoren berücksichtigen die unterschiedliche biologische Wirksamkeit der verschiedenen Strahlungsarten und wurden so festgelegt, dass bei gleichem H_T auch gleich hohes Risiko gilt. In Tabelle 2-3 sind die unterschiedlichen Wichtungsfaktoren nach ICRP 103 dargestellt.

Tabelle 2-3: Empfohlene Strahlungs-Wichtungsfaktoren nach [8]

Strahlungsart	Strahlungs-Wichtungsfaktor w_R
Photonen	1
Elektronen und Myonen	1
Protonen und geladene Pionen	2
Alphateilchen, Spaltfragmente und Schwerionen	20
Neutronen	2,5 bis 20

2.3.3.2 Effektive Dosis

Mit der Organdosis ist es möglich, die unterschiedlichen biologischen Wechselwirkungen der einzelnen Strahlenarten zu berücksichtigen. Nun ist es noch nötig für die in der Praxis vorherrschende Situation der inhomogenen Exposition von Gewebe und Organen ein Gesamtrisiko anzugeben. Dabei muss auch die differenzierte Strahlensensibilität der einzelnen Organe berücksichtigt werden.

Möglich wird dies durch die effektive Dosis E :

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T \quad (2-14)$$

Die effektive Dosis ergibt sich aus der Summe der mit entsprechenden Gewebe-Wichtungsfaktoren multiplizierten Organdosen H_T .

Wenn gemischte Strahlenfelder an der Exposition beteiligt sind, müssen die Organdosen H_T über alle Strahlenarten R aufsummiert werden.

$$E = \sum_T w_T \cdot \sum_R w_R \cdot D_{T,R} \quad (2-15)$$

Die Gewebe-Wichtungsfaktoren berechnen sich aus den Risikoeffizienten der einzelnen Teilkörper und dem Gesamtrisiko. Sie wurden in der Empfehlung der ICRP in der Veröffentlichung 103, wie in Tabelle 2-4 dargestellt, festgelegt.

Tabelle 2-4: Gewebe-Wichtungsfaktoren nach ICRP 103 [8]

Organ, Gewebeart	w_T	w_T gesamt
Knochenmark (rot), Kolon, Lunge, Magen, Brust, restliche Gewebe ¹	0,12	0,72
Keimdrüsen	0,08	0,08
Blase, Ösophagus, Leber, Schilddrüse	0,04	0,16
Knochenoberfläche, Gehirn, Speicheldrüsen, Haut	0,01	0,04
Summe:		1,00

Durch die Normierung der Summe aller Gewebe-Wichtungsfaktoren auf Eins erreicht man bei gleichmäßiger Exposition des gesamten Körpers, dass der Zahlenwert von Organdosen H_T gleich der effektiven Dosis wird.

Erst mit der Größe der effektiven Dosis gelingt es, das Gesamtrisiko zu quantifizieren und somit das Ziel der Strahlenschutzdosimetrie zu erreichen.

2.4 Amtliche Dosimeter

2.4.1 Filmdosimeter

Amtliche Filmdosimeter werden unter anderem im Bereich der Radiologie und Nuklearmedizin eingesetzt um Ganzkörperdosimetrie (Überwachung der Ganzkörperstrahlenexposition) zu betreiben. Es kann damit Photonenstrahlung im Bereich von 14 keV bis 1,4 MeV gemessen werden. Dazu wird die Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ in Sv für Photonenstrahlung als Schätzwert für die effektive Dosis bestimmt. Der Nachweis von Betastrahlung ist ab einer mittleren Energie von 500 keV möglich [11].

Die Filme werden von der zuständigen Landesmessstelle (in Sachsen die LPS Berlin) ausgegeben und ausgewertet. Die Ergebnisse werden auf Diskette gespeichert und zusätzlich in gedruckter Form mit den neuen Dosimeterfilmen geliefert.

2.4.1.1 Aufbau

Ein Filmdosimeter besteht aus einer Kunststoffkassette (Gleitschattenkassette) und der darin befindlichen Messfilmpackung.

In der Gleitschattenkassette sind zwei Filterfelder (auf Vorder- und Rückseite) enthalten, wobei sich jeweils gleiche Filter gegenüberstehen. Die Metallfilter bestehen

¹ restliche Gewebe: Nebennieren, Obere Atemwege, Gallenblase, Herz, Nieren, Lymphknoten, Muskelgewebe, Mundschleimhaut, Bauchspeicheldrüse, Prostata, Dünndarm, Milz, Thymus, Gebärmutter/Gebärmutterhals

aus den Materialien Zinn, Blei und Acryl-Butadien-Styrol (ABS) unterschiedlicher Dicke und Anordnung. Zum qualitativen Nachweis von Beta-Strahlung sind zwei Betastrahlungsindikatoren aus Kupfer und Silber integriert. Um die Strahleneinfallrichtung registrieren zu können, sind zwei Richtungsindikatoren (Metallstäbe) in den Kunststoff eingearbeitet. Die Anordnung der einzelnen Filter ist in Abbildung 2-5 dargestellt.

Die Messfilmpackung enthält zwei verschieden empfindliche Filmplättchen (Dosismessfilme) und ist lichtdicht verpackt. Ein Film ist hochempfindlich und dient zur Messung kleiner Dosen. Der andere ist weniger empfindlich und wird zur Messung genutzt, wenn der hochempfindliche Film durch eine dosisbedingte starke Schwärzung nicht mehr ausgewertet werden kann. Die Verpackung der Filme besteht aus Plastik und lichtdichtem Papier (Abbildung 2-6).



Abbildung 2-5: Aufbau eines Filmdosimeters [12]

(1: Metallfilter, 2: Plastfilter, 3: Kupferabsorber für Beta-Strahlung, 4: Silberabsorber für Beta-Strahlung, 5: Richtungsanzeiger, 6: Angabe der Bauartzulassungsnummer und des Nenngebrauchbereiches)



Abbildung 2-6: Messfilm mit Messfilmverpackung [11]

(1: Filmhülle Vorderseite, 2: Filmhülle Rückseite, 3: Aufreißlasche, 4: lichtdichtes Papier, 5: wenig lichtempfindlicher Film, 6: hoch empfindlicher Film)

2.4.1.2 Funktionsweise

Das Filmdosimeter wird an einer „repräsentativen Stelle“ am Körperrumpf getragen, z.B. an einer Brusttasche oder am Hosenbund. Die durchsichtige Vorderseite muss dabei nach vorn gerichtet sein.

Die Photonenstrahlung wird aufgrund der Filteranordnungen in Abhängigkeit von Art und Energie der Strahlung unterschiedlich stark geschwächt, so dass ein Schwärzungsmuster auf dem Dosismessfilm entsteht.

Die Analyse der Strahlenarten und Energien wird durch den Vergleich der Schwärzungen (Messung der optischen Dichte) nach der Filmentwicklung möglich. Nach Auswahl der geeigneten Kalibrierungswerte kann mit einem Algorithmus die Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ berechnet werden.

Durch den Gleitschattenfilter, der als Kompensationsfilter bezüglich der Einfallrichtung wirkt, wird der dosismittelbestimmende Einfallswinkel (0° bis $\pm 60^\circ$ zur Vorzugsrichtung) der ionisierenden Strahlung automatisch berücksichtigt. Die Dosisangabe reicht von $100 \mu\text{Sv}$ bis 1 Sv .

2.4.2 TLD-Fingerring

Zur Überwachung der Teilkörperexposition, die in der StrlSchV § 41 (3) bzw. RöV § 35 (5) festgelegt ist, wird ein auf einem größenverstellbaren Fingerring aufgebracht Thermolumineszenzdetektor (TLD) verwendet.

Es stehen zwei verschiedene Arten von Fingerringdosimetern zur Verfügung. Zum einen für reine Photonenstrahlenfelder (Photonen-Fingerring) und zum anderen für gemischte Beta- und Photonenstrahlenfelder (Beta-Fingerring).

Der TLD des Dosimeters kann ca. 50-mal wiederverwendet werden. Dies entspricht einer Lebensdauer von 8 bis 10 Jahren [13].

Grundsätzlich können Fingerringdosimeter auch zur Überwachung der Augendosis und anderer Teilkörperexpositionen eingesetzt werden. Das bedarf jedoch entsprechender Absprachen mit der zuständigen Landesmessstelle.

Photonen-Fingerringe

Sie messen die Strahlenexposition als Äquivalentdosis H_x für Photonenenergien von 10 keV bis $1,4 \text{ MeV}$ [14].

Beta-Fingerringe

Sie messen die Strahlenexposition als Oberflächenpersonendosis $H_p(0,07)$ für Photonenenergien von 20 keV bis $1,4 \text{ MeV}$ [15].

2.4.2.1 Aufbau

Beide Ringarten sind im Wesentlichen gleich aufgebaut und unterscheiden sich nur im eingebauten TLD und seiner Abdeckung.

Bestandteile (siehe Abbildung 2-7)

- verstellbarer Einweg-Ring aus Polypropylen (glasfaserverstärkter Kunststoff)
- TLD Photonen-Fingerring:
 - aus LiF in natürlicher Zusammensetzung in Tablettenform, auf eine Kapton-Trägerfolie und zur Stabilisierung auf einen Aluminiumring geklebt, der mit lasergeätzter Dosimeternummer in Klartext und Barcode versehen ist
- TLD Beta-Fingerring
 - aus kupferdotiertem Lithiumfluorid (${}^7\text{LiF:Mg,Cu,P}$) in Form einer Pulverschicht auf eine Kapton-Trägerfolie aufgetragen und zur Stabilisierung auf einen Aluminiumring geklebt, der mit lasergeätzter Dosimeternummer in Klartext und Barcode versehen ist
- Abdeckkappe, eine diskusförmige Linse aus Polycarbonat (Visulett-Linse)
 - bei Photonen-Fingerring: innen geschwärzt
 - bei Beta-Fingerring: innen silberfarben

Zur Auswertung wird der TLD von der Landesmessstelle aus dem Einwegring herausgedrückt.

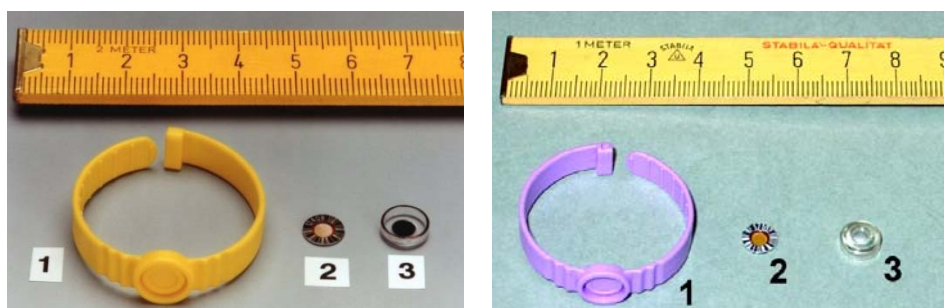


Abbildung 2-7: links: Aufbau TLD Photonen-Fingerring [21],
rechts: Aufbau TLD Beta-Fingerring [20]
(1: Einweg-Ringkörper aus Polypropylen,
2: Detektorelement, 3: Abdeckung)

2.4.2.2 Funktionsweise TLD-Fingerring

Da das Fingerringdosimeter der Ermittlung der Teilkörperdosis dient, sollte es an einer entsprechenden repräsentativen Stelle des Körpers getragen werden. Für die Hände entspricht dies dem Zeige-, Mittel- oder Ringfinger, wobei der Detektor idealerweise zur Strahlenquelle weisen sollte.

Bei Verwendung von Schutzkleidung (z.B. Gummihandschuhe) ist das Dosimeter unter dieser zu tragen.

Durch gezielte Dotierung werden im TLD metastabile Zwischenniveaus erzeugt.

Die Absorption von einfallender ionisierender Strahlung erfolgt durch Speicherung von angeregten Elektronen auf diesen Zwischenniveaus in Elektronenfallen (Traps).

Für die Auswertung der TLD werden durch thermische Anregung des Kristalls die gespeicherten Elektronen wieder ins Leitungsband freigesetzt und die Energie in Form von Licht bei der Rekombination mit Defektelektronen im Valenzband abgegeben. Bei der Messung des Lichts mit einem Photomultiplier entsteht eine sogenannte Glühkurve. Die Fläche, die sich unter der Glühkurve befindet ist ein Maß für die Strahlendosis. Da sich im Material mehrere metastabile Elektronenniveaus mit unterschiedlichen energetischen Lagen zwischen Valenz- und Leitungsband befinden, sind die erforderlichen Energien zur Auslösung der Elektronen aus den Traps auch unterschiedlich. Dies wird in der Glühkurve (siehe Abbildung 2-8) an den verschiedenen „Glowpeaks“ ersichtlich, deren Position auf der Temperaturachse der energetischen Tiefe der Traps entspricht.

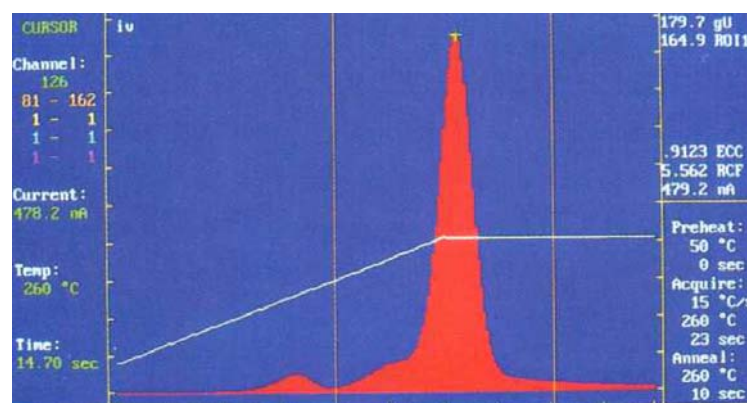


Abbildung 2-8: Glühkurve eines TLD [13]

Für jedes Detektormaterial ist ein Zeit-Temperatur-Profil spezifisch, das die Aufheizrate des Detektors und die maximal zulässige Temperatur angibt. In der Regel werden Temperaturen > 250 °C benötigt.

Die Elektronen, die in dicht unter dem Leitungsband liegenden Traps gespeichert sind, können schon bei niedrigen Temperaturen ins Leitungsband angeregt werden und Lumineszenz auslösen, womit die Dosisinformation „gelöscht“ würde. Dieser Vorgang wird als „Fading“ bezeichnet und beträgt bei den Fingerringdosimetern nur max. 10% (Photonen TLD) bzw. 6% (Beta TLD) im Jahr. Bei dem Tragezeitraum von einem Monat spielt dieser unerwünschte Effekt demnach keine Rolle [16] [17].

Allerdings sollte darauf geachtet werden, das Dosimeter nicht über 80°C zu erhitzen (z.B. bei Hitzesterilisation).

2.5 Elektronische Personendosimeter (EPD)

Elektronische Personendosimeter (EPD) werden wie amtliche Filmdosimeter genutzt, um die Tiefen-Personendosis $H_p(10)$ zu bestimmen. Der große Vorteil im Vergleich zu Filmdosimetern ist, dass die Personendosis jederzeit über ein LCD-Display direkt ablesbar ist. Zusätzlich bieten elektronische Personendosimeter die Möglichkeit, die Dosisleistung zu messen und anzuzeigen, Warnsignale bei Überschreitung eines Dosisgrenzwertes zu geben und auch sehr kleine Dosiswerte von 1 μSv anzuzeigen. Der geeichte Messbereich reicht von 10 μSv bis 10 Sv.

Laut StrlSchV § 41 (5) ist der „zu überwachenden Person auf ihr Verlangen ein Dosimeter zur Verfügung zu stellen, mit dem die Personendosis jederzeit festgestellt werden kann“, beispielsweise bei Schwangerschaft.

In vielen Fällen wird ein EPD lediglich zusätzlich zum amtlichen Filmdosimeter getragen, da es sich zwar um ein eichfähiges, aber nicht für die betriebliche Dosimetrie zugelassenes Dosimeter handelt.

EPDs bestehen aus einem Plastgehäuse mit LCD-Display. Die Stromversorgung erfolgt über handelsübliche Batterien (1,5 V AA oder AAA).

Im Inneren befindet sich eine Platine mit den für die Dosisbestimmung notwendigen elektrischen Bauelementen und zumeist Siliziumdioden als Detektoren.

2.5.1 Funktionsweise von Halbleiterdetektorbasierten EPDs

Halbleiterdetektoren können generell elektromagnetische Strahlung und ionisierende Strahlung nachweisen.

Im Fall der für das Bachelorprojekt verwendeten EPDs handelt es sich bei dem Detektor um eine Siliziumdiode mit Energiekompensationsfilter, auf deren Funktionsweise näher eingegangen werden soll.

Um den Detektionsvorgang beschreiben zu können, sind Kenntnisse über die Energieniveaustruktur der Atome im Detektormaterial notwendig, die mit dem Bändermodell beschrieben werden kann.

Im Leitungsband wird der Ladungstransport durch Elektronen und Defektelektronen (Löcher) bewirkt [23]. Der Siliziumkristall ist unterschiedlich mit Fremdatomen dotiert. Im n-dotierten Gebiet befinden sich freibewegliche Elektronen als Ladungsträger und im p-dotierten Gebiet stellen Löcher (Defektelektronen) die Ladungsträger dar. Nach außen hin sind beide Gebiete neutral.

An der sich zwischen den Gebieten befindlichen Grenzschicht kommt es zur Diffusion von Elektronen in den p-leitenden Bereich, zur Rekombination und somit zur Ausbildung einer negativen Ladungsschicht. Entsprechend bildet sich im n-leitenden Gebiet eine positive Ladungsschicht aus. Innerhalb des Übergangs, der auch Diffusionsfeld oder Verarmungszone genannt wird, bildet sich ein elektrisches Feld aus, in dem sich keine freien Ladungsträger mehr befinden.

Bei Betrieb der Siliziumhalbleiterdiode in Sperrrichtung wird die Verarmungszone, durch Abwandern freibeweglicher Ladungsträger von der Grenzschicht, vergrößert und es kann kein Strom fließen.

Trifft nun elektromagnetische Strahlung auf den Halbleiter und in die Grenzschicht, so kommt es zu Kristallanregung und in der Folge werden Elektronen-Loch-Paare erzeugt. Elektronen werden ins Leitungsband angehoben und sind dort quasi-freibeweglich, sie hinterlassen im Valenzband jeweils ein Loch. Im Valenzband kommt es zu einer sogenannten „Löcherwanderung“, wobei in jedes Loch ein Elektron springt und in das von diesem hinterlassene Loch wieder eines. So werden die Ladungsträger durch das Diffusionsfeld getrennt. Die freigewordenen Elektronen werden zum n-Leiter und die Löcher zum p-Leiter getrieben. Dadurch ist ein elektrischer Impuls registrierbar.

Die elektrischen Impulse, die bei Auftreffen von elektromagnetischer Strahlung auf den Siliziumdiodendetektor entstehen, werden in einen ladungsempfindlichen Verstärker geleitet. Dieser gibt eine verstärkte, der deponierten Ladung proportionale Spannung

aus, die ein signalformender Verstärker für die folgende Elektronik aufbereitet. Die Signale werden zur Berechnung und Anzeige der Tiefen- und Oberflächenpersonendosis verarbeitet [1].

2.6 Datenübertragung mittels Infrarottechnik

2.6.1 Infrarot-Leuchtdioden (IRED)

Leuchtdioden (LED – light emitting diodes) sind elektrische Halbleiter-Bauelemente, die beim Durchfluss von Strom in Durchlassrichtung Licht mit einer vom Halbleiter abhängigen Wellenlänge abstrahlen.

LEDs bestehen prinzipiell aus einem Kunststoffgehäuse, einem Halbleitermischkristall, einer an die Kathode angeschlossenen Reflektorwanne und einem an die Anode angeschlossenen Golddraht.

In der Reflektorwanne befindet sich der unterschiedlich dotierte Halbleitermischkristall, wobei die Kathode mit der n-dotierten Zone und die Anode mit der p-dotierten Zone verbunden ist. Werden der negative Anschluss einer Gleichspannungsquelle mit der Kathode und der positive Anschluss mit der Anode verbunden, kommt es aufgrund von Abstoßung bzw. Anziehung gleicher Ladungen zu einem Elektronenstrom im Halbleitermaterial, wodurch die Diode leitend wird (vgl. Funktionsweise Halbleiter EPD).

Werden die Pole entgegengesetzt verbunden, sperrt die Diode und es kann kein Stromfluss stattfinden.

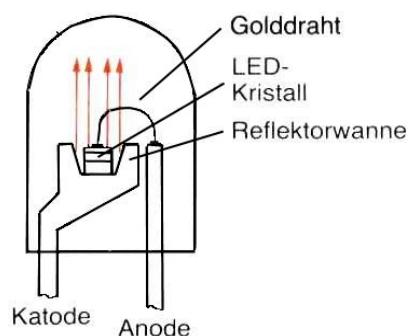


Abbildung 2-9: Grundaufbau LED/ IRED

Die für die Infrarotdioden (IRED – infrared emitting diodes) verwendeten Halbleitermaterialien sind Galliumarsenidverbindungen wie reines Galliumarsenid (GaAs), Gallium-Aluminium-Arsenid (GaAlAs) und andere. Bei diesen Materialien wird im leitenden Zustand der Diode bei der Rekombination der Ladungsträger Energie in

Form von elektromagnetischer Strahlung im Infrarotbereich emittiert, die den Kristall vom p-Gebiet durch die nahe Oberfläche verlässt. Die sich im Inneren des Kristalls ausbreitende Strahlung wird je nach Aufbau absorbiert oder am Boden reflektiert.

IREDs sind wie auch LEDs spannungsgesteuert. Je größer die über der IRED abfallende Spannung in Durchlassrichtung ist, desto mehr Strom fließt durch den Halbleiter und desto heller leuchtet sie.

Da die Ansprechzeit bei IREDs aufgrund der hohen Beweglichkeit der Ladungsträger sehr kurz ist (wenige Nanosekunden), kann ihre Strahlung über den Diodenstrom für Signalübertragungssysteme bis in den Gigahertzbereich hinein moduliert und genutzt werden [3].

2.6.2 Photodioden/Phototransistoren

Um Licht- bzw. Infrarotsignale zu empfangen, wird eine Photodiode oder ein Phototransistor benötigt.

Eine Photodiode ist ein Halbleiterbauelement, meist aus Silizium für sichtbares Licht und Germanium für infrarotes Licht. Photodioden werden meist an einer äußeren Spannung in Sperrrichtung betrieben. Der pn-Übergang liegt nahe an der Oberfläche des Kristalls, dadurch ist die Sperrschicht der elektromagnetischen Strahlung zugänglich. Diese setzt in der Sperrschicht durch den inneren Photoeffekt Ladungsträger frei und bewirkt somit eine Vergrößerung des Sperrstroms.

Der Sperrstrom (oder auch Photostrom) erhöht sich linear mit der Beleuchtungsstärke. In einigen Fällen wird die Stromänderung mit einem hochohmigen Widerstand in eine Spannungsänderung umgesetzt.

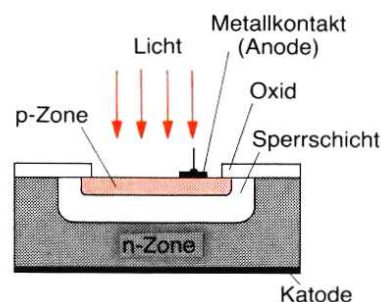


Abbildung 2-10: Prinzipieller Aufbau einer Si-Planar-Photodiode im Querschnitt [3]

Phototransistoren bestehen aus einer Photodiode, die in einem Bipolartransistor als dessen Kollektordiode integriert und an der Kristalloberseite angebracht ist. Diese Bauweise ist möglich, da die Kollektordiode eines Bipolartransistors wie die Photodiode in Sperrrichtung arbeitet.

Trifft auf die Kollektorsperrschicht elektromagnetische Strahlung, so erhöht sich deren Sperrstrom. Dieser hat die gleiche Wirkung wie ein Basisstrom, d.h. er löst aus dem Emitter weitere Elektronen heraus, womit die Stromverstärkung wirksam wird und der Transistor angesteuert werden kann.

Der Vorteil gegenüber der Photodiode liegt in der wesentlich höheren Photoempfindlichkeit aufgrund der Stromverstärkung des Transistors.

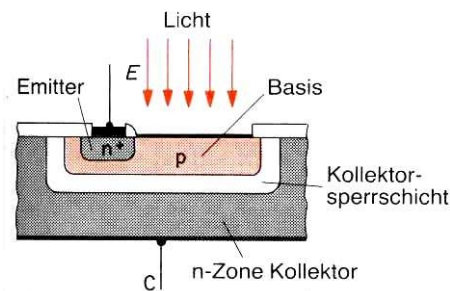


Abbildung 2-11: Prinzipieller Aufbau eines Si-Planar-Phototransistors im Querschnitt [3]

2.6.3 Prinzip der Datenübertragung

Das zu übertragende Signal wird über die Veränderung der Intensität des optischen Signals codiert. Dies geschieht durch die Variation der Stromstärke der IRED (Sender). Empfängerseitig arbeitet eine Photodiode oder ein Phototransistor, der in der Lage ist, anhand des zur Intensität proportionalen Stroms das Signal wahrzunehmen und zu verarbeiten. Es wird die Pulse Position Modulation verwendet [3].

3 Material und Methoden

3.1 Elektronisches Personendosimeter *Isotrak DoseGuard S₁₀*

Zur Realisierung des Projekts wurden elektronische Personendosimeter der Marke *DoseGuard S₁₀* (Vertrieb durch die Firma *Isotrak*, Herstellung durch die Firma *RADOS*) verwendet.

Isotrak ist eine Handelsmarke von Eckert & Ziegler, einem führenden Vertrieb für Strahlungsquellen mit Tochterunternehmen, die sich mit Verarbeitung und Entwicklung von Radioisotopen, Herstellung und Vertrieb von isotopentechnischen Komponenten sowie medizintechnischen Geräten befassen [26].

Das *DoseGuard S₁₀* ist ein digitales Personen-Alarmdosimeter für Personen, die während ihrer täglichen Arbeit Gammastrahlung ausgesetzt sein können. Es ist mit Dosisleistungs- und Dosisalarmfunktionen ausgestattet, um die überwachte Person auf eine zu hohe Strahlenexposition hinzuweisen (in 3.4 näher besprochen). Der Alarm wird mittels eines 80 dB lautem Piepton oder Dauerton (je nach Art der Warnung) angezeigt.

Die Steuerung des Dosimeters erfolgt durch einen Druckknopf und die LCD-Anzeige, wobei bei jedem Knopfdruck auch ein Piepton zu hören ist. Folgende Funktionen sind mit dem Druckknopf möglich:

- Ein- und Ausschalten des Dosimeters
- Wechsel zwischen der Anzeige von Dosis und Dosisleistung
- Ein- und Ausschalten des Lautsprechers
- Zurücksetzen der Dosis
- Anzeige und Änderung der Dosiswarnschwelle
- Anzeige und Änderung der Dosisleistungswarnschwelle
- Ausführen eines Batterietests
- Quittieren eines Alarms

Die Dosimeter verfügen über eine Infrarot-Schnittstelle (siehe Kapitel 2.6.3), mit der sie über eine Auslesestation mit dem PC kommunizieren können.

Mit der in das Bedien- und Auswerteprogramm *Dosmo2000* integrierten Konfigurationssoftware sind folgende Einstellungen des Dosimeters am PC möglich:

- Status (IN, OFF)
- Standard-Anzeige (Dosis mit/ohne PID², Dosisleistung mit/ohne PID)
- Reset des Dosimeters (Dosis und Dosisleistung)
- Ändern der Dosiswarnschwelle und Dosisleistungswarnschwelle
- Aktivierung und Deaktivierung von Tastenfunktionen
- Ein- und Ausschalten des Signals/Lautsprechers
- Batteriecheck

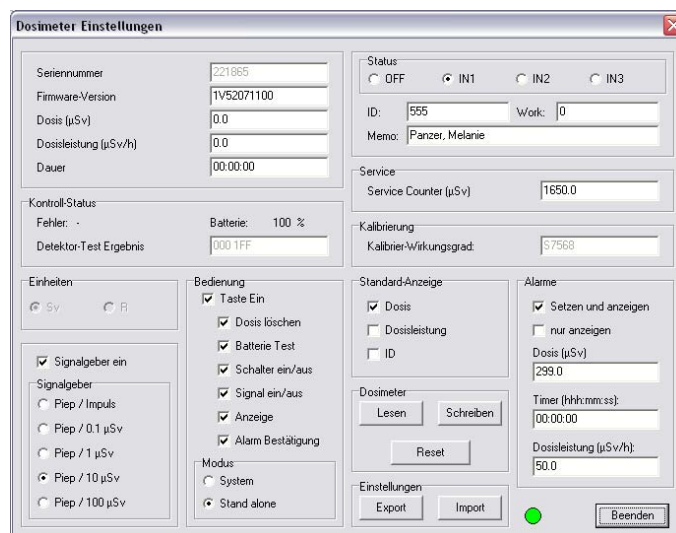


Abbildung 3-1: Dosimeter Konfigurationssoftware

Die Stromversorgung wird durch handelsübliche LR03 (AAA) 1,5 V Batterien gewährleistet. Nach Verlassen des Kontrollbereichs erfolgt im Zuge der Ausgangsmessung die automatische Abschaltung des Dosimeters, sodass sie während der Dienstpausen keinen Energieverbrauch haben.

In der Klinik war bereits die erforderliche Menge an Dosimetern vorhanden, jedoch musste ein Großteil davon, aufgrund diverser Defekte (Halteclip, Gehäuse, interne Fehler) vor Beginn der Einführung zur Reparatur geschickt werden. Diese zeitliche Verzögerung führte zum Teil zu einer kürzeren Einführungsphase bei einigen Mitarbeitern.

² PID: Personalidentifikationsnummer

Bevor das Auslese-System von den ersten Mitarbeitern genutzt werden konnte, war außerdem eine Inventarisierung aller vorhandenen Dosimeter im Rahmen dieser Bachelorarbeit notwendig.

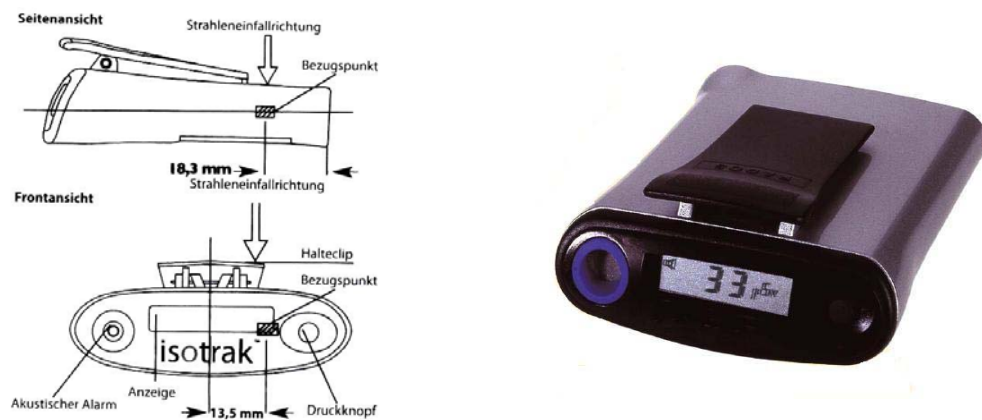


Abbildung 3-2: Elektronisches Personendosimeter *Isotrak DoseGuard S₁₀* [4]

3.2 Dosimeter-Auslesestation

Die Schnittstelle zwischen Dosimeter und Dokumentationssoftware ist eine Infrarot-basierte Auslesestation. Zur An- bzw. Abmeldung der Mitarbeiter im Kontrollbereich werden die elektronischen Dosimeter an den Stationen eingesteckt und ausgelesen.

Hergestellt werden die Auslesestationen (Modell ADR-1), wie auch die verwendeten elektronischen Personendosimeter, von der Firma *RADOS* in Finnland.

Die Auslesestation besteht aus einem festen Metallgehäuse, der Dosimeter-Leseeinheit und wird über eine RS-232 Verbindung an einen handelsüblichen PC bzw. wie am Universitätsklinikum an einen Touchscreen-PC angeschlossen. Zudem benötigt sie eine Netzstromversorgung. Es besteht die Möglichkeit der Wandbefestigung oder Tischaufstellung.

Die Leseinheit beinhaltet eine Anzeige-LED, die je nach Lesezustand des Dosimeters (Verbindung aufbauen oder verbunden) in unterschiedlicher Weise blinkt, zwei IREDS, einen Fototransistor und zwei Kontaktpunkte, die bei Bedeckung durch das Dosimeter die IREDS aktivieren und dadurch eine Verbindung zwischen Dosimeter und PC realisieren.

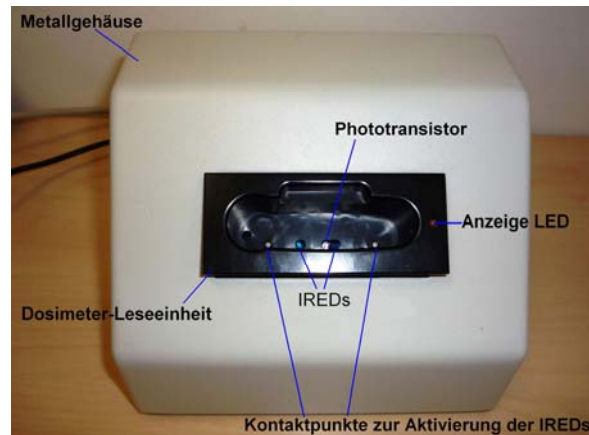


Abbildung 3-3: Auslesestation ADR-1

Die Auslesestationen für die Dosimeter befinden sich in den Umkleideräumen und der Radiochemieschleuse in der Ambulanz sowie in den Schleusen der Radiochemie und der Therapiestation in der Stephanstraße. Die Installation einer weiteren Auslesestation im PET-Schaltraum ist in Planung.

3.3 Bedien- und Auswerteprogramm *Dosmo2000*

Das Programm *Dosmo2000* wurde von der Firma *MED Nuklear-Medizintechnik Dresden* entwickelt und wird zur Datenbankverwaltung der Personen- und Dosimeterdaten, Konfiguration der Dosimeter sowie Auswertung der erhobenen Daten verwendet.

In der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin wird das Programm im Netzwerk betrieben, das heißt es kann von mehreren Geräten gleichzeitig auf die gemeinsame Datenbank zugreifen. Es existieren momentan zwei Clients, an denen Auswertungs- und Verwaltungsvorgänge ausgeführt werden können, aber auch das Auslesen von Dosimeterwerten möglich ist. Für die Mitarbeiter sind die Einstellungen an den entsprechenden Auslesestationen für den täglichen Betrieb so gewählt, dass sie als reine Mess- bzw. Ausleseclients zur Verfügung stehen.

3.3.1 Personenauswahl und Mess- bzw. Auslesemodi

Die Benutzung aller Programmfunktionen ist nur unter der Anmeldung als Hauptverwalter möglich. Für die Mitarbeiter sind die Clients aus diesem Status abgemeldet und befinden sich im Messmodus.

Das Ein- bzw. Auslesen der Dosimeter kann auch mit den Begriffen Eingangsmessen bzw. Ausgangsmessen bezeichnet werden. Um eine Messung einer Person zuzuordnen, stehen vier verschiedene Personenauswahlmodi zur Verfügung.

Automatisch

Die Personenzuordnung erfolgt über die im Dosimeter gespeicherte Dosimeternummer. Dieser Modus funktioniert nur, wenn das verwendete Dosimeter einer bestimmten Person zugeordnet wurde.

nur Auswahlliste

Hier wird eine Liste aller in der Datenbank gespeicherten Personen angezeigt, aus der sich die Person auswählen kann. Es ist keine Zuordnung des Dosimeters zu einer bestimmten Person notwendig, so dass ein beliebiges zur Verfügung stehendes Dosimeter verwendet werden kann.

Automatisch/Auswahlliste

Bei diesem Modus können sich sowohl Mitarbeiter mit zugeordnetem Dosimeter, als auch beispielsweise Techniker von Fremdfirmen ohne Zuordnung anmelden/eingangsmessen. Ist das Dosimeter einer Person zugeordnet, wird diese automatisch im Kontrollbereich angemeldet. Eine externe Person muss sich aus der Auswahlliste auswählen und wird erst dann im Kontrollbereich angemeldet. Für Fremdpersonal sollten bei Betrieb in diesem Modus immer einige zuordnungsfreie Dosimeter zur Verfügung stehen.

Bei Verwendung von Auswahllisten kann in den Grundeinstellungen festgelegt werden, ob nur Mitarbeiter, nur Fremdpersonal oder alle Personen der Datenbank angezeigt werden sollen.

Dieser Modus wurde für den Client in der Radiochemie-Schleuse in der Stephanstraße gewählt, da dort oft Servicetechniker am Zyklotron oder anderen technischen Anlagen arbeiten.

Automatisch/ID-Nummer

Für alle Clients außer der Radiochemieschleuse in der Stephanstraße wurde dieser Modus gewählt, da hier in der Regel keine Fremdmitarbeiter den Kontrollbereich betreten und allen Mitarbeitern mit Kontrollbereichszugang ein elektronisches Dosimeter zugeordnet ist.

Die Personenzuordnung erfolgt über die im Dosimeter gespeicherte Dosimeternummer und der Personalidentifikationsnummer (PID). Bevor eine Person im Kontrollbereich durch eine Eingangsmessung angemeldet wird, muss die PID über den Touchscreen eingegeben und bestätigt werden. Bei der Ausgangsmessung ist ein erneutes Eingeben der PID erforderlich.

In allen Messmodi sind keine weiteren Programmfunktionen außer das Ein- und Ausgangsmessen möglich. Die Einstellung, dass eine Dosisangabe per Tastatur möglich ist, könnte vorgenommen werden, wurde aber an keinem Client aktiviert. Nur mit der Anmeldung als Hauptverwalter stehen, wie eingangs erwähnt, alle Funktionen und Einstellmöglichkeiten zur Verfügung.

Vor jeder Eingangsmessung erfolgt ein Dosimeterreset, das heißt es werden die gespeicherte Dosis und maximale Dosisleistung auf Null zurückgesetzt.

Dies dient vor allem dazu, beim Auslesen nicht zu schnell die eingestellten Auslesedosisgrenzwerte zu erreichen (siehe Kapitel 4.1.1) und ist für die überwachte Person zudem eine bessere Selbstkontrolle. Es wird immer die tägliche Dosis angezeigt und kann vom Mitarbeiter informativ abgelesen werden.

Zur Erleichterung der Bedienung des Dosimetriesystems für neue Mitarbeiter wurden im Rahmen dieser Bachelorarbeit kurze Bedienanleitungen entworfen und neben den Stationen angebracht (siehe Anhang 1).

3.3.2 Datenbank

Die Datenbank dient zur Speicherung der Personendaten, der Dosimetermessdaten, der Dosimeter- sowie Filmzuordnungen, der importierten amtlichen Dosimeterwerte und aller Einstellungen.

Sie befindet sich auf einem Klinikserver, da die verschiedenen Clients über das Kliniknetzwerk von verschiedenen Orten zu jeder Zeit darauf zugreifen müssen.

Zu Testzwecken wurde die Datenbank für drei Wochen auf einen permanent laufenden Arbeitsplatzrechner verlegt. Damit sollte der Einfluss der lokalen CPU-Auslastung sowie der vorhandenen Arbeitsspeicherressourcen auf die Arbeitsgeschwindigkeit der Client-Software (Eingangs- und Ausgangsmessung) überprüft werden.

Um bei schwerwiegenden Ausfällen oder Problemen die Datenbank wiederherstellen zu können, wird eine tägliche Datenbanksicherung mithilfe eines Skripts durchgeführt, das jede Nacht über geplante Tasks ausgeführt wird. Die Sicherung erfolgt täglich, wobei die Backups der vergangenen sieben Tage gespeichert bleiben um auch die Wiederherstellung eines früheren Zeitpunktes durchführen zu können.

Nach der Installation der Hard- und Software für das Auslesesystem wurden die amtlichen Dosiswerte der vergangenen sieben Jahre für die Körper- und Extremitätendosis (jeweils die Jahressumme) aller überwachten Personen der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin, im Rahmen dieser Bachelorarbeit, in die Datenbank eingepflegt.

3.3.3 Amtliche und nichtamtliche Dosiswerte

Mit der Software können folgende Dosiswerte erfasst, zugeordnet und gespeichert werden:

- amtliche Filmdosimeterwerte
- amtliche Extremitätendosiswerte (z.B. Fingerringdosimeterwerte)
- nichtamtliche, mit elektronischen Personendosimetern gemessene Dosiswerte
- nichtamtliche, mit dem hauseigenen Ganzkörperzähler ermittelte Inkorporationsdosen
- Neutronendosis (wird in der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin nicht verwendet)

3.3.3.1 Amtliche Werte

Die amtlichen Dosiswerte der Körper- und Extremitätendosis können mit der Funktion „Import von Filmdosimeterwerten“ schnell und einfach in die Datenbank eingepflegt werden. Dazu ist eine spezielle Ergebnis-Datei der LPS notwendig, in der alle notwendigen Daten als .txt-Datei gespeichert sind. Dazu gehören:

- Betriebskennung der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin
- LPS ID.Nr.
- Vor- und Nachname
- Geburtsdatum
- Überwachungsbeginn und -ende
- Filmnummer
- Ergebnis der dosimetrischen Überwachung mit Film- oder Ringdosimeter

Zu beachten ist, dass beim Import die Art der Dosiswerte (amtliche Dosis, Neutronendosis, Inkorporationsdosis oder Extremitätendosis) angegeben werden muss, da es sonst zu Fehlberechnungen der Monats- bzw. Jahresdosis kommt. Für die Monats- und Jahresdosen werden nur die Werte der amtlichen Körperdosen addiert. Extremitäten- und Inkorporationsdosen werden dokumentiert, dürfen aber nicht in die amtliche Lebensdosis (bezieht sich auf Ganzkörperexposition) eingehen.

Die Datei mit den Ergebnissen wird mit den neuen Dosimeterfilmen auf einer Diskette gespeichert am Monatsbeginn geliefert.

Auf der Diskette ist weiterhin eine Zuordnungslistendatei für die neuen Filme gespeichert. Diese kann auch in die Datenbank importiert werden, so dass jeder überwachten Person die Filmnummer ihres Filmdosimeters zugeordnet und als ausgegeben markiert ist. Beim Importieren der Ergebnisse wird nur der Ergebniswert und gegebenenfalls Bemerkungen der LPS der dann vorhandenen Filmnummer zugeordnet und als Datensatz der entsprechenden Person hinzugefügt.

In der „Filmdosimeter-Liste“ können die dem System bekannten Filmdosimeter angezeigt werden. In der Übersicht erscheinen für jede Person die letzten beiden importierten Dosimeterfilme mit Ergebnissen, versehen mit dem Status „4“ für „Ergebnis eingelesen“. Bereits importierte Filmdosimeter der Monate für die noch ein Ergebnis aussteht, sind mit dem Status „3“ (für „Ergebnis noch nicht eingelesen“) ebenfalls aufgeführt.

Über den Menüpunkt „ergänzende/amtliche Dosiswerte – Eingabe/Anzeige“ erhält man eine Übersicht aller amtlichen importierten Dosismesswerte. Weiterhin können hier manuell amtliche Werte, Extremitätendosen oder Inkorporationsdosen (zum Beispiel aus vergangenen Jahren) eingepflegt und angezeigt werden.

Die aktuelle Softwareversion beinhaltet an dieser Stelle eine Fehlfunktion dergestalt, dass eine eingegebene Inkorporationsdosis zur Körperdosis addiert wird. Eine Programmänderung diesbezüglich konnte bisher durch die Firma *MED* noch nicht realisiert werden.

3.3.3.2 Nichtamtliche Werte

Zu den nichtamtlichen Werten zählen all jene Dosiswerte, die in der Klinik mittels elektronischer Personendosimeter bzw. am Ganzkörperzähler erfasst und gespeichert werden.

Die Dosiswerte können vom Hauptverwalter in verschiedenen Übersichten betrachtet werden. Der Mitarbeiter kann seine Monats-, 3-Monats- und Jahresdosis bei jedem Ein- bzw. Ausgangsmessen sehen (siehe Kapitel 3.3.5).

Es besteht die Option, über die Tastatur die mit den EPD gemessenen Dosiswerte in die Datenbank einzutragen. Dies ist z.B. nötig, wenn aufgrund einer Störung die Eingangsmessung nicht möglich war oder der Mitarbeiter die Eingangsmessung vergessen und das Dosimeter per Hand aktiviert hat.

Die Tastatureingabe ist vom Hauptverwalter durchzuführen und kann über zwei verschiedene Modi erfolgen, welche in den Einstellungen der Software gewählt werden können.

Modus 1

Hierbei muss die entsprechende Person aus der Personenliste gewählt werden, wobei dadurch automatisch die Dosimeternummer und PID eingetragen werden. Nach Auswahl des Arbeitsortes und Angabe der Art der Messung (Eingangs-, Zwischen-, Ausgangsmessung) können Dosis, Datum und Uhrzeit eingetragen werden.

Modus 2

Die Wahl der Person und des Arbeitsortes sowie das Eintragen der Dosis gleichen dem Ablauf im Modus 1.

Im Modus 2 wird die Dosis allerdings für einen Zeitraum eingetragen. Es können Start-Datum und -Uhrzeit sowie End-Datum und -Uhrzeit eingetragen werden, in der die Strahlenexposition gemessen wurde. Für den Startzeitpunkt wird automatisch eine Eingangsmessung mit dem Startwert von 0 μSv angelegt.

Abbildung 3-4: Manuelle Eingabe der Dosis (links im Modus 1, rechts im Modus 2)

Sobald die Ergebnisse der LPS eingelesen wurden, werden zur Dosisberechnung diese amtlichen Werte herangezogen. In den Übersichten bleiben die Klinikintern erhobenen Daten erhalten, werden aber zur Berechnung der Lebensdosis nicht genutzt.

3.3.4 Kontrollbereich-Übersicht

In der Kontrollbereich-Übersicht sind alle Personen, die eine Eingangsmessung durchgeführt haben und sich noch im Kontrollbereich befinden (keine Ausgangsmessung getätigt), aufgelistet. Mit der Eingangsmessung erfolgt demnach die Anmeldung und mit der Ausgangsmessung die Abmeldung aus dem Kontrollbereich.

Die Übersicht beinhaltet das Datum und die Uhrzeit der Eingangsmessung, sowie Name, Vorname, Dosimeternummer und den Dosis-Startwert. Dieser Startwert ist durch den Reset vor der Eingangsmessung in der Regel 0 μSv (siehe Kapitel 3.3.1). Die Liste kann bei Bedarf gedruckt und/oder als Excelfile exportiert werden.

3.3.5 Dosis-Übersichten

Für die Auswertung der erhobenen betrieblichen (nichtamtlichen) und amtlichen Dosiswerte stehen verschiedene Übersichten zur Auswahl, die im Folgenden beschrieben werden sollen.

Personen-Monatsübersicht

Um die Monatsdosis eines Mitarbeiters anzuzeigen, muss zunächst der interessierende Monat ausgewählt werden. Im Anschluss wird eine Auswahlliste mit allen gespeicherten Personen angezeigt, über die die entsprechende Auswahl erfolgt.

Die Monatsübersicht beinhaltet die persönlichen Daten des Mitarbeiters (Name, Vorname, Geburtsdatum), die Dosen der einzelnen Tage, die Monatsdosis (wird aus den Tagesdosen berechnet), 3-Monatsdosis und Jahresdosis sowie die Dosiswarnschwellen im Überblick. Über die Schaltfläche „Übersicht weiterer Dosiswerte“ können Neutronen-, Inkorporations- und Extremitätendosis angezeigt werden.

Tag	Dosis	Dosis (amtlich)	Neutronendosis	Inkorporation
1	1 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
2	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
3	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
4	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
5	2 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
6	1 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
7	1 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
8	1 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
9	1 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
10	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
11	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
12	2 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
13	1 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
14	1 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
15	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
16	1 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
17	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv
18	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0 μSv

Abbildung 3-5: Beispiel für Personen-Monatsübersicht

Personen-Jahresübersicht

Für die Anzeige der Personen-Jahresübersicht muss, wie bei der Personen-Monatsübersicht, der interessierende Zeitraum (z.B. aktuelles Jahr) und die Person ausgewählt werden.

Es kommen für jeden Monat die mit dem EPD gemessene und die amtliche Dosis sowie weitere Dosiswerte (Neutronen-, Inkorporations- und Extremitätendosis) zur Darstellung.

Durch Anwahl eines bestimmten Monats können die Monats- und 3-Monatsdosis vom Standpunkt des gewählten Monats aus betrachtet werden. Dabei ergibt sich die 3-Monatsdosis vom z.B. Standpunkt 20.07.2010 aus betrachtet aus den bisher im Juni und Juli mit dem EPD gemessenen Dosen (dafür liegen noch keine amtlichen Ergebnisse vor) und dem schon importierten amtlichen Ergebnis der LPS vom Mai. Sobald amtliche Werte vorliegen, werden die mit dem EPD erfassten Werte „überschrieben“ und nicht mehr für die Berechnung verwendet.

Durch Doppelklick auf einen Monat wird die Personen-Monatsübersicht geöffnet, in der man bei Bedarf die einzelnen mit dem EPD gemessenen Tagesdosen betrachten kann.

Jahresübersicht - 2010

Person:

Name: Panzer
Vorname: Melanie
Geburtsdatum: 18.06.1984

Dosiswerte:

Monatsdosis: 20 μSv
3-Monats-Dosis: 20 μSv
Jahres-Dosis: 20 μSv

Warnschwellen:

Auslese-Dosis: 50 μSv
Monatsdosis: 300 μSv
3-Monats-Dosis: 1000 μSv
Jahres-Dosis: 20000 μSv

Dosis / Monat

Monat	Dosis	Dosis (amtlich)	Neutronendosis	
Januar	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0
Februar	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0
März	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0
April	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0
Mai	8 μSv	0 μSv	0 μSv	0
Juni	19 μSv	0 μSv	0 μSv	0
Juli	20 μSv	0 μSv	0 μSv	0
August	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0
September	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0
Oktober	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0
November	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0
Dezember	0 μSv	0 μSv	0 μSv	0

Übersicht weiterer Dosiswerte Drucken OK

Abbildung 3-6: Beispiel für Personen-Jahresübersicht

Monat - 3-Monat - Jahr Übersicht

Diese Übersicht zeigt alle in der Datenbank gespeicherten Personen mit deren Monatsdosis des aktuellen Monats, der 3-Monats- und Jahresdosis auf einen Blick. Wie bei der Personen-Jahresübersicht wird die amtliche Dosis berücksichtigt.

Diese Übersicht kann als Excelfile exportiert und/oder gedruckt werden. Weitere Optionen, um detailliertere Informationen zu erhalten, wie dies bei Monats- oder Jahresübersicht durch Doppelklick auf Monat oder Tag möglich ist, stehen hier nicht zur Verfügung.

Monatsdosis-Übersicht

In der Monatsdosis-Übersicht wird eine Personenliste aller Personen, die das Auslesesystem im gewählten Monat genutzt haben, mit der Monatsdosis angezeigt. Allerdings werden hier nur die mit den EPD gemessenen Werte berücksichtigt und die amtlichen Werte außen vor gelassen.

Dosisanzeige bei Ein- und Ausgangsmessung

Am Ende der Ein- bzw. Ausgangsmessung werden folgende Dosiswerte angezeigt:

- Eingangsdosis, mit der der Kontrollbereich betreten wurde (durch die in 3.3.1 Personenauswahl und Mess- bzw. Auslesemodi erläuterte Reset-Einstellung immer 0 μSv)
- ausgelesene Dosis (Dosiswert, der bei der Ausgangsmessung am Dosimeter angezeigt wird)
- gespeicherte Dosis (Differenz von ausgelesener Dosis zur Eingangsdosis)
- Monatsdosis (im aktuellen Monat mit dem EPD gemessene Dosis)
- 3-Monatsdosis (Summe aus Monatsdosis und den Dosen der beiden Vormonate, ggf. unter Einbeziehung des amtlichen Wertes)
- Jahresdosis (Summe aller im Kalenderjahr gemessenen Dosen)

3.4 Überwachte Personengruppe

Die überwachte Personengruppe umfasst alle Mitarbeiter der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin, die sich zumindest zeitweise im Kontrollbereich aufhalten und bereits ein amtliches Filmdosimeter zu Überwachungszwecken tragen.

Die Mitarbeiter der Therapiestation wurden im Rahmen der Testphase als erste Anwendergruppe mit den zusätzlichen Dosimetern ausgestattet. Es folgten die Mitarbeiter der Radiochemie und die MTRAs.

Für die Erstellung von beschäftigungsspezifischen Dosiswarnschwellen, sowie zu Dokumentationszwecken, wurde im Dosimetriesystem eine Unterteilung aller Personen nach Berufs- bzw. Beschäftigungsgruppen vorgenommen.

- Stationspersonal
- Medizinisch-technische Assistenten (MTA)
- Radiochemie
- Medizinphysik
- Ärzte und Sonstige
- Radiochemie-Service

Es wurden folgende Dosiswarnschwellen für jede Personengruppe festgelegt:

Tabelle 3-1: Dosiswarnschwellen der überwachten Personengruppen

Personengruppe	Auslese- dosis in μSv	Monats- dosis in μSv	3-Monats- dosis in μSv	Jahres- dosis in μSv	max. Dosis- leistung in $\mu\text{Sv/h}$
Stationspersonal	50	1000	3000	20000	50
MTA	50	1000	3000	20000	50
Radiochemie	100	1000	3000	20000	100
Medizinphysik	50	300	1000	20000	50
Ärzte und Sonstige	50	300	1000	20000	50
Radiochemie- Service	150	300	1000	20000	100

Die festgelegten Warnschwellen sollen hierbei das jeweilige Strahlenexpositionsrisiko für jede Personengruppe ansatzweise widerspiegeln. Dies ermöglicht eine sensible Datenauswertung hinsichtlich Erkennung von erhöhten Expositions-niveaus an den jeweiligen Arbeitsorten (z.B. vorhandene Kontaminationen).

Aus diesem Grund wurde die Auslesedosis- und max. Dosisleistungswarnschwelle für die Mitarbeiter der Radiochemie und die Radiochemie-Service-Techniker höher gewählt, um den an deren Arbeitsplätzen (Labor und Zyklotron) auftretenden, erfahrungsgemäß höheren Dosisleistungen Rechnung zu tragen.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Aufgetretene Probleme und deren Lösung

Gerade zu Beginn der Einführungsphase kam es sehr häufig zu Problemen oder Störungen beim Umgang mit der Software wie auch mit den Dosimetern. Im Folgenden soll ein Überblick über die häufigsten Probleme und deren Lösungen gegeben werden.

4.1.1 Warnschwellenüberschreitung

Ca. eine Woche nach Nutzungsbeginn des Systems kam es zu häufigen Warnschwellenüberschreitungen einiger Mitarbeiter der Therapiestation. Die Anzeige der Warnschwellenüberschreitung wird aufgrund der Auslesedosis generiert, die ohne Nutzung der Reset-Option von Tag zu Tag immer größere Zahlenwerte annimmt.

Aufgrund dessen wurde die Option des Reset vor jeder Eingangsmessung an allen Clients eingestellt. Dadurch entspricht die Auslesedosis nun der Tagesdosis und die Wahrscheinlichkeit der Warnschwellenüberschreitung nimmt deutlich ab. Trotz allem ist darauf zu achten, dass die Warnschwelle die Auslesedosis nicht zu hoch bzw. zu niedrig gewählt wird.

Teilt man die erlaubte Jahresdosis von 20 mSv gleichmäßig auf die 365 Tage eines Jahres auf, so erhält man einen Tagesdosiswert von 54,8 μSv . Dieser Dosiswert wurde auf 50 μSv abgerundet und als Schwelle für die Auslesedosis bei dem Großteil der Personengruppen eingestellt.

Aufgrund der tatsächlichen jährlichen Arbeitszeit von ca. 200 Arbeitstagen ist der Jahresgrenzwert um den Faktor zwei abgesichert.



Abbildung 4-1: Beispiel Warnschwellenüberschreitung

4.1.2 Nichtaktivierung der Dosimeter

Beim Einstecken des Dosimeters in die Auslesestation zur Eingangsmessung erfolgt automatisch das Einschalten.

An den Clients in der Stephanstraße erfolgte dieses Einschalten oft sehr langsam (bis zu einer Minute). Die Wartezeit wurde vom überwiegenden Anteil der Mitarbeiter als störend, aber gerade noch akzeptabel empfunden.

Nach den ersten vier Wochen der Einführungsphase kam es am Client der Therapiestation zur erheblichen Verlängerung der Wartezeit (> 1 Minute) bis zur Aktivierung des Dosimeters. Die Fehlersuche führte zu einem defekten Netzwerkschalter, durch den die Netzwerkverbindung erheblich verlangsamt wurde. Nur vier Wochen später trat das Problem wieder auf, in diesem Fall konnte eine defekte Netzwerkdose lokalisiert und repariert werden.

Die Gründe für die noch bestehenden gelegentlichen Verzögerungen konnten während der Einführungsphase nicht vollständig diagnostiziert werden.

Einflüsse von Seiten der Dosimeter wurden ausgeschlossen, da mögliche Gründe für eine Verzögerung des Einschaltvorgangs, wie verschmutzte optische Kontakte, leere Batterien oder allgemeine Dosimeterdefekte nicht vorlagen und die Problematik nicht bei jeder Eingangsmessung auftrat.

Zu Beginn wurde eine Überlastung des Datenbankservers vermutet, auf den alle Clients bei einer Eingangs- oder Ausgangsmessung zugreifen. Da aber nach dreiwöchiger Verlegung der Datenbank auf einen Arbeitsplatz-PC mit geringerer Systemauslastung keine Veränderung bezüglich der Einschaltgeschwindigkeit zu erkennen war, kann dieser Aspekt ausgeschlossen werden.

Für die Funktionalität des Systems ist eine stabile Verbindung zur Datenbank und somit eine stabile Netzwerkverbindung grundlegend. Um eine bessere Netzstabilität zu erreichen, ist in der Stephanstraße die Installation von Mini-Switches geplant. Dadurch entfielen die Konvertierung des Netzwerksignals über einen Medienkonverter, welcher als zusätzliche Fehlerquelle nicht auszuschließen ist.

4.1.3 Statusunstimmigkeiten der Dosimeter

Im Zuge einer Eingangsmessung wird der Mitarbeiter im Kontrollbereich des Systems angemeldet (Datenbankeintrag) und der Status dosimeterintern auf „IN“ gestellt. Durch eine Ausgangsmessung erfolgt die Abmeldung aus dem System-Kontrollbereich und eine dosimeterinterne Umstellung des Status auf „OFF“.

Stimmt der Status eines Mitarbeiters in seinem Dosimeter nicht mit dem in der Datenbank gespeicherten Status überein, also ist er beispielsweise im Dosimeter als „OFF“ gespeichert, aber in der Kontrollbereichsliste in *Dosmo2000* eingetragen, so kann keine Eingangsmessung erfolgen, da für die Software für den Mitarbeiter schon eine Eingangsmessung getätigt hat und er sich im Kontrollbereich befindet.

Eine solche Diskrepanz kann durch zwei Ursachen zustande kommen:

- a) Mehrere Mitarbeiter nutzten ein Dosimeter, das intern seine Seriennummer verloren hatte
- b) Infolge von „Geisteranmeldungen“ im *Dosmo2000* System wurde der Mitarbeiter auch ohne getätigte Eingangsmessung in den Kontrollbereich eingetragen.

Im Fall a) verhält es sich so, dass das Dosimeter nicht mehr eindeutig einer Person zugeordnet werden kann, da es quasi seine Identität verloren hat. Es muss zwar für eine Eingangsmessung die PID eingegeben werden, jedoch ist damit nicht die Personenzuordnung gewährleistet. Der Problemfall a) soll an einem Beispiel verdeutlicht werden, in dem Mitarbeiter 1 und 2 jeweils ein Dosimeter mit verlorener Seriennummer nutzen.

Mitarbeiter 1 meldet sich mit einer Eingangsmessung im Kontrollbereich an, nach Eingabe seiner PID wird die Eingangsmessung Mitarbeiter 1 zugeordnet.

Mitarbeiter 2 möchte danach eine Eingangsmessung tätigen. In der Bildschirmanzeige erscheint die Fehlermeldung „Achtung! Status Ein-/Ausgangsmessung stimmt nicht mit im Dosimeter gespeicherten Status überein“. Das System wollte eine Ausgangsmessung durchführen, im Dosimeter ist jedoch der Status „OFF“ gespeichert. Ursache dafür ist, dass *Dosmo* im Dosimeter von Mitarbeiter 2 auch eine 0 als Seriennummer sieht, wie dies bei der Eingangsmessung von Mitarbeiter 1 der Fall war. Jede Seriennummer ist bzw. wird einem Mitarbeiter zugeordnet und wenn mit einer Seriennummer eine Eingangsmessung durchgeführt wurde, ist die nächste Messung mit diesem Dosimeter automatisch eine Ausgangsmessung.

Die Ursache b) ist auf einen Programmfehler zurückzuführen, der von der Firma *MED* noch behoben wird. Momentan kann diese Fehlerquelle nur durch ständiges Kontrollieren der Kontrollbereichsliste auf „Geisteranmeldungen“ und Löschen dieser unter Kontrolle gehalten werden.

4.1.4 Systemausfälle

Bleibt das *Dosmo2000*-System komplett stehen, so dass keine Messungen oder andere Bedienungen möglich sind, kann das folgende beobachtete Ursachen haben:

- Verlust der Netzwerkverbindung
- Entfernen des Dosimeters aus der Auslesestation, bevor eine Messung abgeschlossen wurde (siehe Anhang 2)

Komplette Systemausfälle traten jedoch zum Ende der Einführungsphase sehr selten auf und konnten fast immer auf Anwendungsfehler zurückgeführt werden.

4.1.5 Falsche Dosisberechnungen

Nach den ersten Wochen der Systemnutzung konnte eine Falschberechnung der Monatsdosis in der Personen-Monatsübersicht bei allen Personen beobachtet werden.

In der zu dieser Zeit verwendeten *Dosmo2000*-Version wurde der erste Messwert eines Monats unter bestimmten Randbedingungen (wurde von *MED* nicht näher erläutert) ignoriert. Mit der wenige Tage später erschienenen Folgeversion wurde das Problem behoben und eine korrekte Monatsdosisberechnung gewährleistet.

Für die Mitarbeiter entsteht am Monatsbeginn bei Beobachtung ihrer erfassten Dosiswerte nach einer Messung oft der Eindruck, dass ihre Jahresdosis plötzlich viel niedriger ist (ca. 100 μSv weniger). Dies ist darauf zurückzuführen, dass am Monatsanfang die amtlichen Werte der Filmdosimeter eingepflegt werden, die Dosen der EPD „überschrieben“ werden und Dosiswerte unter 100 μSv (Nachweisgrenze Filmdosimeter) nicht mehr in die Berechnung eingehen. Auch dies soll anhand eines Beispiels verdeutlicht werden.

Ausgangspunkt soll der 05.07.2010 sein. Am Ersten des Monats wurden die Ergebnisse der amtlichen Dosimeter aus dem Monat Mai eingepflegt. Für die Berechnung der Jahresdosis werden nun die EPD Dosiswerte des Monats Juni und Juli verwendet, da für diese Monate noch keine amtlichen Werte vorliegen. Für die Monate Januar bis Mai werden die amtlichen Ergebnisse verwendet. Hat die Person im Mai eine mit dem elektronischen Dosimeter gemessene Dosis von insgesamt 290 μSv und von der Personendosismessstelle das Filmdosimeterergebnis 200 μSv für Mai, so ist die berechnete Jahresdosis um 90 μSv kleiner im Vergleich zu Ende Juni, da nur die amtlichen Werte (bei Vorhandensein) zur Berechnung verwendet werden.

4.1.6 Registrierung und Überwachung von Fremdpersonal

Um die Nutzung des Systems auch Fremdpersonal und Servicetechnikern zu ermöglichen, wurde in der Radiochemie-Schleuse in der Stephanstraße der Personenauswahlmodus Automatisch/Auswahlliste eingestellt. Führt ein Mitarbeiter einer externen Firma eine Messung mit einem nicht zugeordneten Dosimeter durch, muss er sich aus einer Personenliste auswählen und die anschließende Eingangsmessung wird ihm zugeordnet.

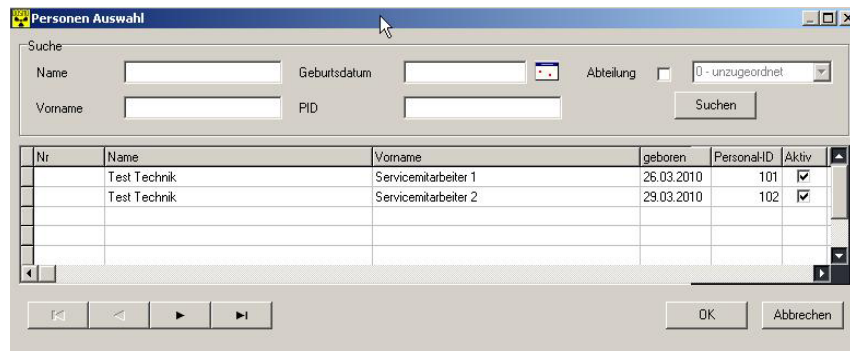


Abbildung 4-2: Auswahlliste für Nutzer von nicht zugeordneten Dosimetern

Die Dosimetrie von Fremdpersonal erfolgte bis dahin anhand von handschriftlichen Listen, in die sich externe Mitarbeiter mit Datum, Name und gemessener Dosis eintragen mussten. Nach Abschluss der Systemintegration werden diese Listen wegfallen. Zur Erfassung von Fremdpersonal im System werden sie jedoch in modifizierter Form (Name, Vorname, Geburtsdatum, Firma) weitergenutzt. Nach entsprechender Systempflege können sich die Mitarbeiter von Fremdfirmen fortan vor Betreten des Kontrollbereichs im elektronischen Dosimetriesystem anmelden/eingangsmessen.

Nach Ende der Einführungsphase steht kein permanenter Betreuer für das System zur Verfügung. Die Systemadministration (Anlegen neuer Personen, Problembehebung etc.) wird zukünftig von wenigen entsprechend eingewiesenen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Medizinphysik übernommen. Zusätzlich wurden für diese Verwaltungsaufgaben im Rahmen dieser Bachelorarbeit Anleitungen verfasst, die nach der Einweisung unterstützend zur Verfügung stehen.

Als hilfreiche Softwareerweiterung ist eine einfache, in den Messmodus integrierte Eingabemaske denkbar, anhand derer sich ein Mitarbeiter selbst im System anlegen kann. So könnte in der Auswahlliste neben dem „OK-Button“ eine weitere Schaltfläche „Neu“ erscheinen, über die sich eine Eingabemaske mit fünf editierbaren Feldern (Name, Vorname, Geburtsdatum, Geschlecht, Firma) öffnen lässt. Der externe Mitarbeiter könnte sich so bei seinem ersten Besuch selber im System erfassen und

fortan aus der Liste auswählen. Dieser Vorschlag wurde dem Programmierer der Firma *MED* mitgeteilt und wird evtl. in die Entwicklung der nächsten Version implementiert.

Ohne eine entsprechende Erweiterung bzw. Änderung der Software, ist die Dosimetrie von Fremdpersonal in dieser transparenten Form auch weiterhin nur unter ständiger Systembetreuung durchführbar.

Alternativ wäre das weniger transparente Anlegen von anonymen Personen (z.B. Gast 1, Gast 2, ...) im System denkbar. Dadurch ist jedoch eine genaue Zuordnung der gespeicherten Dosiswerte zu den Mitarbeitern von Fremdfirmen nicht möglich. Um eine Zuordnung gewährleisten zu können müssten wieder Listen geführt werden, in denen die Person, der Tag und Uhrzeit der Messung, sowie die Benutzerbezeichnung (Gast 1, Gast 2, ...) vermerkt wird.

4.1.7 Anwendungsfehler

Anwendungsfehler wurden hauptsächlich während der Ein- bzw. Ausgangsmessung beobachtet. Trotz Bildschirmausschrift, persönlichem Hinweis und Hinweis in der Bedienanleitung, kam es gerade zu Anfang oft zum vorzeitigen Entfernen des Dosimeters aus der Auslesestation.

Das Entfernen des Dosimeters vor Mess- und Datenübertragungsende bewirkt zu bestimmten Zeitpunkten einen Programmabsturz, der nur durch den Neustart der Software wieder behoben werden kann. Eine Übersicht, was ein vorzeitiges Entfernen in Abhängigkeit der Zeit für Auswirkungen auf den Betrieb der Software hat ist unter Anhang 2 zu finden. Zudem wird die Messung aufgrund des Abbruchs nicht im System gespeichert.

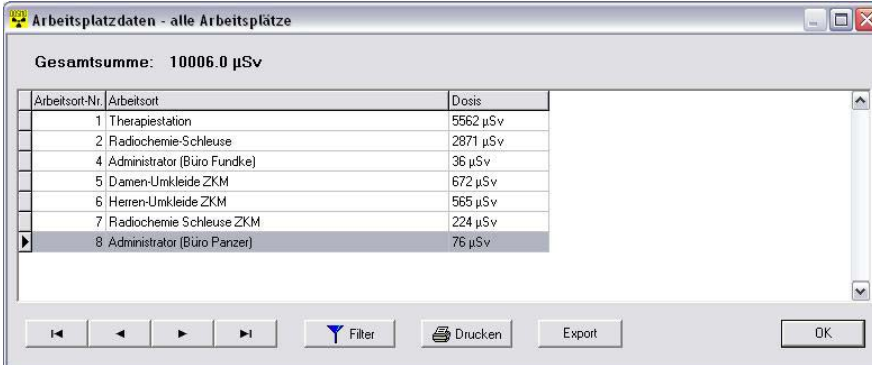
Ein weiterer Auslöser für einen Programmabsturz kann das Drücken des ENTER-Buttons (im Modus Automatisch/PID) ohne vorherige PID-Eingabe sein. Es wird die Fehlermeldung „ ” ist kein gültiger Integerwert“ angezeigt, es sind keine Messungen mehr möglich und ein Neustart von *Dosmo2000* ist erforderlich.

Weitere Fehlbedienungen sind praktisch nicht möglich, und konnten auch nicht beobachtet werden.

4.2 Auswertemöglichkeiten mit *Dosmo2000*

Neben den verschiedenen Übersichten gibt es zwei weitere Funktionen, über die eine Auswertung der gespeicherten Daten möglich ist.

Über Daten/Arbeitsplatzdaten können die gespeicherten Arbeitsplatz-Dosiswerte bezogen auf die Person oder auf einen bestimmten Arbeitsplatz angezeigt werden. Als allgemeine Übersicht kann zusätzlich die Summe der Dosen, die pro Arbeitsplatz als Ausgangsmessungen erfasst wurden (unter Daten/Arbeitsplatzdaten/alle Arbeitsplätze), angezeigt werden.



Gesamtsumme: 10006.0 µSv

Arbeitsort-Nr.	Arbeitsort	Dosis
1	Therapiestation	5562 µSv
2	Radiochemie-Schleuse	2871 µSv
4	Administrator (Büro Fundke)	36 µSv
5	Damen-Umkleide ZKM	672 µSv
6	Herren-Umkleide ZKM	565 µSv
7	Radiochemie Schleuse ZKM	224 µSv
8	Administrator (Büro Panzer)	76 µSv

Abbildung 4-3: Arbeitsplatzbezogene Dosisanzeige aller Arbeitsplätze

Die Dosiswerte sagen allerdings nichts über den Entstehungsort der Strahlenexposition aus. Dazu müsste z.B. bei Verlassen der Ambulanz und anschließendem Betreten der Radiochemie in der Stephanstraße eine Ausgangsmessung in der Ambulanz und eine Eingangsmessung in der Radiochemie Stephanstraße erfolgen. Da aber bei einigen Mitarbeitern mehrere Arbeitsplatzwechsel pro Tag stattfinden und jedes Mal eine Aus- und Eingangsmessung praktisch nicht realisierbar ist (vor allem des Zeitfaktors wegen), haben die in den Listen gezeigten Werte keine Aussagekraft darüber, an welchem Arbeitsplatz die Strahlenexposition erfolgte.

Generell geben die mit den elektronischen Dosimetern gemessenen Dosen nur einen allgemeinen Überblick darüber, wie hoch die Strahlenexposition der Mitarbeiter ist. Eine direkte Auswertung mit den in Dosmo vorhandenen vielfältigen Möglichkeiten ist aufgrund der oben angesprochenen Arbeitsplatzwechsel nicht bei allen Mitarbeitern möglich. Zudem ist für den an der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin gegebenen Überwachungszweck lediglich die Höhe der gemessenen Strahlenexposition von Interesse, nicht der Entstehungsort.

4.2.1 Arbeitsplatzbezogen

In dieser Liste werden nach Auswahl des gewünschten Arbeitsplatzes alle Ausgangsmessungen (mit Datum und Uhrzeit) des entsprechenden Arbeitsplatzes mit der zugehörigen Person angezeigt. In der rechten Spalte ist die pro Person pro Messung gespeicherte Dosis aufgeführt.

Neben der Problematik bezüglich der Arbeitsplatzwechsel, ist weiterhin die Unübersichtlichkeit dieser Auflistung von Nachteil. Sinnvoller wäre die Anzeige der Gesamtdosis pro Person am ausgewählten Arbeitsplatz. Zwar besteht die Möglichkeit die Liste nach Name zu filtern, es erfolgt jedoch keine Anzeige der Gesamtdosis. Diese Tatsache wurde *MED* mitgeteilt und wird evtl. in der nächsten Softwareversion berücksichtigt.

Datum	Uhrzeit	Name	Vorname	Dosimeter	Dosis
01.06.2010	15:57:44	Panzer	Melanie	221865	1 µSv
10.05.2010	15:33:42	Panzer	Melanie	221865	1 µSv
31.05.2010	12:54:24	Panzer	Melanie	221865	1 µSv
21.06.2010	15:34:04	Panzer	Melanie	221865	0 µSv
29.03.2010	13:15:51	Panzer	Melanie	221865	0 µSv
12.04.2010	15:34:51	Panzer	Melanie	221865	0 µSv
24.06.2010	15:50:52	Panzer	Melanie	221865	1 µSv
25.06.2010	08:31:14	Panzer	Melanie	221865	0 µSv
29.03.2010	15:17:54	Panzer	Melanie	221865	0 µSv
30.03.2010	11:05:00	Panzer	Melanie	221865	1 µSv
23.06.2010	15:30:38	Panzer	Melanie	221865	1 µSv
22.06.2010	15:29:36	Panzer	Melanie	221865	1 µSv
31.03.2010	15:23:32	Panzer	Melanie	221865	2 µSv
30.03.2010	15:28:42	Panzer	Melanie	221865	1 µSv
21.06.2010	14:13:55	Panzer	Melanie	221865	0 µSv
21.06.2010	14:06:23	Panzer	Melanie	221865	1 µSv
01.04.2010	12:10:25	Panzer	Melanie	221865	2 µSv
06.04.2010	16:02:47	Panzer	Melanie	221865	4 µSv
07.04.2010	15:31:00	Panzer	Melanie	221865	1 µSv
18.06.2010	11:54:52	Panzer	Melanie	221865	0 µSv
08.04.2010	15:33:37	Panzer	Melanie	221865	0 µSv
09.04.2010	14:58:35	Panzer	Melanie	221865	0 µSv
17.06.2010	15:30:07	Panzer	Melanie	221865	1 µSv
27.07.2010	12:59:14	Test Technik	Servicemitarbeiter 1		0 0 µSv
27.07.2010	12:51:31	Test Technik	Servicemitarbeiter 1		0 0 µSv
27.07.2010	12:52:29	Test Technik	Servicemitarbeiter 2		0 0 µSv

Abbildung 4-4: Ausschnitt der Dosisanzeige bezogen auf die Herren-Umkleide

4.2.2 Personenbezogen

In der personenbezogenen Liste wird nach Auswahl des interessierenden Mitarbeiters eine Liste aller Arbeitsplätze angezeigt, an denen die Person eine Ausgangsmessung durchgeführt hat. Jeweils hinter dem Arbeitsplatz wird die Summe aller bisher dort ausgelesenen Dosen angezeigt.

Arbeitsplatzdaten - Personenbezogen

Name: Panzer, Melanie Geburtsdatum: 18.06.1984 Summe: 145.0 µSv

Arbeitsort-Nr.	Arbeitsort	Dosis
1	Therapiestation	0 µSv
2	Radiochemie-Schleuse	1 µSv
5	Damen-Umkleide ZKM	3 µSv
6	Herren-Umkleide ZKM	65 µSv
7	Radiochemie Schleuse ZKM	0 µSv
8	Administrator (Büro Panzer)	76 µSv

Navigation: Filter, Drucken, Export, OK

Abbildung 4-5: Dosisanzeige der verschiedenen Arbeitsplätze bezogen auf Melanie Panzer

4.3 Analyse der Praktikabilität

Steht eine stabile Netzwerkverbindung zur Verfügung und beachten die Mitarbeiter weiterhin die Benutzungshinweise der Bedienanleitung, so arbeitet das System stabil und fehlerfrei.

Probleme wie zu langsames Aktivieren der Dosimeter können auf eine instabile Netzwerkverbindung oder eine unzureichende Funktion der Infrarot-Schnittstelle zurückgeführt werden. Die eindeutige Klärung der Ursache war bis zum Ende der Einführungsphase nicht möglich, wird aber in Zusammenarbeit mit *MED* weiter verfolgt. An den Auslesestationen der Ambulanz kam es zuletzt zu keinen Problemen, Systemausfällen oder sonstigen Störungen.

Die durchschnittliche Verbindungsaufbauzeit zwischen Dosimeter und PC liegt bei ca. zehn Sekunden und kann bis zu einer halben Minute betragen.

Diese für den Mitarbeiter anfallende relativ kurze Wartezeit führt zu keiner nennenswerten Verzögerung des Dienstbeginns bzw. -endes. Die Mehrheit der Nutzer beschreibt die Wartezeit als akzeptabel und nicht störend, sofern sie die halbe Minute nicht wesentlich überschreitet.

Zudem empfinden die Mitarbeiter der Therapiestation und die MTRAs die elektronischen Dosimeter als gute Selbstkontrollmöglichkeit. Durch die eingestellten Dosisleistungswarnschwellen und den bei Erreichen einer Schwelle ertönenden Warnton ist dem Mitarbeiter eine Möglichkeit gegeben, Orte höherer Dosisleistungen zu meiden bzw. die Verweildauer gering zu halten.

Insgesamt wurde das Dosimetriesystem gut angenommen. Die Ausnahme bilden hier die Nutzer an dem Client in der Radiochemie Stephanstraße, da sich dort die Aktivierungsprobleme der Dosimeter häufen. Zudem gab es einige Startschwierigkeiten aufgrund von vielen defekten Dosimetern. Bis jetzt konnten noch nicht alle Mitarbeiter mit einem für das System funktionalen Dosimeter ausgestattet werden, da sich die Reparatur einiger Dosimeter weiter verzögert hat.

In der Software *Dosmo2000* stehen vielfältige Auswertemöglichkeiten zur Verfügung, die jedoch nicht in vollem Umfang genutzt werden. Für die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin sind nur folgende Übersichten zur Überwachung der beruflichen Strahlenexposition relevant:

- Personen-Monatsübersicht
- Personen-Jahresübersicht
- Monatsdosis (alle)

Alle Übersichten/Listen des Menüpunktes „Abteilungsbezogen“ können beispielsweise nicht zur Datenauswertung genutzt werden, da die Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin nur aus einer Abteilung besteht³. Innerhalb dieser werden vor allem die MTRAs durch regelmäßigen Arbeitsplatzwechsel in den verschiedenen Bereichen Ambulanz, PET-Zentrum und Radiochemie eingesetzt.

Um eine Arbeitsplatzbezogene Datenauswertung sinnvoll durchzuführen, müssten die Mitarbeiter bereit sein, bei jedem Verlassen des Arbeitsortes eine Ausgangsmessung und bei Betreten des nächsten Arbeitsortes eine Eingangsmessung durchzuführen.

Zum Ende der Einführungsphase und dem Abschluss dieser Arbeit kann das elektronische Dosimetriesystem als routinefähig beschrieben werden und fortan täglich zur Überwachung der beruflichen Strahlenexposition der Mitarbeiter genutzt werden.

Die Benutzung der elektronischen Personendosimeter *Isotrak DoseGuard S₁₀* ist durch deren einfache und unkomplizierte Handhabung gekennzeichnet. Eine Veränderung der dosimeterinternen Einstellungen kann bequem über den PC erfolgen. Die Mitarbeiter brauchen den Druckknopf des Dosimeters nur zur Alarmquittierung betätigen, da das Ein- und Ausschalten des Dosimeters infolge von An- und Abmeldung im System durch Nutzung von Auslesestationen automatisch erfolgt.

³ Abteilungsbezogene Listen sind aus diesem Grund in der vorliegenden Arbeit nicht näher erläutert.

Die Verwaltung und Auswertung der Daten mittels *Dosmo2000* gestaltet sich einfach und mit geringem Aufwand, sodass eine unkomplizierte Datenbankpflege möglich ist.

Nach dem Beheben letzter Programmfehler in Zusammenarbeit mit *MED* wird das elektronische Dosimetriesystem die strahlenschutzmäßige Überwachung der Mitarbeiter erleichtern und eine gute Plausibilitätskontrolle von den mit EPD erfassten und amtlichen Daten ermöglichen.

5 Ausblick

Zur Erfassung aller in der Klinik und Poliklinik für Nuklearmedizin anfallenden Personendosimetriedaten wäre das Einbeziehen der Messdaten von Hand-Fuss-Kontaminationsmonitoren (HFK) in die *Dosmo2000*-Datenbank denkbar. Die Ergebnisse der HFK-Messungen werden zurzeit in einer separaten Datenbank geführt, in der ebenfalls alle Mitarbeiter der Klinik erfasst sind. Eine Erweiterung der Software diesbezüglich wurde *MED* vorgeschlagen.

Die .txt-Dateien mit den amtlichen Dosiswerten werden momentan durch die LPS auf einer Diskette gespeichert, postalisch an das Klinikum gesendet und müssen erst in einen entsprechenden Ordner auf den PC kopiert werden, um sie später in die Datenbank zu importieren (siehe Kapitel 3.3.3.1). Um diesen Importvorgang zu beschleunigen und zu vereinfachen, ist eine Zustellung der erforderlichen .txt-Dateien per Mail durch die LPS denkbar und wird mit dieser diskutiert.

Zur Verbesserung der Benutzfreundlichkeit der Software sowie zur Behebung einiger noch bestehender Probleme ist eine weitere enge Zusammenarbeit mit der Firma *MED* notwendig.

Zudem ist nach einer genügend langen Nutzung des Systems eine Mitarbeiterumfrage denkbar, um Informationen zur Benutzerfreundlichkeit des Gesamtsystems direkt von den Nutzern zu erfahren.

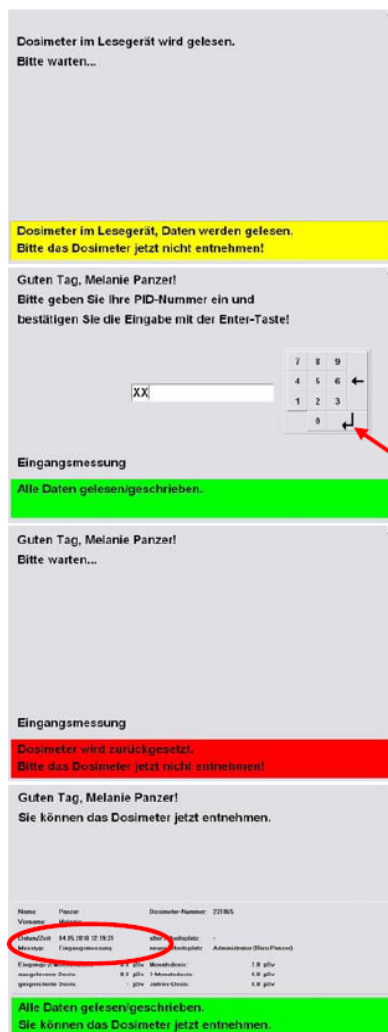
6 Anhang

Anhang 1

Bedienungsanleitungen

Bedienung Dosimeterauslesestation

Anmeldung bei Betreten des Kontrollbereiches (Dienstbeginn)



1. Stecken Sie das Dosimeter in die Auslesestation (bitte leicht eindrücken)

2. Über den Touchscreen persönliche Identifikationsnummer (PID) eingeben.

Mit ENTER bestätigen

3. Warten Sie bis das Dosimeter registriert wurde – während des Vorgangs (**Rote Anzeige**) das Dosimeter NICHT entnehmen!

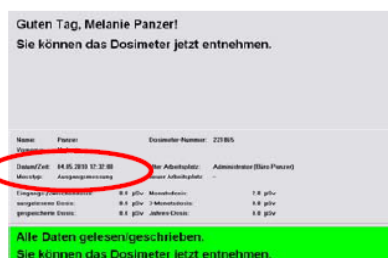
4. Eingangsmessung ist beendet, Sie dürfen das Dosimeter entnehmen. Achten Sie bitte darauf, dass das untere Feld grün unterlegt ist und die Anforderung zur Entnahme ausgeschrieben ist.

Nach der Entnahme des Dosimeters ertönt ein Signalton und das Dosimeter schaltet sich automatisch an.

Abmeldung bei Verlassen des Kontrollbereiches (Dienstschluss)

Verfahren Sie wie bei der Eingangsmessung.

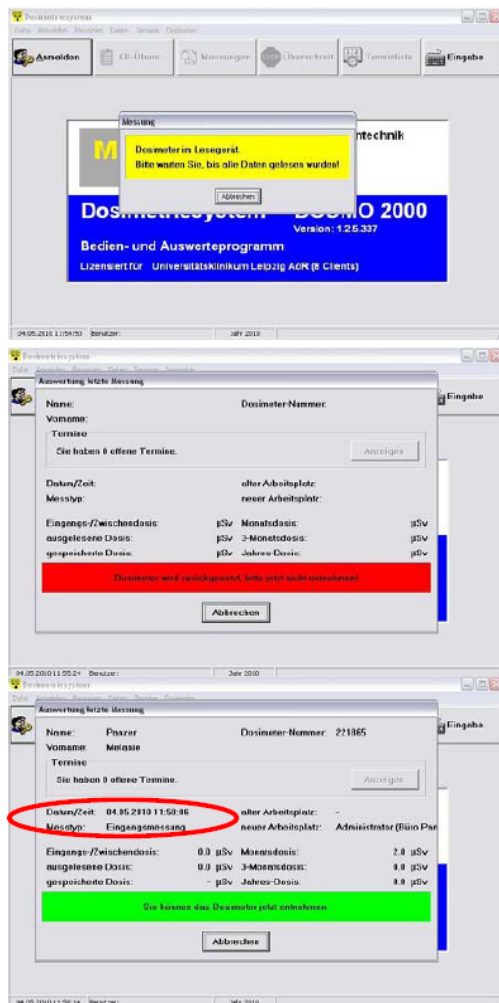
Bei nachfolgendem Bildschirm ist die Ausgangsmessung beendet, Sie dürfen dann das Dosimeter entnehmen. Es schaltet sich nach einem Signalton automatisch ab.



Bei Problemen im Umgang mit der Auslesestation bitte bei Herrn Fundke (Tel.18043) melden!

Bedienung Dosimeterauslesestation für Personen MIT zugeordnetem elektronischen Dosimeter

Anmeldung bei Betreten des Kontrollbereiches (Dienstbeginn)



1. Stecken Sie das Dosimeter in die Auslesestation (bitte leicht eindrücken)

2. Warten Sie bis das Dosimeter registriert wurde – während des Vorganges das Dosimeter NICHT entnehmen!

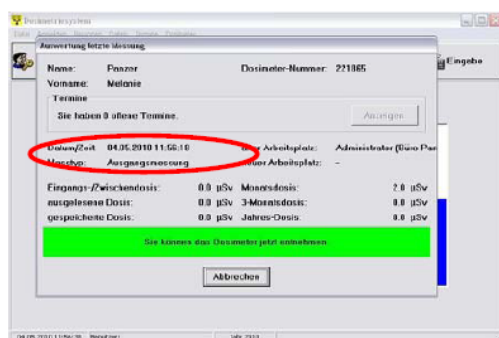
3. Eingangsmessung ist beendet, Sie dürfen das Dosimeter entnehmen. Achten Sie bitte darauf, dass das untere Feld grün unterlegt ist und die Anforderung zur Entnahme ausgeschrieben ist.

Nach der Entnahme des Dosimeters ertönt ein Signalton und das Dosimeter schaltet sich automatisch an.

Abmeldung bei Verlassen des Kontrollbereiches (Dienstschluss)

Verfahren Sie wie bei der Eingangsmessung.

Bei nachfolgendem Bildschirm ist die Ausgangsmessung beendet, Sie dürfen dann das Dosimeter entnehmen. Es schaltet sich nach einem Signalton automatisch ab.



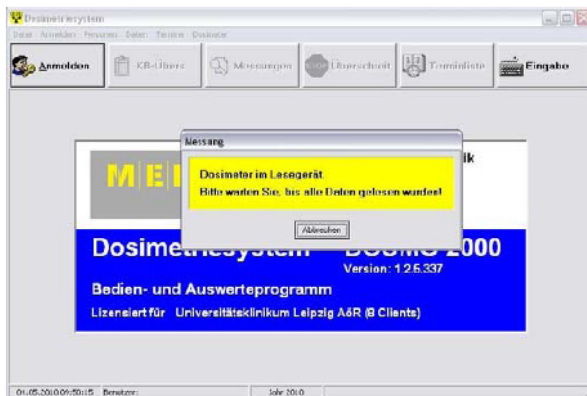
Bei Problemen im Umgang mit der Auslesestation bitte bei Herrn Fundke (Tel.18043) melden!

Bedienung Dosimetrauslesestation für Personen OHNE zugeordnetes elektronisches Dosimeter

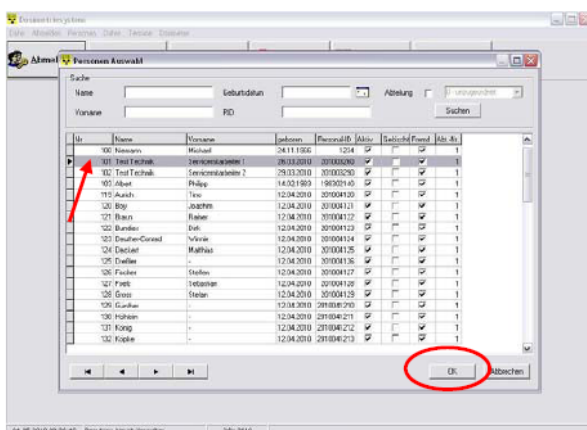
Anmeldung bei Betreten des Kontrollbereiches



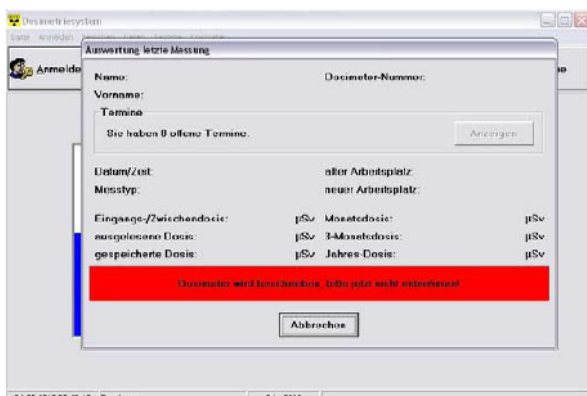
1. Entnehmen Sie ein beliebiges Besucherdosimeter aus der Halterung und stecken Sie es in die Auslesestation (bitte leicht eindrücken).



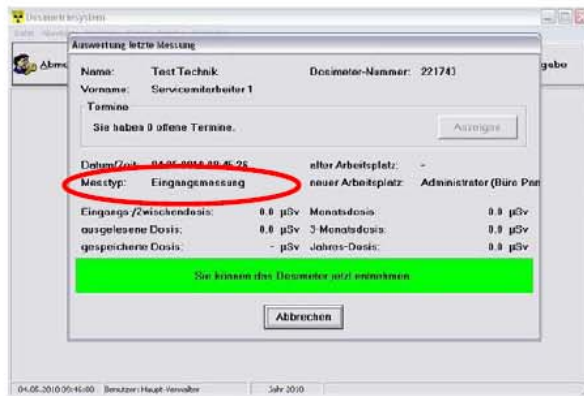
2. Warten Sie bis das Dosimeter registriert wurde – während des Vorganges das Dosimeter NICHT entnehmen!



3. Wenn die Auswahlliste erscheint, suchen Sie Ihren Namen in der Liste und klicken Sie ihn einmal an, anschließend auf „OK“ klicken.



4. Dosimeter wird mit Ihren Personendaten beschrieben und Sie werden im Kontrollbereich angemeldet. Während des Vorganges das Dosimeter NICHT entnehmen!

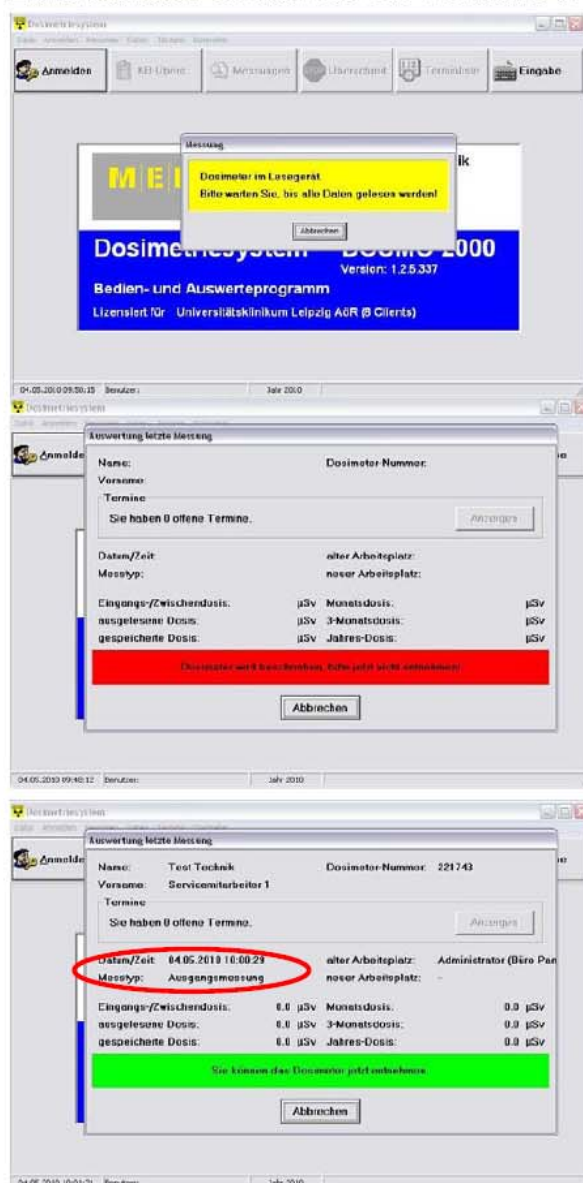


5. Eingangsmessung ist beendet, Sie dürfen das Dosimeter entnehmen. Achten Sie bitte darauf, dass das untere Feld grün unterlegt ist und die Anforderung zur Entnahme ausgeschrieben ist.

Nach der Entnahme des Dosimeters ertönt ein Signalton und das Dosimeter schaltet sich automatisch an.

Abmeldung bei Verlassen des Kontrollbereiches

Zum Abmelden stecken Sie das Dosimeter in die Auslesestation.





1. Dosimeter wird registriert und zum Auslesen vorbereitet. Während des Vorgangs das Dosimeter NICHT entnehmen!
2. Gespeicherte Dosis wird in die Datenbank übertragen. Während des Vorgangs das Dosimeter NICHT entnehmen!
3. Ausgangsmessung ist beendet, Sie dürfen das Dosimeter entnehmen. Es schaltet sich nach einem Signalton automatisch ab.

Bei Problemen im Umgang mit der Auslesestation bitte bei Herrn Fundke (Tel.18043) melden!



Anhang 2

Fehlbedienungen und Auswirkungen zu zeitiger Dosimeterentnahme im Automatisch/PID - Modus



Allgemeine Fehlbedienungen

Fehlbedienung	Auswirkung
<p>Schnell aufeinanderfolgende Eingangs- → Ausgangsmessung, ohne den „Piep“ und die Vollanzeige</p>  <p>abzuwarten</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ausgangsmessung wird im Dosmo KB verarbeitet - Dosimeter schaltet sich ordnungsgemäß aus
<p>Schnell aufeinanderfolgende Ausgangs- → Eingangsmessung, ohne den „Piep“ und die Vollanzeige</p>  <p>und Abschaltung abzuwarten</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Eingang wird im Dosmo KB verarbeitet - im Dosimeter intern „IN“ gespeichert - Dosimeter schaltet sich jedoch aus, da der Befehl ausschalten nach Ausgangsmessung noch nicht ausgeführt wurde
<p>Falsche PID-Eingabe</p>	<ul style="list-style-type: none"> - herausnehmen und nach „Piep“ wieder einstecken
<p>Enterbutton drücken ohne PID Eingabe (falls versehentlich mit der Hand auf den Touchscreen gelangt)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fehler: <i>” ist kein gültiger Integerwert</i> - Dosmo-Neustart an diesem Client notwendig

Auswirkungen bei zuzeitigem Herausziehen des Dosimeters bei der Eingangsmessung

Fehlbedienung	Auswirkung
Herausziehen bei Verbindungsaufbau, gelber Balken, noch kein  auf Dosimeterdisplay	<ul style="list-style-type: none"> - Fehler: „Query Personal: Operation bei geschlossener Datenmenge nicht ausführbar“ oder - Fehler: „Variante des Typs (Null) konnte nicht in Typ (Integer) konvertiert werden“ - Dosimeter bleibt nach Entnahme angeschaltet, Dosimeter <u>nicht</u> ausschalten - Dosmo: als Hauptverwalter An- und Abmelden nutzt nichts – Lesegerät hat keine Verbindung zum Messbildschirm (Dosimeter auf „Ser“) - Dosmo Neustart, dann normale Eingangsmessung möglich
Herausziehen bei  auf Dosimeterdisplay vor PID-Eingabe	<ul style="list-style-type: none"> - Fehler: „Query Personal: Operation bei geschlossener Datenmenge nicht ausführbar“ - Dosimeter wird angeschaltet - Dosmo: als Hauptverwalter An- und Abmelden nutzt nichts – Lesegerät hat keine Verbindung zum Messbildschirm (Dosimeter auf „Ser“) - Dosmo Neustart, dann normale Eingangsmessung möglich
Herausziehen bei rotem Balken nach PID-Eingabe	<ul style="list-style-type: none"> - bis 5 Sekunden (ab Beginn schnelles Blinken nach PID Eingabe, bis 9. Blink) <ul style="list-style-type: none"> o Dosimeter wird angeschaltet o keine Anmeldung im Dosmo KB o Dosimeter weiter intern auf „OFF“ - ab 6 Sekunden (ab Beginn schnelles Blinken nach PID Eingabe, ab 10. Blink) <ul style="list-style-type: none"> o Dosimeter wird angeschaltet o keine Anmeldung im Dosmo KB o aber Dosimeter intern auf „IN“ o Anmelden → Status im Dosimeter ändern → Abmelden → dann normale Eingangsmessung

Auswirkungen bei zuzeitigem Herausziehen des Dosimeters bei der Ausgangsmessung

Fehlbedienung	Auswirkung
Herausziehen bei Verbindungsaufbau, gelber Balken, noch kein  auf Dosimeterdisplay	<ul style="list-style-type: none"> - kein Einfluss – Dosmo kehrt zum Messbildschirm zurück
Herausziehen bei  auf Dosimeterdisplay vor PID Eingabe	<ul style="list-style-type: none"> - kein Einfluss – Dosmo kehrt zum Messbildschirm zurück
Herausziehen bei rotem Balken nach PID Eingabe	<ul style="list-style-type: none"> - bis 5 Sekunden (ab Beginn schnelles Blinken nach PID Eingabe, bis 9. Blink) <ul style="list-style-type: none"> o Dosmo geht in Messbildschirm zurück o Dosimeter bleibt angeschaltet o weiter im Dosmo KB angemeldet - ab 6 Sekunden (ab Beginn schnelles Blinken nach PID Eingabe, ab 10. Blink) <ul style="list-style-type: none"> o Dosmo geht in Messbildschirm zurück o Dosimeter wird ausgeschaltet o <u>keine</u> Abmeldung im Dosmo KB o aber Dosimeter intern auf „OFF“ o Anmelden → Status im Dosimeter ändern → Abmelden → dann normale Ausgangsmessung

7 Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Aurand, Bastian; Zien, Achim : Fortgeschrittenen Praktikum - Versuch E120 Halbleiterdetektoren. Universität Bonn.– URL: <<http://www.aurandweb.de/uni/E120.pdf>>, verfügbar am 14.06.2010
- [2] Börchers, Friedhelm; Zappe, Dietmar: Strahlenschutzlexikon.– Informationskreis Kernenergie.
URL: <http://www.kernenergie.de/kernenergie/documentpool/Service>, verfügbar am 11.06.2010
- [3] Dugge, Karl-Wilhelm; Haferkamp, Dietert: Grundlagen der Elektronik. – 5. überarb. Auflage. – Würzburg: Vogel, 1993
- [4] Eckert & Ziegler: Gebrauchsanweisung DoseGuard S₁₀. – 2009
- [5] Glöckner, Alexander: Wireless-LAN im Studentennetzwerk (CSN). – 2005. – 119 S. TU Chemnitz, Fakultät für Informatik, Diplomarbeit, 2006
- [6] Hinderer, Ralf: Vorlesungsfolien Biophysik. – 2009. – HS Mittweida
- [7] Hinderer, Ralf: Vorlesungsfolien Strahlenschutz. – 2009. – HS Mittweida
- [8] Internationalen Strahlenschutzkommission: ICRP 103.- 2007
- [9] Krieger, Hanno: Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz: Band 1 Grundlagen. – 5. Auflage. – Stuttgart/Leipzig/Wiesbaden: B.G. Teubner, 2002
- [10] Krieger, Hanno: Strahlenphysik, Dosimetrie und Strahlenschutz: Band 2 Grundlagen. – 2. Auflage. – Stuttgart: B.G. Teubner. – 1997
- [11] Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern: Technisches Datenblatt für das Gleitschatten-Filmdosimeter. URL: <http://www.lps-berlin.de/fileadmin/user_upload/docs/pd/TD_Gleitschattendosimeter.pdf>, verfügbar am 10.06.2010
- [12] Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern: Merkblatt zur filmdosimetrischen Überwachung. URL: <http://www.lps-berlin.de/fileadmin/user_upload/docs/pd/Merkblatt_Filmdosimeter.pdf>, verfügbar am 10.06.2010
- [13] Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern: Die Fingerringdosimetrie. URL: <http://www.lps-berlin.de/fileadmin/user_upload/docs/pd/Fingerringdosimetrie.pdf>, verfügbar am 10.06.2010

- berlin.de/fileadmin/user_upload/docs/pd/Info_Fingerringe.pdf>, verfügbar am 25.06.2010
- [14] Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern: Merkblatt zur Photonen-Fingerringdosimetrie. URL: <http://www.lps-berlin.de/fileadmin/user_upload/docs/pd/Merkblatt_Photonen-Ringe.pdf>, verfügbar am 25.06.2010
- [15] Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern: Merkblatt zur Beta-Fingerringdosimetrie. URL: <http://www.lps-berlin.de/fileadmin/user_upload/docs/pd/Merkblatt_Beta-Ringe.pdf>, verfügbar am 25.06.2010
- [16] Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern: Technisches Datenblatt für den TLD-Disk-Fingerring Photonen URL: <http://www.lps-berlin.de/fileadmin/user_upload/docs/pd/TD_Photonen-Ring.pdf>, verfügbar am 25.06.2010
- [17] Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern: Technisches Datenblatt für den TLD-Disk-Fingerring Beta. URL: <http://www.lps-berlin.de/fileadmin/user_upload/docs/pd/TD_Beta-Ring.pdf>, verfügbar am 25.06.2010
- [18] Martini, Ekkehard: Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben StSch 4469: Entwicklung eines Konzeptes und eines Verfahrens zur Einbindung elektronischer Personendosimeter (EPD) in die amtliche Personendosimetrie durch deutsche Messstellen Teil 2 Erprobungsphase. URL: <<http://www.bfs.de/en/bfs/druck/Ufoplan/3605S04469.pdf>>, verfügbar am 17.05.2010
- [19] Martini, Ekkehard: Erfahrungen aus Pilotanwendungen von Elektronischen Personendosimetern (EPD) zur Verwendung als amtliche elektronische Personendosimeter (AEPD) in Technik und Medizin. URL: <http://www.bag.admin.ch/ksr-cpr/04340/04784/04845/index.html?lang=de&download=NHzLpZig7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCGeoF_f2ym162dpYbUzd,Gpd6emK2Oz9aGodetmqaN19Xl2ldvoaCUZ,s->>, verfügbar am 20.05.2010
- [20] Materialprüfungsamt NRW: Technisches Datenblatt für das Beta-Fingerringdosimeter. URL:

- <<http://www.mpanrw.de/dienstleistung/strahlenschutz/personendosimetrie/downloads/Beta-Fingerring.pdf>>, verfügbar am 25.06.2010
- [21] Materialprüfungsamt NRW: Technisches Datenblatt für das Photonen-Fingerringdosimeter. URL: <<http://www.mpanrw.de/dienstleistung/strahlenschutz/personendosimetrie/downloads/Photonen-Fingerring.pdf>>, verfügbar am 25.06.2010
- [22] MED Nuklearmedizintechnik: Bedienanleitung *Dosmo2000*.- 2008
- [23] Reich, Herbert (Hrsg.): Dosimetrie ionisierender Strahlung. – Stuttgart: B.G. Teubner. – 1990
- [24] Strahlenschutzseminar in Thüringen e.V.: Grundkurs zum Erwerb der Fachkunde im Strahlenschutz in der Medizin. – Ilmenau. – 2007
- [25] StrlSchV (idF v. 20.07.2001)
- [26] Website Eckert & Ziegler. URL: <http://www.ezag.de/index_d.html>, verfügbar am 16.07.2010
- [27] Website MED. URL: <<http://www.nuklear-medizintechnik.de/>>, verfügbar am 28.05.2010

Erklärung zur selbständigen Anfertigung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Bearbeitungsort, Datum

Unterschrift